



東北大学
電気通信研究所
研究活動報告

第29号(2022年度)

Annual Report 2022

Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University



目 次

【本編】

第1章 はじめに	1
第2章 組織・運営	
1. 組織図	3
2. 運営協議会委員名簿	4
3. 共同研究組織	5
4. 教育組織	6
第3章 研究活動	
1. 情報デバイス研究部門の目標と成果	7
(1) 固体電子工学研究室	8
(2) 誘電ナノデバイス研究室	10
(3) 物性機能設計研究室	12
(4) スピントロニクス研究室	14
(5) ナノ集積デバイス・プロセス研究室	16
(6) 量子デバイス研究室	18
2. ブロードバンド工学研究部門の目標と成果	20
(1) 超高速光通信研究室	22
(2) 応用量子光学研究室	24
(3) 先端ワイヤレス通信技術研究室	26
(4) 情報ストレージシステム研究室	28
(5) 超ブロードバンド信号処理研究室	30
(6) 量子光情報工学研究室	32
3. 人間情報システム研究部門の目標と成果	34
(1) 生体電磁情報研究室	37
(2) 先端音情報システム研究室	39
(3) 高次視覚情報システム研究室	41
(4) 情報コンテンツ研究室	43
(5) 実世界コンピューティング研究室	45
(6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室	47
4. システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果	49
(1) コンピューティング情報理論研究室	52
(2) コミュニケーションネットワーク研究室	54
(3) 環境調和型セキュア情報システム研究室	57
(4) ソフトコンピューティング集積システム研究室	59
(5) 新概念 VLSI システム研究室	61
5. ナノ・スピン実験施設	63
6. ブレインウェア研究開発施設	67
(1) 認識・学習システム研究室	69

7. 21世紀情報通信研究開発センター	71
(1) 産学官研究開発部 ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト	74
(2) 学際連携研究部 情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト	76
(3) 学際連携研究部 スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システムの研究プロジェクト	78
(4) 萌芽研究部 注意推定による教育支援システムの実現	81
(5) 萌芽研究部 共生社会を実現するドローン利活用技術の研究	83
(6) 萌芽研究部 スマート工場を実現するワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発	85
8. 安全衛生管理室	87
9. やわらかい情報システムセンター	89
10. 研究基盤技術センター	91
11. 機動的な研究グループ	93

第4章 共同プロジェクト研究

1. 共同プロジェクト研究の理念と概要	95
2. 令和4年度共同プロジェクト研究採択一覧	97
3. 令和4年度共同プロジェクト研究成果報告	100

第5章 シンポジウム・国際会議等

1. 通研国際シンポジウム	401
(1) 2022 Spintronics Workshop on LSI	401
(2) The 11th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-11) / The 75th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC 2022)	402
(3) RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction 2023	403
(4) The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	404
(5) The 13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics	405
(6) 8th CIES Technology Forum	406
(7) 2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics (19th RIEC International Workshop on Spintronics)	407

第6章 通研教員が中核的役割を果たす他部局組織等

1. 設立に関与した組織	409
(1) 高等研究機構 新領域創成部 多感覚情報統合認知システム研究室	409
スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室	411
(2) 先端スピントロニクス研究開発センター (CSIS)	413
(3) 国際集積エレクトロニクス研究開発センター (CIES)	414
(4) ヨッタインフォマティクス研究センター	416
2. 参画する事業・プログラム	417
(1) スピントロニクス国際共同大学院プログラム	417
(2) 卓越大学院プログラム	418

第7章 評価と分析

運営協議会報告	419
---------	-----

【資料編】

第1 人事	439
①教員 ②客員外国人教員 ③客員教員 ④特任研究員・学術研究員 ⑤各種研究員 ⑥客員外国人教員（外国人研究員） ⑦学術研究員 ⑧学振特別研究員 ⑨教員以外の研究員（ポストク）の転出先 ⑩支援職員	
第2 予算	443
①電気通信研究所における予算の推移 ②外部資金受入状況	
第3 教育	445
①学部学生・大学院生 ②留学生 ③研究所等研究生・特別訪問研修生 ④論文題目一覧（修士・博士）	
第4 研究	451
①研究成果の掲載・公表状況 ②トピックス一覧 ③科学研究費助成事業採択一覧（令和4年度研究代表者） ④外部資金の受入状況 ⑤受賞・表彰件数 ⑥受賞・表彰者一覧 ⑦発表論文数	
第5 共同プロジェクト研究	461
①共同プロジェクト研究件数 ②共同プロジェクト研究者数 ③共同プロジェクト研究予算額 ④共同プロジェクト研究から発展したプロジェクト	
第6 国際活動	468
①電気通信研究所国際シンポジウム ②本研究所教員が編集委員をしている国際ジャーナル ③本研究所教員が組織委員をつとめた最近の国際会議 ④国際学会における招待講演数 ⑤国際共同研究の実施状況 ⑥国際共同研究一覧 ⑦外国人研究者の招へい状況 ⑧研究者の海外派遣状況 ⑨国際学術交流協定一覧	
第7 社会貢献	482
①東北大学 電気・情報 産学官フォーラム参加者数 ②通研一般公開参加者数 ③学会名誉会員及びフェローの状況 ④学会名誉会員及びフェロー一覧 ⑤学会役員の状況 ⑥学会役員一覧 ⑦各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献	
第8 産学官連携	486
①発明届出件数、特許出願数、特許登録数 ②電気通信研究所における技術的相談、指導件数	
第9 広報活動と情報公開	487
付録 職員	488

第 1 章 はじめに

はじめに

「人間性豊かなコミュニケーションの実現」が、電気通信研究所のミッションです。コミュニケーションが人間社会にとって持つ意味は計り知れません。情報通信技術は、コミュニケーションのあり方を大きく変え、人間の持つ限界を超えた情報交換を実現してきました。現代におけるコミュニケーション、情報通信は、人と人から人とモノ、モノとモノとその対象を広げ、また空間的・時間的限界を超え拡張し続けています。ポストコロナ、ニューノーマルで求められる社会像においても、情報通信分野の研究への期待は今後さらに大きくなると予想されます。本研究所は、時々の社会の要請に耳を傾けつつ、将来の豊かな情報社会の実現を目指し、我が国の学術と社会の繁栄に、また広く人類社会の福祉に貢献することを目的として活動を続けます。

第6期科学技術・イノベーション基本計画では第5期基本計画で掲げたSociety5.0を具体化していくことが必要です。そのためには、基盤技術となるサイバーセキュリティ、次世代情報通信（Beyond 5G）、量子コンピューティング、AI（人工知能）、スピントロニクスなどの新機能デバイスをさらに推進&強化することが期待されています。これらは言うまでもなく、本研究所が先導すべき研究領域であり、時代の要請に貢献するためにも注力すべきテーマです。一方で、教員の自由な発想に基づく基礎研究、基盤研究は大学の欠くことのできない重要な役割です。本所の歴史を振り返っても、西澤潤一教授の光通信の3要素の提案、岩崎俊一教授の垂直磁気記録など、全く新しい分野を切り開く契機となる基盤的研究がその後大きく発展したのも少なくありません。最近の話題としては、今後のICTデバイスとして注目されている磁気抵抗メモリ（MRAM）は、大野英男教授が基礎研究から先導してきたスピントロニクス技術に基づくものです。大学、そして本研究所を取り巻く環境は時々刻々と変化していますが、大学の研究者が果たすべき役割を十分認識した上で、ミッション遂行のために資源を有効活用していくこと、またそのための環境を構築することが必要です。

本研究所の体制は、令和5年度(2023年度)から計算システム基盤、情報通信基盤、人間・生体情報システムの3つの研究部門(2023年4月より)と、ナノ・スピン実験施設及びブレインウェア研究開発施設の2つの施設、21世紀情報通信研究開発センターとサイバー&リアルICT学際融合研究センター(2023年4月より)の2つのセンターの組織からなっています。それぞれ研究部門は長期(20年)、施設は中期(10年)、センターは短期(5年)の研究期間を念頭におき研

究を進めています。さらに、大学院工学研究科、情報科学研究科及び医工学研究科の本学電気情報系と密接に連携し、幅広い最先端研究分野をカバーすると共に、優れた研究者、技術者を輩出するための体制を整えています。

本研究所はまた、文部科学省から情報通信共同研究拠点として、共同利用・共同研究拠点の認定を受け、2022年度より第3期の活動を継続しています。運営費交付金が減少する中、国内外の情報通信コミュニティのさらなる発展に資する役割はますます重要になります。このため、産官学の外部研究者・技術者との共同プロジェクト研究を組織的に進めています。

コロナ禍を乗り越えて情報通信の重要性がより一層注目されている現在、より高速・大容量でセキュアな情報通信を省エネルギーで実現しなければなりませんし、東日本大震災の経験により、社会基盤には高い耐災害性が要求されることも改めて認識しました。さらに、最先端技術を基盤に、人と人との意思疎通の向上に貢献する、これまでとは質的に異なった高次の情報処理やコミュニケーションを実現することも期待されています。本研究所が20年以上にわたって研究を続けてきたブレインウェアは、近年広範囲の発展を続ける人工知能研究の中でますます重要となってきています。本研究所は、これらの社会的な要請を受けとめ、総合大学の附置研究所という強みを最大限に発揮して、時代に先駆けたコミュニケーションの新しい世界を開くと共に、それらを通じた教育を今後とも進めて参ります。

本研究活動報告は、本研究所における研究、教育、及び社会貢献にわたる諸活動を点検するとともに広く社会に公開して、研究活動等の改善と今後の発展に資することを目的に毎年発行しています。内容は、本編が各部門、附属施設などの研究活動と、共同プロジェクト研究、国際活動、社会貢献などの活動、通研シンポジウム、工学研究会活動、通研講演会などに関する活動報告です。なお、資料編には過去5年間の各種活動のデータを掲載しています。

本報告をご高覧いただいた皆様には、電気通信研究所の活動について忌憚のないご意見を賜りますようお願い申し上げますと共に、今後ともご指導、ご鞭撻をどうぞよろしくお願い申し上げます。

令和5年

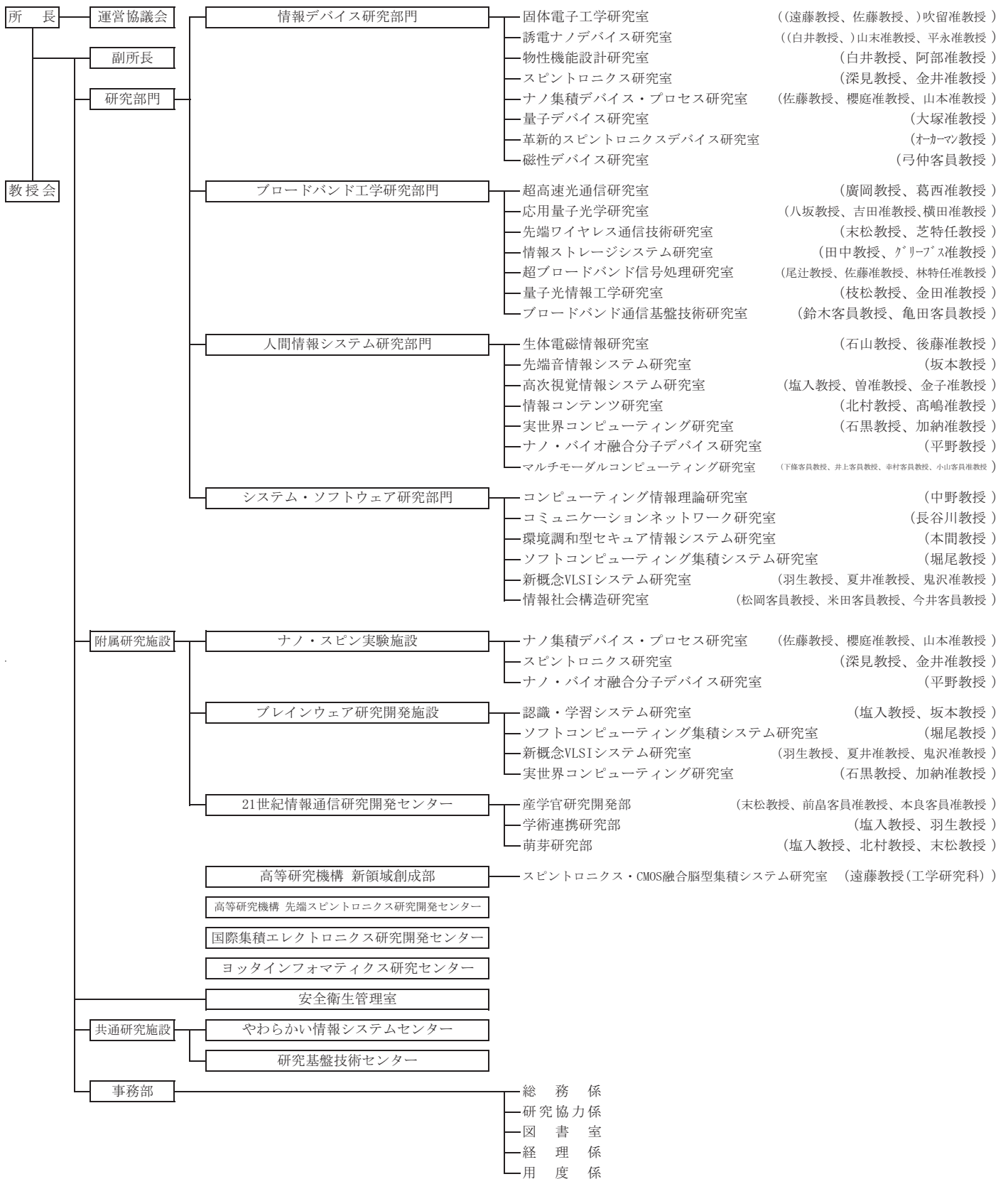
電気通信研究所 所長

羽 生 貴 弘

第 2 章 組織・運営

2. 1 組 織 図

R5. 3. 31現在



2. 2 運営協議会委員名簿

運営協議会は、東北大学電気通信研究所長の諮問に応じ、共同利用・共同研究拠点としての活動に関する重要事項、その他研究所長が必要と認める事項について協議する組織である。

村山宣光	(委員)	国立研究開発法人 産業技術総合研究所 副理事長
今井亨	(〃)	日本放送協会 放送技術研究所 所長
田畑仁	(〃)	東京大学大学院工学研究科 教授
山口浩司	(〃)	日本電信電話株式会社 NTT物性科学基礎研究所 フロンティア機能物性研究部 フェロー
関野徹	(〃)	大阪大学産業科学研究所 所長
斉藤健	(〃)	株式会社東芝 研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所 所長
玉田薫	(〃)	九州大学 副学長／先導物質化学研究所 教授
森島繁生	(〃)	早稲田大学先進理工学部 教授
福永博俊	(〃)	長崎大学 理事
小林直樹	(〃)	東京大学大学院情報理工学系研究科 教授
松下雅仁	(〃)	三菱電機情報技術総合研究所 所長
丸山宏	(〃)	株式会社Preferred Networks PFN フェロー
前田裕二	(〃)	NTT宇宙環境エネルギー研究所 所長
中村孝	(〃)	大阪大学大学院 工学研究科 招聘教授
小松直子	(〃)	宮城県 労働委員会事務局長
橋本隆子	(〃)	千葉商科大学 副学長
阿野茂浩	(〃)	公益財団法人 KDDI財団 理事長
江村克己	(委員長)	日本電気株式会社 シニアアドバイザー
寺田眞浩	(委員)	東北大学大学院 理学研究科長
湯上浩雄	(〃)	東北大学大学院 工学研究科長
加藤寧	(〃)	東北大学大学院 情報科学研究科長
古原忠	(〃)	東北大学 金属材料研究所長
寺内正己	(〃)	東北大学 多元物質科学研究所長
菅沼拓夫	(〃)	東北大学 サイバーサイエンスセンター長
安藤晃	(〃)	東北大学大学院 工学研究科 教授

2. 3 共同研究組織

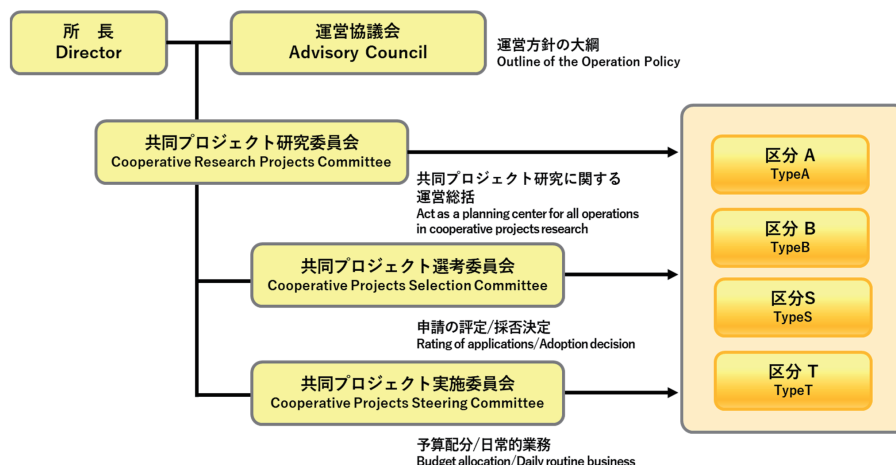
本研究所は平成6年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、無線通信、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成16年の改組に伴い、「ナノ・スピン実験施設」と「ブレインウェア実験施設（平成26年4月に「ブレインウェア研究開発施設」に名称変更）」の2施設として設備を充実し発足した。実験施設ではこれらの技術を発展させると共にそれぞれの先導的研究開発を目指すことになった。また平成14年には、産学連携による新情報通信産業の創生を目指した「附属二十一世紀情報通信研究開発センター」が設置された。その後本研究所は平成22年に共同利用・共同研究拠点に認定された。

本研究所の各分野・実験施設の各部の充実により、情報通信に関する研究環境が一層整備されつつある。これを背景として、本研究所の各研究分野・部の研究者は研究所の目的達成のための基礎研究に加えて、全国の情報通信の科学技術の研究に携わる研究者と有機的な連携をとりながら、本研究所を中核とする総合的な共同プロジェクト研究を、共同利用・共同研究拠点の活動の一環として行っている。

共同プロジェクト研究の研究組織は次のような手続きを経て構成される。まず毎年所内の研究組織が研究者の英知を集めるためにユーザーの要望など所内外から広く意見を頂き、それを基に「共同プロジェクト研究」を立案する。それを「共同プロジェクト研究委員会」が審査し、課題を企画する。この課題は「事務部研究協力係」より全国の国公立大学及び研究機関に通知され、各共同プロジェクト研究への参加者を公募する。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、平成19年度に外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会を設置した。これにより応募研究者を含めた共同プロジェクト研究組織が編成される。これを研究所内外の委員からなる「共同プロジェクト研究委員会」に諮問し、その意見を尊重して「教授会」が最終的に共同プロジェクト研究実行案を承認し、実行に移される。

運営協議会は、本研究所の「共同プロジェクト研究」に関する運営の大綱について所長の諮問に応じて審議する。

平成22年度以降の体制



2. 4 教育組織

東北大学電気通信研究所(以下、通研と省略)は、発足時から設立母体である電気工学科と協力体制をとり、教育・研究の成果を挙げてきた。その後、通信工学科、電子工学科、情報工学科が順次設立されるとともに、これらの電気・情報系4学科との「一体運営」の協力関係が維持構築された。

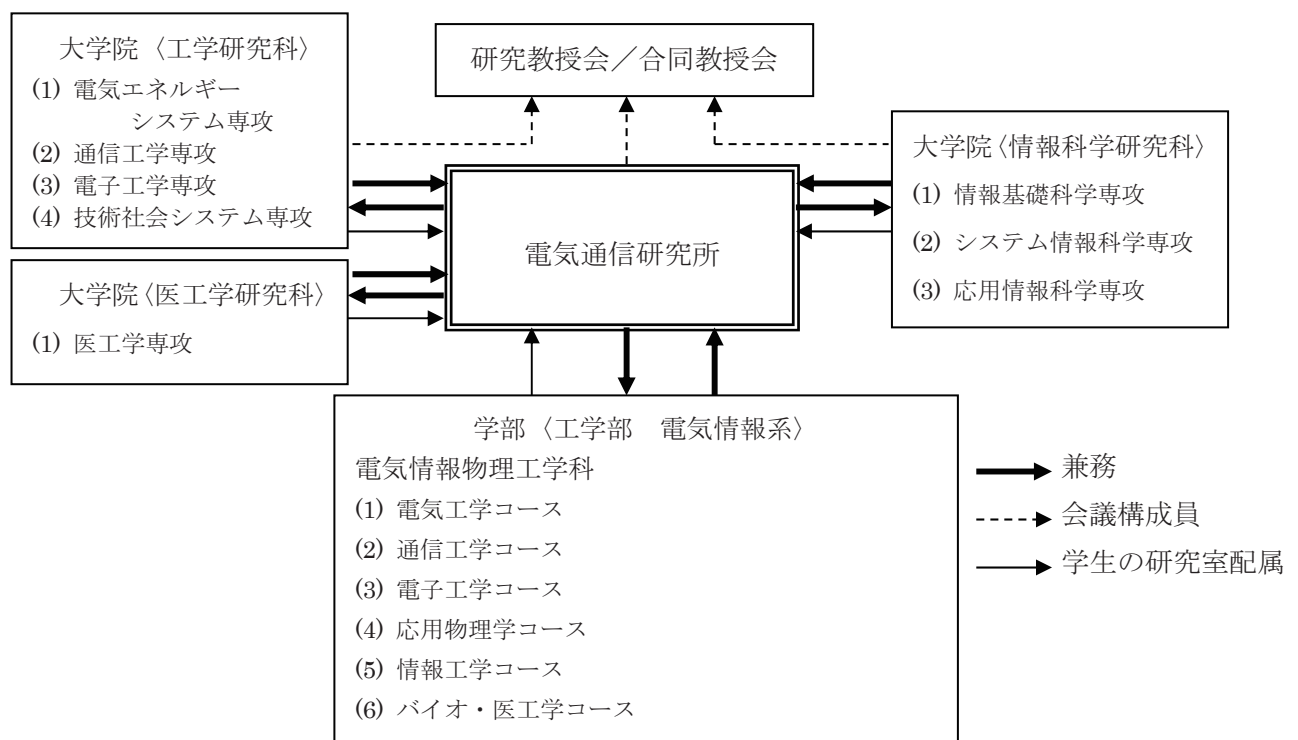
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004年、電気・情報系4学科は応用物理学科と合同の大学科、電気情報・物理工学科となった。2007年には情報知能システム総合学科と改称し、そのなかの6コースが電気・情報系と位置づけられている。2012年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。2015年には電気情報物理工学科と改称し、コースの構成も変更された。

2021年度には通研の25研究室のうち2研究室が大学院工学研究科電気エネルギーシステム専攻に、6研究室が同研究科通信工学専攻に10研究室が同研究科電子工学専攻に、2研究室が大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻に、4研究室が同研究科システム情報科学専攻に、1研究室が同研究科応用情報科学専攻に、さらに3研究室は大学院医工学研究科医工学専攻にもそれぞれ所属し、通研で研究指導を受けた大学院学生の総数は174名、学部生は56名となっている。

通研と電気・情報系学科の関係で特徴的な点は、全教員が兼務として互いに協力し合っていることである。通研の教授・准教授は全員、学部学生に対する講義を担当し、助教は実験を指導して教育に協力している。一方、電気・情報系の教員も通研兼務であり、大学院学生だけでなく学部学生も通研の各研究室に配属されている。これにより学生にとっても研究室選択の幅が広がり、世界最先端の研究指導が受けられるようになっている。一方、通研にとっても若い行動力は重要であり、研究活動が活性化される。通研が電気通信の分野で多くの成果をあげてきた理由には、このような教育面での協力関係に因るところが大きい。

通研と電気・情報系の運営の中核には両組織の教授で構成される研究教授会ならびに准教授・講師も含む電気・情報系合同教授会がある。教授会通則に基づく会議とは別の性格の、部局を横断して形成された会議であって、教育問題など相互に関連する重要事項はここで審議される。教育上の具体的な事項の実行、運用に関しては、大学院に工学研究科電通・電子専攻教員会議、電気・情報系7コースに大学院教務委員会があり、通研からも委員が参加している。

通研は工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科の関連研究分野と密接な協力体制をとり、研究のみならず教育でもCOE、卓越した大学院拠点等重要な一翼を担っている。



第 3 章 研究活動

3. 1 情報デバイス研究部門の目標と成果

本部門は「物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成」という大きな目標の下に、材料設計、評価、プロセス、デバイス、システムにわたる研究を実施している。この部門で展開している研究は本研究所の設置目的達成のための重要な基礎となるもので、次世代情報処理通信の基盤となる未開拓の新機能情報デバイスの実現を図ることを目的としている。そのために、新材料やナノ構造を用いて新しい機能の実現を図ると共に、これら機能を活用した誘電情報デバイス、量子エレクトロニクスデバイス、スピントロニクスデバイス、次世代半導体デバイスなどを実現することを目標とする。

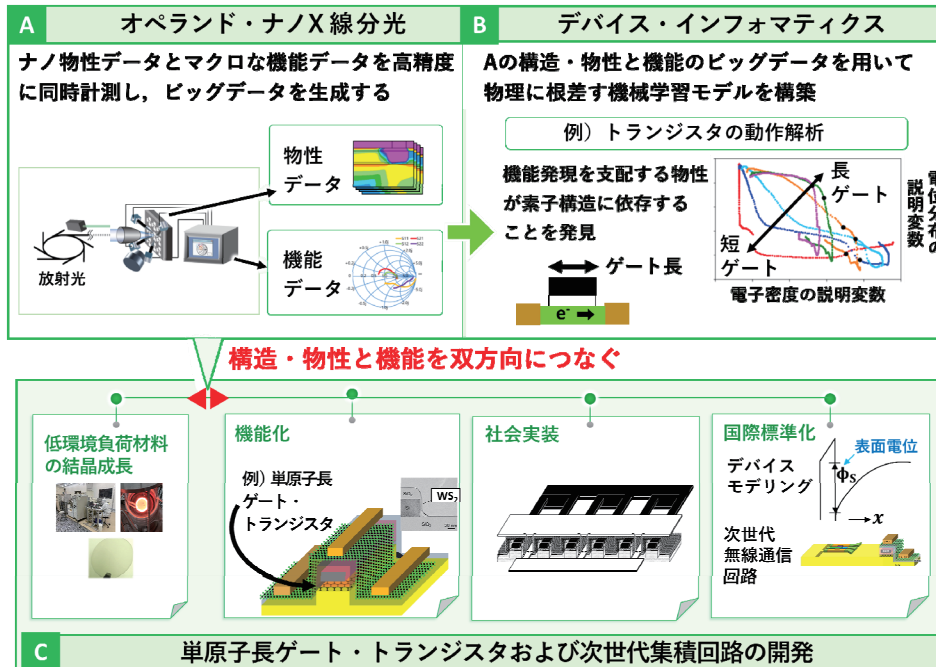
目標に到達するために、下記の7研究室が研究開発を行っている。

1. 固体電子工学研究室
2. 誘電ナノデバイス研究室
3. 物性機能設計研究室
4. スピントロニクス研究室
5. ナノ集積デバイス・プロセス研究室
6. 量子デバイス研究室
7. 磁性デバイス研究室 (客員研究室)

各分野の目標ならびに2022年度の研究活動の成果の概要を、次ページ以降に記述する。

固体電子工学研究室

単原子長ゲート・トランジスタの創出および次世代集積回路開発



Supported by
 Beyond 5G研究開発事業
 JST未来社会創造事業
 JST-CREST

固体電子物性工学研究分野 准教授 吹留 博一

<研究室の目標>

固体電子工学研究室は、単原子一個分まで短縮したゲートを有する究極のトランジスタの創出および次世代集積回路への展開に取り組んでいる。これらの研究開発においては、複雑な動作機構を詳らかにする必要がある。そのために、動作中のデバイスの電子状態の時空間変化を 10 nm スケールで明らかにする時空間オペランド X 線分光を世界にさきがけて開拓している。本法により得られる計測ビッグデータを用いて、データ駆動的に構造・物性と機能発現を双方向に接続する学理「デバイス・インフォマティクス」の創成にも取り組んでいる。

<2022 年度の主な成果>

1. 単原子長ゲート・トランジスタの開発

グラフェンと二次元半導体を直交させる形で結晶させることで、グラフェンの厚み (0.3 nm) をゲート長としたトランジスタを創出できる。本年度、基板の三次元微細加工技術を用いることで、二次元半導体とグラフェンを直交させる製造プロセスを開発することに成功した。本件に関連して、台湾出願および PCT 出願を行った。

2. デバイス・インフォマティクスの創成

機能発現の物理モデルを機械学習に組み込み、オペランド計測で得られる構造・物性および機能のビッグデータを用い、データ駆動的に物理に根差した機械学習モデルに取り組んでいる。今年度は、機能を支配する物性がゲート長に依存していることをデータ駆動的にはじめて明らかにした。

<職員名>

准教授 吹留 博一 (2008年より)
技術補佐員 波入 久美
技術補佐員 鈴木 美沙子
技術補佐員 佐々木 文憲

<プロフィール>

吹留 博一 1995年3月 大阪大学基礎工学部合成化学科卒業。2000年3月 同大学院基礎工学研究科化学系専攻博士後期課程修了。米国ベル研究所、理化学研究所等を経て、2008年12月 東北大学電気通信研究所助教。2012年4月 同大電気通信研究所准教授。二次元 Dirac 電子系の結晶成長、MEMS、オペランド顕微分光及びデバイス応用の研究に従事。日本表面科学会論文賞受賞 (2011年)。石田實記念財団 (2015年)。RIEC Award 東北大学研究者賞 (2016年)。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Fukaya, Y. Zhao, H.-W. Kim, J.-R. Ahn, **H. Fukidome**, and I. Matsuda, “Atomic arrangements of quasicrystal bilayer graphene: Interlayer distance expansion”, *Physical Review B*, 104 (2022) pp. L180202-1-L180202-5.
- [2] Y. Zhao, T. Suzuki, T. Iimori, H.-W. Kim, J.-R. Ahn, M. Horio, Y. Sato, Y. Fukaya, T. Kanai, K. Okazaki, S. Shin, S. Tanaka, F. Komori, **H. Fukidome**, and I. Matsuda, “Environmental effects on layer-dependent dynamics of Dirac fermions in quasicrystalline bilayer graphene”, *Physical Review B*, 105 (2022), pp. 115304-1-115304-8.
- [3] T. Otsuji, S. A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, **H. Fukidome**, T. Watanabe, T. Suemitsu, A. A. Dubinov, V. V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, M. S. Shur, and V. Ryzhii,, “Graphene-based plasmonic metamaterial for terahertz laser transistors”, *Nanophotonics*, 11 (2022), 1677-1696.
- [4] T. Otsuji, S. A. Boubanga-Tombet, A. Satou, D. Yadav, **H. Fukidome**, T. Watanabe, T. Suemitsu, A. A. Dubinov, V. V. Popov, W. Knap, V. Kachorovskii, K. Narahara, M. Ryzhii, V. Mitin, M. S. Shur, and V. Ryzhii, Fast and sensitive terahertz detection with a current-driven epitaxial-graphene asymmetric dual-grating-gate field-effect transistor structure, *APL Photonics*, 7 (2022) 126101.

誘電ナノデバイス（(白井)・山末・平永) 研究室

強誘電体, 圧電体材料などの評価・開発とそれを用いた
高機能信号処理及び超高密度記憶素子の研究

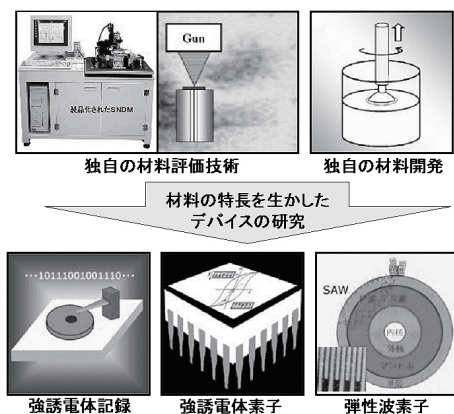


図 1. 誘電ナノデバイス研究分野の目標

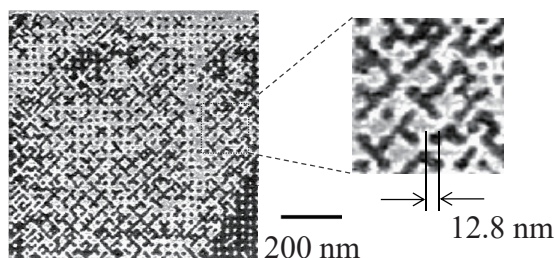


図 2. 強誘電体単結晶記録媒体上に 4 Tbit/inch² の密度で記録されたデジタル情報

誘電ナノ物性計測システム研究分野 准教授 山末 耕平

誘電物性工学研究分野 准教授 平永 良臣

<研究室の目標>

本研究室では、強誘電体や圧電体などの機能性材料を評価・作製する独自技術の開発と、それらを通して明らかとなった材料の特長を生かした通信用誘電・圧電デバイス・誘電体記録デバイスの研究を行っている。具体的には、超音波や光及び Fe-RAM 等に多用される強誘電体単結晶や薄膜の分極分布、様々な結晶の局所的異方性を高速・高分解能に観測できる走査型非線形誘電率顕微鏡 (Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy; SNDM)の研究・開発を行っている。本顕微鏡は残留分極分布計測や結晶性評価を純電气的に行える世界で初めての装置であり、既に実用化に成功している。現在は半導体のドーパントプロファイル、界面欠陥の観測や固体中の単一双極子モーメントの可視化など SNDM の高機能・高分解能化を目指した研究を行っている。更に SNDM は強誘電体ドメインをナノレベルで観測・制御できるため、次世代超高密度誘電体記録への応用研究も推進している。

<2022 年度の主な成果>

SNDM による強誘電体記録デバイスの研究では次の成果を得た：(1) 局所 C-V マッピング法を用いて得られたナノスケール強誘電ドメイン反転に関するハイパースペクトラルイメージデータセットの機械学習解析の基礎を確立 (2) 同手法を用いた HfO₂ 基強誘電体薄膜におけるグレイ境界が分極反転に及ぼす影響の度合いの定量的評価への展開。次に SNDM に基づく半導体材料・デバイス評価に関する研究では以下の成果を得た：(1) 時間分解 SNDM で近年実現された局所 CV 特性測定を発展させ、絶縁膜-半導体界面の界面特性に生じる空間的ゆらぎのナノスケール・実空間評価を実現 (2) 同手法をパワー半導体材料である SiC ウェハのナノスケール評価に応用し、窒化処理による界面特性のゆらぎの低減を可視化 (3) SNDM に基づく各種手法を同じくパワー半導体材料として期待される Al₂O₃/ダイヤモンドウェハのナノスケール評価に応用し、異なる界面処理プロセスを経

た試料の界面特性の違いを可視化（金沢大学との共同研究）。その他、SNDM を用いた次世代パワーデバイス向け $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaN}$ ウェハ（名古屋大学との共同研究）や原子層半導体材料のナノスケール評価に関する研究等を推進した。

<職員名>

准教授 山末 耕平（2016年より） 平永 良臣（2020年より）

<プロフィール>

山末 耕平 2002年3月 京都大学工学部電気電子工学科卒業。2007年3月 同大学院工学研究科電気工学専攻博士後期課程修了。2007年4月 同大ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー研究員。2008年8月 同助教。2010年4月 東北大学電気通信研究所助教。2016年7月 同准教授、現在に至る。原子分解能を有する非接触走査型非線形誘電率顕微鏡／ポテンシオメトリの開発および多機能・時間分解プローブ顕微分光システムの開発と次世代電子材料・デバイス評価への応用に関する研究等に従事。石田實記念財団研究奨励賞（2021年）。

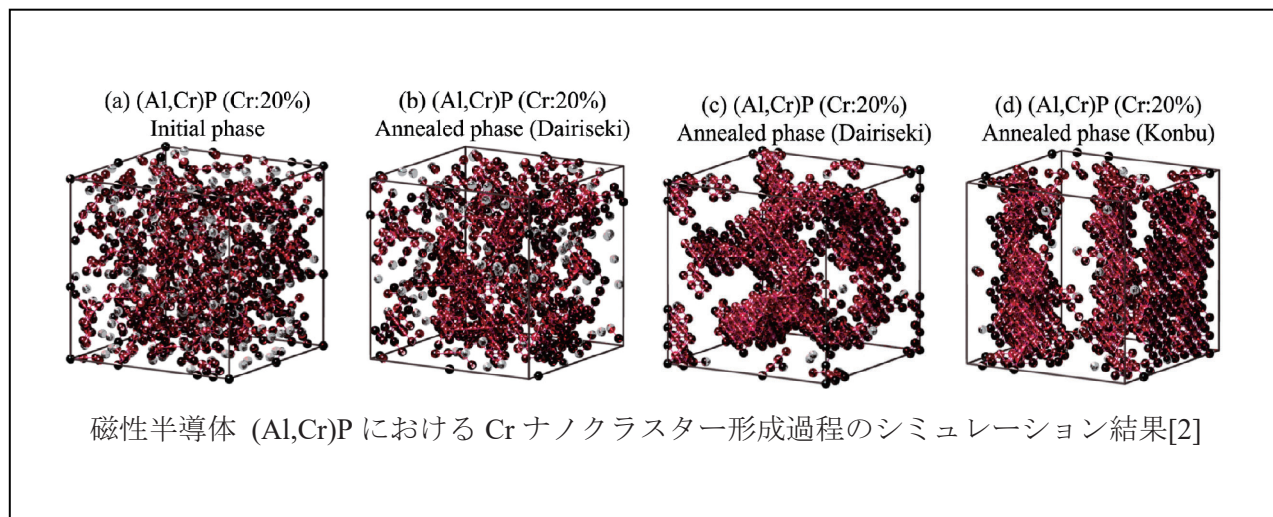
平永 良臣 2001年3月 東北大学工学部退学（但し、大学院飛び入学制度の為）。2006年3月 同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。2006年4月 同大電気通信研究所助手（2007年より助教）。2020年11月 同准教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡を用いた次世代超高密度強誘電体記録の開発に従事。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] K. Yamasue and Y. Cho, “Surface potential fluctuations of SiO_2/SiC interfaces investigated by local capacitance-voltage profiling based on time-resolved scanning nonlinear dielectric microscopy,” *Mater. Sci. Forum*, Vol. 1062, pp. 335-340 (2022)
- [2] Y. Ogata, K. Yamasue, X. Zhang, T. Matsumoto, N. Tokuda, and Y. Cho, “Microscopic evaluation of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{p-type diamond}$ (111) interfaces using scanning nonlinear dielectric microscopy,” *Mater. Sci. Forum*, Vol. 1062, pp. 298-303 (2022)
- [3] T. Ishizuka, K. Yamasue and Y. Cho, “Local capacitance-voltage profiling on $\text{MoS}_2/\text{SiO}_2$ and $\text{MoS}_2/\text{h-BN}/\text{SiO}_2$ by scanning nonlinear dielectric microscopy assisted with an insulating tip,” 2022 6th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM), pp. 223-225 (2022)
- [4] J. Hirota, K. Hoshino, K. Yamasue, and Y. Cho, “Carrier profile mapping in a 3D Flash memory cell using scanning nonlinear dielectric microscopy,” 2022 6th IEEE Electron Devices Technology & Manufacturing Conference (EDTM), pp. 375-377 (2022)
- [5] Y. Hiranaga, T. Mimura, T. Shimizu, H. Funakubo, and Yasuo Cho, “Nanoscale mapping to assess the asymmetry of local C-V curves obtained from ferroelectric materials,” *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 61, SN1014(1-8) (2022)
- [6] K. Yamasue and Y. Cho, “Local capacitance-voltage profiling and deep level transient spectroscopy of SiO_2/SiC interfaces by scanning nonlinear dielectric microscopy,” *Microelectron. Reliab.* Vol. 135, 114588(1-8) (2022)
- [7] 山末 耕平, “走査型非線形誘電率顕微鏡の原理と半導体ナノスケール物性評価への応用”, 電気化学会電子材料委員会 第86回半導体・集積回路技術シンポジウム, オンライン, August 30-31 (2022) [招待講演]
- [8] K. Yamasue, Y. Ando, M. Deki, H. Amano, and Y. Cho, “Real-space analysis on surface potential fluctuations of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GaN}$ interfaces by scanning nonlinear dielectric microscopy”, PP 323, International Workshop on Nitride Semiconductors (IWN2022), Berlin, Germany, Oct. 9-14 (2022)

物性機能設計研究室

次世代情報デバイス創製のための物性・機能の理論設計



物性機能設計研究分野 教授 白井 正文

極限物性研究分野 准教授 阿部 和多加

<研究室の目標>

本研究室では、次世代情報デバイスの基盤となる材料において発現する量子物理現象を理論的に解明し、デバイス性能の向上につながる新しい機能を有する材料を理論設計することを研究目標としている。同時に大規模シミュレーション技術や機械学習などのデータ駆動アプローチを駆使した画期的な物性・機能の設計手法の確立を目指している。現在は、高スピン偏極合金や強磁性半導体の物質設計に加えて有限温度のデバイス特性を評価する計算手法の開発に取り組んでいる。一方、高密度領域で現れる特異な物性を、第一原理的手法により探る研究も進めている。

<2022 年度の主な成果>

1. 多階層連結シミュレーションによる高温強磁性半導体の物質設計

高キュリー温度を示す閃亜鉛鉱型磁性半導体を、ハイスループット第一原理計算に基づいて探索した結果、AIP または AIAs に Cr 原子を添付した磁性半導体が有力な候補であることを見出した。添加された Cr 原子間には引力相互作用がはたらいっており、熱処理により Cr 原子がナノクラスターを形成する。熱処理条件を制御して Cr ナノクラスターの密度・大きさ・形状を制御することで、キュリー温度を最適化できることを、モンテカルロシミュレーションに基づいて明らかにした[2]。

2. トポロジカル物質の電子構造の第一原理計算

熱電材料として注目されている YbMg₂Bi₂ と CaMg₂Bi₂ の電子構造を第一原理計算し、角度分解光電子分光により観測された価電子バンド分散と比較した。スピン軌道相互作用に加えて、Yb 原子の 4f 電子にはたらくクーロン相互作用を考慮することにより、実験結果をよく再現できることを明らかにした。また、原子空孔に起因する正孔の生成が、両物質の伝導特性に重要な役割を果たしており、トポロジカル表面状態の観測には電子添加が有効であることを理論提案した[4]。

3. テラパスカル領域における水素の構造

テラパスカル圧力領域における固体水素の構造を、陽子の非調和零点エネルギーの影響も含めて第一原理計算により調べた。非調和格子振動は、self-consistent harmonic 近似で扱っている。この解析から、固体水素は約 3.9TPa 付近で等方的な構造へと転移し、またそこでは、5つの等方的構造が非常に近いエンタルピーで競合しているとの予測が得られた。この結果は調和近似の場合とかなり異なるものであり、非調和性が水素の相図に大きな影響を与えることを示唆している

<職員名>

教授 白井 正文 (2002年より) 准教授 阿部 和多加 (2017年より) 助教 辻川 雅人
助教 新屋 ひかり 助教 Tufan Roy 学術研究員 井上 順一郎

<プロフィール>

白井 正文 1988年3月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程中退。同大学基礎工学部助手・助教授を経て、2002年4月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。工学博士。

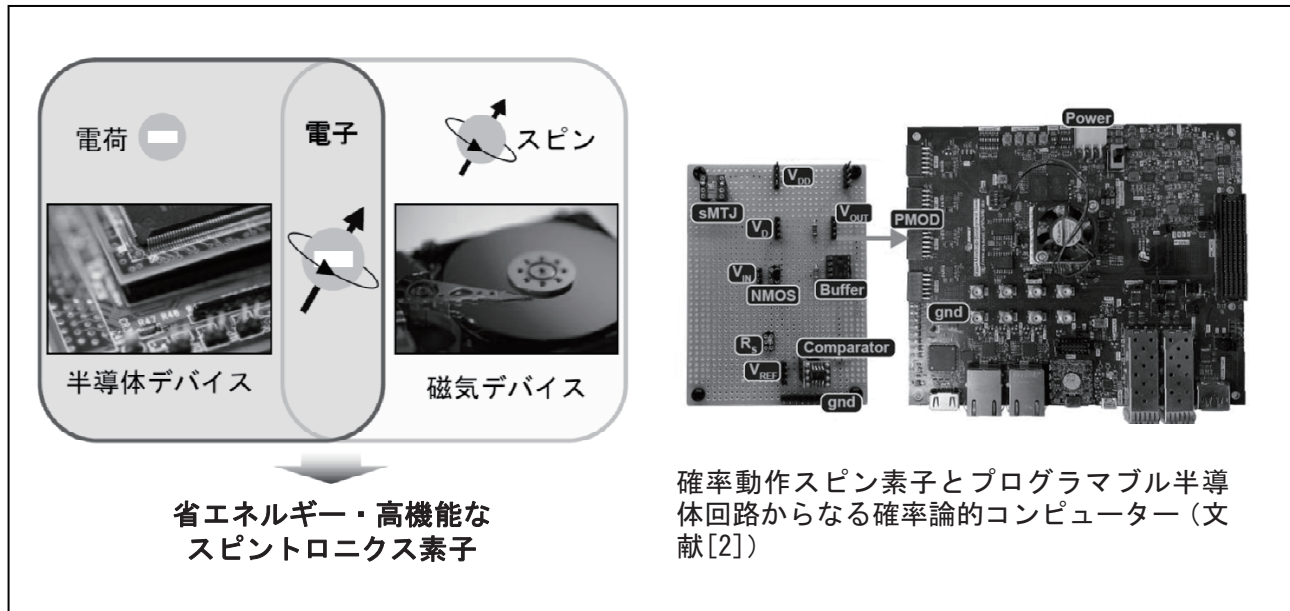
阿部 和多加 1998年3月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士後期課程修了。大阪大学基礎工学部非常勤講師、高輝度光科学研究センター協力研究員、日本学術振興会海外特別研究員、Cornel University Postdoctoral Fellow、東北大学電気通信研究所助手・助教を経て、2017年4月 同准教授、現在に至る。博士 (理学)。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] S. Sakamoto, M. Tsujikawa, M. Shirai, K. Amemiya, and S. Miwa, "Electron correlation enhances orbital polarization at a ferromagnetic metal/insulator interface: Depth-resolved x-ray magnetic circular dichroism and first-principles study," ACS Appl. Electron. Mater., Vol. 4, pp. 1794-1799, 2022
- [2] H. Shinya, T. Kubota, Y. Tanaka, and M. Shirai, "Design of novel magnetic semiconductors by exhaustive first-principles calculations and scale-bridging simulations," Mater. Today Commun., Vol. 31, pp.103604/1-8, 2022
- [3] Y. Chikaso, M. Inoue, T. Tanimoto, K. Kikuchi, M. Yamanouchi, T. Uemura, K. Inubushi, K. Nakada, H. Shinya, and M. Shirai, "Effect of off-stoichiometric composition on half-metallic character of $\text{Co}_2\text{Fe}(\text{Ga},\text{Ge})$ investigated using saturation magnetization and giant magnetoresistance effect," J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 55, pp. 345003/1-9, 2022
- [4] A. K. Kundu, T. Roy, S. Pakhira, Z.-B. Wu, M. Tsujikawa, M. Shirai, D. C. Johnston, A. N. Pasupathy, and T. Valla, "Topological electronic structure of YbMg_2Bi_2 and CaMg_2Bi_2 ," npj Quantum Mater., Vol. 7, pp. 67/1-9, 2022
- [5] T. Sato, S. Kokado, H. Shinya, M. Tsujikawa, A. Miura, S. Kosaka, T. Ogawa, M. Shirai, and M. Tsunoda, "Compositional dependence of anisotropic magnetoresistance effects in Weyl semi-metal Co_2MnAl Heusler alloy epitaxial thin films," J. Appl. Phys., Vol. 132, pp. 223907/1-7, 2022
- [6] A. K. Kundu, S. Pakhira, T. Roy, T. Yilmaz, M. Tsujikawa, M. Shirai, E. Vescovo, D. C. Johnston, A. N. Pasupathy, and T. Valla, "Electronic and magnetic properties of topological semimetal SmMg_2Bi_2 ," Phys. Rev. B, Vol. 106, pp. 245131/1-10, 2022
- [7] Z. Qiao, M. Tsujikawa, and M. Shirai, "The effect of chemical disorder on magnetic properties for FeNi and $\text{Fe}_2\text{Ni}_2\text{N}$ alloys," J. Magn. Mater., Vol. 568, pp. 170362/1-8, 2023
- [8] W. Yin, K. Ito, Y. Tsubowa, M. Tsujikawa, M. Shirai, and K. Takanashi, "Anomalous Nernst effect in epitaxially grown $\text{Fe}_{4-x}\text{Ni}_x\text{N}$ films," AIP Adv., Vol. 13, pp. 025243/1-6, 2023
- [9] K. Ito, T. Ichimura, M. Hayashida, T. Nishio, S. Goto, H. Kura, R. Sasaki, M. Tsujikawa, M. Shirai, T. Koganezawa, M. Mizuguchi, Y. Shimada, T. J. Konno, H. Yanagihara, and K. Takanashi, "Fabricating $L1_0$ -ordered FeNi films by denitriding FeNiN(001) and FeNiN(110) films," J. Alloys Compd., Vol. 946, pp. 169450/1-10, 2023
- [10] H. N. Nam, K. Suzuki, A. Masago, T. Q. Nguyen, H. Shinya, T. Fukushima, and K. Sato, "A first-principles study on the electrical conductivity of $\text{Ag}_2\text{S}_{1-x}\text{Se}_x$ ($x = 0, 0.25, 0.5$): Electron-phonon coupling," Appl. Phys. Lett., Vol. 120, pp. 143903/1-6, 2022
- [11] H. N. Nam, K. Suzuki, A. Masago, H. Shinya, T. Fukushima, and K. Sato, "The role of electron-phonon scattering on thermoelectric properties of intermetallic compounds XSi ($\text{X} = \text{Co}, \text{Rh}$)," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, pp. 020904/1-6, 2023

スピントロニクス研究室

スピントロニクスを用いた省エネルギー・高機能な素子の創製



ナノスピン材料デバイス研究分野 教授 深見 俊輔

ナノスピン機能デバイス研究分野 准教授 金井 駿

<研究室の目標>

固体中のスピンと電荷の自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子の実現を目的として、固体中でのスピン関連現象、及びそれらを利用した新規スピントロニクス素子の創製に関する研究を行っている。具体的には、スピントロニクス材料・構造の作製、電流や電界を用いた磁化反転などのスピン依存物理現象の評価と理解、それらを利用した新機能素子の開発、及びスピントロニクス素子を用いた高性能・低電力情報機器への応用に関する研究を進めている。

<2022 年度の主な成果>

1. 固体中の量子情報の保持時間を記述する法則の発見

量子ビットとして使われる固体中のスピン中心の性能を決める位相緩和時間（量子情報を保持可能な時間、 T_2 ）を支配する「一般化スケーリング則」を発見した。（文献[1]）

2. 確率動作スピントロニクス素子の外場応答の数学的な表式を実験で決定

熱により確率的に振る舞うスピントロニクス素子に磁場や電流が印加された際のエネルギー地形の変化を表す数式における未解明因子を実験で決定した。（文献[4]）

3. スピントロニクス確率論的コンピューターの優れた計算性能と省電力性を実証

確率的に動作する新規スピン素子とプログラマブル半導体（FPGA）を用いた確率論的コンピューターを構築し、古典コンピューターに対する優位性を明らかにした。（文献[7]）

＜職員名＞

教授 深見 俊輔 (2020 年より)

准教授 金井 駿 (2022 年より)

助教 Justin Llandro

＜プロフィール＞

深見 俊輔 2005 年名古屋大学大学院工学研究科結晶材料工学専攻博士前期課程修了。博士(工学)。2005 年日本電気株式会社、2011 年東北大学助教、2015 年同大学准教授、2020 年同大学教授。2012 年応用物理学会論文賞、2014 年船井研究奨励賞、2014 年応用物理学会講演奨励賞、2015 年文部科学大臣表彰若手科学者賞、2017 年青葉工学振興会賞受賞、2018 年 Asian Union of Magnetics Societies, Young Researchers Award、2018 年日本磁気学会優秀研究賞、2019 年応用物理学会優秀論文賞、2021 年丸文研究奨励賞、2022 年日本磁気学会業績賞、2023 年日本学術振興会賞ほか受賞。2022 年から稲盛科学研究機構 (InaRIS) フェロー、2023 年から日本磁気学会フェロー。応用物理学会、日本磁気学会、IEEE 会員。

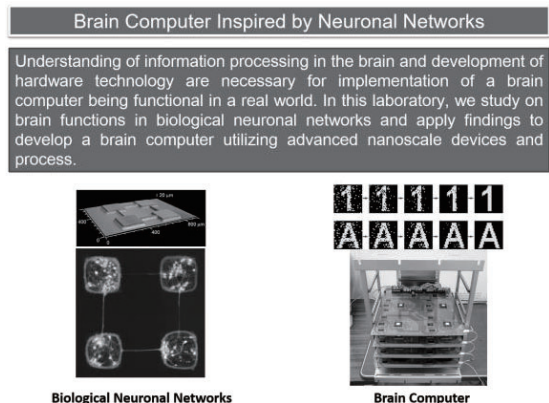
金井 駿 2014 年東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期 3 年の課程修了。博士(工学)。2014 年東北大学助教、2022 年同大学准教授。2010 年東北大学総長賞、2014 年応用物理学会講演奨励賞、2014 年応用物理学会英語講演奨励賞、2014 年エヌエフ基金研究開発奨励賞、2014 年 RIEC Award 東北大学学生賞、2015 年青葉工学研究奨励賞、2016 年船井研究奨励賞、2016 年原田研究奨励賞、2017 年井上研究奨励賞、2017 年安藤博記念学術奨励賞、2023 年文部科学大臣表彰若手科学者賞、2023 年本多記念研究奨励賞ほか受賞。応用物理学会、日本物理学会、American Physical Society、IEEE 会員。

＜2022 年度の主な発表論文等＞

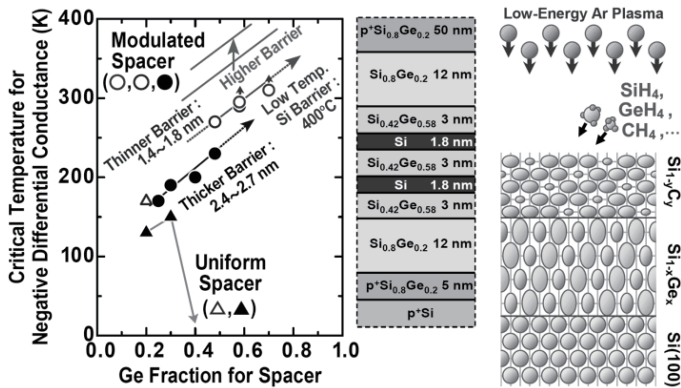
- [1] S. Kanai, F. J. Heremans, H. Seo, G. Wolfowicz, C. P. Anderson, S. E. Sullivan, M. Onizhuk, G. Galli, D. D. Awschalom, and H. Ohno, "Generalized scaling of spin qubit coherence in over 12,000 host materials," *Proceedings of National Academy of Science of United States of America* **119**, e2121808119(1)-(8) (2022).
- [2] Y. Yamane, S. Fukami, and J. Ieda, "Theory of Emergent Inductance with Spin-Orbit Coupling Effects," *Physical Review Letters* **128**, 147201(1)-(6) (2022).
- [3] T. Uchimura, J. Yoon, Y. Sato, Y. Takeuchi, S. Kanai, R. Takechi, K. Kishi, Y. Yamane, S. DuttaGupta, J. Ieda, H. Ohno, and S. Fukami, "Observation of domain structure in non-collinear antiferromagnetic Mn_3Sn thin films by magneto-optical Kerr effect," *Applied Physics Letters* **120**, 172405(1)-(5) (2022).
- [4] T. Funatsu, S. Kanai, J. Ieda, S. Fukami, and H. Ohno, "Local bifurcation with spin-transfer torque in superparamagnetic tunnel junctions," *Nature Communications* **13**, 4079(1)-(8) (2022).
- [5] J. Gibbons, T. Dohi, V. P. Amin, F. Xue, H. Ren, J.-W. Xu, H. Arava, S. Shim, H. Saglam, Y. Liu, J. E. Pearson, N. Mason, A. K. Petford-Long, P. M. Haney, M. D. Stiles, E. E. Fullerton, A. D. Kent, S. Fukami, and A. Hoffmann, "Large Exotic Spin Torques in Antiferromagnetic Iron Rhodium," *Physical Review Applied* **18**, 024075(1)-(12) (2022).
- [6] K. Kobayashi, K. Hayakawa, J. Igarashi, W. A. Borders, S. Kanai, H. Ohno and S. Fukami, "External-Field-Robust Stochastic Magnetic Tunnel Junctions Using a Free Layer with Synthetic Antiferromagnetic Coupling," *Physical Review Applied* **18**, 054085(1)-(9) (2022).
- [7] A. Grimaldi, K. Selcuk, N. A. Aadit, K. Kobayashi, Q. Cao, S. Chowdhury, G. Finocchio, S. Kanai, H. Ohno, S. Fukami and K. Y. Camsari, "Experimental evaluation of simulated quantum annealing with MTJ-augmented p-bits," (oral) 68th Annual IEEE International Electron Devices Meeting, 22.4.1 (2022).
- [8] J. Han, R. Cheng, L. Liu, H. Ohno and S. Fukami, "Coherent antiferromagnetic spintronics," *Nature Materials*, 10.1038/s41563-023-01492-6 (2023).
- [9] Y. Sato, Y. Takeuchi, Y. Yamane, J. -Y. Yoon, S. Kanai, J. Ieda, H. Ohno and S. Fukami, "Thermal stability of non-collinear antiferromagnetic Mn_3Sn nanodot," *Applied Physics Letters* **122**, 122404(1)-(6) (2023).
- [10] M. Shinozaki, J. Igarashi, S. Iwakiri, T. Kitada, K. Hayakawa, B. Jinnai, T. Otsuka, S. Fukami, K. Kobayashi, and H. Ohno, "Nonlinear conductance in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis," *Physical Review B* **107**, 094436(1)-(8) (2023).

ナノ集積デバイス・プロセス研究室

ナノ集積化技術の深化と脳型計算機の開発



脳型計算機の実現に向けて



量子ヘテロ構造高集積化プロセスの構築に向けて

ナノ集積デバイス研究分野

教授 佐藤 茂雄

量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究分野

准教授 櫻庭 政夫

ナノ集積神経情報システム研究分野

准教授 山本 英明

<研究室の目標>

本研究室では脳型計算や量子計算などの非ノイマン型計算に着目し、それらのハードウェア基盤技術について研究を行っている。デバイス、プロセス、回路、あるいはアルゴリズムや神経科学など多様な研究を遂行し、それらの統合により全く新しい計算機技術の創成に挑戦する。

ナノ集積デバイス研究分野では、脳型計算を含む AI 技術のより一層の社会実装に向けて、ハードウェアの高効率化や低消費電力化を可能とする脳型デバイスや専用 LSI、あるいはそれらから構成される AI システムの開発を通して脳型計算ハードウェア基盤技術の構築を目指す。また、量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究分野では、プラズマ誘起反応などを駆使して極薄領域におけるヘテロ構造形成を可能にし、新規電子物性を探索する。同時に、量子ヘテロ構造を Si 集積回路に搭載するための基盤技術構築を目指す。さらに、ナノ集積神経情報システム研究分野では、半導体微細加工・神経細胞培養・数理モデリングを統合し、脳情報処理の神経基盤をボトムアップに解析するための新しい実験系を構築する。これにより、脳神経系の基礎理解はもちろん、現行の脳型システムが直面している電力効率やアーキテクチャの壁などの解決に向けた、生物規範的なアプローチの創成を目指す。

<2022 年度の主な成果>

1. ナノ集積デバイス

多様な神経パルスを再現し極低電力で動作するスパイクニューロンを LSI 上に実装し、これを用いて再帰的ニューラルネットワークを構成しリザバー計算に応用した。音声等の時系列信号を正しく分類できることを電気測定により確認した。さらに、ジョセフソン伝送線路を用いたリザバー計算の手法について提案した。超伝導素子であるジョセフソン接合を用いて高速かつ低電力な時系列認識が可能であることを数値実験により明らかにした。

2. 量子ヘテロ構造高集積化プロセス

高耐圧・低損失パワー半導体デバイスの開発を目指し、高温ウェット酸化によって形成したゲート酸化膜を用いた二重イオン注入型 Al ゲート 4H-SiC MOS トランジスタ製作プロセスの構築を進め、ゲート長 5 ミクロンにおいてもゲートリークが抑制された明瞭なトランジスタ動作特性を確認することに成功した。

3. ナノ集積神経情報システム

マイクロ流体デバイスを用いて培養神経細胞を高密度多点電極アレイ上にパターン培養し、生物の脳神経系で見られるモジュール構造を有する神経細胞回路を再構成した。その自発活動を高時間分解能で計測し、これまで蛍光カルシウムイメージングで捉えられていたモジュールごとの活動伝搬に加えて、モジュール内部で起こるサブミリ秒の活動伝搬も捉えることに成功した。

<職員名>

教授 佐藤 茂雄 (2012 年より)
 准教授 櫻庭 政夫 (2002 年より)
 准教授 山本 英明 (2020 年より)
 特任助教 守谷 哲 (2022 年より)

<プロフィール>

佐藤 茂雄 1989 年 3 月 東北大学工学部電子工学科卒業。1994 年 12 月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員を経て、1996 年 4 月 同大電気通信研究所助手。2002 年 10 月 同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月 同准教授。2012 年 4 月 同教授、現在に至る。脳型計算機や量子計算機に関する研究に従事。IEICE 論文賞受賞 (2000 年)、石田記念財団研究奨励賞受賞 (2005 年)、応用物理学会優秀論文賞 (2019 年)、日本神経回路学会優秀研究賞 (2019 年)。

櫻庭 政夫 1990 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業。1995 年 3 月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1995 年 4 月 同大電気通信研究所助手。2002 年 8 月 同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月 同准教授、現在に至る。IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスの研究に従事。固体素子材料 (SSDM) 国際会議 Young Researcher Award 受賞 (1992 年)、第 12 回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞受賞 (2002 年)。石田記念財団研究奨励賞受賞 (2015 年)。

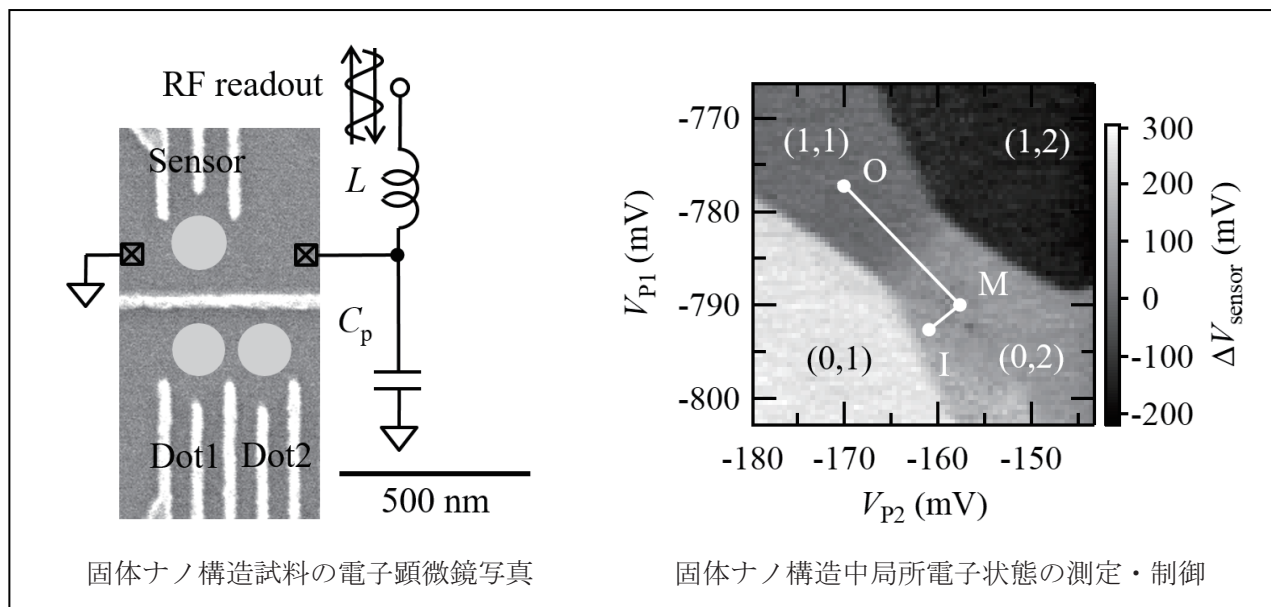
山本 英明 2005 年 3 月 早稲田大学理工学部電子・情報通信学科卒業。2009 年 3 月 同大学院先進理工学研究科ナノ理工学専攻博士後期課程修了。日本学術振興会特別研究員、早稲田大学高等研究所助教、東北大学学際科学フロンティア研究所助教、同大材料科学高等研究所助教を経て、2020 年 1 月 同大電気通信研究所准教授、現在に至る。神経細胞ネットワークの構成論的研究に従事。トーキン科学技術振興財団奨励賞受賞 (2017 年)。青葉工学研究奨励賞受賞 (2017 年)。

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas “A fully Analog CMOS implementation of a two-variable spiking neuron in the subthreshold region and its network operation”, 2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 1-7, 2022.
- [2] Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tanii, S. Sato, A. Hirano-Iwata “Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks”, Frontiers in Neuroscience, 16, 943310, 2022.

量子デバイス研究室

固体ナノ構造の物性解明とデバイス応用



量子デバイス研究分野 准教授 大塚 朋廣

<研究室の目標>

本研究室では、新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。ナノメートルスケールの微小な固体ナノ構造では量子効果等の特異な物理現象が生じ、これらを活用することにより新しい機能性デバイスを創製することができる。本研究室では固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速測定、制御技術を駆使しながら固体ナノ構造における物理現象を解明し、また固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。これにより量子エレクトロニクスやナノエレクトロニクス等を通して、新しい情報処理、通信技術に貢献することを目指す。

<2022年度の主な成果>

1. 固体ナノ構造中局所電子状態の精密高速測定、制御手法の研究

固体ナノ構造中の局所電子状態を解明し活用するためには、局所的な電子状態に直接的にアクセスできる測定、制御手法が重要となる。そこで我々は半導体量子ドット等を用いたマイクロなセンサや高周波を活用した精密高速電気測定、制御技術を開発している。局所電子状態の測定、制御技術の改良を進めるとともに、グラフェン等の新しい材料においてもこれらの精密高速電気測定を実施した [4]。

2. 固体ナノ構造中の局所電子状態の研究

固体ナノ構造中の局所電子状態およびそのダイナミクスは、物性物理等の基礎科学やデバイス応用等の観点から注目を集めている。我々は電氣的精密高速測定手法を活用することにより、固体ナノ構造デバイスにおける局所電子状態を測定した。半導体量子ドットや微細構造デバイス、新材料における電子状態についてその詳細を解明した[1, 2]。

3. 固体ナノ構造を用いた量子デバイス、システムの研究

半導体量子ドット中の電子スピンは比較的長いコヒーレンス時間を持ち、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態の精密高速測定・制御技術を活用して、半導体量子ビット等の量子デバイス、システムの研究を行った。量子デバイスの状態推定、制御の研究とともに、新材料量子デバイスに関する研究を行った[3, 5]。

<職員名>

准教授 大塚 朋廣 (2018年より)

技術補佐員 熊坂 武志、佐藤 彰一、出崎 一石

事務補佐員 善積 利佳子

<プロフィール>

大塚 朋廣 2005年3月 東京大学理学部物理学科卒業。2010年3月 同大学院理学系研究科物理学専攻博士課程修了。2010年4月 同工学系研究科特任研究員。2013年4月 理化学研究所創発物性科学研究センター特別研究員。2016年1月 同研究員。2018年2月 東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。人工固体ナノ構造における物性解明とデバイス応用の研究に従事。東京大学理学系研究科研究奨励賞 (2010年)、日本物理学会若手奨励賞 (2017年)、理化学研究所研究奨励賞 (2017年)、矢崎科学技術振興記念財団学術奨励賞 (2018年)、文部科学大臣表彰若手科学者賞 (2018年)、東北大学ディスティングイッシュトリサーチャー (2020年)。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] M. Shinozaki, J. Igarashi, S. Iwakiri, T. Kitada, K. Hayakawa, B. Jinnai, T. Otsuka, S. Fukami, K. Kobayashi, and H. Ohno, "Nonlinear conductance in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis", *Physical Review B* 107, 094436 (2023).
- [2] T. Kato, T. Kitada, M. Seo, W. Okita, N. Sato, M. Shinozaki, T. Abe, T. Kumasaka, T. Aizawa, Y. Muto, T. Kaneko, and T. Otsuka, "Scalable fabrication of graphene nanoribbon quantum dot devices with stable orbital-level spacing", *Communications Materials* 3, 103 (2022).
- [3] T. Otsuka, "Quantum dots in new materials for quantum devices", *International Workshop of Spin/Quantum Materials and Devices*, Sendai, Feb. 24, 2023.
- [4] T. Johmen, M. Shinozaki, Y. Fujiwara, R. Tataka, T. Aizawa, T. Kumasaka, and T. Otsuka, "High-frequency measurement in bilayer graphene nanodevices", *Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science*, Online, Oct. 25, 2022.
- [5] Y. Muto, T. Nakaso, T. Aizawa, M. Shinozaki, T. Kitada, T. Nakajima, M. R. Delbecq, J. Yoneda, K. Takeda, A. Noiri, A. Ludwig, A. D. Wieck, S. Tarucha, A. Kanemura, and T. Otsuka, "Charge state recognition in double quantum dot devices by machine learning", *Symposium for The Core Research Clusters for Materials Science and Spintronics, and International Joint Graduate Program in Materials Science*, Online, Oct. 25, 2022.

3. 2 ブロードバンド工学研究部門の目標と成果

将来の大容量情報通信に柔軟に対応する電子デバイスと高速通信技術の未来システムの構築を目的に、マイクロ波、ミリ波・サブミリ波、テラヘルツ波、光波の広範な領域での各種情報信号の発生、伝送、処理、情報ストレージ技術の研究開発を行っている。

(1) 超高速光通信研究室

(目標) 超短光パルス伝送技術、デジタルコヒーレント光伝送技術、ならびにそれらを融合した超高速・高効率光伝送技術の研究開発を通じて、高速・大容量光通信システムの構築、限られた周波数帯域を有効に活用するための周波数利用効率の高い光伝送方式の実現、ならびに光通信と無線通信とを同じ電磁波として融合する新領域の開発を目指している。

(成果) 5Gにおいて実用化が開始されている 28 GHz 帯に光・無線融合フルコヒーレント伝送方式を適用し、マイクロストリップアンテナを用いて 16 Gbit/s、256 QAM 信号の光ファイバ 10 km、無線 3 m 伝送に成功した。また、60 GHz 帯アンテナとして実用化されている利得 37 dBi の小型平面アンテナを用いて、48 Gbits、256 QAM 信号の光ファイバ 10 km、無線 20 m フルコヒーレント伝送に成功した。

(2) 応用量子光学研究室

(目標) 高性能・高機能な半導体光デバイス実現へ向け、超高速、超低雑音動作可能な半導体光源、高機能半導体光変調器の研究を進めている。また新原理に基づく新機能半導体光デバイス創出を目的として、高機能半導体光デバイス及び新機能半導体光集積回路の研究を進めている。

(成果) 提案した混合変調半導体レーザ光源の共振器長短尺化による素子応答速度の高速化の検討を進め、共振器長を 410 μm とした混合変調半導体レーザで、小信号 E/O 応答帯域が 124 GHz にまで拡大できることを、検証実験を通して明らかにした。また、混合変調半導体レーザを被制御レーザ光源とした狭線幅光負帰還半導体レーザ光源によって最大周波数雑音パワースペクトル密度低減率を -40.4 dB、-20-dB 周波数雑音パワースペクトル密度低減帯域を 1.6 GHz にまで拡大できることを、検証実験を通して明らかにした。

(3) 先端ワイヤレス通信技術研究室

(目標) Society5.0 や Industry4.0 に示されている本格的な無線 IoT 社会の実現を目指し、先端ワイヤレス通信技術に関する研究を、デバイス・回路・実装・デジタル信号処理技術から送受信機・サブシステムに至るまで、一貫して研究・開発を行っている。

(成果) デジタル信号処理部と送信アンテナユニット間を市販の QSFP28 モジュールを用いた 25GbE 用光ファイバ伝送系により接続した、20GHz 帯 4 素子デジタルビームフォーミング送信アンテナを試作し、25GbE 光ファイバ伝送系の上限周波数であるナイキスト周波数(12.5GHz)を超える 20GHz 帯での動作を実証した。

(4) 情報ストレージシステム研究室

(目標) IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。高密度・高性能のストレージに対する需要の高まりに応え、次世代垂直磁気記録の研究を行う。高性能データインテンシブ解析に向け、コンピューティングとストレージを融合一体化したコンピューショナル・ストレージ解析プラットフォームの研究を行う。

(成果) 複数の個別の記録層を持つ記録媒体に対して選択的に多重記録することを可能にする、新しい3次元エネルギーアシスト記録技術を開発した。近接場光により媒体のナノメーター領域を加熱する熱アシスト磁気記録(HAMR)において、上下2層構造の記録各層のキュリー温度 T_c を最適化しレーザー加熱を制御することにより、多重記録による記録密度を2倍に高める性能を検証した。スピントルク発振素子を用いたニューロモルフィック記録構造の検討に着手した。加えて、コンピューション機能を近接化した2PB級コンピューショナル・ストレージシステムにオブジェクト分散ストレージ Ceph を実装し、ニューロン構造3次元可視化ツール等の実アプリに対するデータアクセス性能を検証した。HDD クラスタ並列転送のメリットを活かしたエッジキャッシュの利用により、データアクセス性能を大幅に高めることが確認できた。

(5) 超ブロードバンド信号処理研究室

(目標) いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し、次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として、新しい集積型のミリ波・テラヘルツ波電子デバイスの創出と、それらを応用した超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。

(成果) 第一に、炭素原子の単層材料：グラフェンをチャンネルとし、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する電界効果トランジスタを試作し、電子のみが関与するユニポーラ型光電熱テラヘルツ検出機構を新たに見出し、高速・高感度なテラヘルツ波検出に初めて成功した。(2022. 12. プレスリリース)。第二に、将来の光無線融合ネットワークにおいて不可欠な技術である、光データ信号からRFデータ信号への直接キャリア周波数下方変換を司るInGaAs系高電子移動度トランジスタをベースとした光ダブルミキサに対して、デバイスに入力される光信号を低雑音に高強度化する手法に着目し、その手法の同デバイスへの適用可能性を明らかにするとともに、最大で10倍以上の変換利得向上が見込めることを示した。

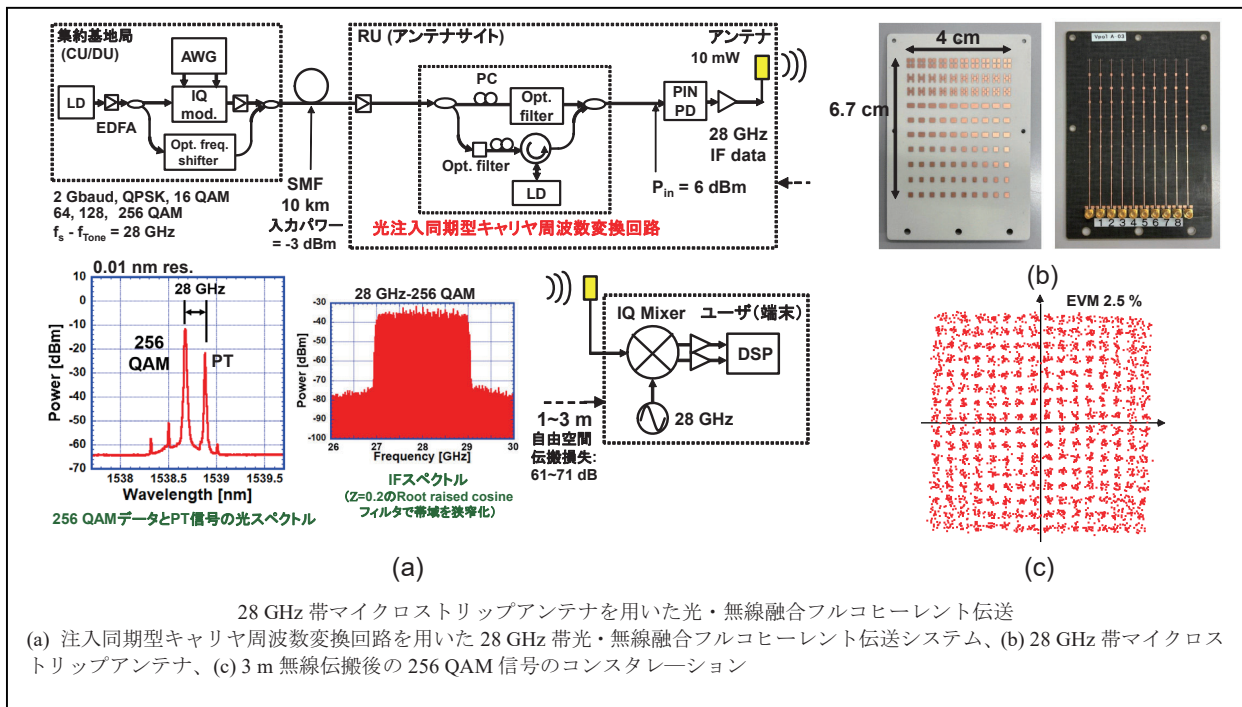
(6) 量子光情報工学研究室

(目標) 電子および光子を用いた量子情報通信デバイスの実用化を目指し、未来の量子情報通信の中核となるべき極限技術の開発に挑戦する。

(成果) (1) ファラデー回転計測における誤差・擾乱の不確定性関係の定式化と評価方法を開発。(2) 制御された擬似位相整合構造による超高純度周波数無相関光子対光源を開発。(3) 超低損失2段周回路型光子メモリ(バッファ)を開発。(4) ナノ光ファイバ上の金ナノ粒子・半導体量子ドット複合体によるプラズモン増強高性能単一光子源の開発と評価に成功。

超高速光通信研究室

次世代超高速光通信技術に関する研究



超高速光通信研究分野 教授 廣岡 俊彦
光波制御システム研究分野 准教授 葛西 恵介

<研究室の目標>

超高精細映像伝送や超臨場感通信をはじめとする高度なグローバル ICT サービスの実現のためには、高速・大容量な光伝送システムの構築が不可欠である。それと同時に、限られた周波数帯域を有効に活用するために、周波数利用効率の高い光伝送方式が望まれている。本研究室では、光時分割多重方式による 1 チャネルあたり Tbit/s 級の超高速光伝送、QAM と呼ばれるデジタルコヒーレント光伝送、ならびにそれらを融合した超高速・高効率光伝送技術の研究開発を進めている。また、5G/6G、IoT 等の新たな ICT サービスの進展を見据えて、デジタルコヒーレント伝送のアクセスネットワークおよびモバイルフロントホールへの展開と、光通信と無線通信とを同じ電磁波として融合する新領域の開発を目指している。

<2022 年度の主な成果>

1. 超高速光伝送技術に関する研究

本研究室では、スペクトル広がりを抑えつつ高速伝送を実現できる新たな光パルス「光ナイキストパルス」を提案している。2022 年度は、超高速光ナイキストパルス伝送に用いてきた分散補償伝送路において、従来の逆分散ファイバに代わり CFBG (Chirped Fiber Bragg Grating) を用いることにより、伝送路の大幅な低非線形化を実現した。これにより単一チャネル 15.3 Tbit/s-160 km 伝送の性能改善を図り、符号誤り率を 2/3 に低減することに成功した。

2. 光・無線融合フルコヒーレント伝送技術に関する研究

本研究室では、5G、Advanced 5G、Beyond 5G/6G 等の無線アクセスネットワークにおい

て、光と無線をシームレスにつなぐモバイルフロントホールとしてフルコヒーレントと呼ばれる光・無線融合伝送方式の実現を目指している。2022年度は、5Gにおいて実用化が開始されている28 GHz帯へ本伝送方式を適用し、マイクロストリップアンテナを用いた16 Gbit/s、256 QAM信号の光ファイバ10 km、無線3 mフルコヒーレント伝送に成功した。また、60 GHz帯アンテナとして実用化されている利得37 dBiの小型平面アンテナを用いて、48 Gbit/s、256 QAM信号の光ファイバ10 km、無線20 mフルコヒーレント伝送に成功した。

<職員名>

教授 廣岡 俊彦 (2018年より)

准教授 葛西 恵介 (2019年より)

<プロフィール>

廣岡 俊彦 2000年3月大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年4月コロラド大学博士研究員。2002年4月東北大電気通信研究所助手、2007年10月同准教授、2018年4月同教授、現在に至る。超高速光通信、非線形ファイバ光学の研究開発に従事。電子情報通信学会学術奨励賞、光科学技術研究振興財団研究表彰、文部科学大臣表彰若手科学者賞、RIEC Award など受賞。

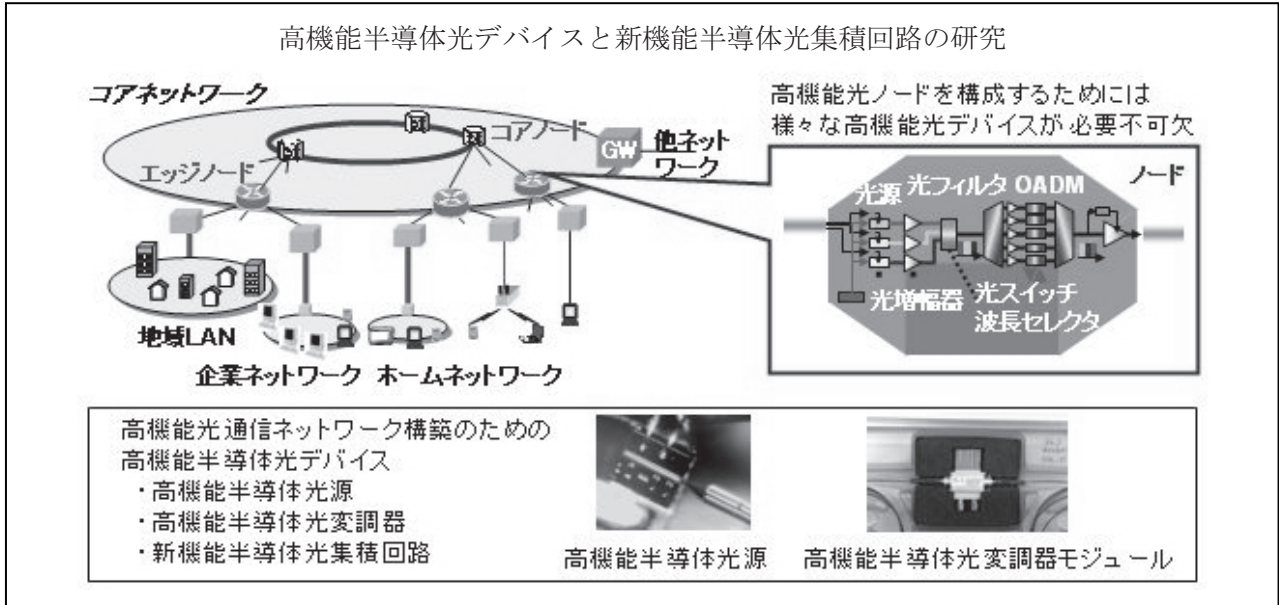
葛西 恵介 2008年3月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。2009年4月日本学術振興会特別研究員 (PD)。2012年11月東北大電気通信研究所助教。2019年8月同准教授、現在に至る。光波位相制御技術、デジタルコヒーレント光通信の研究開発に従事。電子情報通信学会 ELEX Best Paper Prize (2008年)、電子情報通信学会論文賞 (2012年) など受賞。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] M. Nakazawa and T. Hirooka, "Theory of FM Mode-Locking of a Laser as an Arbitrary Optical Function Generator," IEEE J. Quantum Electron., vol. 58, no. 2, 1300125, April (2022).
- [2] K. Kasai, T. Kan, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Broadband injection-locked homodyne receiver for digital coherent transmission using a low Q Fabry-Perot LD," Opt. Express, vol. 30, no. 8, pp. 13345-13355, April (2022).
- [3] M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Experiments on an AM Mode-Locked Laser as an Arbitrary Optical Function Generator," IEEE J. Quantum Electron., vol. 58, no. 3, 1300218, June (2022).
- [4] M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Experiments on an FM Mode-Locked Laser as an Arbitrary Optical Function Generator," IEEE J. Quantum Electron., vol. 58, no. 3, 1300316, June (2022).
- [5] M. Naghshvarianjahromi, S. Kumar, M. J. Deen, T. Iwaya, K. Kimura, M. Yoshida, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Software-Defined Fiber Optic Communications for Ultrahigh-Speed Optical Pulse Transmission Systems," IEEE J. Sel. Topics Quantum Electron., vol. 28, no. 4, 7500210, July-Aug. 2022.
- [6] K. Kimura, M. Yoshida, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "Experimental and Numerical Analysis of Ultrahigh-Speed Coherent Nyquist Pulse Transmission with Low-Nonlinearity Dispersion Compensator," IEICE Trans. Comm., vol. E105-B, no. 9, pp. 1014-1022, Sep. (2022).
- [7] M. Nakazawa and T. Hirooka, "Theory of Generation of Various Dark and Negative Pulses From an FM Mode-Locked Laser," IEEE J. Quantum Electron., vol. 58, no. 5, 1300524, Oct. (2022).
- [8] M. Nakazawa, K. Kasai, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Optical and Wireless Linked Fully Coherent Access System toward Next Generation RAN," IEICE Trans. Electron. (in Japanese), invited paper, vol. J105-C, no. 11, pp. 315-328, Nov. (2022).
- [9] M. Nakazawa, M. Yoshida, and T. Hirooka, "Experiments on Generation of Various Dark and Bright Pulses From an FM Mode-Locked Laser," IEEE J. Quantum Electron., vol. 58, no. 6, 1600523, December (2022).
- [10] M. Nakazawa and T. Hirooka, "Theory of Higher-Order Hermite-Gaussian Pulse Generation From an FM Mode-Locked Laser," IEEE J. Quantum Electron., vol. 59, no. 2, 1600325, Apr. (2023).

応用量子光学研究室

革新的光通信用高機能半導体光デバイスの創出に関する研究



高機能フォトンクス研究分野 教授 八坂 洋
 高精度光計測研究分野 准教授 吉田 真人
 新原理半導体光源研究分野 准教授 横田 信英

<研究室の目標>

新世代光通信ネットワークを構築する上で必要不可欠な高性能・高機能な半導体光源実現へ向け、超高速動作可能な半導体レーザ、超低位相ノイズ半導体レーザ、および高機能光変調器の研究を進めている。また、新原理に基づく新機能半導体光デバイス創出を目的として、高機能半導体光デバイス及び新機能半導体光集積回路の研究を行っている。光の強度、位相、周波数、偏波を自由に操ることのできる半導体光デバイス・光集積回路を実現することで、超大容量、高機能光通信ネットワークシステムの実現を目指している。

<2022年度の主な成果>

1. 超高速半導体レーザ光源

超高速・超大容量光通信ネットワークを構築する上で、100Gb/s以上の動作速度を有する高機能半導体光源の実現が必須である。半導体レーザの応答帯域拡大に向け、半導体レーザ共振器損失と注入電流量を同時に変調可能な混合変調半導体レーザの研究を進め、共振器長短尺化による素子応答速度の高速化の検討を進めた。素子長 410 μm の混合変調半導体レーザで、小信号 E/O 応答帯域を 124 GHz にまで拡大できることを実証実験を通して明らかにした。

2. 小型狭線幅半導体レーザ光源

近年注目されているデジタルコヒーレント光通信システムへの適用を目指し、簡便な構成の光学的負帰還回路による半導体レーザの線幅狭窄化の研究を継続して進めた。本光負帰還半導体レーザ光源において、位相雑音低減帯域を拡大するために、被制御半導体レーザに混合変調半導体レーザを適用する試みを進めた。DFB 領域長 375 μm 、共振器内損失変調領域長 220 μm の混合変調半導体レーザへ透過帯域幅 3.4 GHz の Si リングフィルタを結合することで、最大周波数雑音パワースペクトル密度低減率を -40.4 dB、-20-dB 周波数雑音パワースペクトル密度低減帯域を 1.6 GHz にまで拡大できることを検証実験を通して明らかにした。

<職員名>

教授 八坂 洋 (2008 年より)
 准教授 吉田 真人 (2018 年より)
 准教授 横田 信英 (2022 年 10 月より)

<プロフィール>

八坂 洋 1983 年 3 月 九州大学理学部物理学科卒業。1985 年 3 月 同大学院理学研究科物理学専攻博士前期課程修了。1985 年 4 月 日本電信電話(株)入社、NTT 厚木電気通信研究所、NTT 光エレクトロニクス研究所、NTT 光ネットワークシステム研究所、NTT フォトニクス研究所勤務。1993 年 12 月工学博士(北海道大学)。2008 年 4 月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。光通信用高機能半導体光デバイスの研究開発に従事。

吉田 真人 1997 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業。2001 年 3 月 同大学院工学研究科電子工学専攻博士課程後期課程修了。2001 年 4 月 同大電気通信研究所助手。2011 年 7 月 同准教授、現在に至る。ファイバレーザおよびそれを用いた光計測の研究開発に従事。

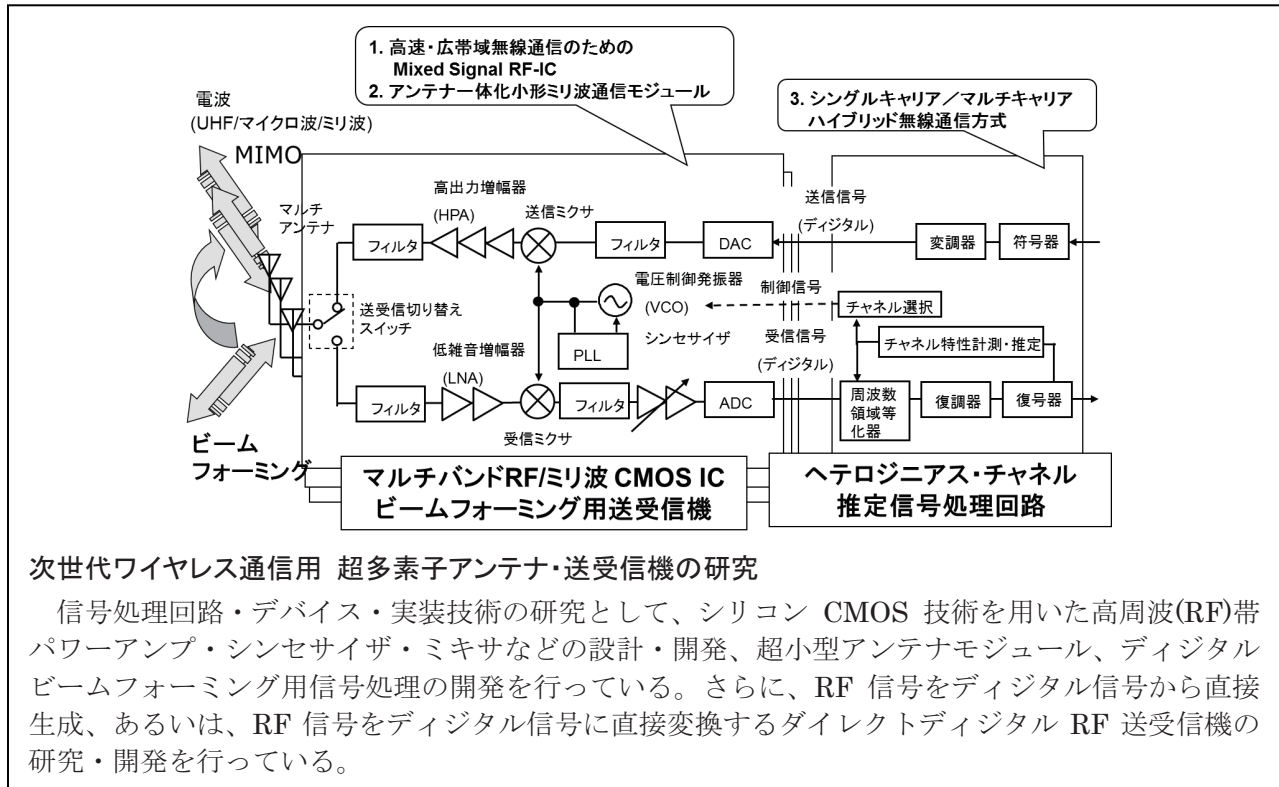
横田 信英 2009 年 3 月 高知工業高等専門学校専攻科機械・電気工学専攻卒業。2011 年 3 月 奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科博士前期課程修了。2014 年 3 月 同博士後期課程修了。2014 年 4 月 東北大学電気通信研究所助教。2022 年 10 月 同准教授、現在に至る。新原理半導体光源の研究開発に従事。

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] N. Yokota, H. Kiuchi, and H. Yasaka, "Directly modulated optical negative feedback lasers for long-range FMCW LiDAR," *Optics Express*, vol. 30, No. 7, pp. 11693-11703, 2022.
- [2] T. Shima, M. Yoshida, N. Yokota, W. Kobayashi, and H. Yasaka, "Measurement of Wide-band Modulation Characteristic in Hybrid Modulation Laser," *The 27th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2022)*, WD1-3, 2022.
- [3] K. Uchyama, N. Yokota, W. Kobayashi, and H. Yasaka, "Numerical Analysis of Hybrid Modulation Semiconductor Lasers for 100 Gbit/s Dynamic Single Mode Operation," *The 27th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2022)*, WD1-4, 2022.
- [4] 浅見昇輝、内山香、横田信英、八坂洋、"結合波方程式を用いた混合変調半導体レーザの高速動作解析"、電子情報通信学会技術研究報告、vol. 122, no. 218, pp. 116-119, 2022.
- [5] H. Yasaka, W. Kobayashi and N. Yokota, "Numerical Analysis of 100-Gbit/s Dynamic Single-Mode Operation of Hybrid-Modulation Semiconductor Lasers," *IEEE Journal of Quantum Electronics*, vol. 59, No. 2, 1200107, 2023.
- [6] 吸坂直樹、横田信英、八坂洋、"光負帰還による混合変調レーザの広帯域周波数雑音低減"、2023 年電子情報通信学会総合大会、C-3/4-52、2023.
- [7] T. Shima, N. Yokota, M. Yoshida, W. Kobayashi and H. Yasaka, "Measurement of 124-GHz E/O modulation bandwidth in hybrid modulation laser," *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 35, No. 10, pp. 565-568, 2023.

先端ワイヤレス通信技術研究室

次世代無線通信デバイス・システムの実現に向けて



先端ワイヤレス通信技術研究分野

教授 末松 憲治

<研究室の目標>

将来目指すべき高度情報化社会である Society5.0 や Industry4.0 に示されている本格的な無線 Internet of Thing (IoT)社会の実現においては、大量かつ様々なモノをリアルタイムかつブロードバンドでインターネット網に接続する必要があり、無線通信技術はますます重要となっている。この無線通信技術の中でも、特に物理層である送受信機ハードウェア技術は、目標とするシステム実現を支える重要な基盤技術である。当研究室では高度情報ネットワークの実現を目指して、先端ワイヤレス通信技術 (Advanced Wireless IT) に関する研究を、デバイス・回路・実装・デジタル信号処理技術から送受信機・サブシステムに至るまで一貫して研究・開発を行っている。

<2022 年度の主な成果>

1. ミリ波 (40GHz) 帯ダイレクトデジタル RF 送信機の実証

Beyond5G で注目され始めているミリ波(40 GHz)帯の RF 信号を直接デジタル信号から生成するミリ波ダイレクトデジタル RF 送信機を試作し、実証実験を行った。デジタル領域で、キャリア周波数 8GHz の変調波を 32Gbps で 1-bit バンドパス $\Delta \Sigma$ 変調して NRZ 信号を得る。通常は、NRZ 信号出力の 8GHz 付近に生成される第 1 ナイキスト領域の基本波信号を出力として使うが、我々の提案するダイレクトデジタル RF 送信機では、ナイキスト周波数を越えた第 n (n>2) 次ナイキス

ト領域に発生するイメージを送信 RF 信号として取り出すものである。今回は、第3ナイキスト領域の第2イメージ成分を取り出すことで、40GHz帯の送信信号を得ることに成功した。ダイレクト R 送信機としては、これまでの最高周波数となるものであり、この実証結果は、3大マイクロ波国際会議の1つである Asia Pacific Microwave Conference (APMC)に採録された。

2. 超 100GHz 帯オンチップアンテナ測定系の開発

サブ THz 帯の送受信機では、送受信機を構成する RFIC とアンテナとの接続部の実現が難しく、アンテナを RFIC の半導体チップ上に集積するオンチップアンテナの研究開発が進められている。当研究室では、超 100GHz 帯のオンチップアンテナの試作を行うとともに、このアンテナ放射パターンを評価するための測定系を開発し、設計通りの放射パターンが得られていることを検証した。オンチップアンテナの入出力端子は、Si-RFIC 上のグランデッドコプレーナ線路端に設けられた GSG(グラウンド-信号-グラウンド)の PAD(パッド)に超 100GHz 帯の RF 信号を印加するために、RFプローバが必要となるが、周辺の金属部が放射パターンに大きく影響してしまうため、既存のプローブステーションは使えない。我々は放射パターンに影響を極力与えないプローブステーションと、プローブステーションと一体化した2次元アンテナ放射パターン測定系を開発した。

<職員名>

教授 末松 憲治

助教 古市 朋之

研究員 ジャン テンガ

技術補佐員 富澤 幸恵 山田 かおり

<プロフィール>

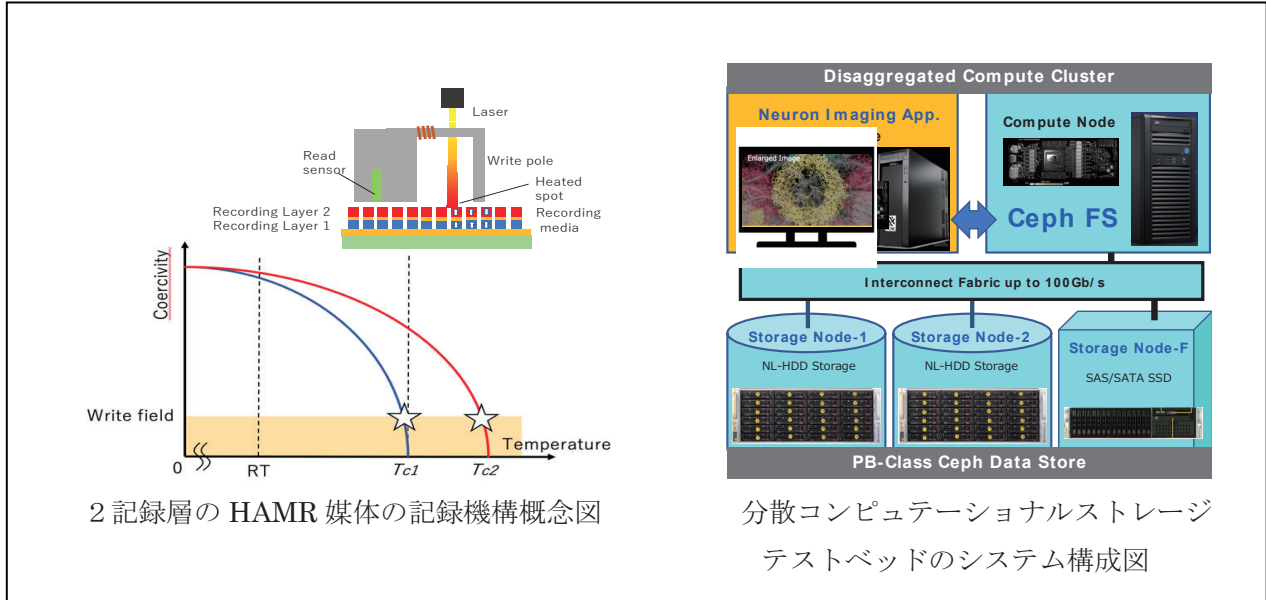
末松 憲治 1987 年 3 月早稲田大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士前期課程修了。博士 (工学) (2000 年)。1987 年 4 月三菱電機 (株) 入社。1992 年 9 月～1993 年 9 月英国リーズ大学客員研究員。2008 年 4 月～2010 年 3 月東北大学電気通信研究所客員教授。2010 年 4 月教授。1997 年、2006 年、2009 年関東地方発明表彰発明奨励賞、2002 年第 50 回電気科学技術奨励賞 (オーム技術賞)、2009 年文部科学大臣表彰科学技術賞 (開発部門)、2012 年電子情報通信学会エレクトロニクス賞各受賞。電子情報通信学会フェロー、IEEE シニア会員。

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] R. Tamura, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "7.5 GHz-Band Digital Beamforming Using 1-bit Direct Digital RF Transmitter with 10GbE Optical Module," 51th European Microwave Conference (EuMC), pp. 51-54, Apr. 2022.
- [2] L. Zhu, S.-H. Shin, R. Payapulli, T. Machii, M. Motoyoshi, N. Suematsu, N. M. Ridler, S. Lucyszyn, "3-D printed sub-THz rectangular waveguide with integrated 65 nm CMOS RFIC," IEEE Microwave and Wireless Technology Letters (MWTL), Vol. 33, pp. 157-160, Feb. 2023.
- [3] J. Zhang, N. Suematsu, "A 20GHz-Band Optical-Fiber-Feed 1-Bit Bandpass Delta-Sigma Direct Digital RF Transmitter Using First Image Component of the QSFP28 Module Output," 3rd URSI Atlantic and Asia Pacific Radio Science Meeting (AT-AP-RASC), May. 2022.
- [4] J. Temga, M. Motoyoshi, N. Suematsu, "100GHz-Band On-Chip 1x2 Phased Array Antenna Fed By hybrid Coupler On 45nm CMOS SOI," 2022 IEEE Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp. 164-166, Aug. 2022.
- [5] J. Zhang, N. Suematsu, "40GHz-Band Direct Digital RF Modulator using the 2nd Image Component of 1-Bit Delta-Sigma Modulated Signal," 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp. 496-498, Nov. 2022.

情報ストレージシステム研究室

高密度・高速エネルギーアシスト磁気記録、及び
コンピューテーショナル・ストレージシステム研究



情報ストレージ・コンピューティングシステム研究分野 教授 田中 陽一郎
記録理論コンピューテーション研究分野 准教授 サイモン グリーブス

<研究室の目標>

IT 技術の進展とともに飛躍的な情報量の増大が続いている。この膨大な情報の蓄積を担うのがデータセンターであり、その中心技術がハードディスク装置 (HDD) を代表とする磁気記録ストレージである。増大する情報量に対応するために高記録密度化による HDD の記録容量増加の努力が続けられており、本分野では超高密度情報ストレージデバイスを目指し研究を進めている。コンピュータシミュレーションによる記録及び再生理論の検討と、今後の高速データ転送速度と高い面記録密度を実現するためのエネルギーアシスト垂直磁気記録再生方式の確立に取り組んでいる。さらに、高性能データインテンシブ解析に向け、コンピューティングとストレージを融合一体化してインテリジェンス性を高めたコンピューテーショナル・ストレージ解析プラットフォームの研究を行っている。

<2022 年度の主な成果>

磁気記録装置の高速化、高密度化のための技術開発の取り組みとして、今年度はエネルギーアシスト垂直磁気記録に注力した[1][2][3]。近接場光により媒体のナノメーター領域を加熱する熱アシスト磁気記録 (HAMR) 方式による記録多重化の可能性について継続して研究を実施した。上下 2 層構造の記録各層のキュリー温度 T_c を最適化しレーザー加温を制御することにより、多重記録による記録密度を 2 倍に高める性能を検証した。また、スピントルク発振素子を用いたニューロモルフィック記録構造の検討に着手した。

大規模ストレージとコンピューテーション機能を近接化して PB 級データセットの解析を行うコンピューテーショナル・ストレージの研究を推進している。今年度は、2PB 級の大規模ストレージにコンピューテーション機能を近接化して配置したコンピューテーショナル・ストレージシステムに、オブジェクト分散ストレージシステム Ceph を実装し、データアクセス性能を検証した。蛍光顕微鏡で撮像した脳ニューロン構造データを使ったニューロン構造 3 次元可視化ツールとラット大脳皮質神経画像システムの実アプリに対するデータアクセス性能を検証した。大規模データ処理に対し、HDD クラスタ並列転送のメリットを活かしたエッジキャッシュの利用により、データアクセス性能を大幅に高めることが検証された[4]。本研究に対し、2020 年度より科研費基盤研究 (B) 20H02194 の助成を受けている。

<職員名>

教授 田中 陽一郎 (2019 年より)

准教授 サイモン グリーブス (2003 年より)

<プロフィール>

田中 陽一郎 1981 年 3 月東北大学工学部通信工学科卒業。1983 年 3 月同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士前期課程修了。2006 年 9 月同電子工学専攻博士後期課程修了。1983 年 4 月東芝。2016 年 11 月山形大学大学院教授。2019 年 4 月東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。高密度垂直磁気記録方式、情報ストレージシステムの研究開発に従事。日経 BP 技術賞 (2006 年)、日本応用磁気学会業績賞 (2006 年)、大河内記念技術賞 (2007 年) を受賞。日本磁気学会フェロー。IEEE Magnetic Society Distinguished Lecturer for 2023.

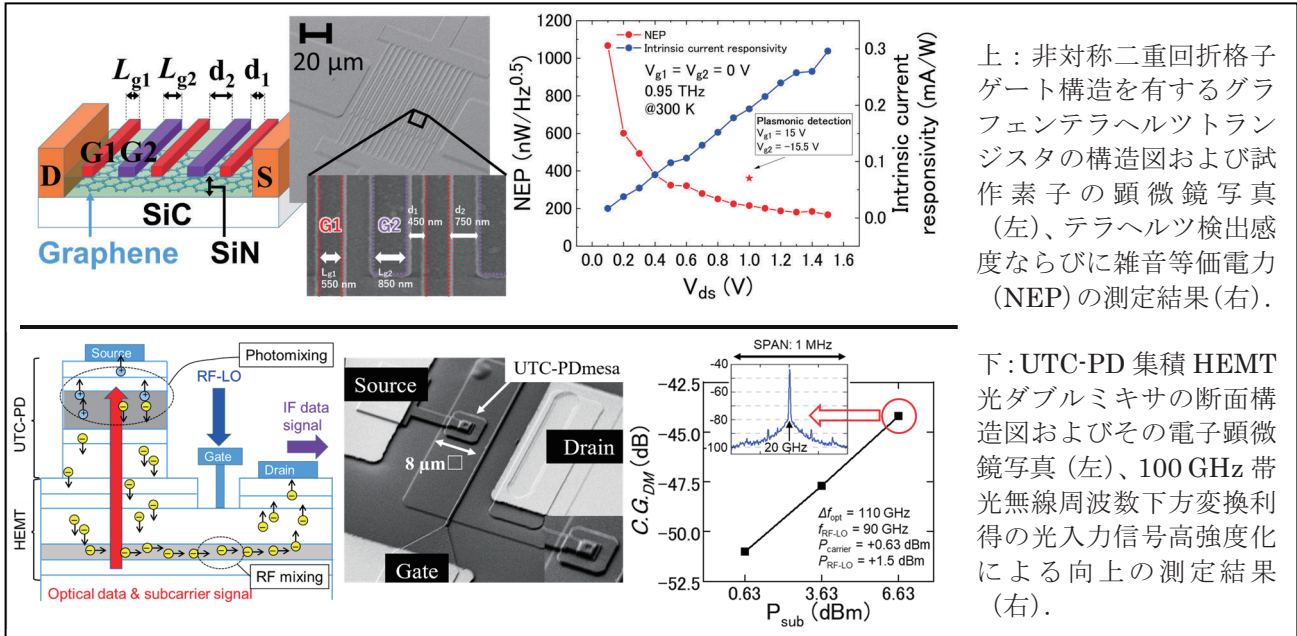
サイモン グリーブス 1993 年英国サルフォード大学大学院物理学科博士課程修了。同年英国ウェールズ大学助手。2000 年 HOYA 株式会社。2003 年東北大学准教授。高密度磁気記録理論、大規模コンピュータシミュレーション、等の研究に従事。

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] H. Yamane, S. Greaves and Y. Tanaka, "Optimising the thickness and diameter of dual structure patterned media dots for heat assisted magnetic recording", IEEE Trans. Mag. Vol. 58, No. 8, 3200705, (2022).
- [2] S. J. Greaves and Y. Kanai, "Hysteresis loops of recording media grains under the influence of high-frequency fields", IEEE Trans. Mag. Vol. 59, No. 3, 3200607, (2023).
- [3] S. J. Greaves, R. Itagaki and Y. Kanai, "Optimisation of soft layer uniaxial anisotropy gradient in media for microwave assisted magnetic recording", IEEE Trans. Mag. Vol.58, No. 4, 3101309, (2022).
- [4] 川田悠貴, 田中陽一郎, "脳神経構造可視化ツールを用いた分散ストレージ Ceph のデータアクセス性能の評価検討", 日本磁気学会第 46 回学術講演会, 08aD-8, (2022).
- [5] 川田悠貴, 田中陽一郎, "脳神経構造可視化アプリケーションを用いた分散ストレージ Ceph のデータアクセス性能の評価検討", 電子情報通信学会 信学技報, MRIS2022-5, vol.122, MRIS-63, pp.24-29, (2022).
- [6] 田中陽一郎, Simon Greaves, "次世代スマート社会を推進する情報ストレージの展望", 電子情報通信学会ソサエティ大会, CS-2-7, (2022).

超ブロードバンド信号処理研究室

ミリ波・テラヘルツ波帯電子デバイスの創出と
その情報通信への応用に関する研究



超ブロードバンドデバイス・システム研究分野 教授 尾辻 泰一
超ブロードバンドデバイス物理研究分野 准教授 佐藤 昭

<研究室の目標>

本研究分野では、いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し、次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として、半導体ヘテロ接合構造内に凝集した二次元電子系の分散特性や緩和応答を利用した新しい集積型のミリ波・テラヘルツ波帯電子デバイスの創出と、それらを応用した超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。

<2022 年度の主な成果>

1. 超ブロードバンドデバイス・システム研究分野

未踏テラヘルツ電磁波領域の技術を開拓するために、新材料・新構造・新原理を駆使した新しいテラヘルツ帯電子デバイス・回路システムの創出と、それらの情報通信・計測システムへの応用に関する研究を推進している。今年度は、炭素原子の単層材料：グラフェンをチャネルとし、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有する電界効果トランジスタを試作し、電子のみが関与するユニポーラ型光電熱テラヘルツ検出機構を新たに見出し、高速・高感度なテラヘルツ波検出に初めて成功した。(2022.12. プレスリリース)。

2. 超ブロードバンドデバイス物理研究分野

新規材料・動作原理に基づくミリ波・テラヘルツ波帯デバイスの創出を目指し、デバイス内の電子輸送現象・光電子物性の理論的解明や実験的実証を行なうとともに、超高速無線通信や光電子融合ネットワークへのデバイス実用化に向けた研究開発を進めている。将来の光無線融合ネットワークにおいて不可欠な技術である、光データ信号から RF データ信号への直接キャリア周波数下方変換を実現するため、InGaAs 系高電子移動度トランジスタをベースとした光ダブルミキサの研究を進めている。今年度は、デバイスに入力される光信号を低雑音に高強度化する手法に着目し、その手法の同デバイスへの適用可能性を明らかにするとともに、最大で 10 倍以上の変換利得向上が見込めることを示した。

<職員名>

教授 尾辻 泰一 (2005年より)
 准教授 佐藤 昭 (2017年より)
 特任准教授 林 宗澤 (2022年より)
 助教 渡辺 隆之 (2017年より)、 唐 超 (2023年より)
 学術研究員 RYZHII Victor
 秘書 菅野 穂

<プロフィール>

尾辻泰一 1982年3月九州工業大学工学部電子工学科卒業。1984年3月同大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。1994年2月博士(工学)取得(東京工業大学)。1984年4月電電公社厚木電気通信研究所入所。1999年4月九州工業大学情報工学部助教授。2001年9月同教授。2005年4月東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。テラヘルツデバイスとその超ブロードバンド信号処理への応用に関する研究開発に従事。文部科学大臣表彰科学技術賞(研究分野)受賞(2019年)、IEEE GaAs IC Symposium Outstanding Paper Award受賞(1997年)、IEICE業績賞(2021年)。IEEE Electron Device Society Distinguished Lecturer, IEEE Fellow, OSA Fellow, JSAP Fellow, IEICEシニア会員, MRS, SPIE, 各会員。
佐藤 昭 2003年3月会津大学コンピュータ理工学部ハードウェア学科卒業。2005年3月同大学院コンピュータ理工学研究科コンピュータシステム学専攻博士前期課程修了。2006年4月-2008年3月日本学術振興会特別研究員(DC2)。2008年3月同専攻博士後期課程修了。2008年4月同大学情報センター助教。2009年4月同大学先端情報科学研究センター助教。2010年4月東北大学電気通信研究所助教。2017年11月同准教授、現在に至る。テラヘルツ・ミリ波デバイス物理の研究開発に従事。IEEE Senior Member, APS, 応用物理学会, IEICE, 各会員。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] D. Nakajima, K. Nishimura, M. Watanabe, T.-T. Lin, K. Kasai, M. Yoshida, T. Suemitsu, T. Otsuji, A. Satou, "Conversion Gain Enhancement of a UTC-PD-Integrated HEMT Photonic Double-Mixer by High-Intensity Optical Subcarrier Signal," OFC 2023, San Diego, California, USA, March 5-9, 2023.
- [2] K. Tamura, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Fast and sensitive terahertz detection in a current-driven epitaxial-graphene asymmetric dual-grating-gate FET structure," APL Photonics, vol. 7, iss. 7, pp. 16101-1-10, Dec. 2022. DOI: [10.1063/5.0122305](https://doi.org/10.1063/5.0122305) (Featured article)
- [3] K. Tamura, C. Tang, D. Ogiura, K. Suwa, H. Fukidome, Y. Takida, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Unipolar photothermoelectric THz detection assisted by Coulomb drift/diffusion of Dirac fermions in asymmetric dual-grating-gate graphene FETs," RPGR 2022, Taipei, Taiwan, Nov. 13-17, 2022. (Best Student Paper Award)
- [4] C. Tang, K. Tamura, A. Satou, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Single-asymmetric-gated graphene field-effect transistor for terahertz applications," SSDM 2022, J-3-03, Makuhari, Chiba, Sept. 26-29, Japan.
- [5] V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M.S. Shur, "Resonant plasmonic terahertz detection in gated graphene p-i-n field-effect structures enabled by nonlinearity from Zener-Klein tunneling," Phys. Rev. Appl., vol. 18, no. 3, pp. 034022-1-12, Sept. 2022. DOI: [10.1103/PhysRevApplied.18.034022](https://doi.org/10.1103/PhysRevApplied.18.034022)
- [6] K. Narita, T. Negoro, Y. Takida, H. Ito, H. Minamide, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "Pulse Response of Asymmetric Dual-Grating-Gate HEMT Plasmonic THz Detector," IRMMW-THz 2022, Th-PM1-2-2, Delft, Netherland, Aug. 28-Sept. 2, 2022. DOI: [10.1109/IRMMW-THz50927.2022.9895931](https://doi.org/10.1109/IRMMW-THz50927.2022.9895931)
- [7] D. Nakajima, K. Nishimura, T. Hosotani, K. Kasai, M. Yoshida, T. Suemitsu, T. Otsuji, and A. Satou, "UTC-PD-Integrated HEMT For Optical-to-MMW/THz Carrier Frequency Down-Conversion: Scaling Rule of Conversion Gain on UTC-PD Mesa Size," IRMMW-THz 2022, Mo-P-1, Delft, Netherland, Aug. 28-Sept. 2, 2022. DOI: [10.1109/IRMMW-THz50927.2022.9895988](https://doi.org/10.1109/IRMMW-THz50927.2022.9895988) (Swiss THz Prize)
- [8] A. Satou and T. Otsuji, "Recent progress in the development of grating-gate InGaAs-channel HEMTs for fast and sensitive THz detection," SPIE Optics+Photonics 2022, Paper 12230-18, San Diego, CA, USA, Aug. 21-25, 2022. (invited). DOI: [10.1117/12.2633618](https://doi.org/10.1117/12.2633618)
- [9] T. Otsuji, "Controlling the non-Hermitian graphene Dirac plasmons and its application to terahertz laser transistors," CLEO-PR 2022, CMP3B-01, Sapporo, Japan, July 31 - Aug. 5, 2022. (invited)
- [10] A. Satou and T. Otsuji, "Recent Advances of Grating-Gate Transistors for Fast, Sensitive, Room-Temperature Plasmonic Terahertz Detection," SUM 2022, WF3.1, Cabo San Lucas, Mexico, July 11-17, 2022. (invited) DOI: [10.1109/SUM53465.2022.9858286](https://doi.org/10.1109/SUM53465.2022.9858286)
- [11] T. Otsuji, A. Satou, S.A. Boubanga-Tombet, H. Fukidome, M. Ryzhii, K. Narahara, V. Mitin, M.S. Shur, and V. Ryzhii, "Recent advances in the research of graphene plasmonic terahertz laser transistors," the 241st ECS Meeting Proc., paper # B04-0779, Vancouver, BC, Canada, May 29 - June 2, 2022. (invited)

量子光情報工学研究室

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

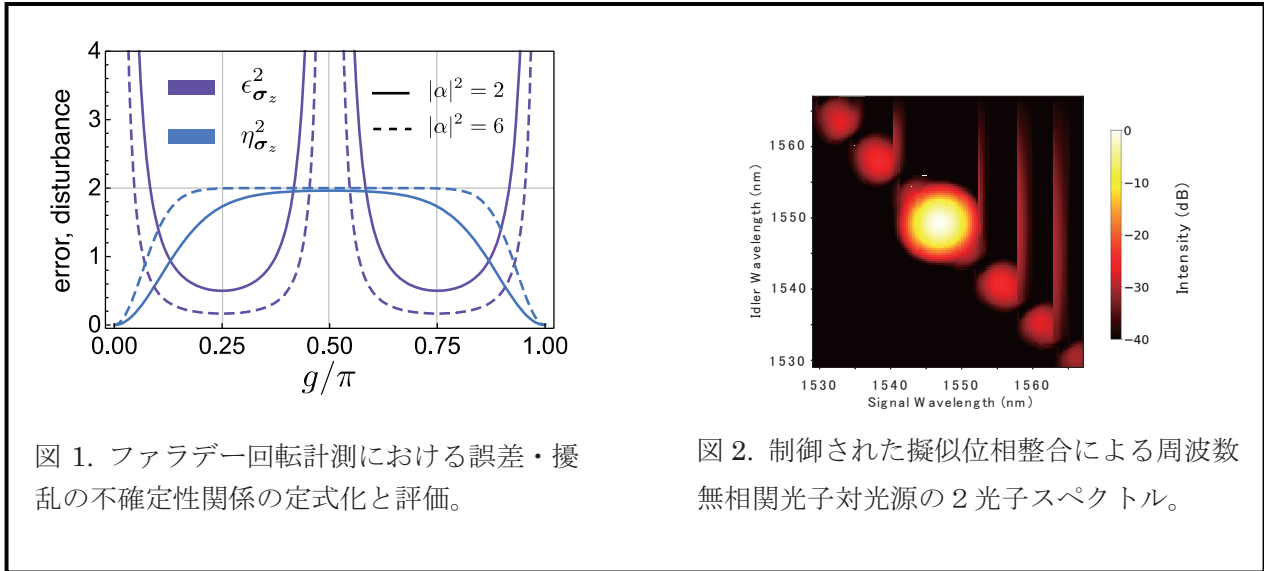


図 1. ファラデー回転計測における誤差・擾乱の不確定性関係の定式化と評価。

図 2. 制御された擬似位相整合による周波数無相関光子対光源の 2 光子スペクトル。

量子光情報システム研究分野

教授 枝松 圭一

量子光情報デバイス研究分野

准教授 金田 文寛

<研究室の目標>

現在の情報処理・通信技術は、信号を電圧や周波数などの古典的でマクロな物理量に対応させて様々な処理を行っているが、近い将来、情報の高密度化と高速化に限界が訪れることが指摘されている。これに対し、個々の電子や光子などのマイクロな量に情報を保持させ、量子力学の原理を直接応用することによって、従来の限界を打ち破る性能を持ちうる量子情報通信技術の実用化が強く期待されている。本研究室は、電子および光子を用いた量子情報通信デバイスおよびシステムの実用化を目指し、未来の量子情報通信の中核となる極限技術の開発に積極的に挑戦する。

<2022 年度の主な成果>

(1) ファラデー回転計測における誤差・擾乱の不確定性関係の定式化と評価

光の偏光回転を用いて磁気モーメントを測るファラデー回転計測における、誤差・擾乱の不確定性関係を定式化・評価する手法を開発した (図 1)。

(2) 制御された擬似位相整合構造による高純度周波数無相関光子対光源の開発

量子もつれ光子や伝令付単一光子を生成する光子対光源として理想的な、制御された擬似位相整合による高純度周波数無相関光子対光源を開発した (図 2)。

(3) 超低損失 2 段周回路型光子メモリ(バッファ)の開発

伝令付単一光子を時間多重化してオンデマンドな単一光子を生成するための、超低損失 2 段周回路型光子メモリ (光子バッファ) を開発した。

(4) ナノ光ファイバを用いた単一光子光源の開発

ナノ光ファイバ上の金ナノ粒子・半導体量子ドット複合体によるプラズモン増強単一光子源を開発した。

<職員名>

教授 枝松圭一 (2003年より)

准教授 金田文寛 (2022年より)

助教 BAEK, Soyoungh (2018年より)

事務補佐員 渋谷美奈子

<プロフィール>

枝松 圭一 1987年東北大学大学院理学研究科博士課程修了, 東北大学工学部助手, California Institute of Technology 客員研究員, 東北大学大学院工学研究科助教授, 大阪大学大学院基礎工学研究科助教授, 2003年1月より現職

金田 文寛 2012年東北大学大学院工学研究科博士課程修了, 東北大学電気通信研究所教育研究支援者, イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校物理学科博士研究員, 東北大学学際科学フロンティア研究所助教, 2022年4月より現職

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] B.H. Le and K. Edamatsu, “Error-disturbance uncertainty relations in Faraday measurements”, Phys. Rev. A **105**, 052228 (2022) doi: [10.1103/physreva.105.052228](https://doi.org/10.1103/physreva.105.052228)
- [2] M. Sugawara, Y. Xuan, Y. Mitsumori, K. Edamatsu, and M. Sadgrove, “Plasmon-enhanced polarized single photon source directly coupled to an optical fiber”, Phys. Rev. Research **4**, 043146 (2022) doi: [10.1103/physrevresearch.4.043146](https://doi.org/10.1103/physrevresearch.4.043146)

3. 3 人間情報システム研究部門の目標と成果

情報通信システムの高度化のためには、人間の情報処理過程の仕組みの解明とその応用、いつでも・どこでも通信できる環境の実現が重要である。本部門は、生体情報生成の解明、音声・視覚を中心とした人間情報処理過程の解明を進め、情報通信環境の最適化を行うことにより、人間によりフレンドリーな高度情報通信システムを実現することを目標としている。

この目標をより確実に達成するため、以下の7分野体制で研究を進めている：(1) 生体と情報通信環境について有用な情報の創成と制御システム実現を目指す生体電磁情報研究分野、(2) 聴覚認識情報処理過程の解明と高次音環境及びマルチモーダル情報の認識・符号化・提示システムの研究開発を行う先端音情報システム研究分野、(3) 視覚を中心とした脳の情報処理機構の解明と視環境・情報環境評価などの応用的展開の研究を行う高次視覚情報システム研究分野、(4) インタラクティブコンテンツの技術開発を進める情報コンテンツ研究分野、(5) 生物のようにしなやかかつタフに実世界環境に適応可能なシステムの設計原理の理解を目指す実世界コンピューティング研究分野、(6) 微細加工技術とバイオ材料との融合により新機能バイオ情報デバイスの創成を目指すナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野、(7) 五感すべての情報を扱うために必要な基盤的研究を行う多感覚情報統合認知システム研究分野。

2022年度の各分野の研究目標と成果の概要を以下に示す。

(1) 生体電磁情報研究分野

(目標) 磁氣的微細構造を制御した磁性体を利用し、磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサ並びにシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指して研究を遂行した。

(成果) パルスレーザーと磁性ガーネットを利用した高周波磁界計測システムにおいて、被測定磁界とシステムの新たな同期手法を提案し、実験によりその有用性を示した。本手法を用い、ギガヘルツ帯域で動作する市販の周波数シンセサイザの集積チップ部分の近傍高周波磁界分布を可視化することに成功した。さらに、より高精度な高周波磁界計測システムの実現、および新しい磁気光学デバイス開発を目指し、磁性ガーネット材料の性能向上を行った。セリウムをドーブした磁性ガーネット材料の断面を透過電子顕微鏡で観察したところ、基板と膜の界面に非晶質層があることが明らかになり、この層が磁気光学特性を低下させていることを明らかにした。これを踏まえ、この層の発現を抑制する磁性ガーネットの新たな作製手法を考案し性能改善を進めている。

(2) 先端音情報システム研究分野

(目標) ヒトの最重要情報処理過程の一つである聴覚系の情報処理過程と、聴覚を含む複合感覚情報処理過程を明らかにするとともに、その知見を応用して、臨場感あふれる音響通信システムやユーザインターフェイス等の開発を行っている。

(成果) 聴覚情報・多感覚情報処理過程に関する研究では、視聴覚コンテンツに最適な全身振動情報を生成する多感覚コンテンツ生成法に関する研究を行い、視聴覚情報の特徴量から提示すべき全身振動の振動レベルを導出する方法を提案した。さらに聴覚情報処理障

害を有する聴取者に対し聴覚の空間的注意の様相を明らかにする研究も進めた。3次元音空間收音・提示技術に関する研究では、遠距離で測定した頭部伝達関数から近距離頭部伝達関数を合成する技術の開発を進め、頭部中心から耳までの位置のズレを考慮することでこれまで以上に近距離頭部伝達関数を精度良く合成できる技術の提案を行った。

(3) 高次視覚情報システム研究分野

(目標) 人間の視覚に関する脳内の情報処理機構を解明する事により、人間に適した視環境・情報環境の設計や、情報機器の評価などの応用的展開を目標として研究を行っている。

(成果) 2022年度の主な成果は以下の2件である。1) 顔表情を利用して学習時の集中度を推定する手法について検討した。学習への集中度が高いほど、学習と無関係な刺激(課題非関連刺激)の検出に時間がかかるという仮定のもと、顔表情から課題非関連刺激に対する応答時間を予測することに成功した。2) 視覚探索における collinear search impairment (CSI) に関して、その説明要因として考えられる縦横に並ぶ線分要素がグループ化されることによる影響について検討した。共線構造の上に並んだ標的刺激とそれ以外の位置の標的刺激に関して、要素線分のグループ化による違いを減らすために、45度に傾けた線分で構成される刺激を用いて実験を行った。その刺激に対して、オリジナルの条件のCSIと同程度の効果を得たことから、検証したグループ化の要因がCSIの主要な要因とはいえないことを確認した。

(4) 情報コンテンツ研究分野

(目標) コンピュータで直接扱えるようにデジタル化されているものだけでなく、身の回りのあらゆるものをコンテンツと捉え、これらを活用して人々が快適に、または効率的・直感的に作業をしたり、円滑かつ豊かなコミュニケーションができるようにするために、人と空間(およびその構成物)のインタラクションを考慮して、インタラクティブコンテンツに関する研究に取り組む。

(成果) 本年度の主な成果は次の4つである。(1) スマートフォン内蔵の前面・背面カメラと深度センサを同時に用いることで、ユーザがスマートフォンを自然に把持した状態で、そのユーザの視線トラッキングを可能とする手法を提案した。(2) スマートフォンに対する2種類の力の方向(垂直方向と剪断方向)と2種類の力の印加面(タッチ面と背面)からなる4種類の力の入力を可能とする磁気式のスマートフォンケース型のデバイスを開発した。(3) 同一の共振周波数を持つ複数のLCコイルを用いて、死角なく対象の3次元位置を計測し続けることができるシステムを開発した。(4) 高さや位置を自動的に変更できるロボットを複数台用いて、ユーザが自由の空間を仕切ることができる空間構築システムを開発した。

(5) 実世界コンピューティング研究分野

(目標) 生物が示すしなやかかつレジリエントな振る舞いに内在する適応能力の発現原理の解明、ならびにその人工物システムへの実装方策の構築を目指す。

(成果) 2022年度の主たる研究成果は以下の通りである:(1) ムカデの不整地歩行における柔軟な身体と脚の協調メカニズムを明らかにした。(2) 古生物の非定常運動のメカニズムを構成論的に明らかにした。(3) active sensingに基づく移動体の衝突回避制御則を構築した。(4) 解剖学的知見に基づく柔軟な身体を有する四脚ロボットを設計した。

(6) ナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野

(目標) ナノテクノロジーとバイオ・有機材料との融合により固体チップ上に多様な生体機能を再構成し、これらに基づく種々の電子・イオンデバイスを開発し、健康社会のための新技術として展開することを目指している。

(成果) 2022 度は、細胞膜上に存在するイオンチャンネルタンパク質の機能解析法として 2 種の人工細胞膜システムを構築し、薬物スクリーニング系や膜タンパク質機能解析の革新的新手法として展開するための技術基盤を確立した。また、構造制御した培養神経細胞の活動を高時間分解能で記録するためのデバイス表面修飾法の確立や、培養神経回路の刺激応答を用いた音声信号のパターン分類にも成功した。その他、国際共同研究により、バイオナノファイバーフィルムに基づいて、in vivo 神経刺激用のフレキシブル電極の作製プロセスを確立した。

(7) 多感覚情報統合認知システム研究分野

(目標) 電気通信研究所設置当初から続く音情報、聴覚関連研究分野および平成 16 年度の改組で設置された視覚に関する研究分野に加えて、視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚の五感すべての情報を扱うために必要な基盤的研究を行う本研究分野を設置することで、今後多感覚化が進むことが予想される情報通信分野を牽引し、発展に大きく貢献することを目指す。

(成果) 2022 年度は、味覚や聴覚などのイメージが色によってどのように表現されるかという調査を日本人、ロシア人、台湾人に対して実施した。また、並行して、視聴覚意識の形成及び視聴覚の注意に関する研究についての研究を開始した。その他、香りの感情伝搬における役割、商品に関する情報が商品の評価に及ぼす影響などに関する研究結果についてまとめることができた。

生体電磁情報研究室

生体との良好なコミュニケーションを目指して

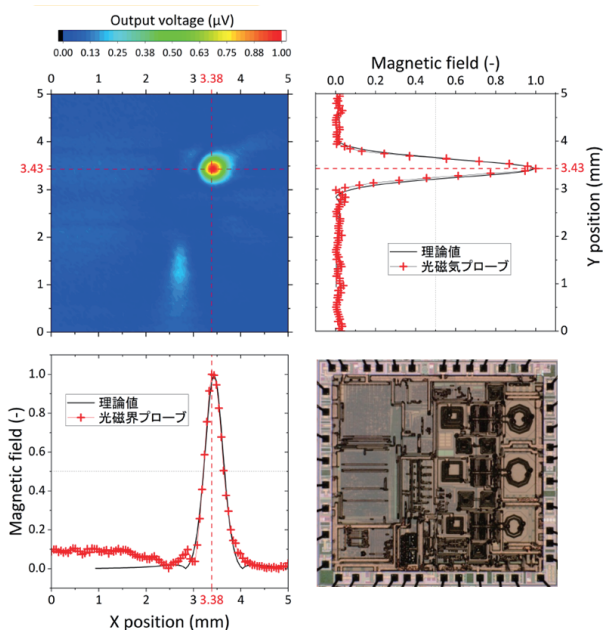


図 1 チップ内のマイクロコイルが発生する高周波磁界分布計測結果。測定磁界周波数は 2.4GHz。

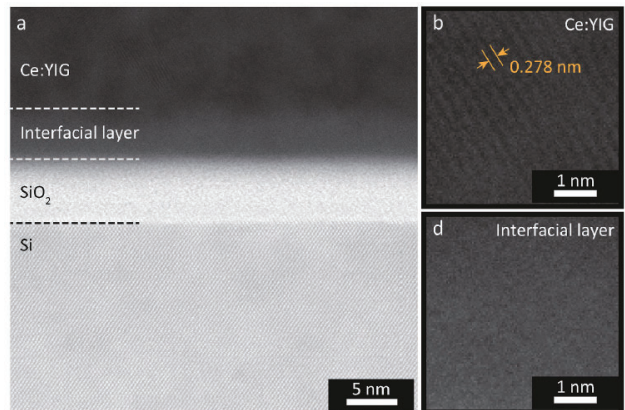


図 2 セリウムをドープした磁性ガーネットの断面透過電子顕微鏡像。結晶質エリアと非晶質エリアが判明した。

生体電磁情報研究分野 教授 石山 和志
生体電磁情報材料分野 准教授 後藤 太一

＜研究室の目標＞

磁氣的微細構造を制御した磁性体を利用し、磁気が本質的に有する特徴を活かしたデバイスを開発することで、生体あるいは電気機器の発する電磁界を情報として捕らえるための超高感度センサおよびシステムの確立、ならびに生体情報を能動的に取得するためのシステムの確立を目指して研究を進める。これらの研究を通じて、生体の発する情報を受け取る技術や生体に対して働きかけを行う技術の確立を目指す。

＜2022 年度の主な成果＞

1. 高周波磁界計測に関する研究

パルスレーザーと磁性ガーネットを利用した高周波磁界計測システムにおいて、被測定磁界とシステムの新たな同期手法を提案し、実験によりその有用性を示した。本手法を用い、ギガヘルツ帯域で動作する市販の周波数シンセサイザの集積チップ部分の近傍高周波磁界分布を測定した(図 1)。この測定により、ミクロンサイズのコイルから発生する高周波磁界が確認できた。これらの成果は、電子回路や LSI 内部の電流分布を可視化することが可能となり、そこから生じる不要な電磁波の検出を可能とするものである。

2. 新たな磁気光学材料の研究

より高精度な高周波磁界計測システムの実現、および新しい磁気光学デバイス開発を目指し、磁性ガーネット材料の性能向上を行った。セリウムをドーブした磁性ガーネット材料の断面を透過電子顕微鏡で観察したところ、基板と膜の界面に非晶質層があることが明らかになり、この層が磁気光学特性を低下させていることが判明した(図2)。この層の発現を抑制する磁性ガーネットの作製手法を進め、性能改善を進めている。これらの成果は、不要電磁波の検出を高精度化するものであり、生体に作用する新しい磁気光学デバイスに繋がるものである。

<職員名>

教授 石山 和志 (2007年より)

准教授 後藤 太一 (2022年より)

<プロフィール>

石山 和志 1986年3月 東北大学工学部電気工学科卒業。1988年3月 同大学院工学研究科電子工学専攻博士前期課程修了。1988年4月 同大電気通信研究所助手。1993年1月 博士(工学)学位取得。2003年1月 同助教授。2003年4月から2005年3月まで内閣府総合科学技術会議事務局参事官補佐(兼務)。2007年4月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。磁気工学ならびに磁気応用に関する研究開発に従事。電気学会優秀論文発表賞(1991)、原田研究奨励賞(1996)、Best Paper Award on International Conference on Ferrites (2000)、生体医工学シンポジウムベストリサーチアワード(2004)、日本応用磁気学会論文賞(2005)。

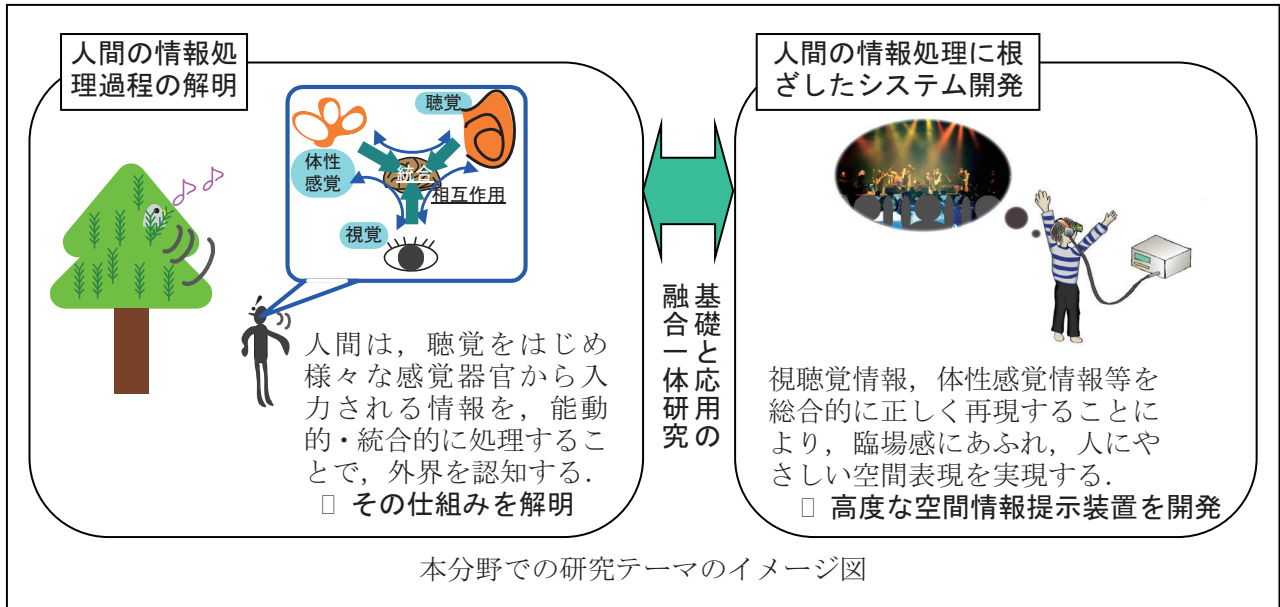
後藤 太一 2008年3月 豊橋技術科学大学工学部卒業。2009年3月 同大学院工学研究科電気・電子工学専攻博士前期課程期間短縮修了。2011年9月 同博士後期課程期間短縮修了、博士(工学)学位取得。日本学術振興会特別研究員 DC1・PD、海外特別研究員、マサチューセッツ工科大学ポスドク研究員を経て、2013年豊橋技術科学大学助教、2022年東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。ナノ・マイクロスケールの磁気光学デバイス・材料の研究開発に従事。2015~2019年に科学技術振興機構さきがけ研究員。2016~2020年マサチューセッツ工科大客員研究員。文部科学大臣表彰・若手科学者賞受賞(2019)。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] Yuki Yoshihara, Tomoya Sugita, Pang Boey Lim, Yasuyuki Tamba, Hiroaki Inoue, Kazushi Ishiyama, Mitsuteru Inoue, Caroline A. Ross and Taichi Goto, "Thickness-dependent magneto-optical properties of ion beam sputtered polycrystalline $Ce_1Y_2Fe_5O_{12}$ films", *Optical Materials*, 133, 112967 (2022), doi: 10.1016/j.optmat.2022.112967.
- [2] Hideyuki Horie, Takashi Isoyama and Kazushi Ishiyama, "Design of an Innovative Wireless Left Ventricular Assist Device Driven by either Extracorporeal Magnets or an Intracorporeal Battery Pack", *ASAIO Journal*, 69, e73-e79 (2023), 10.1097/mat.0000000000001874.

先端音情報システム研究室

快適な音環境・高度な音響通信技術の実現を目指して



先端音情報システム研究分野 教授 坂本 修一

<研究室の目標>

本分野の研究目標は、人間の知覚情報処理系の中で最重要な情報処理過程の一つである“聴覚”における情報処理過程を明らかにすることである。さらに、聴覚情報と視覚・体性感覚情報とのマルチモーダル処理過程についても研究を行っている。これらの知見を応用し、高度な音響情報通信システムやユーザインターフェース、さらには臨場感にあふれ快適な3次元音空間表現を実現する。

<2022年度の主な成果>

1. 聴覚および聴覚を含む多感覚情報処理過程の解明

人間は同時並列的に複数の感覚器官に入力された情報を取捨選択し、統合して外界をより安定・正確に認識している。本分野ではこのような人間の認識過程に着目し、その主要な感覚情報の一つである聴覚情報を中心に、この聴覚・多感覚情報処理過程の解明に取り組んでいる。

2022年度は、視覚、聴覚に加え全身振動情報を含む多感覚コンテンツによって想起される高次感性に着目して研究を進めた。これまでに我々の研究グループは、全身振動情報を含まない視聴覚コンテンツに音から生成された全身振動情報を加えることで、臨場感、迫真性といった高次感性がより強く想起されるという知見を報告してきた。今回は生成された全身振動情報を提示する際の最適振動レベルについて、視聴覚コンテンツが有する特徴量との関係を分析した。分析の結果、ラウドネスやラフネスといった聴覚情報から算出される心理特徴量と画像中に存在する主要なオブジェクトに関連したオブティカルフローに関連する特徴を用いた重回帰式により、最適振動レベルの算出が可能であるという興味深い知見を得た[1]。これは、多感覚コンテンツの生成に寄与する重要な知見である。

そのほかにも、聴覚情報処理障害を有する聴取者が雑音環境中における標的音声を取得する際に、標的音の時間的、空間的手がかりを与えることによる聴き取りの向上が、健聴者に比べて非常に大きいこと、また、健聴者の中でも聴き取りの向上度合いにばらつきがあることといった興味深い結果も得られている[2]。

2. 3次元音空間の制御・再現法の研究

3次元音空間高精度収録・再生技術は、高臨場感など高次の感性情報に基づくコミュニケーションシステムを構築するうえで、重要な要素技術である。その中でも、音源位置から耳までの音響伝達特性である頭部伝達関数は、バイノーラルにて音空間を提示する際の最も重要な要素の一つであり、これまでに多くの研究者がその形状や合成法について研究を行ってきた。2022年度は、特に近距離頭部伝達関数の合成法について研究を進めた。球面調和関数を用いた頭部伝達関数の合成では、球座標系の原点に位置する頭部を中心とした合成が行われる。しかし、実際に音が到来する両耳は頭部中心から離れているため、合成精度が低下していた。そこで、球面波を用いて合成時の対象を両耳に移動することで、合成精度の低下を抑えることが可能となることが明らかとなった[3]。

そのほかにも、球状マイクロホンアレイを用いた音空間収録技術や、2チャンネルステレオ音源やモノラル音源など空間情報を含まない音源に3次元空間情報を付与するアップミックス技術などについても多くの成果を得た。

<職員名>

教授 坂本 修一 (2019年より)

<プロフィール>

坂本 修一 1995年3月 東北大学工学部情報工学科卒業。1997年3月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士前期課程修了。2000年10月 東北大学電気通信研究所助手、2011年7月同准教授、2019年8月同教授、現在に至る。この間、2004年3月に東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士後期課程修了。2007年 McGill University 客員研究員。聴覚を含む複数感覚情報処理過程の解明、および、その工学応用に関する研究に従事。日本音響学会栗屋潔学術奨励賞(2005年)、同佐藤論文賞(2017)、同論文賞佐藤賞(2022)受賞。日本音響学会理事(2016年6月～2020年5月、2021年5月～)。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] Determination of optimal levels of whole-body vibration using audio-visual information of multimodal content
S. Abe, S. Sakamoto, Z. Cui, and Y. Suzuki
Journal of Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 13(4), 226-238(2022).
- [2] Temporal and directional cue effects on the cocktail party problem for patients with listening difficulties without clinical hearing loss
T. Kawase, R. Teraoka, C. Obuchi, and S. Sakamoto
Ear and Hearing, 43(6), 1740-1751 (2022).
- [3] Ear centering for accurate synthesis of near-field head-related transfer functions
A. Urviola, S. Sakamoto, and C. D. Salvador
Applied Sciences, 12(16), 8290 (2022).

高次視覚情報システム研究室

視覚コミュニケーションのための視覚機能理解



高次視覚情報システム研究分野 教授 塩入 諭
 注意・学習研究分野 准教授 曾 加 蕙

<研究室の目標>

人間の脳機能は、環境に柔軟に適応できるシステムによって実現されている。このような脳機能を知ることは、工学を含め我々を取り巻く環境のデザインや評価にとってもっとも重要な課題のひとつである。本研究分野では、脳機能について特に視覚系の働きの研究から探求し、その成果を情報通信における人間工学、画像工学などへ展開することを目的としている。人間の視覚特性を知るための心理物理学の実験を中心に脳機能測定やコンピュータビジョン的アプローチを利用して、視覚による立体認識、運動認識、色認識、注意や眼球運動による選択機構の研究を行っている。

<2022 年度の主な成果>

1. 顔表情を用いた学習時の集中度推定手法の開発

学習への高い集中は学習効果を高める上で重要である。しかし、オンラインでの学習では、教師が受講生の状況を直接把握することが難しい。受講生の集中度を推定することは、教育効果を高めるための情報提供につながることを期待される。学習への集中度が高いほど、学習と無関係な刺激（課題非関連刺激）の検出に時間がかかるという仮定のもと、顔表情からの課題非関連刺激に対する応答時間の予測を試みた。課題非関連刺激呈示前の 3 秒間の顔映像を利用し、機械学習(LightGBM)によって刺激検出の応答時間を予測した結果、計測値に対して相関係数 0.7 程度の予測結果を得ることができた。予測への貢献の大きな特徴を分析した結果、鼻の皺(nose wrinkler)、瞬き(blink)、口元を下げる(lip corner depressor)などの顔特徴が顕著であることを明らかにした。この手法は、学習時の注意状態推定に役立つことが期待される。

2. 視覚的な目立ちが処理を抑制する collinear search impairment (CSI)の要因の検討

視覚探索における collinear search impairment (CSI)に関して、その説明要因として考えられる縦横に並ぶ線分要素がグループ化されることによる影響について検討した。CSI は、共線構造によって目立つ線上の標的刺激を探索する場合に、その探索時間が増大する現象である。共線構造の上に並んだ標的刺激とそれ以外の位置の標的刺激に関して、要素線分のグループ化による違いを減らすために、4 5度に傾けた線分で構成される刺激を用いて実験を行った。その刺激に対して、オリジナルの条件の CSI と同程度の効果を得たことから、検証したグループ化の要因が CSI の主要な要因とはいえないことを確認した。CSI の詳細な理解につながる成果と言える。

<職員名>

教授 塩入 諭 (2005 年より)

准教授 曾 加蕙 (2016 年より)

助教 羽鳥 康裕 (2018 年より)、Sun Sai (2020 年より)

秘書 永島 亜未

<プロフィール>

塩入 諭 1986 年 東京工業大学・大学院総合理工学研究科博士課程修了。その後 1989 年 5 月までカナダ・モントリオール大学心理学科において博士研究員として勤務。カナダより帰国後、1990 年 4 月まで ATR 視聴覚機構研究所で勤務。1991 年 5 月より千葉大学工学部画像工学科・助手。情報画像工学科・助手、助教授、同大学メディカルシステム工学科教授を経て、2005 年 3 月より東北大学電気通信研究所・教授。1988.5 Fight for Sight 賞受賞、1993.3 応用物理学会光学論文賞受賞、1999.7 照明学会論文賞受賞、2000.5、映像情報メディア学会丹生高柳著述賞受賞、2010 Distinguished Contributed Paper of the 2010 SID International Symposium.

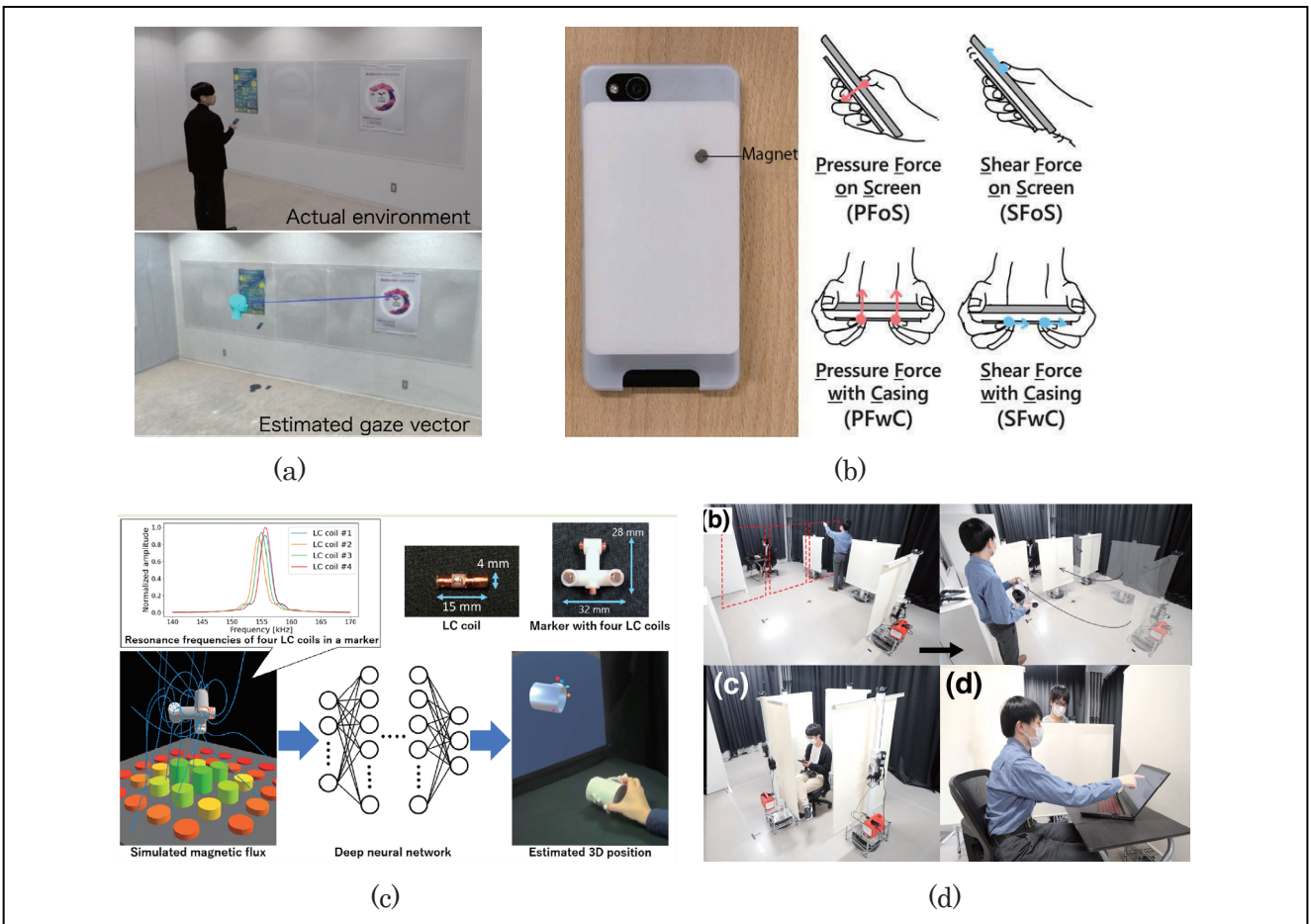
曾 加蕙 台湾国立大学で学士号および修士号を取得後、カリフォルニア大学アーバイン校にて博士号を取得。その後、米国ラトガース大学認知科学センター視覚研究室で博士研究員。多くのアジアの都市でコミュニティへの参加を促すために科学アウトリーチ活動を行っている。また、香港で乳児科学者プログラムと乳児研究施設の所長を務める。台湾と香港で大学教員を務めた後、2016 年より東北大学電気通信研究所准教授。

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] R. Miao, H. Kato, Y. Hatori, Y. Sato, S. Shioiri, "Analysis of Facial Expressions for the Estimation of Concentration on Online Lectures," Proceedings of World Conference of Computers in Education, 2022.
- [2] H. Kato, K. Takahashi, Y. Hatori, Y. Sato, S. Shioiri, "Prediction of Engagement from Facial Expression: Effect of Dynamic Factors," Proceeding of the 18th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2022.
- [3] L Jingling, S Shioiri, Testing the effect of display organization in the collinear search impairment, Perception 51 (9), 658-671, 2022

情報コンテンツ研究室

インタラクティブコンテンツを実現する技術の研究開発



インタラクティブコンテンツ研究分野 教授 北村 喜文

ヒューマンコンテンツインタラクション研究分野 准教授 高嶋 和毅

<研究室の目標>

コンピュータで直接扱えるようにデジタル化されているものだけでなく、身の周りのあらゆるものをコンテンツと捉え、これらを活用して人々が快適に、または効率的・直感的に作業をしたり、円滑かつ豊かなコミュニケーションができるようにするために、人と空間（およびその構成物）のインタラクションを考慮して、インタラクティブコンテンツに関する研究を進めています。

<2022 年度の主な成果>

1. スマートフォンのみを用いた視線トラッキング手法

スマートフォン内蔵の前面・背面カメラと深度センサを同時に用いることで、ユーザがスマートフォンを自然に把持した状態で、そのユーザの視線トラッキングを可能とする手法を提案しました（図 a, [1]）。

2. スマートフォンに対して垂直・剪断力を入力可能な磁気式インタフェース

スマートフォンに対する 2 種類の力の方向（垂直方向と剪断方向）と 2 種類の力の印加面（タッチ面

と背面)からなる 4 種類の力の入力を可能とする磁気式のスマートフォンケース型のデバイスを開発しました(図 b, [2])

3. 複数の LC コイルを用いた死角のない磁気式 3D モーショントラッキングシステム

同一の共振周波数を持つ複数の LC コイルを用いて, 死角なく対象の 3 次元位置を計測し続けることができるシステムを開発しました(図 c, [3]).

4. パーティション型群ロボットを用いたインタラクティブな空間構築システムを用いた空間

高さや位置を自動的に変更できるロボットを複数台用いて, ユーザが自由の空間を仕切ることができる空間構築システムを開発しました(図 d, [4]).

<職員名>

教授 北村 喜文

准教授 高嶋 和毅

助教 藤田 和之 池松 香 程 苗

<プロフィール>

北村 喜文 1987 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了. 同年キャノン株式会社, 1992 年 ATR 通信システム研究所, 1997 年大阪大学大学院工学研究科/情報科学研究科 助教授/准教授. 2010 年東北大学電気通信研究所教授, 現在に至る. 博士(工学). 情報処理学会フェロー, 日本バーチャルリアリティ学会フェロー. SIGGRAPH Asia 2015 Conference Chair や CHI 2021 General Chair 等多くの国際会議等でいろいろな役割を務めてきた. IFIP TC-13 (Human-Computer Interaction)日本代表, ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等の Chair にも就いてきた. 日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている.


高嶋 和毅 2008 年大阪大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了. 同年大阪大学大学院国際公共政策研究科助教(兼任:情報科学研究科), 2011 年東北大学電気通信研究所助教, 2018 年東北大学電気通信研究所准教授, 現在に至る. 博士(情報科学). 2008 年情報処理学会インタラクティブ ベストペーパー賞 DIS 2016 Honorable Mention Award, 2017 年情報処理学会論文誌ジャーナル特選論文等を受賞.

<2022 年度の主な発表論文等>

1. Takahiro Nagai, Kazuyuki Fujita, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, HandyGaze: A Gaze Tracking Technique for Room-Scale Environments using a Single Smartphone, Proc. of the ACM on Human-Computer Interaction, Vol. 6, Issue ISS, Article No. 562, pp. 143-160, November 2022.
2. Taichi Tsuchida, Kazuyuki Fujita, Kaori Ikematsu, Sayan Sarcar, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura, TetraForce: A Magnetic-Based Interface Enabling Pressure Force and Shear Force Input Applied to Front and Back of a Smartphone, Proc. of the ACM on Human-Computer Interaction, Vol. 6, Issue ISS, Article No. 564, pp. 185-206, November 2022,
3. Yuhei Osaka, Jiawei Huang, Yoshifumi Kitamura, Learning to Track Monofrequency Multiaxis 3-D Passive Magnetic Markers, IEEE Sensors Journal, 22, 19, page.18878 - 18889, October 2022, 10.1109/JSEN.2022.3199154
4. Yuki Onishi, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Yoshifumi Kitamura, WaddleWalls: Room-scale Interactive Partitioning System using a Swarm of Robotic Partitions, Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, Article 29, page.1-15, October 2022.
5. Chiahuei Tseng, Li Jingling, Miao Cheng, Social affiliation is sufficient to provoke the partner-advantage, Scientific Reports, 12(1), page.1-11, December 2022.

実世界コンピューティング研究室

生き物のようにレジリエントな知能システムの創成



ムカデの適応的な不整地歩行を生み出す柔軟な身体と脚の自律分散制御メカニズム

マルチエージェントシステムのためのアクティブセンシングを導入した衝突回避制御

自律分散的な歩行制御則の非定常運動への展開

実世界コンピューティング研究分野 教授 石黒 章夫

<研究室の目標>

実世界コンピューティング研究室では、生物のようにしなやかかつタフに実世界環境に適応可能な「生き生きとしたシステム」の設計原理の理解を目指した研究を進めている。その中核となる概念が「自律分散制御」である。自律分散制御とは、比較的単純な認知・判断・運動機能を持つ要素（自律個）が多数存在し、それらが相互作用することによって、個々の要素の単純性には帰着できないような非自明な大域的特性（機能）を自律個集団から創発させるという、「三人寄れば文殊の知恵」をまさに地でいくような制御方策である。本研究室では、ロボティクスや数理科学、生物学、物理学といったさまざまな学問領域を縦横無尽に行き来しながら、「ハードでリジッド」なシステムを基盤とする既存技術では決して達成し得ない、生物のような「しぶとさ」や「したたかさ」、「打たれ強さ」、「多芸多才さ」といった知を有する、「ソフトでウェット、コンティニュアム」な知的人工物システムの創成を目指す。

<2022年度の主な成果>

1. ムカデの適応的な不整地歩行を生み出す柔軟な身体と脚の自律分散制御メカニズム

ムカデやヤスデなどの多足類は、多数の脚と柔軟な身体を巧みに操ることで、複雑な地形においても自在に歩行することができる。本研究では、ムカデが示す適応的な不整地歩行に内在する身体制御メカニズムを理解するために、行動観察実験の結果に基づき、各脚と腹部の接地感覚を活用したフィードバック制御則を提案した。シミュレーション実験の結果、提案制御則は、ムカデの不整地歩行の特徴を概ね再現できるとともに、高い歩行パフォーマンスを示すことが明らかとなった。本研究成果は、複雑環境においてもリアルタイムかつ少ない計算コストで効果的に推進できる多脚歩行ロボットの実現に資すると期待される。

2. マルチエージェントシステムのためのアクティブセンシングを導入した衝突回避制御

複数の移動体が「安全に」「素早く」「滑らかに」各々の目的地へ移動することのできる自律分散制御システムは、未来の物流システムにとって重要な基盤技術である。歩行者流を再現する social force モデルを基盤に、各移動体が自らに衝突する危険がある移動体に優先して注意を向けるアクティブセンシングを導入することで、安全で、素早く、なめらか移動を、低い計算量で実現した。この成果は、人の多い街なかのような不特定多数の移動体が縦横無尽に行き交うような環境下でも活躍できる自動宅配ロボットのような移動システムへ資すると期待される。

3. 自律分散的な歩行制御則の非定常運動への展開

生物の運動制御理解を目的とした構成論的なロボット研究では、動物の定常的な歩行や走行に着目されることが多い一方で、歩き出しや歩行停止、旋回運動などの非定常状態の運動に関する取り組みは少ない。本研究では、動物の非定常運動の背後にある制御原理を明らかにするために、本研究室で構築した自律分散的な脚間協調制御則による非定常運動の再現に取り組んだ。提案制御則と新たに脚軌道の最適化によって、チンパンジーの筋骨格構造を模したシミュレーション・プラットフォームにおける歩行開始、停止、旋回運動を生成することができた。こうした成果は、動物のより複雑な運動の背後にある制御原理抽出に資するものと期待できる。

<職員名>

教授	石黒 章夫	(2011年より)
准教授	加納 剛史	(2016年より)
助教	福原 洸	(2018年より)
助教	安井 浩太郎	(2020年より)
秘書	門間 いずみ	(2021年より)

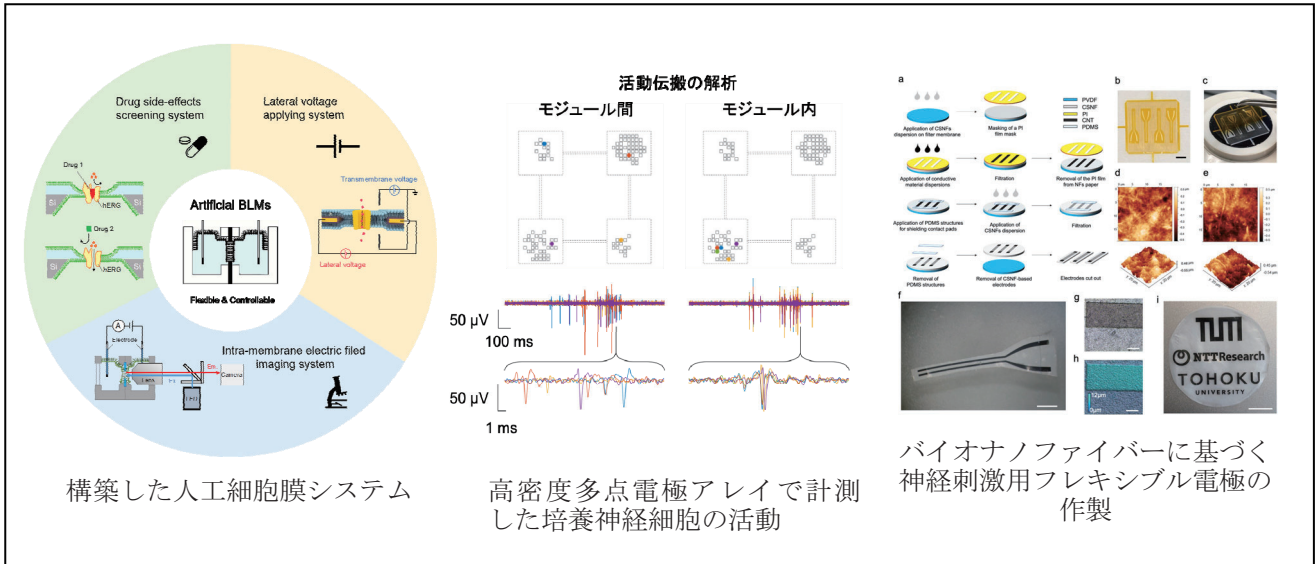
<プロフィール>

石黒 章夫 1991年3月 名古屋大学大学院工学研究科博士後期課程修了(工学博士). 1991年4月 名古屋大学工学部助手. 1997年5月 名古屋大学大学院工学研究科助教授. 2006年4月 東北大学大学院工学研究科教授. 2011年4月 東北大学電気通信研究所教授, 現在に至る. 生物規範ロボティクス, 数理生物システム論に関する研究に従事. IEEE/RSJ IROS Best Paper Award (2004年), IEEE/RSJ IROS Best Paper Award Nomination Finalist (2003年, 2009年), Ig Nobel Prize (2008年), IEEE/RSJ NTF Award Finalist for Entertainment Robots and Systems (2011年), IEEE/RSJ JCTF Novel Technology Paper Award for Amusement Culture Finalist (2012年), 計測自動制御学会論文賞 (2014年), CLAWAR Association Best Technical Paper Award (2014年), 計測自動制御学会システム情報部門 Best Research Award (2014年)。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] Yasui K, Takano S, Kano T, Ishiguro A (2022) Adaptive centipede walking via synergetic coupling between decentralized control and flexible body dynamics. *Front. Robot. AI*, 9:797566.
- [2] Kano T, Kanno T, Mikami T and Ishiguro A (2022) Active-sensing-based decentralized control of autonomous mobile agents for quick and smooth collision avoidance. *Front. Robot. AI* 9:992716.
- [3] Sellers WI, Cross CF, Fukuhara A, Ishiguro A and Hirasaki E (2022) Producing non-steady-state gaits (starting, stopping, and turning) in a biologically realistic quadrupedal simulation. *Front. Ecol. Evol.* 10:954838.

ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室

ナノテクノロジーとバイオ材料との融合による
新機能デバイスの創出

ナノ・バイオ融合分子デバイス研究分野 教授 平野 愛弓

<研究室の目標>

微細加工技術とバイオ・有機材料との融合により、高次情報処理を可能にする様々な分子デバイスの開発を目指す。半導体微細加工技術を薬物スクリーニング等に应用するバイオエレクトロニクスの研究や、有機材料に基づくデバイス開発、生きた細胞を使って神経回路を作り上げ、固体基板上に脳機能を再構成しようとする研究を進めている。これらのデバイスは情報通信システムと結合可能であり、健康社会のための新技術として実現することを目指している。

<2022年度の主な成果>

1. イオンチャネル機能解析のための人工細胞膜システムの新たな進展

生体膜上に存在するイオンチャネルは、膜内外におけるイオンの輸送機能を担っており、活動電位の発生や神経伝達など生体維持に不可欠な生理現象に関与していることから、その機能解析は重要視されてきた。イオンチャネルの機能解析手法の一つとして、人工細胞膜システムがある。我々の研究室では、異なる側面から2種類の人工細胞膜システムを構築してきた。一つは、無細胞タンパク質合成技術と組み合わせた薬剤副作用評価のための細胞膜模倣システムであり、将来における個別化医療の発展に寄与すると期待される薬剤スクリーニングシステムの基盤となりうる。もう一つは、従来の膜貫通電圧に加えて、さらに膜平行電圧という新たな入力を導入した4端子人工細胞膜システムであり、イオンチャネル機能解析の革新的技術発展へと繋がりうる新機軸を打ち出している。以上の我々が構築してきた人工細胞膜システムの詳細について国際誌 *Membranes* にて発表し、その展望性についても議論した。

2. 人工神経細胞回路の高時空間分解能計測とバイオ計算応用

多点電極アレイ (MEA) は基板に埋め込まれた微小電極を用いて活動電位の発生に伴う細胞外電位変

化を電氣的に計測するデバイスである。近年, CMOS プロセス技術を用いて作製された高密度(HD) MEA が登場したことで, MEA における空間分解能の課題が解決され, 培養神経回路の活動を単一細胞レベルで計測することが可能となった。本年度の研究では, 新たに HD-MEA 上に培養神経細胞をパターン培養するためのデバイス表面修飾法を確立し, 生体神経回路で見られるモジュール構造を有する神経細胞回路を再構成した。その活動を高時間分解能で計測した結果, これまで蛍光カルシウムイメージングで捉えられていたモジュールごとの同期性の変調に加えて, モジュール内部で起こるサブミリ秒の活動伝搬も捉えられることを見いだした。本成果は, 国際誌 *Frontiers in Neuroscience* に報告した。さらに, レザバーコンピューティングの枠組みを用いて培養神経回路の刺激応答を, パターン分類などの情報処理に結びつけることにも成功し, 培養神経細胞の信号フィルター特性や, 回路のモジュール性と情報処理性能との関係を明らかにした。

3. バイオナノファイバーを用いたフレキシブル刺激電極の作製

バイオポリマーの一種であるキトサンナノファイバーにカーボンナノチューブを配線するプロセスを確立し, 神経刺激用のフレキシブル電極を作製した。キトサンナノファイバーは生体適合性が高く, 作製した電極を用いて, 生きたイナゴの末梢神経の刺激に成功した。本成果は, ミュンヘン工科大学との国際共同研究によるものであり, 国際誌 *Journal of Nanobiotechnology* に報告した。

<職員名>

教授 平野 愛弓
 助教 但木 大介
 助教 小宮 麻希
 助教 平本 薫

<プロフィール>

平野 愛弓 1998 年 東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。博士 (理学)。1998 年日本学術振興会特別研究員 (PD), 2001 年 日本大学文理学部助手, 2003 年 日本学術振興会海外特別研究員, 2005 年 英国国立医学研究所博士研究員, 2006 年 東北大学電気通信研究所助手, 2008 年同大大学院医工学研究科准教授, 2016 年 同大電気通信研究所教授, 現在に至る。微細加工技術に基づく新機能バイオデバイスの開発に従事。所属学会は, 応用物理学会, 日本表面真空学会, 日本化学会, 日本分析化学会, 日本薬理学会。

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] H. Kageyama, T. Ma, M. Sato, M. Komiya, D. Tadaki, A. Hirano-Iwata, “New aspects of bilayer lipid membranes for the analysis of ion channel functions”, *Membranes*, **12**, 863 (2022).
- [2] Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tanii, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks”, *Front. Neurosci.*, **16**, 943310 (2023).
- [3] T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, S. Moriya, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, “Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing”, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* (accepted).
- [4] D. Ando, T.F. Teshima, F. Zurita, H. Peng, K. Ogura, K. Kondo, L. Weiß, A. Hirano-Iwata, M. Becherer, J. Alexander, B. Wolfrum, “Filtration-processed biomass nanofiber electrodes for flexible bioelectronics”, *J. Nanobiotechnol.*, **20**, 491 (2022).

3. 4 システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果

システム・ソフトウェア研究部門は「だれもが、いつでも、どこからでも、だれとでも、どんな情報でも」自由にしかもリアルタイムでコミュニケーションできるユビキタス環境の構築を目的としている。本部門は、2016年度の改組により、通信とコンピュータを融合した高度なシステム・ソフトウェア・コンテンツに関して、新しいソフトウェアの基礎理論の研究を行うコンピューティング情報理論研究室、ネットワークシステム及びアプリケーションの研究を行うコミュニケーションネットワーク研究室、安全な情報通信システムの研究を行う環境調和型セキュア情報システム研究室、脳型コンピュータハードウェアの研究を行うソフトコンピューティング集積システム研究室、ポストバイナリコンピューティングの研究を行う新概念 VLSI システム研究室の5基幹研究室と情報社会構造研究室（客員）から構成される。以下、基幹研究室における2022年度の研究活動成果の概要を述べる。

（1）コンピューティング情報理論研究分野

昨年度に引き続き、データ同期やデータ共有に応用される双方向変換技術について研究を進めた。本年度の研究成果の一つは、乱立する双方向変換言語の表現力を比較する第一歩として、一部の双方向変換言語について比較検証に成功したことである。現在は表現力の推定に不可欠となる計算モデルの開発も進めており、双方向変換と密接に関連する対合関数の計算モデルとして時間対称チューリング機械を設計した。また、本年度では、量子計算などの線形な計算構造を備えたプログラミング言語に対する検証に向けた取組みも行い、線形代数的手法に基づいたプログラム意味論の統一フレームワークを与えた。これと並行し、高階関数型プログラム検証における、 n 階の一般到達可能性検証と $n+1$ 階の May 到達可能性検証の等価性を示すことにも成功している。この他、プログラム検証に基盤技術として、アトム変数を用いる書換え規則によって定義される名目書換えシステムに対し、アルファ同値性を法とした強可換性の概念を導入し、それを利用して基底名目項上の書き換えが合流性を満たす条件を提示した。

（2）コミュニケーションネットワーク研究室

人々の多様な活動を支える情報ネットワークシステムとその応用に係る以下の研究を推進した。低速・長寿命ネットワークを用いたネットワーク機器の遠隔管理に関する研究では、LPWA と呼ばれる、低速ではあるが広域通信が可能で消費電力が小さい通信方式を用いて、遠隔地に跨がるような大規模ネットワークを構成する機器を遠隔管理するために、機器操作のためのコマンドを効率的に圧縮して送信する技術を提案し、最大で通信量を95%圧縮できることを示した。また、インターネット輻輳制御に関する研究では、従来のエンドツーエンド輻輳制御から脱却し、ネットワーク内ノードで積極的に輻輳制御を行う新しいアーキテクチャを提唱し、その潜在的な能力を数学的解析によって明らかにした。さらに、エージェント型 IoT とその応用に関する研究では、小型 IoT 機器向けの移動エージェントフレームワークの試作と評価を行った。

(3) 環境調和型セキュア情報システム研究室

次世代情報通信技術の恩恵を誰もが安全に享受できる社会の実現を目指して、セキュア情報通信システムの基礎理論と実装技術の研究に取り組んでいる。本年度は、量子コンピュータにも耐性をもつ耐量子計算機暗号 (PQC) 等の暗号ハードウェアを効率的に実現するためのハードウェアアーキテクチャを開発した。特に、米国標準技術研究所がPQCの標準方式として選定したCrystals-Kyberおよび現在世界で最も利用される国際標準ブロック暗号 AES を世界最高効率で実現できるハードウェアアーキテクチャを開発した。また、暗号ハードウェアを物理的にも安全に実装するため、新たな設計・評価プラットフォームと機械学習に基づく評価手法からなる安全性評価技術を開発した。開発した技術は、Crystals-Kyber や AES 等の国際標準暗号のソフトウェアおよびハードウェアに有効な技術であり、世界最高精度の安全性評価が可能である。また、対策を施した場合の攻撃に係るコストをかつてないほど正確に推定する技術としても有効である。さらに、将来的なセキュア情報システムの基幹技術として、大規模なメモリの暗号化および完全性検証を高速に実現するための新方式を開発し、その有効性を明らかにした。

(4) ソフトコンピューティング集積システム研究室

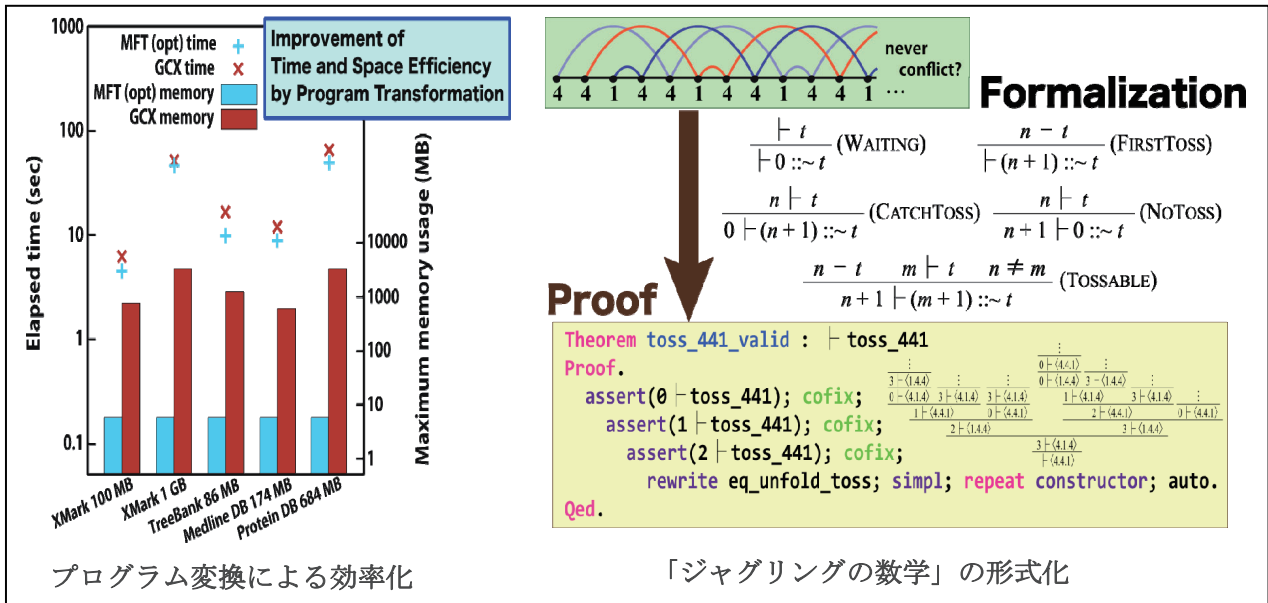
脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理が可能なブレインモルフィックハードウェアの研究・開発を行っている。本年度は、1) Through Silicon Via と Micro Bump により 3次元積層実装したカオスニューラルネットワークリザーバー (CNNR) LSI を用いて、離散単語音声認識実験を行った。さらに、FORCE 学習を CNNR に適用し、ハイパーカオスを含む様々なダイナミクスを持つ CNNR を用いた時系列生成に成功した。また、出力層ニューロンにカオスニューロンを導入して、時系列予測を行い、非常に高い性能を確認した。2) これまでに提案した、熱ダイナミクスに基づくスピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスの数理モデルをより精緻なものとするため、熱回路によるモデリングを行い、物理シミュレータにより詳細な解析を行った。3) リザーバーニューラルネットワーク内の局所的な記憶として内部状態の時定数および自己結合の時定数を導入したニューラルネットワークを提案し、これら局所不応性パラメータ、出力関数の最大ゲインパラメータおよびバイアスと音声認識性能との関係について、シミュレーション実験により詳細に検討した。4) 時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークをスパイクニューロン回路として実装するため、連続時間の微分方程式モデルとして記述すると共に、基本的な回路構成を提案し、個別部品回路実験によりその有効性を確認した。

(5) 新概念 VLSI システム研究室

現在の VLSI (Very Large Scale Integration) においては、素子間の配線に起因するメモリと演算器間のデータ転送ボトルネック、プロセス微細化に伴うリーク電流がもたらす消費電力の増大、および材料特性ばらつきに起因する信頼性の低下といった様々な要因がシステム性能を向上させる上で深刻な問題となっている。これらの問題を全く新しい視点から解決するため、当研究室では、今までの延長上にはない新しい概念に基づいて VLSI コンピューティングのパラダイムを拓く研究を行っている。本年度の主な成果は、まず、(a) スピントロニクス／半導体融合技術に基づく省エネルギー CPU の構成に成功したことである。汎用 CPU の命令セットに PG (power gating) 制御命令を組み込むことで、PG 制御に伴うオーバーヘッドを大幅に軽減し、省エネルギーを達成した。典型的な算術演算回路の実行に適用した結果、大幅な電力消費の削減が達成された (J. Mem.-Mat., Dev., Cir. & Sys., 2023; doi: 10.1016/j.memori.2023.100035)。(b) また、stochastic computing に基づいて組合せ最適化問題を高速に解くための FPGA 向きハードウェア構成を考案し、従来手法と比べ大幅な性能向上に成功した (IEEE JETCAS, March 2023; doi: 10.1109/JETCAS.2023.3243260)。上記を含めた本年度の研究成果は、学術論文 4 編、査読付国際会議論文 8 編、図書 1 件にて報告した。

コンピューティング情報理論研究室

ヒトとコンピュータのギャップを埋める



コンピューティング情報理論研究分野 教授 中野 圭介

<研究室の目標>

プログラミングは人間が計算機に命令するための最も基本的な道具であるが、「人間にとっての考えやすさ」と「計算機にとっての処理のしやすさ」には大きな隔りがある。人間の思考に沿ったプログラムは可読性が高いものの、必ずしも計算機が効率よく処理できるとは限らない。一方、計算機の処理方法を考慮してプログラムを記述すれば時間効率や空間効率を共に上げることができるが、プログラムとしては複雑になり、デバッグや仕様変更による改良も困難になる。本研究室では、このような「人間」と「計算機」の間のギャップを埋める研究を進めている。具体的な研究テーマは「プログラム変換」と「プログラム検証」である。「プログラム変換」は、人間の思考に合わせた可読性の高いプログラムから、計算機の処理方法を考慮した効率のよいプログラムを自動生成するための研究であり、「プログラム検証」は、効率のために複雑に記述されたプログラムについて、その動作が与えられた仕様に沿ったものであるかを自動検査するための研究である。なお、「プログラム検証」については、自動で検査を行うことが難しい場合であってもプログラムの動作を保証するために、定理証明支援系とよばれるツールの利用や拡張も進めている。

<2022年度の主な成果>

1. 双方向変換言語の理論的基盤となる計算モデルの開発

異なる環境におけるデータベースの同期や保守を行うことを目的として、双方向変換理論の研究が盛んに行われている。双方向変換とは、異なるデータベース間の相互変換のことであるが、互いに情報量が異なる環境においてはその相互変換にある種の一貫性が必要となる。本年度は、この一貫性を保つために提案されたプログラミング言語が十分な表現力をもつか検証するための基盤として、計算可能な対合関数を過不足なく網羅する計算モデルとして時間対称チューリング機械[1]を設計し、その万能性について証明に成功した。このモデルは、一昨年度に開発した対合関数の計算モデルから構文的制約を排除したモデルとなっており、昨年度開発した冪等関数の計算モデルと組み合わせることにより、双方向変換言語を特徴づけるモデルの一部となることが期待される。

2. 線形論理を利用したプログラム意味論

プログラムは引数の複製をすることによって複雑さを増すため、複製の仕方を分析する線形論理はプログラム意味論やプログラム検証において非常に重要な技術となっている。論文[2]は量子計算などの線形な計算構造を備えたプログラミング言語の研究であり、本年度ではその基盤的な理論として、線形代数的手法に基づいた意味論の統一的平台ワークを与えた。これは線形論理のこれまで知られてきた多くのモデルを内包する。この手法をさらに発展させることで量子プログラミング言語の最新のモデルも包摂し改良できることが分かった。その論文は準備中である。

3. 高階関数型プログラム検証の一般到達可能性検証と May 到達可能性検証の等価性

論文[3]では、高階関数型プログラム検証における、 n 階の一般到達可能性検証と $n+1$ 階の May 到達可能性検証の等価性を示した。ここで $n+1$ 階関数とは、その関数の引数が n 階関数であることであり、 0 階関数は通常の値を引数とする。一般到達可能性は天使的な選択演算子（プログラムが停止するように選択を行う選択演算子）と悪魔的な選択演算子（停止しないように選択を行う選択演算子）を備えた非決定性プログラミング言語の到達可能性であり、一方 May 到達可能性検証は天使的な選択演算子のみを備えた非決定性プログラミング言語の到達可能性である。これにより一方の検証問題に関する任意の成果（例えば検証器など）を他方の成果へと転用することが可能になる。

4. 束縛変数を伴う書き換えシステムの基礎理論

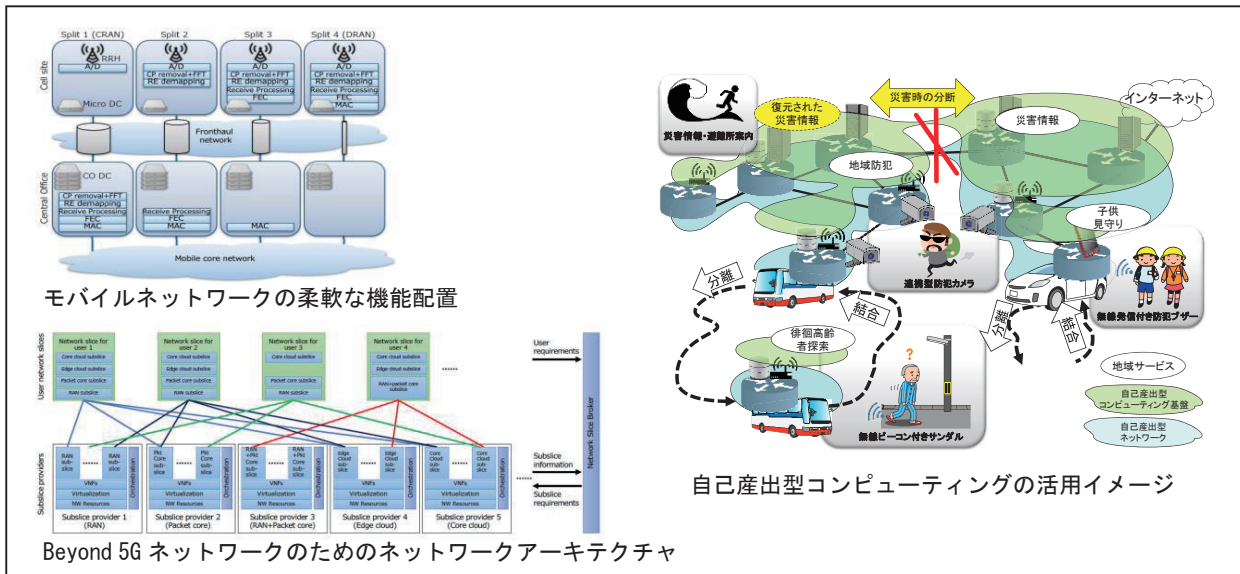
項書き換えシステムは、等式に基づく柔軟な計算と効率的な推論を与える数学的理論であり、関数型言語のプログラムのモデルとしても用いられる。従来の項書き換えシステムでは、プログラミング言語に備わっているような変数束縛の機構を扱うことができなかったが、それを可能にする体系の一つとして名目書き換えシステムがある。本研究では、アトム変数を用いる書き換え規則によって定義される名目書き換えシステムに対して、アルファ同値性を法とした強可換性の概念を導入し、それを利用して基底名目項上の書き換えが合流性を満たす条件を提示した[4]。この条件は、書き換え規則の間に重なりがある場合にも適用可能であり、先行研究で提示されている条件よりも広い範囲をカバーするものとなっている。

<職員名>

教授 中野 圭介 (2018 年より)

コミュニケーションネットワーク研究室

IoT 社会を支える情報ネットワークアーキテクチャ



情報ネットワークアーキテクチャ研究分野 教授 長谷川 剛

<研究室の目標>

社会の隅々まで浸透してきた様々な情報ネットワークシステム、及び、これらをもとに構築される各種システムは、人々の日常生活や仕事を支援し、新しいライフスタイルや社会を生み出す上で重要な役割を担うシステムとして期待されている。本研究室では、その実現に向けた基礎から応用に至る研究に取り組む。

<2022 年度の主な成果>

1. インターネット輻輳制御技術に関する研究 (文献[5][9][12])

複雑・大規模化するインターネットにおける理想的な輻輳制御技術の追求に関する研究を遂行した。具体的には、現在のインターネットで主に用いられている複数の輻輳制御アルゴリズム間の公平性の改善、現在のインターネットでの輻輳制御とは全く異なる、ネットワーク内制御を前提とした新たな輻輳制御パラダイムに関する研究などを行った。

2. 仮想ネットワークシステムアーキテクチャに関する研究 (文献[1][2][11][13][15][16][17])

5G ネットワークやさらに将来のネットワークを実現するアーキテクチャとして注目されている、ネットワークやコンピューティング資源を仮想化し、スライスとしてユーザやアプリケーションサービスに仮想ネットワークシステムに関する研究を行った。具体的には、セルラ通信のためのモバイルコアネットワークアーキテクチャに関する研究、User-Oriented Network slicing Architecture (UONA) と呼ぶ新しいネットワークアーキテクチャの提案、ネットワークスライスの資源最適化のためのモバイルトラフィック予測に関する研究、5G ネットワークにおけるエッジコンピューティングの効果とその最適化、デジタルツイン構築の消費エネルギー最適化、などの研究を行った。

3. LPWA を用いたネットワーク機器制御のためのトラフィック圧縮技術 (文献[7][8])

低速・長寿命ネットワークを用いたネットワーク機器の遠隔管理に関する研究では、LPWA と呼ばれる、低速ではあるが広域通信が可能で消費電力が小さい通信方式を用いて、遠隔地に跨がるような大規模ネットワークを構成する機器を遠隔管理するために、機器操作のためのコマンドを効率的に圧縮して送信する技術を提案し、最大で通信量を95%圧縮できることを示した。

4. 自己産出型コンピューティングに関する研究 (文献[18][19])

自己産出型コンピューティングの基礎技術として、マルチホップ型の LPWA 網のように、低速ながら広域をカバーできる無線通信網の活用を目指し、IoT 機器向けの省データ型移動エージェントフレームワークの試作と評価を行った。本成果は、情報処理学会 DPS Workshop 2021 にて優秀論文賞を受賞するなど、高い評価を受けた。

<職員名>

教授 長谷川 剛 (2019年より)

事務補佐員 永島 亜未

<プロフィール>

長谷川 剛 1997年3月 大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同年7月大阪大学経済学部助手。2002年1年同大サイバーメディアセンター助教授。2019年より現職。博士(工学) (2000年5月・大阪大学)。情報ネットワークアーキテクチャ、無線ネットワークなどの研究に従事。電子情報通信学会通信ソサイエティ論文賞(2008年)、電子情報通信学会論文賞(2010年)など受賞。

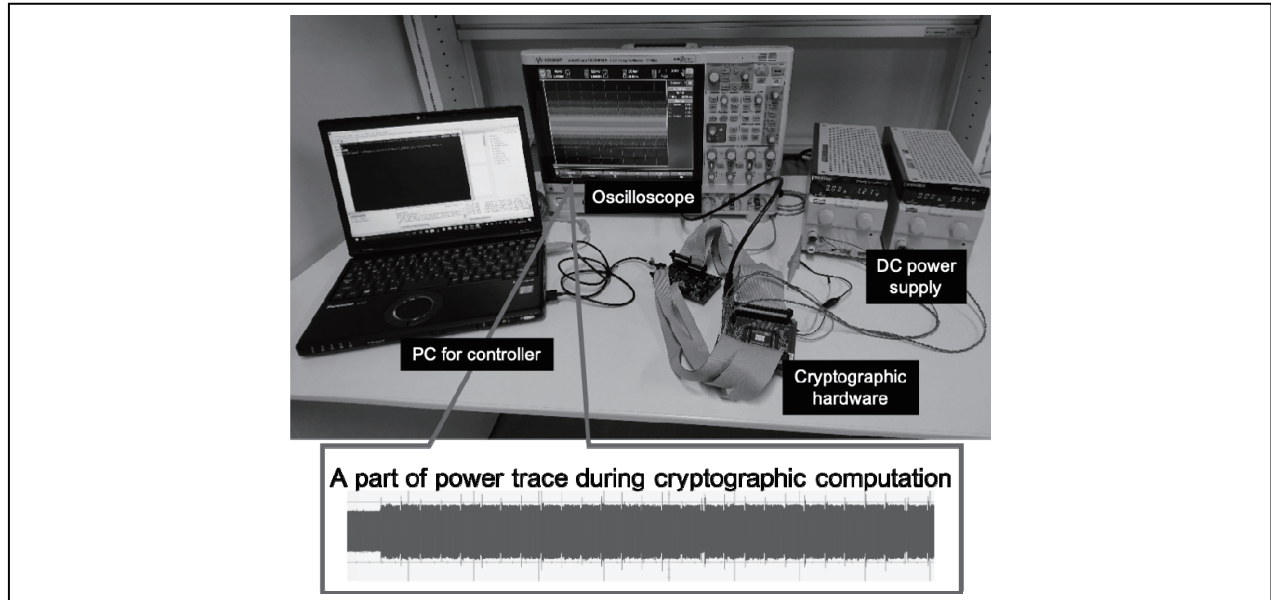
<2022年度の主な発表論文等>

- [1] Xun Shao, Go Hasegawa, Mianxiong Dong, Zhi Liu, Hiroshi Masui, Yusheng Ji, "An Online Orchestration Mechanism for General-Purpose Edge Computing," to appear in IEEE Transactions on Service Computing, 2022.Link
- [2] Shuya Abe, Go Hasegawa, Masayuki Murata, "Performance Analysis of Mobile Cellular Networks Accommodating Cellular-IoT Communications with Immediate Release of Radio Resources," IEICE Transactions on Communications, Vol.E105-B, No.12, pp.1477-1486, Dec. 2022. Link
- [3] Yukio Ogawa, Go Hasegawa, Masayuki Murata, "Probabilistic Control of Dynamic Crowds Toward Uniform Spatial-Temporal Coverage," IEEE Transactions on Mobile Computing, Dec 2022.
- [4] Satoshi Utsumi and Go Hasegawa, "Improving Inter-Protocol Fairness Based on Estimated Behavior of Competing Flows," in Proceedings of IFIP Networking 2022 June 2022.Link
- [5] Keito Maeta, Gen Kitagata and Go Hasegawa, "Improving Per-Flow Fairness by ML-Based Estimation of Competing Flows' Congestion Control Algorithm," in Proceedings of IEEE ICUFN 2022, July 2022.Link
- [6] Ryu Yachikojima, Shin'ichi Arakawa, Takeshi Kitahara, Nagao Ogino, Go Hasegawa, and Masayuki Murata, "Low-latency Probabilistic Collision Detection Method for C-V2X Applications," in Proceedings of ICVTS 2022, September 2022.
- [7] Kodai Tanabe, Go Hasegawa, and Gen Kitagata, "Traffic Reduction for Out-Of-Band Network Management over LPWA," in Proceedings of IEEE ICOIN 2023, January 2023.
- [8] 田邊広大, 北形元, 長谷川剛, "LPWA を用いたネットワーク機器のアウトオブバンド管理のための通信量削減手法," 情報処理学会 DPS 研究会, 2022年5月.Link
- [9] 長谷川剛, 渡邊光裕, "ネットワーク運動型輻輳制御アーキテクチャ," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 171, IN2022-35, pp. 41-44, 2022年9月 (招待講演).Link
- [10] 長谷川剛, 中平佳裕, 鹿嶋正幸, "TWDM-PON フロントホールネットワークを用いたローカル 5G トラフィックの処理機能配置に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 275, CQ2022-48, pp. 7-12, 2022年11月.Link
- [11] 下西英之, 村田正幸, 長谷川剛, "分散映像分析システムの消費電力最適化方式の検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 275, CQ2022-52, pp. 28-33, 2022年11月.Link
- [12] 渡邊光裕, 長谷川剛, "ネットワーク内制御に基づく輻輳制御アーキテクチャの潜在的な性能に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 305, IN2022-43, pp. 1-6, 2022年12月.Link
- [13] 長谷川剛, "[依頼講演] Beyond 5G/6G のためのエッジコンピューティングに基づくネットワーク・アプリケーション制御技術に関する研究," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 311, RCS2022-206, pp. 97-97, 2022年12月.Link

- [14] 中村樹, 荒川伸一, 宮坂拓也, 田上敦士, 長谷川剛, 村田正幸, "5G 通信技術を用いた C-V2X におけるセルラーリソース割当手法の実装と評価," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 310, NS2022-142, pp. 70-75, 2022 年 12 月. [Link](#)
- [15] 長谷川剛, 村田正幸, "無線資源占有時間を改善するためのエッジコンピューティングを用いたデータ転送・処理戦略に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 363, CQ2022-75, pp. 79-84, 2023 年 1 月. [Link](#)
- [16] 長谷川剛, 中平佳裕, 鹿嶋正幸, "HetNet 環境におけるトラフィック予測に基づく資源割当戦略に関する一検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 363, CQ2022-76, pp. 85-90, 2023 年 1 月.
- [17] 長谷川剛, 下西英之, 村田正幸, "デジタルツインのためのセンサデータ収集・処理の最適化における計算時間短縮手法と観測誤差が与える影響の評価," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 438, CQ2022-102, pp. 113-118, 2023 年 3 月.
- [18] 坂本 和也, 北形 元, 長谷川 剛, "LPWA を用いた小型 IoT 機器向け移動エージェントフレームワークの設計と評価," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 122, no. 407, IN2022-96, pp. 181-186, 2023 年 3 月.
- [19] 坂本和也, 中屋悠資, 北形元, 長谷川剛: LPWA を用いた小規模 IoT 機器向けの移動エージェントフレームワークの提案, 情報処理学会論文誌, 2023 年.

環境調和型セキュア情報システム研究室

安心・安全な社会を支える情報セキュリティ技術の創出



環境調和型セキュア情報システム研究分野 教授 本間 尚文
 助教 上野 嶺

<研究室の目標>

モノのインターネットに代表される次世代情報通信技術は、豊かな社会をもたらすと期待される一方で、新たなセキュリティ上の脅威を生じさせると危惧されている。本研究室では、将来のサービスやテクノロジーを誰もが安全に利用できる社会システムを目的として、その基幹となる情報通信システムのセキュリティ設計・評価・検証技術の研究開発に取り組んでいる。特に、暗号等のセキュリティ機能を超高速・極低電力で行う LSI コンピューティング、各種攻撃に頑健なセキュア実装技術、利用環境・応用分野に応じたシステムセキュリティ設計技術に関する研究を中心に推進している。将来的には、膨大かつ多様な情報発生源(センサ端末などのハードウェア)のレベルからシステム実装、利用環境・応用分野まで考慮したセキュア情報通信システムの統一的な構築技術の確立を目指している。また、国内外の大学・企業・政府機関との連携により、上記の研究開発から得られた成果を積極的に社会実装していく。

<2022年度の主な成果>

1. 公開鍵暗号の効率的かつ安全な実装方法の開発

公開鍵暗号は秘匿通信や鍵交換、電子署名などに基づく安全な情報システムの実現に必要な不可欠な技術である。現在使われる公開鍵暗号の数学的安全性は十分に解析されているが、実装時に生じる物理的漏えいを悪用する実装攻撃の脅威が知られている。近年では深層学習を漏えいの解析に用いることでより強力な攻撃が可能なが複数報告されており、その脅威の正確な把握と対策技術の開発が急務となっている。本年度は、最も代表的な公開鍵暗号である RSA 暗号の実装安全性評価を行った。まず、現実世界で利用されているオープンソースの RSA 暗号実装の物理的漏えい(消費電力あるいは放射電磁波)を深層学習を用いて解析することで、たった一回の RSA 復号から秘密鍵を抽出できることを発見し、その対策法を提案した[1]。また、別のオープンソース RSA 暗号実装について、リモートキャッシュ攻撃による秘密鍵復元の可能性を調査し、同実装に対する具体的な安全性評価手法を初めて開発するとともに対策について議論した[2]。

RSA 暗号は将来開発・実用化される大規模量子計算機により解読可能なことが知られているため、量子計算機を用いた暗号解読に対して安全な公開鍵暗号である。本年度は、前年度に開発した耐量子計算機暗号の実装安全性評価手法を発展し、より正確な安全性評価を可能とした[3]。また、耐量子計算機暗号の高効率実装に関する研究も推進しており、米国標準技術研究所 (NIST) による標準化が決定した耐量子計算機暗号である Crystals-Kyber を始めとする多くの暗号で用いられている数論変換アルゴリズムを効率的に実行するハードウェアを開発した[4]。

2. 暗号実装に対するサイドチャネル攻撃の対策技術の安全性を数学的に証明

サイドチャネル攻撃は暗号実装に対する現実的な脅威であり、その脅威の正確な把握と対策法の開発が急務となっている。本年度は、確率論および情報理論の観点からサイドチャネル攻撃を数式的に解析し、マスキングと呼ばれる対策手法の安全性をこれまでよりも現実的な条件下で証明することに成功した[5]。また、これまでのサイドチャネル攻撃における安全性評価指標の不備を指摘し、それを改善した新たな評価指標を提案するとともに、提案評価指標が統計学的・順序論的に良い性質を持つことを証明した[6]。

3. 不揮発メモリの暗号化を効率的に実現するスキームを開発

不揮発メモリはその不揮発性から盗聴や改ざんの危険性が高く、暗号化による対策が用いられる。本年度は、不揮発メモリの暗号化を低遅延に実現する暗号スキームを開発するとともに、その安全性を証明した[7]。

<職員名>

教授 本間 尚文 (2016年より)

助教 上野 嶺

秘書 服部 美紀子

<プロフィール>

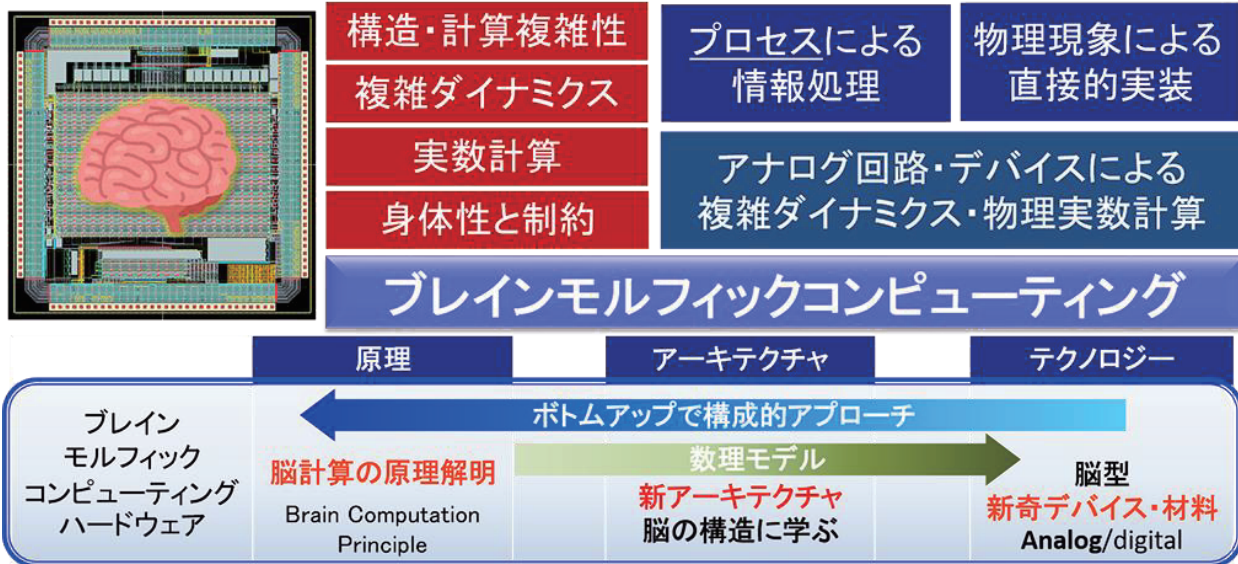
本間 尚文 1997年3月 東北大学工学部情報工学科卒業。2001年9月 同大学院情報科学研究科システム情報科学専攻博士後期課程修了。2001年10月 同大学院助手/助教。2009年4月 同大学院准教授。2016年6月 同大電気通信研究所教授、現在に至る。博士(情報科学)。2009-2010年/2016-2017年 国立パリ高等情報通信大学客員教授。RIEC Award (2012年)、IEEE EMC Best Symposium Paper Award (2013年)、IACR CHES Best Paper Award (2014年)、SCIS イノベーション論文賞 (2014年、2015年)、日本学術振興会賞(2018年)、市村学術賞(2018年)、German Innovation Award (2018年)など受賞。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] Kotaro Saito, Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, "One Truth Prevails: A Deep-learning Based Single-Trance Power Analysis on RSA-CRT with Windowed Exponentiation," *IACR Trans. Cryptogr. Hardw. Embedded Syst.*, 2022(4), pp.490–526, 2022.
- [2] Rei Ueno, and Naofumi Homma, "How Secure is Exponent-blinded RSA-CRT with Sliding Window Exponentiation?," *IACR Trans. Cryptogr. Hardw. Embedded Syst.*, 2023(2), pp.241–269, March 2023.
- [3] Yutaro Tanaka, Rei Ueno, Keita Xugawa, Akira Ito, Junko Takahashi, and Naofumi Homma, "Multiple-Valued Plaintext-Checking Side-Channel Attacks on Post-Quantum KEMs," *IACR Trans. Cryptogr. Hardw. Embedded Syst.*, 2023. (to appear)
- [4] Yuma Itabashi, Rei Ueno, and Naofumi Homma, "Efficient Modular Polynomial Multiplier for NTT Accelerator of Crystals-Kyber," *Euromicro DSD*, pp.528–533, 2022.
- [5] Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, "On the Success Rate of Side-Channel Attacks on Masked Implementations: Information-Theoretical Bounds and Their Practical Usage," *ACM CCS*, pp.1521–1535, 2022.
- [6] Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, "Perceived Information Revisited: New Metrics to Evaluate Success Rate of Side-Channel Attacks," *IACR Trans. Cryptogr. Hardw. Embedded Syst.*, 2022(4), pp.228–254, 2022.
- [7] Akiko Inoue, Kazuhiko Minematsu, Maya Oda, Rei Ueno, and Naofumi Homma, "ELM: A Low-Latency and Scalable Memory Encryption Scheme," *IEEE Trans. Inf. Forensics Security*, 2022.

ソフトコンピューティング集積システム研究室

ブレインモルフィックコンピューティングハードウェアの開発



ソフトコンピューティング集積システム研究分野 教授 堀尾 喜彦

<研究室の目標>

脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理装置である脳型コンピュータハードウェアの実現を目標とする。特に、脳が多数の神経細胞の複雑なネットワークであることに注目し、その生物物理的な高次元複雑ダイナミクス（プロセス）を、アナログ集積回路やデバイスのダイナミクスにより直接的に実装する。そのため、高次元カオス結合系や大規模複雑系集積回路、超低消費電力非同期ニューラルネットワーク集積回路、スピントロニクスデバイスによるニューロンや不揮発アナログシナプス回路など、脳型コンピュータハードウェア実現のための基盤・応用技術の開発を行っている。これにより、最新の脳科学の知見に基づいた「ブレインモルフィックコンピューティングパラダイム(Brainmorphic Computing Paradigm)」の創成を目標とする。さらに、ダイナミックに状態や機能的結合構造が変化する神経ネットワークや、身体性の導入などにより、自己や意識を持つ自律的な脳型コンピュータの実現を目指す。

<2022年度の主な成果>

1. カオスニューラルネットワークリザバーの研究

Through Silicon Via と Micro Bump により 3 次元積層実装したカオスニューラルネットワークリザバー(CNNR)LSI を用いて、離散単語音声認識実験を行った。さらに、FORCE 学習を CNNR に適用し、ハイパーカオスを含む様々なダイナミクスを持つ CNNR を用いた時系列生成に成功した。また、出力層ニューロンにカオスニューロンを導入して、時系列予測を行い、非常に高い性能を確認した。

2. スピントロニクスニューロンおよびシナプスデバイスの数理モデルの開発

これまでに提案した、熱ダイナミクスに基づくスピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスの数理モデルをより精緻なものとするため、熱回路によるモデリングを行い、物理シミュレータにより詳細な解析を行った。

3. 指数減衰する内部状態と自己結合を持つニューロンを用いたリザバーに関する研究

リザバーニューラルネットワーク内の局所的な記憶として内部状態の時定数および自己結合の時定数を導入したニューラルネットワークを提案し、これら局所不応性パラメータ、出力関数の最大ゲインパラメータおよびバイアスと音声認識性能との関係について、シミュレーション実験により詳細に検討した。

4. 時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークに関する研究

時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークをスパイクングニューロン回路として実装するため、連続時間の微分方程式モデルとして記述すると共に、基本的な回路構成を提案し、個別部品回路実験によりその有効性を確認した。

<職員名>

教授 堀尾 喜彦 (2016年より)

特任研究員 織間 健守 (2022年10月より)

技術補佐員 高橋 真理子

<プロフィール>

堀尾 喜彦 1982年3月 慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。1987年3月 同大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。1987年4月 東京電機大学工学部助手。1991年4月 同講師。1993年10月 同助教授。2000年4月 同教授。2016年4月 東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。2021年4月より、ナノ・スピン実験施設長。非線形アナログ集積回路、ニューラルネットワーク集積回路、複雑工学システムの研究に従事。安藤博記念学術奨励賞受賞 (1990年)、IEEE Myril B. Reed Award 受賞 (1991年)、NCSP Best Paper Award 受賞 (2005年、2007年、2008年、2013年、2020年)、IEEE NDES Best Paper Award 受賞 (2005年、2007年)、ICSI-ISIS Best Paper Award 受賞 (2008年)、電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ特別功労賞受賞 (2016年)、電子情報通信学会フェロー (2018年)、応用物理学会優秀論文賞受賞 (2019年)、NOLTA2020 Best Paper Award 受賞 (2020年)、東京電機大学 名誉教授 (2020年)。

<2022年度の主な発表論文等>

- [1] K. Onuki, K. Cho, Y. Horio, and T. Miyano, "Secret-key exchange through synchronization of randomized chaotic oscillators aided by logistic hash function," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 69, no. 4, pp. 1655-1667, DOI: 10.1109/TCSI.2022.3140762, 2022.
- [2] T. Orima and Y. Horio, "Preliminary experimental results of a stacked 3D cyclic chaotic neural network reservoir integrated circuit," NOLTA, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 306-311, DOI: 10.1587/nolta.13.306, .2022.
- [3] Y. Horio, K. Naoe, S. Sato, Y. Yamanouchi, Y. Takaura, M. Yamaguchi, M. Morishima, and A. Hirano-Iwata, "Designing the human-centric IoT society: Cooperative industry-academic strategies for creative future connection," NOLTA, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 197-202, DOI: 10.1587/nolta.13.197, 2022.
- [4] S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "Ultra-low power analog CMOS implementation of spiking neural networks for reservoir computing applications," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 171-172, online, December 12-15, 2022.
- [5] Y. Kikuchi, Y. Horio, S. Fukami, and H. Ando, "Tunnel conductance modeling of spintronics devices based on device temperature dynamics," in Proceedings of International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 139-142, online, December 12-15, 2022.
- [6] S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "A fully analog CMOS implementation of a two-variable spiking neuron in the subthreshold region and its network operation," in Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, #792 (7 pages), July 19-23, 2022.

新概念 VLSI システム研究室

新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現

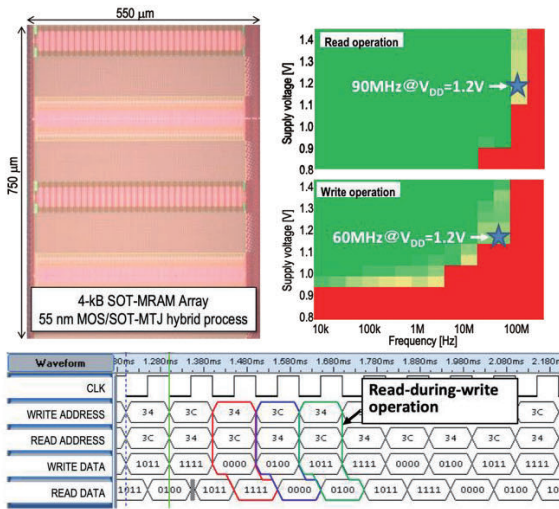


図1. 3端子スピントロニクス素子を用いたデュアルポート型不揮発メモリ(SOT-MRAM)を試作し、高速読み書きおよびその同時並行動作を実チップ上で実証

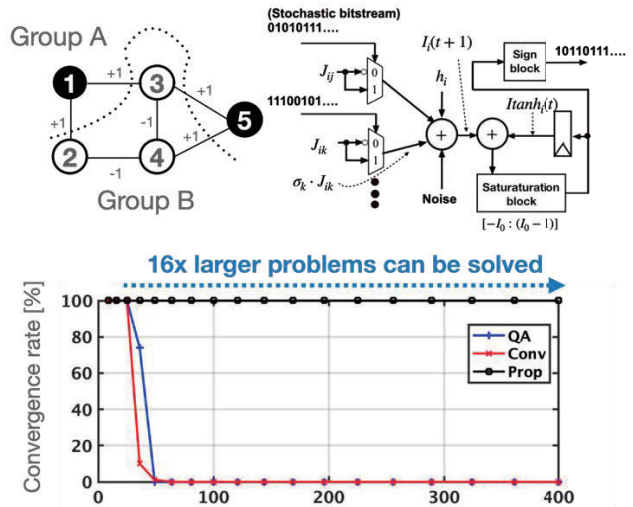


図2. 確率的演算の活用により、組合せ最適化問題において量子アニーリング技術として知られるD-Waveと比較して、約16倍大規模な問題の解くことに成功。

新概念 VLSI システム研究分野 教授 羽生 貴弘

新概念 VLSI デザイン研究分野 准教授 夏井 雅典

新概念 VLSI コンピューティング研究分野 准教授 鬼沢 直哉

<研究室の目標>

現在の VLSI (Very Large Scale Integration) においては、素子間の配線に起因するメモリと演算器間のデータ転送ボトルネック、プロセス微細化に伴うリーク電流がもたらす消費電力の増大、および材料特性ばらつきに起因する信頼性の低下といった様々な要因がシステム性能を向上させる上で深刻な問題となっている。これらの問題を全く新しい視点から解決する新概念 VLSI コンピューティングパラダイムの実現を目的とし、本研究室では、従来の延長上にはない新しい概念に基づく VLSI アーキテクチャに関する研究、すなわち不揮発記憶機能を有する新デバイスを演算回路に分散配置させることで高性能性・多機能性と高信頼性の両立を可能にする不揮発性ロジックインメモリ VLSI アーキテクチャ、脳機能を模倣することで人間的判断・意味理解を可能にする VLSI コンピューティングなど、高性能 VLSI プロセッサの実現に関する研究を行っている。

<2022 年度の主な成果>

1. スピントロニクス／半導体融合集積回路技術に基づく不揮発性 CPU の実現 (図 1)

オープンソースの柔軟な命令セットアーキテクチャである RISC-V をベースにした不揮発性 CPU を設計した。本 CPU は、MTJ デバイスを用いた不揮発性レジスタ、IoT 処理向け内蔵アクセラレータモジュール、およびこれらを制御するためのカスタム命令を備え、処理の途中における中間データを不揮発的に保持することで、間欠動作において効率的なパワーゲーティングの適用が可能となった。55nm CMOS/MTJ ハイブリッドプロセス技術による設計および性能評価を通し、本 CPU 平均消費電力 3.91μW/MHz を達成することを確認した。この研究成果は、国際的な学術誌「Memories - Materials, Devices, Circuits and Systems」に採録された。

2. 大規模な組み合わせ最適化問題を解く確率的計算技術を効率的にハードウェア実現 (図 2)

膨大なデータの組合せから最適解を求める問題として知られる組合せ最適化問題において、量子アニーリングで知られる D-Wave Systems 社のマシンと比較して、約 16 倍の大規模な組み合わせ最適化問題を解く確率的計算アルゴリズムを確立した。本アルゴリズムをハードウェア実装するにあたり、必要メモリ量を最大 1/6 に削減可能なハードウェアアルゴリズムを開発し、FPGA によりハードウェア実証を行った。本研究成果は米国の科学誌「IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems」に採録された。

<職員名>

教授 羽生 貴弘 (2002年4月より) 准教授 夏井 雅典 (2008年4月より)
 准教授 鬼沢 直哉 (2013年12月より)

<プロフィール>

羽生 貴弘 1989年3月東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程了。1989年4月同大工学部助手。1993年2月同大工学部助教授。2002年4月同大電気通信研究所教授、現在に至る。不揮発性ロジックに関する研究に従事。IEEE ISMVL Best Paper Award (1986年、1988年)、丹羽記念賞 (1988年)、坂井記念賞 (2000年)、LSI デザイン・オブ・ザ・イヤー審査員特別賞 (2002年)、ASP-DAC2007 Special Feature Award (2007年)、応用物理学会 JJAP 論文賞 (2009年)、電子情報通信学会優秀論文賞 (2010年)、市村学術賞貢献賞 (2010年)、IEEE ISVLSI'10 Best Paper Award (2010年)、SSDM Paper Award (2012年)、IEEE ASYNC'14 Best Paper Finalist (2014年)、平成27年度科学技術分野文部科学大臣表彰科学技術賞 (研究部門) (2015年)などを受賞。IEEE Senior Member。

夏井 雅典 2005年3月東北大学大学院情報科学研究科基礎科学専攻博士後期課程了。2005年4月豊橋技術科学大学情報工学系助手。2008年4月東北大学電気通信研究所助教。2014年7月同准教授、現在に至る。自動回路設計、不揮発性ロジックに関する研究に従事。電子情報通信学会 エレクトロニクスソサイエティ論文賞 (2010年)、同活動功労表彰 (2021年)、IEEE ISMVL K. C. Smith Award (2012年)、石田實記念財団研究奨励賞 (2020年) などを受賞。IEEE Member。

鬼沢 直哉 2009年3月東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士後期課程了。2013年12月同大学際科学フロンティア研究所助教。2018年10月 JST さきがけ研究員、2020年11月同学電気通信研究所准教授、2021年5月同大ディステイング イッシュトリチャー、現在に至る。確率的演算とその応用に関する研究に従事。令和2年度科学技術分野文部科学大臣表彰・若手科学者賞 (2020年)などを受賞。IEEE Member。

<2022年度の主な発表論文等>

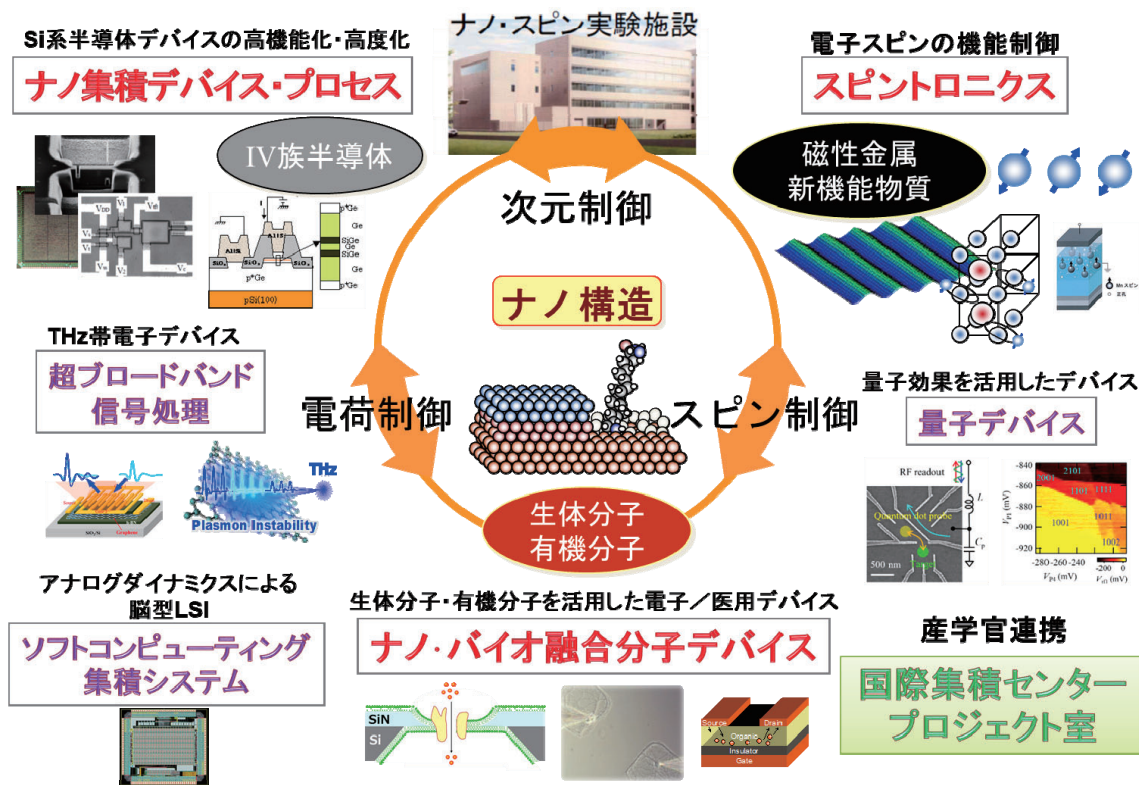
- [1] N. Onizawa, K. Katsuki, D. Shin, W. Gross, and T. Hanyu, "Fast-Converging Simulated Annealing for Ising Models Based on Integral Stochastic Computing," IEEE Trans. on Neural Networks and Learning Systems, 2023 (in press). DOI: 10.1109/TNNLS.2022.3159713
- [2] D. Shin, N. Onizawa, W. Gross and T. Hanyu, "Memory-Efficient FPGA Implementation of Stochastic Simulated Annealing," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, vol. 13, no. 1, pp. 108-118, Mar. 2023. DOI: 10.1109/JETCAS.2023.3243260
- [3] M. Natsui, K. Sakamoto, and T. Hanyu, "Design of a Nonvolatile-Register-Embedded RISC-V CPU with Software-Controlled Data-Retention and Hardware-Acceleration Functions," Memories - Materials, Devices, Circuits and Systems, Vol.4, pp.100035-1-100035-9, 2023. DOI: 10.1016/j.memori.2023.100035
- [4] D. Suzuki and Takahiro Hanyu, "Design of an Energy-Efficient Nonvolatile Lookup Table Circuit Using Active-Load-Localized Circuitry with Self-Terminated Writing/Reading," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), 2023 (in press). DOI: 10.35848/1347-4065/acbd5a
 (他 査読付き国際会議論文6編)

3. 5 ナノ・スピン実験施設

「ナノ・スピン実験施設」は、本研究所附属研究施設として平成16年4月1日に設置された。その目的は、情報通信を支えるナノエレクトロニクス・スピントロニクス基盤技術を創生することにある。これを実現するため、「ITプログラムにおける研究開発推進のための環境整備」によって整備されたナノ・スピン総合研究棟とその主要設備を用いて、本研究所および本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野と共にナノテクノロジーに基づいた電子の電荷・スピンを駆使する基盤的材料デバイス技術の研究開発を進め、さらに全国・世界の電気通信分野の研究者の英知を結集した共同プロジェクト研究を推進する。

現在、ナノ・スピン総合研究棟では、「ナノ・スピン実験施設」が推進するナノ集積デバイス・プロセス、スピントロニクス、ナノ・バイオ融合分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と、国際集積センタープロジェクト室、施設共通部、及び超ブロードバンド信号処理研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室、量子デバイス研究室が連携して研究を進めている。これらの陣容で、上記基盤技術を創生し、ナノエレクトロニクス・スピントロニクスにおける世界のセンターオブエクセレンス(COE)となることを目標としている。

～情報通信を支えるナノ・スピン基盤技術の創生～



以下に、施設研究部と利用研究室の令和4年度の研究成果のハイライトを記す。

ナノ集積基盤技術関連

● ナノ集積デバイス・プロセス（佐藤茂雄・櫻庭政夫・山本英明）

- (1) 多様な神経パルスを再現し極低電力で動作するスパイクニューロンを LSI 上に実装し、これを用いて再帰的ニューラルネットワークを構成しリザバー計算に応用した。音声等の時系列信号を正しく分類できることを電気測定により確認した。
- (2) 高耐圧・低損失パワー半導体デバイスの開発を目指し、高温ウェット酸化によって形成したゲート酸化膜を用いた二重イオン注入型 Al ゲート 4H-SiC MOS トランジスタ製作プロセスの構築を進め、ゲート長 5 ミクロンにおいてもゲートリークが抑制された明瞭なトランジスタ動作特性を確認することに成功した。
- (3) マイクロ流体デバイスを用いて培養神経細胞を高密度多点電極アレイ上にパターン培養し、生物の脳神経系で見られるモジュール構造を有する神経細胞回路を再構成した。その自発活動を長時間分解能で計測し、これまで蛍光カルシウムイメージングで捉えられていたモジュールごとの活動伝搬に加えて、モジュール内部で起こるサブミリ秒の活動伝搬も捉えることに成功した。
- (4) ジョセフソン伝送線路を用いたリザバー計算の手法について提案した。超伝導素子であるジョセフソン接合を用いて高速かつ低電力な時系列認識が可能であることを数値実験により明らかにした。

● ソフトコンピューティング集積システム（堀尾喜彦）

脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストな情報処理が可能なブレインモルフックハードウェアの研究・開発を行っている。本年度の主な成果を以下にまとめる。

- (1) Through Silicon Via と Micro Bump により 3 次元積層実装したカオスニューラルネットワークリザバー(CNNR)LSI を用いて、離散単語音声認識実験を行った。さらに、FORCE 学習を CNNR に適用し、ハイパーカオスを含む様々なダイナミクスを持つ CNNR を用いた時系列生成に成功した。また、出力層ニューロンにカオスニューロンを導入して、時系列予測を行い、非常に高い性能を確認した。
- (2) これまでに提案した、熱ダイナミクスに基づくスピン軌道トルクニューロン様デバイスおよびシナプス様デバイスの数理モデルをより精緻なものとするため、熱回路によるモデリングを行い、物理シミュレータにより詳細な解析を行った。
- (3) リザバーニューラルネットワーク内の局所的な記憶として内部状態の時定数および自己結合の時定数を導入したニューラルネットワークを提案し、これら局所不応性パラメータ、出力関数の最大ゲインパラメータおよびバイアスと音声認識性能との関係について、シミュレーション実験により詳細に検討した。
- (4) 時空間系列コンテキスト学習・記憶ネットワークをスパイクニューロン回路として実装するため、連続時間の微分方程式モデルとして記述すると共に、基本的な回路構成を提案し、個別部品回路実験によりその有効性を確認した。

スピントロニクス基盤技術関連

● スピントロニクス（深見俊輔、金井駿）

固体中の電子の電荷とスピンの自由度を使った省エネルギーかつ高機能なスピントロニクス素子の実現を目的としてスピントロニクス物理、材料、素子に関する研究を行っている。令和 4 年度は主に以下の成果に関する論文発表を行った。(1) 固体中の量子情報の保持時間を記述する一般化スケリング則を発見した。(2) 従来のファラデーの電磁誘導の法則とは異なり、スピン・軌道相互作用を介した磁化ダイナミクスを利用したインダクタンスの新原理の理論を提案した。(3) ノンコリア反強磁性 Mn_3Sn 薄膜のサブミクロンスケールの磁気構造とその動的性質、及びスピン

輸送特性との関係を明らかにした。(4)スピントロニクス素子の磁場や電流印加状態での熱活性磁化ダイナミクスを記述する表式における未解明因子を実験により決定した。(5) 反強磁性・強磁性相転移を起こす FeRh と強磁性 NiFe からなる積層構造において電流印加時に FeRh が NiFe に及ぼすトルクを測定し、FeRh が反強磁性相にあるとき異常に大きなトルクが生成されることを明らかにした。(6) 確率論的コンピューティングへの応用が期待される超常磁性磁気トンネル接合の外部磁場に対する脆弱性を克服する人工反強磁性結合を利用した構造を提案し、外部磁場に対する高い耐性を実証した。(7) 超常磁性磁気トンネル素子とプログラマブル半導体回路を組み合わせたスピントロニクス確率論的コンピュータを構築し、優れた計算性能と電力効率を実証した。(8) 反強磁性スピントロニクスにおいて、反強磁性磁気モーメントの集団的なコヒーレントダイナミクスで特徴づけられる新たなパラダイムに関する可能性をまとめた。(9) ノンコリニア反強磁性 Mn₃Sn ナノドットを形成し、単一ドメイン構造を有した反強磁性磁気秩序の熱安定性を定量評価することに成功した。(10) 垂直磁化容易軸を有する磁気トンネル接合を作製し、入力電圧と流れる電流の間に生ずる非線形性を測定し、2次の成分、3次の成分の起源となる因子について考察した。

● 超ブロードバンド信号処理 (尾辻泰一・佐藤昭)

本研究室では、いまだ未開拓な電磁波領域であるミリ波・テラヘルツ波帯の技術を開拓し、次世代の情報通信・計測システムへ応用することを目的として、III-V 族化合物半導体ならびに炭素同素体単原子材料グラフェンを材料系として用い、プラズモンなどの新しい動作原理の導入によって、新規の集積型ミリ波・テラヘルツ波電子デバイスと回路システムの創出を目指している。さらに、それらを応用した超高速無線通信システムや安心安全のための分光・イメージング技術などの超ブロードバンド信号処理技術に関する研究開発を推進している。本年度は、以下の成果を得た。

1. グラフェンをチャネル材料としたテラヘルツ検出素子の開発

炭素原子の炭素材料：グラフェンは、電子・正孔が有効質量を消失し相対論的 Dirac 粒子として振る舞うなどの特異な光電子物性を有しており、夢の光電子デバイス材料として注目されている。今年度は、独自の非対称二重回折格子ゲート構造を有するグラフェンチャネル電界効果トランジスタを試作し、電子のみが関与するユニポーラ型光電熱テラヘルツ検出機構を新たに発見し、高速・高感度なテラヘルツ波検出に初めて成功した。(2022.12. プレスリリース)

2. 光無線融合ミキサの開発

将来の光無線融合ネットワークにおいて不可欠な技術である、光データ信号から RF データ信号への直接キャリア周波数下方変換を実現するため、InGaAs 系高電子移動度トランジスタをベースとした光ダブルミキサの研究を進めている。今年度は、デバイスに入力される光信号を低雑音に高強度化する手法に着目し、その手法の同デバイスへの適用可能性を明らかにするとともに、最大で 10 倍以上の変換利得向上が見込めることを示した。(権威ある国際会議で最優秀ポスター論文賞受賞)

● 量子デバイス (大塚朋廣)

本研究室では、新しい情報処理、通信に向けた基盤研究として、人工的に作製、制御した固体ナノ構造における物性解明、およびデバイス応用の研究を進めている。固体ナノ構造中の局所電子状態の電気的な精密高速測定、制御技術を駆使することにより、固体ナノ構造における物理現象を解明し、固体ナノ構造における電子物性を活用した新しい材料、デバイスの研究、開発を行っている。

(1) 固体ナノ構造中の局所電子状態を解明し活用するために、局所的な電子状態に直接的にアクセスできる測定、制御手法を開発している。局所電子状態の測定、制御技術の改良を進めると

もに、グラフェン等の新しい材料においてもこれらの精密高速電気測定を実施した。

(2) 電氣的精密高速測定手法を活用することにより、固体ナノ構造デバイスにおける局所電子状態を測定した。半導体量子ドットや微細構造デバイス、新材料における電子状態についてその詳細を解明した。

(3) 半導体量子ドット中の電子スピンは、量子情報処等に向けた量子ビットの候補として研究が進められている。我々は局所電子状態の精密高速測定・制御技術を活用して、半導体量子ビット等の量子デバイスの研究を行った。量子デバイスの状態推定、制御の研究とともに、新材料量子デバイスに関する研究を行った。

ナノ・バイオ融合分子デバイス基盤技術関連

● ナノ・バイオ融合分子デバイス（平野愛弓）

微細加工技術とバイオ・有機材料との融合により、高次情報処理を可能にする様々な分子デバイスの開発を目指す。半導体微細加工技術を薬物スクリーニング等に応用するバイオエレクトロニクスの研究や、有機材料に基づくデバイス開発、生きた細胞を使って神経回路を作り上げ、固体基板上に脳機能を再構成しようとする研究を進めている。これらのデバイスは情報通信システムと結合可能であり、健康社会のための新技術として実現することを目指している。

(1) イオンチャネル機能解析のための人工細胞膜システムの新たな進展

生体膜上に存在するイオンチャネルは、膜内外におけるイオンの輸送機能を担っており、活動電位の発生や神経伝達など生体維持に不可欠な生理現象に関与していることから、その機能解析は重要視されてきた。イオンチャネルの機能解析手法の一つとして、人工細胞膜システムがある。我々の研究室では、異なる側面から2種類の人工細胞膜システムを構築してきた。一つは、無細胞タンパク質合成技術と組み合わせた薬剤副作用評価のための細胞膜模倣システムであり、将来における個別化医療の発展に寄与すると期待される薬剤スクリーニングシステムの基盤となりうる。もう一つは、従来の膜貫通電圧に加えて、さらに膜平行電圧という新たな入力を導入した4端子人工細胞膜システムであり、イオンチャネル機能解析の革新的技術発展へと繋がりを打ち出している。以上の我々が構築してきた人工細胞膜システムの詳細について国際誌 *Membranes* にて発表し、その展望性についても議論した。

(2) 人工神経細胞回路の高時空間分解能計測とバイオ計算応用

多点電極アレイ (MEA) は基板に埋め込まれた微小電極を用いて活動電位の発生に伴う細胞外電位変化を電氣的に計測するデバイスである。近年、CMOS プロセス技術を用いて作製された高密度(HD) MEA が登場したことで、MEA における空間分解能の課題が解決され、培養神経回路の活動を単一細胞レベルで計測することが可能となった。本年度の研究では、新たに HD-MEA 上に培養神経細胞をパターン培養するためのデバイス表面修飾法を確立し、生体神経回路で見られるモジュール構造を有する神経細胞回路を再構成した。その活動を高時間分解能で計測した結果、これまで蛍光カルシウムイメージングで捉えられていたモジュールごとの同期性の変調に加えて、モジュール内部で起こるサブミリ秒の活動伝搬も捉えられることを見いだした。本成果は、国際誌 *Frontiers in Neuroscience* に報告した。さらに、レーザーコンピューティングの枠組みを用いて培養神経回路の刺激応答を、パターン分類などの情報処理に結びつけることにも成功し、培養神経細胞の信号フィルター特性や、回路のモジュール性と情報処理性能との関係を明らかにした。

(3) バイオナノファイバーを用いたフレキシブル刺激電極の作製

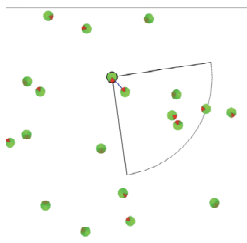
バイオポリマーの一種であるキトサンナノファイバーにカーボンナノチューブを配線するプロセスを確立し、神経刺激用のフレキシブル電極を作製した。キトサンナノファイバーは生体適合性が高く、作製した電極を用いて、生きたイナゴの末梢神経の刺激に成功した。本成果は、ミュンヘン工科大学との国際共同研究によるものであり、国際誌 *Journal of Nanobiotechnology* に報告した。

3. 6 ブレインウェア研究開発施設

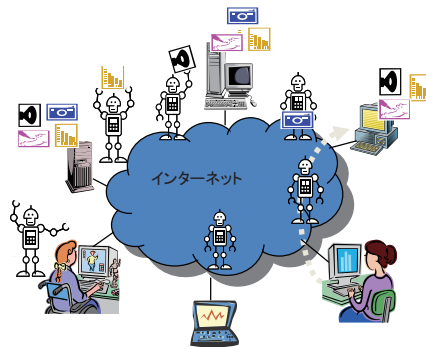
ブレインウェア研究開発施設は、本研究所附属研究施設として平成16年4月の研究組織の改組・再編と同時にブレインウェア実験施設として新設され、その後、平成26年度概算要求の採択を機に、平成26年4月にブレインウェア研究開発施設と名称変更した。その目的は、**電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを、世界に先駆けて実現する基盤技術の創製とその応用分野を展開することである。**そのために、本研究所及び本所と密接な関係にある本学電気・情報系の各研究分野の研究成果と全国のブレインウェア分野の研究者の英知を結集して研究を行う。

この施設は、**適応的認知行動システム研究部（認識・学習システム研究室）、自律分散制御システム研究部（実世界コンピューティング研究室）、脳型LSIシステム研究部（新概念VLSIシステム研究室、ソフトコンピューティング集積システム研究室）、ブレインアーキテクチャ研究部の4研究分野の協力の下に、研究及び施設の運営を行う。**

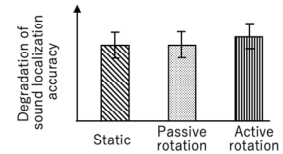
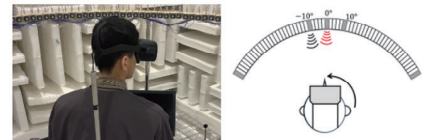
身体性を持つ動的・適応的ハードウェア



・超現実空間構成技術 (ブレインアーキテクチャ)



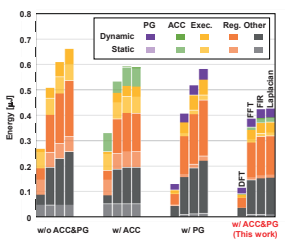
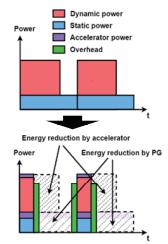
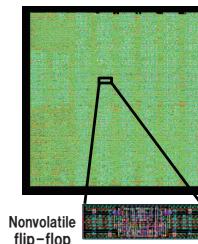
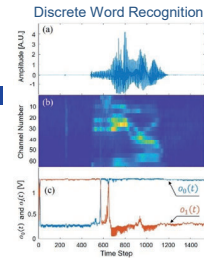
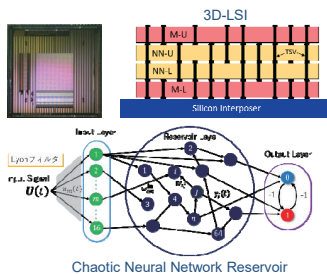
実世界と電脳世界のシームレスな融合 マルチモーダルコンピューティング



回転運動中の音空間知覚

・高次多感覚ブレイン情報処理技術 (認識・学習システム)

超並列ブレインLSIによるハードウェア



・IoTエッジ向け省電力不揮発CPU (新概念VLSIシステム)

<施設の目標>

本施設の目標は、**電脳世界と時々刻々複雑に変化する実世界をシームレスに融合する次世代情報システムを、世界に先駆けて実現する基盤技術の創製とその応用分野を展開することである。**この目標の実現へ向け、本施設に参画する各研究室では、下記の個別目標を設定し、研究活動を推進している。

実世界コンピューティング研究室：生物は、自身の身体に持つ膨大な自由度を巧みに操り、自己組織的に振る舞いを生成することで、非構造的かつ予測不能的に変動する実世界環境に対してリアルタイムで対処している。本研究室では、自律分散制御を中核的な概念に据え、生物のようにしなやかかつレジリエントに実世界環境に適応可能な「生き生きとしたシステム」の設計原理の理解と

その知的人工物システムへの実装方策の構築を目指す。

新概念VLSIシステム研究室：配線数、電力消費及び材料特性ばらつきに起因する信頼性低下が超微細VLSIにおいて益々問題となる。そこで本研究室では、従来の延長上にはない新しい概念に基づくVLSIアーキテクチャに関する研究、すなわち不揮発記憶機能を有する新デバイスを演算回路に分散配置させることで高性能性・多機能性と高信頼性の両立を可能にする不揮発性ロジックインメモリVLSIアーキテクチャなど、高性能VLSIプロセッサの実現に関する研究を推進し、従来技術の問題を全く新しい視点から解決する新概念VLSIコンピューティングパラダイムの実現を目指す。

認識・学習システム研究室：人間は、環境の中で頻繁に自らの身体部位を動かしながら、視覚情報や触覚情報といった複数の感覚情報から外界を認識し、その認識に基づいて複雑で多様な行動を効率的かつ適応的に行うことができる。本研究室では、このような人間の認知行動システムが示す適応的な情報処理原理とその機能を実験的に解明し、その知見に基づいて脳内で認識・学習する過程のモデル構築を目指す。

ソフトコンピューティング集積システム研究室：脳の情報処理様式に学んだ、高性能で効率的、柔軟でロバストなブレインモルフィックコンピュータパラダイムの創成とそのハードウェア実現を目標とする。特に、物理的な高次元複雑ダイナミクスなどのプロセスによる情報処理を活用し、アナログ集積回路を核とした計算システムとして実装する。さらに、ダイナミックな状態や構造の変化や体性感覚などの導入により、自己や意識を持つ自律的な脳型コンピュータの研究も目指す。

<2022 年度の主な成果>

ブレインウェア研究開発施設の目標である、電脳世界と実世界のシームレスな融合に向けて種々の研究成果を挙げた。特に、2022 年度の下記研究成果は、本目標に向けた重要な前進である：

- ・Active sensing に基づく移動体の自律分散制御則の構築に成功

(実世界コンピューティング研究室)

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2022.992716/full>

- ・不揮発 CPU (RISC-V) の命令セットに PG (power gating) 制御命令を組み込み、典型的な算術演算 (FFT や Laplacian filtering など) 実行時の電力消費の大幅な削減に成功

(新概念 VLSI システム研究室)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2773064623000129>

- ・「ヨッタスケールデータ社会の情報質インフォマティクス」に関する研究を報告 (認識・学習システム研究室)

<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9401161>

- ・「顔表情を利用した画像の好み判断推定」に関する研究を報告 (認識・学習システム研究室)

Interdisciplinary Information Sciences (2022) Vol. 28 (1) pp. 45-53

https://www.jstage.jst.go.jp/article/iis/28/1/28_2022.A.02/_article/-char/ja/

- ・カオスニューラルネットワークリザバー (CNNR) 3 次元 LSI による音声認識実験、CNNR への FORCE 学習の応用、および出力層へのカオスニューロンの導入に成功

(ソフトコンピューティング集積システム研究室)

<https://doi.org/10.1587/nolta.13.306>

なお、各研究室のより詳細な研究成果については以下の通りである：

実世界コンピューティング研究室：

(人間情報システム研究部門実世界コンピューティング研究室を参照)

新概念 VLSI システム研究室：

(システム・ソフトウェア研究部門新概念 VLSI システム研究室を参照)

認識・学習システム研究室：

(人間情報システム研究部門高次視覚情報システム研究室を参照)

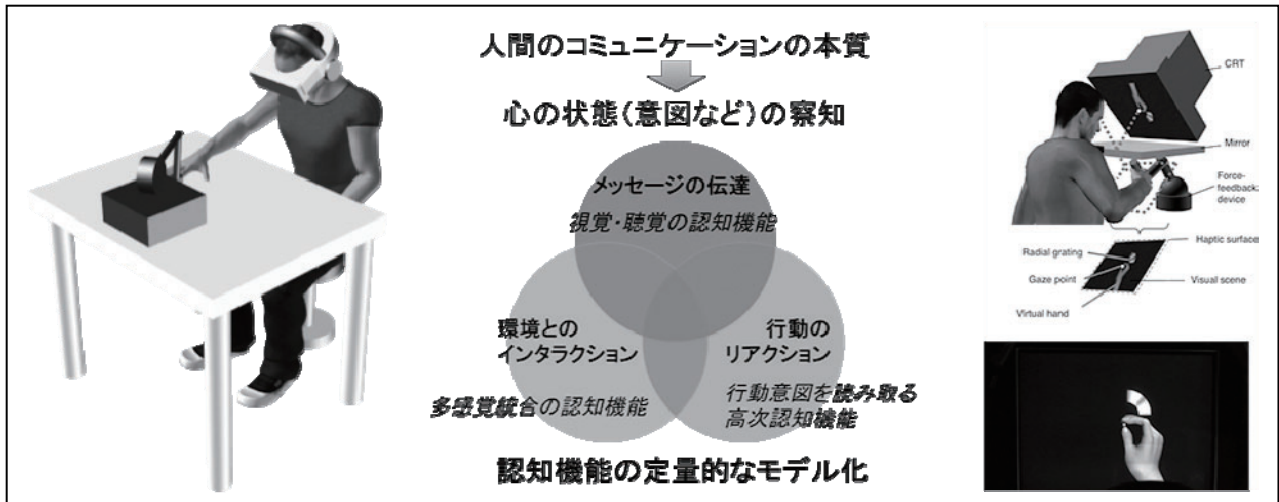
(人間情報システム研究部門先端音情報システム研究室を参照)

ソフトコンピューティング集積システム研究室：

(システム・ソフトウェア研究部門ソフトコンピューティング集積システム研究室を参照)

認識・学習システム研究室

人間の認識・学習機構の理解



(高次視覚情報システム研究分野 教授 塩入 諭)

(先端音情報システム研究分野 教授 坂本 修一)

<研究室の目標>

情報通信技術は、社会活動の基盤となるコミュニケーションを支えている。近年の情報通信技術の急速な進歩に伴い、人の行動に内在する意図や感情も考慮した新たな情報通信環境による、質的に異なったコミュニケーションの実現が期待されている。このような情報通信環境の構築には人間の外界認識に関わる認知機能の理解が必要不可欠である。本研究室では、外界から入力される様々な情報を人間が統合処理し脳内で認識・学習する過程を明らかにし、その知見に基づいてこれまでとは質的に異なった情報通信環境を構築するための感覚情報提示の設計原理の確立、および、脳型 LSI など神経細胞を模擬するハードウェアへの実装を目指して研究を進めている。

<2022 年度の主な成果>

1. 手の周りの注意に関する手の運動の影響

手の周囲において視覚処理が促進されることが知られている (hand proximity attention, HPA) が、その効果は、手が動いていることで促進されることを見いだした。手によって刺激対象が動かされている状況において、手からの距離にしたがって視覚処理時間が変化し、手に近いほど促進されていることを示す実験結果を得たのに対し、同様の運動刺激に対して手が静止している場合は、視覚処理への手からの距離の影響は見られなかった。これは、運動することが HPA の効果を強調することを示す結果であり、対象の操作に対する処理の効率化が HPA の機能であることが示唆された。

2. 自己運動中の音空間知覚過程の解明

音空間知覚過程は、聴覚だけでなく視覚や体性感覚なども用いて行われる多感覚情報処理過程で

あることが知られている。これまで多くの研究者によってこのメカニズムの解明が進められてきたものの、現在でも未解明な部分が多い。

本研究では、特に自己運動中の音空間知覚に着目し、様々な感覚情報によって想起される自己運動感覚が知覚される音空間にどのような影響を与えるかについて研究を進めている。2022年度は頭部回転運動を対象に、実際に回転運動をしている場合、および、視覚情報によって回転運動が誘起されている場合の2種類の状況において、聴空間における主観的正面がどのように変容するかを実験で明らかにした。実験の結果、聴取者の回転が実際に生じているかバーチャルな状況であるかに関係なく、運動時には聴空間における主観的正面の精度が低下するという結果が得られた。さらにこの精度低下は聴取者が回転する速度に依存せず、非常に低速に回転する場合においても同程度の精度低下が生じる事が明らかとなった。このことは、聴取者が動いていると認識することが、音空間知覚精度の低下を引き起こす可能性を示唆するものである。

そのほかにも、聴覚の空間的注意に関し、聴覚情報処理障害の患者に時空間情報による付加的な手がかりを与える事によって、注意の効果が顕著に表れターゲットの音の聴き取りが向上するという結果を、耳鼻科医との共同研究により報告した。

<職員名>

教授 (兼) 塩入 諭 (2005年より)
 教授 (兼) 坂本 修一 (2019年より)

- [1] S Shioiri, K Iwai, CH Tseng, Y Hatori, Hand proximity attention with a moving hand, *Journal of Vision* 22 (14), 3482-3482, doi:<https://doi.org/10.1167/jov.22.14.3482>
- [2] S Shioiri, K Iwai, CH Tseng, Y Hatori, The effect of perceived hand location on hand proximity attention, *PERCEPTION* 51, 30-31
- [3] Y. Ssy, Y. Hotsguchi, L. anel, S. Shioiri, *Interdisciplinary Information Sciences* (2022) Vol. 28 (1) pp. 45-53, https://www.jstage.jst.go.jp/article/iis/28/1/28_2022.A.02/article/-char/ja/
- [4] S. Honda, S. Tsunokake, Y. Suzuki, S. Sakamoto, Auditory subjective-straight-ahead blurs during significantly slow passive body rotation. *i-Perception* 13(1), 1-5 (2022).
- [5] A. Honda, K. Maeda, S. Sakamoto, Y. Suzuki, Effects of visually nduced self-motion on sound localization accuracy, *Applied Sciences* 12(1), 173 (2022).
- [6] T. Kawase, R. Teraoka, C. Obuchi, S. Sakamoto, Temporal and directional cue effects on the cocktail party problem for patients with listening difficulties without clinical hearing loss, *Ear and Hearing*, 43(6), 1740-1751 (2022).

3. 7 21世紀情報通信研究開発センター

産学官連携による実用化技術の研究開発

<センターの目標>

電気通信研究所がこれまでに蓄積してきた情報通信技術（IT）に関する実績を、産学官連携研究開発体制により、5年間の期間をもって実用化技術として完成させることを目的とする。大学の保有する基本技術をコアとして、社会が求めるアプリケーションニーズとマッチングをとり、設計・実装・評価まで行うことで、製品化へ適応可能な実用化技術を完成させる。プロジェクトの推進には、産業界からの技術者を多く受け入れ、大学の保有する先端技術、先端設備を研究開発現場にて体験することで、若手技術者の教育・社会人技術者の再教育センターとしての役割を果たす。また、開発した技術を用いた新しいビジネスモデルの創出と有力企業との産学連携などを通じて、全国並びに東北地区の産業と学術の振興に貢献することを目標としている。

<2022年度の主な成果>

産学官連携研究プロジェクトに対応する産官学連携研究開発部と、(A)全学的に認められたプログラムなど本学の複数部局の研究者で組織するものであって、将来の発展が期待できる学際的な研究プロジェクトに対応する学際連携研究部と、(B)将来の発展が期待でき、研究期間終了後にIT21センターのミッションである産官学連携プロジェクトにつながる可能性が十分に期待できる萌芽的研究プロジェクトに対応する萌芽研究部の3部体制で運営した。2022年度より新たに3つの(B)萌芽的研究プロジェクトを採用した結果、現在、以下のプロジェクトを推進している。

(A) 2プロジェクト

- ・情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト（代表者：塩入 論 教授）
- ・スピントロニクス・CMOS融合脳型集積システムの研究プロジェクト（代表者：羽生 貴弘 教授）

(B) 3プロジェクト

- ・注意推定による教育支援システムの実現（代表者：塩入 論 教授）
- ・共生社会を実現するドローン利活用技術の研究（代表者：北村 喜文 教授）
- ・スマート工場を実現するワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発（代表者：末松 憲治 教授）

これまでの産学官連携研究プロジェクトに対応する産官学連携研究開発部においては、2002年度から2006年度まで、文部科学省ITプログラム（RR2002）のプロジェクトとして、「次世代モバイルインターネット端末の開発」と「超高速高密度ハードディスクの開発」を受託し、研究開発を進めてきたが、モバイル分野においては2007年度～2014年度はこれらの研究成果を発展させた「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」、2015年度からはさらに「低炭素社会に貢献する情報通信高効率送信電力増幅モジュールの開発」を実施、またストレージ分野においては2012年度から東日本大震災で明らかになったストレージの耐災害性の不備を向上させる「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」を実施してきた。2017年度から2020年度に、総務省のプロジェクトとして、電波資源拡大のための研究開発「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」を受託

し、実施した。さらに、2019年度からは、総務省のプロジェクトとして、電波資源拡大のための研究開発「高ノイズ環境における周波数共用のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」を受託・実施し、2021年度で終了した。2020年度からは、NEDOのプロジェクトとして、ポスト5G情報通信システム基盤強化研究開発事業「新規結晶成長製造技術と、それを用いた高出力GaNデバイスの研究開発」を受託し、現在実施中である。2022年度からは、総務省・SCOPE（国際標準獲得型）「製造分野における5G高度化技術の研究開発」のプロジェクトと、総務省・電波資源拡大のための研究開発「空間伝送型ワイヤレス電力伝送の干渉抑制・高度化技術に関する研究開発」のプロジェクトを実施している。

<職員名>

センター長（教授） 末松 憲治

産官学研究開発部

ワイヤレスICTプラットフォームプロジェクト

代表・教授（兼） 末松 憲治

特任教授 芝 隆司

客員教授 亀田 卓

客員教授 鈴木 恭宜

客員准教授 本良 瑞樹

客員准教授 前島 貴

学際連携研究部

情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト

代表・教授（兼） 塩入 諭

教授（兼） 坂井 信之

助教（兼） 山本 浩輔

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システムの研究プロジェクト

代表・教授（兼） 羽生 貴弘

教授（兼） 遠藤 哲郎

助教（兼） 馬 奕涛

萌芽研究部

注意推定による教育支援システムの実現

代表・教授（兼） 塩入 諭

共生社会を実現するドローン利活用技術の研究

代表・教授（兼） 北村 喜文

スマート工場を実現するワイヤレスIoT基盤技術の研究開発

代表・教授（兼） 末松 憲治

特任教授（兼） 芝 隆司

研究員（兼） ジャン テンガ

客員教授 亀田 卓

運営委員

本研究所教授

末松 憲治

長谷川 剛

北村 喜文

佐藤 茂雄

白井 正文

羽生 貴弘

廣岡 俊彦

本研究所特任教授

芝 隆司

工学研究科教授

情報科学研究科教授

本研究所事務長

齊藤 伸

山田 博仁

田中 和之

三上 洋一

産学官研究開発部

ワイヤレス ICT プラットフォームプロジェクト

ディペンダブル・エアの実現へ向けて

図面説明：

ディペンダブル・エア

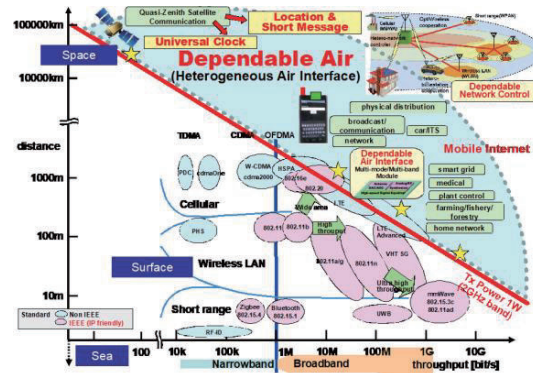
現在規格化されている無線通信システムの通信速度と通信距離の関係を示したものである。

通信距離に応じて、広域系・無線 LAN 系・近距離系の三種類のシステムが存在する。

ユーザ端末には、電池の容量や人体への影響から 1W の送信電力制限があると考え、2GHz 帯では図中の線のよう通信距離と伝送速度との間にトレードオフが存在し、各々のシステムの高速化には限界が存在する。

当分野では、これら複数のシステムを統合することによって、最適な通信距離・伝送速度で通信できる小型・低消費電力無線通信端末用ハードウェアの実現を目指す。

また、これら複数のシステムが存在する場合に問題となるシステム間干渉問題を解消するために必要となる広帯域リアルタイム型周波数モニタリング技術の実現を目指す。



代表・教授（兼） 末松 憲治

特任教授

芝 隆司

＜研究室の目標＞

ユーザをネットワークに接続するアクセス回線技術としてのモバイルワイヤレス通信技術は、光ファイバによる超高速バックボーンネットワークとともに、ICT 社会の根幹を支える情報基盤技術である。世界の移動通信のリーダーシップを担うわが国の移動通信技術は、日本経済を支える原動力としてますます発展する必要がある。IT-21 センター・モバイル分野では、発足以来、国内移動体通信機メーカーや第一種通信事業者との産学連携プロジェクトにより、広域通信と高速・大容量通信を両立し、かつ大規模災害時においても安定した通信回線の提供を可能とするディペンダブル・エアの研究開発を行ってきた。

これまでに、(1) 324Mbit/s 5GHz 帯無線 LAN 端末の開発、(2) ハイビジョン非圧縮伝送超小型 3D SiP (システム・イン・パッケージ) ミリ波無線端末の開発を行い、また (3) 広域モバイルブロードバンドワイヤレスアクセス (MBWA) 実証実験により、自動車移動中のシームレスハンドオーバ、無線 LAN と MBWA との異種ネットワーク間シームレスシステムハンドオーバを成功させてきた。さらに、これらの地上系無線通信方式のみならず準天頂衛星システムなどの衛星通信方式を融合することで無線通信ネットワークのディペンダビリティを実現させる提案を行ってきた。

2015 年からは、産学連携プロジェクトである JST A-STEP タイププロジェクト研究「低炭素社会に貢献する情報通信高効率送信電力増幅モジュールの開発」を行った。2017 年度からは、総務省・電波資源拡大のための研究開発「狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発」のプロジェクトを実施し、複数の無線システムが存在する際生じるシステム間干渉問題を解決するために必要となる広帯域リアルタイム型周波数モニタリング技術の開発を行った。

2019 年度からは、総務省・電波資源拡大のための研究開発「高ノイズ環境における周波数共有のための適応メディアアクセス制御に関する研究開発」のプロジェクトを実施しており、稼動物体との高信頼無線通信技術の開発を行った。さらに、2020 年度からは、NEDO ポスト 5G 情報通信シス

テム基盤強化研究開発事業「新規結晶成長製造技術と、それをを用いた高出力 GaN デバイスの研究開発」のプロジェクトを実施しており、B5G 向け Si RFIC の開発を行っている。2022 年度からは総務省・SCOPE（国際標準獲得型）「製造分野における 5G 高度化技術の研究開発」のプロジェクトを実施しており、無線センサを用いたチャネルモデル測定系の開発を行っている。また同様に 2022 年度から総務省・電波資源拡大のための研究開発「空間伝送型ワイヤレス電力伝送の干渉抑制・高度化技術に関する研究開発」のプロジェクトを実施しており、スペクトラムモニタを用いた無線電力伝送系と無線 IoT 混在下での漏洩電力スペクトラム観測技術の開発を行っている。

<2022 年度の主な成果>

1. スマートファクトリ用無線環境測定装置の開発

スマートファクトリ等では、異種の無線システム(無線 IoT、Local5G、空間伝送型ワイヤレス電力伝送)が混在するため、それぞれの無線信号の混信等により、通信速度が劣化してしまう等の問題があった。また、それらの通信速度を上げるため、空間分割多重アクセス方式(Spatial Division Multiple Access, SDMA)等を用いる方法があるが、そのためには、無線通信系をなるべく保持したまま、その通信系のチャネルモデルを測定する必要があった。そこで、我々は、従来より開発してきた東北大学独自方式の、広帯域スペクトラムモニタ技術の応用展開を図り、上記、無線 IoT、各国の Sub6-Local5G、準ミリ波-Local5G、空間伝送型ワイヤレス電力伝送系に対応した、広帯域スペクトラムモニタを開発し、さらに、そのスペクトラムモニタを用い、信号送信系回路の改良を施す事なく、測定環境を保持したまま、SDMA 設計用チャネルモデルである、遅延プロファイル(Power Delay Profile, PDP)の測定を可能とするシステムを構築する。本年度は、機能確認のため、汎用測定器を用いて、東北大通研本館エントランスホールでの Sub6-Local5G の PDP 測定を行い、本研究での測定方法の有効性を確認した。

2. B5G 向け Si RFIC

B5G で注目されている 28GHz 帯およびサブ 10GHz 帯の Si RFIC 送信系増幅器を RF SOI CMOS プロセスで試作した。プロジェクトの目標性能である 28GHz 帯で 16dBm 以上、サブ 10GHz 帯で 20dBm 以上の出力電力を達成した。さらに、サブ 8GHz 帯の RF 信号を 28GHz 帯にアップコンバートするコンバーターRFIC およびモジュールを開発中である。

<職員名>

教授（兼） 末松 憲治
特任教授 芝 隆司

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] T. Shiba, T. Furuichi, K. Akimoto, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, "Real-Time Wideband Spectrum Monitor Using Multiple Sampling Frequency Direct RF Undersampling for Wireless IoT," 2021 51th European Microwave Conference (EuMC), pp. 461-471, Apr. 2022.
- [2] T. Furuichi, M. Motoyoshi, S. Kameda, T. Shiba, N. Suematsu, "RF Signal Frequency Identification in a Direct RF Undersampling Multi-band Real-time Spectrum Monitor for Wireless IoT Usage," IEICE Transactions on Communications, vol. E105-B, no. 4, Apr. 2022.
- [3] T. Furuichi, K. Akimoto, M. Motoyoshi, S. Kameda, T. Shiba, N. Suematsu, "A Simple Spectrum Reconstruction Method in Direct RF Undersampling Receiver for Real-Time Spectrum Monitor," IEICE Transactions on Electronics, Vol.J105-C, no. 4, pp.117-126, Apr. 2022.
- [4] T. Furuichi, T. Shiba, N. Suematsu, "Multi-band RF Spectrum Reconstruction from Multiple Direct RF Undersampled Signals," 2022 URSI-Japan Radio Science Meeting, Sep. 2022.
- [5] Y. Fujiya, K. Edamatsu, T. Shiba, N. Suematsu, "Self-Mixing Noise Reduction Effect in Wi-Fi Backscatter Receiver by Tx Signal Canceller," 2022 IEEE Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp. 493-495, Nov. 2022.

学術連携研究部 情報の質と価値に基づく多感覚的評価の研究プロジェクト

視覚、聴覚、触覚、味覚、五感情報処理研究
嗅覚情報処理の研究

文学研究科 電気通信研究所

人間判断 情報評価 情報通信

味覚、嗅覚を含め五感全般に対する心理学・脳科学の研究を専門とする研究分野を立ち上げることで、情報通信の主流である視覚情報、聴覚情報、近年注目されている触覚情報に加え、全感覚情報を対象とする人間性豊かなコミュニケーションの実現に貢献する。

教授 塩入 諭
教授 坂井 信之
助教 山本 浩輔

<研究室の目標>

電気通信研究所設置当初から続く音情報、聴覚関連研究分野および平成16年度の改組で設置された視覚に関する研究分野に加えて、視覚、聴覚、触覚、味覚、嗅覚の五感すべての情報を扱うために必要な基盤的研究を行う本研究分野を設置することで、今後多感覚化が進むことが予想される情報通信分野を牽引し、発展に大きく貢献することを目指す。

<2022年度の主な成果>

2022年度は、以下の成果を得た。

1) 視覚と嗅覚や味覚との統合に関する研究を色情報に展開し、味覚と色の関連性に関する国際比較研究を実施した。また、咀嚼音と食感のオノマトペの関係に関する研究を進め、様々な食感を持つ食品の記述とその食物を咀嚼しているときの音や咀嚼筋の動きなどの相関を求める研究を実施した。その他、トップダウン的な味覚情報処理に関する研究、ノンバーバルコミュニケーションにおける香りの役割などに関する研究を開始した

2) 両眼視野闘争への視聴覚情報統合過程を実験的に調査する手法を開発し、運動方向の違いによって生じる両眼視野闘争に、聴覚情報が影響することを明らかにした。両眼視野闘争は左右眼に異なる映像刺激を提示した場合に、両者が競合し交互に見える現象であり、聴覚情報によっていずれが優位になるかが変化することも知られている。例えば右目に右方向に運動するランダムドット刺激を左目に左方向に運動するランダムドット刺激を提示すると、両者が交互に見える平均的には同程度の時間知覚されるが、右方向に移動する音情報を与えると、右方向の運動が優位になる。本家研

究では直接的な運動方向の代わりに、上下運動と関連すると言われるトーンの変化を用いて視覚刺激の上下運動の視野闘争に与える影響を実験的に調査した。その結果、トーンが上昇する音刺激において上方向運動が優位になることを明らかにすることができた。この結果は、トーンの変化が意味レベル以外の意識下の要因において、上下運動に対応づけられることを示唆するとともに、視聴覚統合過程の研究に両眼視野闘争が有効に利用できることを意味する。

<職員名>

教授 塩入 諭 (2018年より)
 教授 坂井 信之 (2018年より)
 助教 山本 浩輔 (2018年より)

<プロフィール>

塩入 諭 1986年 東京工業大学・大学院総合理工学研究科博士課程修了。その後1989年5月までカナダ・モントリオール大学心理学科において博士研究員として勤務。カナダより帰国後、1990年4月までATR視聴覚機構研究所で勤務。1991年5月より千葉大学工学部画像工学科・助手。情報画像工学科・助手、助教授、同大学メディカルシステム工学科教授を経て、2005年3月より東北大学電気通信研究所・教授。1988.5 Fight for Sight 賞受賞, 1993.3 応用物理学会光学論文賞受賞, 1999.7 照明学会論文賞受賞, 2000.5, 映像情報メディア学会丹生高柳著述賞受賞, 2010 Distinguished Contributed Paper of the 2010 SID International Symposium.

坂井 信之 1998年大阪大学大学院人間科学研究科修了。博士(人間科学)。日本学術振興会特別研究員(広島修道大学)、科学技術振興事業団科学技術特別研究員(独法)産業技術総合研究所)、神戸松蔭女子学院大学人間科学部を経て、2011年10月より東北大学大学院文学研究科准教授。2017年4月同教授。2006年におい・かおり環境協会学術賞、2009年におい・かおり環境学会ベスト・プレゼンテーション賞、2013年・2017年電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞、2016年・2018年日本心理学会学術大会優秀発表賞、2014年日本味と匂学会優秀ポスター賞、2016年日本応用心理学会齊藤勇記念出版賞、2017年平成28年度東北大学全学教育貢献賞

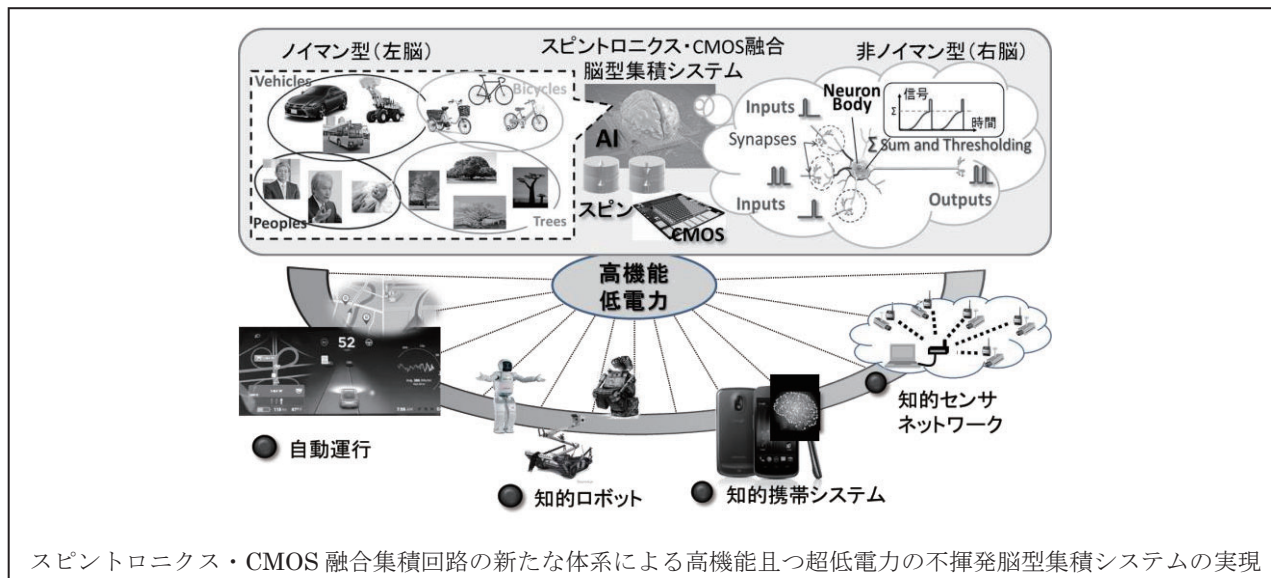
<2022年度の主な発表論文等>

- [1] Alexander Raevskiy , Ivan Bubnov , Yi-Chuan Chen , and Nobuyuki Sakai, Differences in Color Representations of Tastes: Cross-cultural Study Among Japanese, Russian and Taiwanese. P.-L. P. Rau (Ed.): HCII 2022, LNCS 13311, pp. 378–395, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06038-0_28
- [2] 笠松千夏・坂井信之 ヘルスクエアフーズの情報に対する認知がおいしさ評定に及ぼす効果測定 日本家政学会誌, 73, 613-620
- [3] 坂井信之, 「見た目」と「香り」に騙される味覚. 保健の科学, 63(4), 243-247
- [4] 齋田涼裕・坂井信之 香りと雰囲気・場の空気 Aroma Research, 23(4), 298-303
- [5] 坂井信之 おいしさの創出—一人の感情を取り入れた感性評価の提案— エモーション・スタディーズ, 8, 28-35
- [6] Alexander Raevskiy, Shuichi Sakamoto, and Nobuyuki Sakai Psychoacoustic Study of Japanese Mimetics for Food Textures. K. Kondo et al. (eds.), Advances in Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Smart Innovation, Systems and Technologies 339, https://doi.org/10.1007/978-981-99-0105-0_37
- [7] Yamamoto, K., Shioiri, S. Auditory pitch modulation of binocular rivalry, European Conference on Visual Perception 2022, Nijmegen, the Netherlands, August-September 2022
 Yoshiyuki Sato, Yuta Horaguchi, Lorraine Vanel, and Satoshi Shioiri, 2022. Prediction of image preferences from spontaneous facial expressions. *Interdisciplinary Information Sciences*, 28, 1 (2022), 45-53.
- [9] Renjun Miao R. , Kato, H. Hatori, Y. Sato Y., and Shioiri, S. 2022. Analysis of Facial Expressions for the Estimation of Concentration on Online Lectures. In *World Conference on Computers in Education(IFIP WCCE, 2022)*, Hiroshima, Japan, 4G-1.
- [10] Kato, H., Takahashi, K., Hatori, Y., Sato, Y. and Shioiri, S. 2022. Prediction of Engagement from Temporal Changes in Facial Expression. In *World Conference on Computers in Education(IFIP WCCE, 2022)*, Hiroshima, Japan, 9G-2.
- [11] Kato, H., Takahashi, K., Hatori, Y., Sato, Y. and Shioiri, S.2022. Prediction of engagement from facial expressions: effect of dynamic factors. In *The 18th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IIHMSP-2022)*. Kitakyushu, Japan. IIHMSP-2022-IS05-04.

学際連携研究部

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究プロジェクト

MRAM を用いた高機能・超低電力不揮発脳型集積システムの実現



代表・教授(兼) 羽生 貴弘

教授(兼) 遠藤 哲郎

助教 李 涛

＜研究室の目標＞

本研究分野は、スピントロニクス工学、CMOS 半導体集積回路工学及び脳科学を融合し、デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアまでにわたる新しい工学技術分野を構築し、人間のよう
に高度な情報処理・判断を高効率且つ低電力で実行できる新しい脳型コンピューティングシステム
の実現を目的として研究を進めている。具体的には、研究全体を「ノイマン型」と「非ノイマン型」
の2つのアプローチに分けて研究を展開し、スピントロニクス・CMOS 融合デバイスに関する理解、
スピントロニクス・CMOS 融合に基づく回路・アーキテクチャ設計論、脳型 CMOS 集積回路、及
び AI コンピューティング実現のための学理を結集し発展させることによって、自動運行や知的ロ
ボットなどの応用に着目した高機能且つ超低電力の不揮発脳型視覚認識システムの実現を目指す。

＜2022 年度の主な成果＞

本研究プロジェクトは、2021 年にスピントロニクス・CMOS 融合の不揮発性脳型回路の検証とデ
モ実験環境の整備を完了し、高効率・高精度な脳型 VLSI チップの評価と解析を実現するための保
証を得ることができた。本年度は、スピントロニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路を実装す
ためのモジュール設計に重点を移した。適応量子化モジュール、ニューラルネットワークの畳み込
み演算を実装する近似乗算器モジュールなどで実施する。以上2つの研究成果の進捗状況と、関連
する本年度の研究成果については、下記で説明する：

1. スピントロニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの適応型・低消費電力量子化モジュール。

スピントロニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの開発には、多様なデータ表示形
式の適応的変換を実現することが不可欠である。本プロジェクトでは、自律走行車の精密航法

や ディープニューラルネットワークを活用した正確な分類を対象とした産業用 IoT アプリケーションに向けて、新しい適応的かつ低消費電力な量子化手法を提案し、アルゴリズムからハードウェアモジュールまで整合性の高い有効性を系統的に検証する。提案する量子化手法は、浮動小数点から固定小数点バイナリへの適応的変換機能と適応的基数点決定機能を融合し、エッジ AI モジュールへの固定小数点入力の適切な分解能と最小限のエラー損失を確保する。実験結果は、提案した量子化手法の量子化誤差が、ストラップ型慣性航法システムの航法解と DNN の TOP1 および TOP5 の分類精度に極小の誤差しか与えないことを示す。さらに、提案する量子化技術に従って、量子化演算器ハードウェアモジュールの設計、合成、回路設計を行った。

2. 低消費電力の STT-MRAM ベースのスピン트로ニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムのハイブリッド符号付き畳み込み演算モジュール。

STT-MRAM は、低消費電力・高速処理・高耐久性のため、民生用電子機器におけるスピン트로ニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの高速度開発において最適なメモリとして期待されている。スピン트로ニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの機能多様性と省エネルギー性を強化するために、本プロジェクトでは、符号なし分割型乗算器のアーキテクチャを導入したハイブリッド符号付き畳み込みモジュールを提案している。提案する乗算器の構造により、3 つの乗算モードが可能になり、次世代不揮発性脳型回路システムに向けた乗算器の汎用性が大幅に向上した。提案する乗算器ベースの畳み込みモジュールは、最新の畳み込みアクセラレータと比較して、8 ビット畳み込み処理の平均消費電力が最も低くなっている。STT-MRAM のパワーゲーティング技術を利用することで、提案する畳み込み演算モジュールは、消費電力を 22 倍削減しながら、高ビットの乗算で許容できる精度を維持する。さらに、ハイブリッド畳み込みモジュールを搭載することで、電力効率を 8 倍向上させ、スピン트로ニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの消費電力効率を 175 倍に低減させることが実現した。

<職員名>

教授（兼） 羽生 貴弘（2002 年より）

教授（兼） 遠藤 哲郎（2008 年より）

助教 李 涛（2023 年より）

<プロフィール>

羽生 貴弘 1989 年 3 月東北大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程了。1989 年 4 月同大工学部助手。1993 年 2 月同大工学部助教授。2002 年 4 月同大電気通信研究所教授、現在に至る。不揮発性ロジックに関する研究に従事。IEEE ISMVL Best Paper Award（1986 年、1988 年）、丹羽記念賞（1988 年）、坂井記念賞（2000 年）、LSI デザイン・オブ・ザ・イヤー審査員特別賞（2002 年）、ASP-DAC2007 Special Feature Award（2007 年）、応用物理学会 JJAP 論文賞（2009 年）、電子情報通信学会優秀論文賞（2010 年）、市村学術賞貢献賞（2010 年）、IEEE ISVLSI'10 Best Paper Award（2010 年）、SSDM Paper Award（2012 年）、IEEE ASYNC'14 Best Paper Finalist（2014 年）、平成 27 年度科学技術分野文部科学大臣表彰科学技術賞（研究部門）（2015 年）などを受賞。IEEE Senior Member。

遠藤 哲郎 1987 年 3 月 東京大学物理学卒業。1995 年 3 月 東北大学電気工学専攻博士後期課程修了。1987 年より、東芝 R&D センターの VLSI 研究ラボにて NAND フラッシュメモリと 3D 先端 CMOS デバイス設計に関する研究開発に従事。1995 年より東北大学電気通信研究所講師。1995 年より同准教授。2008 年より同教授。2008 年 5 月より同大学際フロンティア研究所教授。2012 年より同大工学研究科教授、及び、同大国際集積エレクトロニクス研究開発センター・センター長、同大先端スピントロニ

クス研究開発センター・副センター長（世界トップレベル拠点）現在に至る。東北大学にて、最先端 CMOS デバイス設計、クリーンルーム技術、低電力・高速回路技術、次世代メモリ技術、スピン・CMOS 融合型ナノ LSI、GaN パワーデバイス、及び集積パワーエレクトロニクスに関する研究開発に従事。JSAP フェロー、LSI IP Design Award 受賞(2001)、JJAP Paper Award 受賞(2009)、JSAP 6th Fellow Award 受賞(2012)、SSDM Paper Award 受賞(2012)、2020 VLSI Test of Time Award 受賞 (2021)、第 14 回産学連携功労者賞・内閣総理大臣賞 (2017 年)、全国発明賞 (2018 年)。

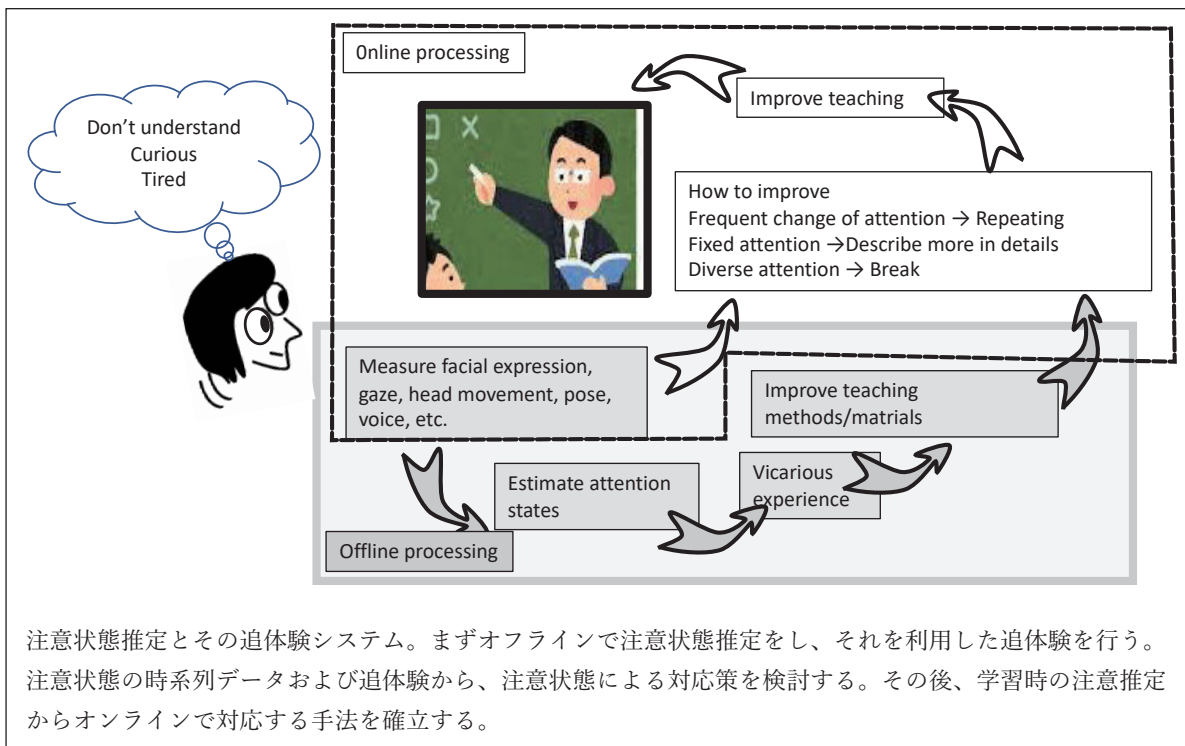
李 涛 2016 年 6 月 ハルビン工程大学工学研究科航法・誘導・制御博士後期課程修了。2016 年 10 月 東海大学創造科学技術研究機構特任研究員。2020 年 5 月 東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センターと同大工学研究科助教。2023 年 4 月同大電気通信研究所助教。

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] T. Li, Y. Ma, K. Yoshikawa and T. Endoh, "Hybrid Signed Convolution Module With Unsigned Divide-and-Conquer Multiplier for Energy-Efficient STT-MRAM-Based AI Accelerator," in *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, doi: 10.1109/TVLSI.2023.3245099.
- [2] T. Li, Y. Ma, and T. Endoh, "Neuromorphic processor-oriented hybrid Q-format multiplication with adaptive quantization for tiny YOLO3," *Neural Computing and Applications*, **35**, 11013–11041 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08280-y>.
- [3] T. Li, Y. Ma and T. Endoh, "From Algorithm to Module: Adaptive and Energy-Efficient Quantization Method for Edge Artificial Intelligence in IoT Society," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2022, doi: 10.1109/TII.2022.3223222.

萌芽研究部

注意推定による教育支援システムの実現



代表・教授（兼） 塩入 諭

<研究室の目標>

加速度的に進展する高度情報化社会における教育学習環境の深化に向け、学習者の注意状態推定とその追体験システムの実現を目指す。

<2022 年度の主な成果>

学習効果を高めるために学生の集中状態を把握することは重要であるが、教師が一人で多くの学生の様子を把握することは困難である。近年その問題に対して、学習中の学生の顔映像を用いた集中状態の推定が試みられている。しかし集中状態評価の信頼性は十分に高いとはいえず、更なる検討が必要とされている。本研究の目的は、集中状態を注意の積み重ねとして捉え、注意状態を計測することで、顔映像を用いた学習時の集中状態の予測手法を確立することである。高い信頼性で集中状態を推定するために、学習課題と関連のない刺激に対する応答時間の計測、および学習効率を利用した注意推定手法を用いた。中位状態の指標として、ビデオ教材視聴中に提示した音刺激に対する応答時間の計測と、暗算時の回答に要する時間の計測をした。課題遂行中の顔映像特徴量を用いて、機械学習による注意状態の推定を行った結果、顔表情が注意状態予測に有効であることを示す結果を得た。

＜職員名＞

教授 塩入 諭

＜プロフィール＞

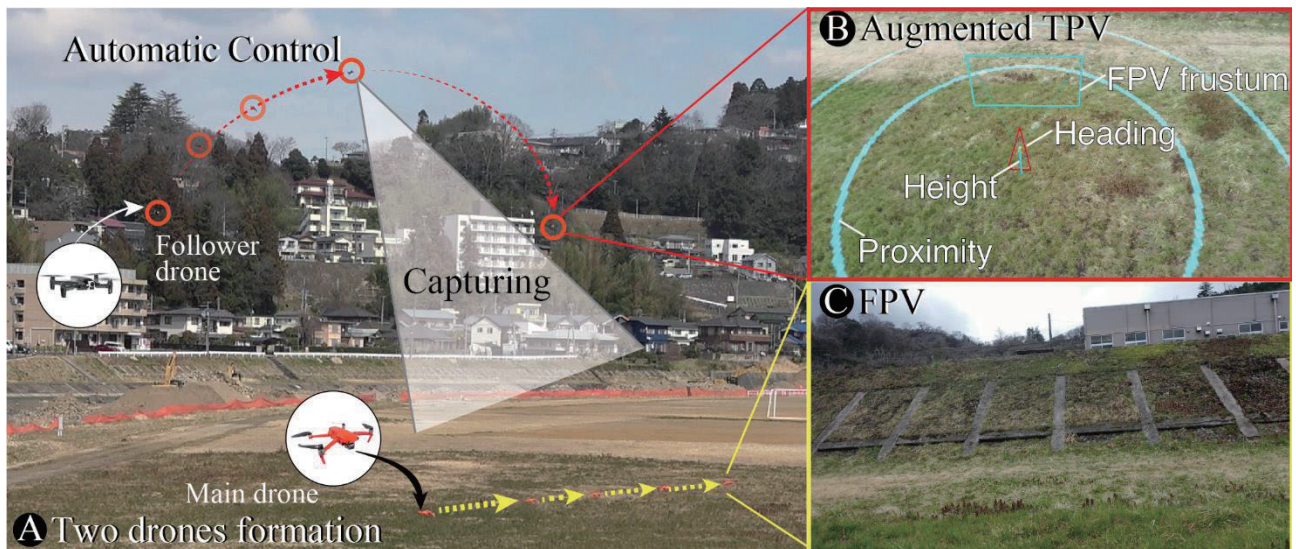
塩入 諭 1986年 東京工業大学・大学院総合理工学研究科博士課程修了。その後1989年5月までカナダ・モントリオール大学心理学科において博士研究員として勤務。カナダより帰国後、1990年4月までATR 視聴覚機構研究所で勤務。1991年5月より千葉大学工学部画像工学科・助手。情報画像工学科・助手、助教授、同大学メディカルシステム工学科教授を経て、2005年3月より東北大学電気通信研究所・教授。1988.5 Fight for Sight 賞受賞、1993.3 応用物理学会光学論文賞受賞、1999.7 照明学会論文賞受賞、2000.5、映像情報メディア学会丹生高柳著述賞受賞、2010 Distinguished Contributed Paper of the 2010 SID International Symposium.

＜2022年度の主な発表論文等＞

- [1] Miao R. , Kato, H. Hatori, Y. Sato Y., and Shioiri, S. 2022. Analysis of Facial Expressions for the Estimation of Concentration on Online Lectures. In World Conference on Computers in Education(IFIP WCCE, 2022), Hiroshima, Japan, 4G-1.
- [2] Kato, H., Takahashi, K., Hatori, Y., Sato, Y. and Shioiri, S. 2022. Prediction of Engagement from Temporal Changes in Facial Expression. In World Conference on Computers in Education(IFIP WCCE, 2022), Hiroshima, Japan, 9G-2.
- [3] Kato, H., Takahashi, K., Hatori, Y., Sato, Y. and Shioiri, S.2022. Prediction of engagement from facial expressions: effect of dynamic factors. In The 18th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing (IHMSP-2022). Kitakyushu, Japan. IHMSP-2022-IS05-04.

萌芽研究部
共生社会を実現するドローン利活用技術の研究

共生社会を実現するドローン利活用技術の研究



2機のドローンによる BirdViewAR の概要

代表・教授（兼）北村 喜文

<研究室の目標>

ドローンは最近ますます活躍する機会が増えつつあるが、その利活用にはサステナビリティやアクセシビリティへの考慮が求められるようになってきている。本研究では共生社会の実現を目指し、オープンソースの枠組みや環境にやさしい技術を導入することで、誰もがドローンを利用できる利活用基盤技術を開発する。

<2022年度の主な成果>

周囲を認識した遠隔ドローン操作システム BirdViewAR を提案した。これは、自動操縦のセカンダリー・フォロワー・ドローンから拡張された三人称視点（TPV）を通じて、パイロットに重要な空間認識を提供することができる。フォロワードローンは、最適化ベースのオートパイロットを使用して、メインドローンの動きと方向に応答し、パイロットは余分な入力なしでメインドローンとその差し迫った目的地を明確に観察することができる。メインドローンとその周囲の空間的関係の理解を向上させるために、TPV は AR 重畳で視覚的に補強され、メインドローンの空間的状态（方位、高度、地上位置、カメラ視野（FOV）、近接領域）が強調表示される。この成果の論文は、ヒューマンコンピュータインタラクションのトップ国際会議である ACM CHI 2023 にフルペーパーが採択され、2023年5月に口頭発表する。[1]

＜職員名＞

教授 北村 喜文

＜プロフィール＞

北村 喜文 1987年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了。同年キャノン株式会社、1992年ATR通信システム研究所、1997年大阪大学大学院工学研究科／情報科学研究科 助教授／准教授。2010年東北大学電気通信研究所教授、現在に至る。博士（工学）。1997年電子情報通信学会論文賞、2006年日本バーチャルリアリティ学会貢献賞、2007年・2020年日本バーチャルリアリティ学会論文賞、2008年・2017年情報処理学会インタラクシオン ベストペーパー賞などを受賞。日本バーチャルリアリティ学会フェロー。国際会議 ACM CHI, SIGGRAPH Asia, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE, EuroVR等でいろいろな役割を務めてきた。例えば SIGGRAPH Asia 2015 Conference Chair, CHI 2021 General Chair等。IFIP TC-13 日本代表、ACM SIGCHI Asian Development Committee や Japan ACM SIGCHI Chapter 等で Chair も務めてきた。日本政府観光局の MICE アンバサダーにも認定されている。

＜2022年度の主な発表論文等＞

- [1] Maakito Inoue, Kazuki Takashima, Kazuyuki Fujita, Yoshihumi Kitamura. BirdViewAR: Surroundings-aware Remote Drone Piloting Using an Augmented Third-person Perspective, Proc of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems.

萌芽研究部

スマート工場を実現するワイヤレス IoT 基盤技術の研究開発

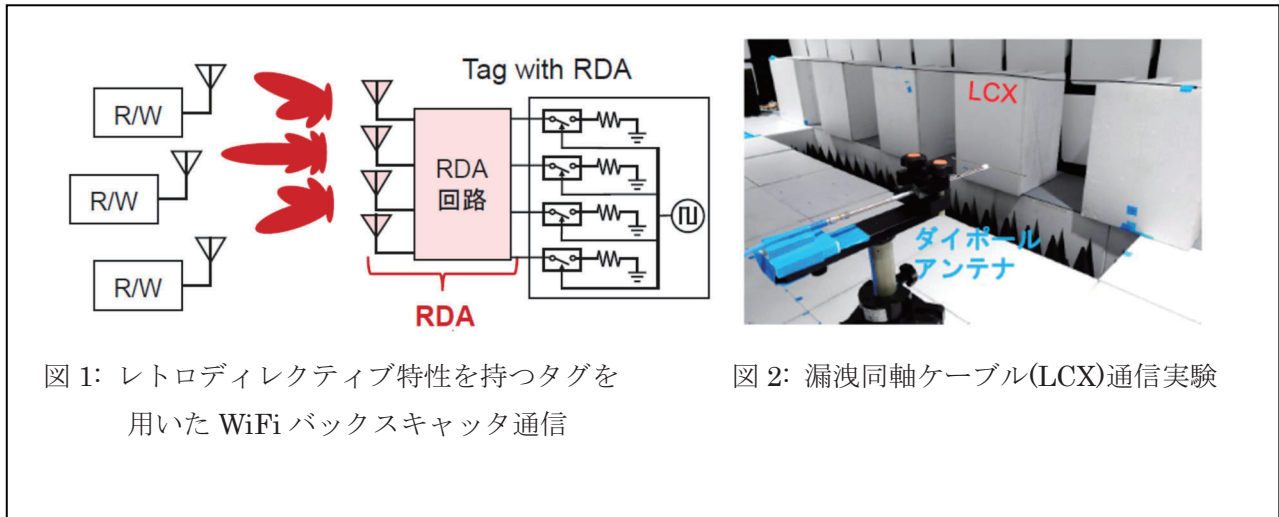
スマート工場への次世代ワイヤレス IoT
の社会実装を目指して

図 1: レトロディレクティブ特性を持つタグを用いた WiFi バックスキヤッタ通信

図 2: 漏洩同軸ケーブル(LCX)通信実験

代表・教授（兼） 末松 憲治

特任教授（兼） 芝 隆司

研究員（兼） ジャン テンガ

客員教授 亀田 卓（広島大学）

＜研究室の目標＞

第 5 世代(5G)以降の Beyond 5G や 6G における、期待される経済効果としては、図 1 に示すように、通信のブロードバンド(広帯域)化が求められる医療、スマートホーム、小売りに比べて、低遅延特性や多接続数の実現が求められる交通、製造業の方がはるかに大きい。その中でも、Society5.0 や Industry4.0 で注目されているスマートファクトリーは、世界的にも我が国がトップレベルの競争力を保っている数少ない分野となっている。スマートファクトリーでは、少量多品種のオーダーメイドに対応可能なフレキシブルな製造ラインの構築が必要であり、低遅延、多接続数に対応する Beyond5G や 6G 時代の新しいワイヤレス IoT 技術の実現が強く求められている。

本研究プロジェクトでは、スマートファクトリーに適したローカル 5G のような、自営ワイヤレス通信システムおよび無線機ハードウェア技術、無線制御（アクセス制御）技術、デジタル信号処理技術を開発する。

＜2022 年度の主な成果＞

● レトロディレクティブな特性を持つ WiFi バックスキャッタ通信用タグの開発

5GHz 帯 WiFi 信号を用いたバックスキャッタ通信を検討している。通信距離の延伸のためには、WiFi 送信電力の高出力化、WiFi 送受信機側(図 1 の R/W)のアンテナ利得の高利得化、タグのアンテナの高利得化が考えられる。このうち、タグのアンテナの高利得化は、アレーアンテナ化により実現できるものの、WiFi 送受信機の方向に絶えずアレーアンテナのビーム方向を向ける必要があり、実現が難しい。レトロディレクティブアレーは、電波の到来方向に電波を再放射（バックスキャッタ通信信号を放射）することができる。本研究開発では、バックスキャッタ通信をレトロディレクティブアレーで行う際に必要となる位相共役回路を開発するとともに、レトロディレクティブアレーの再放射パターンの測定系を新たに開発し、サイドローブレベルを含めて、その特性を明らかにすることに成功した。

● 漏洩同軸ケーブル(LCX)を用いた工場内無線 IoT 通信の検討

工場内の無線 IoT で広く使われている 920MHz 帯、2.4GHz 帯において、LCX 通信を行う際の通信可能エリアの検討を行っている。特に工場においては、製造ラインが直線的に長い配置となっている点、アンテナ近傍に波長に比べて大きい金属障害物がおかれることがある点などで、通常のアンテナでは電波が届かないエリアが発生してしまう。LCX を使うことで、これらの問題を対処できるものと期待している。

＜2022 年度の主な発表論文等＞

- [1] Y. Honma, J. Temga, T. Shiba, N. Suematsu, "A Compact 5.2 GHz Reflection-Type Retrodirective Array Using Butler Matrix with Broadside Couplers," 2022 European Microwave Conference (EuMC), pp. 393-396, Sep. 2022.
- [2] Y. Honma, J. Temga, T. Furuichi, T. Shiba, N. Suematsu, "A 5 GHz-Band 2×2 Reflection-Type Retrodirective Array with Stacked Stripline Phase Conjugate Circuit," 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), pp. 151-153, Nov. 2022.

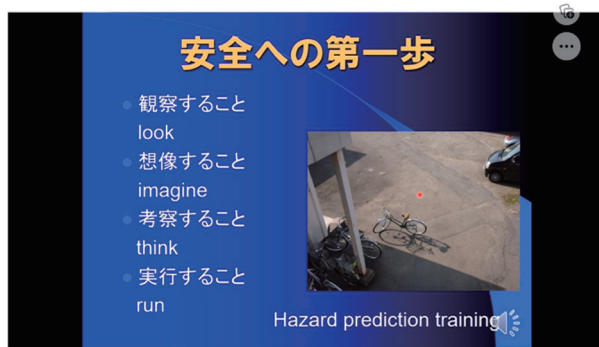
3. 8 安全衛生管理室

安全で快適な環境の実現と維持による研究支援

通研安全講習会2022

日時：2022年4月

主催：安全衛生管理室



安全衛生講習会（Web 開催）

通研安全講習2022 高圧ガスの安全な取扱い

日時：2022年4月



高圧ガス保安講習会（Web 開催）

<安全衛生管理室の概要>

安全衛生管理室は研究所で働く職員や学生の安全と健康を維持することを目的とした組織である。研究所における研究活動においては、薬品、高圧ガス、放射線などが使われており、危険性を伴う作業が少なくない。安全衛生管理室では所内での研究活動が安全かつ円滑に行われるように、各種活動を通して研究室や実験施設、研究基盤技術センターの安全衛生管理のサポートを行っている。

<研究所における安全衛生管理体制と安全衛生管理室の役割>

研究所の組織は、管理組織である所長および教授会、研究活動を行っている各研究室、その支援組織である実験施設や研究基盤技術センターおよび事務機構からなる。所長および教授会が研究所全体の運営管理をおこない、個々の研究室および施設等の運営管理は管理担当者である教授、運営委員会などが行っている。研究所の安全衛生管理においては、所長、研究所の職員、産業医から構成される安全衛生委員会が所内の安全衛生管理体制の整備や安全衛生に関するさまざまな事項を審議し、所長および教授会に勧告を行う。所長および教授会は勧告の内容にしたがって方針を決定し、各研究室、施設などが安全衛生管理の実際の作業を行うことになる。安全衛生管理室はこれら組織との連携の下に安全衛生に関する実務を担当し、研究所での研究活動が安全かつ快適に行われるよう活動している。

＜安全衛生管理室の活動内容＞

所内での実際の安全衛生管理では、まず安全衛生委員会が研究所における安全管理の基本的方針を示し、次に安全衛生管理室がそれに基づく具体的な行動内容の策定と実行を行っている。大学の組織は各部署（研究室など）の独立性が高いために、通常ของบริษัท組織と異なりトップダウン型の安全管理は不向きであり、各部署の自立性に即した対応が必要である。また、教職員以外に学生、研究員などさまざまな形で研究活動に携わっている構成員に対する配慮が必要である。さらに、本研究所では、薬品、高圧ガス、X線装置などの危険性の高い材料、設備を使用しており、作業環境もクリーンルームなどの特殊な作業場が存在するために、これらに対応した安全管理が必要になる。したがって、安全衛生管理室では、所内の各部署における状況や特性を把握し、実態に即した管理方法や改善対策の策定と勧告、および実行の支援を行い、安全衛生管理を効率的かつ実効性のあるものにするために活動している。本年度における主な活動内容は以下の通りである。

- 研究所内の職員、学生を対象とした安全衛生講習会の Web 開催（参加者 405 名）
- 高圧ガス保安講習会の Web 開催（参加者 134 名）
- 研究所内の安全衛生管理体制、作業環境などの点検、および改善の支援
- 局所排気装置の定期自主点検の支援
- 危険物質総合管理システムの管理、支援
- 安全衛生関係の法令の調査および安全衛生管理に関する情報の収集
- 各部署の安全管理担当者へのアドバイスや情報の提供
- 学内の他部局や監督官庁との連絡調整
- Web ページによる関連情報の提供
- 新型コロナウイルス感染防止対策の実施（消毒液の配布、Web ページによる情報提供など）

＜職員名＞

室 長（教授）	佐藤 茂雄
助 教	佐藤 信之
技術職員	阿部 真帆
技術職員	柳生 寛幸
事務補佐員	高橋 遥

3. 9 やわらかい情報システムセンター



図1 電気通信研究所サーバールーム



図2 電気通信研究所E P S

<やわらかい情報システムセンターの概要と役割>

現在のコンピュータに代表される情報システムは、前もって決められた使い方で固定的な処理や機能のみを提供するいわゆる「かたい」システムである。本センターの目的は、これまでの「かたい」情報処理原理を超えて、人間の意図や環境に合わせて柔軟な情報処理を行い、柔軟な人間の思考に対応できるような「やわらかい」情報処理の考え方にに基づき、電気通信研究所（以下、通研）内の円滑な研究活動を支えるための情報ネットワーク、および情報システムを管理・運用することにある。

また、情報ネットワーク、および情報システムの実際の運用を通じて得た技術的ノウハウを活用し、学術情報の高度な組織化、利用、管理・運用、発信を支援する先進的なシステムを設計・構築を行っている。具体的には、次のような活動を行っている。

1. 情報の収集・組織化・利用・発信及び研究支援環境の構築
2. ネットワークの高度な保守・管理・運用
3. 研究所の情報ネットワークおよび情報システムに関する技術的支援

<やわらかい情報システムセンターの活動内容>

本センターでは、通研における学術・研究の基盤となる情報ネットワーク及びサーバシステムの管理・運用を行っている。

- ・サーバ機器、ネットワーク機器のメンテナンス、監視
- ・情報セキュリティインシデントへの対応
- ・各研究室からのネットワーク使用に関する相談対応

- ・ 情報システムのアカウント管理
- ・ 通研 Web サイトの構築・更新
- ・ 通研に関連するイベント・カンファレンスの動画コンテンツ作成と公開
- ・ オンライン会議システム会議室の構築およびオンラインイベントの運営支援
- ・ 所外に持ち出すモバイル通信機器のセキュリティ対策チェック
- ・ 計画停電時の予備電力によるシステム運用

<職員名>

(1) 運営委員会

教授 長谷川 剛
教授 白井 正文
教授 菅沼 拓夫
教授 八坂 洋
教授 石黒 章夫

(2) 職員

センター長(教授) 長谷川 剛
技術職員 太田 憲治
技術職員(兼) 丸山 由子
技術補佐員 首藤 睦
技術補佐員 角野 究

3. 10 研究基盤技術センター

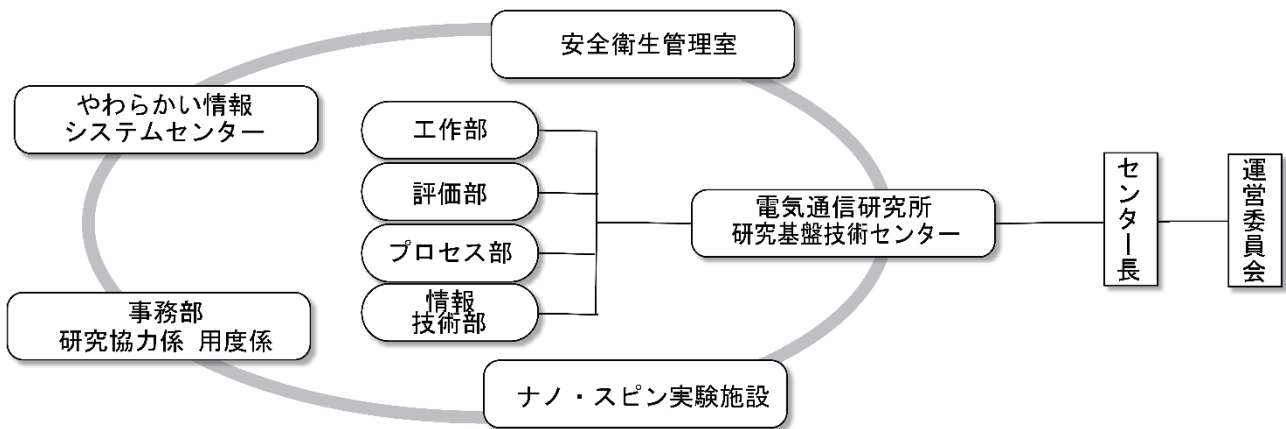


図1 研究基盤技術センター 組織図

<分野の目標>

図1は研究基盤技術センターの組織図である。工作部、評価部、プロセス部、情報技術部の4部から成る。ナノ・スピン実験施設、やわらかい情報システムセンター、安全衛生管理室、事務部とも連携し、多様な研究開発活動に対して高度な専門知識と技術に基づいた幅広い技術支援を行っている。今年度の活動は次のようにまとめられる。

<2022年度の主な成果>

1. 工作部

工作部は機械工作技術を提供している。研究者からの要求に応じて、94件の依頼工作を提供した。この中で約10%は研究所外からの要求に応じたものである。図2は工作部所有の工作機械の一例である。



図2 MAKINO製NCフライス

2. 評価部

評価部では共通利用計測機器の提供、寒剤（液体ヘリウムと液体窒素）の供給を担っている。図3は提供している計測機器の例である。20の研究室と2つの外部研究機関・企業が共通利用計測機器を利用した（総使用時間は2,666時間）。3研究室での液体ヘリウム利用において技術的支援を行った。また、事務部並びに安全衛生管理室と連携して研究所の安全維持に携わった。



図3 評価部保有の分析装置
(左：X線回折装置、右：電子ビーム蛍光X線元素分析装置)

3. プロセス部

プロセス部はナノ・スピンの実験施設 共通部と協力して電子線リソグラフィー技術提供(図4)やフォトマスク受託加工(図5)、および集束イオンビーム加工解析装置(図6)を主とした各種受託分析を行っている。今年度は345件の電子線描画依頼、39件のフォトマスク受託加工、および21件の受託分析に対応した。関連して、ナノ・スピン実験施設の附帯設備およびクリーンルームの維持・管理を行っている。

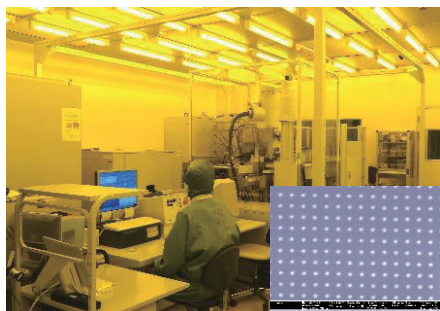


図4 電子線描画装置



図5 フォトマスク作製装置



図6 集束イオンビーム加工解析

4. 情報技術部

情報技術部は、やわらかい情報システムセンターと共同で、所内ネットワークの運営と共通利用の情報機器の管理を担っている。また、知的財産権等に関連した共同研究契約等の企業との折衝や、教員の知的財産権の出願に係る相談対応を行った。

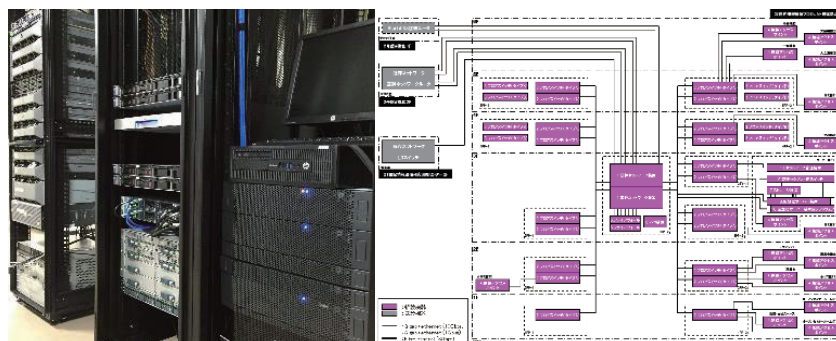


図7 通研ネットワークシステム (左: システムの様子、右: 構成図)

<職員名>

センター長 (教授)	佐藤 茂雄
助 教	佐藤 信之
技術職員	末永 保、阿部 健人、前田 泰明、関谷 佳奈、阿部 真帆、 丹野 健徳、柳生 寛幸、森田 伊織、小野 力摩、武者 倫正、 丸山 由子、太田 憲治

3.1.1 機動的な研究グループ

電気通信研究所の幅広い研究ポテンシャルを生かし、萌芽的・挑戦的な研究や市場のニーズに応じた先端応用研究等を行う。研究所の組織にとらわれず機動的に構成される研究グループである。

<多感覚注意研究グループ>

複雑で動的な世界で生きるためには、注意による認識対象の選択と的確な行動の選択が不可欠である。膨大な数の注意研究の大半は認識に関連したもので、行動選択と注意の関係についてはほとんど理解されていない。本研究グループは、複合感覚を統合した空間表象(統合空間)における注意が行動選択に関わるとの作業仮説に基づき、行動に関する注意(行動注意)の解明を目指す。代表者らが開発した視覚的注意の計測方法を身体付近での注意効果である身体性注意の計測に応用し、トップダウン注意と身体性注意の相違を明らかにした。

<サイバーフィジカルセキュリティ研究グループ>

IoT、M2M、CPS といった次世代情報通信基盤のため、ソフトウェア構成理論、システムセキュリティ、ハードウェアセキュリティ、回路アーキテクチャおよび次世代プロセッサなどを専門とする多様な研究者による垂直統合的なアプローチにより、膨大かつ多様な情報発生源(センサ端末などのデバイスハードウェア)のレベルからシステムの安全性・信頼性を担保する新しい情報セキュリティ技術の確立を目指す。2022年度は、セミナー・勉強会を数回開催するとともに研究の方向性を検討・確認した。

<脳型ナノデバイス・回路研究グループ>

近年、脳型ハードウェアの研究が盛んであるが、未だ真の脳型には程遠く、大きなブレークスルーには至っていない。この研究グループは、脳の最新の生理学的知見に基づき、特に脳における生物物理やダイナミクスを、ナノデバイスや微細低消費電力集積回路の物理とダイナミクスを活用して再現する、新しい脳型情報処理アーキテクチャの開発とその集積回路による実装を目指している。本年度は、脳科学、スピントロニクスデバイス、アナログ及びデジタル集積回路、培養神経回路、非線形複雑ダイナミクスなどの幅広い観点から、ブレインモルフィックコンピューティングの研究を推進するため、JST CREST 佐藤プロジェクトと本研究グループが全面的に申請を支援して採択に至った学術変革領域研究(B) 山本プロジェクトへの協力、堀尾が代表者を務める科研費基盤研究(A) および非線形ワークショップの合同研究会での企画および研究発表などを行った。

<AI クローン研究開発グループ>

本研究グループは人工知能(AI)技術と仮想現実(AR)技術に認知科学的知見を取り入れることを目指す。多様な個人の認知/行動特性をモデル化した AI クローンを実現し、それを仮想現実技術に適用することで他者による追体験を可能とするシステム(AR インターフェース)の開発を検討する。AI クローン及び AR インターフェースにより、人が他者の視点を体験することで、両者のコミュニケーション/情報伝達/相互理解の高度化を実現する新たなコミュニケーション技術の開発を目指す。本年度は学習時への展開し、IT21 センター萌芽研究部プロジェクトの「注意推定による教育支援システムの実現」を推進した。

第 4 章 共同プロジェクト研究

4. 1 共同プロジェクト研究の理念と概要

○共同プロジェクト研究の理念と概要

本研究所は、情報通信分野における COE (Center of Excellence) として、その成果をより広く社会に公開し、また研究者コミュニティがさらに発展するために共同利用・共同研究拠点として所外の研究者と共同プロジェクト研究を遂行している。本研究所の学問の性格上、単なる設備の共同利用ではなく、本研究所教員との共同研究を前提としているところに特徴がある。本研究所の「共同プロジェクト研究」とは、情報通信分野における技術・システムに関する各種の研究を国内外の優れた研究者の協力のもとに企画・コーディネートし、プロジェクト研究として実施していくものである。

共同プロジェクト研究は、所内外の研究者の英知を集めて企画され、さらにその積極的な参加を得て実施されることが肝要である。これまで、本研究所の共同プロジェクト研究の提案および実施は、国・公・私立大学、国・公立研究機関及び、民間企業・団体等の教員及び研究者を対象として、公募により行われている。

○共同プロジェクト研究委員会

共同プロジェクト研究の運営のために、共同プロジェクト研究委員会及び共同プロジェクト実施委員会、共同プロジェクト選考委員会が設置されている。共同プロジェクト研究委員会は、共同プロジェクト研究に関する重要な事項を審議するために所内3名、学内2名と学外5名の合計10名の委員により構成されている。共同プロジェクト研究委員会の使命は、本研究所で遂行されている研究内容の特徴を重視しながら、所内外の意見を広く求め、研究所の目的である「人間性豊かなコミュニケーションを実現する総合的科学技術の学理と応用の研究」の発展に不可欠な共同プロジェクト研究を積極的に推進することにある。これまで、公募研究の内容、採択の基準、外部への広報、企業の参加に関する点等について議論を行ってきており、特に企業の参加に関しては、公平・公表を原則として積極的な対応を行ってきている。なお、共同プロジェクト研究の採択に際し審査を厳格に行うため、外部委員を含めた共同プロジェクト選考委員会が設置されている。

また、共同プロジェクト研究の円滑な実施を図るために、本研究所専任の教員により組織されている共同プロジェクト実施委員会が設置されている。

今年度のテーマは、令和4年度共同プロジェクト研究の公募方法に関して議論を行い、次の4テーマを取り上げることとした。

- 1) 物理現象を活かしたナノ情報デバイスの創成に関する研究
- 2) 超広帯域通信のための次世代システムの創成に関する研究
- 3) 人間と環境を調和させる情報システムの創成に関する研究
- 4) 情報社会を支えるシステムとソフトウェアの創成に関する研究

○令和4年度共同プロジェクト研究

令和4年度の共同プロジェクト研究は、所内外から公募され審議の結果、117件(A:71件, B:32件, S:1件, S国際1件, T:12件)が採択された。なお、区分Aは各々の研究課題について行う研究であり、71件のうち62件が外部よりの提案、区分Bは短期開催の研究会形式の研究で、32件のうち27件が外部よりの提案のものである。また民間の研究者が参加している研究は区分Aの1件、区分Bの15件である。

区分Aに対しては、大型プロジェクト提案型、若手研究者対象型、萌芽的研究支援型、先端的研究推進型、国際共同研究推進型の5つの研究タイプ、区分Bに対しては、これらに加え産学共同研究推進型を設けている。

区分Sは組織間連携に基づく共同プロジェクト研究であり、区分S国際は国際的連携研究推進を目的として海外組織と共同研究を実施するものである。情報通信分野の特に力点を置いて研究を推進すべき課題について、本研究所が中心となりつつ、相乗・補完効果の期待できる国内外の大学附置研等の研究組織と共同して推進する。

なお、これまで研究発表・討論、新分野の開拓および萌芽的研究の育成の場として運営されてきた「東北大学電気通信研究所工学研究会」を、令和4年度より学内の学生育成支援を主たる目的とした「区分 」として、共同プロジェクト研究の一環として取り扱うこととした。工学研究会の理念を継承したうえで、学内外の研究者による研究会や講演会での発表・討論を通じ、共同利用・共同研究拠点の活動をさらに推進する。

共同プロジェクト研究

○ 共同プロジェクト研究の公募，実施について

共同プロジェクト研究の公募、実施は年度単位で行われている。令和2年度公募より、1月中旬に次年度の研究の公募要項を公開し、2月末日が申請書の提案締切としている。採否の判定には共同プロジェクト選考委員会による書面審査を行い、その結果は、4月中旬に申請者へ通知される。研究期間は、採択決定日から翌年3月15日までであり、研究終了後、共同プロジェクト研究報告書を提出することになっている。なお、「理念と概要」の項で述べたように、本共同プロジェクト研究は本研究所教員との共同研究を前提としたものであるため、申請にあたっては本研究所の対応教員がいることが必要である。

なお、本共同プロジェクト研究については、次の web page にて広報している。

<https://www.riec.tohoku.ac.jp/ja/nation-wide/>

問い合わせ先：東北大学電気通信研究所研究協力係
電話：022-217-5422

4. 2 令和4年度共同プロジェクト研究採択一覧

(円)

採択番号	採択回数	タイプ	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分 旅費	共同研究経費配分 物件費	特別支援 国際・若手
R02/A01	3	国際	Development of graphene based devices for terahertz applications	MEZIANI Yahya Moubarak	尾辻 泰一	169,000	119,000	100,000
R02/A02	3	国際	人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化	谷井 孝至	山本 英明	293,000	119,000	100,000
R02/A03	3	先端	二次元材料を用いた光電子デバイスの開発	内野 俊	尾辻 泰一	0	119,000	0
R02/A04	3	国際	Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets	Singh Ravi Prakash	深見 俊輔	210,000	119,000	100,000
R02/A05	3	萌芽・先端・国際	新IV族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究	櫻庭 政夫	櫻庭 政夫	339,000	119,000	100,000
R02/A10	3	萌芽・先端	high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明	王谷 洋平	佐藤 茂雄	98,000	119,000	0
R02/A11	3	萌芽・先端	単結晶グラフェン機能デバイス	永瀬 雅夫	尾辻 泰一	235,000	119,000	0
R02/A13	3	先端	8K高精細画像センシング向け超低遅延動画画像符号化方式	松村 哲哉	尾辻 泰一	84,000	119,000	0
R02/A14	3	先端	ワイヤレス Massive Connect IoT の研究	小熊 博	末松 憲治	329,000	119,000	0
R02/A15	3	先端・国際	超100GHz帯光ファイバ給電ダイレクトデジタルRF送受信機の研究	末松 憲治	末松 憲治	220,000	119,000	100,000
R02/A16	3	萌芽	3Dプリンタを利用したミリ波アンテナの開発に関する研究	伊藤 桂一	末松 憲治	154,000	119,000	0
R02/A18	3	国際	Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	CHEN Chien-Chung	曾 加憲	218,000	119,000	100,000
R02/A19	3	萌芽	モノのセンサ化のための高機能デバイスモジュール開発とその応用	真鍋 宏幸	高嶋 和毅	141,000	119,000	0
R02/A20	3	大型	ミニマルブレインの理解と再構築	神谷 温之	平野 愛弓	257,000	119,000	0
R02/A21	3	萌芽	耳介の3次元形状と音響伝達特性の音源方位依存性に関する研究	伊藤 仁	坂本 修一	122,000	119,000	0
R02/A22	3	萌芽・先端	新世代IoTプラットフォームの開発に関する研究	ザビル サラウッディンムハマド サリム	長谷川 剛	96,000	119,000	0
R02/A23	3	国際	Exploring and Understanding Touch Interaction using a Slidable-Sheet on Smart Devices	藤田 和之	藤田 和之	154,000	105,000	100,000
R02/A24	3	国際	Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system	CHINTAKOVID/Thippaya	北村 喜文	301,000	119,000	100,000
R02/A25	3	先端	人間の能力を拡張する次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤	峰野 博史	長谷川 剛	195,000	20,000	0
R02/A29	3	萌芽・国際	Cultural background and auditory selective attention	KIM Sungyoung	坂本 修一	192,000	100,000	100,000
R02/A31	3	先端	非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開	堀尾 喜彦	堀尾 喜彦	313,000	119,000	0
R02/A32	3	先端	多感覚音空間知覚の規定因に関する研究	本多 明生	坂本 修一	125,000	119,000	0
R03/A01	2	萌芽・先端	宇宙応用へ向けたスピントロニクスデバイスの放射線影響に関する研究	渡部 杏太	深見 俊輔	205,000	119,000	0
R03/A02	2	先端	Si-Ge 混合プラットフォーム上への異種機能混載集積回路の実現	山本 圭介	櫻庭 政夫	261,000	119,000	0
R03/A03	2	若手	非磁性体中におけるスピンドYNAMIXの制御に関する研究	石原 淳	金井 駿	132,000	119,000	50,000
R03/A04	2	国際	非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ医療デバイスの創成	金子 俊郎	平野 愛弓	148,000	119,000	100,000
R03/A05	2	萌芽・先端・若手	不揮発性磁気メモリへの応用に向けた磁性トポロジカル物質の電界制御に関する研究	千葉 貴裕	辻川 雅人	109,000	85,000	50,000
R03/A06	2	萌芽	量子デバイスの放射線応答に関する開発・研究	岸本 康宏	大塚 朋廣	133,000	115,000	0
R03/A07	2	先端	原子層量子デバイスの開発	加藤 俊顕	大塚 朋廣	125,000	119,000	0
R03/A09	2	先端	超広帯域通信のためのTHzオンチップアレイアンテナに関する研究	金谷 晴一	末松 憲治	135,000	119,000	0
R03/A10	2	萌芽	RTDの非線形性を用いた高周波カオス回路とその応用	前澤 宏一	尾辻 泰一	210,000	119,000	0
R03/A11	2	先端	端内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの研究	吉田 賢史	末松 憲治	225,000	119,000	0
R03/A12	2	萌芽・先端・国際	5G・IoTのためのエネルギーハーベストとメタサーフェス応用に関する研究	丸山 珠美	末松 憲治	169,000	119,000	100,000
R03/A13	2	先端	広帯域光電子機能集積デバイスを用いた低遅延かつシームレスなアクセスネットワークに関する研究	吉本 直人	尾辻 泰一	154,000	119,000	0
R03/A14	2	国際	現実世界に重畳された情報インターフェイスを用いたIoTデバイスおよびロボットの操作・可視化技術	鈴木 遼	北村 喜文	183,000	100,000	100,000
R03/A15	2	萌芽	外界とのインタラクションを実現する再構成可能な頭部搭載型ディスプレイ	清川 清	北村 喜文	160,000	119,000	0
R03/A16	2	萌芽・先端	聴覚的注意の時空間特性に関する研究	寺岡 諒	坂本 修一	141,000	119,000	0
R03/A17	2	先端・国際	バイノーラルキュー制限条件の音空間知覚に関する研究	森川 大輔	坂本 修一	301,000	119,000	100,000
R03/A20	2	先端	薄膜膜キャパシタを用いたニューロモフィックシステム	木村 睦	堀尾 喜彦	338,000	119,000	0
R03/A22	2	先端	IoTセキュリティの研究	小熊 博	本間 尚文	197,000	60,000	0
R03/A23	2	先端	先端的ハーモナイズドエージェントプラットフォームの研究開発	打矢 隆弘	坂本 修一	273,000	119,000	0
R03/A25	2	萌芽・先端	デバイス・インフォマティクスの創成とBeyond5Gデバイスへの応用	吹留 博一	吹留 博一	158,000	119,000	0
R03/A26	2	萌芽・先端	実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究	福原 武	大塚 朋廣	119,000	119,000	0

共同プロジェクト研究

採択番号	採択回数	タイプ	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分 旅費	共同研究経費配分 物件費	特別支援 国際・若手
R03/A27	2	先端	遠距離における非接触電力伝送の検討	稲森 真美子	末松 憲治	122,000	102,000	0
R03/A28	2	萌芽・先端	空間知覚の身体性:異方性と個人差	寺本 渉	坂本 修一	160,000	119,000	0
R03/A29	2	先端	高機能軟磁性合金の評価とエネルギー関連デバイスへの応用	鈴木 茂	石山 和志	0	100,000	0
R03/A30	2	先端	視聴覚情報からの高臨場感ハイブリット振動作成	山高 正烈	坂本 修一	154,000	119,000	0
R03/A31	2	先端	光通信技術を用いた重力観測網の構築と火山活動監視に関する研究	葛西 恵介	葛西 恵介	122,000	100,000	0
R03/A32	2	先端・国際	脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用	佐藤 茂雄	佐藤 茂雄	339,000	119,000	100,000
R04/A01	1	萌芽・先端・国際	Coplanar waveguide size and magnetization angle dependence of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure measured by spin rectification ferromagnetic resonance	Eli Christopher Inocencio Enobio	深見 俊輔	286,000	119,000	100,000
R04/A02	1	先端	高磁場 MRI 対応 NMR 受信コイルの開発	李 相錫	末松 憲治	166,000	119,000	0
R04/A03	1	国際	Japan-Russia International collaborative research on boosting a performance of a large-area THz photoconductive emitter	DMITRY Ponomarev	尾辻 泰一	293,000	119,000	100,000
R04/A04	1	先端	SiH4-CVD による金属ナノドットのシリサイド化反応制御に関する研究	宮崎 誠一	佐藤 茂雄	276,000	119,000	0
R04/A05	1	国際	Study of magnetic, dielectric and optical properties of nanomaterials for Terahertz applications	AMINE El Moutaouakil	尾辻 泰一	235,000	119,000	100,000
R04/A06	1	萌芽	ナノギャップ金属電極による単一コロイド量子ドットの電気伝導評価	柴田 憲治	大塚 朋廣	0	119,000	0
R04/A07	1	萌芽・先端	次世代電磁ノイズ抑制体開発のためのデータベースとその機械学習	室賀 翔	石山 和志	105,000	119,000	0
R04/A08	1	先端	非対称磁気渦構造を有するサブミクロンサイズ磁性体の高周波応答	神田 哲典	石山 和志	133,000	0	0
R04/A09	1	萌芽	軽元素を含む逆ペロブスカイト型金属材料の開発とスピントロニクス実用素子の作製	磯上 慎二	白井 正文	122,000	100,000	0
R04/A10	1	国際	Japan-USA International Collaborative Research on the Theoretical and Experimental Investigation of Coulomb Drag Instability of Graphene Dirac Plasmons and its Application for THz Laser Transistors	MITIN Vladimir	尾辻 泰一	283,000	119,000	100,000
R04/A11	1	萌芽・先端	ポスト 5G 基地局に向けたダイヤモンド高周波高出力素子および回路の開発	金子 純一	末松 憲治	189,000	119,000	0
R04/A12	1	萌芽	多感覚情報を用いた自己感の制御に関する研究	田中 章浩	坂本 修一	162,000	119,000	0
R04/A13	1	国際	Exploring and designing interactions for VR headsets using smartphone interfaces	BOUSTILA Sabah	高嶋 和毅	183,000	119,000	100,000
R04/A14	1	萌芽	オンライン視覚心理物理実験・モデル共有環境の構築	酒井 宏	塩入 諭	143,000	119,000	0
R04/A15	1	先端・国際	学習時の注意推定に関する研究	塩入 諭	塩入 諭	223,000	119,000	100,000
R04/A16	1	萌芽	顔表情分析の遠隔医療応用に関する研究	佐藤 好幸	塩入 諭	98,000	119,000	0
R04/A17	1	国際	Creation, manipulation, and electrical control of chiral spin textures in non-collinear antiferromagnetic heterostructures	TRETIKOV/Oleg	深見 俊輔	183,000	119,000	100,000
R04/A18	1	萌芽・先端	生体膜機能を可視化する電気化学発光顕微鏡の創製	平本 薫	平野 愛弓	80,000	119,000	0
R04/A19	1	萌芽・先端	単一光子検出のための超伝導ナノワイヤに関する研究	美馬 寛	佐藤 茂雄	260,000	119,000	0
R04/A20	1	若手・国際	Interpersonal coordination of motor, cognitive and neurophysiological processes in joint activities	チェン ミャオ	チェン ミャオ	250,000	119,000	150,000
R04/A21	1	萌芽	人体領域通信指向性伝搬特性に関する研究	秋元 浩平	末松 憲治	135,000	119,000	0
R04/A22	1	先端・大型	XR 技術を活用した協働型 HyFlex 授業環境構築のための探索的研究	林 雅子	北村 喜文	138,000	119,000	0
R02/B02	3	先端	コヒーレント光・マイクロ波融合通信・計測システムに関する研究	井上 崇	廣岡 俊彦	247,000	0	0
R02/B03	3	萌芽・先端・産学	将来無線のレイヤレスデザインとその応用	石橋 功至	末松 憲治	260,000	0	0
R02/B04	3	国際・産学	Beyond-5G の実現に向けた高周波技術の探索	九鬼 孝夫	末松 憲治	339,000	0	100,000
R02/B06	3	国際・産学	人の行動理解・解析に基づく空間型ユーザーインターフェース	山本 豪志朗	高嶋 和毅	257,000	0	100,000
R02/B07	3	先端	異種データ融合による人・社会センシング基盤	岡部 寿男	尾辻 泰一	254,000	0	0
R02/B12	3	萌芽・国際	脳型 LSI とその関連技術国際共同研究	羽生 貴弘	羽生 貴弘	331,000	0	100,000
R02/B14	3	国際	3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合	櫻井 研三	坂本 修一	305,000	0	100,000
R02/B15	3	萌芽	半導体微細加工技術とナノ材料に基づく脂質二分子膜と膜タンパク質の機能計測・制御手法の開発	手老 龍吾	平野 愛弓	138,000	0	0
R03/B01	2	先端	スピン・軌道・多極子がもたらす新規界面物性の開拓	三浦 良雄	白井 正文	201,000	0	0
R03/B03	2	萌芽	知的生産性場のモデル化と生産性向上のための計算機による介入手法の検討	伊藤 雄一	高嶋 和毅	232,000	0	0
R03/B04	2	国際	機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開	廣瀬 文彦	平野 愛弓	309,000	0	100,000
R03/B05	2	大型	高次元・時空間ニューロダイナミクスとそれに基づくシステム構築への展開	廣瀬 明	佐藤 茂雄	286,000	0	0
R03/B06	2	萌芽・先端	制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装	関屋 大雄	堀尾 喜彦	205,000	0	0
R03/B07	2	若手・産学	アフターコロナ時代の適応型ワークスペースに関する研究	藤田 和之	藤田 和之	135,000	0	50,000
R03/B08	2	萌芽	進化計算の機械学習への適用に関する研究	神野 健哉	堀尾 喜彦	289,000	0	0
R03/B09	2	国際	社会行動の脳内機序解明にむけたヒトの知覚・運動・認知・情動特性の検討	筒井 健一郎	塩入 諭	94,000	0	100,000

採択番号	採択回数	タイプ	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分 旅費	物件費	特別支援 国際・若手
R03/B11	2	萌芽	アフアンタジア(aphantasia)に関する心的イメージ情報処理特性の検討	高橋 純一	坂本 修一	152,000	0	0
R03/B12	2	先端	持続可能なエコキヤタスシステムに向けた実証的研究	石田 繁巳	長谷川 剛	331,000	0	0
R04/B01	1	萌芽	磁性材料の微細構造制御による次世代情報通信システムのための磁気デバイスの開発	池田 慎治	石山 和志	301,000	0	0
R04/B02	1	先端	固体における新奇スピンダイナミクスの創発とデバイス応用	好田 誠	金井 駿	244,000	0	0
R04/B03	1	萌芽	革新的気相プロセスによるナノ材料創成と高機能デバイス応用	内田 儀一郎	佐藤 茂雄	156,000	0	0
R04/B04	1	萌芽・先端・産学	量子物質の制御と機能開拓およびそのデバイス応用	松野 丈夫	深見 俊輔	290,000	0	0
R04/B05	1	先端	次世代無線技術の基盤を構築するためのアンテナ・電磁界解析技術の研究	今野 佳祐	末松 憲治	181,000	0	0
R04/B06	1	国際・産学	これからの学術集会を考える	北村 喜文	北村 喜文	220,000	0	100,000
R04/B07	1	萌芽	視聴覚におけるオブジェクト認知の原理	栗木 一郎	坂本 修一	108,000	0	0
R04/B08	1	国際・産学	持続的社會を実現する水上モビリティの要素技術に関する研究会	末田 航	北村 喜文	261,000	0	100,000
R04/B09	1	萌芽・先端・国際	多機能マルチメディア生成に関する研究	蘭田 光太郎	坂本 修一	329,000	0	100,000
R04/B10	1	先端・産学	マイクロ波・レーザ SAR の応用研究	近木 祐一郎	八坂 洋	241,000	0	0
R04/B11	1	萌芽・国際	An Inter-personal Dimension of MA: Behavior, Physiology, and Engineering	曾 加恵	曾 加恵	268,000	0	100,000
R04/B12	1	先端	スマートシティを支えるエッジコンピューティング基盤技術、およびそれを活用するスマートシステム	ショウ シュン	長谷川 剛	154,000	0	0
R04/B13	1	若手・国際	屋内マップのためのグラフコンテンツ可視化技術とナビゲーションインタフェース	藤田 和之	藤田 和之	148,000	0	150,000

採択番号	採択回数	共同プロジェクト研究題目	研究代表者	通研対応教員	共同研究経費配分
R02/S01	3	先端的コヒーレント波技術の基盤構築とその応用	青木 徹	八坂 洋	1,000,000
R03/SI01	2	人間科学と AI 技術 (Human sciences with AI technologies)	Su-Ling Yeh	塩入 諭	1,000,000
R04/T01	1	伝送工学研究会 / Electromagnetic-Wave Transmission Technologies Workshop (Society 5.0 に向けた電波・光波伝送技術 / Electromagnetic- and light-wave transmission technologies toward Society 5.0)	山田 博仁	葛西 恵介	150,000
R04/T02	1	音響工学研究会 / Technical committee for acoustic engineering (音響・音声・聴覚およびマルチモーダルシステムに関する基礎と応用に関する研究発表 / Research presentation on basic and application of acoustics, speech, hearing and multimodal systems)	坂本 修一	坂本 修一	150,000
R04/T03	1	東北プラスマフォーラム / Tohoku Plasma Forum (非平衡プラズマ現象の基礎と応用 / Fundamentals and applications of non-equilibrium plasma phenomena)	金子 俊郎	平野 愛弓	150,000
R04/T04	1	コンピュータサイエンス研究会 / Special Interest Group on Computer Science (理論計算機科学を中心とする情報科学の基礎と応用 / Foundation and Application of Information Science around Theoretical Computer Science)	住井 英二郎	中野 圭介	150,000
R04/T05	1	システム制御研究会 / Technical committee for system control (システム制御理論と応用に関する研究発表 / Research presentation on theory and applications of system control)	渡邊 高志	石黒 章夫	150,000
R04/T06	1	情報バイオエレクトロニクス研究会 / Information Biotronics Seminar (バイオ・ナノエレクトロニクスに基づく次世代バイオデバイス創製 / Next generation biodevices based on bio-nanoelectronics)	平野 愛弓	平野 愛弓	150,000
R04/T07	1	スピニクス研究会 / Spinics Research Society (磁性材料開発と磁気応用 / Development of Magnetic Materials and Their Magnetic Applications)	藪上 信	石山 和志	150,000
R04/T08	1	ニューパラダイムコンピューティング研究会 / New Paradigm Computing Research Group (次世代 IoT 社会を担う新概念コンピューティング技術の開拓 / Research and development of new paradigm computing technologies for the next generation IoT society)	張山 昌諭	夏井 雅典	150,000
R04/T09	1	超音波エレクトロニクス研究会 / Technical committee for ultrasonic electronics (超音波の基礎と応用に関する研究発表 / Research presentation on basics and applications of ultrasound)	金井 浩	坂本 修一	150,000
R04/T10	1	ブレインウェア工学研究会 / Brainware Research Project (生物に比肩する知的情報処理システムの構築を目指して / Toward Life-like Intelligent Information Processing System)	石黒 章夫	石黒 章夫	150,000
R04/T11	1	生体・生命工学研究会 / Biocybernetics and Bioinformatics (生体信号の解析・モデリング / Analysis and modelling of biological signals)	塩入 諭	羽鳥 康裕	150,000
R04/T12	1	ナノ・スピニクス研究会 / Study Group on Nanoelectronics and Spintronics (ナノエレクトロニクス・スピントロニクスをベースとした次世代情報通信基盤 / Next-generation information and communication technology based on nanoelectronics and spintronics)	佐藤 茂雄	深見 俊輔	150,000

4. 3 令和4年度共同プロジェクト研究成果報告

採択番号 (Grant No.) : R02/A01

Development of graphene based devices for terahertz applications

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Prof. MEZIANI Yahya Moubarak (サラマンカ大学
応用物理学専攻)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. OTSUJI Taiichi (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

Prof. VELAZQUEZ J.E. (サラマンカ大学)

Mr. DELGADO J.A. (サラマンカ大学)

Mr. CLERICO V. (サラマンカ大学)

Mr. Abidi El Hadj

Assist. Prof. WATANABE T. (東北大学電気通信研
究所)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 7 人

[2] 研究経過 (Summary)

The aim of this project is to investigate the detection and emission of terahertz radiation by using graphene-based devices with asymmetric dual grating gates. The devices were fabricated and characterized under terahertz excitation of 0.15 - 0.60 THz. The measurements were performed at 4K. Both graphene (Gr) and hexagonal boron nitride (h-BN) layers were obtained by the mechanical exfoliation technique. The Gr was encapsulated between two layers of h-BN to make the van der Waals (vdW) heterostructure that leads to improvement of the carrier's mobility. The technique used is based on the hot pick-up method. The fabricated vdW heterostructures (h-BN/Gr/h-BN) were deposited on a doped silicon substrate with a SiO₂ top layer (Si/SiO₂). Due to pandemic situation, it was not possible to fulfill the exchange of students as intended and, eventually, the planned measurements were eventually performed at Salamanca University.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

① Asymmetric Dual Grating Gates Graphene based FET (ADGG-GFET).

An exfoliated graphene was sandwiched between two h-BN layers. The hot pick-up technique was used for the fabrication of the double heterostructure (h-BN/Gr/h-BN) and Raman spectroscopy was used to ensure the presence of the graphene layers as well as the h-BN layers (Figure 1). Asymmetric grating gates were deposited on the h-BN top layer as shown

in Fig. 2. A bowtie antenna was integrated to the design of the device (Fig. 2).

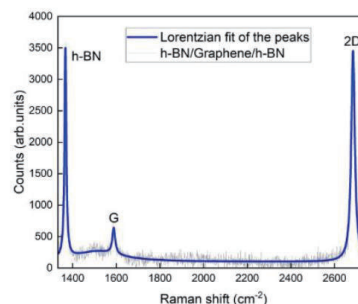


Fig. 1. Raman spectroscopy of the fabricated vdW heterostructure

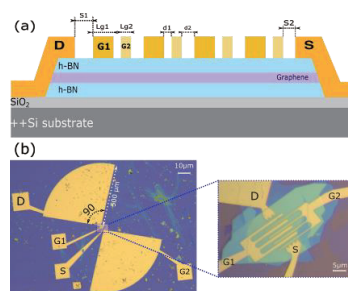


Fig. 2. Schematic description and the microscope photos of the new ADGG-GFETs device with integrated bow tie antenna.

② Detection of terahertz radiation using the ADGG-GFET. The fabricated devices were characterized electrically with both back and top gate at 4K (Fig.3). The mobility was extracted from the dc measurements using the Kim et al. model. The electron carrier mobility was around $\mu_e \sim 22784 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ and for the holes around $\mu_h \sim 17339 \text{ cm}^2/\text{Vs}$.

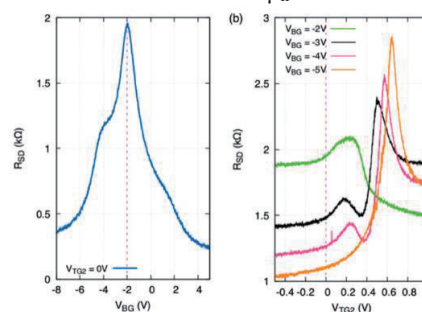


Figure 3: Channel resistance measurements of the ADGG-GTeraFET as a function of (left) back gate where $V_{TG2}=0\text{V}$ and (right) the top gate 2 at different $V_{BG}=-2$ to -5 V .

The ADGG-GFET FETs was placed inside an optical cryostat and then excited using an electronic source at 0.3 THz

and 0.6 THz. The photoresponse was measured using the lock-in technique with a chopping frequency around 298Hz. No DC bias current was applied to the device. Figure 3-(a) shows the measured the temporal photoresponse when the THz source was switched on and off. A clear signal of around was measured at both frequencies. Figure 5-(a) shows the photoresponse as a function of the back gate voltage obtained at 4K and under excitation of 0.15 THz. An enhancement up to -4mV was observed at $V_{BG}=-9\text{V}$ & $V_{TG2}=+1\text{V}$. When applying a negative voltage on the back gate while maintaining the top gates positive, a periodic region of carriers of opposite sign are created along the channel, in the regions below back and top gates.

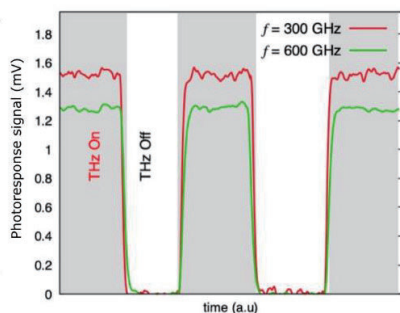


Figure 4: Temporal photoresponse signal when the THz source (0.3 and 0.6 THz) was switched on and off.

Those conditions create the plasmonic rectified effect that is responsible of the rectification of the terahertz radiation. Similar behavior was observed when the device was excited with radiation at 0.3THz (Fig.5-(b)) and at 0.6THz (Fig.5-(c)). Under excitation of 0.3THz, an enhancement up to 6mV was observed for $V_{BG}=-6\text{V}$, $V_{TG2}=-1\text{V}$ and for values of $V_{BG}<-10\text{V}$, $V_{TG2}=1\text{V}$. However, under excitation of 0.6THz, no noticeable difference was observed when applying $\pm 1\text{V}$ on the top gate 2 and a maximum of 1.3mV was obtained at $V_{BG}\approx-6\text{V}$. Due to the biasing of the different gates, there exist different regions along the channel with different carrier types and concentration: (i) regions under the top gate 1 controlled by $V_{TG1}=0\text{V}$ and by the V_{BG} (ii) regions under the top gate 2 controlled by V_{TG2} and by the V_{BG} and (iii) ungated regions controlled only by the V_{BG} . We observed a different behavior of the photoresponse with the excitation frequency which can be related to plasmon inside the different regions, with different sizes. The rectification under excitation could be related to the regions under both top gates and the one under 0.6THz to the ungated regions. More measurements and simulation are needed to highlight the effect of each region in the measured signal.

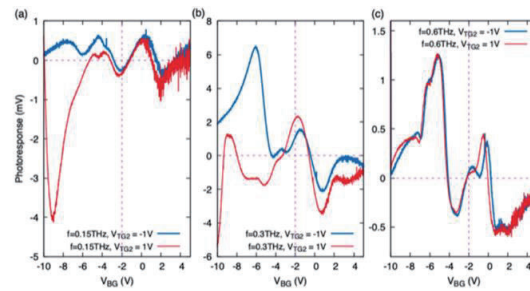


Figure 5: Photoresponse versus V_{BG} for two fixed values of $V_{TG2}=-1$ & 1V and at different frequencies (a) $f=0.15\text{THz}$ (b) $f=0.3\text{THz}$ and (c) $f=0.6\text{THz}$.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

- Both groups has a solid strategic experience in the processing and the fabrication of graphene-based devices as well in their characterization.
- New devices were fabricated in Salamanca. There are only a few groups in the world that can fabricate this type of devices. The group of Manchester University led by the Nobel laureate A. Geim is one of them.
- Investigation of plasma oscillations using novel devices based on new 2d material like graphene is of great importance for the fundamental physics as well as for the development of real applications like terahertz detectors/emitters.

[4] 成果資料 (Publications)

- [1] A. Rehman, J.A.D. Notario, J.S. Sanchez, Y.M. Meziani, G. Cywiński, W. Knap, A.A. Balandin, M. Levinshtein, and S. Rumyantsev, 'Nature of the $1/f$ Noise in Graphene, Direct Evidence for the Mobility Fluctuations Mechanism' *Nanoscale* 14, 7242 (2022).
- [3] Y.M. Meziani et al. '2d material based devices for terahertz detection' Invited at the 31st edition of THz Technology Applications Summer School 11 15th July 2022, Warsaw, Poland
- [4] E. Abidi; J. A. Delgado-Notario; V. Clericò; J. Salvador-Sanchez; J. E. Velazquez-Perez; J. Calvo-Gallego; E. Diez; T. Taniguchi; K. Watanabe; W. Knap; T. Otsuji; Y. M. Meziani 'Study of the impact of the use of bow-tie antennas on the response of Graphene FETs Terahertz detectors' Oral at 2022 Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS)- May 30 to June 3, 2022 – virtual conference (Ref:D1.07.1).
- [5] A.Rehman; J.A.D. Notario; J.S. Sanchez; Y.M. Meziani; G. Cywiński; W. Knap; A.A. Balandin; M. Levinshtein; S. Rumyantsev '1/f Mobility Fluctuations in Graphene', Poster at 12th edition of Graphene Conference series, the largest European Event in Graphene and 2D Materials, Aachen

(Germany): July 05-08, 2022

(<https://www.grapheneconf.com/2022/posters.php#>)

Organizer: Phantoms Foundation.

[6] EL Hadj. Abidi; J. Delgado Notario; V. Clericò; J. Salvador-Sánchez; J. Caridad; J.E. Velázquez-Pérez; J. Calvo-Gallego; E. Diez; T. Taniguchi; K. Watanabe; T. Otsuji; Y.M. Meziani ‘Bow-tie antenna coupled graphene-based FETs for terahertz detection’ oral at WOCSDICE-EXMATEC 2022 (45th Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits- 16th EXMATEC - Expert Evaluation and Control of Compound Semiconductor Materials and Technologies), 3-6 May 2022 | Ponta Delgada (São Miguel island - Azores), PORTUGAL

[7] EL Hadj. Abidi; J. Delgado Notario; V. Clericò; J. Salvador-Sánchez; J. Caridad; J.E. Velázquez-Pérez; J. Calvo-Gallego; E. Diez; T. Taniguchi; K. Watanabe; T. Otsuji; Y.M. Meziani ‘Bow-tie antenna coupled graphene-based FETs for terahertz detection’ accepted as Digital Poster at International Conference on the Physics of Semiconductors 2022 (ICPS2022), Sydney, Australia 27–30 June, 2022.

[8] El Hadj Abidi; J. Delgado Notario; V. Clericò; J. Caridad; J. E. Velázquez-Pérez; J. Calvo-Gallego; E. Diez; T. Taniguchi; K. Watanabe; T. Otsuji; Y. M. Meziani ‘Bow-tie antenna integrated graphene-based FETs for enhancement of terahertz rectification’ oral at French-German TeraHertz Conference 2022, Montpellier, France – 2022 May, 16-19th.

[9] J. Delgado Notario; J. Calvo-Gallego; Y. M. Meziani; K. Fobelets; M. Ferrando Bataller; J. E. Velázquez-Pérez ‘Response of n-channel strained-Si MODFETs as sub-THz direct detectors’ Oral at 2022 Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS)- May 30 to June 3, 2022 – virtual conference (Ref: C.19.4).

[10] E. Abidi; J. A. Delgado-Notario; V. Clericò; J. Salvador-Sánchez; J. E. Velázquez-Pérez; J. Calvo-Gallego; E. Diez; T. Taniguchi; K. Watanabe; W. Knap; T. Otsuji; Y. M. Meziani ‘Study of the impact of the use of bow-tie antennas on the response of Graphene FETs Terahertz detectors’ Oral at 2022 Spring Meeting of the European Materials Research Society (E-MRS)- May 30 to June 3, 2022 – virtual conference (Ref:D1.07.1).

[11] J. Calvo-Gallego; J.A. Delgado-Notario; El Hadj Abidi; M. Ferrando-Bataller; K. Fobelets; J. E. Velázquez-Pérez; Y.M. Meziani ‘Electromagnetic Simulation to Determine Mesoscopic Dielectric Particle Parameters for Optimal Terahertz Effect’ Poster at 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves IRMMW-THz 2022, 28 August-2 September 2022, Delft, Netherlands

[12] Abidi El Hadj, J.A. Delgado-Notario, V. Clericò, J. Calvo-Gallego, J.E. Velázquez, C. Bray, C. Consejo, F. Teppé,

T. Taniguchi, K. Watanabe, T. Otsuji and Y.M. Meziani, Plasmonic Rectification of terahertz radiation using encapsulated graphene field effect transistor, Poster at the XII Reunión del grupo de física de la materia condensada de la RSEF – GEFES 2023, Salamanca, 1-3, 2023.

[13] Y.M. Meziani, ‘Terahertz Plasmonic Rectification Using Graphene-based Field Effect Transistors’ invited at the 1st International Congress on Educational Research, Material Science & Engineering, 25-27 November 2022 Saidia, Morocco

採択番号：R02/A02

人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化

[1] 組織

研究代表者：

谷井 孝至（早稲田大学理工学術院）

通研対応教員：

山本 英明（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

平野 愛弓（東北大学電気通信研究所・
材料科学高等研究所）

久保田 繁（山形大学・大学院理工学研究
科）

Jordi Soriano（University of Barcelona, Institute
of Complex Systems）

香取 勇一（公立はこだて未来大学複雑系
知能学科）

藤原 直哉（東北大学大学院情報科学研究
科）

守谷 哲（東北大学電気通信研究所）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

複数の神経細胞の活動を同時記録する技術が進歩したことで、神経間の結びつきを *in vivo* で詳細に調べることが可能になった。その結果、神経同士の解剖学的な結びつきを表す構造的結合関係と、発火相関から導かれる機能的結合関係とは必ずしも一致しないことが明らかとなった。構造的結合は、学習や発達による回路のリモデリングによって、数時間あるいは数日といった遅い時間オーダーで調整されるのに対し、機能的結合は、動物が行う実験課題の内容や外部からの感覚刺激に応じて、数百ミリ秒という速い時間スケールで切り替わる。シナプス回路の構造的変化は、神経間の機能的結合とその結果として生じるシナプス可塑性を通じて、回路構造に再びフィードバックされるため、脳の構造と機能の関係を一体として解析することが、現象の包括的な理解に不可欠である。

早大メンバーは集束イオンビームおよびリソグラフィを用いたガラス基板表面のマイクロパターンニング技術（細胞接着領域と非接着領域の作り分け）を開発してきており、これまでに単一細胞の極性制御、興奮性・抑制性神経細胞の非標識判別、少数個の神経細胞間の接続制御と

いった独自技術を構築してきた。

一方、東北大メンバーは、ダイナミックパッチクランプ法や発火パターンのリアルタイムイメージングに代表される神経細胞回路の活動制御および計測技術で世界をリードしている。本申請グループのメンバーは、そのようにして接続構造を制御した実神経細胞回路の発火パターン計測結果を、Barcelona 大および山形大メンバーが持つ数値解析法と融合することにより、シナプス接続強度とその時間発展といった、実験では直接的に露わにすることが難しい神経回路の状態との突合も行ってきた実績を有する。これらは、構造と機能との両面から構成論的に少数個の神経細胞回路から始めて徐々に回路規模を拡大させ、神経回路網の持つ特異な情報処理様式にアプローチできる方法論を具体化できていることを意味する。

本申請研究では、単一または少数個の実神経細胞回路のガラス基板上の再構成と発火パターンの解析、および、その数理モデル化を通して、回路が創出する局所的な活動表現と大域的な活動表現との関係を、実験と理論の双方から検討することを目的とし、脳の複雑ネットワーク構造と機能との相関を、体系的に理解するための新しい理論的枠組みを構築することも目指して進められた。3年目の2022年度においては、高密度多点電極アレイ上への神経細胞パターンニング法の開発と自発活動計測に関する共著論文を発表したほか、通研国際シンポジウムや応用物理学会でのシンポジウム企画・研究発表などを通じて、プロジェクト内外の専門家と交流を進めた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

多点電極アレイ(MEA)を用いた神経細胞の活動計測は、計測の非侵襲性と高時間分解能である点において非常に優れており、培養神経回路だけでなく生体脳における計測データも収集されている。さらに近年、CMOS プロセス技術を用いて作製された高密度(HD) MEA が登場したことで、MEA における空間分解能の課題が解決され、培養神経回路の活動を単一細胞レベルで計測することが可能となった。本研究では、高

密度多点電極アレイ上に対して生体神経回路で見られるモジュール構造を有する神経細胞回路を培養系で再構成し、その活動を高時間分解能で計測可能な手法を確立した。さらに、パターンニングした人工神経細胞回路の自発活動について詳細な統計解析を行った。

実験に用いた高密度多点電極アレイは Maxwell Biosystems 社の MaxOne MEA で、サンプリングレート 20 kHz で計測を行った。計測電極領域の表面をコラーゲンゲルと poly-D-lysine でコーティングした後、ポリジメチルシロキサン (PDMS) を用いて作製した薄膜型マイクロ流路 (Takemuro et al., Jpn. J. Appl. Phys. (2020)) を張り付けることで、神経細胞の接着可能領域を制御した。マイクロ流路のパターン形状は $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ の正方形 4 つを直線でつないだモジュール型構造パターンと、 $400 \times 400 \mu\text{m}^2$ の正方形からなるランダムパターンを使用した。ここに、胎生 18 日ラット大脳皮質から採取した神経細胞を播種し、培養 10~14 日目に構成された回路の自発活動を計測した。

モジュール構造パターンの自発活動は、各モジュールの独立した部分同期発火とネットワーク全体に及ぶ全体同期発火が混在しており、以前までに得られていた蛍光 Ca イメージングの結果 (H. Yamamoto et al., Sci. Adv. (2018)) と一致する傾向であった。任意の 1 電極の活動との相互相関をプロットしたところ、ランダムネットワークではほぼすべての電極で時間差なくピークが表れているのに対して、モジュールネットワークでは選択した電極と同一モジュール内、隣接したモジュール間、隣接しないモジュール間で、ピークの生じ方に違いがあることが分かった。隣接したモジュールで見られるピークは ± 0.01 s に現れていることから、MEA による高時間分解計測によって明らかになったものである。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本共同プロジェクト研究の構成メンバーを中心として R3 年度科研費・学術変革領域研究(B) に申請し、採択率 6.6% の厳しい競争の中で採択課題に選ばれた。この学術変革領域では、生物の脳が多細胞ネットワークを物質的基盤として高度な情報処理を実現する作動原理を理解し、さらに数理モデルとして記述するための生物学-工学-情報学を横断する新たな学理体系の創成を目指している。領域の立ち上げから 1 年半が経ち、計画班代表者の一人を責任著者とする研究が Nature 誌に掲載されたり、領域メンバー間での共著論文が国際学術誌に掲載されたりと、成果が得られ始めている。国際的にも、次年度に向けて共プロの海外メンバーが携わる Horizon

2020 プロジェクト (NeuChip.eu) との日欧合同スペシャルセッションを国際会議にて企画し、関連分野における研究者コミュニティをさらに広げるための準備を進めた。

9 月には、関連学会 (応用物理学会) にてシンポジウムを企画し、同学会の関係者と共に当該分野の現状や可能性を議論した。

- ・第 83 回 応用物理学会 秋季学術講演会
「次世代 ICT と未来医療を支える 神経科学・神経工学・脳型コンピューティング」
- ・日時：令和 4 年 9 月 20 日 (火)
ハイブリッド開催 (東北大学・Zoom)
池谷 裕二 (東京大学)
松井 鉄平 (岡山大学)
香取 勇一 (公立はこだて未来大学)
鈴木 郁郎 (東北工業大学)
細川 千絵 (大阪公立大学)
木野 久志 (東北大学)
春田 牧人 (奈良先端科学技術大学院大学)
正水 芳人 (同志社大学)
山本 英明 (東北大学)

さらに上記の学術変革領域について、本年度は、第 2 回国際シンポジウムを通研国際シンポジウム The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer の特別セッションとして 2023 年 2 月 17-18 日に開催した。

- ・The 2nd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing
日時：令和 5 年 2 月 17 日 (金)・18 日 (土)
東北大学と Zoom のハイブリッド開催
B. J. Kagan (Cortical Labs, Australia)
Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)
J. Soriano et al. (Univ. Barcelona, Spain)
T. Netoff et al. (Univ. Minnesota, U.S.A.)
T. Murakami et al (Univ. Tokyo, Japan)
Y. Masamizu et al. (Doshisha Univ., Japan)
R. Hosaka et al (Shibaura Inst. Tech., Japan)
H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
A. Hirano-Iwata et al (Tohoku Univ., Japan)
S. Katsurabayashi et al. (Fukuoka Univ., Japan)
H. Yamamoto (Tohoku Univ.)
他、ポスター発表 16 件

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tanii, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks, *Front. Neurosci.* 16, 943310 (2023).
- S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, J. Madrenas: A fully analog CMOS implementation of a two-variable spiking neuron in the subthreshold region and its network operation, *Proceedings of the 2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN)* pp. 1-7 (2022).
- D. Oguchi, S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato: An investigation of the relationship between numerical precision and performance of Q-learning for hardware implementation, *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE* 13, 427-433 (2022).
- T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, S. Moriya, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing, *arXiv* 2210.02913 (2022).
- H. Yamamoto, F. P. Spitzner, T. Takemuro, Vi. Buendía, C. Morante, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, V. Priesemann, M. A. Muñoz, J. Zierenberg, J. Soriano: Modular architecture facilitates noise-driven control of synchrony in neuronal networks, *arXiv* 2205.10563 (2022).
-

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- M. Sato, M. Hariyama, K. Maki, K. Suzuki, Y. Tozawa, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata: Model-Free Idealization: Adaptive Integrated Approach for Idealization of Ion Channel Currents (AI2), *arXiv* 2302.06792 (2023).

採択番号：R02/A03

二次元材料を用いた光電子デバイスの開発

[1] 組織

研究代表者

内野 俊（東北工業大学工学部電気電子工学科）

通研対応教員

尾辻 泰一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

佐藤 昭（東北大学電気通信研究所）

吹留 博一（東北大学電気通信研究所）

唐 超（東北大学電気通信研究所）

田村 紘一（東北大学電気通信研究所）

衡 君彦（東北工業大学工学部電気電子工学科）

延べ参加人数：7人

[2] プロジェクトの目的、研究計画や内容

グラフェンや MoS₂ などの二次元材料は、透明でフレキシブルな次世代電子材料として、近年ますますその重要性が増している。そこで、本プロジェクトでは、二次元材料を用いて高効率太陽光発電が期待される光レクテナや局在表面プラズモン増強効果を応用したバイオケミカルセンサーの研究開発を行った。3年目の本年度は、感染症やガンなどの診断、食品検査、水質検査を迅速かつ簡便にできる高感度バイオケミカルセンサーを開発することを目的とした。

我々は先に、世界最高レベルの光学的Q値を持つ銀単結晶をマイカ基板上に堆積し、二次元材料のグラフェンを積層化した SERS 基板を開発した。この SERS 基板は、従来の基板の10倍以上の高感度を示した。そこで、今年度は更に高感度な SERS 基板を作製し、バイオケミカルセンサーへ応用した。

本研究では SERS 基板を作製するために、最初にマイカ基板を劈開し、新鮮な表面を露出させた。次に、東北大学試作コインランドリの芝浦スパッタ装置(RF 電源)を用いて、300 °Cの高温でマイカ基板上に薄膜 70 nm の銀薄膜を堆積した。先行研究から高温で堆積した銀薄膜は、高い単結晶性を示し、ナノホール構造を形成することがわかっている。定量分析には、被験物質としてローダミン 6G(R6G)を用いた。濃度の異なる R6G 水溶液中に基板を表裏2時間ずつ浸すことにより試料を作製した。従来の SERS 基

板は金属が表面に露出しているので化学反応によって劣化しやすいという問題がある。そこで、本研究ではマイカ基板を膜厚 100 μm 以下に薄層化し、マイカ基板側を表面にして PET やガラスなどの支持基板に固定した。本構造では銀が封止されているため、銀の化学反応による劣化や抗菌効果を防止することが可能になった。

次に、特定の検体を検出することができるバイオケミカルセンサーを作製するために、サンドイッチ ELISA を SERS 基板上に構築した。ELISA を作成する際には、抗体を固定するために基板表面を疎水化する必要がある。そこで、親水性のマイカ表面にグラフェンを転写することによって疎水化した。また、グラフェンはプラズモン特性を有するので、高感度化が期待できる。最後に、ラマン分光を用いて抗体に付加した HRP のラマンピークを観測することより、抗原を検出した。本研究のバイオケミカルセンサーは、表面増強ラマン散乱効果により、タンパク質分子一つの識別をラベルフリーで高速かつ高感度に検出することが期待できる。

サンドイッチ ELISA の作成は、東北工業大学葛西研のご協力をいただき、グラフェン上にウシ乳房炎で増加する IL-6 を固定した。ラマン分光測定は、東北大学吹留研所有の RENISHAW 社 inVia (レーザー出力 50 mW、波長 532 nm)を用いて行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

最初にナノホール構造における SERS 効果の非対称性について調べた(図1)。レーザーをマイカ側から照射した方が約3倍高感度になることがわかった。これは、以下の3つのモデルで説明できる。第1は、屈折率の違いによる Fresnel モデル。マイカの屈折率が空気より大きいため、レーザーをマイカ側から入射したときの方が約2倍強電場になる。第2に、空気とマイカの誘電率の違いによる Electromagnetic モデル。マイカ中の方が強電場を発生する。第3に、マイカ中のスローライト効果によって電荷移動相互作用時間が長くなるモデルである。

次に、銀/マイカ基板を用いて R6G の検量線を作成した(図2)。その結果、10⁻⁷ M の微量までラマン強度が R6G 濃度と共に直線的に変化することがわかった。この結果より、定量分析が可能ながわかった。

図3に銀/マイカ基板のマイカ側にグラフェンを転写した基板の SERS 特性を調べた結果を示す。ここで、R6G 濃度は 10^{-6} M とした。グラフェンを転写した試料はシグナル/バックグラウンド比 41%を示し、グラフェンのない基板と比較して 15%高感度化することができた。これは、ラマン信号がグラフェン側と銀薄膜側の両方で増強されるためである。

最後に図4に銀/マイカ/グラフェン基板を ELISA へ応用した結果を示す。IL-6 量 500 ng/ml の試料でマーカートの HRP を検出することができたことから、バイオケミカルセンサーへ応用できることがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性,研究分野への貢献等

二次元材料は安価で持続可能なクリーンエネルギーを実現する次世代電子デバイス材料として注目されている。特に、グラフェンは高移動度を示すほか、柔軟性や耐久性に優れていることからグリーンエレクトロニクス材料として有

望視されている。本プロジェクトの研究成果は、二次元材料のバイオケミカルセンサーへの応用の可能性を示したものであり、以下のプロジェクトへと発展した。表面増強ラマン散乱は、通常の検査に使用されているフォトルミネッセンスと比べて数 10 倍の高感度を持つので、表面増強ラマン散乱を応用した高感度バイオケミカルセンサーチップは、医療機関、検査機関、研究所などで分子レベルの分析への応用が期待できる。また、表面増強ラマン散乱によって、検査感度が向上すると、検査時間の短縮や信頼性の向上が期待できる。そして、本バイオケミカルセンサーチップは製造工程が容易なので、製造コストを従来の 10 分の 1 にすることができる。

- ・プロジェクト名；表面増強ラマン散乱を用いた高感度バイオケミカルセンサーの開発補助事業
- ・資金制度, 研究費名；個人研究補助
- ・配分機関名；公益財団法人 JKA
- ・研究期間；2022 年 4 月 1 日-2023 年 3 月 31 日

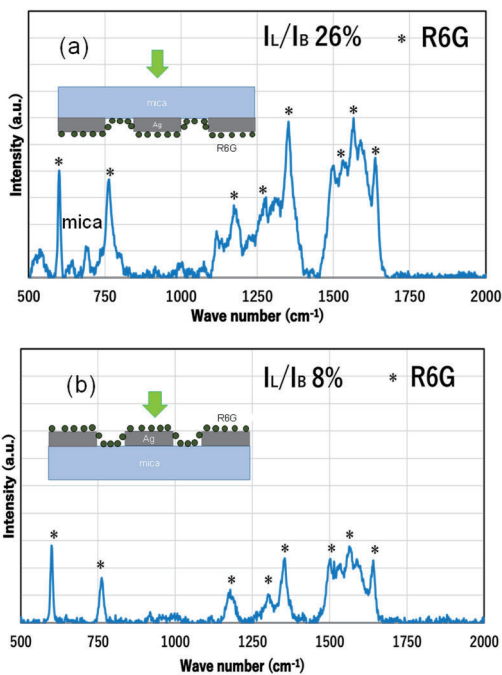


図1 ナノホール構造における SERS 効果の非対称性

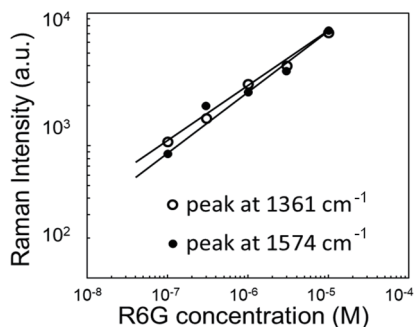


図2 SERS 信号の R6G 濃度依存性

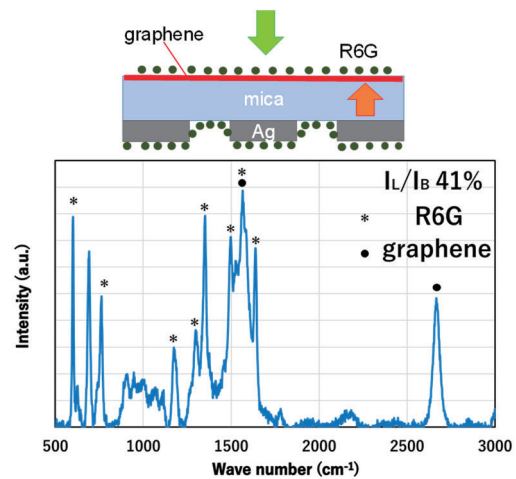


図3 グラフェン/マイカ/銀基板上の R6G のラマンスペクトル

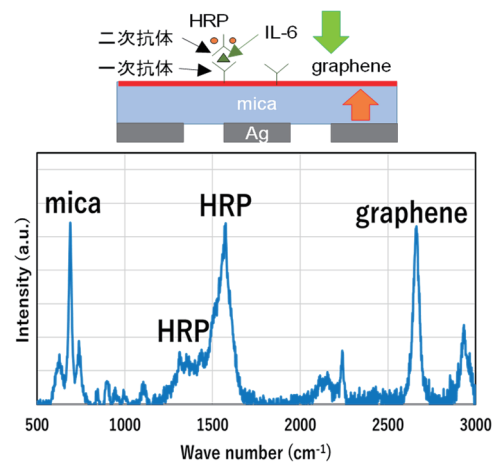


図4 HRP (レポーター) のラマンスペクトル

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・ 衡彦君, 斉藤紫音, 平井龍太郎, 吹留博一, 佐藤昭, 尾辻泰一, 内野俊, “ナノホール構造を持つ Ag/マイカ基板の表面増強ラマン散乱”, 第 83 回応用物理学秋季学術講演会, 東北大学, 2022 年 9 月 21 日
- ・ T. Uchino, Y. Heng, R. Kumagai, S. Kasai, H. Fukidome, A. Satou, and T. Otsuji, “Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS) substrates for enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) using monolayer graphene”, The 13th Recent Progress in Graphene and Two-dimensional Materials Research Conference (RPGR 2022), Taiwan, Nov 16th, 2022
- ・ 衡彦君, 斉藤紫音, 平井龍太郎, 熊谷龍馬, 葛西重信, 吹留博一, 佐藤昭, 尾辻泰一, 内野俊, “表面増強ラマン散乱(SERS)を用いた高感度バイオケミカルセンサー”, 第 70 回応用物理学春季学術講演会, 上智大学, 2023 年 3 月 16 日

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・ PCT/JP2022/26311 “光学デバイス及びその製造方法” 内野 俊, 本間孝治

採択番号 (Grant No.) : R02/A04

Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets

1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Prof. Dr. Ravi Prakash Singh (IISERB)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. Dr. Shunsuke Fukami

研究分担者 (Project Member List) :

1. Dr. Rajeswari Roy Chowdhury (IISERB)

2. Dr. Samik DuttaGupta (RIEC)

[2] プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

The capability to manipulate and control antiferromagnets (AFMs) via electrical techniques has provided unprecedented opportunities for the development of materials, and new-concept electronic devices with different functionalities. Previous works utilizing AFMs in quasi-three-dimensional heterostructure geometry have demonstrated promising characteristics such as electrical control of antiferromagnetic Néel vector and stabilization of AFM skyrmions, expected to pave the way for future AFM-based memories and devices for unconventional computing architectures. On the other hand, there has not been much focus on low-dimensional (layered and chainlike) AFMs, fundamentally and technologically interesting due to their abilities to introduce new functionalities and translate the existing properties down to the two-dimensional (2D) limit. Among the different families of layered AFMs, layered $\text{TaFe}_{1+x}\text{Te}_3$ (TFT) is interesting, where the Fe atoms form a two-leg ladder along the principal axis but with a zigzag shape representing an intriguing quasi one-dimensional magnetic system. TFT crystallizes in a monoclinic structure, consisting of Ta-Fe bonded layers sandwiched between the Te layers. There are also excess Fe atoms, randomly occupying some interstitial sites, potentially influencing the magnetic order in the Fe-Te layers.

In this work, we have explored the magnetic, temperature, and angle-dependent MR effects in layered AFM TFT. Temperature dependent magnetization measurements show antiferromagnetic ordering at ≈ 200 K. An applied magnetic field (H) perpendicular to the (10-1) plane shows the existence of a spin-flop transition at $T \approx 130$ K, associated with an increase of M and an abrupt drop of the longitudinal MR, only for $H \perp$ (10-1) plane. Interestingly, the spin-flop transition also results in a sharp deviation of the angle-dependent longitudinal MR behaviour from its usual harmonic nature, manifesting in a strong anharmonicity in angular dependence. Besides, there is a significant enhancement of longitudinal MR,

compared to $H \parallel$ (10-1) configuration. Our work deepens the understanding of MR properties in layered AFMs and indicates the possibility of utilizing this MR effect as a prospective scheme for introducing spintronic functionalities in layered AFMs.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

Single crystals of $\text{TaFe}_{1.25}\text{Te}_3$ (TFT, hereafter) were grown by the chemical vapor transport (CVT) method. A stoichiometric mixture of Ta (3N), Fe (3N), and Te (3N) was ground thoroughly and sealed in an evacuated quartz tube along with TeCl_4 as the transport agent. The tube was kept in a two-zone furnace at a temperature gradient of 690 °C/ 660 °C. Needle shaped crystals were obtained after ten days.

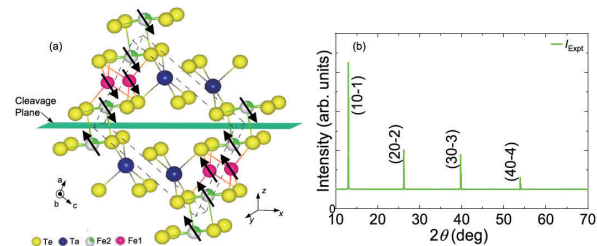


Fig. 1. (a) Crystal structure of $\text{TaFe}_{1+x}\text{Te}_3$. The interstitial Fe atoms are denoted by white-green circles. (b) Out-of-plane x-ray diffraction pattern of $\text{TaFe}_{1.25}\text{Te}_3$ single-crystalline sample at room temperature.

Figure 2(a) shows the schematic diagram of the measurement geometry, and the definitions of the azimuthal (angle ϕ between H and I) and polar (angle θ between H and I) angles with respect to the single crystal. An applied dc I (\parallel (10-1) plane) was passed through the single crystal along the x direction (i.e., along the crystal plane). The resulting change in longitudinal or transverse voltages were measured under rotation of external H of constant magnitude along the azimuthal and polar planes. Intuitively, θ sweep corresponds to H rotating from a magnetic hard ($\theta \approx 0^\circ$) to easy ($\theta \approx 72.4^\circ$) direction, compared to ϕ sweep, enabling us to quantitatively

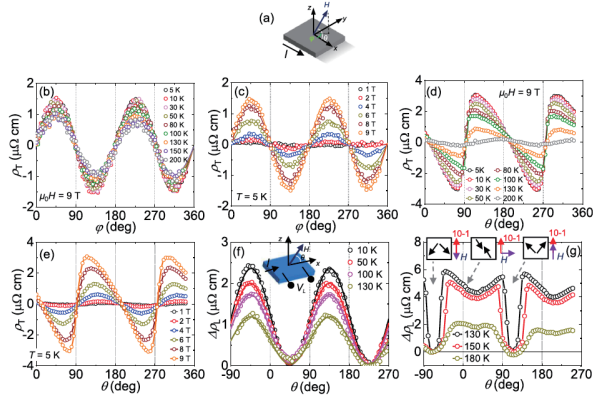


Fig. 2. (a) Schematic representation of the measurement configuration utilized in this work. The azimuthal (θ) and polar (ϕ) angles are defined as the angle subtended by the applied magnetic field (H) with respect to the applied current (I) along x direction. (b) ϕ dependence of transverse resistivity (ρ_T) under constant magnetic field at various temperatures (T). (c) ϕ dependence of ρ_T under varying magnitudes of H , at $T = 5$ K. (d) θ dependence of ρ_T under constant magnetic field $\mu_0 H = 9$ T [$H \perp (10-1)$ plane], at various T . (e) θ dependence of ρ_T under varying magnitudes of H , at $T = 5$ K. (f) θ dependence of longitudinal resistivity (ρ_L) under constant magnetic field $\mu_0 H = 6$ T at various T . (g) Experimental results of similar measurements under $\mu_0 H = 8$ T, for $T = 130$ K. Solid lines in (b), (c), and (f) denote the fitting of the experimental data with the harmonic sine squared dependence. Schematic diagrams in (g) represent possible spin configurations in the spin-flop and AFM configurations.

clarify its impact on the magnetoresistive features. Figures 2(b) and 2(c) show experimental results of ρ_H versus ϕ , under constant H and T . We observe that ρ_H versus ϕ follows a twofold symmetry with a $\sin^2\phi$ behaviour [solid lines in Figs. 2(b) and 2(c)]. Owing to the A-type AFM order along with the absence of spin-flop configuration for $H \parallel (10-1)$ plane, the observed magnetoresistive behaviour can be interpreted as anisotropic magnetoresistance (AMR). On the other hand, significant deviations from the conventional AMR were observed for H rotations along θ [Figs. 2(d) and 2(e)]. ρ_T versus θ curves deviate significantly from the harmonic behaviour and show a sharp sign reversal as $H \perp (10-1)$ plane. Interestingly, the anharmonic behaviour is strongly dependent on H [Fig. 2(e)], and weakly varies with T [Fig. 2(d)]. We speculate that the anharmonic nature might be strongly influenced by the magnetic anisotropy of TFT, preferring an AFM alignment perpendicular to the $(10-1)$ planes. To further explore the peculiar nature of the magnetotransport features of TFT, we also study the effect of H rotation (θ) on ρ_L [Figs. 2(f) and 2(g)]. For applied H less than the spin-flop field, the MR curves show a harmonic behaviour. Interestingly, as H is larger than the spin-flop field, we observe a significantly different behaviour, strongly anharmonic in

nature with the appearance of plateau-like features for certain θ , along with a significant increase in the magnitude of ρ_L . Furthermore, an increase in T , in this regime at fixed $\mu_0 H = 8$ T, also results in a reduction of ρ_L magnitude, attributed to an enhancement of spin fluctuation near T_N .

We believe that our results will inspire future experimental investigations with the variation of number of layers which might initiate a new paradigm of AFM spintronics with layered material systems. The present experimental results provide considerable insights into the remarkable magnetic and magnetotransport feature of layered AFMs and suggest an alternative scheme to introduce novel spintronic functionalities in layered AFMs.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

This work aims at experimental investigations in this technologically relevant field of vdW spintronics. Several high-quality single crystalline 2D vdW materials (ex. NiPS₃, TaFe_{1.25}Te₃, etc.) have been successfully grown. Using magnetotransport and optical investigations, we revealed several interesting results which enables understanding of the underlying interactions necessary for the utilization of layered 2D AFMs for antiferromagnetic spintronics.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

- (1) R. Roy Chowdhury *et al.*, Anisotropic magnetotransport in the layered antiferromagnet TaFe_{1.25}Te₃, Phys. Rev. Materials **6**, 084408 (2022).
- (2) R. Roy Chowdhury *et al.*, Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (MMM), Oct 31st – Nov 4th 2022, Minneapolis, USA.
- (3) R. Roy Chowdhury *et al.*, 2022 IEEE Around-the-Clock-Around-the-Globe Conference, Aug 31st, 2022 (online presentation).
- (4) R. Roy Chowdhury *et al.*, Symposium on Magnetism and Spintronics (SMS), Nov 27th- 29th 2021, NISER Bhubaneswar, India (poster) (online presentation).
- (5) R. Roy Chowdhury, Physics of Strongly Correlated Electron Systems (PCES) 2023, March 15-17th 2023, IISER Pune, India (Invited Talk).
- (6) R. Roy Chowdhury, PRL conference on Condensed Matter Physics, Feb 6- 8th 2023, Physical Research Laboratory, Ahmedabad, India (Invited Talk).

採択番号：R02/A05

新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究

[1] 組織

研究代表者

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

室田 淳一

(東北大学マイクロシステム融合研究開発センター)

財満 鎮明 (名古屋大学大学院工学研究科)

中塚 理 (名古屋大学大学院工学研究科)

宮崎 誠一 (名古屋大学大学院工学研究科)

黒澤 昌志 (名古屋大学大学院工学研究科)

高木 孝明 (名古屋大学大学院工学研究科)

西澤 康平 (名古屋大学大学院工学研究科)

森 大智 (名古屋大学大学院工学研究科)

池口 祥太 (名古屋大学大学院工学研究科)

今井 友貴 (名古屋大学大学院工学研究科)

武 嘉麟 (名古屋大学大学院工学研究科)

木村 圭佑 (名古屋大学大学院工学研究科)

斎藤 陽斗 (名古屋大学大学院工学研究科)

酒井 大希 (名古屋大学大学院工学研究科)

高木 信一 (東京大学大学院工学研究科)

鳥海 明 (東京大学)

奥村 次徳 (東京都立大学)

酒井 朗 (大阪大学大学院基礎工学研究科)

野崎 眞次 (電気通信大学電子工学科)

田部 道晴 (静岡大学)

佐道 泰造

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

鋏釣 一 (九州大学大学院総合理工学府)

黄 林昱 (九州大学大学院総合理工学府)

須田 良幸 (東京農工大学工学研究院)

塩島 謙次 (福井大学大学院工学研究科)

国井 泰夫 (分析工房株式会社)

Bernd Tillack

(ドイツ・IHP/ベルリン工科大学)

Matty Caymax (ベルギー・imec)

Roger Loo (ベルギー・imec)

James Sturm (米国・プリンストン大学)

Eugene Fitzgerald

(米国・マサチューセッツ工科大学)

Joerg Schulze

(ドイツ・シュトゥットガルト大学)

Vinh Le Thanh (フランス・マルセイユ大学)

Stefano Chiussi (スペイン・ビゴ大学)

Dan Buca

(ドイツ・ユーリッヒ研究センター)

Detlev Grützmacher

(ドイツ・ユーリッヒ研究センター)

Chee Wee Liu

(国立台湾大学(中国)・フォトニクス
& オプトエレクトロニクス研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

[目的] 従来の Si 半導体デバイスや大規模集積回路の高性能化・新機能化を推し進めるために、Si とは異なる多様な元素を含む新 IV 族半導体材料やそのナノ構造、並びに、デバイス応用の研究開発が進められている。特に、Si 結晶と親和性の高い Ge や Sn などの新しい異種元素を導入した新 IV 族半導体材料の薄膜形成、ドーピング制御、ナノ構造形成、デバイス製作技術の開発が進められつつある。その中で、新 IV 族半導体材料における拡散・偏析現象を制御し、ナノメートル・原子オーダーでの界面構造や局所的な不純物導入の精密制御を実現することが重要な研究課題として残されている。本研究では、これまでの化学気相成長法 (CVD) による Si-Ge 系原子層積層の研究成果を基盤として、新 IV 族半導体材料やそのナノ構造における異種原子の拡散・偏析現象を系統的に明らかにするとともに、新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスの開発を目標とする。そして、界面制御による半導体デバイス高性能化の観点から、新しい半導体デバイスプロセスの基盤技術構築に貢献するものである。

[概要] 本年度は、高温環境で安定動作をする次世代の高耐圧・低損失のパワー半導体デバイスの開発を目指して、4H-SiC 半導体によるパワー MOS トランジスタ製作プロセスの構築について実験的に研究を進め、新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスのための重要な基盤技術となりうる知見を得た。

[研究集会等の開催状況] 各国の本研究プロジェクトメンバーが中心となり、以下の国際会議を開催するとともに発表論文の Proceedings 特集号を発刊して、新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する新たな知見を共有する場と今後の国際共同研究への発展に資する機会を

提供した。

- 第9回半導体界面制御国際会議 (9th Int. Symp. on Control of Semiconductor Interfaces) , Nagoya, Japan, Sep. 5-9, 2022, 国際諮問委員: 室田淳一, 発表 82 件 (Plenary 2 件, Keynote 2 件, Invited 15 件, Regular Oral 34 件, Poster 29 件) , <http://iscsi9.org/> .
- 第10回 SiGe, Ge と関連化合物の材料・プロセス・デバイスに関する国際会議 (Symp. G03: SiGe, Ge, and Related Compounds: Materials, Processing, and Devices 10, 242nd Meeting of the Electrochem.) , Atlanta, GA, USA, Oct. 9-13, 2022, シンポジウムオーガナイザー: 室田淳一, エピタキシー部門委員: 櫻庭政夫, 発表 76 件 (Plenary 2 件, Invited 3 件, Oral 61 件, Poster 10 件) , <http://www.sigesymposium.org/> : Proceedings 特集号, ECS Transaction, Vol.109, No.4, 2022, 論文数 36 件 (Invited 2 件, Regular 34 件) , <https://iopscience.iop.org/issue/1938-5862/109/4> .
- 第13回新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ (13th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics) , Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 23-24, 2023, 組織委員長: 櫻庭政夫, プログラム委員長: 室田淳一, 発表 26 件 (Invited 12 件, Oral 4 件, Poster 10 件) , <https://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/EI4GroupIV-WS2023Jan/> .

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、高温環境で安定動作をする次世代の高耐圧・低損失のパワー半導体デバイスの開発を目指して、1050°C、4時間のウェット酸化によって形成したゲート酸化膜 (24 nm 厚) を用いて製作した二重イオン注入型 Alゲート 4H-SiC MOS トランジスタ製作プロセスの構築を進めた。その結果、ゲート長 5 μm においてもゲートリークが抑制された明瞭なトランジスタ動作特性を確認することに成功した。しかしながら、ドレイン誘起電流増幅効果が顕著であるとともに、その電流駆動能力が極めて小さいこともわかった。このことから、反転層の電子の移動度を極端に低下させる MOS 界面の捕獲準位形成の存在が考えられ、ナノメートル・原子オーダーでの MOS 界面形成制御手法についても研究を進め

る必要があることがわかった。さらに、p 型領域の Al ドーズ量 (約 10^{18} cm^{-3}) を増やすことにより、ドレイン誘起電流増幅効果を抑制できることを見だし、p 型領域の抵抗率低減が実現できているものと推察された。一方で、n⁺ソース領域の窒素ドーズ量 (約 10^{20} cm^{-3}) を増やすと、Al/n⁺コンタクト抵抗が大幅に増加することが明らかとなり、ソース領域の高濃度化のためには窒素以外の不純物についても検討していく必要があることがわかった。このように、イオン注入に起因するダメージなどの問題が考えられることから、イオン注入・超高温熱処理が表面・界面の品質に与える影響とそれを改善していく手法についても研究を進める必要があることがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

国際共同研究推進型である本プロジェクトは、学外研究者との交流の活性化によって先端的・萌芽的な研究成果を得て、本分野の研究推進により新IV族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関わる学問分野の発展を目指すものであり、新IV族半導体ナノエレクトロニクス分野の新領域開拓につながると期待される。2023年度以降には以下に示すような関連国際会議・国際ワークショップの開催が決定、あるいは、計画されている。

- SiGe テクノロジー&デバイス国際会議と Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議の合同会議 (3rd Joint Conf. of 11th Int. SiGe Technology and Device Meeting (ISTDM) & 13th Int. Conf. on Si Epitaxy and Heterostructures (ICSI)) , Como, Italy, May 22-25, 2023, 国際諮問委員: 室田淳一, <https://www.istdm-icsi-2023.polimi.it/> .
- 半導体プロセスインテグレーション国際会議 (Symp. G02: Semiconductor Process Integration 13, 244th Meeting of the Electro-chem. Soc.) , Gothenburg, Sweden, Oct. 8-12, 2023, シンポジウムオーガナイザー: 室田淳一, <https://www.electrochem.org/244/> .
- 新IV族半導体ナノエレクトロニクス国際ワークショップ (14th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics) , Tohoku Univ., Sendai, Japan, 開催時期調整中, 組織委員長: 櫻庭政夫, プログラム委員長: 室田淳一, <https://www.murota.riec.tohoku.ac.jp/EI4GroupIV-WS2023Jan/> .

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- Y. Sato, S. Watanabe, M. Sakuraba and S. Sato, “Fabrication Process of Double-Implanted Metal-Oxide-Semiconductor Field Effect Transistor of 4H-SiC Utilizing Wet Oxidation”, 13th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (Tohoku Univ., Sendai, Japan, Jan. 23-24, 2023), Abs. No. P-07 (Poster), pp. 35-36.
- 佐藤勇介, 渡辺聡, 櫻庭政夫, 佐藤茂雄, 「ウェット酸化を利用した二重イオン注入 4H-SiC MOSFET の製作プロセスに関する研究」, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (上智大学四谷キャンパス, 2023 年 3 月 15 ~18 日), No. 16p-PA04-4 (ポスター発表) .

採択番号：R02/A10

high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明

[1] 組織

研究代表者：

王谷 洋平（公立諏訪東京理科大学工学部）

通研対応教員：

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

室田 淳一（東北大学マイクロシステム
融合研究開発センター）

櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）

小林 康之（弘前大学大学院理工学研究科）

佐藤 哲也（山梨大学大学院総合研究部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

コンピュータ機器や携帯機器の心臓部である Si-CMOS デバイスによる VLSI が集積度の限界に差しかかっており、high-k 絶縁膜や立体構造が導入されるようになったが、さらなる高性能化、低消費電力化を目指して高移動度チャンネル層の導入が検討されている。チャンネル層の候補としては Si-CMOS プロセスとの整合性が良く、かつ Si に比べ電子と正孔両方の移動度が大きい Ge が最有力候補の 1 つとされている。しかしながら Ge-MOS 構造は従来の Si-MOS 構造に対し、良好な界面や高品質な絶縁膜を得ることが難しいという問題がある。近年、適切な条件下で形成された GeO_2 や GeN_x 中間層を導入することにより最も重要な課題であった MOS(MIS)構造における界面準位密度 (D_{it}) の低減が進んでおり、我々のグループも ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマ法やリモートプラズマ源による酸素ラジカルを用いた ALD 法 (REALD 法) による絶縁膜形成により、低い界面準位密度を有する Ge-MIS 構造を実現している。しかしながらその絶縁膜や界面の物理に関しては未だ不明な点が多々残されている。例えば課題の一つとして成膜後や電極形成後におけるアニールによる特性向上に関するメカニズムの解明が強く求められている。

本プロジェクトは開始 3 年目となるが、前回までのプロジェクト研究 (H20/A03 「ECR スパッタによる高誘電体ゲート膜の基板界面品質制御」、H23/A03 「原子層レベルで制御された Si 並びに Ge-MIS 構造の作製技術とその界面評価技術の開発」、H26/A03 「プラズマプロセスによる各種 high-k/Ge 構造の作製と界面近傍のトラップの評価」、及び H29/A09 「各種 high-k/Ge 構造において成膜後プロセスがもたらす効果の検討」) の

成果である「低密度界面準位 Ge-MIS 構造の作製と界面準位密度の高精度な評価手法」、「界面近傍の絶縁膜中や半導体中に存在するトラップの評価技術」を引き継ぐものである。

本プロジェクト開始 2 年間で、high-k 絶縁膜/Ge 構造について、これまでに検討してきた ECR 法や ALD 法などの絶縁膜形成手法に換えて RF マグネトロンスパッタ法を用いることにより室温以上の広い温度領域で基板加熱温度を変化させて $\text{HfO}_2/\text{p-Ge}$ 構造を形成して、得られた試料の特性および得られた試料に対するアニールの効果を室温コンダクタンス法により算出した D_{it} を評価することにより行った。

スパッタ法により p 型 Ge 基板上に広い温度領域で均質な HfO_2/Ge 構造を形成できることを確認したうえで、 HfO_2 薄膜堆積時の基板温度の上昇とともに D_{it} が低減し、基板温度 600°C で HfO_2/Ge 構造を形成することにより基板加熱なしでの形成と比較して D_{it} が 2 桁程度低減することを明らかにした。また、これらの試料に対して 10% H_2+N_2 雰囲気下において 500°C で 30 分間の薄膜堆積後熱処理(PDA)をした際には、 HfO_2 薄膜堆積時の基板温度の上昇とともにフラットバンドシフトの改善効果が増大するのに対して D_{it} の低減効果が減少することを明らかにした。

本プロジェクト最終年度の今年度は、前年度に得られた結果と過去のプロジェクトの成果とを比較検討して考察することと並行して、氷点下の温度領域での Ge-MIS 構造形成に取り組んだ。

特に氷点下に冷却した Ge 基板上に原料ガス噴霧とプラズマ照射を同時かつ連続的にする手法 (極低温 PECVD 法) での high-k/Ge 構造の形成を試み、形成した試料の界面特性について評価を行った。

メンバー間の通常の打合せは主として e メールによる紙上会議にて実行した。東北大学電気通信研究所にて開催された令和 4 年度共同プロジェクト研究発表会においてポスターセッション発表にて成果報告を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

今年度得られた成果の一部を以下に示す。

超高真空下で He 冷凍機を使用して 190K に冷却した 50mm φ の p 型 Ge 基板に対して Ar で希釈したトリメチルアルミニウム(TMA)ガスと DC 放電によりプラズマ化させた Ar/ O_2 混合

ガスを同時かつ連続照射する極低温 PECVD 法により $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 構造を形成し、その後、別装置内で Pt 電極を真空蒸着法により基板加熱・冷却なしで形成し $\text{Pt}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}/\text{Pt}$ 構造の試料を作製した。10% H_2+N_2 雰囲気下 400°C で 30 分間の電極堆積後熱処理(PMA)を行う前後に LCR メータを用いた $C-V$ 測定ならびにエリプソメータを用いた膜厚測定を行い形成した試料の評価を行った。

図 1 に PMA 後に基板の中心部・円周部ならびにそれらの中間部の電極で測定した $C-V$ 測定結果を示す。円周部においては大きなヒステリシスが見られたのに対して、中間部で減少したものの、中心部において逆向きのヒステリシスが確認された。また 50mm ϕ 基板内の中心部と円周部では膜厚分布に起因する大きな容量差が生じていることが示唆され、 $C-V$ 測定結果ならびにエリプソメータを用いた膜厚測定結果より、中心部で 75nm、円周部で 15nm 程度と非常に大きな膜厚分布が生じていることが確認された。図 2 にそれぞれの測定箇所です室温コンダクタンス法により算出した D_{it} の印加電圧依存性を示す。これより、条件出し過程であり 50mm ϕ 基板内で界面特性にも分布が生じているものの、従来手法で形成した試料と比較して D_{it} が 1 桁程度大きなものは得られることが確認できた。

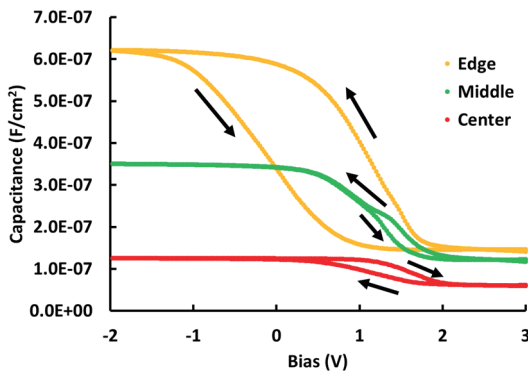


図 1 PMA 後の $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 構造の $C-V$ 特性

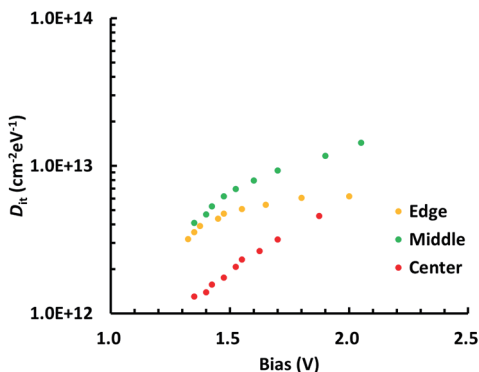


図 2 PMA 後の $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 構造の $D_{it}-V$ 特性

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

これまでのプロジェクト研究において、酸化膜系及び窒化膜系による各種の high-k/Ge-MIS 構造を複数のプロセス手法によって形成し、評価を行ってきた。そのうち以下に酸化物系絶縁膜を用いた Ge-MIS 構造の主な例を以下に示す。

i) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{Ge}$ 構造

プロセス：ECR プラズマ酸化+ECR スパッタ^[1]

ii) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ ジャーマネイト/Ge 構造

プロセス：REALD 法による自発形成^[2]

iii) HfO_2/Hf ジャーマネイト/Ge 構造

プロセス：REALD による自発形成^[3]

iv) HfO_2/Al ジャーマネイト/Ge 構造

プロセス：REALD による自発形成+REALD^[3]

v) HfO_2/Ge 構造

プロセス：RF マグネトロンスパッタ^[4]

vi) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}$ 構造

プロセス：極低温 PECVD

前回までのプロジェクト研究においては Ge-MIS 形成手法として従前多く検討されてきた ECR 法や ALD 法で形成した試料の評価を進め、それらの試料の特性を報告してきたが、本プロジェクト研究においては Ge-MIS 形成手法として、これまであまり検討されてきていないスパッタ法で形成した試料の特性評価を進め、Ge-MIS 形成手法の違いによる特性の差異や類似性を示しつつある。さらに今年度、氷点下の温度領域での試料形成と形成した試料の評価を進め、これまでに研究例の少ない温度領域で形成した試料に関する新たな知見が得られ始めた。これらの検討を更に進めることによって、これまでに様々な形成手法を用いて形成してきた high-k/Ge 構造における界面物理構造のプロセス依存の解明を進められることが期待できる。これらをもとに次世代の高性能 CMOS デバイスの実現に向け、作製・評価技術、並びに high-k/Ge 界面とその近傍の物理の解明に向けた発展が期待できる。

[参考文献]

- [1] Y. Fukuda, Y. Yazaki, Y. Otani, T. Sato, H. Toyota, and T. Ono, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. 57, No. 1, pp. 282-287 (2010).
- [2] Y. Fukuda, H. Ishizaki, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, H. Okamoto, and H. Narita, Appl. Phys. Lett. 102, 132904 (2013).
- [3] D. Yamada, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, H. Okamoto, and Y. Fukuda, The 6th Int. Symp. Organic and Inorganic Electron. Mat. and Rel. Nanotechnologies (EM-NANO 2017), PA4-1-2, (Fukui, Japan, 2017).
- [4] Y. Otani, D. Yamada, H. Okamoto, T. Ono, T. Sato, J. Yamanaka, and Y. Fukuda, 240th Meeting of the Electrochemical Society (240th ECS Meeting), G02-0937 (Online, 2021).

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・横平達哉, 山田大地, 大川敦輝, 佐藤哲也, 王谷洋平, 「p型 Ge 基板上に低温堆積した Al_2O_3 薄膜の電気特性」, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 16p-B508-17, 2023 年 3 月 15 日, 上智大学.

(2) 関連リスト（謝辞なし）

・佐瀬亮平, 戸田俊太郎, 佐藤哲也, 王谷洋平, 「p型 Ge 基板上に低温堆積した非晶質炭素薄膜の I-V 特性」, 令和 4 年度応用物理学会北陸・信越支部学術講演会, C16, 2022 年 12 月 3 日, 金沢工業大学/オンライン.

採択番号：R02/A11

単結晶グラフェン機能デバイス

[1] 組織

研究代表者

永瀬 雅夫

(徳島大学ポスト LED フォトニクス研究所)

通研対応教員

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

大野 恭秀

(徳島大学ポスト LED フォトニクス研究所)

延べ参加人数：3人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

ポストシリコンナノ材料として期待されているグラフェンを用いた機能デバイスの研究開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、SiC 基板上に熱分解法にて形成した単結晶グラフェンを用いて各種の新機能デバイスを創出することを目的として研究を行った。

前年度は、グラフェンの積層接合において特異な非線形特性が得られることを明らかにした。今年度は、その特性発現のメカニズムの解明を目指して研究を行った。また、これまでに単結晶グラフェンに対して電流注入を行うことにより遠赤外の放射を確認している。これについては、その放射特性の詳細を検討することにより、放射メカニズムに関する検討を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度も昨年度に引き続き、2種類のデバイス（積層接合デバイス、遠赤外線放射デバイス）に関する検討を行った。

積層接合デバイスについては、高抵抗相（低電圧印加状態）から低抵抗相（高電圧印加状態）への遷移のメカニズム解明を中心に検討を進めた。図1に大きなON/OFF比が得られたデバイスの電流-電圧特性を示す。図1(a)が二端子測定結果、図1(b)が四端子測定結果である。二端子電圧 (Bias voltage) が40Vを越えると大きな電流が流れ、高抵抗相から低抵抗相へと遷移する。このデバイスではON/OFF比は 10^6 を越える大きな値が得られた。高抵抗相では二枚のグラフェン間にはトンネル電流が観測される。この

トンネル電流の解析から、グラフェン間の電流はFouler-Nordheim(F-N)トンネル現象で説明出来ることが判った。F-Nプロットからグラフェン間距離を推定した結果、このデバイスではグラフェン間距離が6nm程度あることが判った。F-Nトンネルが優勢になる電界がほぼ1V/nmであることから、この距離の見積りは妥当であると思われる。F-Nプロットから距離の算出が出来たデバイス(9個)において、高抵抗相から低抵抗相への遷移が起こる電界の平均は約6GV/m(V/nm)である。巨大な電界が二枚のグラフェン間に掛かっていることが判る。この状態で想定されるクーロン力は非常に大きく、二枚のグラフェンが接触することにより低抵抗相へと移行することが推定される。しかしながら、高抵抗状態においても実効的に二枚のグラフェンが接触しており量子化抵抗値(12.9k Ω)よりも小さな抵抗状態から電圧印加により低抵抗状態へ遷移するデバイスもあり、全てのON/OFF現象がクーロン力による電気機械的なスイッチングで説明出来る訳ではなく、今後のさらなる検討が必要である。一方、図1(b)に示す電流-接合電圧特性では、低抵抗相に相当する部分で電流の増加にしたがって電圧が低下する負性微分抵抗が観測される。最終的な抵抗値は600 Ω 程度となっている。コンタクト等の寄生抵抗成分

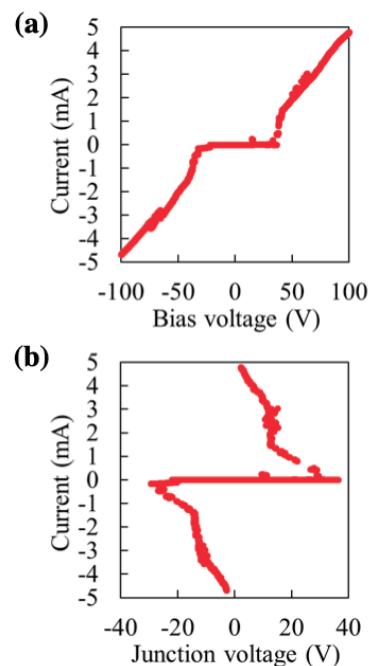


図1 接合デバイスの電流電圧特性
(a)二端子測定、(b)四端子測定
(b)バンドダイアグラム

が 16kΩ 程度であるので、図 1 (a) の二端子電流-電圧特性において高バイアス領域で直線的な特性を示すのは寄生抵抗が支配的であるためである。この低抵抗相の抵抗値 (ON 抵抗) は 100Ω 程度から 600Ω 程度の間分布しており、高抵抗相の抵抗値 (OFF 抵抗) が 6桁以上変化することとは対照的である。低抵抗相への遷移が起こる電圧は、F-N トンネルが観測されるデバイスで 13-36V、直接トンネル状態から低抵抗相に移行するデバイスでは 10V 程度であることから、この程度のエネルギーの電子が対向しているグラフェンの Γ 点に打ち込まれている状態が想定される。 Γ 点での $\pi-\pi^*$, $\sigma-\sigma^*$ 遷移は何れも 10eV 程度であり、これらのバンド間遷移が起こる可能性がある。Energy Loss Spectroscopy (ELS) 等で観測されている π プラズモンのエネルギーも 6eV@ Γ であり関連する可能性がある。ただし、 π プラズモンは M 点での $\pi-\pi^*$ 遷移 (4eV) に由来するとされており、運動量保存則的には難があるが van Hove 特異点との関連もあり興味深い。さらなるメカニズム解明は検討課題である。

SiC 上グラフェンに電流注入を行うと黒体輻射状の遠赤外光が放出される。ピーク波長はパワーに依存せず 10 μ m 程度であり、ジュール熱による黒体輻射とは異なる原理で放射されている可能性がある。しかし、10 μ m 付近には基板 SiC に由来する吸収スペクトルがあり、この影響でピーク波長にパワー依存性が無い可能性がある。そこで、各種 (水、SiC、CO₂ 等) の吸収に影響されにくい 5 μ m 以下の波長帯のスペクトルを用いて黒体輻射スペクトルのフィッティングを行った。(図 2 (a)) その結果、黒体輻射相当温度は 0.4W で 257K となった。この時、サーモカメラで測定した試料温度は 390K であり大きな隔りがある。パワー依存性から推定した、ジュール熱によるグラフェン試料温度の上昇分は 15K@0.4W であり、SiC 上グラフェンからの遠赤外放射のメカニズムがジュール熱による黒体輻射ではないことが改めて確認された。なお黒体輻射状の放射であるため、テラヘルツ領域までブロードバンドな放射があることが超伝導ボロメータを用いた実験により、東北大学、及び、徳島大学で確認された。また、図 2 (b) はグラフェンエミッタを水平方向から観察したサーモカメラ画像から取得した温度分布である。試料の深さ方向のプロファイルに相当する。サーモカメラの画素間隔は画像上では 71 μ m であり、グラフェンからの放射は画素分解能に近いプロファイルとなっている。カメラは試料から 60mm 離れた位置にあり far field でも十分幅の狭い遠赤外光源であることが判る。グラフェン試料直近ではグラフェン膜厚程度のナノ光源であるこ

とが期待される。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

接合デバイスは数十 V 程度で動作する双方向サイリスタ的な特性を示す。SiC 上グラフェンの大面積性を活かしたハイパワーなスイッチングデバイスへの応用が期待される。また、接合デバイスの低抵抗相では顕著な負性微分抵抗が観測される。通常、ネオン管等で観測される S タイプの負性微分抵抗であり、Resonant tunneling diode (RTD) 等の固体デバイスで観測される負性微分抵抗とは異なる特性ではあるが、発振器等への応用が期待される。本来のグラフェンの特性を利用することが出来ればテラヘルツ領域の発振源として活用が可能かもしれない。その場合は、現状の寄生抵抗を概ね 100 分の 1 以下に低減する必要がある。また、接合デバイスでも黒体輻射状の遠赤外線が放射されているため、この光を高速で変調できる可能性もある。

グラフェン遠赤外エミッタについては、変換効率が高い (約 10%) ことと、テラヘルツ領域までのブロードバンド放射が確認されていることから遠赤-テラヘルツ領域の新たな光源として期待される。放射面内の均一性が高いことからサーモカメラと組み合わせた材料判別に活用できる可能性がある。また、グラフェンの二次元性を活用したナノエミッタとして、顕微イメージングの分野への応用も期待される。

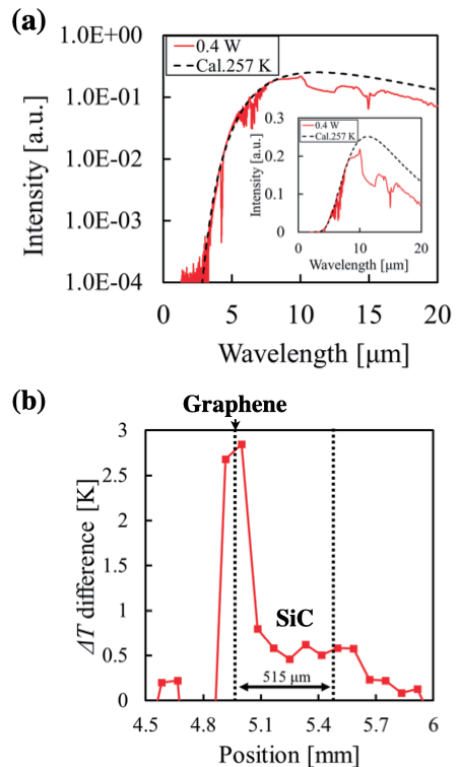


図 2 (a) 遠赤エミッタのスペクトル
(b) 赤外画像プロファイル

[4] 論文や学会発表等

- ・T. Kataoka, F. Fukunaga, N. Murakami, Y. Sugiyama, Y. Ohno and M. Nagase:
Far-infrared emission from graphene on SiC by current injection, Jpn. J. Appl. Phys. 61, SD1019 (2022).
- ・T. Kataoka, T. Kuhara, F. Fukunaga, M. Ohi, H. Murakami, Y. Ohno and M. Nagase:
Blackbody-like far-infrared emission from electrically biased graphene on SiC, 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2022), 10P-1-11 Nov. 2022.
- ・久原 拓真, 片岡 大治, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫:
グラフェン遠赤外エミッタを用いた材料判別, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 17p-B309-14, 2022年3月.
- ・片岡 大治, 久原 拓真, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫:
SiC 基板上短冊状グラフェンからの遠赤外線放射の観測, 第14回「集積化MEMSシンポジウム」14P2-C-3, 2022年11月.
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
- ・S. Yamasaki, H. Nakai, K. Murayama, Y. Ohno and M. Nagase :
Electron transfer characteristics of amino acid adsorption on epitaxial graphene FETs on SiC substrates, AIP Advances, 12 105310-1 (2022)
- ・S. Yamasaki, Y. Ohno and M. Nagase :
Amino acids adsorption characteristics of epitaxial graphene FETs on SiC substrates, 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2022), 10P-1-9, Nov. 2022.
- ・M. Ohi Motoki, F. Fukunaga, H. Murakami, H. Kageshima, Y. Ohno and M. Nagase:
Resistive switching behavior in graphene-stacked junction, 35th International Microprocesses and Nanotechnology Conference (MNC2022), 10P-1-12, Nov. 2022.
- ・M. Nagase:
Single-crystal graphene devices [Invited], Int. Conf. on Physics and its Applications (Physics 2022), Session-II Jul. 2022.
- ・M. Nagase:
Functional devices fabricated using single crystal graphene on SiC substrate [Invited], 3rd Int. Conf. on Nanomaterials and Advanced Composites (NAC 2022), Keynote Talks IV, Jul. 2022.

- ・森 優介, 松村 大夢, 村山 圭汰, 竹下 凌哉, HOANG ANH TUNG, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫, 田端 厚之, 長宗 秀明 :
His-tag 法を用いた SiC 上グラフェンへの抗体配向修飾技術, 第39回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, 16P2-P-52, 2022年11月.
- ・福永 郁也, 大井 基暉, 村上 隼瑛, 大野 恭秀, 永瀬 雅夫 :
グラフェン積層接合への高電界印加による抵抗状態遷移, 第14回「集積化MEMSシンポジウム」, 14P2-C-2, 2022年11月.
- ・大前 隆史, 大野 恭秀, 安澤 幹人, 永瀬 雅夫 :
塩酸中における SiC 上グラフェン FET の pH 依存性, 2022 年度応用物理学・物理系中国四国支部学術講演会, Gp-1, 2022年7月.

採択番号：R02/A13

8K 高精細画像センシング向け超低遅延動画画像符号化方式

[1] 組織

研究代表者：

松村 哲哉（日本大学工学部）

通研対応教員：

尾辻 泰一（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：2人

[2] 研究経過

近年、車両の自動制御や IoT (Internet of Things) 装置のための仮想現実/混合現実 (VR/MR) が盛んに研究開発されている。しかし、これらを世の中に普及させるためにはシステムを構成するデバイス間での動画画像転送において伝送遅延という観点で課題がある。例えば、自動運転や車両やロボットは、カメラで撮像した画像を基に車両の位置や姿勢を判定し車体を制御する。今後は 4K や 8K レベルの超高精細動画画像を、カメラ、制御デバイス、表示デバイス間で転送する必要があり、超高精細動画画像の転送にはこれまで以上に広帯域な伝送帯が求められ、高コスト化の要因となっている。この問題を解決すべく動画画像圧縮技術が利用されるが、MPEG-2 や H.264 など従来の圧縮方式は矩形領域単位での圧縮を行うため、ms オーダの遅延が発生する。そのため、自動運転など低遅延での実時間処理が求められる機器に対しては対応できないという問題がある。我々は Full-HD 向けの超低遅延映像符号化方式として、ラインベース方式を提案し報告した[3]。これは Full-HD のみを対象とした報告であり、4K/8K の高精細画像に対しては新たなアルゴリズムが求められていた。本稿では、4K/8K の高解像度映像に対して、省フレームメモリ構造 (RFMS: Reduced Frame Memory Structure) を用いたフレーム間予測とコンテキストベースの適応型可変長符号化 (VLC)

を実装した新しいラインベース超低遅延符号化方式を提案する。提案するフレーム間予測は、4K/8K 用の十分なフレームメモリが利用できない場合、即ち、少量のメモリしか利用できない場合でも圧縮率を向上させ、システムで利用可能なフレームメモリ容量に対してスケラブルに性能を向上させることができる。また、オリジナルのコンテキストベースの適応型 VLC は、より大きな CB で 1D-DCT 係数を効果的に符号化できるため、4K/8K の圧縮率を向上させることができる。

本プロジェクトは、令和2年度からの継続プロジェクトである。本年度は 4K/8K の高精細動画画像の超低遅延符号化における圧縮率向上を目標に、動き予測手法として新規に画像分割型省メモリ構造 (RFMS) を用いたフレーム間予測アルゴリズムと併せて符号化手法としてコンテキスト適応型可変長符号化 (CAVLC) を提案し、実装することでその効果を検証した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。図1に超低遅延動画画像符号化器の構成を示す。本研究では、圧縮率改善を目的として、超低遅延動画画像符号化方式におけるフレーム間動き予測方式において、フレームメモリ容量を削減可能な画像分割型省メモリ構造 (RFMS) を提案した。また、エントロピー符号化部では従来の可変長符号化方式 (VLC) をコンテキストベースの適応型 VLC を適用した。

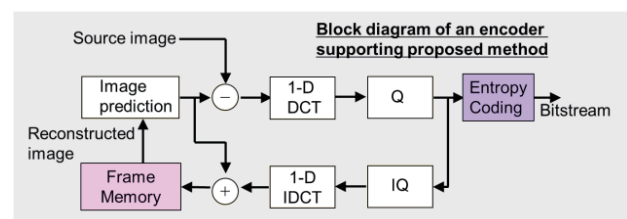


図1 超低遅延動画画像符号化器の構成

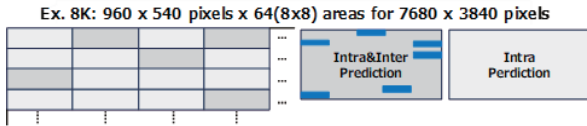


図2 RFMS の基本概念

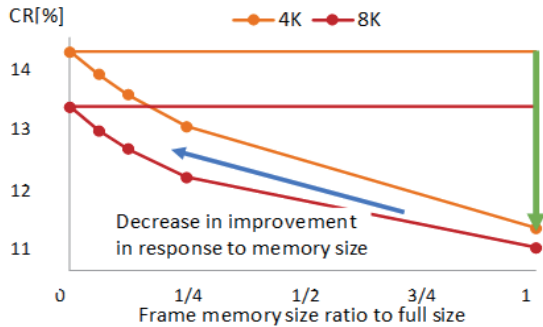


図3 RFMS によるインター予測の評価結果

高い圧縮率を実現するために、提案方式では、イントラ予測モードに加えて、前フレームの同じ位置を参照するインター予測モードを採用している。一般に、圧縮率を向上させるためには、インター予測の方がはるかに効果的であるが、予測のために参照する過去の復号データを格納するフレームメモリが必要となる。4K/8Kの高解像度映像の場合、メモリサイズは非常に大きくなるため、提案手法ではRFMSを適用した。図2にRFMSの基本概念を示す。まず、4K/8Kの高解像度映像を8x8の小領域に分割する。次に、使用可能なメモリ容量に基づいて、フレームメモリにデコードデータを格納できるエリアの数と、エリア内の格納データの比率を決定する。そして、イントラ予測を用いた場合の符号化ビット数から、次フレームの同一位置のインター予測が有効な領域とデータの位置を推定する。図3は、RFMSによるインター予測を用いた場合の評価結果である。フレームメモリがフルサイズの場合、4K/8Kにおいて、インター予測は11.95%、11.36%の圧縮率を達成し、イントラ予測のみによる圧縮率をそれぞれ2.31pt、1.95pt上回っている。フレームメモリ容量がFull-HDの1/16の場合でも、RFMSは4K/8Kでそれぞれ13.96%、12.99%の圧縮率を達成している。

図4にCAVLCの符号化処理を示す。1次元DCT後の量子化インデックスにおいて、最初に非ゼロ係数のうち絶対値1の符号化を行い、次に絶対値1以外の非ゼロ係数の符号化を行う。絶対値1の符号化では隣接ブロックにおける非ゼロ係数個数の類似相関の特性を利用し符号表を選択する。絶対値1以外の非ゼロ係数の符号化においては、DCT係数列の末尾になるほど非ゼロ係数値が小さいという特性を利用し複数の符号表から最適な符号表を選択する。評価はC言語を用いてCAVLCのシミュレータを用いた。圧縮率の

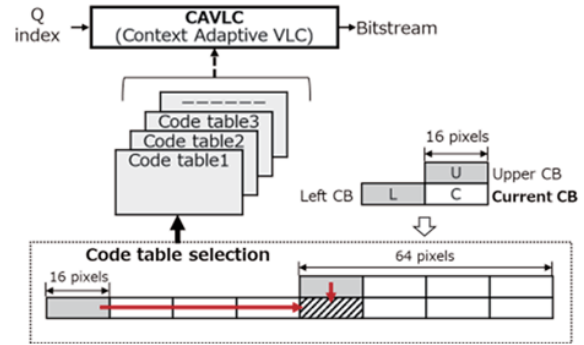


図4 コンテキスト適応型VLC (CAVLC) の構成

表1 VLCとCAVLCのCR比較結果 (PSNR:40dB以上)

CB pixels	4K			8K			
	16	32	64	16	32	64	
CR[%]	VLC	7.18	6.44	6.45	11.72	10.26	10.38
	CAVLC	6.55	5.78	5.67	9.63	9.18	8.79
Improvement		0.63	0.66	0.78	2.09	1.08	1.59

- Qs=6.0 (w/o rate-control)
- The values are the average of 10 frames from 5 video sequences

評価値としてCR (Compression Ratio) [%]を、画質の評価値としてPSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) [db]を用いる。今回は40dbを画質劣化の許容値とする。また、圧縮率を制御可能なパラメータQs (Quantization scale)を使用する。5種類の動画像を用い符号化処理において、VLCとCAVLCをそれぞれ適用した場合の圧縮率の比較検証を行った。表1に従来のVLCと提案するコンテキストベースの適応型VLCのCR比較結果を示す。提案方式は、4Kおよび8Kの画像に対して各々0.66ptおよび1.59ptのCR改善を達成した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにおいては、高精細画像における超低遅延符号化器の実装において、今回提案した画面分割型の省フレームメモリ構造を直交変換(1次元DCT)による符号化方式に適用し、小規模なフレームメモリ容量で効率的なフレーム間予測を行い、高画質を維持しつつ圧縮率を改善できることが判明した。これらの検証により、省メモリ構造を用いた小規模回路での超低遅延動画像符号化器が実現可能であることを十分に裏付ける結果が得られた。加えて、コンテキストベースの適応可変長符号化(CAVLC)を本符号化方式に適用することで圧縮率の改善を確認することができた。今後は、更なる高画質化アルゴリズムの施策を盛り込み、高精細符号化器の実現に向けたアーキテクチャ設計と回路実装を行う。また来年度に向けて深層学習を用いた物体検出システムと組み合わせた低遅延物体検出伝送の応用に向けた研究を展開する。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・M. Sugaya, Y. Horikawa, K. Mashiko, T. Minagawa, T. Matsumura, “Implementation of Deep Learning-based Hierarchical Object Detection System for High-Resolution Images,” IEEE GCCE 2022, pp. 646-647, Jun. 2022.

・山口真衣, 松村哲哉, “超低遅延動画像符号化方式における画面分割型省メモリフレーム間予測手法” 映像メディア学会メディア工学研究会 ICD2022-41, pp. 243-2246, 2023年2月

・堀川雄生, 菅谷 真, 吉田 錬平, 増子 和磨, 松村 哲哉, “深層学習を用いた高精細画像向け階層型物体検出システム”, 電子情報通信学会 ICD 研究会, デザインガイヤ 2022, ICD2022-41, pp. 144-149, 2022年11月

・堀川雄生, 菅谷 真, 松村 哲哉, “UAV 自律飛行に向けたクラスタリングアルゴリズムによる階層型極小物体検出手法”, 映像メディア学会メディア工学研究会 ICD2022-41, pp. 235-238, 2023年2月

・菅谷 真, 堀川雄生, 吉田 錬平, 松村 哲哉, “超高精細画像センシング向け階層型物体検出手法の検討”, 電子情報通信学会画像工学研究会 ICD2022-41, pp. 130-1135, 2023年2月

・山口真衣, 松村哲哉, “超低遅延動画像符号化方式における画面分割型省メモリフレーム間予測手法” 映像メディア学会メディア工学研究会 ICD2022-41, pp. 243-2246, 2023年2月

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・西川尚, 今村幸祐, 松村哲哉, “超低遅延動画像符号化器における深層学習を用いたフレーム内予測”, 2022 度電気・情報関連学会北陸支部連合大会, Vol. 2021-7 No2-5, 2022年8月

採択番号：R02/A14

ワイヤレス Massive Connect IoT の研究

[1] 組織

研究代表者： 小熊 博
 (富山高等専門学校)
 通研対応教員：末松 憲治
 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：
 亀田 卓 (広島大学)
 飯塚 昇 (鈴鹿工業高等専門学校)
 谷藤 正一 (沖縄工業高等専門学校)
 山形 文啓 (釧路工業高等専門学校)
 秋元 浩平 (秋田県立大学)

延べ参加人数：18人

[2] 研究経過

情報通信ネットワークは膨大な数のノードから得られた多種多様なビックデータの解析により新たな価値を生み出す“Massive Connect IoT”へ進化する。その中で無線通信システムは各ノードからアクセスポイント (AP) へ情報を送る上り回線の超過密化に適応するためにアクセス制御技術の簡素化や高効率化がより高い水準で求められる。本研究では、同期捕捉などのオーバーヘッドを極限まで削減する試みとしてゼロオーバーヘッド同期無線全二重通信 (フルデュプレクス) アーキテクチャを提案する。各ノードは無線全二重通信を用いて AP から下り回線で送信される時刻・周波数基準 信号や測距信号を基に時刻同期や位置推定を行い、その結果を基に上り回線における送信タイミングの制御を行う。各ノードが送信した上り回線信号は AP 受信時点においてすでに同期捕捉が実現されているため、同期のためのオーバーヘッド削減による高効率化が期待できる。本研究の目的は、これまで提案してきた同期 CDMA 無線通信システムのさらなる高効率化を目指し、ゼロオーバーヘッド同期無線全二重通信アーキテクチャを実証することである。本プロジェクトは、本年度が3年度であった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

Massive Connect IoT の応用例の1つである QZSS ロケーション・ショートメッセージ通信システム用の衛星測位信号による同期 SS-CDMA 方式を対象に、

衛星信号受信誤差の天空率による変化ならびに季節による影響について評価を行った。図1に衛星信号受信誤差の計測システムを示す。衛星信号受信誤差の測定はGNSS (Global Navigation Satellite System) 受信機からの位置情報をオシロスコープに、位置情報を PC に入力することで行う。PPS (Pulse Per Second) 信号を時刻情報として記録し、NMEA (National Marine Electronics Association) 0183 形式のデータを位置情報として記録する。また GNSS 受信機は GT-902PMGG を使用し、端末間のばらつきを考慮するために評価ごとに3個測定する。オシロスコープはサンプリングレートが 10GSa/s である Agilent DSO9254A を使用する。なお、衛星信号受信誤差は測定に使用する衛星については GPS・QZSS・BeiDou の3種類の衛星を使用する。また実際の使用環境を想定するため天空率を変化させて (天空率：95.3%、76.5%、39.0%) それぞれ計測を行う。さらに、季節の違いによる変化についても評価を行う。

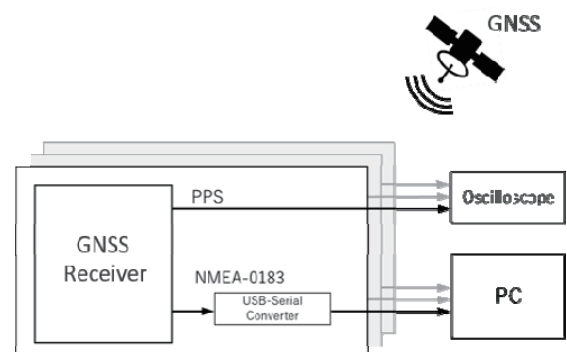


図1 衛星信号受信誤差の計測システム

図2に衛星信号受信誤差の結果を示す。天空率95.3%では30.1ns, 天空率76.5%では43.7ns, 天空率39.0%では46.0nsとなった。衛星信号受信誤差は天空率が変化することで約1.5倍増加しているが最も悪い天空率39.0%でも要求条件であった56ns以内という結果となった。

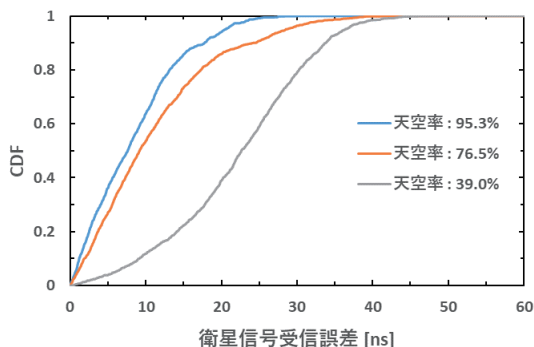


図2 衛星信号受信誤差

また、衛星信号受信誤差の季節による変化について考察を行った。測定は衛星信号受信誤差の結果が最も悪くなる天空率の低い環境（天空率：39.0%）にて行い 2021 年 11 月末-2 月初旬（以下冬）と 2022 年 5 月末から 6 月初旬（以下夏）にそれぞれ複数回行った。また SNR (Signal-Noise Rate) マスクを 5dB, 10dB, 15dB, 20dB, 25dB と変化させて測定を行った。各マスクにおいて 2 から 4 回測定を行い結果の平均値を算出し季節で比較評価を行う。図 3 に季節による衛星信号受信誤差の結果を示す。すべての SNR マスクの設定下においても全体的に冬において 20ns 以上衛星信号受信誤差が増加していることが分かる。この結果の原因の一つとして衛星の性能を示す値である SIS-URE (Signal-In-Space User Range Error) によると、GPS の場合、5 月では 1.21 であるのに対し、12 月では数値が 1.57 となる。そのことにより時刻・位置情報の誤差が増加し衛星信号受信誤差が悪化していると考えられる。

以上のように、Massive Connect IoT の応用例の 1 つである QZSS ロケーション・ショートメッセージ通信システム用の衛星信号受信誤差について天空率（天空率 95.3%, 76.5%, 39.0%）・季節（夏, 冬）という観点から測定・評価を行った。夏の時期（5 月下旬-6 月初旬）であればマルチパスの影響を最も受ける天空率の低い環境（天空率 39.0%）であっても 46.0ns という値となり要求条件の 56ns を下回る結果となった。しかし冬の時期（11 月下旬-2 月初旬）では天空率 39.0% の環境において SNR マスクを変えても衛星信号受信誤差が 60ns を超えることがわかった。本結果から、夏の時期であれば提案システム実現に十分な衛星到達タイミング誤差の精度を確保可能であると考察できる。

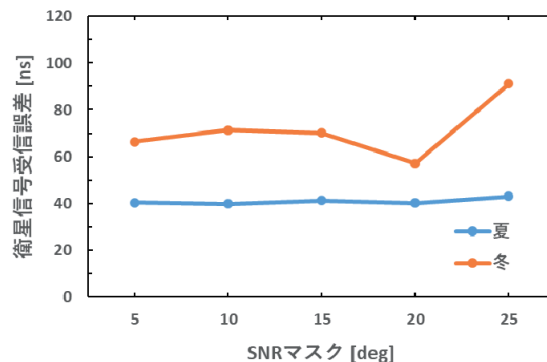


図3 季節による衛星信号受信誤差

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本研究課題の成果としては、まず Massive Connect IoT の具現化が挙げられる。つまり、種々の異種無線通信システムを効率的・適応的に活用し、いかなる状況においてもネットワークへの接続性を維持し、かつ、その品質を保証できる次世代の無線通信ネットワークを実現できる。また、その途中段階においても、知的財産権を確保しつつ産業界への啓蒙を行うことで、現状の無線通信ネットワークへの適用を推進することができる。さらに、本研究課題の成果を元に、各省庁などの国プロへの提案活動も積極的に行い、産学連携により商用化を目指した、より大規模な研究開発へ発展させることも想定している。また、無線通信ネットワークにおいて、高精度な位置情報を活用して同期通信を行う先行研究例は見当たらず、本研究の独創性は非常に高いと考える。さらに、高精度時刻・位置情報そのものが無線通信のみならず幅広い分野に活用可能である。本研究を通じて時刻・位置情報の活用可能性を実証することで、今後の新たな学問分野の開拓のきっかけになる可能性を秘めており、通研が当該分野の研究者コミュニティの中核になり得ると考える。

[4] 成果資料

(1) 成果リスト（謝辞あり）

- ・ S. Kameda, "Synchronized SS-CDMA Using Space-Time Synchronization for Massive Connect IoT," 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Yokohama, Japan, pp.43-45, Nov. 2022.
- ・ 亀田 卓, "Massive Connect IoT のための時空間同期を用いた同期 SS-CDMA の USRP 実装," 信学技報, vol. 122, no. 64, MW2022-29, 2022 年 6 月（招待講演）.

- ・ 亀田 卓, “Massive Connect IoT のための時空間同期を用いた同期 SS-CDMA (Invited Lecture),” 信学技報, vol. 122, no. 235, RCS2022-152, 2022 年 10 月 (依頼講演) .
- ・ 亀田 卓, “スマート無線と Beyond 5G,” 信学技報, vol. 122, no. 364, SR2022-73, 2023 年 1 月 (招待講演) .

(2) 成果リスト (謝辞なし)

- ・ H. Oguma, R. Kawai, S. Kameda, N. Suematsu, “Evaluation of Transmission Timing Control Error for QZSS Short Message SS-CDMA Communication System”, ICUFN2022, July 2022.
- ・ 北 寛登, 小熊 博, 亀田 卓, 末松 憲治, “中天空率環境下の GPS/QZSS/BeiDou による衛星信号受信誤差の評価”, 信学ソ大, Sep. 2022.
- ・ 山形 文啓, 白瀬佳就, 小熊 博, 亀田 卓, 末松憲治, “釧路地域における自設置基準局による Kinematic 測位精度(4)”, 信学ソ大, Sep. 2022.
- ・ 北 寛登, 小熊 博, 亀田 卓, 末松 憲治, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信システム ～ 天空率による衛星信号受信誤差の評価 ～”, SR 研究会, Nov. 2022.

採択番号：R02/A15

超 100GHz 帯光ファイバ給電 ダイレクトデジタル RF 送受信機の研究

[1] 組織

研究代表者：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

亀田 卓（広島大学ナノデバイス・バイオ融合科学研究所）

太郎丸 眞（福岡大学工学部）

谷藤 正一（沖縄工業高等専門学校・情報通信システム工学科）

本良 瑞樹（静岡理工科大学理工学部）

丸橋 建一（日本電気(株)IoT 基盤開発本部）

Lucyszyn Stepan (Imperial College London, Department of Electrical and Electronic Engineering, U.K.)

130GHz 帯/170GHz 帯の CMOS 増幅器の改良試作を行った。2022 年度は、研究分担者の Lucyszyn Stepan 教授のグループとともに、上記 CMOS-IC の超 100GHz 帯導波管への実装について検討を行い、ストレート線路を用いた試作、実証をおこなった。

研究打合せは、国内メンバーとは月例で実施した。（ただし、分担者は主にリモートでの参加）海外研究分担者の Lucyszyn Stepan 教授とは、英国にて次の通り打合せと共同評価作業を実施した。

日時：2022 年 4 月 8 日（金）

用務先：National Physical Laboratory (NPL) Hampton Road, Teddington, Middlesex, TW11 0LW, イギリス

出張者：末松 憲治

面接者：Prof. Stepan Lucyszyn (Imperial College of London)

Prof. Nick M Rider (NPL Fellow & Head of Science)

用件：通研共同プロジェクト研究「R02/A15 超 100GHz 帯光ファイバ給電ダイレクトデジタル RF 送受信機の研究」で共同研究中の 3D プリントを用いた 130-170GHz 帯 RFIC 実装技術に関して、プロトタイプモデルの評価を NPL の測定系を用いて実施した。その結果、RFIC に相当するストレートラインを実装した導波管系において、挿入損失として 4dB 程度の良好な特性が得られることを実測にて確認した。

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本研究では、デジタル信号処理部と RF/アンテナ部とを接続する際に、比較的安価で、容易に入手可能な 10GbE 光通信デバイス/モジュール/ファイバを用いる光ファイバ伝送ダイレクトデジタル RF 送受信機の実現性検討を行い、実験的な検証を行うことを目的にする。また、より高い周波数帯の開拓を目指して、28GHz を大幅に超える、100GHz 超のミリ波への適用についても検討を行う。

送信系に関して、2020 年度は、市販の 10GbE 用光ファイバ伝送路を使ったダイレクトデジタル RF 送信方式のデジタルビームフォーミング (DBF) アンテナ装置 (4 素子) を試作し、1st ナイキストゾーンでの動作とともに、2nd ナイキストゾーンでのイメージ信号 (7.5GHz 帯) による動作確認を行った。2021 年度は、この試作機を用いて、送信信号を工夫することにより、送信ビームにおける SNR を、量子化雑音をランダム化化する信号処理により改善する手法について検討した。2022 年度はミリ波帯の RF 信号生成を目指し、より高ビットレートの 1-bit 信号を用いた実証実験を行った。

受信系に関しては、2021 年度も 2020 年度に引き続き、超 100GHz 帯でのさらなる高速動作を目指して、45nm RF SOI-CMOS プロセスを用いて

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

・送信系

より高いミリ波周波数帯で RF 信号を生成するため、32 Gbps の 1-bit $\Delta\Sigma$ 変調信号を生成する実験系を構築し、その 2 次イメージ成分に含まれる 40GHz 帯のイメージ信号の出力特性を測定した。実験系を図 1 に示す。8 GHz 帯、20Msps の QPSK 信号を、オフライン (Matlab) で $\Delta\Sigma$ 変調をかけ、32 Gbps、1bit BP $\Delta\Sigma$ 変調信号に変換した。得られた 1 ビット信号データを PPG (Pulse-Pattern Generator, アンリツ M18020A) により、差動 1 Vp-p の 32Gbps の 1-bit 信号で出力する。受信側では、その出力差動信号をデジタルオシロスコープ (160 GS/s) によりサンプリングし、内蔵の VSA (Vector Signal Analyzer) を用いて、

スペクトラムおよびEVMを測定した。

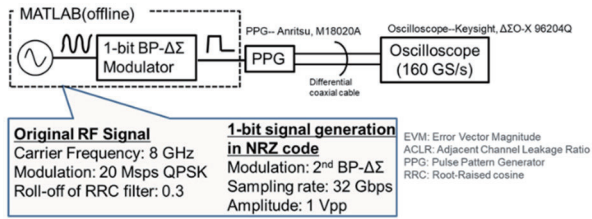


図1 40GHz 帯ダイレクトデジタル送信機の実験系

32Gbps 1-bit $\Delta\Sigma$ 変調信号のPPG出力の全体スペクトルを図2に、8GHz帯の基本波信号、24GHz帯1次イメージ信号、40GHz帯の2次イメージ信号の拡大したスペクトルを、それぞれ、図3(a)、(b)、(c)に示す。1次ナイキストゾーンの8GHzの基本波信号において出力電力 $P_{out}=-2.9$ dBm, ACLR=-49.3 dBc, EVM=0.9%、3次ナイキストゾーンの40 GHzの2次イメージ信号において出力電力 $P_{out}=-30.6$ dBm, ACLR=-33.5 dBc, EVM=3.5%が、それぞれ得られた。図3(c)から、40GHz帯においても、BP $\Delta\Sigma$ 変調のノイズシェーピングの特性が確認できる。図4に各ナイキストゾーンにおける変調信号のコンステレーションを示す。いずれの信号においても、3.5%以下という良好なEVMが得られている。

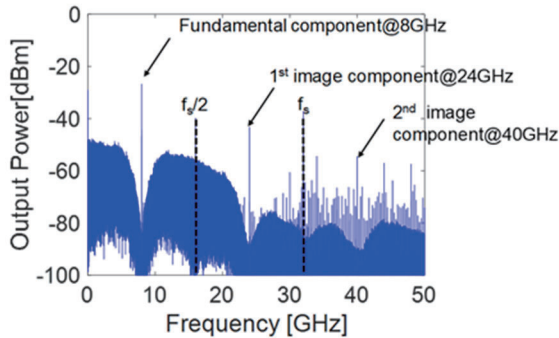
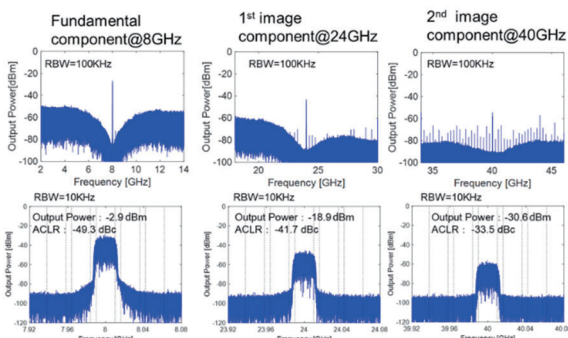


図2 32Gbps 1-bit $\Delta\Sigma$ 変調信号のPPG出力の全体スペクトル



(a) 基本波 (b) 1次イメージ (c) 2次イメージ
図3 出力スペクトル拡大図

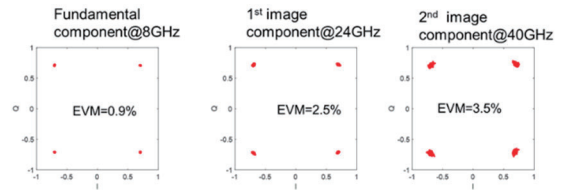


図4 送信出力のコンステレーション

・受信系

CMOS-IC上に形成されたストレートパターンのマイクロストリップ線路(導波管変換部のパターンを含む)を3-Dプリンタで作成した導波管に実装した130GHz帯モジュールの評価系(イギリス国立物理学研究所(NPL)内)と試作したモジュールの写真を図5に示す。右図手前の黒い箱である周波数エクステンダーを付けた110-170GHz帯VNAでSパラメータの測定を行い、特性を評価した。その結果を図6に示す。130GHz帯でRFIC/導波管変換部損失として1dBと良好な値が得られている。

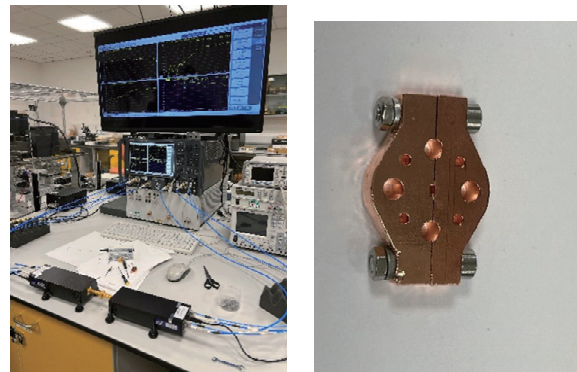


図5 130GHz帯評価系と試作モジュール

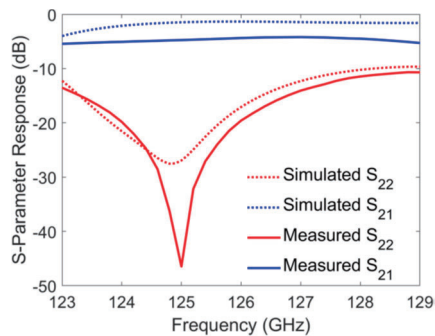


図6 試作モジュールの評価結果

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

ダイレクトRFに関しては、NICTの宇宙B5Gプロジェクトの受注につながった。また、超100GHz帯に関しては、ようやく成果が出はじめ、IEEEの掲載論文がでたところであり、これをネタに、各種ファンドへの応募を勧める予定である。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

• J. Zhang, N. Suematsu, “40GHz-Band Direct Digital RF Modulator Using the 2nd Image Component of 1-Bit Delta-Sigma Modulated Signal,” 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Nov.-Dec. 2022. DOI: 10.23919/APMC55665.2022.9999834

• J. Zhang, N. Suematsu, “A 20GHz-Band Optical-Fiber-Feed 1-Bit Bandpass Delta-Sigma Direct Digital RF Transmitter Using First Image Component of the QSFP28 Module Output,” 2022 3rd URSI Atlantic and Asia Pacific Radio Science Meeting (AT-AP-RASC), May-June 2022, DOI: 10.23919/AT-AP-RASC54737.2022.9814363

• R. Tamura, M. Motoyoshi, S. Kameda, N. Suematsu, “7.5 GHz-Band Digital Beamforming Using 1-bit Direct Digital RF Transmitter with 10GbE Optical Module,” 2021 51st European Microwave Conference (EuMC), April 2022, DOI: 10.23919/EuMC50147.2022.9784374

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• L. Zhu, S-H Shin, R. Payapulli, T. Machii, M. Motoyoshi, N. Suematsu, N. M. Ridler, S. Lucyszyn, “3-D Printed Rectangular Waveguide 123-129 GHz Packaging for Commercial CMOS RFICs,” IEEE Microwave and Wireless Technology Letters, vol.33(2), pp.157-160, Feb. 2023, DOI: 10.1109/LMWT.2022.3220364

採択番号：R02/A16

3Dプリンタを利用したミリ波アンテナの開発に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

伊藤 桂一（秋田工業高等専門学校）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

松田 英昭（秋田工業高等専門学校）

飛沢 瑠伽（秋田工業高等専門学校）

保坂 真志（秋田工業高等専門学校）

延べ参加人数：5人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

3Dプリンタを利用したマイクロ波・ミリ波デバイスの試作に関する研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、3Dプリンタフィラメントとニッケルメッキによる製作物のミリ波帯における性能を明らかにし、低コストかつ高性能なアンテナ開発手法を提案することを目的としている。

本プロジェクトは、本年度が3年目であり、1年目から継続してメッキ条件を変えて試作と伝送特性の測定を行い、最適な試作条件に関して研究を行った。また、導波管そのものを3Dプリンタで試作し、メッキによってどの程度伝送特性が得られるか確認した。さらに、3Dプリンタを用いて導波管バンドパスフィルタ(BPF)の設計、試作を行い、測定による評価を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1月28日に高専シンポジウム inYonagoにおいて松田が発表を行った。

2月16日に令和4年度共同プロジェクト研究発表会においてポスター発表を行った。

2月22日に大規模電磁界数値解析手法に関する研究シンポジウム(LSCEM2023)において伊藤が発表を行った。

3月14日に東北大学電気通信研究所末松研究室において試作品の測定を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

まずはミリ波部品の伝送性能に直結するニッケルメッキの最適条件を確認した。メッキ液は使用時間が1回最大90分程度であるため、メ

キ厚を厚くするためにメッキ液を2つ作製し、入れ替えてメッキを行った。昨年度考案した方法であるが、再現性を確認するために再度試作と測定を行った。また、メッキ液が消耗しないようにメッキをかけないところはマスキングした。3Dプリンタ製部品は表面の凹凸や大きさなど完全に同一条件でのメッキの比較が難しいため、大きめに印刷し、機械加工にて高精度で凹凸のないミリ波導波路を製作してメッキをかけた。試作品はWR-15規格の導波路であり、長さは50mmとした。測定は秋田高専内で行い、75GHzにおける伝送特性の結果が図1である。測定結果より90%以上の伝送効率が得られ、試作方法に再現性があることを確認した。

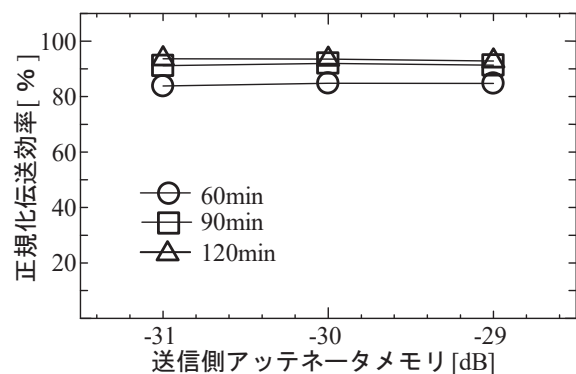


図1 メッキした導波路の伝送効率 (WR-15, 75 GHz)

次に、60GHz帯でのVNAによる測定を行うため、測定環境に合わせてWR-19規格導波路について試作を行うとともに、導波管BPFの設計と試作も行った。まずは長さ20mmの導波路の透過特性を図2に示す。

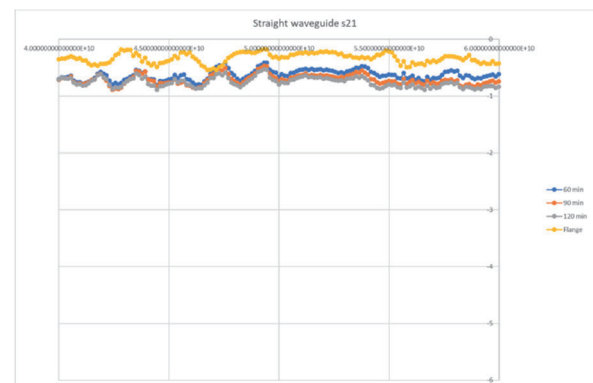


図2 試作した導波路の透過特性 (WR-19, 40-60 GHz)

図2の同軸導波管変換器におけるロス（一番上）を除いた導波路の s_{21} は $-0.3\sim-0.4$ dBであり、図1の測定結果とも一致する結果が得られた。

次に導波管 BPF の設計について述べる。FDTD 法（時間領域差分法）と μ GA（マイクロ遺伝的アルゴリズム）を用いて設計を行った。解析モデルは図3に示すように WR-19 規格導波管内をモデリングし、解析領域は $500\times 39\times 20$ セル、セルサイズは 0.1 mmとした。波源からパルス波を放射し、観測点での透過量 s_{21} を計算し、 50 GHz 帯を透過する BPF の設計を行った。導波管 BPF は図4、図5に示す3つの窓の各寸法を最適化することにより設計を行った。最適化における目的関数は、①通過周波数における透過量、通過周波数における周波数スペクトルのバンド幅、③通過周波数と 50 GHz との差、の3つを多目的最適化している。また、図4における#2を中心に対称性が得られるように設計し、方向性がない構造とした。

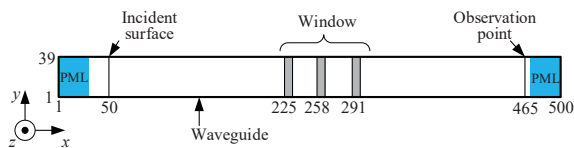


図3 最適化モデル

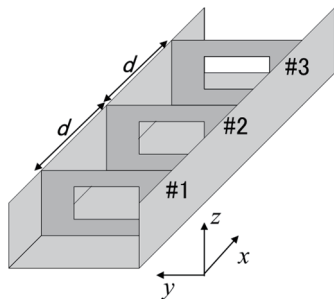


図4 導波管 BPF の構造イメージ

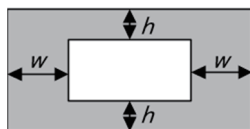


図5 導波管 BPF に用いた窓の構造

また、一般的な窓構造では構造が急激に変化するため、3Dプリンタではフィラメントのひげや垂れなどみられ、設計構造の再現性が得られないことが分かった。そこで図6に示すように3Dプリンタで製作しやすい窓構造を考案し、設計を行うことにした。具体的には窓にスロープを設けて3Dプリンタの印刷時にフィラメントが垂れずに試作できるようにした。この時の設計結果を図7、VNAによる透過特性の測定結

果を図8にそれぞれ示す。

通過周波数は設計値からずれたものの 43 GHz 付近でバンドパス特性が得られた。このずれは窓のパラメータを調整することによって補正可能である。また、スロープを入れたため、窓の間隔 d は一般的に言われる管内 $1/4$ 波長よりも長くなる傾向がみられた。

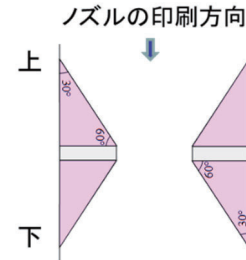


図6 3Dプリンタ対応窓の構造

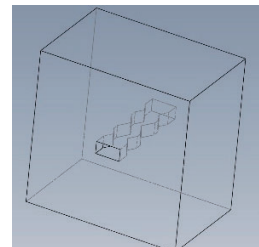


図7 3Dプリンタ対応窓を用いた導波管 BPF の設計結果 ($30\times 30\times 20$ mm)

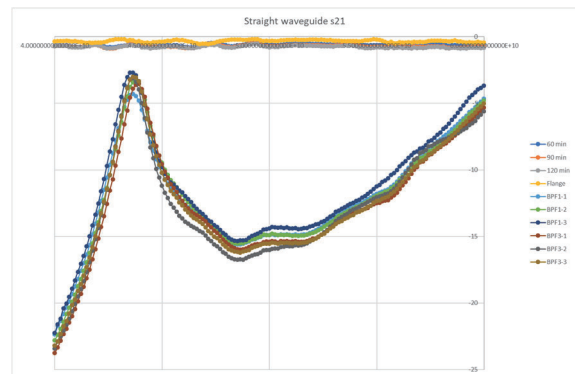


図8 試作した導波管 BPF の透過特性 (WR-19, $40\sim 60$ GHz)

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本研究では汎用の3Dプリンタおよびフィラメント材料とラボレベルで行えるニッケルメッキを用いて、高価なミリ波デバイスを安価に試作できることを示した。本研究の成果は 5 Gなど高周波化するミリ波部品にも対応することができる。また、ラボレベルでメッキをしている研究は少なく、3Dプリンタに対応した BPF 構造について検討している研究はないと考えられ、本研究の独自性は高いと考えている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・松田英昭, 野坂肇, 西野智路, 田中将樹, 伊藤桂一, “3D プリンタ製ミリ波導波管フィルタの試作”, 第 28 回高専シンポジウム inYonago, ELE-06 (2023. 1)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・伊藤桂一, 伊藤大翔, 堀祐馬, “ミリ波伝送線路の FDTD 解析とミリ波バンドパスフィルタの設計”, 第 6 回大規模電磁界数値解析手法に関する研究シンポジウム (LSCEM2023) (2023. 2)

採択番号 (Grant No.) : R02/A18

Modeling the Japanese – Taiwanese racial effect in facial expression recognition

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Chien-Chung Chen (National Taiwan University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

Satoshi Shioiri (東北大学電気通信研究所)

Pei-Yin Chen (National Taiwan University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 7人

[2] 研究経過 (Summary)

The collaboration this year was conducted via tele-communication and in-person. We set up the online experiments successfully before Dr. Chien-Chung Chen paid a visit to Tohoku University in February. During his visit, we analyzed the results and drafted a paper. Further discussion was also made to examine future work opportunities.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

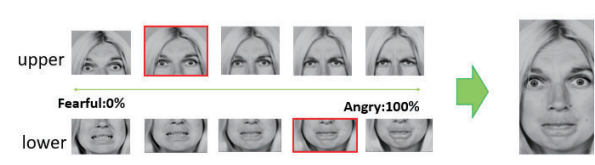
Facial expressions are perhaps the most efficient ways to communicate emotion. They are also critical cues for online communication when other bodily cues are not available. Facial expression recognition, however, showed a strong racial effect: it is harder to recognize certain expressions on an individual from a race different from the observer (For a review, see Biehl et al., 1997, *J. Nonverb. Behav.*). This may have a negative effect on international communication. The purposes of this research are (1) to identify the racial effect in facial expression recognition between Japanese and Taiwanese and (2) to develop a computational model to characterize such effect.

We have adopted images from three face data bases suitable for our cross-cultural comparison studies: (1) Caucasian: Ekman's POFA Database (Ekman & Friesen,

1976) (2) Japanese: AIST Database (Fujimura & Umemura, 2018) (3) Taiwanese: Taiwanese Affective Stimuli Corpus (Chen et al., 2009). For each data base, we selected 7 basic facial expressions (Ekman, 1992): Angry, Disgusted, Fearful, Happy, Neutral, Sad, and Surprised. For each database, we selected 4 male and 4 models that has the highest facial expression recognition accuracy or highest expression intensity/arousal for each database. Thus, there were 168 selected images (3 databases x 8 models x 7 expressions) in total.

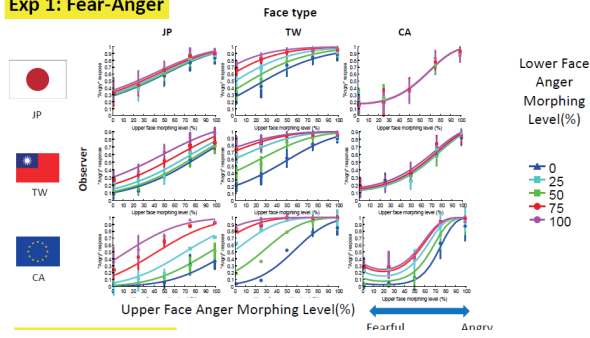


From the results, we selected target images from each of the 3 databases (1 M and 1 F each) which satisfy the following criteria: (1) high accuracy by both JP/TW participants, and (2) distinct cultural differences between JP/TW participants. It turned out that fear was the key emotion that exhibited this quality most. We next morphed the selected face along the angry-fear at 5 points: 1%, 25%, 50%, 75%, and 99%.



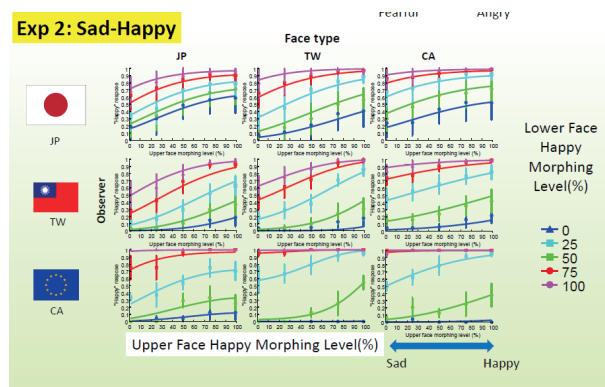
We asked the subjects to judge the expression (angry or fearful) of composite faces that were the combination of the upper and lower face images with different morphing levels between the two emotions (fearful and angry). 5 JP participants and 5 TW participants joined the experiment.

Exp 1: Fear-Anger



We used a multidimensional signal detection theory (Ashby, 1992) to construct a model to fit our results. This model included an angry and a fearful emotion detector (in Exp1), each has a bivariate Gaussian sensitivity function on the feature space. A covariance matrix represents the interaction between upper and lower faces. The probability of judging a morphed stimulus as an angry/happy face was plotted as a function of the angry/happy level of upper faces (see right), together with the model predictions (solid line). The same for Exp 2 except the detectors are for sadness and happiness.

Exp 2: Sad-Happy

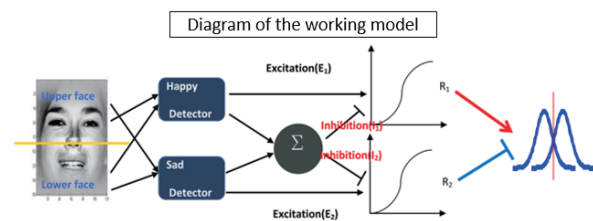


We did not observe a clear main effect of race across two experiments. Rather, we discovered an interaction between the races of the participant and the models. Such interactions are expression dependent. Participants incorporated less lower face for fear-anger discrimination than discriminating sad-happy faces. The 3 cultural groups are more similar in their weighting of upper and lower face info while discriminating sad-happy faces than fear-anger discrimination.

Japanese participants used mainly upper face for fear-anger judgement, with the exception of viewing Taiwanese faces. It's possible that Taiwanese are more expressive in their lower face for anger.

We observed cultural differences (but not ORE) between JP, TW, and CA observers to process facial emotions. This difference may originate from expressions, e.g. TW use more lower face portion to express anger/fear than JP. This does not apply to happy-sad faces, which suggests an emotion-specific consideration required to understand this phenomenon.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)



Our facial expression perception model is based on a multi-dimensional signal detection theory (Ashby, 1992) to account for cultural effects on emotional expressions. There is an angry and a fearful emotion detector, each has a bivariate Gaussian sensitivity function on the feature space.. The response of a detectors is a nonlinear function of the morphing level divided by the inhibition from other filters, represented by a covariance matrix. The visual system sums the response in each detector across the face then compute the likelihood of each expression type based the summed responses. The probability of a decision is a cumulative Gaussian function of the likelihood.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

None.

採択番号：R02/A19

モノのセンサ化のための高機能デバイスモジュール開発 とその応用

[1] 組織

研究代表者：

真鍋 宏幸（芝浦工業大学情報工学科）

通研対応教員：

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

高田 峻介（神戸市立工業専門学校）

山本景子（京都工芸繊維大学）

藤田和之（東北大学）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

モノや道具を操る際の人の動きを正確に計測することは、運動の発達度、道具の操作性、作業中の心理状態など、様々な事柄を知るためにも必要不可欠である。しかし、様々な現場に簡単に導入可能で、長時間の正確な行動計測が可能なセンサや計測方法はこれまで確立されていない。一般的なモーションキャプチャ装置の利用も考えられるが、実験室のような理想環境でない限り、カメラの設置を工夫しても作業中には隠れが発生してしまい、安定した継続計測は難しい。日常生活の行動計測に限れば、ウェアラブルデバイスも長期間の行動データ取得に使えるが、人と道具とのインタラクションを厳密に計測しているわけではない。

そこで本研究では、モノや道具そのものをセンサ化することで、人とモノや道具との間のインタラクションの様々な行動的特長を、正確に長時間に渡って計測する新たな行動計測方法を確立する。スタンドアロンで動作する小型センサモジュールを開発し、3Dプリンタを活用してそれを様々な日用品に埋め込む仕組みを検討する。そのモノのセンサ化の効果を様々な応用を通して検証する。まず、通研担当の高嶋らがこれまで進めて来た積木を用いた幼児の発達度を検証する臨床的研究へ応用し、その後、提案する計測方法を様々な日用品や道具に適用して実践的応用可能性（導入コスト、利点、新たな価値等）を検証する。

本年度は、二回の対面研究会を開催することができたので、その概要と成果を報告する。

第一回研究会の概要

日時：令和4年2月20～21日

参加者：真鍋 宏幸

高嶋 和毅

に加えて、他プロジェクトのメンバーおよび

企業から計20名程度

内容と議論：

一人20分の持ち時間で各自が持っている技術や課題などについて下記の通り共有を行った。

- ・秋山 恵（イトーキ 先端技術研究所）「スマートキャンパス構想のコンセプトとPOCの取組みについて」
- ・高原 良（株式会社 TATAMI）「ワークプレイスにおけるウェルビーイング研究の動向」
- ・磯田 和生（大日本印刷株式会社）「DNP ミュージアムラボ「みどころウォーク」クロスモーダル知覚を活用したスケール感を体感できる空間体験」
- ・津川 翔（筑波大学）「ソーシャルネットワークにおける情報流通のモデル化と適正化」
- ・土方 嘉徳（関西学院大学）「デジタルマーケティングのための行動心理モデリングの研究」
- ・武富 貴史（サイバーエージェント）「サイバーエージェントにおけるデジタルツイン技術」
- ・小倉 加奈代（岩手県立大学）「ユーザ主体の農業機械操縦行動分析／所属内行動変容デザインの実践」
- ・池田 聖（大阪大学）「三次元固視検出に基づく注視対象推定」
- ・藤本 雄一郎（奈良先端大学院大学）「パブリックスピーキングトレーニングへのVR/ARの適用」
- ・伊藤 雄一（青山学院大学）「無意識コンピューティングとその応用」
- ・山本 豪志朗（京都大学）「医療における空間拡張技術」
- ・酒田 信親（龍谷大学）「クロスモーダル現象とプロ

テウス効果を利用した空間拡張インタフェース」
・真鍋 宏幸 (芝浦工業大学) 「3D プリンタを用いた
個人向け電子回路作成手法」



第一回研究会の様子

第二回研究会の概要

日時： 令和4年3月6～7日

参加者：真鍋 宏幸
高嶋 和毅
高田 峻介
藤田 和之

他，芝浦工業大学，東北大学の学生数名

内容と議論：

一人40分の持ち時間で各自が持っている技術や課題などについて当該共同プロジェクトの具体的な打ち合わせや情報共有を行った。

第一回研究会はモノのセンサ化を多様な観点から深掘りして議論を進めたが，この第二回研究会では具体的な課題設定や技術的な観点に集中して議論を展開することができた。また，今後，共同での科研費申請等の予算獲得の可能性も議論することができた。本年は二回の研究会を通じて有意義な研究交流をすることができた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本共同プロジェクトは今年が3年目で最終年であった。研究代表者は回路のプロトタイピングの知識を

さらに深め，また分担者はペン等の文具にセンサを埋め込むデバイス開発するなど，本プロジェクトに関連する成果は個別に蓄積することができた。また，二回の研究会を開催することができ，様々な観点で知見を共有することができ，関連分野の研究者と交流を図ることもできた。具体的には，モノをセンサ化するための回路技術，センサ計測できる動きやインタラクション種類の分類・整理，フィールド実験をする際の課題や実験結果，オフィス等における活動量計測など，一人の研究者では揃えられない貴重な情報を共有することができた。本プロジェクトは，これまでの成果をもとにして，メンバを増やして来年度も別の共同プロジェクト（B 枠）として継続予定である（申請済み）。これまでの本プロジェクトの成果や議論の蓄積は来年度の共同プロジェクトに大きく活かすことができると考えられる。

なお，研究代表者の研究成果は，令和5年2月15日に行われた共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表済みである。

(3-2) 波及効果と発展性，研究分野への貢献等

大規模災害や戦争等，社会の大きな変化の直後は生活環境が大幅に変動するため，様々な世代の人々の心理的な負担が大きくなる傾向にある。我々はその中でも社会からの影響を受けやすく，その後の精神的成長に課題が残りやすい幼児や小学生低学年の心理的健康を支える研究を進めている。大規模災害は，震災だけではなく，2022年現在も進行しているCOVID-19のパンデミックにも当てはまる。最近で言えば，ウクライナでの戦争も同様である。それら大規模災害時には，大人だけでなく，幼児にも短期的および長期的な影響が及ぶ。

幼児は，遊びによって社会とのつながりを構築し，肉体や精神的な発達を育むが，今現在，それらの機会が外出制限等や部活動の禁止等の処置によって大幅に減っている。ただ，幼児らの心理的課題や振る舞いの変化を機敏に読み取ることは保護者であっても難しい。本研究プロジェクトは，モノのセンサ化を大きな目標に掲げているが，その中でも玩具のモーションセンサ化に着目しており，幼児の行動変化を見守るツールとして発展することを目指す。研究成果は，ヒューマンインタフェースの分野に限らず，発達臨床教育学等などの関連分野に強く貢献できるものと考えている。

採択番号：R02/A20

ミニマルブレインの理解と再構築

[1] 組織

研究代表者

神谷 温之 (北海道大学大学院医学研究院)

通研対応教員

平野 愛弓 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

庭野 道夫 (東北福祉大学感性福祉研究所)

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院)

桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)

香取 勇一 (公立ほこだて未来大学複雑系知能学科)

山本 英明 (東北大学電気通信研究所)

大友 康平 (順天堂大学医学部)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

ナノテクノロジーとバイオマテリアル、そしてエレクトロニクスの融合は 21 世紀の重要な科学技術分野の一つである。その発展のためには、現在の半導体微細加工技術とバイオマテリアルの融合に基づく、バイオ技術・計測の高度化や新機能の創成が必要である。特に、その多様な機能が次々と解明されつつある生体膜における情報伝達系とのインテリジェントな融合を図ることが急務の課題であると考えられる。

本プロジェクト研究では、脳機能の基本単位、すなわちミニマルブレインの動作原理について構成論的に理解し、最先端の工学とバイオの融合的アプローチを用いてミニマルブレインの機能を人工的に再構築することを目的とする。実際の神経細胞を培地基板上で自在につなぎ合わせることによって人工神経回路網を構築する。さらに、この系を活かした解析的研究により、局所的な神経ネットワークの時空間ダイナミクスを数理モデルにより追及する。これらの成果に基づいて、脳型コンピュータの基礎となる並列・分散的な情報処理回路の実現のためや、脳神経回路の誤動作・異常と捉えられる精神疾患などの脳機能障害の解明のための学術的基盤を確立する。再構成系神経回路の構築とその機能解析を通して、脳の情報伝達の時空間ダイナミクスを新たな視点から学際的に探究し、理

工学分野と医学・生物系分野の融合研究を進展させる。基盤となる研究分野は、再構成神経回路の形成と計測分析を専門とする表面・界面工学、細胞工学の研究分野、実際の神経細胞の神経回路を専門とする神経生理・電気生理の研究分野、神経回路のハードウェアやニューラルネットワーク理論が研究対象のエレクトロニクス分野である。研究グループは、培養神経細胞を用いて実際の脳に近い神経回路網の形成を行い、その神経ネットワークにおける情報伝達機構を分析的・微視的な立場から計測・解析するグループと、電気生理計測技術を駆使して、再構成人工神経回路網の情報伝達ダイナミクスを明らかにするグループよりなる。

本年度は、神経回路網における機能素子である神経細胞（ニューロン）に対して刺激を印加して応答を計測するための実験系を構築し、刺激の印加を通じて培養神経回路において観察される非生理的な活動を抑制できることを見出した。これに際し、研究分担者間の共同研究も複数実施された。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本研究では、培養神経細胞系における脳機能発現を目指し、培養の下地となる基板表面のパターニングにより神経細胞の配置と極性制御を行い、脳内神経細胞回路網の基板上への構築を行うことにより、最小機能単位ミニマルブレインの抽出を目指している。今年度は、高密度多点電極アレイデバイス上に培養神経細胞をパターニングするための新しい表面改質技術を確立し、プロジェクト参画メンバーらとの共著論文などとして発表した。また 2 月 17～18 日に開催された通研国際シンポジウム RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer においても、本研究に関する最新の研究成果を報告するとともに、一層の共同研究推進のための有益な情報交換を行った。

(3-2) 波及効果と発展性研究分野への貢献など

本研究の発展は、電子工学やコンピュータ科学分野に新たな学術研究の流れを作り出し、ナノテクノロジーを土台とした新たな将来性のあるバイオ研究を創成できる。また、再構成神経回路網の形成と制御法やナノスケール計測技術が確立されることにより、未知

の神経生理メカニズムの発見が期待される。さらに、培養系で「完全に設計された」人工神経回路網を再構成し、これに実際の神経回路の動作原理を実装すれば、新たな脳型コンピュータの開発が可能になり、スマートグリッドやクラウドコンピューティングにおける各種の制御機構や情報の分散処理に適応していくことも可能となる。そのようなデバイスや神経回路網の制御機構に関する基礎的知見は、精神疾患の治療や脳の再生など医療面においても大きな波及効果が期待される。本プロジェクトを基盤として、電子工学、ニューラルネットワーク理論科学、電子回路工学、生理学、薬理学、医学の様々な分野の研究者との研究交流チームが形成され、令和3年度科研費の学術変革領域研究(B)の採択に結実した。

- ・研究領域名：脳神経マルチセルラバイオコンピューティング（略称：多細胞バイオ計算）
- ・研究費名：文部科学省科研費 学術変革領域研究(B)
- ・配分機関名：東北大学
- ・領域代表者：山本英明
- ・研究期間：令和3年度～令和5年度

本プロジェクトのメンバーを中心とした上記の研究領域は活発な研究交流を推進し、令和4年度は第2回国際シンポジウム "The 2nd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing" を国際会議 The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer の特別セッションとして令和5年2月17-18日に開催した。

The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究

The 2nd Symposium on Multicellular Neurobiocomputing

日時：令和5年2月17日（金）・18日（土）

東北大学とZoomのハイブリッド開催

- B. J. Kagan (Cortical Labs, Australia)
- Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)
- J. Soriano et al. (Univ. Barcelona, Spain)
- T. Netoff et al. (Univ. Minnesota, U.S.A.)
- T. Murakami et al (Univ. Tokyo, Japan)
- Y. Masamizu et al. (Doshisha Univ., Japan)
- R. Hosaka et al (Shibaura Inst. Tech., Japan)
- H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)
- A. Hirano-Iwata et al (Tohoku Univ., Japan)
- S. Katsurabayashi et al. (Fukuoka Univ., Japan)
- H. Yamamoto (Tohoku Univ.)

また第3回の領域会議を令和4年9月7日に公立は

こだて未来大学とZoomでのハイブリッド形式で開催した。

第83回応用物理学会秋季学術講演会にて、領域代表の山本が細川千絵(阪公大)と共同で以下のシンポジウムを企画し、香取(計画班A01代表)・松井(同A03代表)・正水(同A04代表)が招待講演を行った。

『次世代ICTと未来医療を支える神経科学・神経工学・脳型コンピューティング』

日時：令和4年9月20日（火）

ハイブリッド開催（東北大学・Zoom）

- 池谷 裕二 (東京大学)
- 松井 鉄平 (岡山大学)
- 香取 勇一 (公立はこだて未来大学)
- 鈴木 郁郎 (東北工業大学)
- 細川 千絵 (大阪公立大学)
- 木野 久志 (東北大学)
- 春田 牧人 (奈良先端科学技術大学院大学)
- 正水 芳人 (同志社大学)
- 山本 英明 (東北大学)

令和4年11月18日には東北大学電気通信研究所の客員准教授として来日中のPawel Herman 准教授（スウェーデン王立工科大学）による東北大学とZoomのハイブリッド形式でセミナーを共催し、多くの参加者を得て活発な議論を行った。

令和5年3月16日には第100回日本生理学会大会にて以下のシンポジウムを企画した。

『神経シグナル伝達におけるサブセラー構造と機能のダイナミクス』

日時：令和5年3月16日（木）

ハイブリッド開催（国立京都国際会館・Zoom）

- 神谷 温之 (北海道大学)
- 三木 崇史 (同志社大学)
- Alain Marty (Saints Peres Paris Institute for Neuroscience)
- Cordelia Imig (University of Copenhagen)
- 川口 真也 (京都大学)

これらの機会を通じて、理論系から実験系までの多岐にわたる背景を持つ領域メンバーの研究内容の相互理解のためこの議論をもとに複数の共同研究が立ち上がり、活発な研究が推進されている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tani, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks, *Front. Neurosci.* (2023) DOI: 10.3389/fnins.2022.943310
- T. Sumi, H. Yamamoto, Y. Katori, S. Moriya, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Biological neurons act as generalization filters in reservoir computing, *arXiv* (2022) 10.48550/arXiv.2210.02913
- H. Yamamoto, F. P. Spitzner, T. Takemuro, Vi. Buendía, C. Morante, T. Konno, S. Sato, A. Hirano-Iwata, V. Priesemann, M. A. Muñoz, J. Zierenberg, J. Soriano: Modular architecture facilitates noise-driven control of synchrony in neuronal networks, *arXiv* (2022) 10.48550/arXiv.2205.10563
- 山本英明, 平野愛弓, 佐藤茂雄: マイクロ流体デバイスを用いた神経回路機能の実細胞再構成, 応用物理 (掲載決定)
- H. Kamiya: Computational test for the roles of potassium channel inactivation in short-term plasticity, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2023).
- A. Hirano-Iwata, M. Sato, M. Hariyama, M. Komiya, H. Yamamoto: An adaptive automatic system for analyzing single channel currents, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2023).
- H. Yamamoto, T. Takemuro, T. Sumi, J. Soriano, S. Sato, A. Hirano-Iwata: Stimulus responses of modular neuronal networks grown on engineered substrates, The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2023).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- H. Kamiya: Modeling analysis of subthreshold voltage signaling along hippocampal mossy fiber axons. *Front. Cell. Neurosci.* (2022) DOI: 10.3389/fncel.2022.966636
- H. Kamiya: Simulation analysis of use-

dependent modification of presynaptic Ca^{2+} entry at hippocampal mossy fiber synapse. *Neuroscience* 2022 (2022)

- M. Sato, M. Hariyama, K. Maki, K. Suzuki, Y. Tozawa, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata: Model-Free Idealization: Adaptive Integrated Approach for Idealization of Ion Channel Currents (AI2), *arXiv* (2023) 10.48550/arXiv.2302.06792
- 神谷温之: 軸索興奮性の活動依存的な制御機構, 第100回日本生理学会大会 (2023).
- 鄭 富椋, 神谷温之: 海馬苔状線維シナプスの周波数促進における不活性化型カリウムチャネルの寄与に関するシミュレーション解析, 第100回日本生理学会大会 (2023).

採択番号：R02/A21

耳介の 3 次元形状と音響伝達特性の 音源方位依存性に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

伊藤 仁（東北工業大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

佐藤 直行（はこだて未来大学複雑系知能学科）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

音の空間的な知覚では、両耳に到達する音の時間差や音圧差だけでなく、頭部で生じる反射や回折による音響伝達特性の変化が重要な手がかりとなっている。この音響伝達特性の変化には、頭部形状の中でも特に耳介が主要な役割を果たすことが知られているが、耳介の形状は個人差が大きく、耳輪、対耳輪、耳垂、耳甲介、三角窩、舟状窩、耳珠、珠間切痕など耳介を構成する各部位が音響特性に及ぼす影響は明らかになっていない。

本研究では、3D スキャナーを用いて耳介の 3 次元形状を精密に計測し、音響特性と比較することで、耳介を構成する部位の形状、大きさ、方向が音響特性に及ぼす影響を明らかにすることを目指した。

これを実現するために、まず 3 次元形状計測により得られた CAD データから、音響計測に必要な外耳道マイクロホンを作成する手法について検討した。これまで頭部伝達関数 (HRTF) を計測するマイクロホンは、被験者の耳に直接印象材を流し込み、マイクロホンユニットが外耳道入口付近に配置されるよう手動で調整する手法が用いられていた。これは実験者の知識や技術に大きく依存するため、同じ被験者の音響特性を高い再現性で計測することが難しいこと、また形状によっては計測中にマイクロホンが脱落しやすくなることなどの問題がある。

そこで本研究では、多数の人間に共通する外耳道の屈曲の性質と、耳甲介腔を表す曲面を耳孔で切り取った際の断面積の最小化という二つの拘束条件を用いて、3 次元 CAD データから、自動的に外耳道入口の位置を決定し、そこにユニットを配置するためのマイクロホン筐体の設計手法を開発した (図 1)。

次に、3 次元 CAD データから耳介の特徴的な構造(ランドマーク)を抽出し、そこから各部位の形状をパラメトリックに表現するモデルの開発を目指した。これは、形状を変形させた耳介を作成し、その音響特性を定量的に評価することで、耳介を構成する各部位の形状が音響特性に及ぼす相対的な影響を明らかにするためのものである。本年度の研究では、成人男女 17 名の左右の耳介の CAD データから、解剖学的な 7 つの特徴点 (tragus, supraaurale, subaurale, preaurale, postaurale, otobasion superius, otobasion inferius)、及び耳介と頭部の境界に対応する 13 点のランドマークを自動抽出するアルゴリズムを開発した (図 2)。たが耳介内部の構造の個人差が予想以上に大きかったため、ランドマークから変形耳介を作成するためのモデルは実現できず、今後さらなる検討が必要となった。

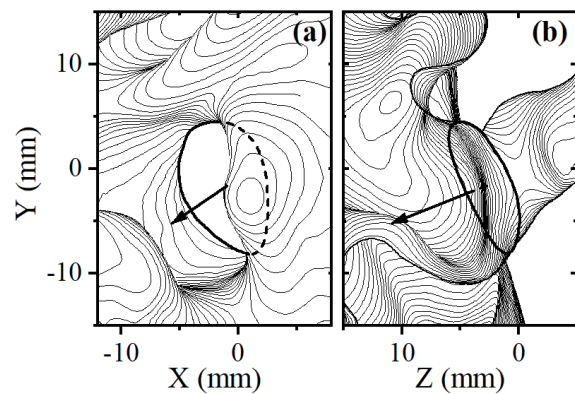


図 1. 外耳道入口の推定例

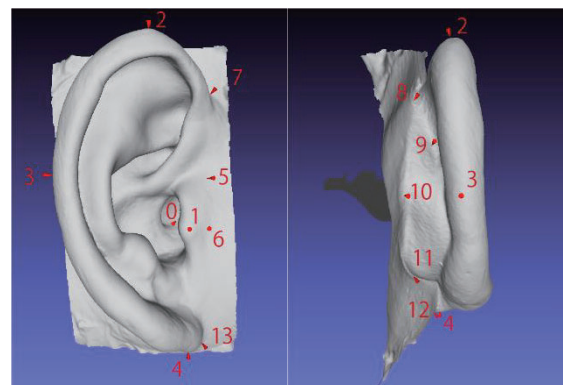


図 2. 耳介のランドマークの推定例

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度の成果のひとつは、耳介の 3 次元 CAD データから外耳道入口の位置を決定し、各被験者の外耳道の形状に完全にフィットする外耳道マイクロホンを作成する手法を開発したことである。外耳道は耳孔から鼓膜に向かって、一度前方に向かってから大きく後方に屈曲することが知られており、この屈曲点は、矢状面断面曲線の重心座標が深さに対して極値となる位置として抽出できる(図 3)。この屈曲点から耳甲介腔までの形状を漏斗状に接続した円錐と管で近似し、接続境界に対応する座標を外耳道入口とする。さらに、この座標を含む平面で外耳道を閉塞した際に、耳甲介腔と可能な限り滑らかな形状となるよう、平面の向きを調整する。

得られた外耳道入口にマイクロホンユニットの受音部を配置し、その周囲を 3 次元 CAD データに示された外耳道の形状を裏返した曲面で覆う。この様にして得られたマイクロホンカバーを 3 次元プリンタで出力し、ユニットと結合して外耳道マイクロホンを作成する。図 4 に、上記のアルゴリズムで得られたマイクロホンカバーと外耳道の形状、及び実際に作成した外耳道マイクロホンの例を示す。

また本研究のもうひとつの成果は、耳介の 3 次元 CAD データから、外耳の構造的特徴部位を自動抽出するアルゴリズムを開発したことにある。抽出されたランドマークの 3 次元座標を用いることで、これまでノギスなどで計測していた耳介形状のパラメータを厳密に決定することが可能である。例えば、superaurale と subaurale の距離は、相貌学的耳長に、preaurale と postaurale の距離は耳幅にそれぞれ対応する。さらに本アルゴリズムでは耳介と頭部との境界を示すランドマークも抽出するため、頭部から耳介がどの程度突出しているかを表す角度(protrusion)や、耳介の耳眼水平面からの傾きなども厳密に計算することができる。

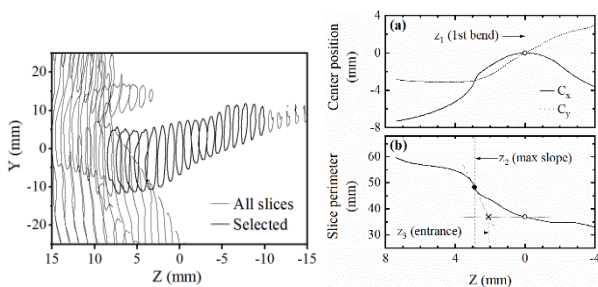


図 3. 外耳道入口の推定

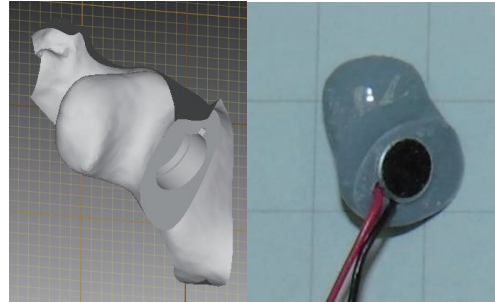
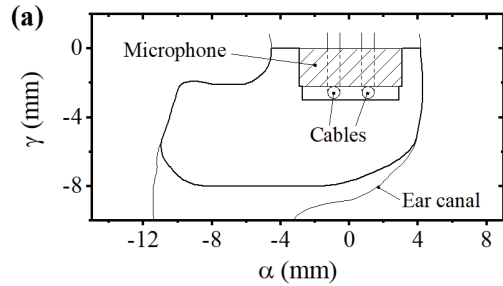


図 4. 外耳道マイクロホン

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本研究で開発したアルゴリズムによる外耳道マイクロホンは、個人差の大きい耳介と外耳道の形状に関わらず、外耳道入口の位置を一意に定めることができる点に特徴がある。音の空間的な知覚の手掛かりは、10 kHz を超える高周波数帯(波長 34 mm 以下)に存在すると言われており、手で外耳道入口の位置を定める従来の手法では十分な精度が得られない可能性がある。本研究で開発した手法により、高い精度で外耳道マイクロホンを配置すれば、例えば異なる研究機関の間で再現性の高い音響計測が可能になると期待できる。

また、これまで人種、性別、年齢などが耳介の形状に及ぼす影響については、ノギスや頭囲計を用いて耳介各部位のサイズや形を手動で計測してきた。だが耳介の形状が複雑であるため、高い精度の形状計測を行うためには、実験者の熟練が必要とされてきた。本研究で開発したランドマークの自動抽出法は、このような状況を改善できる可能性がある。被験者の耳介の 3 次元データが得られれば、実験者の技量に依らず耳長や耳幅などのパラメータを正確に計測することができるからである。

このランドマークの情報に基づいて、ランドマーク間の形状を補完する枠組みが実現できれば、研究目的で述べた変形耳介を作成し、耳介の形状が音響特性に及ぼす影響について、より直接的に調べることができる可能性があるが、本年度の研究では残念ながらそこまで至らなかった。この点については、今後検討していきたい。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・尾形 知哉 “上下逆転耳介を用いた正中矢状面における音源定位の研究,” 東北工業大学令和4年度卒業論文 (2023.3)
- ・酒井 雅尚 ” 頭部伝達関数を用いた空間音響知覚における耳介形状の影響に関する研究,” 東北工業大学令和4年度卒業論文 (2023.3)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号 (Grant No.) : R02/A22

新世代 IoT プラットフォームの開発に関する研究

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

ザビル サラウッデン ムハマド サリム
(鶴岡工業高等専門学校情報コース教授)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

長谷川 剛 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 2
人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

In this project, we have been working on devising a novel IoT framework that we name as KIBAN with a view to rapid expansion of IoT through mass adoption by common people who do not possess specialized knowledge. We also propose a novel hierarchical edge computing architecture called Dynamic Hierarchical Edge Architecture or DHEA to overcome the potential issues with the centralized cloud-based approach. We describe how KIBAN could be realized using the DHEA architecture. Because of the layered structure of KIBAN, it is possible to easily implement part of the platform even on gateways with low computing capabilities. Experiments show that such implementations can lead to faster response time and often leads to increased efficiency compared with that in a cloud-based system.

Like last years, in the current year of the research project, we particularly focus on implementing components of the Knowledge and Intelligence Layer (KIL) for learning and interpreting texts available on the web in the form of posts in the social media, product review, articles in the web etc. With a view to addressing online texts irrespective of the language, we have been analysing texts in several languages like Japanese, Bengali and Thai languages. We have been trying to understand the characteristics of each language and the inherent similarities or differences. Learning from the web text data and interpreting the intentions of the posts leads to offer many services by the other layers of KIBAN platform (Fig.1), for example, Big Data Service Layer (BDS) efficiently.

Two researchers, the Principal Investigator (PI), and Professor Dr. G. Hasegawa have been involved in this research. The Principal Investigator (PI) expresses deep gratitude for the generous support that the RIEC Research Collaborator, Professor Hasegawa had extended during the project.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

① Realization of components of KIBAN IoT platform
In the first year of the research, we proposed a new generation IoT platform, KIBAN (Fig. 1), toward the rapid evolution of IoT. It consists of the following six layers.

- Data acquisition and storage layer (DASL)
- Knowledge and intelligence layer (KIL)
- Big data service layer (BDL)
- Open software layer (OSL)
- Presentation layer (PL)
- Security and privacy layer (SPL)

So far, we have been engaged in implementing different elements of several of the layers, particularly the data acquisition and storage layer and the knowledge and intelligence layer. In addition, we emphasized on proposing the functionality of the security and privacy layer (SPL). It has been observed that IoT gateway and devices are often prone to malicious attacks through unauthorized access by third parties. Hence, we proposed mechanisms for access control through multi-factor authentication. Regarding analysis of web data, we have so far attempted (1) learning from web data in the form of product review in Japanese language and figure out the sentiment expressed in the reviews. (2) assuming the gender of the poster of posts in Bengali language in the SNS like Facebook. We are also working on extending this to Japanese language. This year, we aim at learning about sentiments expressed in Thai language web texts.

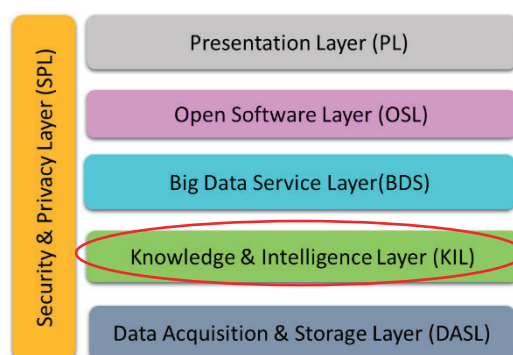


Fig. 1: Different layers of KIBAN IoT platform

② Implementation of components for the Knowledge and Intelligence Layer (KIL) for Thai language text analysis.

In the KIBAN platform, the Knowledge and Intelligence Layer (KIL) is designed for learning from collected multimodal data and provide intelligence to the IoT

platform. Toward this goal, we focus on huge data that is available in the web like the social networking services (SNS), comments or expressions in blogs, reviews in online shopping sites etc. Here, we report the outcome of our research on learning about sentiments expressed in online text in Thai language. The general problem of sentiment analysis is currently being addressed for texts in different languages using both traditional and deep learning methods. The analysis of texts in different languages usually depends on several factors. The first is the organization of the sentences in written form. If the words in a sentence are written separately like it is done in English, it is possible to identify each word as it is. However, if the words are written continuously without separation like it is done in Japanese or Chinese languages, efforts should be made to identify each words accurately from the sentence. The next issue is the use of irony. Sometimes, in some languages, it is possible to express some negative opinion without using any negative word. Such expressions are difficult to analyse using machine learning.

A. The Challenges of Thai Language

In written form, the Thai language has 44 consonants, 21 vowels, with 32 different voices and 4 tone marks. Normally, Thai messages are constructed horizontally from left to right without the interval between words to form a sentence. Hence separating them correctly to identify words often poses a big challenge. In addition, use of irony can make understanding of the real meaning of the sentence difficult. Furthermore, in SNS media, language used is often distorted that makes it more difficult to understand the emotion of the poster. In this research, we produce a Machine learning model to proceed with the text message to extract the sentiment of the user in a message.

B. Dataset Creation

We utilize the “Wisights” corpus for training and testing datasets. The dataset contains 26,737 separate text data in positive, negative and neutral categories. We utilize 11,601 sets of text data belonging to either positive or negative categories. In addition, we collect the customer review from an online-market platform called Shopee as an additional test dataset.

The processing of the data involves word tokenization, text vectorization, word embedding (Fig. 2).

C. Word Tokenization

It is the method to separate the word in the sentence. As mentioned above, in Thai language written sentences, every word in the sentence is adjacent. While in English, each word in a sentence is separated by spacing. Thus, we need to extract each word in every sentence in order to prepare the dataset for the next stage of processing. For this task, we apply the Thai NLP library called PyThaiNLP which has the tokenizer to deconstruct the sentences into words.

D. Text Vectorization

It is the preprocessing layer that maps text features after

applying word tokenization into an integer sequence. Text vectorization from TensorFlow is one of the vectorization techniques that we employ for this work.

E. Word Embedding

The TensorFlow Word Embedding layer provides a way to convert the data into a dense vector of floating-point values.

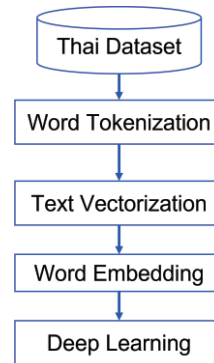


Fig. 2: Different steps of Thai text sentiment analysis

F. Deep Learning methods

Different deep-learning methods were then applied to learn from the data and their performances were tested. With a view to achieving better accuracy, we deploy Bi-directional LSTM (Bi-LSTM), Bi-directional GRU (Bi-GRU), CNN and their combinations.

G. Evaluation

From the Wisights dataset, 11,601 data that correspond to either positive or negative sentiment were used in our experiments. Among them 1,161 sets (478 positive, 683 negative cases) amounting to 10% of the data were set aside for testing. In addition, we tested 100 reviews (50 positive, 50 negative cases) from online marketplace named Shopee.

Table 1 shows the accuracy of sentiment analysis of Thai language texts using different deep-learning models. The combination of Bi-LSTM and CNN yields the best results.

Table 1: Accuracy using different deep learning methods

Model	Accuracy (Wisights)	Accuracy (Shopee)
CNN	0.84582	0.74489
Bi-LSTM	0.86477	0.76531
Bi-GRU	0.85788	0.78571
Bi-LSTM-CNN	0.87252	0.83673
Bi-GRU-CNN	0.86477	0.82653

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

Detecting sentiment from online texts is likely to lead to better machine understanding of the human world. We expect to continue this work for developing new models for even better detection of sentiments from web texts.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

- [1] Monburionon, N., Zabir, S.M.S., Vechprasit, N., Utsumi, S., Shiratori, N., A Novel Hierarchical Edge Computing Solution Based on Deep Learning for Distributed Image Recognition in IoT System, in proceedings of InCIT2019, Bangkok, Thailand, 2019

採択番号(Grant No.) : R02/A23

Exploring and Understanding Touch Interaction using a Slidable-Sheet on Smart Devices

[1] 組織

研究代表者 (Principal Investigator) :

Sayan Sarcar (Birmingham City University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Kazuyuki Fujita

研究分担者 (Project Member List) :

Kaori Ikematsu (Yahoo Japan Corporation / Tohoku University)

Taichi Tsuchida (Tohoku University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 4

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

Touch has become the main input modality for most interactive electronic devices, providing intuitive user experience of direct manipulation of content. However, touch interaction is still limited to fewer input modalities. This often becomes a problem when task scenarios involved switching between multiple modes of operation, such as navigating in a map, drawing on a canvas, or playing a game.

In this research project, our goal is to explore low-cost and power-free interfaces that expand input vocabulary of touch devices thereby enriching user interaction with touch devices with less fatigue. In this year, we have worked on summarizing our research findings obtained until the last year and publish them.

Project members communicated both in-person and online, with the purpose of discussing the paper structure and contents before submission, how to revise the paper after the first review, and how to present a talk after its acceptance. Specifically, the meetings were held on April 14 (in-person), May 31 (in-person), June 30 (in-person), October 31 (online), November 16 (in-person), 2022.

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

We designed and developed a phone-case-shaped interface named TetraForce, which enables four types of force inputs consisting of two force directions (i.e., pressure force and shear force) and two force-applied surfaces (i.e., touch surface

and back surface) using the smartphone's built-in magnetometer.

In this fiscal year, our project was accepted by an international journal named Proc. of the ACM on Human-Computer Interaction [1] (h5-index: 57) and a domestic conference on interactive system and software named WISS 2022 as a full conference paper [2].

Meanwhile, this project received special support (for young researchers), and this support helped us procure parts and materials for the prototype, as well as multiple face-to-face meetings at RIEC, which contributed to the smooth progress of the research.

[1] Taichi Tsuchida, Kazuyuki Fujita, Kaori Ikematsu, Sayan Sarcar, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura. TetraForce: A Magnetic-Based Interface Enabling Pressure Force and Shear Force Input Applied to Front and Back of a Smartphone, *Proc. of the ACM on Human-Computer Interaction*, Vol. 6, Issue ISS, Article No. 564, pp 185–206, Nov. 2022.

[2] 土田太一, 藤田和之, 池松香, Sayan Sarcar, 高嶋和毅, 北村喜文. TetraForce: スマートフォンの表裏両面に対する垂直・剪断方向の力を入力可能な磁気式インタフェース. 第30回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS'22) 論文集, 2022年12月.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

This work will offer end-users an extensive and easier-to-use touch interaction norm. As the device is low-cost and power-free, it has quite a high potential to be a common add-on interface that can be easily installed on any touch-based smart devices. In addition, our result will also provide new guidelines to UI designers and developers regarding touch interaction.

採択番号(Grant No.) : R02/A24

Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Thippaya Chintakovid, Ph.D. (Assistant Professor at Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Yoshifumi Kitamura

研究分担者 (Project Member List) :

Siranee Nuchitprasitchai, Ph.D. (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand)

Griya Tongpasuk, Ph.D. (King Mongkut's University of Technology North Bangkok, Bangkok, Thailand)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 4 人

[2] 研究経過 (Summary)

The main objective of this project was to investigate cultural differences between elderly Thai and Japanese users. The COVID-19 pandemic had been a significant obstacle to achieving the project's aim. In 2020, the project's goal was adapted to investigate differences between two age groups, i.e., the elderly Thai group aged 55 years old and over and the Thai users aged 45-55 years old. In 2021, researchers of this project still could not conduct a usability test as the Thai government strictly enforced the social distancing policy. So, following the thematic analysis, the researchers developed a preliminary codebook for analyzing the observation notes taken during the usability tests in 2018-2020.

Around October and November 2022, after the Japanese government announced that the country was open for tourists and short-term visitors from abroad, the project's researchers planned to go to Sendai to conduct a usability test with elderly Japanese users. However, the researchers encountered another difficulty in recruiting Japanese older adults in Japan. Finally, the Thai researchers and Japanese collaborators managed to recruit four senior Japanese users living in Bangkok, Thailand, to participate in the study.

In summary, some usability issues found were similar between the senior Thai and Japanese groups, for example, difficulty in figuring out how to use the multitouch function.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

Below are key findings from the usability study, which are similar between the senior Thai and Japanese users.

- The Japanese older adults could not figure out how to use a multitouch function. The reason was that no signifiers informed the users that they could use multiple fingers to select more than one photo and see groups of similar images.
- It was difficult for the users to notice the scroll bars of the menu 'Date,' 'Saturation,' and 'Luminance' because the colors of the scroll bars were similar to the background. Moreover, the position of the scroll bars for 'Saturation' and 'Luminance' on the left and right of the screen, respectively, made it hard for the users to see them. The numbers of saturation values and luminance values were also hard to understand.
- The Japanese users preferred using the menu in Japanese, if possible.

Photos taken during the usability study are shown below.



(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など#
(Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to
Related Research Fields etc)

Although the researchers could collect the data from four senior Japanese users, the results show that the usability issues and questions raised by the elderly Japanese users were not drastically different from the elderly Thai users. In conclusion, there were no significant differences between the two cultures. The usability findings from the senior Japanese users could be added to the existing results learned from the Thai group.

参考文献 (References)

N/A

[4]成果資料 (Publications)

N/A

採択番号：R02/A25

人間の能力を拡張する 次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤

[1] 組織

研究代表者：

峰野 博史（静岡大学情報学部）

通研対応教員：

長谷川 剛（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

重野 寛（慶應義塾大学理工学部）

加藤 由花（東京女子大学数理科学科）

山口 弘純（大阪大学大学院情報科学研究科）

北形 元（盛岡大学文学部）

原 隆浩（大阪大学大学院情報科学研究科）

内藤 克浩（愛知工業大学情報科学部）

佐藤 文明（東邦大学理学部）

水野 忠則（愛知工業大学情報科学部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

身体、存在、感覚、認知の観点で、技術は人間の能力をさらに拡張し強化していると言える。昨今の情報社会における生活や働き方にも大きな変革をもたらしており、これまでの人間の能力を拡張する様々な製品やサービスが創出されつつある。本プロジェクトでは、このような次世代情報社会を支えるために、センサーや人間、ロボットだけでなく、様々なサービスから絶え間なく生成される多彩なマルチモーダルデータの活用プロセス（IoT、通信、ビッグデータ、AI、ロボット）を、シームレスに循環させフィードバックさせることのできるマルチモーダルデータ流通処理基盤に関する研究開発ならびに検討を行った。

本プロジェクト遂行に関連し、2022年11月18～19日に、東北大学通信研究所において岡部（京都大学）プロジェクトや石田（はこだて未来大学）プロジェクトと連携したハイブリッド合同研究会を開催した。本分野の有識者21名で研究成果の発表やそれぞれの関係するプロジェクトの方向性について深いディスカッションを実施した。昨今の目覚ましい発展を遂げるAI技術とシームレスにつながる興味深い社会の実現に向け、人間の能力の目覚ましい拡張や強化を促進させることができれば、人とロボットの協働による社会インフラ全体のスマート化や、地方と都市圏のデジタル地域格差を解消する斬新な新サービス創出も大いに期待できると考える。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

多種多様なIoT機器が増加し、複数のデータソースから収集されるマルチモーダルデータを適切に処理し、リアルタイムでのインタラクションを実現できるデバイス連携処理基盤の実現が重要となる。そのためには、データソースならびに前処理済データを実世界にフィードバックするアクチュエータまでのデータストリーム処理に関し、処理時間の短縮や遅延時間の抑制、ならびに様々なサービスレベルへの柔軟な対応がカギを握る。前述のコンセプトに基づき、(1)マルチモーダルデータを収集・分析し仮説検証するための基盤技術、(2)プライバシー保護を考慮して情報をセキュアに集約・流通させる技術、(3)人間の能力を拡張する知的支援技術、の3つのサブテーマを中心として定期的なディスカッションを実施し、要素技術創出に向けた研究開発を進めた。

(1)マルチモーダルデータを収集・分析し仮説検証するための基盤技術に関して、大量に生成されるマルチモーダルデータを収集する様々な規格のデバイスやゲートウェイ、やり取りされるデータのフォーマットやプロトコルの違いに加え、多様なデータタイプに対するタイムラグや異なるデバイス間での時間の取り扱いといった懸念を解決し、マルチモーダルデータ流通処理基盤技術の検討を深めた。特に小型IoT機器向けの移動エージェントフレームワークを研究開発し、通信容量の小さいLPWA (Low Power Wide Area)を用いたIoTネットワークにおいて、機器のアウトオブバンド管理のための通信量削減手法の研究開発を進めた[9]。さらに、近隣のデバイス同士が自律的に協調を図ることで、資源を共有するとともに処理負荷を分散するサービス提供を可能とするデバイス主体の自律分散処理サービスフレームワークの研究開発も進めた。プロトタイプシステムの研究開発に成功し、本フレームワークを実現するシステムの研究開発ならびに実効性の検証を行った[3, 6, 7]。

(2)プライバシー保護を考慮して情報をセキュアに集約・流通させる技術に関して、無線通信を用いた様々な手法について検討した[2, 4, 5]。これら技術によって、位置情報を組み合わせたマルチモーダルデータで表現される付加情報も

包括的に扱える高次元リスクモデルを検討した。並行して、人間の能力を拡張する次世代情報社会に潜むリスクの明確化に加え、保護レベルの定量化を行う手法や、それらを相互流通し活用する基盤技術の検討も進めている。

(3)人間の能力を拡張する知的支援技術に関して、熟練者が長年の経験と勘に基づいて修得したノウハウを意識し、定量化手法やAI技術について研究開発した。具体的には、農業分野において高品質な果実の収量を生育の早い段階で見積もるには、開花段階でどれだけの花が咲いているのか把握することがとても重要なため、多数かつ小さな花の高精度なカウンティング技術を研究開発した[1]。また、属人的になりがちな収穫果実品質の等級判定も機械的に実現できる手法について、詳細画像認識 (Fine-grained Image Classification)、画像特徴ベクトルの類似度を用いた距離学習、Activation Map を用いたデータ拡張を組み合わせることで、データ数が少なくても一般的な転移学習による画像認識モデルと比較して高い精度で等級判定可能な AI モデルの研究開発に成功した[10, 11]。

様々なインタフェースを介して人間の能力をさらに拡張し強化していくためには、今後ますます社会システムの主要プレーヤーとなっていく人間を理解するための高度・高次センシングや知識活用が重要となっていく。社会を構成する多様な年齢層や生活環境の人々に対し、真に有用な情報を提示するシステムや技術が不可欠となるが、これまでの技術中心のアプローチにおいてはこれらが十分に実現されているとは言い難い。人間と機械が協働し、社会を豊かにする真の情報活用基盤を実現するためには、従来のセンサー計測値や位置情報といった構造化されたプリミティブなコンテキスト情報に加え、経時的かつ様々な要因で変化していくマルチモーダルデータの高度な相互連携処理が必要不可欠と考える。

さらに、スマートシティやスマートビルディング等を想定すると、人の位置や状態に加えて、その環境の設備や空間内のモノの相対関係や状況といったコンテキストを理解し、人間の社会活動や生活を支援することも重要となっていく。例えば、天気予報情報や現地の温湿度情報を組み合わせることで、熱中症警告アプリが構築できるだけでなく、時刻表と車両速度から適切なバス運行情報提供アプリといったものも柔軟に構築できる。このような高度なマルチモーダルデータの相互連携処理のためのデータ共有プロトコルの検討を進めただけでなく、プロトタイプシステムを研究開発することで、専門知識の乏しい人でも IoT サービスを容易に利活用でき

る仕組みの実現を目指した。IoT デバイスの機能とソフトウェアコンポーネントに関するオントロジーを設計・導入についての検討も進め、センサーやアクチュエータが現実世界に与える効果や場所の抽象的表現を検討した。家電や家具、日用品の位置や属性といった情報までシステム側で把握できるようになれば、人の能力を拡張するような行動認識や健康生活支援、見守りといった知的 IoT サービスが実現できる。オフィスや観光地、農場や工場といった場面での作業計画や業務最適化まで期待できると考える。引き続き人間の能力を拡張し強化する高度な協働を実現するマルチモーダルデータ流通処理基盤構築のための技術ならびに社会システムについて議論し、その基本概念の確立を目指していく。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

プロジェクト関連成果を広く共有し議論を深めるため下記国際ワークショップを開催した。

1. CDS 2022 (10th IEEE International Workshop on Consumer Devices, Systems & Services 2022)
2022年6月27日(オンライン実施) IEEE COMPSAC 併設ワークショップとして開催した。代表者らに加え京都大学岡部教授らとともに、コンシューマデバイスやシステムに関して発表4件あり、研究成果議論の場を設けた。
2. PerFlow 2022 (International Workshop on Pervasive Information Flow 2022)
2022年3月21日(オンライン実施) IEEE PerCom 併設ワークショップとして開催した。分担者の大阪大学山口教授、連携者のNAIST安本教授、独マンハイム大学のベッカー教授等の国際協力、通研教員および分担者ら、関連分野の第一線で活躍する国際的研究者等によるプログラム委員会を構成し、Pervasive Information Flow に関して発表4件あり、研究成果議論の場を設けた。
3. PerVehicle 2023(5th International Workshop on Pervasive Computing for Vehicular Systems 2023)
2023年3月13日(オンライン実施) IEEE PerCom 併設ワークショップとして開催。分担者の慶応大学重野教授、大阪大学山口教授らにより組織し、車両活用に関しアクティブに活動する第一線の研究者を招聘してプログラム委員会を構成。車両など移動体からのデータストリーム処理を含むパーベイシブ処理に関し、招待講演1件、発表6件の活発な議論が行われた。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- [1] Umme Fawzia Rahim, Tomoyoshi Utsumi, Hiroshi Mineno, “Deep learning-based accurate grapevine inflorescence and flower quantification in unstructured vineyard images acquired using a mobile sensing platform,” *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.198, Article ID 107088, doi: 10.1016/j.compag.2019.105118, Jul. 2022.
- [2] Kota Mizuno, Yukina Miwa, Katsuhiko Naito, Masaki Ehara, “Location estimation and tracking scheme for passive RF tags with angled antennas,” *IEEE ICCE 2023*, Jan. 2023.
- [3] Airi Nakamura, Katsuhiko Naito, Takaya Yamazato, “Distributed processing framework for cooperative service among edge devices,” *IEEE ICCE 2023*, Jan. 2023.
- [4] Yuito Hayashi, Katsuhiko Naito, “Action Context Estimation Method Based on AoA of Bluetooth 5.1,” *IEEE ICCE 2023*, Jan. 2023.
- [5] Yukina Miwa, Kota Mizuno, Katsuhiko Naito, Masaki Ehara, “Evaluation of Direction Estimation for Trajectory Patterns of moving RF tags with RSSI and Phase Value,” *IEEE GCCE 2022*, Oct. 2022.
- [6] Ren Goto, Kazushige Matama, Chihiro Nishiwaki, Katsuhiko Naito, “Proposal of an extended CYPHONIC adapter supporting general nodes using virtual IPv6 addresses,” *IEEE GCCE 2022*, Oct. 2022.
- [7] Takuya Wada, Katsuhiko Naito, “Proposal of an edge device framework for abstracting sensor and camera devices,” *IEEE GCCE 2022*, Oct. 2022.
- [8] F. Sato and T. Koshizen, “Improved Vanishing Point Accuracy by Integrating Vehicle Detection and Segmentation,” *2022 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, pp. 882-887, doi: 10.1109/IV51971.2022.9827411, 2022.
- [9] 田邊 広大, 北形 元, 長谷川 剛, “LPWA を用いたネットワーク機器のアウトオブバンド管理のための通信量削減手法,” *情報処理学会研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS)*, 2022-DPS-191, pp. 1-6, 2022 年 5 月 19 日.
- [10] 小池 誠, 平原健太郎, 渡辺隆一, 小川晋, 峰野博史, “画像局所特徴の類似度を用いたメロン等級判定システムの開発,” *情報処理*

学会論文誌 *コンシューマ・デバイス&システム*, Vol.13(1), PP.12-25 Jan. 2023.

- [11] 小池 誠, 小川 晋, 峰野博史, “メロン画像特徴量の類似度を用いた等級判定技能習得支援システムの提案,” *情報処理学会研究報告 コンシューマ・デバイス&システム (CDS)*, 2022-CDS-35, pp. 1-7, 2022 年 8 月 29 日.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- [1] Takafumi Sakai, Kenshin Hata, Takuya Wada and Katsuhiko Naito, “IoT Platform using Information Flow to Reduce Load on Cloud,” *IEEE CDS 2022* (Jun. 2022).
- [2] Shota Yamada, Hirozumi Yamaguchi and Hamada Rizk, “An Accurate Point Cloud-Based Human Identification Using Micro-Size LiDAR,” *IEEE PerFlow 2022* (Mar. 2022).
- [3] Hirozumi Yamaguchi, “Location Context and Knowledge Digitalization for Human-centric Digital Twin,” *IEEE PerVehicle 2023* (Mar. 2023).

様式 2 (format 2)

採択回数 (Number of Adoptions)	1	2	3
----------------------------	---	---	---

(萌芽・国際)(EXP, ITL)

採択番号 (Grant No.) : R02/A29KIM/坂本

Cultural-background and auditory selective attention

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator)

Sungyoung Kim (Rochester Institute of Technology)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) :

大谷 真 (京都大学大学院工学研究科)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) 3 人

研究費 (Budget)

物件費 (Consumables) 100,000 円

旅費 (Travel Expenses) 192,000 円

国際特別支援費 (Support for ITL) 100,000 円

[2] 研究経過 (Summary)

Due to the unprecedented pandemic and its continuing influence, the PI could not visit RIEC and conduct scheduled research activities. The focus of the proposed research lies in investigating the relationship between auditory selective attention and individual socio-cognitive constructs, and the planned research activities were conducted in Rochester Institute of Technology (RIT) where the principal investigator (PI), Dr. Sungyoung Kim, belongs to. From the summer (August) of 2022, one Ph.D. candidate, Akira Takeuchi, joined RIT and worked with Dr. Kim on the same topic. As a team, we have conducted a series of new experiments that aim to find both behavioral and biological supports of individual difference induced from cognitive characteristics. We found that at the low SNR condition, meaning that the noise masker became more dominant and distracting, the interdependent self-construal group showed a significantly larger score deviation between the front- and back-masker conditions compared to the independent self-construal group. No clear

difference between groups was found when the SNR was high. This result coincides with the hypothesis of the project (please see the previous reports of 2020 and 2021) as well as the pertinent publications [Kim and Martens, 2007; Kim et al., 2015].

[3] 成果 (Results)

(3 - 1) 研究成果 (Research Results)

The PI conducted a pilot study focusing on the relationship between social orientation (and sense of self) and auditory selective attention. We hypothesized that listeners who tend toward a sense of an interdependent self (self-identity defined through relationships with others) would allocate greater attention to background and contextual auditory information than those who tend toward a sense of an independent self (self-identity defined independently of others), thus affecting their spatial auditory selective attention ability. A total of 24 listeners participated in this experiment. They first completed a survey that measured their sense of self via the self-construal scale (SC) [Singelis, 1994]. The results showed that the group consisted of 10 listeners with an interdependent self-construal and 14 listeners with an independent self-construal. As mentioned above, our hypothesis is that the interdependent group would pay more attention to the masker from the back than the front compared to the other group. As Figure 1 illustrates, at the low SNR condition (-18dB, left bar of each panel), meaning that the noise masker became more dominant and distracting, the interdependent group showed a significantly larger score deviation ($p = 0.0183$) between the front- and back-masker conditions compared to the independent group. No clear difference between groups was found when the SNR was high (-12dB, right bar of each panel).

(3 - 2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields, etc.)

様式 2 (format 2)

Currently, little experimental data exist to support or refute the significance of cultural influences on speech-understanding-in-noise (SiN). The significance of this study lies in the discovery of a measurable cognitive construal that influences a crucial auditory process, selective attention for

spatial hearing. This finding could be applied to accurately assess an individual's hearing difficulty in noisy environments and could lead to the development of novel auditory devices, such as hearing aids, that are optimized for a user's specific cognitive profile.

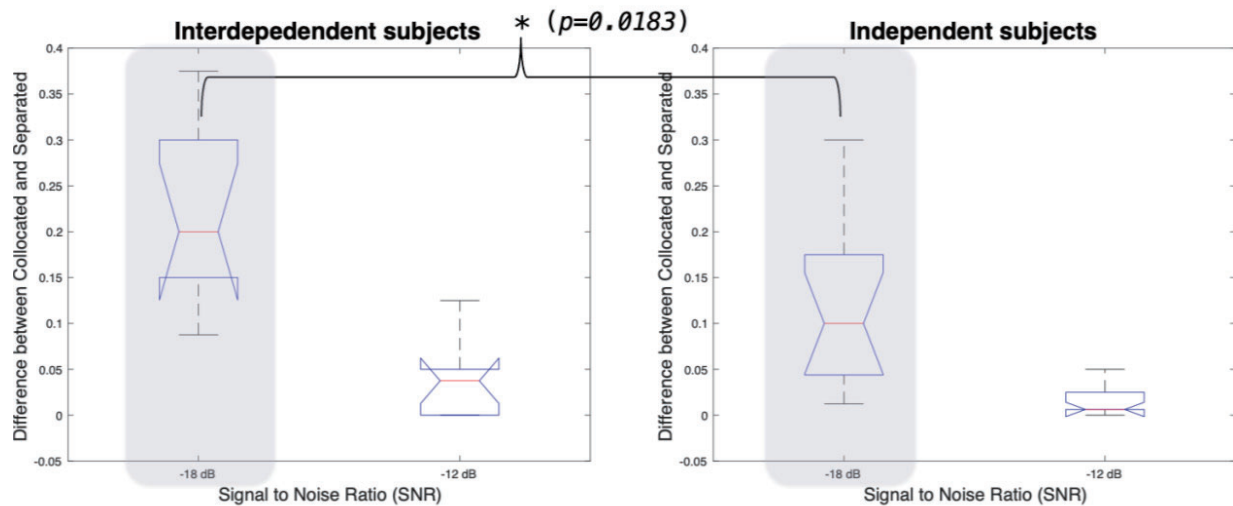


Figure 1. Data collected from 24 participants, which shows difference in correct answer rates between “collocated” and “separated” condition. The collocated condition is where the masker and target were generated from the same front direction while the separated condition is not. When the signal-to-noise ratio (SNR) is small (indicating that the task was relatively easy), there was no big difference between two listener groups (Interdependent (left) and independent (right)).

However, when the SNR gets lower, the difference became significant ($p = 0.0183$). This result indicates that the interdependent self-construal group was more distracted by the spatially separated masker condition, generating a bigger difference between two (collocated and separated) condition. This result lies in line with previous research reports that the interdependent people are more sensitive to given environment and try to understand it holistically.

Bulletin, 20(5), 580-591.

[4] 成果資料 (Publications)

Kim et al., (2022). A Novel Ear Training Game and the Training Influence on Auditory Selective Attention, ICA 2022, Gyungju, Korea.

Takeuchi et al., Spatial Attentional Behavior Analysis Based on Cognitive Style During Speech-in-noise Task (2023). ASA 2023 Spring Meeting, Chicago, USA.

[5] References

Kim, S., Walker, K., & Martens, W. L. (2007). Cross-cultural Descriptive Analysis of Multichannel Auditory Imagery: A comparison of Japanese and English Adjectives. Proceedings of the 13th Regional Convention of AES, Tokyo, Japan.

Kim, S., King, R., & Kamekawa, T. (2015). A Cross-Cultural Comparison of Salient Perceptual Characteristics of Height Channels for a Virtual Auditory Environment. *Virtual Reality*, 19(3), 149-160.

Singelis, T. M. (1994). The Measurement of Independent and Interdependent Self-Construals. *Personality and Social Psychology*

採択番号：R02/A31

非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開

[1] 組織

研究代表者

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

安達 雅春 (東京電機大学大学院工学研究科)

島田 裕 (埼玉大学工学部)

菅野 円隆 (埼玉大学大学院理工学研究科)

黒田 佳織 (東洋大学情報連携学部)

麻原 寛之 (岡山理科大学工学部)

高橋 亮 (京都先端科学大学工学部)

橘 俊宏 (湘南工科大学工学部)

関屋 大雄 (千葉大学大学院融合理工学府)

加藤 秀行 (大分大学理工学部)

安東 弘泰 (筑波大学システム情報系)

藤田 実沙 (中央大学工学部)

黒川 弘章 (東京工科大学工学部)

藤原 寛太郎 (東京大学国際高等研究所 ニュー

ロインテリジェンス国際研究機構)

神野 健哉 (東京都市大学情報工学部)

池口 徹, 長谷川 幹雄, リアオハン, 後藤田

浩, 伊藤 拓海, Nina Sviridova (東京理科大学

工学部)

松本 朋子 (東京理科大学理学部)

木村 貴幸, 進藤 卓也 (日本工業大学工学部)

松浦 隆文 (日本工業大学先進工学部)

保坂 亮介 (福岡大学理学部)

伊藤 佳卓 (北海道科学大学工学部)

小林 幹 (立正大学経済学部)

對馬 帆南, 澤田 和弥, 澤田 幸輝, 石川 竜

吉, 塚本 陽太, 森 太紀, 郭 豊愷 (東京理

科大学大学院工学研究科)

内野 翔太 (岡山理科大学大学院工学研究科)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

実在あるいは将来の非線形・複雑工学システムに対し, 最新の非線形系科学, 複雑系科学, ネットワーク科学の知見を応用することにより, 効率的で高性能, かつ, 安全で安心な工学システムを実現する技術を開発することを目的として研究を行った。同時に, これらの実工学システムから得られた知見を, 基盤となる理論研究に還元することにより, 理論研究と実装技術の相補的な深化をはかることも本プロジェクトの大きな目的である。

本年度が 3 年目となる本プロジェクトでは,

昨年度までの成果に基づき, 各対象システムに固有な特徴の抽出を行うと共に, 各要素の設計に繋がるよう非線形複雑システムの構成論的研究を推進した。また新たに, 動的・時変非線形ネットワークの一つとして, 入力時空間パターン列に内在するコンテキストを学習・記憶するニューラルネットワークについて, 重点的に研究した。

以下, 研究活動状況の概要を記す。本年度も COVID-19 の影響を受けたが, 関連の深い 2 つの共同プロジェクト研究, 【R03/B06】「制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装」と【R03/B08】「進化計算の機械学習への適用に関する研究」と 12 大学合同の「非線形ワークショップ」, さらには科研費基盤研究(A)「ブレインモルフィックコンピューティングハードウェア基盤の構築」との協働で下記に示す研究会をオンサイトで開催した。3 日間の述べ参加人数は 148 名で, 15 件の口頭発表, 29 件のポスター発表があった。口頭発表者及びタイトルを以下に示す。

1. 塚田 稔 (玉川大学) A Dynamic System Model for Sequence Discrimination by Hebb and Spatiotemporal Learning Rule,
2. 田中 康裕 (玉川大学) in vivo 脳ダイナミクス研究の現在,
3. 奈良 重俊 (岡山大学) カオスの複雑な制御への応用及び 3 輪自走ロボットへの搭載と迷路求解実験,
4. 塚本 陽太 (東京理科大学) 時空間学習則において時間履歴が学習メカニズムに与える影響,
5. 杉崎 えり子 (玉川大学) アセチルコリン投与による学習則のスイッチング,
6. 毛内 拓 (お茶の水女子大学) 経頭蓋直流電気刺激が惹起する大脳皮質シナプス可塑性調節のメカニズム,
7. 李 珍咏 (東京大学) 芸術表現と脳型演算 / STREAM2 について,
8. 朱 聞起 (千葉大学) 一定電圧・一定電流の切替機能を有するハイブリッド型負荷非依存 E/EF 級インバータ,
9. 小林 幹 (立正大学) リザーバコンピューティングの力学系解析,
10. 加藤 秀行 (大分大学) ネットワークモチーフ解析によるスーパーファミリー現象を用いた力学系の解分類法の検討,
11. 山仲 芳和 (宇都宮大学) 力学的に更新される粒子群を用いた動的環境下における複数最適解の同時探索および追跡に向けて,
12. 羅 煒森 (千葉工業大学) PSO によるニュートン法の電源回路最適化,
13. 藤田 実沙 (中京大学) カオスニューラルネットワークリザーバによる心電時系列予

測に関する一考察, 14. 黒川 弘章 (東京工科大学) 多数決を導入したシステム推定, 15. 堀尾喜彦 (東北大学) ブレインモルフィックコンピューティングと身体性.

またこの機会に, 各研究班及び全体の研究打合せ, さらに, 玉川大学・岡山大学・東京大学等との共同研究についての打合せも行った.

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本研究プロジェクトが対象とする複雑工学システムの研究分野は, 脳の特異的情報処理様式を実現するブレインモルフィックコンピューティングハードウェアの開発, アトラクタ再構成による非線形系のパラメータ推定, ED 級, EF 級や E² 級電力コンバータの非線形設計手法の開発, 無線電力伝送システムの設計とロボットへの応用, カオス最適化や粒子群最適化のネットワークルーティングや無線通信における周波数リソース分配などへの応用, 小型レーザーカオス発振デバイスとその高速暗号及び物理リザーブ計算への応用と解析, 脳神経発火パターンの解析手法の提案, ロケット火炎の解析など広範に及び, 非線形系・複雑系理論の工学システムへの応用に関して有用な成果が得られている. 成果の一例として, 特に本年度重点的に研究を行った空間時系列学習・記憶ネットワークについて以下に述べる.

生理学的研究から, 海馬 CA1 エリアには, 空間時系列を学習して, シナプス結合空間にフラクタル状に記憶する学習則と記憶ネットワークが存在することが明らかになっており, 近年, その機序が理論的に示されつつある. この即時学習・記憶が可能なネットワークを次世代のエッジ AI に応用するため, 超小型・超低消費電力なアナログ集積回路を核としてこれを実装することが目的である. そのため, まず, 差分方程式で与えられていた時空間学習則 (STLR) を, 非同期スパイクングアナログ電子回路での実装に適するよう, 微分方程式モデルへと拡張し, この学習則と Hebb 学習則 (HELRL) の 2 つを同時に備えた拡張時空間コンテキスト学習記憶ネットワーク (eSTCLMN) を提案した (図 1). 次に, このモデルの有効性を確認するシミュレーションを行い, eSTCLMN が, 時空間列中に埋め込まれたコンテキストの僅かな違いをシナプス重み空間に写像して学習・記憶できることを確認した (図 2). さらに, アナログ集積回路での実装に必要な有効ビット長が 8 bit であることを確認した. これに基づいて eSTCLN を個別部品実装し, 時系列空間パターンの学習実験を行い, 良好な結果を得た.

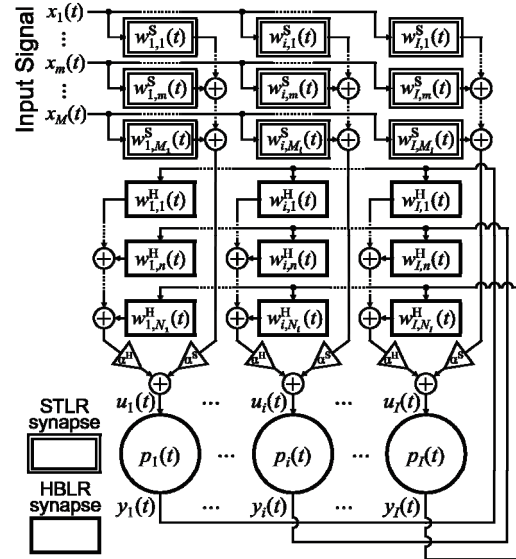


図 1: 提案した eSTCLMN の構成

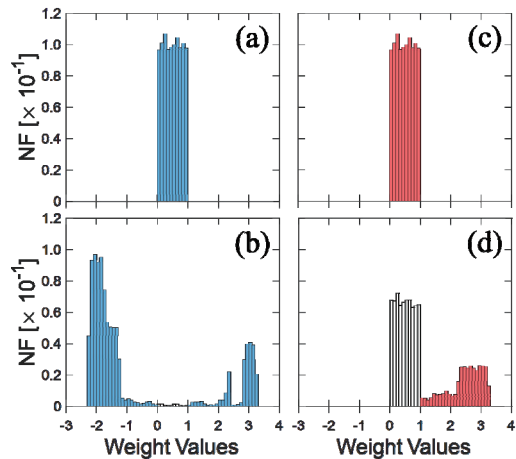


図 2: 学習前後のシナプス結合分布.
(a), (b) STLR, (c), (d) HELR

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本研究の学術分野への貢献として, 電子情報通信学会・非線形問題研究会および複雑コミュニケーション科学研究会に大きな影響を与えと共に, International Symposium on Nonlinear Theory and Its Application においては, 本研究メンバーにより合計 41 件の研究発表を行った.

また, 本プロジェクト研究の成果は, 科研費基盤研究(A)「ブレインモルフィックコンピューティングハードウェア基盤の構築」JSPS, R2-R6; 科研費挑戦的研究 (開拓)「「自分」を持つハードウェア: 脳型自律ハードウェアのための動的原自己の実現」JSPS, R3-R6; 科研費学術変革領域研究(B)「脳神経マルチセラーバイオコンピューティング」JSPS, R2-R4; 科研費基盤(B)「メタ文法規則の導出による数理言語学基盤の構築」JSPS, R2-R6 などの採択に繋がった. さらに, 玉川大学/岡山大学/東京大学との共同研究の開始に向けても進展している.

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- [1] Y. Sato, H. Yamamoto, H. Kato, T. Tani, S. Sato, and A. Hirano-Iwata, "Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks," *Frontiers in Neuroscience*, vol. 16, no. 943310, 2023. DOI: 10.3389/fnins.2022.943310
- [2] T. Komai, H. Kurokawa, S.J. Kim, "Human randomness in rock-paper-scissors game," *Appl. Sci.*, vol. 12, Issue 23, 12192, 2022. DOI: 10.3390/app122312192
- [3] R. Motoki, K. Jin'no, "Estimating label of data using Fisher criterion," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 13, no. 2, pp. 252-257, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.252,
- [4] M. Yasumuro, K. Jin'no, "Japanese fingerspelling identification by using Mediapipe," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 13, no. 2, pp.288-293, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.288
- [5] T. Saito, K. Jin'no, "Consideration of the output series generated by hysteresis reservoir computing," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 13, no. 2, pp. 258-263, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.258
- [6] T. Fukawa, K. Jin'no, "Evaluation of the effect of phoneme time stretching on speaker embedding," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 13, no. 2, pp. 277-281, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.277
- [7] T. Genka, K. Jin'no, "Relationship between the number of elements in constraint satisfaction problems and the computation time of HNN," *Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE*, vol. 13, no. 2, pp. 282-287, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.282
- [8] T. Orima, Y. Horio and T. Tsuji, "Towards hardware implementation of hippocampal spatiotemporal learning memory network model," in *Abstract Book of The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, p. 28, February 17-18, 2023.
- [9] Y. Kikuchi, Y. Horio, S. Fukami, and H. Ando, "Tunnel conductance modeling of spintronics devices based on device temperature dynamics," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 139-142, December 12-15, 2022.
- [10] A. Kato, Y. Itoh and M. Adachi, "Information entropy of transition probability matrix obtained from chaotic time series data," in *Proc. the 2023 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing*, pp. 430-433, March 2023.
- [11] I. Tajima, H. Kurokawa, "Hand-written character recognition by writing sound using a one-dimensional convolutional neural network," in *Proc. ICATSD2022/CIIA2022*, pp.135-141, November 2022.
- [12] T. Hasegawa, H. Matsushita, T. Kousaka, H. Kurokawa, "An application software for bifurcation point detection of dynamical systems with nested-layer particle swarm optimization," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 184-187, Dec., 2022. DOI: 10.34385/proc.71.A5L-E-02
- [13] R. Motoki, K. Jin'no, "Label estimation of data using the modified Fisher criterion," in *Proc. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 1694-1699, Oct. 9-12, 2022. DOI: 10.1109/SMC53654.2022.9945463
- [14] M. Izumi, K. Jin'no, "Investigation of the influence of datasets on image generation using Sentence-BERT," in *Proc. International Conference of Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 252-255, 2022. DOI: 10.34385/proc.71.B1L-E-03
- [15] M. Dai, K. Jin'no, "Toward the realization of lightweight CNN," in *Proc. International Conference of Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 301-304, 2022. DOI: 10.34385/proc.71.B2L-E-04
- [16] S. Okamoto, K. Jin'no, "Feature of latent variables in rotational transformation of face images by U-Net," in *Proc. International Conference of Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 256-259, 2022. DOI: 10.34385/proc.71.B1L-E-04
- [17] R. Takato, K. Jin'no, "Learning a simple multilayer perceptron with PSO," in *Proc. International Conference of Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 470-473, 2022. DOI: 10.34385/proc.71.C3L-C-01
- [18] Y. Nakazato, K. Jin'no, "Finding the minimum value of a function using the emergence phenomenon of Boids," in *Proc. International Conference of Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 474-477, 2022. DOI: 10.34385/proc.71.C3L-C-02
- [19] C. Takahashi, K. Jin'no, "Proposal of a new zero-shot evaluation index for simple CNN," in *Proc. International Conference of Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 478-481, 2022. DOI:10.34385/proc.71.C3L-C-03
- [20] S. Okamoto, K. Jin'no, "A study of the role of latent variables using three-dimensional shapes," in *Proc. RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing*, pp. 466-469, 2023.
- [21] C. Takahashi, K. Jin'no, "Zero-shot evaluation index based on robustness of CNN output," in *Proc. RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing*, pp. 462-465, 2023.
- [22] C. Takahashi, K. Jin'no, "Proposal of a classification performance index based on the

- sum of the number of channels on CNN," in Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks, pp. 63-66, Dec. 9, 2022.
- [23] M. Dai, K. Jin'no, "Prediction of CNN classification performance by polynomial regression," in Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks, pp. 67-70, Dec. 9, 2022.
- [24] K. Jin'no, "Artificial Neural Network Research Revisited," in Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks, pp. 78-81, Dec. 9, 2022. (Invited Paper)
- [25] H. Kato, K. Kato, S. Karube, H. Asahara, and T. Kousaka, "Taming chaos in stick-slip vibrations of forced-self-excited mechanical systems with dry friction," in Proc. 54th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, pp. 63-64, 2022.
- [26] M. Kawaguchi and H. Kato, "The effects of symmetrization of k-nearest neighbor recurrence plot on superfamily phenomena in time series," in Proc. International Symposium on the Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 107-110, 2022.
- [27] T. Shinkawa, H. Kato, Y. Ishikawa, T. Sumi, H. Yamamoto, and Y. Katori, "Effects of synaptic scaling on spontaneous firing activity in spiking neural networks with modular structure," in Proc. International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 388-391, 2023.
- [28] Y. Itoh, "Predicting a parameter value at which a critical transition occurs from Lyapunov exponents in an estimated parameter space," in Proc. International Symposium on the Nonlinear Theory and Its Applications, pp.143-146, 2022.
- [29] Y. Itoh, "Verifying robustness of parameter space estimation for predicting a critical transition," in Proc. International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, 2023.
- [30] 堀尾喜彦, "高次元複雑ダイナミクスとブレインモルフィックコンピューティング," 第70回日本応用物理学会春季講演会 講演予稿集, 18p-A30249, p. 100000001-329, 2023年3月18日。(招待講演)
- [31] 藤井香之介, 堀尾喜彦, 織間健守, 辻 孟, 石井豪, "時間履歴を持つ出力ニューロンを用いたニューラルネットワークリザバー," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, N-1-15, p. 214, 2023年3月8日.
- [32] 辻 孟, 織間健守, 堀尾喜彦, "時空間学習則のハードウェア化に向けた回路精度の検討," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, N-1-14, p. 213, 2023年3月8日.
- [33] 織間健守, 辻 孟, 堀尾喜彦, "様々な回路実装方式に対応可能な時空間学習則の汎用定式化," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, N-1-13, p. 212, 2023年3月8日.
- [34] K. Morm, Y. Horio, and T. Orima, "Application of FORCE learning to chaotic neural network reservoir," 電子情報通信学会総合大会講演論文集, N-1-12, p. 211, 2023年3月8日.
- [35] 藤田実沙, "ReLUカオスニューロンモデルの分岐構造の定性的調査," 2022年電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, B-18, 2022年6月11日.
- [36] 齋東龍也, 藤田実沙, "ReLU 派生関数を用いた Chaotic Neural Network Reservoir による時系列予測の性能評価," 電子情報通信学会技術研究報告, NLP2022-27, 2022年8月2日.
- [37] 市川慎人, 藤田実沙, "巡回トーナメント問題に対する確率的局所探索の各確率の設定に関する研究," スケジューリング・シンポジウム 2022 講演論文集, pp. 44-47, 2022年9月16日.
- [38] 今井蓮, 藤田実沙, "巡回セールスマン問題を解く遺伝的アルゴリズムに対して個体数が及ぼす影響の調査," 第85回情報処理学会全国大会, 7M-03, 2023年3月4日.
- [39] 高頭陸, 神野健哉, "ニューラル多クラス分類器の PSO による学習," 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-11, 2022年6月11日.
- [40] 元木竜平, 神野健哉, "修正フィッシャー評価基準を用いた多クラス分類," 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-14, 2022年6月11日.
- [41] 泉 諒音, 神野健哉, "Sentence-BERT の文ベクトルの UMAP による特徴解析," 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-17, 2022年6月11日.
- [42] 代美月, 神野健哉, "CNNにおける Dropout と Batch Normalization の CIFAR-10 に対する最適値の考察," 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-20, 2022年6月11日.
- [43] 岡本紗季, 神野健哉, "U-Net による顔画像の回転変換," 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-40, 2022年6月11日.
- [44] 中里悠介, 神野健哉, "評価関数による Boids が呈する動現象の観測," 電子情報通信学会 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-43, 2022年6月11日.
- [45] 代 美月, 神野健哉, "画像分類性能の高い CNN モデルの構造の検討," 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-27, 2022年8月4日.
- [46] 岡本紗季, 神野健哉, "Auto Encoder と U-Net の潜在変数の役割に関する検討," 電子情報

- 通信学会複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-29, 2022年8月4日.
- [47] 泉 諒音, 神野 健哉, "UMAPによる Sentence-BERT における入力文の変化に対する文ベクトルの検討," 電子情報通信学会複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-30, 2022年8月4日.
- [48] 高頭 陸, 神野健哉, "摂動を用いた PSO による MLP の学習について," 電子情報通信学会複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-32, 2022年8月5日.
- [49] 小山 伶, 布川大知, 代 美月, 井波辰朗, 神野健哉, "CNN による顔画像からの感情分析の検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, N-1-9, 2022年9月6日.
- [50] 泉 諒音, 代 美月, 神野 健哉, "Sentence-BERT を用いた画像生成における車の色変化の実験," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, N-1-10, 2022年9月6日.
- [51] 高橋知里, 神野健哉, "CNN 構造の次元数の減少率と分類精度の関係の検討," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, N-1-11, 2022年9月7日.
- [52] 中里悠介, 神野健哉, "三種の Boids が呈する動現象の観測," 電子情報通信学会ソサイエティ大会, N-1-12, 2022年9月7日.
- [53] 泉 諒音, 神野健哉, "Sentence-BERT の文ベクトルによる画像生成," 情報処理学会/電子情報通信学会 第21回情報科学技術フォーラム, CE-003, 2022年9月13日.
- [54] 岡本紗季, 神野健哉, "U-Net による顔画像の回転変換での潜在変数の特性," 情報処理学会/電子情報通信学会 第21回情報科学技術フォーラム, 2022年9月13日.
- [55] 布川大知, 神野健哉, "音声特徴抽出と話者制御音声合成の2段階処理による声質変換," 電子情報通信学会複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-52, 2022年11月17日.
- [56] 岡 晴香, 神野健哉, "CNN による超解像の検討," 電子情報通信学会複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-53, 2022年11月17日.
- [57] 高橋知里, 神野健哉, "CNN に適した総チャンネル数を示す指標の検討," 電子情報通信学会複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-54, 2022年11月17日.
- [58] 中里悠介, 神野健哉, "Boids を用いた群れ生成のシミュレーション," 電子情報通信学会複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-56, 2022年11月17日.
- [59] 岡本紗季, 神野健哉, "生成立体画像を用いた潜在変数の役割に関する検討," 電子情報通信学会総合大会, D-12-22, 2023年3月8日.
- [60] 泉 諒音, 神野健哉, "Sentence-BERT の文ベクトルの性質を用いた画像加工の実験", 電子情報通信学会総合大会, D-12-9, 2023年3月8日.
- [61] R. Ishida, K. Jin'no, "Contributions of the influence of color and shape on the latent space of AE," 電子情報通信学会総合大会, D-12-2, 2023年3月8日.
- [62] 齋藤 吏, 神野健哉, "ヒステリシスリザバーコンピューティングにおける周期記憶とカオス力学系の学習," 電子情報通信学会非線形問題研究会, NLP2022-145, 2023年3月15日.
- [63] 泉 諒音, 神野健哉, "Sentence-BERT で生成される文ベクトルを用いた類義語間の類似性の調査," 電子情報通信学会非線形問題研究会, NLP2022-146, 2023年3月15日.
- [64] 加藤秀行, "自己組織スパイクング神経回路網モデルにおける臨界現象の解析," NOLTA ソサイエティ大会論文集, NLS-27, 2022.
- [65] 川口雅斗, 加藤秀行, "ネットワークモチーフ解析によるスーパーファミリー現象を用いた力学系の解分類法の検討," 電子情報通信学会非線形問題研究会 信学技報, vol. 122, no. 373, NLP2022-98, pp. 93-98, 2023.
- [66] 東 宏錦, 加藤秀行, "ニューラル機械翻訳機の Transformer が生成する文脈ベクトルの定性的解析," 電子情報通信学会非線形問題研究会 信学技報, vol. 122, no. 436, NLP2022-148, pp. 192--197, 2023.
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
- [1] T. Orima and Y. Horio, "Preliminary experimental results of a stacked 3D cyclic chaotic neural network reservoir integrated circuit," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 306-311, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.306
- [2] Y. Horio, K. Naoe, S. Sato, Y. Yamanouchi, Y. Takaura, M. Yamaguchi, M. Morishima, and A. Hirano-Iwata, "Designing the human-centric IoT society: Cooperative industry-academic strategies for creative future connection," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 197-202, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.197
- [3] K. Onuki, K. Cho, Y. Horio, and T. Miyano, "Secret-key exchange through synchronization of randomized chaotic oscillators aided by logistic hash function," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 69, no. 4, pp. 1655-1667, 2022. DOI: 10.1109/TCSI.2022.3140762
- [4] T. Hasegawa, H. Matsushita, T. Kousaka, H. Kurokawa, "Bifurcation point detection with parallel nested layer particle swarm

- optimization," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 312-317, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.312
- [5] T. Hirayama, H. Matsushita, H. Kurokawa, T. Kousaka, "Improved nested-layer particle swarm optimization-based bifurcation point detection for the parameter space containing various bifurcation points," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 493-510, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.493
- [6] D. Kishishita, A. Yamagishi, and T. Matsumoto, "Overconfidence, income-ability gap, and preferences for income equality," *European Journal of Political Economy*, vol. 77, 102279, 2023. DOI: 10.1016/j.ejpoleco.2022.102279
- [7] T. Nakajima, R. Hosaka, and H. Mushiake, "Complementary roles of primate dorsal premotor and pre-supplementary motor areas to the control of motor sequences," *Journal of Neuroscience*, JN-RM-2356-21, 2022
- [8] T. Matsumoto and T. Tetsuji, "Elite mobility and continuity during a regime change." *The British Journal of Sociology*, vol.72, no.2, pp.205-221, 2023. DOI: 10.1111/1468-4446.13000
- [9] H. Kubo, T. Matsumoto, and K. Yamamoto, "Party switching and policy disagreement: scaling analysis of experts' judgment," *Japanese Journal of Political Science*, vol.23 no.3, pp.254-269, 2022. DOI: 10.1017/S1468109922000160
- [10] C. Haga, Y. Shimada, "Analyzing the relationships between tissue-specific gene expression and subgraphs in gene regulatory networks," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 415-420, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.415
- [11] K. Magishi, T. Matsumoto, Y. Shimada, T. Ikeguchi, "Investigation of the structural features of word co-occurrence networks with increasing numbers of connected words," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 343-348, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.343
- [12] K. Sawada, Y. Shimada, T. Ikeguchi, "Similarities of inter-point distance distributions on original and reconstructed attractors," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 385-390, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.385,
- [13] N. Sukegawa, and T. Ikeguchi, "How to perturb Bernoulli shift map," *Chaos, Soliton & Fractals*, vol. 165, part 1, 112793, 2022.
- [14] R. Nomura, K. Fujiwara, and T. Ikeguchi, "Superposed recurrence plots for reconstructing a common input applied to neurons," *Physics Review E*, vol. 106, iss. 3, 034205, 2022.
- [15] N. Sviridova, T. Zhao, A. Nakano, and T. Ikeguchi, "Photoplethysmogram recording length: Defining minimal length requirement from dynamical characteristics," *Sensors*, vol. 22, no. 14, 5154, 2022.
- [16] H. Tsushima and T. Ikeguchi, "Statistical analysis on usage history of bike sharing systems," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. E13-N, no. 2, pp. 355-360, 2022.
- [17] Y. Tsukamoto, H. Tsushima, and T. Ikeguchi, "Non-periodic responses of the Izhikevich neuron model with periodic inputs," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. E13-N, no. 2, pp. 367-372, 2022.
- [18] K. Sawada, Y. Shimada, and T. Ikeguchi, "Similarities of inter-point distance distributions on original and reconstructed attractors," *Nonlinear Theory and Its Applications*, IEICE, vol. E13-N, no. 2, pp. 385-390, 2022.
- [19] M. Sugiyama, A. Li, Z. Duan, M. Naruse, M. Hasegawa, "BER minimization by user pairing in downlink NOMA using laser chaos decision-maker," *Electronics*, vol. 2022, no.11, pp. 1452, 2022. DOI: 10.3390/electronics11091452
- [20] N. Wakamiya, K. Leibnitz, F. Peper, M. Hasegawa, "Evaluation and optimization of asynchronous pulse code multiple access," *Nonlinear Theory and Its Applications*, vol.13, no. 2, pp. 318-323, 2022. DOI: 10.1587/nolta.13.318
- [21] N. Fujita, N. Chauvet, A. Roma, R. Horisaki, A. Li, M. Hasegawa, M. Naruse, "Efficient pairing in unknown environments: Minimal observations and TSP-based optimization," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 57630-57640, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3179113
- [22] D. Yamamoto, H. Furukawa, A. Li, Y. Ito, K. Sato, K. Oshima, S. Hasegawa, Y. Watanabe, Y. Shoji, S.J. Kim, M. Hasegawa, "Performance evaluation of reinforcement learning based distributed channel selection algorithm in massive IoT networks," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 67870-67882, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3186703
- [23] S. Hasegawa, R. Kitagawa, A. Li, S.J. Kim, Y. Watanabe, Y. Shoji and M. Hasegawa, "Multi-armed-bandit based channel selection algorithm for massive heterogeneous Internet of things networks," *Applied Sciences-Basel*, vol. 12, no. 15, 7424, 2022. DOI: 10.3390/app12157424
- [24] N. Okada, T. Yamagami, N. Chauvet, Y. Ito, M. Hasegawa, M. Naruse, "Theory of acceleration of decision-making by correlated time sequences," *Complexity*, vol. 2022, 5205580, DOI: 10.1155/2022/5205580, 2022.
- [25] D.I. Noh, S.G. Jeong, H.T. Hoang, Q.V. Pham, T. Huynh-The, M. Hasegawa, H. Sekiya, S.Y. Kwon, S.H. Chung, W.J. Hwang, "Signal preprocessing technique with noise-tolerant for RF-based UAV signal classification," *IEEE Access*, 2022. DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3232036
- [26] S. Hasegawa, K. Kuwata, A. Li, Y. Watanabe, Y. Shoji, M. Hasegawa, "UAV data delivery and

- routing optimization in piggyback network," *Nonlinear Theory and Its Applications*, vol.14, no.1, pp.66–77, 2023. DOI: 10.1587/nolta.14.66
- [27] N. Fujita, A. Röhm, T. Mihana, R. Horisaki, A. Li, M. Hasegawa and M. Naruse, "Pairing optimization via statistics: Algebraic structure in pairing problems and its application to performance enhancement," *Entropy*, vol. 2023, no. 25(1), pp. 146, 2023. DOI: 10.3390/e25010146
- [28] A. Nakamura, K. Honda, F. Peper, K. Leibnitz, N. Wakamiya, M. Hasegawa, "Performance evaluation of CSS-APCMA for massive IoT using GNU Radio/USRP," *IEICE Communications Express*, vol. 2022XBL0193, 2023. DOI: 10.1587/comex.2022XBL0193
- [29] T. Tsuru, M. Hasegawa, Y. Shoji, K. Nguyen, and H. Sekiya, "An implementation and evaluation of MPTCP-based IoT router," *Multimedia Tool and Applications*, 2023. DOI: 10.1007/s11042-023-14781-8
- [30] 後藤友綺, 黒川弘章, 松下春奈, 高坂拓司, "入れ子構造型粒子群最適化を用いた非線形力学系の Neimark-Sacker 分岐点導出法について," *電気学会論文誌 C*, vol. 142, no. 6, pp. 670-678, DOI:10.1541/ieejieiss.142.670, 2022.
- [31] 浅見靖仁, 松本朋子, "バンコクの地域的多様性と有権者の投票行動: 政治対立の構図と世代間格差の交差," *法学志林*, vol. 120, no. 3, pp. 1-32, 2023.
- [32] S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "Ultra-low power analog CMOS implementation of spiking neural networks for reservoir computing applications," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp. 171-172, December 12-15, 2022.
- [33] S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio, and J. Madrenas, "A fully analog CMOS implementation of a two-variable spiking neuron in the subthreshold region and its network operation," in *Proc. International Joint Conference on Neural Networks, #792 (7 pages)*, July 19-23, 2022.
- [34] R. Hosaka, H. Watanabe, T. Nakajima, and H. Mushiake, "LFP Theta dynamics contribute to retrieving motor plans after interruptions in the primate premotor area," *The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer*, 2022.
- [35] R. Adachi, H. Matsushita, H. Kurokawa, T. Kousaka, "Application of differential evolution to detect bifurcation point with high number of periods," in *Proc. IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks*, p. 9-11, Dec., 2022.
- [36] R. Adachi, H. Matsushita, H. Kurokawa, T. Kousaka, "Investigation of bifurcation point detection method based on a differential evolution," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*, pp. 635-637, DOI: 10.34385/proc.71.D2L-C-01, Dec. 2022.
- [37] T. Matsumoto, K. McElwain, K. Okada, and J. Kato, "The economic and political preferences of Japanese homemakers," *Association for Asian Studies Annual Conference*, March 18, 2023.
- [38] J. E.C. Hymans, and T. Matsumoto, "Comparing Hibakusha testimonials with Hiroshima and Nagasaki mayors' annual speeches." *Association for Asian Studies 2023 Annual Conference*, online, February 17, 2023.
- [39] T. Matsumoto, D. Kishishita, and A. Yamagishi, "More public goods, larger government, and more redistribution," *79th Annual Midwest Political Science Association Conference*, April 9, 2022.
- [40] J. E. C. Hymans, and T. Matsumoto, "Listening to the Hibakusha with quantitative text analysis." *79th Annual Midwest Political Science Association Conference*, April 8, 2022.
- [41] M. U. Kobayashi, "Reconstruction of nonhyperbolic properties in chaotic dynamical systems by a data-driven model using reservoir computing," *Workshop on Ergodic Theory, Dynamical Systems and Climate Sciences 2023*.
- [42] K. Nakai, M.U. Kobayashi, N. Tsutsumi, and Y. Saiki, "Evaluation of a data-driven model using reservoir computing from dynamical system point of view," *Dynamics Days Europe 2022*.
- [43] R. Takahashi, T. Mamiya, S. Mochiyama, H. J. Jaber, T. Hikihara, and A. Castellazzi, "Performance evaluation of discontinuous-PWM Y-inverter AC motor drive system focusing on a wide range of motor rotation speeds," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, Dec. 12–15, 2022.
- [44] K. Kato, H. Kato, H. Asahara, D. Ito, and T. Kousaka, "Effects of a nonlinear packet drop probability function on RED performance," in *Proc. International Symposium on the Nonlinear Theory and Its Applications*, pp.45-48, 2022.
- [45] K. Hiraki, J. Adachi, T. Matsuura, T. Kimura, "An effective routing strategy with congestion signaling for communication networks," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp.192-195, 2022. DOI: 10.34385/proc.71.A5L-E-04
- [46] J. Adachi, K. Hiraki, T. Matsuura, T. Kimura, "Performance evaluation of tabu search method and adaptive large neighborhood search method in the electric vehicle routing problems with time windows," in *Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications*, pp.536-539, 2022. DOI: 10.34385/proc.71.C4L-C-04
- [47] T. Matsuura, "Local search method for solving min-max multiple bike dishing dystem routing problem," in *Proc. RISP International Workshop*

- on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 368–371, 2023.
- [48] J. Adachi, T. Matsuura, T. Kimura, "Performance evaluation of chaotic search with stochastic solution transitions for various types of electric vehicle routing problems with time windows," in Proc. International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 442-445. 2023.
- [49] Y. Tsukamoto, H. Tsushima, and T. Ikeguchi, "Periodic input leads an Izhikevich neuron to induce both periodic and irregular responses," in Proc. of RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 438-391, 2023.
- [50] Y. Tsukamoto, H. Tsushima, and T. Ikeguchi, "Rich spike patterns from the Izhikevich neuron model in response to periodic inputs," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, B2L-E-03, Dec. 2022.
- [51] N. Sviridova and T. Ikeguchi, "Detecting determinism in noisy time series with variable minimal diagonal line length in recurrence quantification analysis," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, A5L-E-01, Dec. 2022.
- [52] H. Tsushima N. Sviridova, and T. Ikeguchi, "Tabu search for solving multiple-vehicle bike sharing system routing problem with real port distribution," in Proc. 2nd International Conference on Electrical, Computer, Communications and Mechatronics Engineering, pp. 402-407, 2022.
- [53] N. Sviridova, K. Sawada, T. Ikeguchi, "Consistency of determinism detection in sparse photoplethysmogram recordings," in Proc. Sixth International Conference on Biological Information and Biomedical Engineering, pp. 128-131, 2022.
- [54] T. Otsuka, A. Li, K. Inaba, H. Takesue, K. Aihara and M. Hasegawa, "High speed resource allocation optimization of NOMA system via coherent Ising machine," The 18th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications, p. 145, 2022.
- [55] K. Honda, A. Nakamura, M. Hasegawa, F. Peper, K. Lebntiz and N. Wakamiya, "Massive IoT demonstration experiment of CSSAPCMA using 500 devices," in Proc. The 18th International Conference on Multimedia Information Technology and Applications, p.132, 2022.
- [56] U. Ikumi, L. Aohan, F. Minoru, K. Song-Ju, M. Hasegawa, "Design and implementation of SF selection based on distance and SNR using autonomous distributed reinforcement learning in LoRa networks," 4th EAI International Conference on Artificial Intelligence for Communications and Networks, 2022.
- [57] N. Fujita, A. Röhms, T. Mihana, R. Horisaki, A. Li, M. Hasegawa, M. Naruse, "An efficient observation algorithm that achieves the minimum number of measurements for pairing optimization," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. B3L-D-01, 2022.
- [58] K. Makizoe, A. Yumoto, K. Oshima, K. Suzuki, M. Hasegawa, "An application of reinforcement learning to ground station selection in satellite-terrestrial optical communication," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. B3L-D-02, 2022.
- [59] K. Honda, A. Nakamura, F. Peper, K. Leibnitz, N. Wakamiya, M. Hasegawa, "Performance evaluation of CSS-APCMA by experiments using 500 devices for massive IoT," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. B3L-D-04, 2022.
- [60] A. Li, Z. Duan, M. Naruse, M. Hasegawa, "Uplink grant-free NOMA using laser chaos decision maker," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. B4L-C-01, 2022.
- [61] T. Yamagami, N. Okada, Y. Ito, M. Hasegawa, M. Naruse, "Correlated random walk model for decision making acceleration by time-correlated time sequences," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. C2L-C-02, 2022.
- [62] T. Otsuka, A. Li, H. Takesue, K. Inaba, K. Aihara, M. Hasegawa, "Fast resource allocation for the NOMA system using coherent Ising machine," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. B3L-D-03, 2022.
- [63] M. Sugiyama, A. Li, M. Naruse, M. Hasegawa, "Scalable channel allocation in downlink NOMA using parallel array of laser chaos decision-maker," in Proc. International Conference on Information Networking, pp. 461–466, 2023. DOI: 10.1109/ICOIN56518.2023.10048909
- [64] T. Osada, H. Yasuda, A. Li, S.J. Kim, M. Hasegawa, "Design and implementation of decentralized TDMA for low power IoT devices based on desynchronization of nonlinear oscillators," International Conference on Artificial Intelligence in Information and Communication, 2023.
- [65] K. Shiotsuka, K. Honda, K. Leibnitz, F. Peper, N. Wakamiya, Y. Maeda and M. Hasegawa, "Experimental demonstration of APCMA's scalability advantage over current LPWA," in Proc. International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp.13–16, 2023.
- [66] M. Fujisawa, H. Yasuda, R. Isogai, Y. Yoshida, S.J. Kim and M. Hasegawa, "A study on reinforcement learning algorithms to reduce power consumption on BLE advertisements with maintaining reliability," in Proc. International

- Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 241–244, 2023.
- [67] T. Otsuka, A. Li, H. Takesue, K. Inaba, K. Aihara and M. Hasegawa, "High speed optimization of NOMA system using coherent Ising machine in dynamic environment," in Proc. International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 297–300, 2023.
- [68] T. Osada, H. Yasuda and M. Hasegawa, "Performance demonstration of decentralized TDMA based on desynchronization of nonlinear oscillators with different coupling schemes," in Proc. International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 301–304, 2023.
- [69] R. Nagazawa, J. Lin, K. Nguyen, W.J. Hwang, H. Torikai, M. Hasegawa and H. Sekiya, "Platform design for wireless brain-inspired computing," in Proc. International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 317–320, 2023.
- [70] D. Yamamoto, S. Hasegawa, Y. Shoji and M. Hasegawa, "Routing and caching optimization in autonomous mobility-assisted piggyback network with mm wave links," in Proc. International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing, pp. 396–399, 2023.
- [71] Anubhav and K. Fujiwara, "Reservoir splitting method for EEG-based emotion recognition," in Proc. The 11th IEEE International Winter Conference on Brain-Computer Interface, pp. 1–5, 2023.

採択番号：R02/A32

多感覚音空間知覚の規定因に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

本多 明生（静岡理工科大学情報学部）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

鈴木 陽一（東北文化学園大学工学部）

延べ参加人数：3人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

大容量通信が可能となった現在、次世代通信技術には「量」だけでなく、高臨場感が得られる「質」を兼ね備えた情報通信システムの構築が求められている。そのようなシステムを構築するうえで、システム内でユーザが示す様々な反応から得られる情報をシステムに適切に反映させることが重要となる。

研究代表者は、上述の考えのもと、通研担当教員とともに、平成26年度から平成28年度に、東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト（先端的研究推進型・若手研究者対象型）「動的手がかりを考慮した音空間知覚に関する研究」

（採択番号：H26/A13）、平成29年度から平成31年度（令和元年度）に、東北大学電気通信研究所共同研究プロジェクト（先端的研究推進型・若手研究者対象型）「多感覚音空間知覚の時間特性に関する研究」（採択番号：H29/A22）の助成を受けて、共同研究を行ってきた。その結果、頭部回転運動中は、音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること、その現象は能動的な運動だけではなく、受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（例えば Honda et al., 2020）。この知見は、頭部運動中は、聴取者には、高精細な動的な手がかりを必ずしも提示する必要がないことを示唆しており、アクティブリスニング性を考慮した情報通信システムの開発を行う際に応用することが可能である。したがって、これまでの共同研究からは、多感覚情報処理系としての人間の基本特徴を理解し、それをシステムに適切に反映させ

るうえで重要な研究成果を得ている。

本共同研究プロジェクト（先端的研究支援型）「多感覚音空間知覚の規定因に関する研究」（採択番号：R02/A32）では、研究代表者と通研担当教員のこれまでの共同研究を一層発展させて、多感覚音空間知覚の規定因に関する知見をまとめ、今後の展開についても検討を行う予定だった。

初年度（令和2年度）は、Springer International Publishing から刊行された書籍「The Technology of Binaural Understanding」に、これまでの研究展開を包括的にまとめた論文を発表した。さらに日本音響学会誌に「頭部運動と音像定位」というレビュー論文を発表した。

前年度（令和3年度）は、未発表の状態の実験データの論文化に取り組むことで多感覚音空間知覚の規定因に関する考察を深化させた。その結果、i-Perception 誌に「Auditory Subjective-Straight-Ahead Blurs during Significantly Slow Passive Body Rotation」、Applied Sciences 誌に「Effects of Visually Induced Self-Motion on Sound Localization Accuracy」という論文を発表できた。

本年度（令和4年度）は、これまでの研究の取りまとめと今後の展開を検討するために実験を行うこと計画していた。具体的には、Rosenbaum et al (2017)によれば、姿勢は認知課題に影響を及ぼすとされているが、その後の研究 (Caron et al., 2020)によれば、この知見が必ずしも再現されていないこと、聴取者の姿勢が音空間知覚にどのような影響を及ぼすのかはこれまで十分に検討されていないことから、この問題について実験的にアプローチを行いたい、と考えていた。

以下、本年度の研究活動状況の概要を記す。

- (1) 2022年4月26日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (2) 2022年5月20日：Zoomを利用して研究打ち合わせを行った。
- (3) 2022年7月15日：東北大学電気通信研究所で研究打ち合わせを行った。

2022年8月以降の研究活動は、8月下旬に、人間ドックを受診した結果、入院手術（2023年2月）が必要な重篤な病気が見つかったこと、それに伴い、病気療養が求められたことから、残念ながら、満足に行うことができない状況になった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

人間の多感覚音空間知覚における情報処理過程に関しては依然として不明確な部分が多い。例えば、聴取者の動的手がかりと音空間知覚の関係性を調べた研究からは、聴取者の頭部運動によって得られる動的手がかりが音空間知覚に効率的に寄与することが報告されているが（例えば Iwaya et al., 2003）、その一方で、聴取者の頭部運動によって音空間知覚に歪みが生じることも報告されている（Cooper et al., 2008）。

研究代表者は、通研担当教員とともに、頭部運動の最中に音像を移動させた場合は、聴取者は音像の移動を検知することが困難となることを示す知見を得た（Honda et al., 2016）。さらに、共同研究を継続した結果、頭部回転運動中は、音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること、その現象は能動的な運動だけではなく、受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（Honda et al., 2020, 2022）。本プロジェクトの研究成果は、その抑制効果が視覚誘導性自己運動感覚によっても生じることを示すもので画期的である（Honda et al., 2022）。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究代表者は、通研担当教員とともに、世界に先駆けて、頭部運動が行われている最中に音像を移動させた場合は、聴取者は音像の移動を検知できなくなることを示した（Honda et al., 2016）。その後の研究によって、頭部回転運動中は、音空間知覚に関する情報処理に抑制がはたらく場合があること、その現象は能動的な運動だけではなく、受動的な運動を行うことでも生じることを明らかにした（例えば Honda et al., 2020）。

この知見は、頭部運動中は、聴取者には、高精細な動的な手掛かりを必ずしも提示する必要がないことを示唆しており、アクティブリスニング性を考慮した情報通信システムの開発を行

う際に応用することが可能である。例えば、研究成果を工学的に応用することによって、聴覚ディスプレイをはじめとする様々な音環境提示装置の高度化の実現やそのような装置を基盤とした高臨場感・超臨場感通信技術を創生することができるだろう。以上のように、これまでの共同研究からは、多感覚情報処理系としての人間の基本特徴を理解し、それをシステムに適切に反映させるうえで重要な研究成果を得ている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）

なし

採択番号：R03/A02

Si・Ge 混合プラットフォーム上への 異種機能混載集積回路の実現

[1] 組織

研究代表者：

山本 圭介（九州大学大学院総合理工学研究院）

通研対応教員：

櫻庭 政夫（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

室田 淳一（東北大学マイクロシステム融合研究開発センター）

中島 寛（九州大学グローバルイノベーションセンター）

佐道 泰造（九州大学大学院システム情報科学研究所）

王 冬（九州大学大学院総合理工学研究院）

茂藤 健太（九州大学大学院総合理工学研究院）

清水 昇（九州大学大学院総合理工学府）

高山 智成（九州大学大学院総合理工学府）

那須 新悟（九州大学大学院総合理工学府）

王 一（九州大学大学院総合理工学府）

岡本 紘汰（九州大学大学院システム情報科学府）

古賀 泰志郎（九州大学大学院システム情報科学府）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

ゲルマニウム (Ge) は、「高いキャリア移動度」「近赤外域に対応するバンドギャップ」等の特徴を有しており、Si プラットフォーム上に Ge の材料特性を活用・集約した異種機能混載集積回路は、IoT 時代の更なる発展を推進する理想のデバイス構造といえる (図 1)。代表者は、こうしたデバイスに必須かつ Si と Ge 双方の長所を最大限に発揮できる基板構造として、種々の面方位を有する複数の小面積単結晶 Ge 薄膜が支持 Si 基板上に配置された、ローカル Ge-on-Insulator (L-GOI) を着想した。本研究では、L-GOI 作製と L-GOI 上への種々の素子作製を通じて、世界に先駆けた革新的 Ge 異種機能混載素子の実現を目指している。

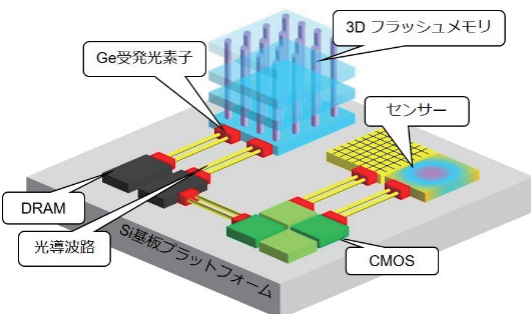


図 1. 本研究で提案する Si・Ge 混合プラットフォーム上の異種機能混載集積回路の模式図。

2 年目である令和 4 年度は、デバイスの高性能化に必須となる高品質絶縁膜の形成および GOI 構造の新規作製手法の構築を中心に研究を行った。

本プロジェクトは、代表者である九大・総合理工学研究院の山本准教授グループと、東北大・通研対応教員で分担者でもある櫻庭准教授・室田名誉教授との連携体制にて実施している。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

A. ゲート絶縁膜および埋め込み絶縁膜として用いる熱酸化イットリウム膜の形成と評価

GOI 上にて高性能デバイスを実現するためには、Ge の上面に形成されるゲート絶縁膜やパッシベーション絶縁膜だけでなく、Ge の下面で支持基板と Ge とを分離する埋め込み (BOX) 絶縁膜の高品質化が不可欠である。その候補材料として、代表者はこれまでに Ge 上に堆積した金属イットリウム (Y) を熱酸化することで得られる絶縁膜が良好な電気的特性を有することを見出しており、本年度はこの絶縁膜について詳細な電気的・構造的解析を行い、高品質化に必要な条件を探索した。図 2 に Ge 上に堆積した 13.5 nm の金属 Y を 500°C にて酸化した試料の断面 TEM 像および EDX による元素分布を示す。Y 酸化物層は 2 層に分かれており、その下には Ge 酸化物が形成されていることが分かる。酸化温度 550°C に変化させた場合、Y 酸化物層に変化はなく Ge 酸化物層の厚さのみが変化した。この絶縁膜を有する n-Ge MOS キャパシタは良好な電気特性 (C-V, I-V) を示した。図 3 に DLTS 法によって評価した MOS キャパシタの界面準位密度 (D_{it} : 絶縁膜/Ge 界面の欠陥) とボーダートラップ密度 (N_{bt} : 絶縁膜中の欠陥) を示す。比較として $\text{SiO}_2/\text{GeO}_2$ をゲート絶縁膜とした MOS キャパシタの結果も示している。Y 酸化物では $\text{SiO}_2/\text{GeO}_2$ 構造よりも低い D_{it} , N_{bt} が得られているが、そのエネルギー依存性や温度依存性は類似している。これは、DLTS による N_{bt} の検出対象深さがいずれの試料でも Ge 酸化膜中であるためと考えられる。また、Y の酸化条件を変化させて Ge 酸化膜厚を変えることで、より良好な特性が得られる可能性を示唆している。

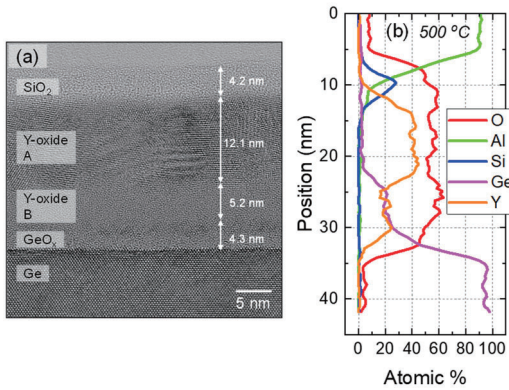


図2. Ge上に堆積した13.5 nmの金属Yを500°Cにて酸化した試料の(a) 断面TEM像および(b) EDXによる元素分布。

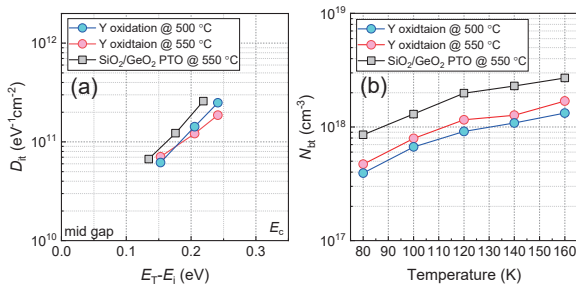


図3. 熱酸化YおよびSiO₂/GeO₂をゲート絶縁膜とするn-Ge MOS キャパシタの(a) D_tのエネルギー分布および(b) N_{it}の温度依存性。

B. 中空Ge構造を用いたGe-on-Insulatorの新規作製手法の構築

ベルギーの半導体研究機関 imec では、中空構造上に薄膜 Ge が形成された Ge-on-Nothing (GeON) 構造の作製に成功している。この構造を Si 等の支持基板に転写すれば高品質なL-GOIを作製できるのではと着想し、imec から GeON 試料の提供を受けて研究を行った。

GeONを用いたGOI作製の模式図を図4(a)に示す。図4(b)は作製したGOIのフォトルミネッセンス(PL)特性であり、バルク Ge と比較して発光強度が増大していることが見て取れる。また、図4(b)挿入図に示す Smart-Cut™法によって作製したGOIと比較すると、測定点毎のばらつきが小さく、均一なGOIが形成されていることが分かる。このGOIの電気的特性を評価するために、Ptをソース/ドレイン電極としたバックゲートp-MOSFETを作製した。図5(a)にMOSFETの出力特性を、(b)に伝達特性を示す。いずれも良好なトランジスタの動作特性が観測されており、電界効果移動度のピーク値として約290 cm²/Vsが得られた。この値は代表者による Smart-Cut™ GOI 上の値 (150 cm²/Vs、但しトップゲート構造) を上回っており、本手法によるGOIが良好な品質を有することを意味している。今後

は、L-GOIの作製に向けて他の面方位基板での試料作製を進める予定である。

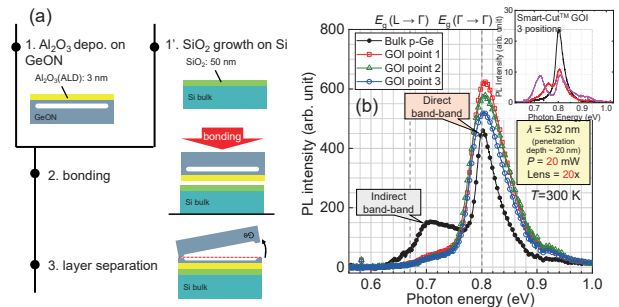


図4. (a) GeONを用いたGOIの作製フロー. (b) 作製したGOIのPL特性(3点+比較用バルクGe). 挿入図は Smart-Cut™法によって作製したGOIのPL特性(3点)。

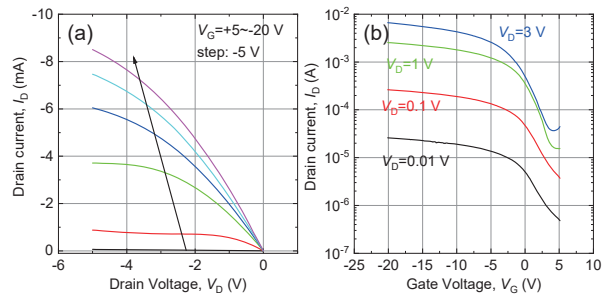


図5. GOI上に作製した蓄積型バックゲートp-MOSFETの(a) 出力特性および(b) 伝達特性。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

前述の通り、GeON構造はベルギー・imecから提供されたものであり、本プロジェクト研究を通じた国際共同研究が着実に進行している。令和5年1月には、本プロジェクトとも関連する国際ワークショップが東北大で開催され、国内外の研究機関のメンバーによる活発な議論が展開された。これらを通じて、将来的には大型の国際共同研究プロジェクトを推進する予定である。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- (Invited) K. Yamamoto, T. Matsuo, D. Wang, K. Moto, K. Toko, H. Nakashima, Novel group IV semiconductor materials and devices for beyond Si technology, The 5th International Union of Materials Research Societies International Conference of Young Researchers on Advanced Materials (IUMRS-ICYRAM 2022), Aug. 3, 2022, Kyushu Univ.
- S. Nasu, T. Matsuo, K. Yamamoto, D. Wang, Fabrication of Ge MOSFET at low temperature ($\sim 250^\circ\text{C}$) for spintronics application, IUMRS-ICYRAM 2022, Aug. 3, 2022, Kyushu Univ.
- N. Shimizu, Y. Wang, K. Yamamoto, S. Zhang, S. Shibayama, O. Nakatsuka, D. Wang, Electrical characteristics of metal/GeSn contacts in lateral Schottky diodes, IUMRS-ICYRAM 2022, Aug. 3, 2022, Kyushu Univ.
- T. Takayama, K. Moto, K. Yamamoto, T. Imajo, K. Toko, Fabrication and evaluation of polycrystalline Ge-based thin-film transistors on glass, IUMRS-ICYRAM 2022, Aug. 3, 2022, Kyushu Univ.
- W.-C. Wen, K. Yamamoto, D. Wang, H. Nakashima, Fabrication and Characterization of Ge n-MOS and n-MOSFET with Thermally Oxidized Yttrium Gate Insulator, 9th International Symposium on Control of Semiconductor Interfaces (ISCSI-IX), Sept. 5, 2022, Nagoya Univ.
- K. Moto, K. Toko, T. Takayama, T. Imajo, K. Yamamoto, First Demonstration of Rectifying Schottky Contact on Polycrystalline P-Type Ge Using ZrN Electrode, 2022 International Conference on Solid State Device and Materials (SSDM 2022), Sept. 27, 2022, Makuhari Messe, Chiba, Japan
- K. Yamamoto (Invited), D. Wang, R. Loo, C. Porret, J. Cho, K. Dessein, and V. Depauw, Ge-on-Insulator from Ge-on-Nothing and Layer Transfer, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 23, 2023, Tohoku Univ.
- N. Shimizu, Y. Wang, A. Honda, K. Yamamoto, S. Zhang, S. Shibayama, O. Nakatsuka, and D. Wang, N-type characteristics of undoped GeSn in the low Sn concentration region, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 23, 2023, Tohoku Univ.
- K. Moto, K. Yamamoto, and K. Toko, Polycrystalline Thin-Film Transistor Based on Solid-Phase Crystallized Ge and GeSn, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 23, 2023, Tohoku Univ.
- L. Huang, K. Moto, T. Ishiyama, K. Toko, D. Wang,

and K. Yamamoto, Inversion Mode n-channel TFT on Polycrystalline Ge Formed by Solid-Phase Crystallization, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 24, 2023, Tohoku Univ.

• H. Kuwazuru, S. Nasu, D. Wang, and K. Yamamoto, Study on the Performance of Metal S/D Ge n-MOSFET with Recessed Channel Structure, 13th Int. WS on New Group IV Semicond. Nanoelectronics, Jan. 24, 2023, Tohoku Univ.

• 那須 新悟、王 冬、山本 圭介, リセスチャネル化によるメタルS/D型Ge n-MOSFETの電流駆動力向上(II), 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会, 2022年9月20日, 東北大学

• 清水 昇、王 一、山本 圭介、張 師宇、柴山 茂久、中塚 理、王 冬, 電子・光デバイス応用に向けたPt/GeSn接合のショットキー特性調査, 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会, 2022年9月21日, 東北大学

• 茂藤 健太、都甲 薫、高山 智成、今城 利文、山本 圭介, 多結晶p型Ge上におけるショットキー整流性コンタクトの形成, 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会, 2022年9月21日, 東北大学

• 高山 智成、茂藤 健太、都甲 薫、王 冬、山本 圭介, 金属/多結晶Ge界面におけるフェルミレベルピニングの緩和とショットキー障壁制御, 2022年第83回応用物理学会秋季学術講演会, 2022年9月21日, 東北大学

• 鎌約 一、那須 新悟、王 冬、山本 圭介, メタルS/D型Ge n-MOSFETのリセスチャネル形状と性能に関する研究, 2022年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• L. Huang, K. Moto, T. Ishiyama, K. Toko, D. Wang, K. Yamamoto, N-type doping into polycrystalline Ge thin-film on glass, 2022年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学

• 本田 彬、王 一、清水 昇、山本 圭介、柴山 茂久、中塚 理、王 冬, ノンドープGeSnエピタキシャル膜のホール効果測定による電気伝導特性評価, 2022年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学

• 王 一、本田 彬、清水 昇、山本 圭介、柴山 茂久、中塚 理、王 冬, 光・電子デバイス応用に向けたノンドープGeSnのMOS特性調査, 2022年応用物理学会九州支部学術講演会, 2022年11月26日, 大分大学

採択番号：R03/A03

非磁性体中におけるスピンドYNAMIKSの 制御に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

石原 淳（東京理科大学理学第一部）

通研対応教員：

金井 駿（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

森 貴親（東京理科大学大学院理学研究科：M2）

時光 遼（東京理科大学大学院理学研究科：M1）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

スピントロニクス分野における応用の中心は強磁性金属をベースとした磁化制御素子にあるが、定常的にはスピン状態が表に出てこない非磁性体中においてもスピンの自由度は大きな注目を集めている。非磁性体の中でも半導体は光との相性が良く、スピンと光の偏光の相関を利用することで、容易に光-スピン変換が可能である。また、スピン軌道相互有効磁場によるスピン制御だけでなく、GaAs/AlGaAs 量子井戸といった化合物半導体の二次元構造ではスピン状態の長時間保持も実証されている。一方、半導体や絶縁体中の欠陥中心のスピンでは、孤立した電子スピンにおいて量子力学的性質が顕著に表れるため、スピンは量子情報の担体となり、量子計算機のビットとして期待されている。このように非磁性体におけるスピンの活用方法は幅広く、強磁性金属単体では実現できない多様なスピン機能デバイス創生の可能性を持っている。そこで本研究では、非磁性半導体、絶縁体、金属といった非磁性体中におけるスピン情報に着目し、そのダイナミクスの観測と制御を目指す。

本プロジェクトは、令和3年度からスタートした。昨年度は非磁性体中のスピンドYNAMIKS制御に関して、半導体中のスピンの時空間分布の直接観測と光波による制御を試み、光制御については光学特性の変化を観測した。また、絶縁体中の欠陥中心の発光円偏光度から定常時のスピン状態を評価し、材料探索を進めた。今年度は、光によるスピントクスチャ制御を直接的に観測し、また、ベクトル光渦によるスピントクスチャの励起を行った。欠陥中心については母体材料の探索範囲を昨年度の YAG から、よ

り長いコヒーレンス長が期待される SiO₂、MgO に広げて研究を行った。

以下に研究活動状況の概要を記す。

・2022/10/31, 11/1 参加人数 4 人

東北大学電気通信研究所にて、光学測定系の構築および光学測定を行なった。また、研究経過について打ち合わせを行い、実験結果について議論した。

・2022/2/15-2/17 参加人数 3 人

東北大学電気通信研究所にて、光学測定技術の相談とそれを踏まえた光学系の構築、研究成果についての議論を行った。

・2022/3/2, 3/2 参加人数 3 人

東北大学電気通信研究所にて、研究成果についての議論を行った。3/2 は通研共同研究プロジェクト「固体中のスピン・軌道ダイナミクスとその制御」の研究会に参加した。

また、上記以外にも Web 会議などを行い、研究の進捗について報告、議論した。また、若手研究者対象型プロジェクトへの特別支援によって、出張回数を増やせたことで現地での実験や光学系構築の技術交換の機会を多く得ることができた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一に、スピン空間テクスチャの光制御を行った。前年度、GaAs/AlGaAs 量子井戸に励起光に加えてバンド間吸収の起きない波長の CW レーザーを制御光として照射することで、量子井戸

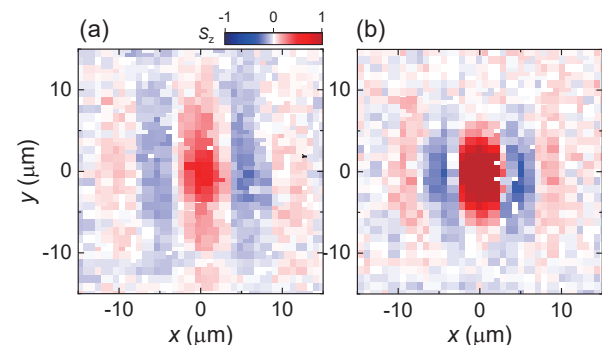


図 1 (a)制御光非照射時のスピン分布, (b)制御光照射時のスピン分布. 赤色はスピニアップ、青色はスピンドアウンを示す。

の非対称性が増大している可能性が示唆された。この時、構造の非対称性に起因するラシュバスピンの軌道相互作用が増大していると考えられるため、制御光照射の有無によるスピン空間分布の変化を測定した。図 1(a)は制御光非照射時のスピン空間分布であり、図 1(b)は制御光照射時のスピン分布である。図 1(a)のスピンテクスチャはストライプ状にスピンの並んだ状態である。これは、空間原点に励起されたスピンの拡散とともに SU(2) 対称性を持つ一軸性のスピン軌道相互作用による有効磁場を受け回転した結果である。一方で、図 1(b)の制御光照射時のスピンテクスチャは楕円状にスピンの配列した分布となっている。これはスピン分布を決めるスピン軌道有効磁場が変調されたことを直接的に示す結果である。外部磁場を印加しながらスピン空間分布の時間発展を測定することで、スピン軌道相互作用パラメータの変調量を定量すると、光照射によりラシュバパラメータが 28%増加することが分かった。

第二に、新規スピンテクスチャの生成を目的にラゲルガウシアンビームの一種であるベクトル光渦を使ってスピン空間構造の直接励起を行った。ベクトル光渦は軌道角運動量に起因した方位角依存の偏光空間分布を持つため、それを励起光に用いることで、固体中に空間周期構造を持ったスピン状態を生成できると考えられる。均一な偏光分布を持つ基本のガウシアンビームが用いて偏光-スピン変換を行うと図 2(a)に示すように一方向に揃ったスピン状態が光励起された。続いて、偏光が円周上で繰り返されるベクトル光渦を用いてスピン光励起を行うと、図 2(b)のように円周上にスピン状態が 2 周期繰り返されるスピンの空間構造が観測された。これはベクトル光渦の偏光周期構造がスピン分布に移されたことを意味している。空間周期構造のひねりの数はベクトル光渦のトポロジカル数で決まり、このトポロジカル数は任意の整数を取ることができるため、トポロジカル数を増や

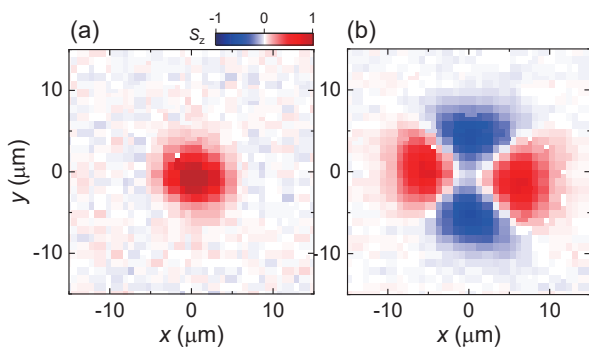


図 2 (a)ガウシアンビームによる円偏光スピン励起, (b)ベクトル光渦によるスピン励起。

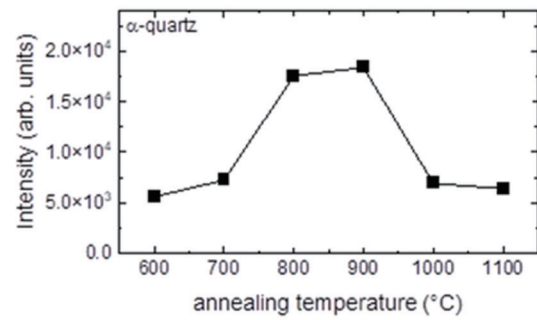


図 3 Ce³⁺カラーセンターからの発光量の熱処理温度依存性。

すことによってスピン情報を高密度化することが可能になると期待される。

絶縁体中の欠陥中心については、石英結晶中 SiO₂ にイオン注入された Ce カラーセンターが熱処理条件を最適化することによって高効率に生成されることを明らかにした。図 3 は Ce³⁺ 発光量の熱処理温度依存性である。熱処理温度を上げていくと、800~900 度程度では発光に寄与する Ce³⁺ の生成効率が向上する。さらに温度を上げると、Ce クラスタを形成することで、Ce³⁺ が減少することがわかった。最適化された試料において発光偏光度を測定した結果、再結合時のスピン状態が偏極していることが確認された。また酸化マグネシウム中 (MgO) にイオン注入した Ce カラーセンターでは、これまでに Ce だけでなく Li を同時にドーピングすることで高効率に Ce カラーセンターが生成されるという報告があったが、イオン注入においては Ce のみでも熱処理条件によっては生成効率が向上することもわかった。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本プロジェクトによって明らかになったスピンテクスチャの光制御やベクトル光渦を用いたスピンテクスチャの直接励起は、スピンの一状態を情報として用いるためだけでなく、光通信分野で発展した空間分割多重といった技術と同様にスピンの空間構造情報を新たな情報担体として用いるために重要な知見となる。また、本プロジェクト研究と関連した内容の助成金の採択にもつながった。欠陥中心スピンに関しては、発光測定、偏光状態の観測、周波数制御、高速ダイナミクス測定といった実験技術とスピンコヒーレンス則を頼りに、材料探索がより効率的に進められるようになった。欠陥中心スピンの位相情報保持時間の延伸と母体材料の特性の組み合わせによって新たな特徴を持ち合わせた量子計測技術への展開も期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- S. Kanai, F. J. Heremans, H. Seo, G. Wolfowicz, C. P. Anderson, S. E. Sullivan, M. Onizhuk, G. Galli, D. D. Awschalom, and H. Ohno, Proc. Natl. Acad. Sci. USA **119**, e2121808119 (2022).
- J. Ishihara, T. Suzuki, G. Kitazawa, T. Mori, Y. Ohno, and K. Miyajima, Physical Review B, **105**, 144412 (2022).
- J. Ishihara, T. Mori, T. Suzuki, S. Sato, K. Morita, M. Kohda, Y. Ohno, and K. Miyajima, Physical Review Letters **130**, 126701 (2023).
- 森貴親, 石原淳, 時光遼, 大野裕三, 宮島顕祐, 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会 (2022).
- Y. Abe, S. Kanai, M. Kawahara, J. Ishihara, Y. Narita, M. Kohda, S. Fukami, and H. Ohno, The 41st Electronic Materials Symposium (2022).
- Y. Abe, S. Kanai, M. Kawahara, J. Ishihara, Y. Narita, M. Kohda, S. Fukami, and H. Ohno, The 6th symposium for the Core Research Clusters for Spintronics (2022).
- 時光遼, 鈴木拓也, 森貴親, 石原淳, 大野裕三, 宮島顕祐, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (2023).
- 河原真斗, 安部佑一郎, 金井駿, 石原淳, 青木悠佑, 好田誠, 深見俊輔, 大野英男, 第 70 回応用物理学会春季学術講演会 (2023).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号：R03/A04

非平衡プラズマ活性種を活用した バイオ・医療デバイスの創成

[1] 組織

研究代表者

金子 俊郎(東北大学 大学院工学研究科)

通研対応教員

平野 愛弓(東北大学 電気通信研究所)

研究分担者

Cheng-Che Hsu (National Taiwan University,
Taiwan)

Michael Kong (Old Dominion University, USA)

Peter Bruggeman (The University of Minnesota,
USA)

Yongfeng Li (China University of Petroleum,
China)

Wonho Choe (Korea Advanced Institute of Science
and Technology, Korea)

畠山 力三(東北大学 大学院工学研究科)

加藤 俊顕(東北大学 大学院工学研究科)

高島 圭介(東北大学 大学院工学研究科)

佐々木 渉太(東北大学 大学院工学研究科)

平田 孝道(東京都市大学 大学院工学研究科)

堀 勝(名古屋大学 大学院工学研究科)

白谷 正治(九州大学 システム情報科学研究院)

浜口 智志(大阪大学 大学院工学研究科)

佐々木 浩一(北海道大学 大学院工学研究院)

佐藤 岳彦(東北大学 流体科学研究所)

延べ参加人数：60人(オンライン参加含)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本プロジェクトでは、21世紀の重点的研究分野と目されている環境・エネルギー、ナノテクノロジー・材料、ライフサイエンス、フロンティア(宇宙など)そして情報通信のいずれにも学問的基盤として根幹的に関わっているプラズマ科学と、ナノバイオ科学、さらには医療・農業分野が融合する新領域に特化して、研究開発を行う。特に、気相中、液相中、気液界面プラズマ中の新規プラズマプロセスを駆使することにより、次世代ナノ情報電子・バイオ・医療デバイス創成に資する研究基盤を、日本国内のみならず海外のプラズマ理工学者と共同してナノバイオ・医療科学技術に関わる電子・磁気・光工学、材料工学、物理、化学、分子生物学、医学・生命科学者の英知を結集して確立する。特に、本プロジェクトでは気液界面プラズマを

用いた医療・農業研究が活発に行われている、アメリカ、台湾、韓国、中国の研究機関との連携を深め、国際共同で研究を推進する。

(研究討論会等開催状況)

日時：令和5年(2023年)2月20-21日

場所：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟 306 講義室

(オンライン会議 zoom とのハイブリッド開催)

本研究会では、オンライン参加を含めると、学内外を含め延べ60名以上の参加者があり、講演は「気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成」を主テーマに、バイオ応用プラズマプロセス、ナノスケール材料の量子特性、気液界面プラズマ反応場の数値計算や活性種計測等の立場から、専門分野を越えて活発な議論がなされた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

I. 液中プラズマを活用した高効率遺伝子導入

遺伝子や薬剤分子などの細胞外分子を生細胞内に導入する分子導入技術はiPS細胞作製や低侵襲がん治療といった要請から医療分野を始めとした幅広い分野で重要性が高まっている。これまでに様々な導入技術が開発されてきたが、細胞生存率や安全性、適用細胞種の制限といった課題が指摘されており、新規導入手法の開発が求められている現状がある。

本研究グループはこれまでに、細胞懸濁液に対して、液中で生成した微小なプラズマ(液中プラズマ)を照射し、その後に短パルス電場(パルス幅 $< 10 \mu\text{s}$, 周波数 $\sim 1 \text{ kHz}$)を重ねて印加することで、生細胞内へプラスミドDNA(アニオン性、分子量300万程度)を高効率($> 50\%$)に導入可能であることを明らかにしてきた。しかしながら、遺伝子導入に適した短パルス電場条件は未だ最適化されておらず、未だ探索の余地がある。そこで今年度は、導入効率・細胞生存率の向上に向けて、短パルス電気刺激が導入効率・細胞生存率に及ぼす影響を詳細に調べた。特に、導電率が制御されたバッファを用いて印加電場と電流を独立に制御可能な実験系を確立し、それぞれの影響を検討した。

実験では、平行平板電極を用いて、短パルス電場(パルス幅 $< 10 \mu\text{s}$, 周波数 $\sim 1 \text{ kHz}$)を

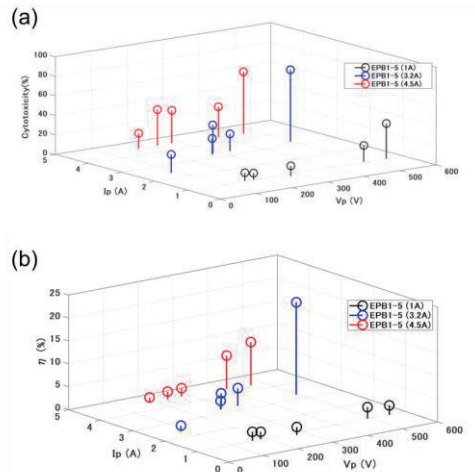


図 1. 各条件における短パルス電場処理後の(a)細胞毒性 (100-生存率 /%), (b)pDNA 導入効率。
Vp: ピーク電圧, Ip: ピーク電流。

細胞に印加した。細胞にはヒト乳がん細胞 (MCF-7; 接着系細胞) を使用し、緑色蛍光タンパク質 (GFP) をコードしたプラスミド DNA (pDNA) を導入物質として用いた。pDNA 含有細胞培養液で満たした細胞に対して、パルス電場処理を行い、48 h 後の細胞の GFP 蛍光を、フローサイトメトリーにて測定し、pDNA 導入効率を評価した。図 1 に各条件における短パルス電場処理 48 h 後の細胞毒性 (100-生存率 /%), 導入効率を示す。導入効率は、基本的に印加電圧が高くなるにつれて向上していくが、電流が低い (~1A) とその傾向は見られなかった。また、細胞毒性は、導入効率とよく似た傾向にあったが、電流が低い (~1A) 場合にも、毒性の増加が見られた。したがって、高導入効率・高細胞生存率の両立には、1A 以上のピーク電流が必要であることが示唆された。この結果は、プラズマを活用した超高効率遺伝子導入装置の開発に向けた重要な成果といえる。

II. 気相プラズマを用いたヒトコロナウイルス不活化

昨今の新型コロナウイルス SARS-CoV-2 による COVID-19 のパンデミックは、社会に多大な影響を与えており、感染対策の重要性を再認識させている。特に、人体への影響なしに、飛沫中のコロナウイルスを即時的に不活化できる技術の確立が切望されている。今年度新たに、化学的活性種や荷電粒子、紫外線などを同時に供給できるプラズマ技術を駆使することで、ヒトコロナウイルスの即時的に不活化技術の開発に取り組んだ。

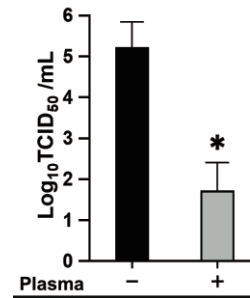


図 2: 30 秒間の大気圧低温プラズマ照射によるヒトコロナウイルス HCoV-229E 感染価減少。

実験には、He ガスを用いた大気圧低温プラズマを使用した。ヒトコロナウイルスとして、1966 年に同定された旧型のコロナウイルスである HCoV-229E ウイルスを用いた。HCoV-229E ウイルス原液 250 μ L に対して、プラズマ処理を行った後、宿主細胞としたアカゲサル細胞 (LLC-MK2) に感染させて、感染価を評価した。図 2 に、低温プラズマ照射有無の HCoV-229E ウイルス感染価を示す。わずか 30 秒間のプラズマ照射で、おおよそ 3~4 桁の感染価減少 (99.9~99.99% の不活化に対応) を達成できることを明らかにした。この結果は、ヒトコロナウイルスの即時的に不活化を実現するプラズマ技術の確立に向け、有意義な成果であるといえる。今後は、不活化因子の同定を進め、より高効率にウイルス不活化可能なプラズマ装置の開発を行う。

(特別支援 (国際) に係る研究成果)

本年度の国際共同研究推進型の特別支援分の研究費については、コロナ禍の影響で外国人研究者を招聘することができなかったため、研究活動で使用し、米国の分担者 (Prof. Peter Bruggeman) とはオンラインで共同研究に関する議論を行った。その議論をもとに、気液界面プラズマ科学分野における国際交流拠点を形成すべく、2023 年 8 月に米国の分担者の研究室 (ミネソタ大学) に学生を派遣して、共同研究を推進することを計画している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで明らかになった細胞、ウイルスに対するプラズマの効果に関する研究成果は、プラズマのライフサイエンス (医療、農業、衛生環境) 応用という新しい研究領域の開拓に結びつき、新しい医療機器や環境浄化装置の開発等の今後の発展が期待されている。

また、本プロジェクトの成果である「プラズマライフサイエンス応用」をトピックに含む国際会議を、下記のように 2022 年 10 月に仙台で

開催した。本国際会議は、電気通信研究所の共催として開催された。

- ・ 会議名：11th International Conference on Reactive Plasmas / 75th Annual Gaseous Electronics Conference
- ・ 日時：2022年10月3日～7日
- ・ 開催場所：仙台国際センター（対面開催のみ）
- ・ 発表件数：596件
- ・ 参加人数：550名（うち海外240名）

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

【査読付学術論文】

なし

(2) 関連リスト（謝辞なし）

【査読付学術論文】

1. S. Sasaki, S. Osana, T. Kubota, M. Yamaya, H. Nishimura, R. Nagatomi, and T. Kaneko, “Human coronavirus inactivation by atmospheric pressure helium plasma”, *J. Phys. D. Appl. Phys.* 55 (2022) 295203.
2. D. Tsukidate, K. Takashima, S. Sasaki, S. Miyashita, T. Kaneko, H. Takahashi, and S. Ando, “Activation of plant immunity by exposure to dinitrogen pentoxide gas generated from air using plasma technology”, *PLOS ONE* 17 (2022) e0269863.

【国際・国内会議・研究会等発表】

1. （招待）佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎, “大気圧プラズマを用いた五酸化二窒素のその場合合成とその応用展開”, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 宮城県仙台市, 2022/09/21
2. （招待）K. Takashima, Y. Kunishima, and T. Kaneko, “Nitrogen Vibrational Excitation in a Non-Self-Sustaining Discharge Plasma toward Efficient Plasma Nitrogen Fixation”, *The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference*, Sendai, Japan, 2022/10/05.
3. （招待）T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, A. Higashitani, S. Ando, H. Takahashi, “Synthesis of Dinitrogen Pentoxide Using Air Atmospheric Pressure Plasmas and Application for Biomaterial Processes”, *The 242nd ECS Meeting*, Atlanta, USA, 2022/10/11.

4. （招待）佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎, “五酸化二窒素のその場プラズマ合成装置開発とバイオ応用への展開”, 第39回プラズマ・核融合学会年会, 富山県富山市, 2022/11/24.
5. （招待）T. Kaneko, S. Sasaki, K. Takashima, A. Higashitani, S. Ando, H. Takahashi, “Synthesis of Functional Nitrogen Using Air Atmospheric Pressure Plasmas for Agricultural Applications”, *The 20th International Congress on Plasma Physics*, Gyeongju, Korea, 2022/11/28.
6. T. Kaneko, S. Sasaki, and K. Takashima, “New Plasma Device for Selective Generation of Dinitrogen Pentoxide from Air and Its Applications”, *The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference*, Sendai, Japan, 2022/10/04.
7. Y. Oba, S. Sasaki, K. Takashima and T. Kaneko, “Investigation on Reaction of Plasma-generated Dinitrogen Pentoxide Gas with Amino Acids”, *The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference*, Sendai, Japan, 2022/10/05.
8. R. Honda, S. Sasaki, K. Takashima, M. Kanzaki, T. Sato, T. Kaneko, “Development of Gene Transfection Method Using Combined Plasma and Pulsed Electric Field in Liquid”, *The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference*, Sendai, Japan, 2022/10/05.
9. S. Takeshi, K. Takashima, S. Sasaki, A. Higashitani, T. Kaneko, “Nitrogen fertilization effects of Plasma Generated Dinitrogen Pentoxide”, *The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference*, Sendai, Japan, 2022/10/05.
10. K. Oikawa, S. Sasaki, R. Honda, and T. Kaneko, “The measurement of reactive species produced by plasma in liquid treatment in cell culture medium for gene introduction”, *The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference*, Sendai, Japan, 2022/10/05.

11. H. Iwamoto, S. Sasaki, K. Takashima, A. Higashitani, T. Kaneko, “Calcium Based Systemic Activation of Plant Defense by Exposure to Plasma-generated N_2O_5 ”, The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference, Sendai, Japan, 2022/10/05.
12. R. Fujita, K. Takashima, and T. Kaneko, “Atmospheric Pressure Plasma Generation at Liquid Interface for Nitrogen Fixation”, The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference, Sendai, Japan, 2022/10/05.
13. K. Takeda, S. Sasaki, K. Takashima, T. Kaneko, “Atmospheric Pressure Plasma in Contact with High-speed Water Flow for Evaluating Liquid-phase OH Transport”, The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference, Sendai, Japan, 2022/10/06.
14. S. Sasaki, S. Osana, M. Yamaya, H. Nishimura, R. Nagatomi, and T. Kaneko, “Investigation of Plasma-generated Reactive Species Responsible for Human Coronavirus Inactivation”, The 75th Gaseous Electronics Conference & 11th International Conference, Sendai, Japan, 2022/10/07.

採択番号：R03/A05

不揮発性磁気メモリへの応用に向けた 磁性トポロジカル物質の電界制御に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

千葉 貴裕 (福島工業高等専門学校一般教科)

通研対応教員：

辻川 雅人 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

電子の電荷とスピンの2つの自由度を利用する「スピントロニクス」は、次世代を担う情報処理技術として、近年大きな注目を集めている。特に、強磁性金属層間に絶縁層が挟まれた強磁性トンネル接合(MTJ)は、不揮発性磁気メモリへの応用に向けて、世界中で精力的に研究が進められている。このような中、最近、本申請者は幾何学(トポロジー)的に非自明なバンド構造をもったワイル磁性体におけるトポロジカル電気磁気効果(TME効果)をMTJの電圧駆動磁化反転に応用することにより、現状よりも消費電力が1桁小さく、かつ、エラー率を低減化する二方向的な磁化反転を達成できることを理論的に見出した(FIG. 1)。ここでワイル磁性体は、「ワイル点」と呼ばれる特殊なバンド構造をもった半金属であり、フェルミ準位がワイル点近傍に位置するときTME効果の発現が予測されている。しかしながら現時点では、電子・磁気構造の設計・制御が不十分なため、ワイル磁性体におけるTME効果は理論的予測に留まっている。

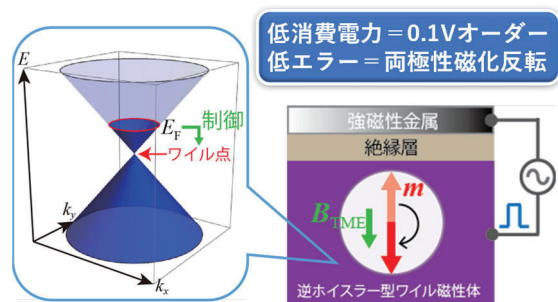


FIG.1: ワイル半金属のバンド構造(左)及びトポロジカル電気磁気効果(TME効果)を応用した電圧駆動磁化反転(右)の模式図。

そこで、本研究では、TME効果の発現が有力視されるチタン系逆ホイスラー合金 $Ti_2MnA_{1-x}B_x$ に着目し、電界効果を想定した第一原理バンド計算による材料探索を行う。これにより、電圧駆動磁化反転に適した元素A,B原子の組合せ及びその組成比xを明らかにす

ることを目的として研究を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、TME効果の発現が有力視されるチタン系逆ホイスラー合金 Ti_2MnAl に着目して、第一原理バンド計算による材料設計を行った。以下に得られた主要な研究成果を示す。

(i) Ti_2MnX ($X = Al, Ga, In$) の元素 X に対する最適格子定数及び面内伸張歪効果 (c/a 安定性) を調査した。逆ホイスラー合金の結晶構造は格子歪みの影響を受けやすいため、順ホイスラー構造よりも安定化する格子定数において材料設計を行う必要がある。そこでまず逆ホイスラー構造が安定化する格子定数を第一原理計算により求めた。その結果をTAB. 1に示す。次に磁化方向がワイル点に与える影響を明らかにするためにバルクの磁気異方性を調査した。その結果、以下のように定義した磁気異方性エネルギー

$$MAE = E_{110} - E_{001} \quad (1)$$

は、いずれの $X = Al, Ga, In$ に対しても $MAE < -0.02 \text{ meV}$ となり、面内磁気異方性がわずかに優勢であるとわかった。ここで、 E_{110}, E_{001} は磁化方向を(110),(001)方向としたときの電子系のエネルギー総和である。 MAE の値が非常に小さく第一原理計算の精度を考慮して、(ii)のバンド計算の際には簡単のために磁化方向を(001)方向とした。

TAB.1: Ti_2MnX ($X = Al, Ga, In$) の最適格子定数及び面内伸張歪効果 (c/a 安定性)。

	順型 a (Å)	逆型 a (Å)	c/a
Al	6.15	6.24	0.93
Ga	6.15	6.20	0.92
In	6.40	6.47	0.99

(ii) Ti_2MnAl の各構成元素におけるスピン軌道結合 (SOC) がワイル電子のバンド構造に与える影響を明らかにした。まず格子歪みを加えない ($c/a = 1$) 第一原理バンド計算の際にTi, Mn, Alの原子がもつSOCの大きさをパラメータとしてバンド構造を調べたところ、3d遷移金属であるTiとMnについては大きなSOC

がワイルドポイントの消失を引き起こすことがわかった。一方で、13族元素であるAlについてはSOCの値を大きくしてもワイルドポイントに影響を及ぼさない結果となり、ワイルドポイントが安定に存在できることがわかった。このときのワイルドポイント分裂は、0.3 meVと小さい値であった。これらの結果をFIG. 2に示す。次に逆ホイイスラー構造が安定化するように基板からの格子歪みを考慮して、 Ti_2MnAl の第一原理バンド計算を行った。その結果、格子歪み($ca=0.95$)が加わった場合においてもワイルドポイントが安定に存在できることがわかった。このときのワイルドポイント分裂は、1.3 meVと格子歪みがない場合と比べて非常に大きな値となった。このことは格子歪みが結晶の対称性を下がることにより疑似的なSOCを誘起したためと考えられる。今後の研究としてはこの大きなワイルドポイント分裂に基づいて非相反磁気伝現象である磁気カイラル異方性の見積もりなどを検討したい。

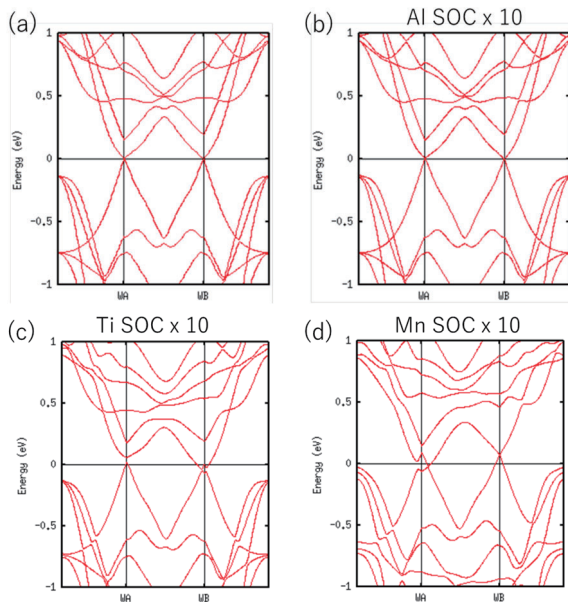


FIG. 2: 逆ホイイスラー型 Ti_2MnAl のバンド構造。(a)SOCの変調がない場合、(b)AlのSOCを10倍とした場合、(c)TiのSOCを10倍とした場合、(d)MnのSOCを10倍とした場合。

(特別支援(若手研究者対象型)に係る研究成果)

コロナ禍の対応により移動を伴う研究が制限されてしまったこともあり、当初予定していた短期滞在研究への予算として活用することが困難であった。そのため特別支援分の研究費を計算補助物品の使用に充てることで研究の促進に活用した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトで明らかになった Ti_2MnX ($X = \text{Al, Ga, In}$)の(i)格子歪み及び(ii)SOCの大きさがバンド構造に与える影響は、逆ホイイスラー型ワイル磁気体の実現やTME効果の観測に向けた大きな一歩というこ

とができる。将来的には、磁気メモリに加えて、磁気センサーなど多様な素子への展開も期待できることから、次世代IoT技術として重要な役割を果たし、ビッグデータの取得・蓄積・解析にも貢献する。さらに格子歪みがワイル磁気体のバンド構造に与える影響として、今回ワイルドポイントペアの分裂を明らかにした。これはカイラル量子異常としてバルクにおける非相反電気伝導(整流効果)を引き起こす可能性があり、今後接合フリーのダイオードの開発への応用が期待される。

[4] 論文や学会発表等

- (1) 成果リスト (謝辞あり)
なし
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
なし

採択番号：R03/A06

量子デバイスの放射線応答に関する開発・研究

[1] 組織

研究代表者：

岸本 康宏（東北大学ニュートリノ科学研究センター）

通研対応教員：

大塚 朋廣（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

吉田 斉（大阪大学理学研究科）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本研究は、半導体量子ドット（半導体 QD）の電離放射線耐性及び、放射線検出器用のセンサーとしての利用の可能性を調査、研究する。

半導体 QD は、超伝導量子ビットとともに、量子コンピュータの中核となる量子デバイスとして有望視されている。量子コンピュータでは、量子の可干渉性が必須であるが、半導体 QD およびその周辺からの電離放射線はこの可干渉性を破壊し、特に多数ビットの量子コンピュータの実現を阻害する要因の 1 つとなり得る。本研究では、半導体 QD の放射線に対する応答性を調査し、この問題についての研究を行う。

また、本研究では、半導体 QD が放射線に対して敏感な応答を示す場合、この点を積極的に利用した、高感度の放射線センサーへの応用を探ることを考えている。

本研究の課題の 1 つは、どのようにして半導体 QD に電離放射線を照射するかと言う点にある。半導体 QD は、真空中の極低温で動作するため、その極近傍に放射線ソースを設置することは容易でない。その一方で、クライオスタットの外部に放射線のソースを設置する場合、非常に強い強度のガンマ線ソースを必要とし、現実的でない。

このような背景のもと、昨年度は、量子 QD の基板が GaAs であることに着目し、Ga, As の中性子捕獲反応を利用した研究を行った。すなわち、基板の GaAs を、中性子によって短寿命の放射性元素に改変し、その原子核がベータ崩壊する際のエネルギーに寄る影響を調べた。この研究では、冷却温度などの条件を緩和するため、量子 QD では無く、量子ポイントコンタクト（量子 PC）を用いた。結果は、使用した中性子の量が充分で無いため、放射線影響の有無についてはっきりとした結論を出すことができなかった。

今年度は、クライオスタット中でアルファ線

を照射／非照射できるような装置を組み立て、この装置を用いて、アルファ線の量子 PC に対する影響を調べた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

前年度の中性子源を用いた測定では、中性子源が弱いために放射化した GaAs 量が少ないという本質的な問題に加え、基板上で放射化した元素（主に ^{198}Au ）の寿命が長く ($T_{1/2}=64.66\text{ h}$)、変化が明瞭で無いという点も課題であった。そのため、今年度の研究では、十分なエネルギーの放射線を照射した場合、照射していない場合の状態を短時間で切り替え可能であるような装置系の構築を行う事とした。このために、我々は、真空中でも使用できるアルファ線ソース (^{241}Am , エネルギーは 5.4 メガ電子ボルト) を、クライオスタット外部から駆動可能となる様に改造した。(図 1) この機構によって基板上の、ある限られた領域に対して、放射線を照射した状況と非照射の状況を切り替えることが可能となった。特に、今回我々が使用したアルファ線ソースは、直径 2.4 ミリの円形の領域がアクティブであり、従って、基板上の限られた領域にアルファ線を手動的に照射することが可能である。図ではアルファ線ソース用の固定具を取り付けているが、固定具を変更することで、他の放射線ソース（例えば、 ^{55}Fe , 1.7 キロ電子ボルトなど）にも対応できる。

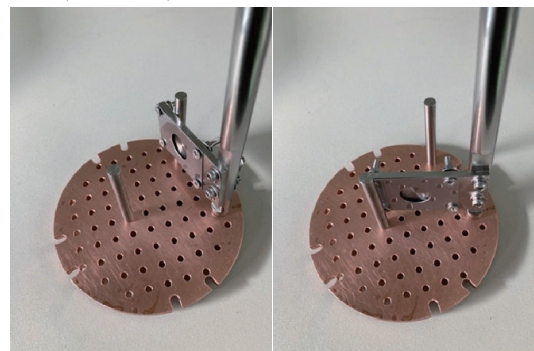


図 1 放射線ソース可動機構：上部からのステンレス製ドライブシャフトによって、アルファ線ソースを固定する治具を回転する。回転の角度は、2本のステンレス製のポールによって制限される。この機構により、量子ポイントコンタクト部分に対して、アルファ線を照射する場合（右図）と照射しない場合（左図）を切り替えることが可能である。

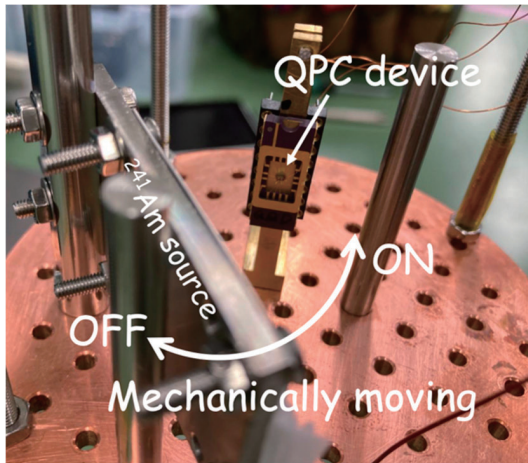


図 2：実際に、基板と放射線ソースをインストールした状態。図に矢印で示したように、ドライブシャフトの回転によって放射線ソースを照射／非照射の状態を切り替えることができる。

この機構を用いて、量子ポイントコンタクト (QPC) にアルファ線を照射した状態での電流値の振る舞いを調べた。試料は He ガスによる熱交換によって冷却され、実験中の温度は 4.6 K であった。実験の手順は以下の通りである。

1. ドレイン-ソース間電圧，ドレイン-ゲート間電圧の双方をある値に設定する。
 2. アルファ線を照射した状況で，100 秒間ドレイン電流を測定する。測定頻度 約 1 Sample/s である。
 3. アルファ線を照射しない状態で，100 秒間ドレイン電流を測定する。
 4. 2，3 を 3～4 回くり返して測定を行う。
- ドレイン-ソース間電圧，ドレイン-ゲート間電圧を複数の組合せで測定を行ったが，アルファ線の照射／非照射で明瞭な差は見られなかった。しかし，ドレイン電流が安定しておらず，現在，統計的に有意な変化があったかどうかを詳細に解析しているところである。

上記の様に，アルファ線ソースの有無による際は明瞭ではなかった。しかし，ドライブシャフトの回転に合わせて変化したと考えられる測定もあった。そこで，我々は，今後以下の 2 点の改良を考えている。第一に，照射／非照射を自動的に切り替え，長時間，系統的にデータを取るよう改良する。次に他の線種を用いてデータ取得を試みる。アルファ線は非常に吸収されやすい性質を持つため，例えば，基板上にヘリウム液体が薄く存在すると，アルファ線が基板まで到達しない可能性がある。今回の測定では，ヘリウムガスの熱交換で冷却しており，ヘリウムのフィルムの影響を完全には排除しきれない。そこで，アルファ線よりも透過力が強い，ガンマ線の利用である。ガンマ線を利用する場合，

エネルギーが高いと基板をも透過してしまうため，エネルギーの低いガンマ線が適している。このようなソースとして， ^{55}Fe (1.7keV) を検討している。モンテカルロシミュレーションによって，どの程度のエネルギーがどの程度の頻度で，基板上にエネルギーを付与するかの計算を行う予定である。

3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

量子コンピュータは現在のコンピュータを大きく越えた，圧倒的な処理能力を持つとされている。しかし，それを実現するためには，多数の量子系において，量子状態を長く保ち，相互に干渉させることが必須である。量子状態は，外部からの擾乱によって，容易に状態が変わってしまう。そのような擾乱の 1 つとして放射線が考えられる。実際，超伝導素子を用いた量子ビットが，放射線，とくに宇宙線ミューオンによって壊れることが示されている。半導体 QD を用いた量子ビットは，超伝導量子ビットに比べ，素子自身の体積が小さいことから，宇宙線の影響がより小さいと考えられている。しかし，これを実験的には未確認である。この点を実験的に明らかにするには，微弱放射線の測定など，素粒子物理学の知識と経験が必要である。逆に，素粒子実験物理学では，非常に微弱な信号を捉えるために，量子デバイスが注目されている。このように，量子デバイスは学際的なフロンティアとなっており，本研究は，このフロンティアの発展に貢献できると考えている。

今後さらに半導体量子デバイスに対する放射線の影響を調べるとともに，量子ドットを用いた実験への進展を検討している。

3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本プロジェクトによって，量子ドットの研究者と素粒子・原子核分野の研究者が協力し，量子素子の放射線センサー利用，量子素子の耐放射線性能という 2 つの側面から，学際的な研究を開始することができた。この結果，2022 年度の挑戦的研究 (萌芽) 「半導体量子ドットデバイスの放射線応答の調査と放射線検出器への利用」 (研究代表者：大阪大学 吉田 斉) が採択された。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・「量子ポイントコンタクトの放射線応答についての研究」 吉田 斉，西川 隆博，柴田 真尚，岸本 康宏，大塚 朋廣，2023 年 2 月 16 日，令和 4 年度，東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト研究発表会

(2) 関連リスト (謝辞なし)

採択番号：R03/A07

原子層量子デバイスの開発

[1] 組織

研究代表者：

加藤 俊顕 (東北大学 大学院工学研究科)

通研対応教員：

大塚 朋廣 (東北大学 電気通信研究所)

研究分担者：

澁田 靖 (東京大学 大学院工学研究科)

李 秦宜 (九州大学 大学院工学研究科)

延べ参加人数：70人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

原子オーダーの厚みを有する原子層物質は、優れた基礎物性を示すことから世界中で活発な研究が展開されている。特に、半導体的性質を有する原子層物質に関する研究・開発は、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、これら原子オーダーの厚みをもつ半導体物質に関して、構造制御合成と新たな高性能量子デバイス応用を目的として研究を行った。

研究三ヶ年計画の二年度目にあたる本年度は、原子層量子デバイスへの応用が期待されるグラフェンナノリボン量子ドットの集積化合成に関する研究を重点的に行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

(研究討論会等開催状況)

日時：令和5年2月20-21日

場所：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟306 講義室/オンラインハイブリット

1. 「Quantitative analysis of plasma irradiation dose to seeds」 T. Okumura¹, K. Koga^{1,2}, M. Shiratani¹ (¹Faculty of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University, ²National Institutes of Natural Sciences)
2. 「Anticancer mechanisms of plasma-activated liquids」 H. Hara (Gifu Pharmaceutical University)
3. 「A Novel Therapeutic Approach using Atmospheric Pressure Plasma for Obesity and Type2 Diabetes」 M. Kanzaki (Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku

University)

4. 「Diagnostics of reaction induced by plasma-liquid interaction」 N. Shirai (Graduate School of Engineering, Hokkaido University)
5. 「Optical emission measurement of arc plasma on molten iron」 H. Muneoka (School of Engineering, The University of Tokyo)
6. 「Experimental Detection of Liquid Phase Short-Lived Reactive Species Using Plasma Exposed High-Speed Water Flow」 K. Takeda, S. Sasaki, K. Takashima, and T. Kaneko (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
7. 「Two-phase flow simulation around complex structures by lattice Boltzmann method」 M. Sugimoto (Graduate School of Engineering, Tohoku University)
8. 「Exploration of novel nanomaterials using 'nano-test-tubes」 Y. Nakanishi (Department of Physics, Tokyo Metropolitan University)
9. 「Emergent quantum phenomena in strongly-correlated van der Waals superstructures」 M. Nakano (School of Engineering, The University of Tokyo)
10. 「Optical spectroscopic studies on 1D and 2D nanomaterials」 Y. Miyauchi (Institute of Advanced Energy, Kyoto University)
11. 「Elucidation of defect formation mechanism in monolayer WS₂ with in-situ monitoring CVD」 Y. Iwamoto, T. Kaneko, T. Kato (Graduate School of Engineering, Tohoku University)

本研究会では学内外を含め延べ70名以上の参加者があり、講演は「原子層量子デバイス開発」と「プラズマ医療・バイオ応用」を主テーマに、プラズマとその応用、原子層物質の合成・制御と物性計測手法、バイオ応用プラズマプロセス等の立場から、専門分野を越えて活発な議論がなされた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは、原子オーダーの厚みを有する半導体原子層材料であるグラフェンナノリボン(GNR)の量子デバイス応用を目的とし、研究を行った。その結果、以下に示す研究成果を得た。

原子オーダーの薄さを持つグラフェンが疑似的に0次元とみなせるスケールまでナノスケール化することで、量子ドットとしての振る舞いを示すことが多くの研究により明らかにされている。グラフェン量子ドットを活用することで、グラフェン特有の弱いスピン軌道相互作用により、スピン型量子コンピュータのコヒーレンス時間の長寿命化が期待されている。実際の量子コンピュータの性能は各素子の能力とそれらを基板上に多数配置する集積度の積で決まる。グラフェン量子ドットに関しては、各素子の性能追求に関する研究は世界中で数多く展開されているものの、それらを基板上に自在に配置する“集積化”に関しては、全く解決策が提示されていないのが現状であった。

本研究グループでは、これまで1次元構造のグラフェンであるGNRを大規模集積化合成可能な手法を独自に開発し、100万本のGNRを98%の効率で大規模集積化合成することに成功している。本研究では、この1次元GNRを0次元に量子ドット化する技術を開発し、グラフェン量子ドットデバイスの大規模集積化合成の実証に取り組んだ。

1次元構造のGNRの長さを可能な限り短くし0次元構造に近づけることで、より安定な量子ドット形成が

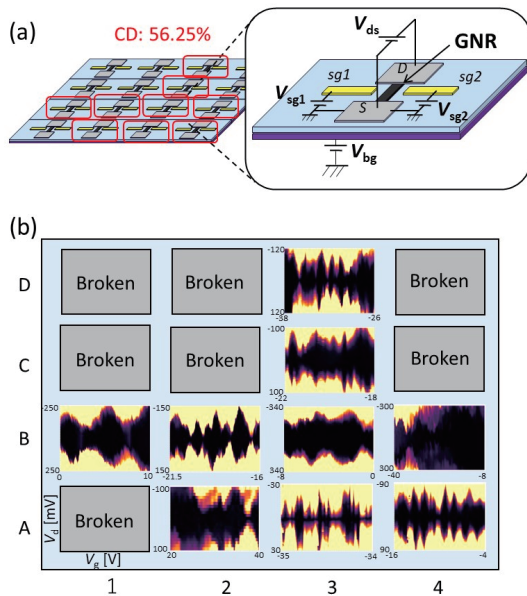


図1：(a)GNR集積デバイスの構造模式図。(b)同一基板上に16個形成したGNRデバイスの特性比較。“Broken”は合成後に電流が流れなかったデバイスを示す。

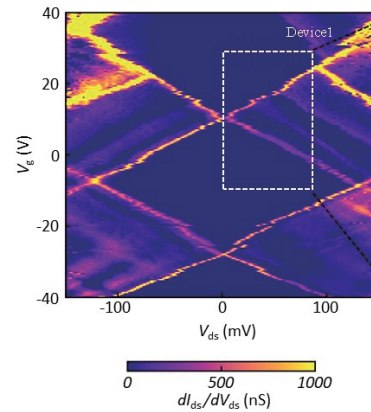


図2：励起準位が観測されたGNR量子ドットのクーロンダイヤモンド特性。

期待できることから、GNRの長さを決定している初期のNiナノバー長(L_{Ni})を変化させて合成条件の最適化を行った。その結果、 L_{Ni} を短くするにつれGNR量子デバイスの作製効率が向上することが判明した。

次に、同手法を活用した大規模集積化の可能性を検討するため、基板上に16個のGNRデバイスを集積化し、クーロンダイヤモンドが観測されるデバイス確率を評価した(図1(a))。その結果、半数以上の9個のデバイスで明確なクーロンダイヤモンドの観測に成功した(図1(b))。この結果は56%の作製効率でGNR量子ドットが同一基板上に集積化合成可能であることを意味する。

より詳細なGNR量子ドットの評価するため、極低温下(~ 2.2 K)での量子伝導特性の評価を行った。その結果、クーロンダイヤモンド特性のダイヤモンド端周辺に平行なラインが複数観測され、これらがGNR量子ドットにおける励起準位であることが判明した(図2)。さらにGNR量子ドット中の励起準位は20 K程度まで安定に存在可能であることが明らかとなった。この高温安定の理由は未解明だが、現時点では、量子ドットの起源がGNR中に形成された10 nm程度の極めて微細な局所構造であること、およびGNR中の電子の有効質量がSiに比べて軽いことに由来すると考えている。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究は、我々が独自に開発したGNR集積化合成手法を活用することで、GNR量子ドットデバイスの集積化合成の可能性を実証したものである。本手法を応用することで、GNR量子ドットを活用した量子集積デバイスへの発展が期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

• T. Kato, T. Kitada, M. Seo, W. Okita, N. Sato, M. Shinozaki, T. Abe, T. Kumasaka, T. Aizawa, Y. Muto, T. Kaneko, T. Otsuka, “Scalable fabrication of graphene nanoribbon quantum dot devices with stable orbital-level spacing”, *Communications Materials* **3**, 103-1-7 (2022).

• X. He, Y. Iwamoto, T. Kaneko T. Kato, “Fabrication of near-invisible solar cell with monolayer WS₂”, *Scientific Reports* **12**, 11315-1-8 (2022).

採択番号：R03/A09

超広帯域通信のための THz オンチップアレイアンテナに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

金谷 晴一（九州大学大学院
システム情報科学研究院）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

宮原 鼓人（九州大学大学院
システム情報科学府）

竹上 航平（九州大学大学院
システム情報科学府）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

通信トラフィックの増大に伴い、アクセスならびにインターフェースの高速無線化が喫緊の課題であり、国内外で「100Gbit/s 無線」に対するニーズが顕在化している。テラヘルツ波 (THz, 300GHz~3THz) の利用は課題解決のための有力な解である。本研究テーマ「超広帯域通信のための THz オンチップアレイアンテナに関する研究」では、将来の大容量テラヘルツ通信を実現するため、アンテナ及び送受信回路を集積化するための基盤技術を確立することを目的として研究を行った。

これまで、末松 憲治 教授（東北大学電気通信研究所）と共に、Global Foundries 社 45nm SOI (Silicon on Insulator) プロセスを用いて、集積回路基板上にテラヘルツ帯で動作する超広帯域平面アンテナの設計手法を確立し、1THz 帯で動作する平面アンテナの試作及び評価を行ってきた。今回、その成果や設計・計測方法の知見を用いて、アンテナの利得向上のためのアレイ化及び THz 信号を伝送させるコプレーナ線路に関する研究を実施した。なお、アンテナ及び伝送線路の設計については九州大学が所有する三次元電磁界解析ツール (HFSS, ANSYS) を用い、末松 憲治 教授と共同で、Global Foundries 社のプロセスデザインキットを使用した。以下、研究活動状況の概要を記す。

日時：令和4年4月27日（水）

場所：北海道 函館市市民会館

参加者：末松 憲治、金谷 晴一

打合せ内容：URSI (Union Radio-Scientifique

Internationale: 国際電波科学連合) (URSI-C 小委員会) 公開研究会において THz 帯で動作する平面アンテナの設計及び試作・評価に関する発表及び打ち合わせ

成果報告会：

日時：令和5年2月16日（木）

場所：東北大学電気通信研究所（オンデマンド）

参加者：末松 憲治、金谷晴一

発表内容：超広帯域通信のための THz オンチップアレイアンテナに関する研究（ポスター発表）

その他の打合せ：

電子メールによる打合せ

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第一に Global Foundries 社の 45 nm SOI プロセスを用いて、単方向スロットアンテナを設計した。メタル密度ルールなどのデザインルールを満足する設計ができた。

第二にオンチップアンテナの測定において、プローブのコンタクト部に関する解析及び最適化を行った。オンチップアンテナの測定のため、九州大学に現有する THz 帯オンウエハプローブシステムを用いるが、昨年度までの測定において、オンウエハプローブのコンタクト面積が小さく、プローブとの接続が難しかった。そこでアンテナから伝送線路を引きのばすことで、コンタクトの自由度をあげることにした。

図1は前回試作したアンテナのチップ写真である。図の赤枠の部分がコンタクト用のパッドである。中心が信号線路で両脇が GND 用の PAD である。

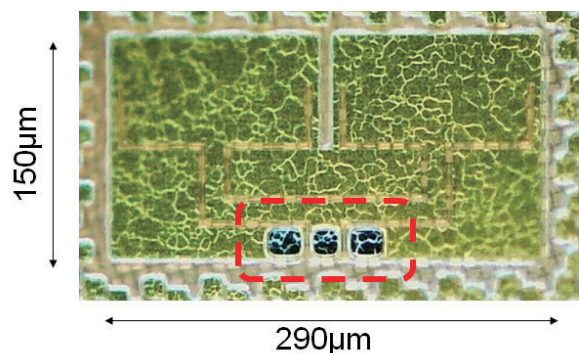


図1 1x2 アレイアンテナのチップ写真

図 2 は伝送線路を追加した 1x2 アレイのレイアウトである。コプレーナ線路は中央の信号線幅と両脇のギャップ間隔により自由に線路の特性インピーダンスが設計できるので、平面回路に適している。また、アンテナは動作周波数においては、回路的には共振器としてふるまうため、コプレーナ線路の長さは約半波長とした。

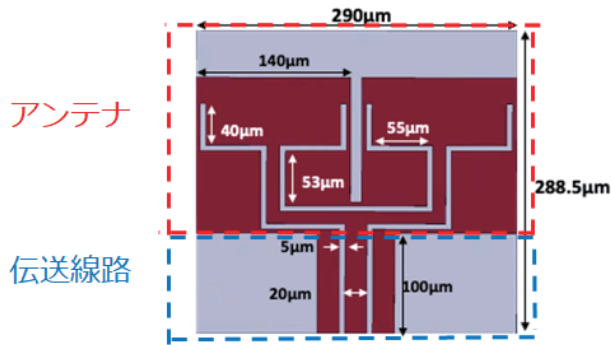


図 2 伝送線路を追加したアレイアンテナのレイアウト

ここで 1THz における波長より、伝送線路長は

$$\frac{\lambda_{eff}}{2} \doteq 100[\mu\text{m}]$$

となった。なお、 λ_{eff} は管内波長である。

図 3 は図 2 のレイアウトにおける利得の電磁界解析結果である。1.02THz において 6.25dBi の利得が得られ、伝送線路無の場合の利得 7.64dBi@1.02THz と、ほぼ同等の結果を得た。今後は、図 2 のレイアウトを Global Foundries 社の 45 nm SOI プロセスにより試作する計画である。

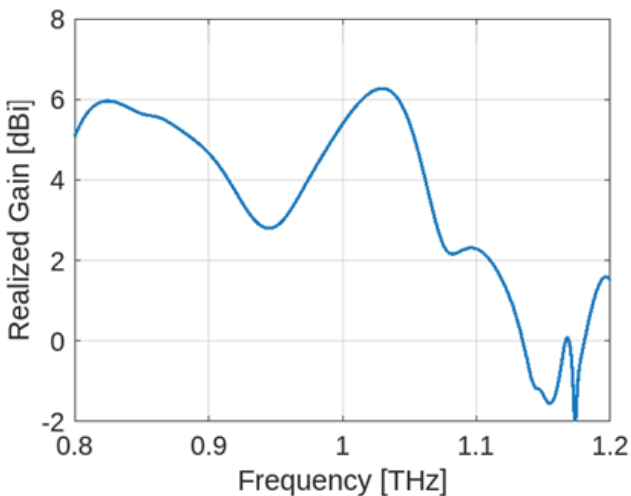


図 3 アンテナ利得の周波数特性

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

プロジェクトで実現された Global Foundries 社 45 nm SOI プロセスによる 1 THz 単方向平面アレイアンテナの研究に関する成果は、今年度は URSI-C 小委員会の公開研究会において招待講演を行った。特にプロセス分野やセンシング分野、および通信分野の研究者と活発な議論をすることができ、今後の異分野融合の研究分野への発展が期待できる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・“THz 帯オンチップアレイアンテナに関する研究”、金谷晴一、URSI-C 小委員会第 25 期第 3 回公開研究会 (2022 年 4 月 27 日)

・“テラヘルツ帯オンチップ単方向スロットアレイアンテナの開発”、金 怜、多喜川 良、金谷晴一、2022 年度 (第 75 回) 電気・情報関係学会九州支部連合大会講演論文集、pp. 209, (2022 年 9 月 16-17 日)

・“1THz 帯 4 アレイオンチップ単方向スロットアンテナの設計および試作・評価”、金 怜、多喜川良、金谷晴一、第 37 回エレクトロニクス実装学会春季講演大会 (2023 年 3 月 13-15 日)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・”Arrayed Photomixers for THz Beam-Combining and Beam-Steering”, Ming Che, Kazuya Kondo, Haruichi Kanaya, Kazutoshi Kato, Journal of Lightwave Technology, Vol. 40, Issue, 20, pp.6657-6665, 2022. (Oct. 15, 2022) 10.1109/JLT.2022.3204113.

採択番号：R03/A10

RTD の非線形性を用いた高周波カオス回路とその応用

[1] 組織

研究代表者：

前澤宏一（富山大学学術研究部工学系）

通研対応教員：

尾辻泰一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

安藤浩哉（豊田高専情報工学科）

森雅之（富山大学学術研究部工学系）

Umer Frooq（富山大学大学院）

西田彬（富山大学大学院）

中村浩輔（富山大学大学院）

清水晴喜（富山大学大学院）

延べ参加人数：8人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

最近、超高速通信など、THz 周波数帯への注目が集まるに連れて、共鳴トンネル素子 (RTD) への期待も高まっている。RTD は室温で微分負性抵抗を示すヘテロ接合素子であり、THz を越える超高周波動作が特徴である。RTD の微分負性抵抗特性は発振器の基盤であり、他の固体電子デバイスでは困難であった THz 信号の室温における生成が可能である。すでに 1.98THz という高い発振周波数が報告されている。

一方、RTD には非常に強い非線形性を示すという特徴もあり、この両者を活かせば THz 領域での新しい情報処理デバイスの実現も期待できる。強い非線形性を活かす一つの応用としてカオス生成器がある。カオスは決定論的現象であるが、予測不可能な複雑な振る舞いを示し、最近、情報処理や通信への応用が模索されている。RTD を使うことにより、シンプルな回路で THz 領域のカオス生成が可能となれば、様々な応用が可能となる。本研究では、RTD 発振器を基盤としてカオス生成器を作製し、その特性を明らかにする。

本年度は、本プロジェクトの2年目であり、昨年度作製したシンプルなカオス回路に関してさらに検討を進めた。その結果、これまで困難であった、カオスの特徴づける物理量のマイクロ波帯での評価を可能とした。

以下、活動状況の概要を示す。

1) 共鳴トンネル素子を用いたカオス回路

本検討で使用した回路の概略を図1に、PCB上

に作製した回路写真と、用いた RTD の SEM 像を図2に示す。この回路は、ダuffing方程式における3次のポテンシャル項の部分を実験的に RTD の電流-電圧特性に置き換えたものになる。そのため、ダuffing方程式に類似した出力が現れる。RTD を用いているため、THz 領域に達する高周波動作が可能という特徴がある。しかし、高周波のカオス回路の出力の観測にはサンプリングオシロスコープを使う必要があるため、様々な波形が重なった形でしか観測できない。これを観測可能とするためには、カオスの周期化が不可欠である。このための方法として我々は、カオス回路に制御端子を設け、周期的にカオスを初期化する方法を提案してきた。図1のReset端子はこのために設けたものであり、周期的なリセットパルスを加えることで、本来非周期的なカオスを周期化し、サンプリングオシロスコープでの特性評価を可能とした。

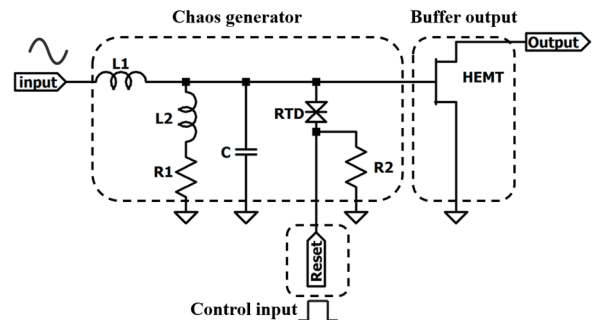


図1 RTD カオス生成器の基本回路

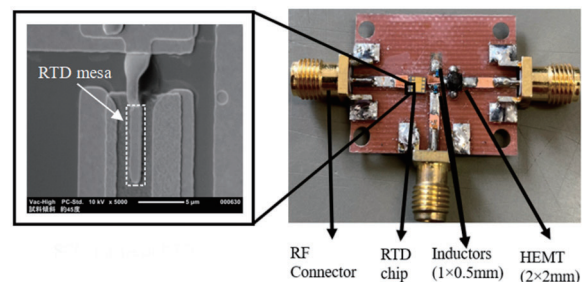


図2 PCB上に作製したRTDカオス生成器と用いたRTDのSEM写真

2) カオス性の実証

作製した RTD カオス生成器にマイクロ波を入力し、その出力をサンプリングオシロスコープを用いて観測した。その結果、2倍周期、3倍周期や、非周期的な出力を観測できた。非周期的な信号をサンプリングオシロスコープで観測可

能とできたことは、本回路構成の重要な利点を示している。しかし、単に観測可能な時間範囲で非周期的であることはカオスであることと同義ではない。カオス性を実証するためにはより詳細な検討が必要である。

図 3 は非周期的出力信号の特性評価結果の一例である。図 (a) は出力波形を、図 (b) はそのスペクトルを示す。スペクトルはブロードな多くのピークからなっており、カオス的な特性を示している。図 (c) は時間遅延による埋込方式を用いて作成した相図であり、ダフティング方程式系に類似した複雑な軌道が得られた。(d) はリターンマップであり、カオス系でよく見られるピークを持つ形状が得られた。

さらに、測定結果から、リアプノフ指数の導出を行い、最大リアプノフ指数として 0.0579 を得た。正のリアプノフ指数は、初期条件の違いが指数関数的に増大することを示しており、カオス性を示す重要な指標である。

3) 伝送線路 RTD 発振回路の検討

上記の検討とは別に、伝送線路を用いた高次高調波発振器の検討も進めた。この構造は複数の RTD を伝送線路で結合したものであり、より複雑な動作も期待できる。これまで、シミュレーションで強い高次高調波の生成を予想してきたがまだ実験的検証はできていなかった。今年度は、この回路のプロトタイプを PCB 基板上に

作製し、その効果を調べた。結果として、強い 5 次の高調波の生成を実験的に検証できた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第1に、外部入力端子、及び、周期的リセット端子付きの RTD 発振器を PCB 基板上に InGaAs RTD とチップ部品を利用して作製し、基本動作を実証した。

第2に、上記回路の詳細な測定を行い、カオス性を実証した。特に、これまで不可能であった、マイクロ波帯でのリアプノフ指数を導出できたことは重要な成果である。

第3に、伝送線路を用いた高次高調波発振器の検討も進め、5 次の高調波の選択的な生成を実験的に検証した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

3-1 で述べた結果は、RTD を用いた 100 GHz 以上の超高周波領域での制御されたカオス信号の生成、及び、それによる情報処理の基盤となるものである。特に、今回可能となったサンプリングオシロスコープによる波形取得とそこからのリアプノフ指数の導出は、ミリ波から THz 帯への応用が可能であり、その効果は大きい。これにより、カオスを用いた超高速暗号化通信や、新しい情報処理アーキテクチャーに基づいた超高速集積回路など様々な応用が期待できる。

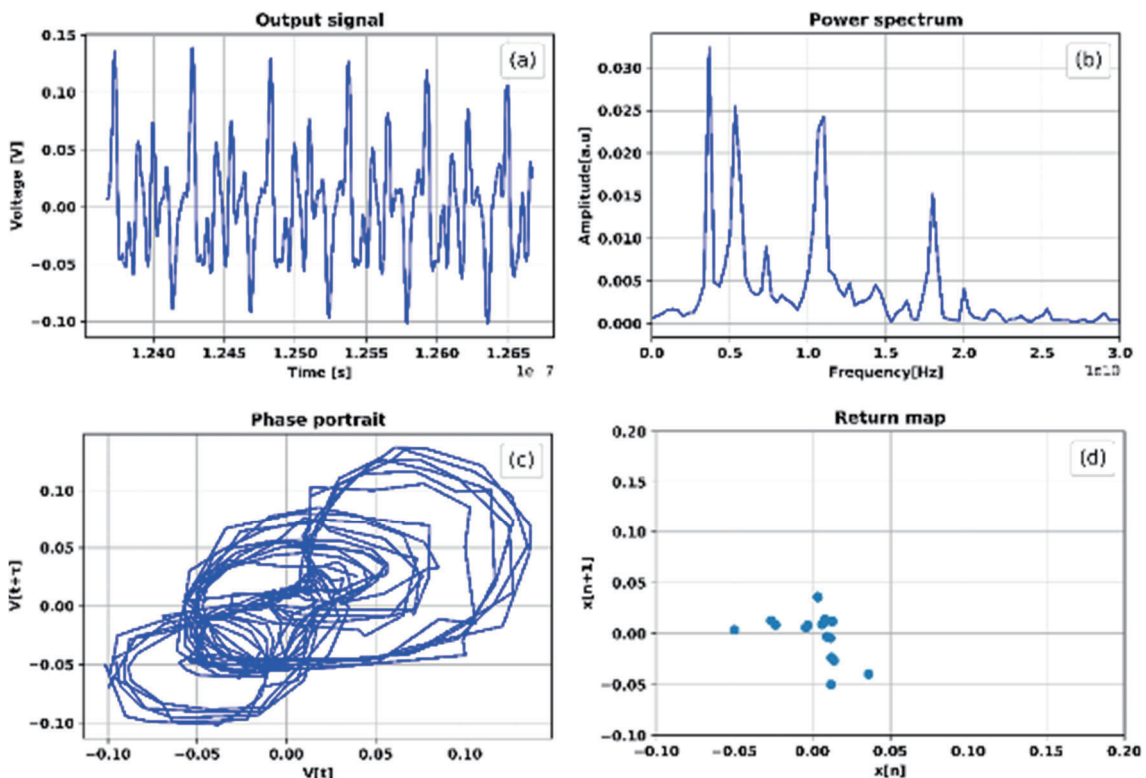


図 3 非周期的信号の特性評価結果 (a)出力波形 (b)スペクトル (c)相図 (d)リターンマップ

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

[1] Umer Farooq, Masayuki Mori, Koichi Maezawa, " Experimental characterization of resonant tunneling chaos generator circuits in microwave frequency range," IEICE Trans. Electron., accepted for publication (2023), DOI:<https://doi.org/10.1587/transele.2022ECP5037>・

(2) 関連リスト (謝辞なし)

[1] 西田彬、森 雅之、前澤 宏一、「共鳴トンネルダイオードを用いた高調波発振器の検討」、令和4年度(2022年)応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会 (12月3日(土)、ハイブリッド開催：金沢工業大学)

[2] 陳皓、Umer Farooq、森 雅之、前澤 宏一、「ボンディングワイヤをインダクタンスとして用いた共鳴トンネルダイオード発振器」、令和4年度(2022年)応用物理学会 北陸・信越支部 学術講演会 (12月3日(土)、ハイブリッド開催：金沢工業大学)

採択番号：R03/A11

端末内蔵型ミリ波大規模アレイアンテナの研究

[1] 組織

研究代表者：

吉田 賢史 (鹿児島大学学術研究院理工学域工学系)

通研対応教員：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

朝倉 俊哉 (鹿児島大学大学院理工学研究科)

亀田 卓 (広島大学・ナノデバイス研究所)

西川 健二郎 (鹿児島大学学術研究院理工学域工学系)

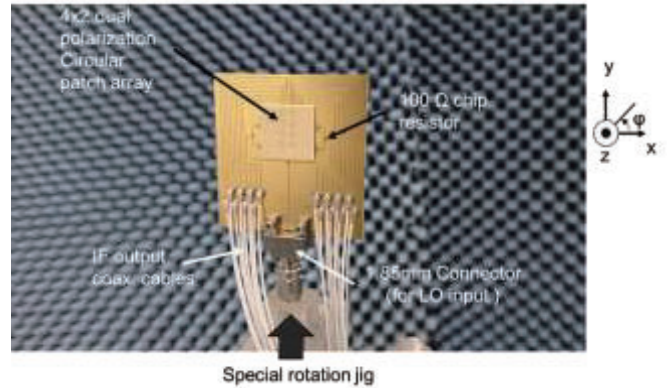


Fig.1 The fabricated antenna.

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

5G と呼ばれる第 5 世代の移動通信システムでは、マッシュ MIMO (Multi Input Multi Output) や、キャリアアグリゲーション技術に加え、今までの 4G では使われていない 28GHz 帯通信についてもサービスが開始されている。しかし、現状で市販されている 5G 端末では、すべての機種に 28GHz 帯の通信機能は搭載されておらず、ハードウェア的なハードルの高さが端末価格に反映されている。次世代の 6G や 7G においては、更なる通信の高速化のため、より高い周波数帯である 60GHz 帯の採用の可能性もあり、ソフトウェア、ハードウェアを問わず多くの分野において基礎研究を進めておくことは適切な時期が到来した際にスタートダッシュを決めて日本の技術力を示す際に重要となる。本提案では、従来のスマートフォンに、60 GHz 帯の通信システムを搭載した小型携帯端末の実現を見据え、60 GHz 帯のアンテナ

に着目する。マイクロ波帯に比べ電波の直進性が高く、かつ伝搬損失が大きいためアンテナの利得を大きくするアレイ化が必須となる。しかし、利得を上げることはビーム幅を狭くすることであるため、レーザポインタのようにピンポイントで端末の位置や方向を調整し続けなければ安定した通信ができない。これでは実用性にかけるため、提案者らは 60 GHz 帯 3 次元指向性制御アンテナを提案している。電磁界シミュレータによる設計のみならず、試作および測定により 60GHz 帯における 3 次元指向性制御の実現性を示すことを大きな研究目的とする。

本プロジェクトは、本年度が第 2 年度目である。昨年度は 2 × 2 構成のパッチアレイアンテナの測定を行ったが、今年度は 2 倍に大規模化した 4 × 2 構成のパッチアレイアンテナの試作及び測定を行った。測定生データを MATLAB により処理し、3 次元指向

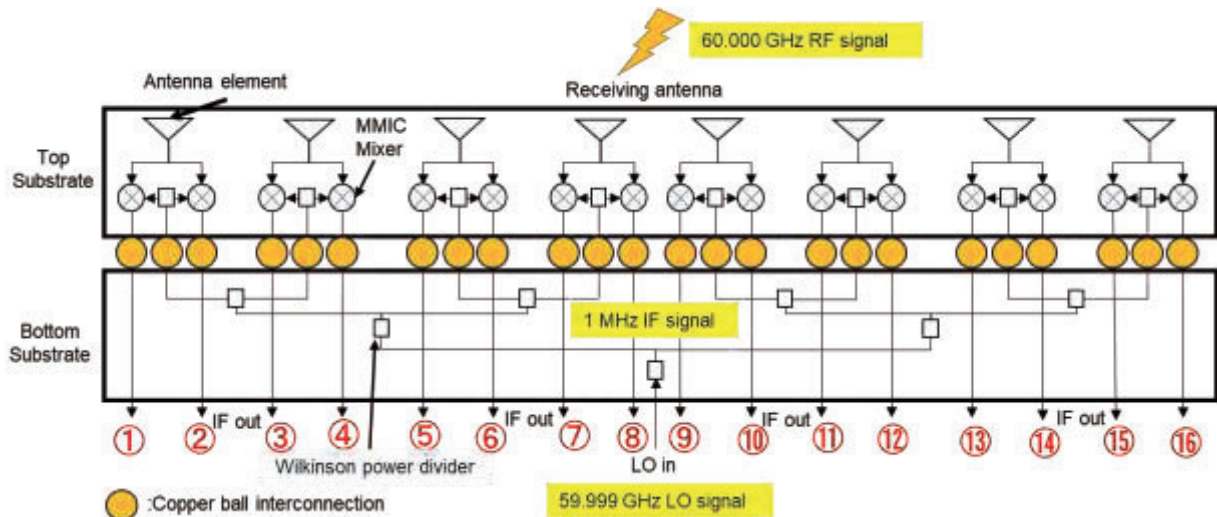


Fig.2 The block diagram of the fabricated antenna.

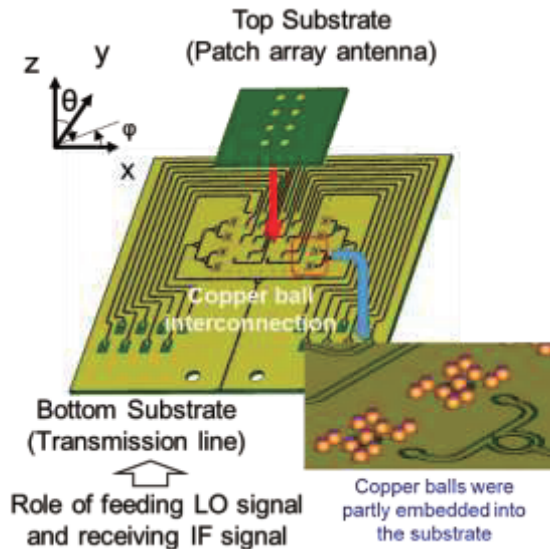


Fig. 3 The simulation model of the proposed antenna.

性パターンを得た上で、利得が 10 dBi 以上となる領域を抽出する。位相差給電操作も MATLAB 上で行い、デジタルビームフォーミングを行った場合のカバレッジアンテナを評価した。以下、研究活動状況の概要を記す。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

図 1 は提案アンテナの全体構造の写真である。また、図 2 は提案アンテナのブロック図である。提案アンテナは Top substrate と Bottom substrate の多層基板 2 枚から構成されており、2 枚の多層基板同士を銅ボール接続技術により積層した。銅ボール接続技術により、60GHz 帯の信号の基板間伝送と物理的な基板支持を可能にした。銅ボールの直径は 0.35 mm である。Top substrate にはベアチップの GaAs MMIC Mixer が多層基板上にフリップチップ実装されている。円形パッチ素子を用いた 4X2 アレイ構成とした。素子アンテナが 2 点給電型のため、各素子に 2 個ずつ、合計 16 個のミキサチップを搭載した。提案アンテナを受信アンテナとして動作させ、受信した 60 GHz の信号を 59.999 GHz の LO 信号により 1 MHz の IF 信号に変換し、その IF 信号をオシロスコープにより観測する。そのため、Bottom substrate には IF 信号を取り出すための表面実装型の W.FL 超小型同軸コネクタを搭載している。また、LO 信号の分配には Wilkinson divider を用いた。

図 3 は提案アンテナの 3 次元電磁界解析モデルである。LO 入力の 1.85mm 同軸コネクタは含まれていない。各素子アンテナの Feed pin にポートを設定し、3 次元放射パターンを解析した。基板材料は MEGTRON7 である。素子間隔 $dx = dy = 3.0$ mm である。

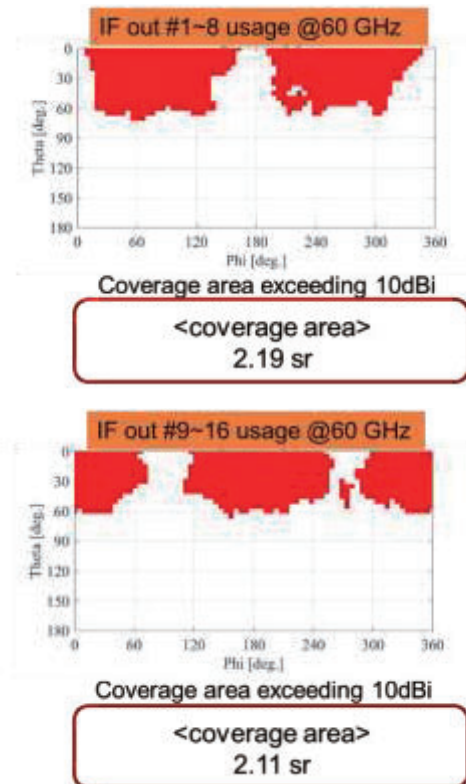


Fig. 4 Coverage area having over 10 dBi gain at 60 GHz while each orthogonal feeding point was used.

本報告書では、紙面の都合で解析結果は省略するが、以下で述べる測定結果と傾向の一致する結果が得られており、解析の妥当性を確認することができた。

これまで提案者らにより維持管理されてきた東北大学電気通信研究所の測定系を用いて、60 GHz 帯における 3 次元放射パターン測定を行った。得られたデータは MATLAB によりデータ処理を行って、利得が 10 dBi 以上となる領域をカバレッジエリアと定義し評価する。図 4 は各素子アンテナの給電位相差を 45 度刻みで得られる全 64 個の組み合わせの 3 次元放射パターンから 10 dBi 以上の利得となる領域を足し合わせたカバレッジエリアである。素子アンテナは直交 2 点給電されるため、それぞれの偏波ごとにカバレッジエリアを評価する。上は port1 から 8 を用いた結果、下は port9 から 16 を用いた結果となっており、phi 方向で 90 度移動した結果が得られたことから、偏波の直交性を確認できた。これらの成果は、[4]の 3 つ目の国際会議に採択された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

申請者は助教であり、比較的若手の研究者であるが、2020 年度に新たに発足した若手研究者向けの JST の競争的資金公募である創発的研究支援事業に応募し、最終的に採択となった。本テーマとは直接的な関係はないが、本テーマで間接的に得られた知見やノウハウが生かされている。

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・桑田瑞希, 吉田賢史, 西川健二郎, “掘り込みつき銅ボール縦配線のための GCPW-SL トランジション設計・試作評価,” 信学ソ大, C-2-27, Sept. 2022.

・山本政樹, 吉田賢史, 西川健二郎, “60GHz 帯パッチアレイアンテナの S パラメータ測定法の違いによる特性の差に関する一検討,” 第 75 回電気・情報関係学会九州支部連合大会, 07-1P-09, Sept. 2022.

・ S. Yoshida, M. Kuwata, and K. Nishikawa, “Measurement of a 60-GHz-band digital beamforming array using 4-by-2 circular patch,” in Proc. 2022 Int. Symp. on Antennas Propag., Oct. 2022.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・特になし

採択番号：R03/A12

5G・IoTのためのエネルギーハーベストとメタサーフェス 応用に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

丸山 珠美 (函館工業高等専門学校)

通研対応教員：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

中津川征士 (函館工業高等専門学校)

Chen Zhi Ning (National University of Singapore (NUS))

陳 強 (東北大学大学院工学研究科)

佐藤 弘康 (東北大学大学院工学研究科)

大宮 学 (北海道大学)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

(目的)

本プロジェクトは、通信用の電波を、ワイヤレス電力伝送の技術により電波を電力に変えてIoT端末に用いられるセンサーなどの駆動に用いるエネルギーハーベストの実現を目的とする。このため、八木宇田アンテナの原理を用いて、電力伝送距離を拡張し、メタサーフェスを応用することによって、電力伝送エリアにフレキシビリティを持たせることを提案し、研究を行った。

(概要)

本研究は、今年度が二年目に相当する。前年度は、提案する八木宇田レクテナアレーのワイヤレス電力伝送効率を、ネットワークアナライザを用いた測定を実施し、導波素子の効果を明らかにした。メタサーフェスを送電部の背面に設置し電力の進行方向が送電部に対して傾いている場合でも電力を所望方向に伝送できることを明らかにした。受電素子の先端部を折り曲げダイポールレクテナとした場合も、導波素子により電力伝送距離を拡張できることを明らかにした。

今年度は、導波素子の形状に自由度を持たせるため、ループ型八木宇田アレーアンテナの応用による素子変形、集中定数の装荷による小型化について検討し、解析と実験により効果を明らかにした。さらに、各レクテナ素子から得た電力を集約し、より高い電力を得る手法を、アレー配置を変化させて検討した。これらの結果を査読付き国際会議などで報告した。

(研究打ち合わせ等の開催状況)

今年度も、コロナ禍の影響が続き、電波暗室での測定、

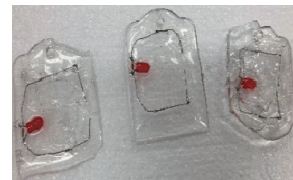
対面での打ち合わせは、実施しにくい状況であった。その中で、以下の打ち合わせを行うことができた。

- (1) 2023年2月電気通信研究所，参加者2名（末松先生，丸山）。
アンテナとして有効なループ素子がレクテナにすると短絡する問題の解決策について
今年度研究成果報告と次年度計画について
- (2) 2023年2月青葉山キャンパス，参加者3名（陳先生，佐藤先生，丸山）
メタサーフェスの試作測定と論文投稿に関して，進捗遅れの報告と解決策について
- (3) 2023年3月鳥取大学，参加者2名（末松先生，丸山）今年度報告書，および研究相談について
- (4) 通年電子メールにて，参加者組織全員
研究計画，進捗，報告書作成について

[3] 成果等

研究成果

八木宇田構造の持つ、導波器の効果を維持すると同時に、レクテナの配置、形状、サイズに自由度を持たせることが可能なレクテナアレーについて研究を実施した。



(a) Prototype three C-shaped loop type rectennas



(b) Experiment using C-shaped loop type rectenna array



(c) Experiment one C-shaped loop type rectenna

図1 C型ループレクテナアレー

(1) 折り曲げループレクテナアレーを提案し、素子をループ型にすることにより、八木宇田アンテナと同様に、ワイヤレス電力伝送効率が高い領域を遠くまで拡張することに成功し、その結果を AWPT2022 において報告した[1]。しかし、実験を開始したところ、LED を点灯することができなかった。この要因は、ループ形状がアンテナとしてはすぐれていたものの、レクテナにする際にループ形状が整流回路のショートの原因になり電位差が生まれにくいことが要因であることがわかった。そこで、ループを切り欠いた C 型ループレクテナアレーを新たに提案し、LED を遠くまで点灯可能なレクテナアレーを実現することができた[2]。C 型ループレクテナアレーを図 1 に示す。図 1(a)は、試作したレクテナ、図 1(b)はレクテナを 3 つアレー化することにより、LED が 3 つ全て点灯している様子を、図 1(c)はレクテナを一つとした場合で LED が点灯しない様子をそれぞれ示している。すなわち、C 型ループアンテナの場合も LED が点灯する素子を増やす程、より遠くの LED が点灯させられることが確認できる。本結果を、査読付き国際会議 IEEE URSIGASS2023 に投稿し採択された。

(2) 八木宇田レクテナアレーの小型実現のため、素子を半波長よりも短くし、インピーダンスを装荷することで整合をとるレクテナについて検討を行った。本レクテナについて LED 点灯実験を行い点灯に成功した。次に、本レクテナをアレー配置し、本レクテナも、複数個アレー配列した方が、一つだけ置いた場合に比べてワイヤレス電力伝送効率を高くできることを明らかにした[3]。電子レンジを用いた、インダクタンス装荷レクテナの LED 点灯実験結果を図 2 に示す。半波長レクテナと、インダクタンスを装荷し 0.23λ としたレクテナはそれぞれ LED を点灯する。すなわち、素子を小型にしてもインダクタンスを装荷することにより、LED を点灯できることがわかる。本結果を、査読付き国際会議 IEEE AP-S2023 に投稿し採択された。

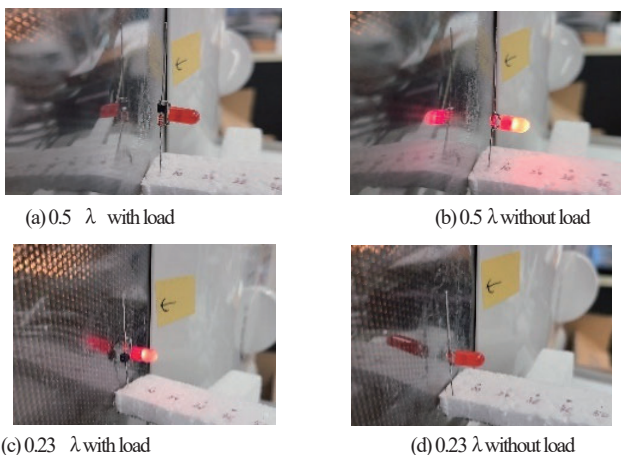


図 2 インダクタンス装荷レクテナの LED 点灯実験

(3) 各レクテナ素子から得た電力を集約し、より高い電力を得る手法を、アレー配置を変化させて検討した。半波長レクテナを電波の進行方向に沿って縦に配列した場合の結果を IEEE APWC2022 [4]で、送電部に対して鉛直方向に配列した場合の結果を、IEEE AP-S2023[5]で、それぞれ報告した。

(4) パッチ形状だけでなく、セル形状も 6 角形にしたメタサーフェスの設計法をまとめ、論文投稿準備を進めた。メタサーフェスの進捗は予定よりも遅れているため、次年度はこれを強化し、ビーム制御法の考案など積極的に進める予定である。

(5) 八木宇田アンテナの持つ導波素子のワイヤレス給電への応用について、これまでの半波長レクテナに加えて、磁界結合 WPT に対して検討を行った。その結果、磁界結合の場合も、無給電素子 (コイル) を中継素子として用いることによる伝送効率向上効果が確認できた[6]-[9]。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

[1] Noa Ebita, Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura: “Wireless Power Supply for LED Accessories Based on the Principle of the Looped Yagi-Uda Antenna,” 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop pp. 31-32, 2022.

[2] 海老田のあ, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也: “C 型ループレクテナアレーによる LED アクセサリの点灯実験と特性解析”, 信学技報, vol. 122, no. 443, WPT2022-60, pp. 129-132, 2023 年 3 月.

[3] 石黒大翔, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也: “インピーダンス装荷小型レクテナアレー,” IEICE2023 年総合大会通信講演論文集 1, B-20-005, p.484, 2023.

[4] Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Takahiko Nakamura, Yasuhiro Tamayama, Manabu Omiya: “The Rectenna Array for Minecart Fed by Leaky Wave Waveguide for Microwave Snow Melting,” 2022 IEEE-APS Topical Conference on Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), DOI 10.1109/APWC49427.2022.9899900, pp.65-66., 2022. Aug. (Invite)

[5] Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Takahiko Nakamura, Yasuhiro Tamayama, Tsunayuki Yamamoto, Manabu Omiya, Keiichi Ito, Kouzoh Ohshima, Mitsuru Muramoto, Yutaka Nasuno: “Wireless Power Transmission Efficiency of Rectenna Array Connected in Parallel,” 2022 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC-URSI Radio Science Meeting (AP-S/URSI), pp. 1744-1745, DOI: 10.1109/AP-S/USNC-URSI47032.2022.9886607, 2022.

- [6] Tamami Maruyama, Koki Shibata, Masashi Nakatsugawa: “Experimental Study of Efficiency with Inductance Load and Relay Coil for Magnetic Field Coupling WPT,” ISAP 2022 The 2022 International Symposium on Antennas and Propagation, DOI 10.1109/ISAP53582.2022.9998765, pp353-354.
- [7] Akari Kamada, Tamami Maruyama, Masashi Nakatsugawa, Masaya Tamura: “Analysis on the wireless power transmission efficiency of the moving objects simultaneously fed by a single coil for the magnetic field coupled WPT.” 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop 1, 134-136 2022.
- [8] 鎌田緋莉, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也: “負荷装荷磁界結合 WPT による LED 点灯実験,” 信学技報, vol. 122, no. 443, WPT2022-37, pp. 37-40, 2023 年 3 月.
- [9] 島田昂幸, 丸山珠美, 中津川征士, 田村昌也: “複数同時給電磁界結合 WPT の負荷装荷による効率改善”. IEICE2023 年総合大会通信講演論文集 1, B-20-11, p.490, 2023.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- [1] Tamami Maruyama, Koki Shibata, Masashi Nakatsugawa, Yasuhiro Tamayama, Manabu Omiya, Tsunayuki Yamamoto, Takahiko Nakamura, Kouzoh Ohshima, Mitsuru Muramoto, Yutaka Nasuno, Keiichi Ito: “Wireless Power Transmission Efficiency of Dipole Array Antenna using a Left-Handed Waveguide Slot Antenna as a Feeder,” ELEKTRIKA-Journal of Electrical Engineering, DOI10.11113/elektrika.v21n2.410, vol. 21, no.2.410, pp.86-89.
- [2] 鷗入宏太, 丸山珠美, 中津川征士, 大宮 学, 玉山泰宏: “マイクロ波融雪のためのサーキット型右手左手系導波管の過渡応答,” 信学技報, vol. 122, no. 411, MW2022-172, pp. 88-91, 2023 年 3 月.
- [3] 鷗入宏太, 丸山珠美, 中津川征士, 大宮 学, 玉山泰宏: “サーキット型右手左手系導波管の過渡応答,” IEICE2023 年総合大会通信講演論文集 1, B-20-004, p.483, 2023.

採択番号：R03/A13

広帯域光電子機能集積デバイスを用いた 低遅延かつシームレスなアクセスネットワークに関する研究 A Study of delay-sensitive access network configuration using widely frequency selectable optoelectronics devices

[1] 組織

研究代表者 (Principal Investigator) :
吉本 直人 (公立千歳科学技術大学)
通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :
尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)
研究分担者 (Project Member List) :
岩月 勝美 (東北大学災害科学国際研究所)
須藤 葵 (公立千歳科学技術大学)
喩 弘歴 (公立千歳科学技術大学)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

目的:

人口知能 (AI) 技術を用いて多様なデータを活用する Society5.0 時代を見据え、低レイテンシーでかつリアルタイム性の高いネットワーク基盤の実現が期待されている。また、5G の商用化に伴い、その先を見据えた beyond-5G や 6G の技術検討が開始されている。一方、実サービスにおいても、自動運転や拡張現実・仮想現実 (AR/VR) を利用したサービスにおいて、ネットワークのリアルタイム性の要求が高まっている。近年では、NTT が提唱する IOWN (Innovative Optical and Wireless Network) 構想も、この要求の実現を目指した手法のひとつである。これまでの課題として、ユーザ端末とエッジノードを結ぶアクセスネットワークにおいては、有線 (光ファイバ) と無線区間の伝送方式が独立に設計されていたため、伝送容量の増大に伴うエラー訂正や波形整形等の信号処理が全体を通して最適化されておらず、信号処理遅延が増大し、ネットワークのリアルタイム性を阻害することであった。この課題を解決するために、本研究では、近年進展著しい AI 技術のネットワークへの適用を試み、伝送路の状態や通信状況に応じて柔軟に有線・無線伝送媒体に依存せず全体最適化された信号処理技術を選択すること、また併せて、ミリ波・テラヘルツ波帯光・電子デバイスを用いることにより、信号処理遅延を大幅に削減し、高速・大容量性のみならず、低遅延・リアルタイム性を有した新しいアクセスネットワークの通信方式の実現に関する要素技術開発を行い、その有意性を世界に先駆けて実

証することを目的としている。本研究における目指すべき目標は、有線や無線、さらには地上や海中、宇宙などを意識することなく、低遅延でリアルタイム性の高い新しいアクセスネットワークの提唱とその基盤技術の確立に向けて、新しいアクセスネットワーク構成のモデル化と、そのキーとなるミリ波・テラヘルツ波帯を動作領域とする光・電子デバイスへの要求条件の明確化とその基本動作検証である。

概要:

対象とするネットワークとして、近年注目を集めている「オールフォトリクスネットワーク」を取り上げる。すべての情報伝送と中継処理をフォトリクスベースへ転換することで、光の持つ高帯域性・柔軟性を活用し、フルメッシュ接続された光パスを波長単位で提供するネットワークである。信号処理やネットワーク制御を行うために光信号を電気信号に変換していた従来の方法を抜本的に変革し、光信号のままネットワーク制御を行うことによって低遅延化と省電力化を図るものである。研究1年目の昨年度は、フォトリクスベースのアクセスネットワークとして、Passive Optical Network (PON) と波長によるパス切り替え動作が可能な光ルータを用い、集線スイッチ以外を光化した構成を提案した。これに加えて、汎用的な Real-time Protocol である STUN/TURN プロトコルや Remote Desktop Protocol (RDP) を検討し、これらを用いた遠隔からのロボット制御の検証を実施し課題点の抽出を行った。今年度は、昨年度の検討を踏まえ、ロボットの遠隔制御や光調心作業の遠隔操作についてオールフォトリクスアクセスネットワークを介して実施し、具体的な遅延量の評価を行った。

研究打ち合わせ等の開催状況

以下のとおり、全4回の打ち合わせを行い、都度研究の進捗状況やその方向性について議論を行った。

- ・6月2日 参加人数 3名 (リモート)
- ・7月29日 参加人数 2名 (リモート)
- ・10月13日 参加人数 3名 (リモート)
- ・2月16日 参加人数 2名

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

今年度は以下の取り組みを行った。

(1) ロボットアームや光調心工程の遠隔操作における遅延量の検証

想定される今後のリアルタイム性の高いサービスとして、遠隔における作業ロボットの操作と光デバイスの製造工程のひとつである光調心工程を取り上げ、その遅延量の評価を行った。昨年度検討を行ったオールフォトニックアクセスネットワーク構成の構成を図1に示す。光ルータには 8x8 の周回性 AWG を用いた。PON 区間は、GE-PON システム（沖電気製）を用いた。拠点間の距離は約 30km とした。クライアントを制御するプロトコルとして、汎用性の高さに注目し、Web ミーティングや chat アプリなどで広く活用されている Web-RTC を用いた。

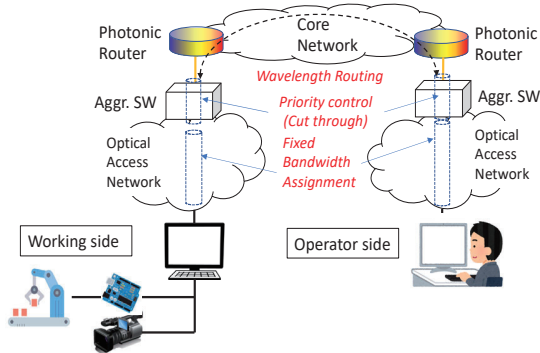


図1 ネットワークを介した遠隔制御
上記ネットワーク構成とプロトコルを用いてロボットと光ファイバの調心作業の遠隔操作の検証を行った。比較対象として、公衆の光アクセス回線（NTT フレッツ光+WiFi）を用いた場合も併せて検証を行った。図2に遅延量の検証を行った遠隔操作システムを示す。

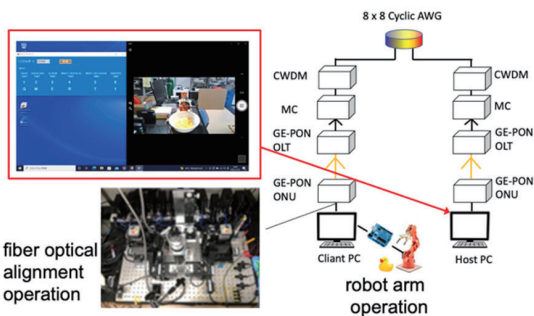
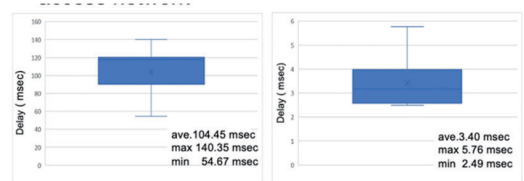


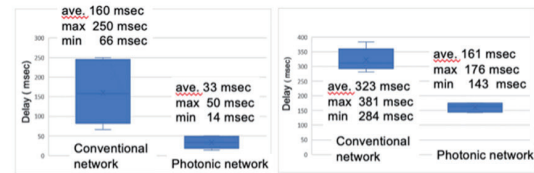
図2 検証した遠隔制御システム
遅延時間の測定には、ネットワークの端末機器間の遅延時間については Wireshark を用いた。また、ロボットや光調心装置と遠隔制御 PC 間の end-to-end の遅延時間については、タイマーアプリケーションを用いて評価を行った。



(a) Conventional optical access network (b) Photonic access network

図3 ネットワーク遅延量の検証結果

図3にネットワーク遅延量の検証結果を示す。提案したオールフォトニックアクセスネットワークの場合、平均 3.4 msec となり、公衆光アクセスネットワークを用いた場合に比べ、大幅な遅延量の低減が可能であることを示した。また、遅延量のばらつきについても低く抑えられることで、安定した操作が可能であることも示した。



(a) Robot arm operation (b) Fiber optical alignment operation

図4 end-to-end 遅延量の検証結果

次に、図4に end-to-end の遅延の結果を示す。ロボットアーム動作ならびに光ファイバの調心動作いずれにおいてもオールフォトニックアクセスネットワークを用いることによって大幅に低減できることがわかった。ただし、応答時間は制御プロトコルの煩雑性や機器そのものの応答性などマイコンを含めたハードウェア制御に依存するため、その改善によってさらなる低減化が期待できる。

(2) 光ファイバ調心作業の遠隔操作を実現するための AI を用いた画像処理による光軸推定

遠隔からの光ファイバ調心作業の迅速化・自動化を目的として、可視光とイメージセンサを用いた AI による画像認識によって光ファイバの位置情報を推定する技術を提案し、その技術の有用性を示した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトは、光アクセスネットワークの低遅延性を活かしたサービスを想定している。これは、これから本格化する次世代光・無線融合アクセス (beyond-5G:B5G) の範囲でもあり社会的に意義がある。また、ネットワーク技術からデバイス技術まで、広範囲に渡る学際領域を対象としているため、今後新しい研究領域（萌芽的研究の発見）の開拓に結びつき、今後の発展が期待されている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

該当なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・ H. Yu and N. Yoshimoto, “New Image Recognition Approach by Using Image Sensor and Machine-Learning for Grating Coupler Alignment,” CLEO PacificRim2022, P-CTu12-04, Sapporo, July 2022.

・ H. Yu and N. Yoshimoto, “Wavelength dependence of irradiate visible light in image recognition and machine-learning approach for optical coupling with grating on photonic integrated circuits,” 22th Chitose International Forum (CIF22), V0-9, Chitose, September 2022.

・ N. Higaki and N. Yoshimoto, “Color modulated underwater optical wireless communication using QR code recognition system,” 22th Chitose International Forum (CIF22), IT-27, Chitose, September 2022.

・ 吉本 直人, “ALAN コンソーシアムの概要,” レーザ学会学術講演会, 第43回年次大会, S10-18p-XIII-01, 2023.

・ 島田雄史、鈴木謙一、吉本直人, “水中の見える化から始まる水中ネットワーク構想 - 光技術の可能性 -,” OPTRONICS, Vol.41, No. 486, pp. 97-101, 2022.

採択番号：R03/A14

現実世界に重畳された情報インターフェイスを用いた IoT デバイスおよびロボットの操作・可視化技術

[1] 組織

研究代表者：

鈴木 遼 (カルガリー大学)

通研対応教員：

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本研究の目的は、環境に溶け込まれた IoT デバイス及びロボットの操作を、コンピュータのディスプレイを介してではなく、現実世界に埋め込まれた情報インターフェイスを通じて可能にすることである。具体的には、拡張現実ディスプレイ (Augmented Reality / AR Display) を用いて、IoT/ロボットの操作、センサー情報の可視化、さらに人と IoT デバイス/ロボットとのインタラクションを可能にするための基盤技術を開発する。

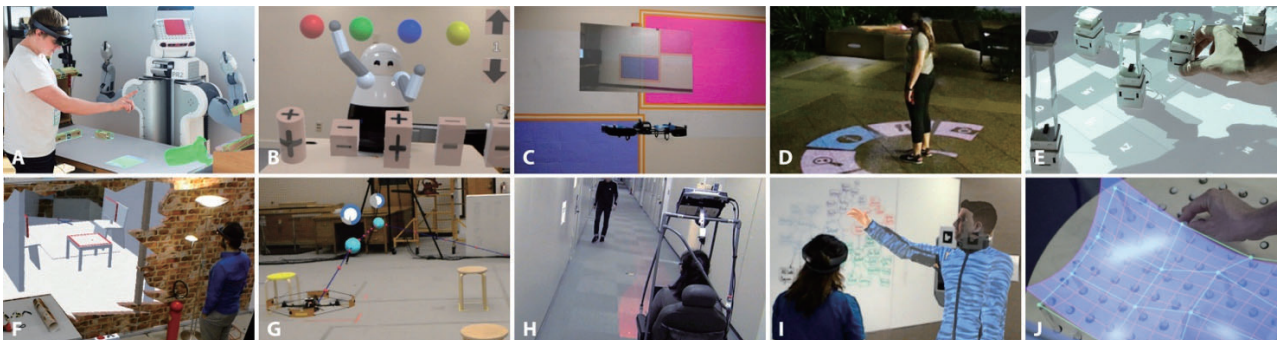
近年、IoT やロボットは急速に我々の環境に溶け込まれてきている。環境に埋め込まれた IoT やロボットを使って、部屋の温度や光量を変化させたり、自動的に掃除を行ったり、センサーを使った健康管理などはもはや当たり前前の風景になりつつある。しかし、そうした環境に埋め込まれた IoT デバイスやロボットとのインタラクションや操作が必要になると我々は未だにコンピュータディスプレイに頼らざるを得ない。例えば、スマート電球の光量や色を変化させようとするとき、我々はスマートフォンを探しに行き、2次元のインターフェイスで操作を行う。ロボットのプログラムにしても、コンピュータディスプレイと物理世界にあるロボットを行ったり来たり行いしながらテストを行う。すなわち、IoT デバイスやロボットは我々の環境に埋め込まれているにも関わらず、その操作端末すなわちコンピュータディスプレイに大きく依存している。

我々の目標は、この IoT デバイスやロボットの操作を2次元のコンピュータディスプレイを介してではなく、現実世界に情報を埋め込むことで、人間と環境とのより自然でシームレスなインタラクションを可能にできると考えている。

現在の AR 技術は主に、バーチャルな情報を現実世界に投影することに焦点を当てている (例えば、ポケモン Go などのアプリケーションでコンピュータグラフィックス・モデルを現実世界に投影するなど)。しかし、我々が知りうる限りでは、IoT やロボットと AR をつなぐ技術はまだ比較的初期段階にあり、我々が大きく貢献できる余地が残されていると考えている。これには大きく2つの挑戦課題がある。

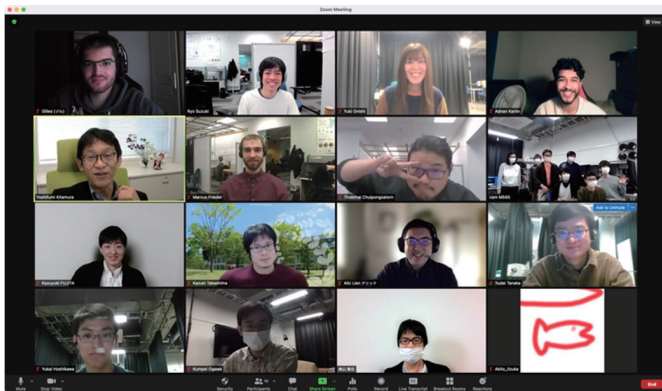
一つは、IoT やロボットから得られたセンサー情報と AR をつなぐ技術である。バーチャルモデルを現実世界に投影する場合スマートフォンなどのカメラ情報のみで完結するが、IoT やロボットなど物理的なデバイスとのインタラクションを行う場合、そうした外部のデバイスのセンサー情報と AR ディスプレイの情報を統合しなければならない。外部から得られたセンサー情報をどのように可視化するか、また情報として提示するか、といった点についてはまだ大きな研究余地が残されている。

もう一つが、ロボットや IoT デバイスを操作する際のインタラクションに関する課題である。例えば、スマートフォンで操作する場合は、画面上にあるボタンなどをタップするだけのシンプルなものになるが、AR ディスプレイを介したインタラクションはより自由度の高いインタラクションが可能になる。例えば、ジェスチャーを使うのか、音声を使うのか、物理的なインタラクションを行うのか、またそれらすべてを状況に応じて使い分けるのか、もしくは全く違うインタラクションの方式になるのかは、まだ答えは出ていない。



この新たなインタラクションを提示し、ユーザー実験を通じて評価していくことも重要な研究課題になっている。

本研究では、こうした2つの課題に対して、東北大学の北村教授のグループと蜜に連携を行いながら研究を行い、拡張現実を使った新たなユーザーインターフェイスおよびインタラクションをデザイン、プロトタイプ、及び評価を行っていくことを目指す。



[3] 成果等

(3-1) 研究成果

2021-2022 年度は、大きな成果が得られた。まず、はじめに、東北大学北村研究室とカルガリー大学の鈴木研究室で、共同研究ミーティングを行った。共同研究ミーティングでは、それぞれの学生が自分たちのデモや研究発表を行うという形式で、延べ20名前後の参加者による積極的な意見交換が行われた。

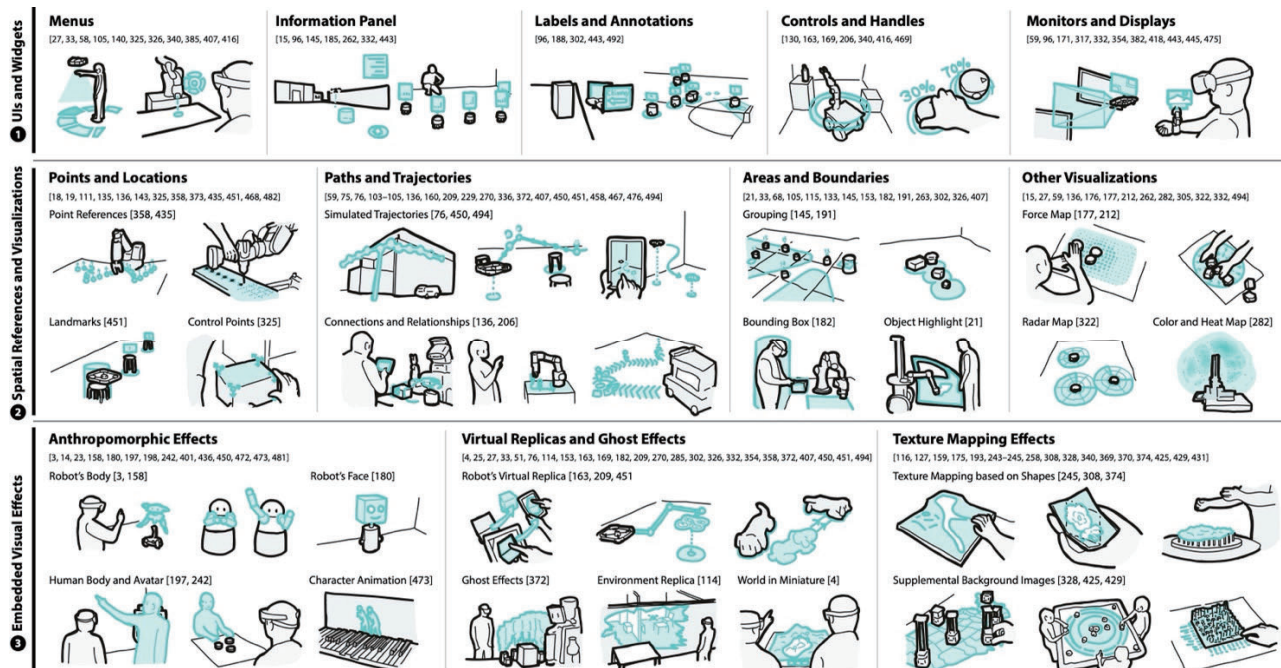
コロナ禍ということで、Zoom の形式で行われたが、非常に学生たちに高評価であり、機会がある際にまたやりたいという声を多数出た。Zoom を使うことで、多くの学生が参加する機会を得られたことは非常に大き

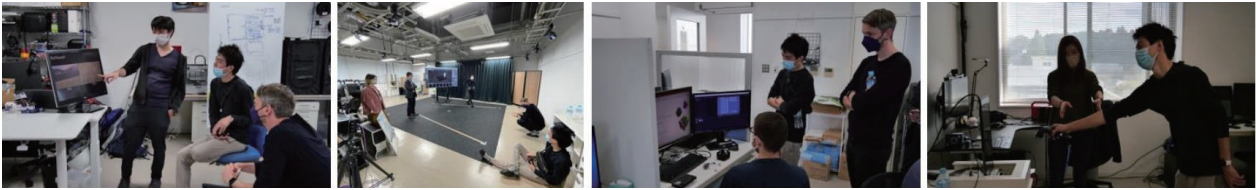
な意義があったと考えている。共同研究で発表された内容は、この研究計画に関わる多岐にわたる研究アイデアや、仮想現実世界でのロボットを用いた、触覚フィードバックデバイスの研究アイデアなどが発表された。

2022-2023 年度は、初めての東北大を行い、具体的に共同研究のプロジェクトを開始した。まず、カルガリー大学の鈴木が、10月に東北大の北村研究室訪問を行った。訪問中は、北村研究室の様々なデモを試し、学生へのフィードバックやディスカッションを行った。また、この研究室訪問から、具体的な成果も生まれた。

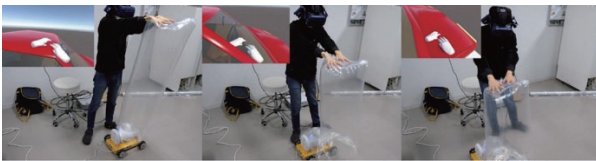
一つは、北村研究室の博士課程の学生である、大西悠貴さんのプロジェクトへのフィードバック・ディスカッションから発展し、彼女の博士論文へのアドバイスをを行った。それをきっかけに、鈴木が彼女の博士論文の審査員の一人として論文指導を行った。彼女へのフィードバックはZoom や、二人とも出席した UIST2022 のカンファレンス会場でのディスカッションなどを通じて行った。彼女の博士論文のフレーミングに大きく寄与できたと同時に、今後の共同研究プロジェクトのアイデアもそれらのディスカッションを通じて生まれる、大変有意義なディスカッションになった。

二つ目に、共同プロジェクト研究として、ソフトロボットを使った VR の触覚デバイスの研究を開始した。このアイデアは、東北大学への訪問時に、北村研究室の修士一年学生である、五味諒太くんととのディスカッションがきっかけとなったものである。彼は、これま





で ZoomWalls というような壁型の VR の触覚提示デバイスを開発していたが、その延長線上として、形状変化ができる大型の VR 触覚システムを開発できないか、というディスカッションになった。



それらのアイデアと、僕の過去の研究である、LiftTiles や HapticBots といった研究プロジェクトをベースに、アイデアを固めていった。それらのもとで、現在 InflatableBots という、自律走行型ロボットと空気圧制御のインフレータブルオブジェクトを組み合わせた、触覚システムを開発している。バルーンのようなインフレータブルを使うことで、安全で柔らかく、かつサイズを自由に大きくできる触覚システムが開発可能だと考えている。具体的なプロジェクトの実装は2022年の12月頃からはじめ、北村研究室と週に1回のペースで、Zoom でミーティングを行い、プロジェクトを進めている。これらの成果を元に、UIST 2023 や CHI 2024 への投稿を目指している。また、五味くんをカルガリー大学の客員研究員として今年の夏に数ヶ月滞在する方向でも話を進めている。

今後の予定としては、引き続き Zoom を通じた共同研究を進め、来年度は、共同プロジェクトから生まれたトップカンファレンス論文を発表したいと考えている。また、東北大訪問時において、北村先生と、より大型の助成金の応募についても検討を始めた。これらの他の助成金を通じて、より東北大学とカルガリー大学との共同研究を強化していきたいと考えている。また、東北大への訪問は非常に有意義で実りの多いものだったため、引き続き続けて行こうと考えている。また、逆にカルガリー大学の客員研究プログラムを通じて、東北大学の大学院学生を短期のインターンとして、カルガリー大学に迎え入れたいと考えている

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

また、研究費で購入した物品の Hololens 2 を使い、複数のプロジェクトがカルガリー大学にて進行している。これらの研究プロジェクトは2023年9月締切

の ACM CHI' 24 にて投稿予定である。

また、この研究プロジェクトのアイデアにより、カルガリー大学にて、AR and Robotics というタイトルのレビュー論文の執筆を行った。これは、過去20年間において、どのようにARがRobotics技術やインターフェイスに使われてきたかという点を様々な切り口でレビューを行った。この論文は、ACM CHI' 22 にて投稿中であり、ポスターデモでも発表を予定している。今後の予定として、引き続き Zoom を通じた学生感のコラボレーションを促していく予定であり、今年度中に少なくとも1度は、再度ミーティングを行う予定である。また、コロナが収まれば、東北大学に訪問できればと考えている。また、東北大学の学生と、具体的な共同研究のプロジェクトを行っていきたいと考えている。また、別の Mitacs というカナダのプログラムを通じて、東北大学の大学院学生を短期のインターンとして、カルガリー大学に迎え入れる準備もしている。最後に、これらの共同研究を利用して、日本またはカナダの研究助成に応募することも考えている。

[4] 論文や学会発表等

- (1) 成果リスト (謝辞あり)
- (2) 関連リスト (謝辞なし)

Ryo Suzuki, Adnan Karim, Tian Xia, Hooman Hedayati, Nicolai Marquardt. Augmented Reality and Robotics: A Survey and Taxonomy for AR-enhanced Human-Robot Interaction and Robotic Interfaces. In Proceedings of the ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. ACM, 2022. (CHI ' 22, acceptance rate: 26%)

Ryo Suzuki, Eyal Ofek, Mike Sinclair, Daniel Leithinger, Mar Gonzalez-Franco. HapticBots: Distributed Encountered-type Haptics for VR with Multiple Shape-changing Mobile Robots. In Proceedings of the Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. ACM, 2021. (UIST ' 21, acceptance rate: 25%)

採択番号：R03/A15

外界とのインタラクションを実現する再構成可能な 頭部搭載型ディスプレイ

[1] 組織

研究代表者

清川 清 (奈良先端科学技術大学院大学)

通研対応教員

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

磯山 直也 (奈良先端科学技術大学院大学)

酒田 信親 (龍谷大学)

高嶋 和毅 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：5人

[2] 研究経過

本研究では、手動で再構成可能なモジュラー機構を用いた新たなモバイルヘッドマウントディスプレイ (HMD) を開発することを目的とする。この HMD では、HMD のフェイスカバーやヘッドベルト部を改造してモジュール化し、没入感の高い広視野 VR 体験を可能にしつつも、必要に応じてモジュールの着脱により視界周辺部での実物体や近接者とのアドホックなインタラクションを可能にする。本共同プロジェクトでは、提案手法のプロトタイプの複数の設計と実装を進め、HMD を用いたあらたなインタラクションの形態について議論を深める。

本年度は、これまでの共同研究成果を学会誌の記事をベースに、ディスプレイ関連の国際会議 IDW で招待公演をした。また、研究代表者と分担者は、メールやオンライン会議ツールを用いて研究の発展形について協議し、次年度の計画についても議論を深めた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本研究では、HMD ユーザの没入感の高い VR 体験を確保できるようにしつつ、必要に応じて外界とのアドホックなインタラクションを実現するために、モジュラー機構を用いて再構成可能な新たな HMD の概念を提案した。基本となる考えは、HMD の周辺部に着脱可能なモジュールを設置することで、ユーザの視界 (眼球を動かして見える範囲) 周辺部の眺めや機能を切り替えられるようにすることである。これにより、ユーザはモジュールを取り外して外界を認識でき、取り外したモジュールを即席の手持ちデバイスとして再利用することもできる。

図 1 は、本研究における現行のプロトタイプであり、小型の商用 HMD の側面と底面に着脱可能な 3 つのディスプレイモジュールを設置している。提案する HMD の基本形態では、側面と底面の内向きのディスプレイモジュールを介して、ユーザに通常より広い視野角を提供する。もし、ユーザが VR 体験中に外界に意識を向けたい時には、その対象の場所に依りて側面や底面のモジュールを取り外すことで、視界周辺部で外界を視認できる。図 1(b) はそれらモジュールの各状態によって変化する HMD ユーザの視点の様子を示している。Virtual mode では広視野の VR コンテンツを視聴することができるが、側面モジュールを物理的に取り外した Removed モードでは、HMD を取り外さないまま、周辺視野において近くに立つ人やモノを視認することができる。

提案手法では、さらに、取り外したモジュールをインタラクションデバイスとして HMD ユーザ自身が再利用したり、近接者に貸し出したりすることも可能である。このように、モジュールを取り外し、再利用し、返却するというサイクルを作ることによって、余分なデバイスを使うことなく、HMD による境界問題を緩和できる。



図1 ModularHMDの全体像

この研究の初期の成果は、2021年にヒューマンインタフェース関連の最大の国際会議 ACM CHI Conference on Human Factors in Computing Systems のLate-breaking workに採択され発表し、また、その発展型を、同分野のトップ会議である UIST2021 (User interface software and Technology) においてフルペーパーを発表した。

その後、今年度は、昨年度末に発表した、日本バーチャルリアリティ学会誌の「究極のHMDはなにか」特集に記事を基にして、ディスプレイ関連の国際会議 IDW (Interactive Display Workshop)にて、招待公演をし、ジャパンディスプレイやシャープ等の国内のディスプレイ企業のエンジニアや研究者と情報交換する機会に恵まれた。(発表の詳細は以下)。

(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献など

HMDを利用して事務的作業や教育活動を実施する日は近いと考えられる。日常にHMDが自然に溶け込むには周囲とのインタラクションもなめらかに実現することである。本研究はその課題に対してHMDの新たな設計コンセプトを提案し、根本的解決を図るものである。その中でも没入感を失わずに、かつユーザの邪魔にならないように周囲(外界)とのインタラクションをするのは難しく、本研究のようにシンプルな方法で大きな効果を得ることができれば高い注目を集めると予想される。また、代表者と分担者ともに、HMDユーザと非HMDユーザの共存のためのインタラクション手法を開発しており、本研究の成果は、双方の研究活動の発展に寄与すると期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト

1. 高嶋 和毅, ModularHMD:周辺環境への気づきやインタラクションが可能なモバイル HMD, 日本バーチャルリアリティ学会誌, 2021, 26 巻, 3 号, p. 13-16, 公開日 2021/11/05, Online ISSN 2435-8746, Print ISSN 1342-6680, <https://doi.org/10.18974/jvrsj.26.3.13>, https://www.jstage.jst.go.jp/article/jvrsj/26/3/26_13/article/-char/ja
2. Kazuki Takashima, ModularHMD for Seamless Interactions between VR and Real worlds, Proceedings of the International Display Workshops Volume 29 (IDW '22), [INP4/DES3-3 (Invited)], December 2022.

採択番号：R03/A16

聴覚的注意の時空間特性に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

寺岡 諒（熊本大学大学院人文社会科学研究部・日本学術振興会）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

寺本 渉（熊本大学大学院人文社会科学研究部）

黒田 尚輝（熊本大学大学院社会文化科学教育部・日本学術振興会）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

近年の情報通信技術の発展に伴い、自宅にしながらしてあたかも別の場所にいる感覚をもたらす、高臨場感システムに対する需要が高まっている。このような感覚を実現するためには、情報の発信と受容の担い手である人間の知覚・認知特性を考慮した効果的な刺激呈示が欠かせない。

人間は、通常、効率的に周辺環境を把握するために、注意による情報の取捨選択を行っている。特に聴覚は、360°様々な方向で生じる音を取得できることから、この要因は特に有効に働くことが予想される。しかし、従来の情報通信システムの多くでは、こうした情報の受け手の情報の取捨選択（注意機能）が及ぼす影響については考慮されてこなかった。このような情報呈示の実現には、人間が注意を向ける際の時間的、空間的な特性（注意の効果が及ぶ空間的範囲、注意を向けるまで/向けた後の効果の時間変化）を知ることが肝要である。本研究では、注意機能による効率的な情報削減を実現するための基礎データを得るため、特に聴覚に対する注意（聴覚的注意）の時空間特性を系統的に検討することを目的とする。

日常生活においては、自身の近くにある音と遠くにある音を聴き分け、片方の音だけを選択的に聴き取ることができる。これは、特定の距離に対して注意を向けることができることを意味している。しかし従来の研究では、特定の距離に対する聴覚的注意効果やその時空間特性については明らかになっていない。そこで本年度は、奥行き方向に対する聴覚的注意効果とその空間特性（注意効果が影響を及ぼす範囲）に着目し、研究を行った。

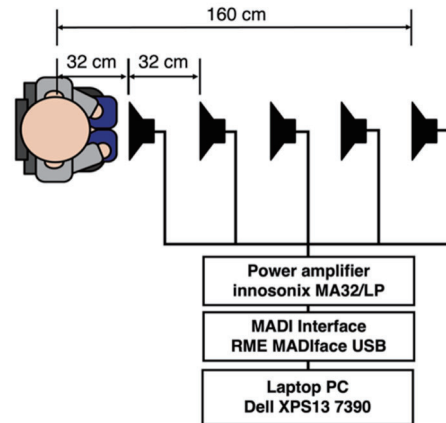


図1. 実験①の概略図。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、①距離に対する聴覚的注意の空間特性と②接近する音像に対する聴覚的注意効果とその加齢変化に焦点を当てて研究を行った。以下、各項目に対する成果を記述する。

① 距離に対する聴覚的注意の空間特性

本年度は、特定の距離に対して向けられた聴覚的注意の空間特性の定量的な計測を試みた。実験では、聴取者の前方に対して奥行き方向に並べられた10個のラウドスピーカ（図1参照）から音刺激を連続提示した。音刺激として、25 Hz、または75 Hzで振幅変調したピンクノイズを使用し、それぞれ標的音と競合音とした。

実験では、音刺激の提示確率を統制することで特定の距離（聴取者から32 cm, 96 cm, or 160 cm）のラウドスピーカに対して聴覚的注意が向くよう仕向けた。聴取者には、注意を向けた位置によらず、標的音が聴こえたら素早く反応するよう求めた。このとき、反応すべきではない刺激（競合刺激）を標的と誤判断する割合（誤警報率：False alarm rate）を指標として注意効果を計測した。

実験の結果を図2に示す。注意を向けた距離で誤警報率最も低く、そこから離れるに伴って誤警報率が増加する傾向が示された。以上の結果は、注意の焦点から離れるにつれて注意効果が小さくなった結果、誤警報率が増加したことを意味している。また、聴取者の近傍に注意を向けた場合と遠方に向けた場合で様相が異なることも興味深い。この点については、2023年度の研究で詳しく検討する予定である。

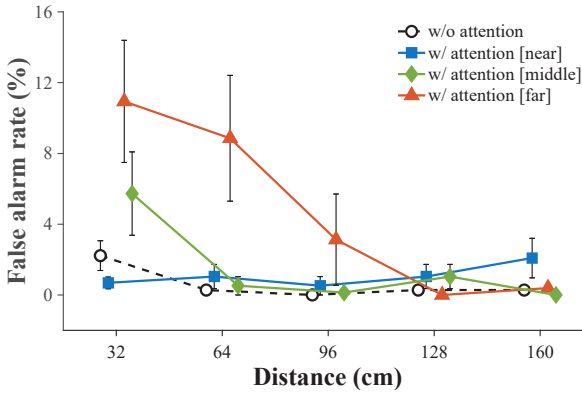


図2. 実験①の結果。縦軸が誤警報率（標的ではない刺激を標的と判断した割合）、横軸が刺激呈示距離を意味する。

② 接近する音像に対する聴覚的注意効果とその加齢変化

自身に対して接近する音像に注意を払い、その運動を予測すること（いつ自分に衝突するか：TTC予測）は、接近する事象との衝突を避ける上で欠かせない。昨年度は、この営みに方位依存性があることを示した。これは、安全マージンを反映していることを意味している[3]。

本年度は、この加齢変化に着目した。一般的に、高齢者はTTCを若齢者に比べてより過小に評価することが知られている。しかし、その詳細なメカニズムについては明らかではない。そこで本年度は、加齢による注意機能の低下とTTC予測との関連性について検討した。

実験の概略図を図3に示す。聴取者はスピーカアレイの前に設置された椅子に座り、呈示される音刺激を聴取した。参加者には、閉眼した状態で頭を正面へ向けて動かさないよう求めた。

実験では、連続する5つのラウドスピーカを用い、32 cm/sで2秒間、聴取者に向かってピンクノイズを接近させた。音刺激の呈示開始位置を3箇所の中からランダムに決定することで（96, 128, 160 cm）、物理的な接触時間を変化させた。参加者には、移動音像が消失した後も等速で移動し続けた場合、音が自身の身体に到達したと感じたタイミングでボタンを押下するよう求め

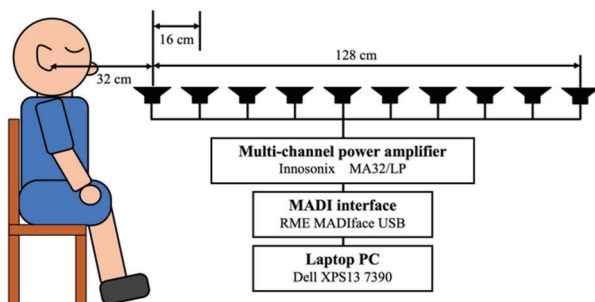


図3. 実験②の概略図。

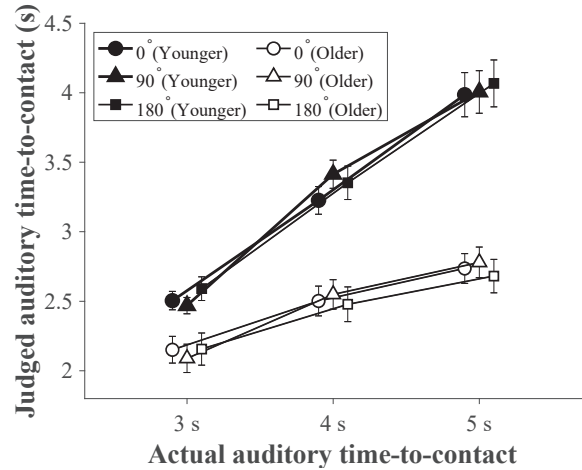


図4. 実験②の結果。縦軸と横軸はそれぞれ主観的・実際の到達時間を意味している。

た。加えて、接触時間予測の方位選択性を検討するために、スピーカアレイに対する身体の向きを3条件（0°（正面）、90°、180°）設けた。さらに、選択的注意機能を評価するTrial making test (TMT)を全参加者に対して行い、TTC予測との関連性を検討した。

実験の結果を図4に示す。縦軸と横軸がそれぞれ主観的な到達時間と実際の到達時間を意味している。どちらの年齢群でも音の到来方向によらず、距離が遠くなるほど接触時間予測が有意に増加した。また、高齢者の結果は若齢者に比べて接触時間予測は有意に短いことを示した。以上の結果は、高齢者は接触時間を過小に予測していることを意味している。

さらに、TMTとの関連性について検討したところ、有意な正の相関がみられた。以上の結果は、TTC予測における高齢者の特異性には、加齢による注意機能の低下が関連していることを示唆している。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

- 本プロジェクトで検討する聴覚的注意効果の経時変化は、その維持や移動の特性（時間特性）と関連することから、その全容が明らかになれば、情報通信技術の高度化に寄与することが期待される。
- 本プロジェクトによって、日高聡太教授（立教大学）、竹島康博講師（法政大学）、山崎大暉博士（立命館大学）、朝岡陸博士（千葉大学）など学外研究者との交流が活性化し、共同研究に発展している。
- 本プロジェクトで得られた成果は、「脳の可塑性による注意機能改善に関する基礎的研究」という新たなプロジェクトに結びつき、今後の発展が期待される（MEXT 科研費 21H05335）。

[4] 論文や学会発表等

- ・ T. Kawase, **R. Teraoka**, C. Obuchi, and **S. Sakamoto**, "Temporal and directional cue effects on the cocktail party problem for patients with listening difficulties without clinical hearing loss," *Ear and Hearing*, 43(6), pp. 1740-1751 (2022).
- ・ Y. Fujii, **R. Teraoka**, **N. Kuroda**, and **W. Teramoto**, "Inhibition of intentional binding by an additional sound presentation," *Experimental Brain Research*, 241, pp. 301-311 (2022).
- ・ **R. Teraoka**, Y. Hayashida, and **W. Teramoto**, "Difference in auditory time-to-contact estimation between the rear and other directions," *Acoustical Science and Technology*, 44(2), pp. 77-83 (2023).
- ・ 原田新也, **寺岡 諒**, **黒田尚輝**, 日高聡太, **寺本 渉**, "非空間的な聴覚手がかりは高齢者の視覚探索を促進するか?" 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 (HIP), 京都テルサ, 京都府京都市, 10月17-18日 (2022).
- ・ 原田新也, **寺岡 諒**, **黒田尚輝**, 日高聡太, **寺本 渉**, "高齢者の視覚探索における非空間的な聴覚手がかりの影響" 日本基礎心理学会第41回大会, 千葉大学, 千葉県千葉市, 12月2-4日 (2022).
- ・ **寺岡 諒**, **寺本 渉**, "加齢が接近移動音像の接触時間予測に及ぼす影響" 日本基礎心理学会第41回大会, 千葉大学, 千葉県千葉市, 12月2-4日 (2022).
- ・ **寺岡 諒**, 小嶋琳佳, **黒田尚輝**, **寺本 渉**, "聴覚接近刺激の到来方向が身体近傍空間に与える影響" 第13回多感覚研究会, 立命館大学大阪いばらぎキャンパス, 大阪府茨木市, 2月18-19日 (2023).
- ・ 藤井芳孝, **寺岡 諒**, **黒田尚輝**, **寺本 渉**, "2つの行為随伴刺激による Intentional Binding の抑制と視聴覚間の相互作用" 第13回多感覚研究会, 立命館大学大阪いばらぎキャンパス, 大阪府茨木市, 2月18-19日 (2023).
- 黒田尚輝**, **寺岡 諒**, 原田新也, **寺本 渉**, "身体の行動制限時の身体近傍空間" 第13回多感覚研究会, 立命館大学大阪いばらぎキャンパス, 大阪府茨木市, 2月18-19日 (2023).
- ・ 原田新也, **寺岡 諒**, **黒田尚輝**, 日高聡太, **寺本 渉**, "非空間的な聴覚刺激呈示が, 高齢者の視覚探索に与える影響" 第13回多感覚研究会, 立命館大学大阪いばらぎキャンパス, 大阪府茨木市, 2月18-19日 (2023).
- ・ 田中優希, **寺岡 諒**, **寺本 渉**, "距離方向に対する聴覚的注意が標的音聴取に及ぼす影響" 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 (HIP), 大学コンソーシアム富山, 富山県富山市, 2月22-23日 (2023).
- ・ **黒田尚輝**, 原田新也, **寺岡 諒**, **寺本 渉**, "胸

部の身体近傍空間様相の加齢変化" 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 (HIP), 大学コンソーシアム富山, 富山県富山市, 2月22-23日 (2023).

・ 双須藍里, **黒田尚輝**, 原田新也, **寺岡 諒**, **寺本 渉**, "他者の歩容がパーソナルスペースに与える影響" 電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会 (HIP), 大学コンソーシアム富山, 富山県富山市, 2月22-23日 (2023).

・ **R. Teraoka**, "Auditory time-to-contact estimation changes with age: From the perspective of cognitive function," International Symposium on Lifelong Sciences, Kyoto, Japan, March 19-20 (2023).

・ S. Harada, **R. Teraoka**, **N. Kuroda**, S. Hidaka, **W. Teramoto**, "Influences of non-spatial auditory cueing on visual search in older adults," International Symposium on Lifelong Sciences, Kyoto, Japan, March 19-20 (2023).

採択番号：R03/A17

バイノーラルキュー制限条件の音空間知覚に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

森川 大輔（富山県立大学 工学部 知能ロボット工学科）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

Parham Mokhtari（富山県立大学 工学部 知能ロボット工学科）

William L. Martens（University of Sydney）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

ヒトが音の到来方向の知覚に利用する主な情報は、両耳に到達する音の時間差(Interaural time difference: ITD)や音圧レベル差(Interaural level difference: ILD)、そして、音源から耳までの音響伝達関数(Head-related transfer function: HRTF)によって生じるスペクトル上の特徴(Spectral cue: SC)とされている。我々のこれまでの研究によって、両耳聴者の一方の耳を閉塞した状態であっても、閉塞した耳側に小さな入力があり、制限されたバイノーラルキューが利用できる場合には、方向知覚が可能な範囲が広がることがわかった。この知覚の成因を明らかにすることは、ヒトの聴知覚メカニズムを解明する上で大きなブレイクスルーになると考えられる。本研究では音空間知覚にバイノーラルキューの制限が与える影響を明らかにすることを目的として研究を行った。

本研究では、まず受聴者本人の厳密な HRTF の計測を行った。そして、スピーカアレイを用いてバイノーラルキューを制限した条件での音像定位実験を行った。その結果、実空間の座標と受聴者の内観的な座標にはズレがあり、知覚結果の回答を正確に得るためには、内観的な座標を補正する必要があることがわかった。そこで、内観的な座標を補正する方法について検討した。

以下、研究活動状況の概要を示す。

研究打ち合わせ、実験及び討論

○令和4年4月28日

オンラインで実験機材について議論した。

○令和4年7月13日

オンラインで今後の研究について打ち合わせした。

○令和4年8月5～6日

東北大学電気通信研究所にて、研究動向を共有すると共に、今後の研究について議論した。

○令和4年8月25日

オンラインで今後の実験について打ち合わせした。

○令和4年9月7日

オンラインで今後の実験について打ち合わせした。

○令和4年11月11日

オンラインで実験機材について議論した。

○令和4年12月23～24日

東北大学電気通信研究所にて、研究結果を共有すると共に、今後について議論した。

○令和5年2月16日

共同プロジェクト研究発表会にて、得られた結果について発表した。

○令和5年2月23～24日

東北大学電気通信研究所にて、研究結果を共有すると共に、今後の研究について議論した。

なお、Martens氏はコロナ禍の影響で来仙、共同研究が実施できなかったため、メールでの議論を行い来年度に来仙して研究を実施することとなった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず、受聴者が本人の頭部表面と想定している位置が、実際の頭部表面よりも遠方である可能性が高いことがこれまでの実験から予想できていることがわかった。

そこで、ITDを変化させた刺激音が頭内、頭の側端、頭外のいずれに定位しているかを判断する実験を、受聴者が自身の指先をこめかみにあて指先位置が頭部表面位置であることがわかりやすい条件で行った。実験には、125～16 kHzの広帯域雑音を、6 ms 間隔で 10 ms ずつ呈示するパルス列(PT)を用いた。図1に5名の受聴者が行った左耳に早く刺激音が呈示される条件での実験の結果を示す。こめかみに指を当てて判断した結果の方が、内側と判断される割合が小さい。したがって、こめかみに指を当てずに判断を行った場合、音の知覚位置は内側ではないにも関わらず、その位置が内側であると誤って

るとが予想される。また、PT を用いて類似した実験を行った先行研究では、側端に定位する ITD は 1 ms 程度と報告されている。しかし、本研究の指を当てて判断した条件では 1 ms より短い ITD で側端に定位している。受聴者の内観報告によると、ITD の絶対値が大きくなった際には音は頭部の側端より外側に定位した。これは、ITD が大きくなると音は頭部の側端に向けて移動し側端で静止するというこれまでの先行研究と異なる傾向である。このような側端に定位する ITD の違いや、知覚傾向の違いから、先行研究の受聴者も本実験の受聴者と同様に、側端位置を実際よりも外側に誤って認識していた可能性がある。

次に、ILD を変化させた刺激音について、ITD と同様に実験を行った。図 2 に 5 名の受聴者が行った左耳に大きな音が呈示される条件での実験結果を示す。ITD の結果と同様に、こめかみに指を当てて判断した結果の方が、内側と判断される割合が小さかった。ただし、指の有無による差は ITD の結果より小さい。また、受聴者の内観報告によると、ILD の絶対値が大きくなった際に音が頭部の側端より外側に定位した。ILD についても ITD と同様に大きくなると音は頭部の側端に向けて移動し側端で静止するとされている。したがって、ILD についても先行研究の受聴者が側端位置を実際よりも外側に誤って認識していた可能性がある。

これらの結果から、実空間の頭部の側端の座標と受聴者の内観的な頭部の側端の座標にはズレがあり、実際の側端位置よりも外側に側端があるように知覚していることがわかった。また、音の位置の判断時にこめかみに指先を当てることで、内観的な頭部の側端位置を実際の頭部の側端位置に近づける効果が得られることがわかった。

受聴者本人の HRTF から得られる受聴者ごとの ITD・ILD と、頭部側端に定位する際の ITD・ILD の関係を調べることは今後の課題である。

また、本プロジェクトで厳密に測定した受聴者本人の HRTF は、前プロジェクトの R30/A17 「単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究」から派生したプロジェクトである、科学研究費補助金 若手研究「両耳間差による音の分離に腹話術効果が与える影響」の実験にも活用され、音像の分離知覚に到来方向情報が与える影響を明らかにすることにも寄与した。この内容の一部は Acoustical Science and Technology 誌や、24th International Congress on Acoustics で報告している。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本プロジェクトで得られた成果は、これまでの定説と異なる物であり、今後も検証を続けると共に、この知見に基づいてプロジェクトを継続していく予定である。

また、本プロジェクトは、東北大学電気通信研究所と富山県立大学の共同研究に貢献するだけでなく、2 大学の若手研究者の交流・育成にも繋がっている。

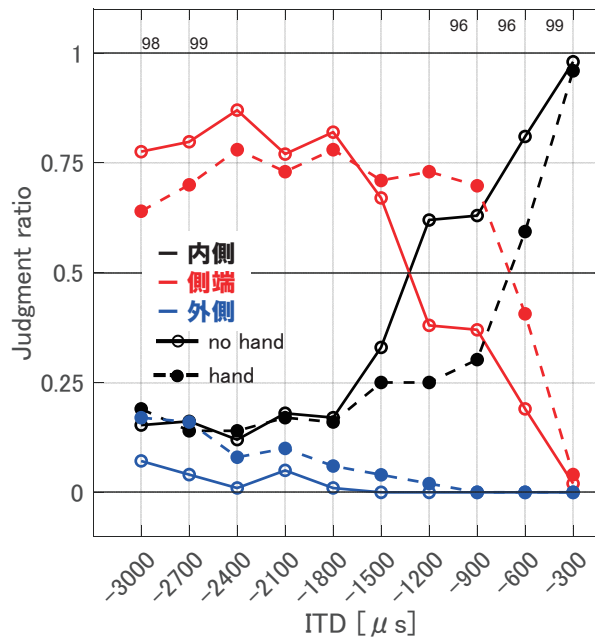


図 1 ITD を操作した条件の音の知覚位置の割合

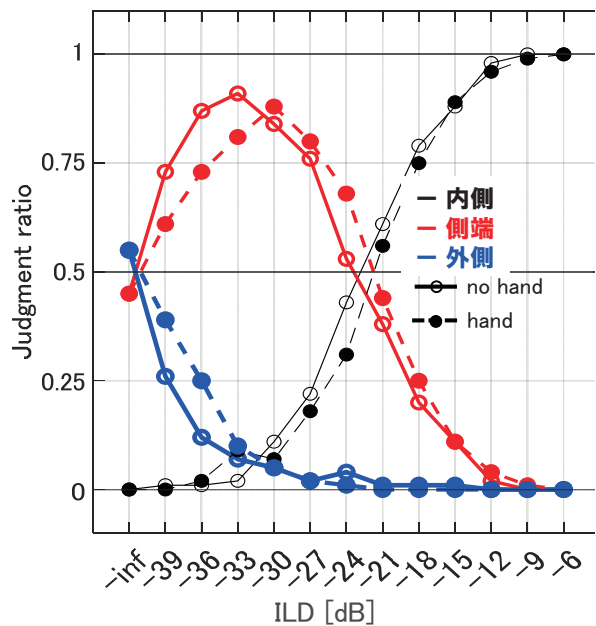


図 2 ILD を操作した条件の音の知覚位置の割合

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

・ Tsubasa Sakai, Daisuke Morikawa, Parham Mokhtari “Detection limit of sound images spatially split by synthesized binaural signals,” Acoustical Science and Technology, vol. 43, no. 3, 213-215, 2022.

・ Daisuke Morikawa, Tsubasa Sakai, Parham Mokhtari “Effect of the frequency band on spatially splitting sound image by interaural time and level differences,” Proc. 24th International Congress on Acoustics, ABS-0751, 2022.10.

(2) 関連リスト（謝辞なし）

なし

採択番号：R03/A20

薄膜メモキャパシタを用いたニューロモーフィックシステム

[1] 組織

研究代表者：

木村 睦（龍谷大学先端理工学部）

通研対応教員：

堀尾 喜彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

浦岡 行治・中島 康彦・張 任遠・押尾 怜穂
（奈良先端科学技術大学院大学）

古田 守（高知工科大学環境理工学群）

曲 勇作（島根大学学術研究院理工学系）

徳光 永輔（北陸先端科学技術大学院大学）

西中 浩之（京都工芸繊維大学電気電子工学系）

Sung-Min Yoon（Kyung Hee University）

石崎 勇真・岩城 江津子・片桐 徹也・伊藤 良・

谷内田 健太（龍谷大学大学院理工学研究科）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

目的 人工知能は、現在も様々な応用に用いられ、未来の社会において不可欠な技術である。しかしながら、従来は、超ハイスpek的なノイマン型のハードウェアで実行される複雑で長大なソフトウェアであり、マシンサイズが巨大でエネルギー消費が膨大であるという課題があった。そこで我々は、2018～2020年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究をはじめとして、「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」の研究開発を行ってきた。脳型集積システムは、ハードウェアレベルからの生体模倣システムで、生体の脳と同様にコンパクト・低エネルギー消費・頑強動作といった特長をもつ。一方、薄膜半導体デバイスは、大面積に三次元積層構造で作製することが可能である。薄膜デバイスを利用することで、脳型集積システムの特長をさらに高めることを目的とした。その研究は、多くの成果を挙げ、おおよその目的を達成することができた。しかしながら、新たな課題も浮き彫りになってきた。それは、抵抗変化素子やメモリストをプロセッシングエレメントに用いるアーキテクチャでは、DC電流が定常的に流れるため、究極の低エネルギー消費が実現できないという課題である。そこで、本共同プロジェクト研究では、「薄膜メモキャパシタを用いたニューロモーフィックシステム」の研究開発を行う。究極の低エネルギー消費を実現することを目的とする。なお、本共同プロジェクト研究は2年目であり、1年目に得られた成果をもとに、さらなる研究の推進を図る。

研究計画や内容 2018～2020年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究での成功に倣って研究をすすめる。すなわち、本共同プロジェクト研究においても、研究代表者の木村と通研対応教員の

堀尾教授との議論で、1年目には、本共同プロジェクト研究における薄膜メモキャパシタを用いたニューロモーフィックシステムの研究開発の方向を確認したので、2年目には、さらにその具体的な研究開発の方向を決定する。木村と研究分担者の中島教授と張助教は、1年目には、所属機関でシステム設計試作、すなわち、制御回路としてのLSIの設計方針を確認したので、2年目には、具体的な設計試作などを行う。一方、木村と研究分担者で機能性薄膜デバイスについて多くの知見を持つ浦岡教授と古田教授は、1年目には、三次元積層構造の薄膜デバイスの議論や検討を行ったので、2年目には、実際の成膜試作などを行う。さらに、木村と研究分担者の徳光教授と西中准教授は、1年目には、液相プロセスとミストCVDプロセスの薄膜メモキャパシタの成膜試作や評価解析などを行ったので、2年目には評価解析の結果を反映してのさらなる成膜試作などを行う。次に、木村と中島教授と張助教が、1年目には、所属機関でニューロモーフィックシステムとしての特性評価・アナログニューラルネットワークとしての動作評価・学習機能の動作確認・消費電力の詳細測定などの計画立案を行ったので、2年目には現実の試作を受けての特性評価・動作評価・動作確認・詳細測定などを行う。さらに、スパイキングニューラルネットワークとの親和性などを検討する。そして、1年目にはコロナ禍のため実現できなかったが、2年目には、木村がその評価結果を持って通研を訪問し、研究成果について堀尾教授と議論や考察を行うとともに、将来的にデバイスや回路を共同で開発するための準備を行い、共同研究を立ち上げるための枠組みや基盤について議論する。

開催状況

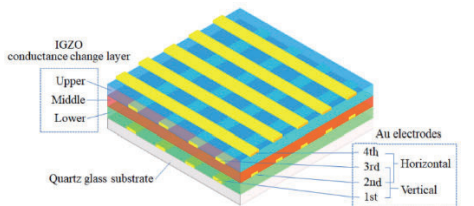
- 研究代表者と通研対応教員の電子メールによる研究打ち合わせ
- 研究代表者と研究分担者（奈良先端科学技術大学院）の1週間に1回程度の対面による研究打ち合わせ
- 研究代表者と研究分担者（北陸先端科学技術大学院大学・京都工芸繊維大学）の年間に10回程度の電子メールによる研究打ち合わせ
- 研究代表者と研究分担者（龍谷大学）のほぼ毎日の対面による研究打ち合わせ
- 研究発表会、BFBC 2023, Feb. 17-18, Special Session 5, "Sustainable computing systems: effective integration of digital and analog elements", M. Kimura (Ryukoku Univ.), Y. Nakashima (NAIST), T. Kuwaha (Ryukoku Univ.), R. Oshio (NAIST)

[3] 成果等

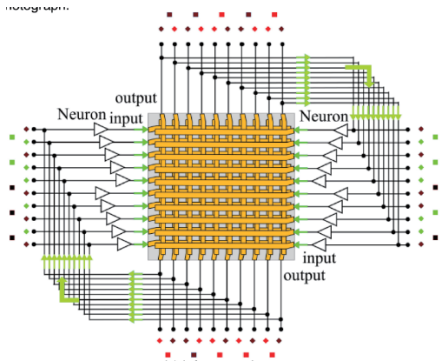
(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。
[論文 4)]

アモルファス金属酸化物半導体 (AOS) 薄膜を用いた多層クロスバーアレイを開発し、ニューロモルフィックシステムに実装した。多層構造を実現できたのは、AOS 薄膜を熱処理なしの簡単なスパッタリング法で成膜できるため、下地構造にダメージを与えないからである。まず、電極として Au 薄膜を蒸着し、導電性変化層としてアモルファス In-Ga-Zn-O (α -IGZO) 薄膜をスパッタリング法で蒸着し、これらを繰り返し、3 つの導電性変化層のそれぞれが電極に挟まれた多層クロスバーアレイを完成させる。次に、多層クロスバーアレイをニューロモルフィックシステムに実装し、制御回路なしで自律学習が可能な修正ヘブ学習で、さらなる高度機能の可能性を保證する連想記憶機能を確認した。これらの成果は、将来的にニューロモルフィックシステムにおけるシナプス素子の天文学的大規模集積化 (LSI) につながるものである。



AOS 薄膜を用いた多層クロスバーアレイ

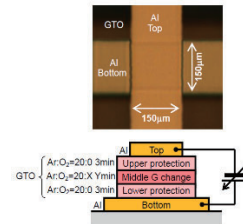


ニューロモルフィックシステムへの実装

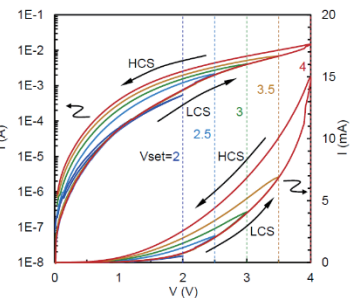
[論文 1)]

Ga-Sn-O (GTO) 薄膜メモリスタを開発し、アナログ的な可塑性特性を観測することができた。まず、スパッタリングにより 3 層の GTO を積層して GTO 薄膜メモリスタを作製した。次に、ある負電圧の後に最大印加電圧を変化させて電流電圧特性を測定し、ヒステリシスを観察し、スイッチング特性を評価したところ、アナログ可塑性特性が観察された。また、積層構造と成膜プロセスについてパラメトリックスタディを行い、負電圧と正電圧の印加により酸素空孔が往復するという動作メカニズムを

提案した。最後に、パルス印加特性では、長期増強と長期抑制を示し、GTO 薄膜メモリスタのニューロモルフィックシステムへの実用的な活用の可能性を提示することができた。



GTO 薄膜メモリスタ



電流電圧特性のヒステリシス

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本研究で、薄膜メモキャパシタを用いたニューロモルフィックシステムの基本的な構成や動作を確認することで、かなりの将来においては、大規模集積化や三次元積層構造により、コンパクト・究極の低エネルギー消費・頑強動作という特長を活かすことにより、世界的なエネルギー危機を回避し、すべてのモノの人工知能 (AIoE) を実現する可能性が拓くと考えられる。たとえば、人間の脳に匹敵する 100 億個以上のニューロン素子と 100 兆個以上のシナプス素子を想定すると、0.20 のサイズと 20W の消費電力、すなわちこれも人間の脳と同等のものが実現できると予想される。なお、これらの成果は、2018~2020 年度の東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究と同様であるが、究極の低エネルギー消費をさらに高い確度で実現することが期待される。

- 科学技術振興機構 (JST) 日本-台湾研究交流「AI システム構成に資するナノエレクトロニクス技術」 薄膜メモデバイスとスパイク計算を用いるニューロモルフィックシステム 2022~2024 年度
- 科学研究費補助金 基盤研究 (A) (分担研究者) タンデム CGRA+確率的計算による非ノイマン計算基盤のプログラマビリティ革命 2022~2026 年度
- 科学研究費補助金 基盤研究 (C) (分担研究者) 高信頼化に向けたメモキャパシタ脳型コンピュータ設計基盤 2022~2024 年度

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

[論文]

- 1) Daisuke Makioka, Shu Shiomi, and Mutsumi Kimura, Ga-Sn-O Thin-Film Memristor and Analog Plasticity Characteristic, IEEE J. Electron Devices Society, DOI: 10.1109/JEDS.2023.3253465, To be published
- 2) 岩城 江津子, 河西 秀典, 木村 睦, 積層 In-Ga-Zn-O 薄膜を利用したニューロモルフィックデバイスの知的学習への応用, 電子情報通信学会論文誌 C, Vol. J106-C, No. 04, Apr. 2023, To be published
- 3) Mutsumi Kimura, Hiroki Yamanaka, and Yasuhiko Nakashima, Application of Machine Learning to Environmental DNA Metabarcoding, IEEE Access, Vol. 10, pp. 101790-101794, Sep. 2022, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3207173
- 4) Etsuko Iwagi, Takumi Tsuno, Takahito Imai, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura, Multilayer Crossbar Array of Amorphous Metal-Oxide Semiconductor Thin Films for Neuromorphic Systems, IEEE J. Electron Devices Society, Vol. 10, pp. 784-790, Aug. 2022, DOI: 10.1109/JEDS.2022.3203364
- 5) Kazuki Morigaki, Kenta Yatida, Tetsuya Katagiri, and Mutsumi Kimura, Switchover Behavior between Long-term Potentiation and Depression in Amorphous Ga-Sn-O Thin-Film Spike-Timing-Dependent-Plasticity Device, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, No. 5, 058002, May 2022, DOI: 10.35848/1347-4065/ac5d80

[招待講演]

- 木村 睦, 宮戸 祐治, 新谷 道広, 藤井 茉美, 曲 勇作, 河西 秀典, 松田 時宜, 神谷 利夫, 酸化物半導体による AI コンピューティングの最前線, 第 70 回 応用物理学会春季学術講演会 シンポジウム 「ディスプレイの次のカラーアプリをねらえ! 酸化物半導体の最前線」, 17p-E302-6, 100000001-273, 2023 年 3 月
- Mutsumi Kimura, Hidenori Kawanishi, Yuji Miyato, Michihiro Shintani, Mami N. Fujii, Yusaku Magari, Chih Lung Lin, Ming-Yang Cheng, Chia-Lun Lee, Jui-Hung Chang, and Sung-Chun Chen, Neuromorphic System using Thin-Film Memdevice and Spiking Computing, NSTC-JST 2022

Workshop, Nanoelectronics and System Integration for AI, Dec. 2022

- Yuki Ohnishi, Tetsuya Katagiri, Yuhei Yamamoto, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura, Amorphous-Metal-Oxide-Semiconductor Thin-Film Planar-Type Spike-Timing Dependent-Plasticity Synapse Device, IEEE Electron Devices Society Kansai Chapter 第 22 回 関西コロナム電子デバイスワークショップ, 2022 年 10 月
 - Mutsumi Kimura, Development of Neuromorphic Systems and Emerging Devices : Revolutionize Artificial Intelligence with your Devices !!, AM-SPD '22, pp. 74-77, July 2022
 - Mutsumi Kimura, Machine Learning using Thin-Film Devices for Letter Recognition, IDMC 2022, Apr. 2022
- [学会発表 (査読あり)]
- Shihori Akane, Isao Horiuchi, Yasushi Hiroshima, Yasuhiko Nakashima, and Mutsumi Kimura, Phase-Change Memory using Cu₂GeTe₃ and Multiple Writing Technique for Neuromorphic Systems, ICCE 2023, Jan. 2023
 - Shu Shiomi, Daisuke Makioka, Hidenori Kawanishi, Tokiyoshi Matsuda, and Mutsumi Kimura, Analog and Digital Memristor Characteristics in Ga-Sn-O Three-layered ReRAM, IMFEDK 2022, Nov. 2022
 - Tetsuya Katagiri, Kazuki Morigaki, Kenta Yachida, Hidenori Kawanishi, Mutsumi Kimura, and Tokiyoshi Matsuda, Metal Electrode-dependent Properties of a-IGZO ReRAM, IMFEDK 2022, Nov. 2022
 - Naoki Sahara, Tetsuya Katagiri, Kenta Yachida, Kazuki Morigaki, Norito Komai, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Characterization of In-Ga-Zn-O Thin Film Synapses for Neuromorphic Device using Spike-Timing-Dependent-Plasticity, IMFEDK 2022, Nov. 2022
 - Norito Komai, Tetsuya Katagiri, Naoki Sahara, Kazuma Uno, Hidehito Kita, Tokiyoshi Matsuda, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, Ga-Sn-O Thin-Film Device using Mist CVD Method and Spike-Timing-Dependent-Plasticity (STDP), IMFEDK 2022, Nov. 2022
 - Takumi Kuwahara, Reon Oshio, Hidenori

Kawanishi, Mutsumi Kimura, and Yasuhiko, Capacitor for Synapse Device in Neuromorphic Spiking Computing, IMFEDK 2022, Nov. 2022

- 谷内田 健太, 桑原 拓海, 阿部 祥也, 澤井 一輝, 松田 時宜, 河西 秀典, 木村 睦, メモリスタとキャパシタを用いたシナプス素子の評価, 薄膜材料デバイス研究会 第19回研究集会, pp. 203-206, 2022年11月
- 石崎 勇真, 田中 欧介, 桑原 拓実, 河西 秀典, 松田 時宜, 木村 睦, 強誘電体薄膜を用いたメモキャパシタのアナログ動作の評価と文字補正応用, 薄膜材料デバイス研究会 第19回研究集会, pp. 173-176, 2022年11月
- 伊藤 良, 杉崎 澄生, 嶽山 嵐, 松田 時宜, 河西 秀典, 木村 睦, ミストCVD法によるアモルファス Ga-Al-O 薄膜デバイスのメモリスタ特性, 薄膜材料デバイス研究会 第19回研究集会, pp. 81-83, 2022年11月
- Mutsumi Kimura, Yoshinori Miyamae, Mitsuo Tamura, and Yasuhiko Nakashima, Letter Reproduction from Incomplete Image to Complete Image by Neuromorphic System using LSI Neurons and MOSFET Synapses, Euro Display 2022, Sep. 2022
- Etsuko Iwagi and Mutsumi Kimura, Character Inference Learning for Stacked Neuromorphic Devices using IGZO Thin Films, AM-FPD '22, pp. 163-166, July 2022
- Tetsuya Katagiri, Kazuki Morigaki, Kenta Yachida, Hidenori Kawanishi, and Mutsumi Kimura, ReRAM Multi-level Characteristics for Analog Computing, AM-FPD '22, pp. 146-147, July 2022
- Yuma Ishisaki, Osuke Tanaka, Takumi Kuwahara, and Mutsumi Kimura, Synaptic Characteristics of Ferroelectric Capacitors for Neuromorphic Systems, AM-FPD '22, pp. 144-145, July 2022
- Kenta Yachida, Tetsuya Katagiri, Norito Koma, Naoki Sahara, and Mutsumi Kimura, Spike-Timing-Dependent-Plasticity Characterization of Ga-Sn-O Thin Film Synaptic Device, AM-FPD '22, pp. 94-97, July 2022

[学会発表 (査読なし)]

(2) 関連リスト (謝辞なし)

[学会発表 (査読あり)]

- Reon Oshio, Takuya Sugahara, Atsushi

Sawada, Mutsumi Kimura, Renyuan Zhang, and Yasuhiko Nakashima, A Memcapacitive Spiking Neural Network with Circuit Nonlinearity-aware Training, IEEE COOL Chips 2022, Apr. 2022

[学会発表 (査読なし)]

- 宮戸 祐治, 廣瀬 尊之, 片桐 徹也, 三上 創太, 小林 圭, 木村 睦, IGZO および GTO-ReRAM におけるフォーミング時の特性変化測定, 第83回応用物理学会秋季学術講演会, 23a-P06-28, pp. 16-097, 2022年9月

[著書]

- Mutsumi Kimura, Neuromorphic Chip using AOS Thin-Film Devices, Wiley, Amorphous Oxide Semiconductors: IGZO and Related Materials for Display and Memory, Chapter 22, May 2022

[特許]

- 特願 2022-55****
- 特願 2022-08****
- PCT 出願番号: PCT/JP2022/ 40***

採択番号 : R03/A22

IoT セキュリティの研究

[1] 組織

研究代表者 : 小熊 博
(富山高等専門学校)

通研対応教員 : 本間 尚文
(東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :
廣川 輝 (富山高等専門学校)
松下 礼 (富山高等専門学校)

延べ参加人数 : 6 人

[2] 研究経過

IoT (Internet of Things) デバイスには、ライフサイクルが長いことや監視が行き届きにくいことといった特徴がある。このような特徴から、IoT デバイスは、攻撃に晒されやすい傾向にある。一旦攻撃に会うと、同じネットワークにつながっているほかのデバイスも同様に攻撃に晒され、プライバシー情報や機密情報を抜き取られてしまい、脅威の影響範囲が広がってしまう。さらに、年々IoT デバイスの数が増加している。よって、これらの問題は徐々に深刻になっていくであろうと推測される。

これらの問題を解決するために、認証暗号を実装することが必要である。IoT デバイスは、いわゆる「組み込みシステム」であり機能面や性能面で制約がある。この制約に付随して、セキュリティ機能が限定的であり、不正アクセスに対する防御が困難である。これらを考慮した適切で効率的な軽量で安全な認証暗号を実装しなければならない。特に、IoT におけるセキュリティでは、「回路規模、消費電力量、低遅延」であることが求められる。そこで本研究では、IoT 用の組み込み設計・実装に関する研究を実施する。本研究では認証暗号を対象とする。認証暗号は、完全性と秘匿性を保証する暗号であり完全性は、認証機能がその性質を担っている。認証機能によって、通信相手の身元を特定し、偽装やなりすましを防ぐことができる。秘匿性は、暗号化がその性質を担っている。通信データを暗号化することで、第三者による盗聴や改竄を防止することができる。本研究では、マイコンのリソースが小さいため、共通鍵暗号方式を採用する。令和4年度は、2個の認証暗号に注目しAES-GCM (Advanced Encryption Standard-Galois/Counter Mode) とAsconを対象とし、比較・評価を行う。AES-GCMは、広く使われており、多く

の実装実績がある。一方、Asconは、NIST (National Institute of Standards and Technology) で2023年後半に標準化される予定の新しい暗号である。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

暗号化時に入力平文 P と追加認証データ A 、鍵 K とし、暗号文 C と認証タグ T が出力される。AES-GCMのブロック図を図1に示す。AES-GCMは、暗号化にAESを適用した暗号化と認証を組み合わせた暗号利用モードのことである。CTR (Counter) モードであるGCTRと認証タグ生成アルゴリズムGHASHから構成される。GCTRでは、暗号化処理を行う。初期ベクトル IV (96bit) とカウンタ (32bit) を連結させたカウンタブロックを鍵 K (128bit) の下でAESを用いて暗号化する。次に、平文 P (128bit) とXOR演算をし暗号文 C (128bit) を得る。GHASHでは、0 (128bit) を暗号化した結果 H との拡張ガロア体 $GF(2^{128})$ 上の乗算を行う。GHASHを繰り返すことで、認証タグ T (128bit) が得られる。

次に、Asconのブロック図を図2に示す。Asconは、単一のSPN (Substitution Permutation Network) 構造をした順列 p を使用し、暗号化を行う。Asconファミリーの中でも本研究ではAscon-128を使用する。Asconは、初期化と追加認証データ処理、平文処理、最終化から構成される。初期化は、 S に初期ベクトル IV (64bit) と鍵 K (128bit)、ノンズ N (128bit) を代入する。次に、 p^a を実行する。最後に、 K をXOR演算する。また、 A と P は、サイズが128bitの倍数ではないとき、最後のビットが1でパディングされる。追加認証データ処理は、 A_i をXOR演算し p^b を実行する。最後に、1をXOR演算する。平文処理は、 P とXOR演算し、 p^b を繰り返して暗号文 C を得る。最終化は、 $K // 0^{(320-r-k)}$ とXOR演算し、 p^a を実行する。最後に、 K とXOR演算し認証タグ T を作成する。

開発環境はArduino IDEを用い、対象とするマイコンは、ESP-WROOM-32とする。ESP32は、Wi-FiとBluetoothの機能が備わっている。本研究では、ESP32が備わった組み込みボードのDOIT ESP32 Dev Kit V1を使用する。表1にESP32のスペックを示す。始めに、認証暗号のアルゴリズム

を基にC++ライブラリを作成する。次に、ESP32上で暗号化と復号化を行う。PCとのシリアル通信を行い、シリアルモニタやログによって、サイクル数とROM使用量、RAM使用量、消費電力を評価する。

表1 ESP32のスペック

クロック周波数 [MHz]	240
RAM [KB]	520
ROM M[B]	4

今回は、鍵長128bit、タグ128bit、文字数を50byteとして実装した。また、ESP32のROMサイズは4MB、RAMサイズは520kB、クロック周波数は240MHzである。暗号化と復号化時のサイクル数と消費電力、ROM、RAM使用量を表2に示す。メモリ使用量と消費電力では、両暗号で非常に近い値となった。また、サイクル数では、Asconの方が少ないサイクルで処理された。ESP32では、ROM使用量が全体の約15%、RAM使用量が全体の約5%であった。

上記のようにAsconはAES-GCMよりサイクル数が少ないのに対し、メモリ使用量および消費電力が同程度という評価となった。本研究で実装・評価した認証暗号において、メッセージ量に関わらず、Asconを使用したほうが良好であると考えられる。

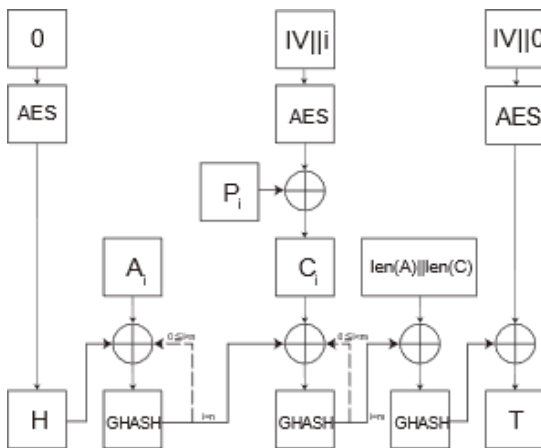


図1 AES-GCMのブロック図

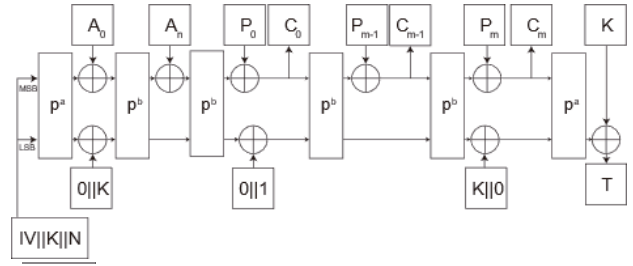


図2 Asconのブロック図

表2 各認証暗号の比較

	AES-GCM	Ascon
Cycle(Enc.) [cycle/B]	9,413	312
Cycle(Dec.) [cycle/B]	9,389	273
ROM [B]	200,340	199,164
RAM [B]	13,436	13,300
Power(Enc.) [mW]	213.7	213.4
Power(Dec.) [mW]	213.9	213.3

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

IoT用のハードウェアセキュリティの重要性は言うまでもない。また、本研究で実装したAsconについて、NISTが令和5年2月にIoTなどの小型デバイスで作成・送信されるデータを保護するための軽量暗号アルゴリズムとして標準暗号に採用すると発表した。このように、本研究はNISTの動きを見ながら実装を進めており、極めて先見性がある。また、本研究課題の成果としては、知的財産権を確保しつつ産業界への啓蒙を行うことで、現状のコンピュータ資源が限定的なIoTセキュリティ領域への適用を推進することができる。さらに、本研究課題の成果を元に各省庁などの国プロへの提案活動も積極的に行い、産学連携により商用化を目指した。より大規模な研究開発へ発展させることも想定している。IoTのセキュリティは喫緊の重要な課題であり、今後は、本プロジェクトの研究成果を積極的に活用し、産学官連携による地元地域の拠点化に向けた取り組みへの大きな発展が期待できる。

[4] 成果資料

(1) 成果リスト (謝辞あり)

特に無し

(2) 成果リスト (謝辞なし)

・小熊博, “Internet of Things: データ収集からセキュリティまで,” 富山大学次世代スーパーエンジニア養成コース電機システム工学特論 (メカトロニクスとAI/IoT), 2022年7月。

採択番号：R03/A23

先端的ハーモナイズドエージェントプラットフォーム の研究開発

[1] 組織

研究代表者：

打矢 隆弘（名古屋工業大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

木下 哲男

菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

笹井 一人（茨城大学工学部）

藤田 茂（千葉工業大学情報科学部）

原 英樹（千葉工業大学情報科学部）

今野 将（千葉工業大学工学部）

真部 雄介（千葉工業大学情報科学部）

顧 優輝（目白大学メディア学部）

和泉 諭（仙台高等専門学校総合工学科）

福谷 遼太（高知大学教育研究部）

太田 憲治（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：13人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

今後の情報化社会において、人々とロボット/システムが共に調和し、システム側が人々に適切なサービスを提供する共生型コンピューティング環境が極めて重要になる。我々は、人・社会・情報環境を総合的な協調系と捉え、これらが共生する世界である「共生社会」の実現に向けた研究開発（共生コンピューティングの実現）を進めてきた。共生コンピューティングの概念に基づくソフトウェアを構築するために、ソフトウェアの開発支援環境および運用支援環境を整備した。具体的には、知的エージェントの集合で構成されるソフトウェアをボトムアップ的に設計・開発・構築し、これらをエージェントリポジトリで保持・管理する方法論の策定と、インタラクティブな開発支援ツールの構築を行い、開発面での支援を実現した。また、セキュアなエージェント間通信を可能とするエージェント運用環境を開発し、運用面での支援も実現した。さらに、エージェントで構成されるIoT(Internet of Things)デバイス連携にも成功し、環境に適応する種々のシステム開発を推進している。

本研究では、これまでの取り組みを通し得た知見を基に、ユーザ/グループ/コミュニティと情報システム/ロボットが調和し、環境の状態を考慮して適切に人々の生活を支援するIoTシステムの設計/開発/運用支援の強化を目的とする。具体的には、過去の研究をさらに発展させ、エージェントフレームワークの開発・運用機能の充実と、エージェントシステムで構成されるIoTソフトウェアの構築・評価を行う。

現在エージェントの分野では、我々の研究グループで開発を進めているリポジトリ型マルチエージェントフレームワーク DASH やヨーロッパで多数利用されている JADE, LISP ベースの OMAS など様々なエージェントプラットフォーム (AP) が開発されている。日本国内においては、DASH が最先端の知的エージェントフレームワークとして広く認知され、複数の大学で演習教材に利用されるなど、利用機会が非常に増大している。我々の研究グループでは、この DASH を用いて過去に「高齢者の見守り支援システム」「ヘルスケアサポートシステム」など人・社会・環境と共生する情報システムの開発に成功しており、直近では「個人間広域分散バックアップシステム」「マイクログリッド型電力需給システム」「IoT(Internet of Things)デバイス連携」など、システムの対象分野を研究/教育、エネルギー、ライフサポートにまで拡大している。

DASH の特長のひとつとして、エージェントの多様性を実現していることが挙げられる。具体的には、「自律性」「協調性」「即応性」「熟考性」「学習性」「移動性」「社会性」などの性質をエージェントに付与することができる。このフレームワークに対し、各種機能拡張を行い、ソフトウェアの開発支援の充実、管理/運用支援のさらなる充実を図る。

本年度はプロジェクト 2 年目であり、主に管理・運用支援の強化に取り組んだ。また、応用アプリケーションの開発にも注力した。

以下、研究活動状況(研究会)の概要を記す。
令和 4 年 8 月 3 日 14:00～、東北大学電気通信研究所及び Zoom オンライン研究会（参加者：打矢、木下、藤田、笹井、福谷、太田）

[3] 成果等

(3-1) 研究成果：主要研究とその成果を示す。

【利己的なエージェント間におけるタスクベース効用関数を用いた経路交渉手法】

近年、自律移動ロボットや自動運転車などの自律移動体の開発が行われている。今後、よりこれらの自律移動体の普及が進むと、各々別の役割を持つ自律移動体の実環境で混在するようになると考えられるため、移動体同士が衝突しない仕組みが必要となる。そのような仕組みとしてまずセンサベースの衝突回避が考えられるが、衝突可能性のある物体の双方が移動している場合、センサベースでは互いの移動経路の予測ができないため、衝突を回避することは難しい。そこで、移動体間での通信や、各移動体を制御する中央集権システムを設置するなどして衝突を回避することが必要となる。本研究では、移動体間の通信によって衝突のない経路を獲得する手法を提案する。

先行研究

先行研究[1]では、各タイムステップにおけるマップの使用状況の管理を行うエリアマネージャを設置する、エージェント間経路交渉手法を提案している。各エージェントは締め切りとゴール位置が指定されるタスクが課されたタイミングで、エリアマネージャの管理するマップの状況を参照して二つの経路探索を行う。一つはマップの空いている頂点のみを使用した経路、もう一つは他エージェントが使用する頂点も使用可能だと仮定した上での経路である。これらの経路を用いて他エージェントと交渉を行うことで、各エージェントは衝突のない、より最適な経路の獲得を目指す。

問題点

先行研究の手法では、マップの空き状況を管理するエリアマネージャを設置し、経路探索の際にエリアマネージャとの通信を行う必要がある。これによりエリアマネージャに障害が発生した場合、この衝突回避システム全体が停止するという問題点がある。そこで、本研究では中央集権的なシステムではなく、各エージェント間の交渉のみで衝突を回避し、最適な経路を獲得する手法を提案する。

提案手法

本研究では、各エージェント間の交渉のみで衝突を回避し、最適な経路を獲得することを目指す。各エージェントはタスクが与えられたタイミングではなく衝突直前に停止し、その場で衝突可能性のあるエージェントと交渉を行う。以下にエージェント A と B による交渉 (図 1) を想定した提案アルゴリズムを示す。

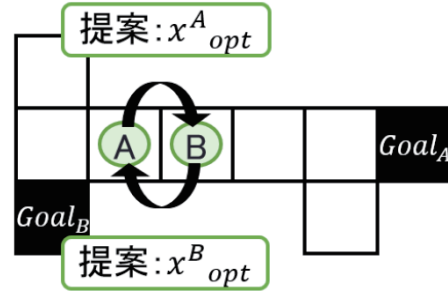


図 1: エージェント A-B 間の経路交渉

1. (A) 最適な経路 x_{opt}^A を B に送信
2. (B) A を避ける経路 x_{alt}^B と最適な経路 x_{opt}^B を用いて効用計算
3. (B) 効用 > 0 となるように payment (支払額) を設定
4. (B) 最適な経路 x_{opt}^B と payment を A に送信
5. (A) B を避ける x_{alt}^A と最適な経路 x_{opt}^A と payment を用いて効用計算
6. (A) 効用 > 0 の場合: A が x_{opt}^A ・ B が x_{alt}^B を獲得

(A) 効用 ≤ 0 の場合: A が x_{alt}^A ・ B が x_{opt}^B を獲得

各経路 x はタイムステップ t において使用する頂点 v の列 $x = (v^0, v^1, \dots, v^t)$ で表される。

効用関数

交渉を始める側のエージェントは式 (1) により迂回経路 x_{alt}^* の最適経路 x_{opt}^* に対する効用 U_{nego} を計算する。交渉を受ける側のエージェントは式 (2) で payment を加味した最適経路 x_{opt}^* の迂回経路 x_{alt}^* に対する効用 U_{nego} を計算する。

$$U_{nego} = U_{task}(x_{alt}^*) - U_{task}(x_{opt}^*) \tag{1}$$

$$U_{nego} = U_{task}(x_{opt}^*) - U_{task}(x_{alt}^*) - payment \tag{2}$$

$$U_{task}(x) = r(x) - c(P) \tag{3}$$

式 (1) と式 (2) 中の $U_{task}(x)$ はタスクベース効用関数であり式 (3) で計算される。 $r(x)$ はタスクを成功したときの報酬で、成功したら報酬が得られ、失敗したら 0 となる。 $c(P)$ は経路コストである。

参考文献[1] Hiroaki Inotsume et al., “Path Negotiation for Self-interested Multirobot Vehicles in Shared Space”, IEEE/RSJ IROS, 2020.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトは複数機関共同で共生コンピューティングの基盤技術の研究開発を推進し、上記以外にも多数のフレームワーク拡張・アプリケーション開発が実施できた(別紙[4])。更に、当該分野の海外研究者との議論も積極的に展開し、研究者間交流の活性化も図った。

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・Takahiro Uchiya, Kazuki Akita, “Proposal of Disaster Prevention Training System Using Mixed Reality Space”, BWCCA 2022: 385-394, 2022.
- ・Yang Kun, Takahiro Uchiya, “Examination of Robot System Detecting Smoke Condition in the Event of a Fire”, CISIS 2022: 83-93, 2022.
- ・Zongming Zhang, Takahiro Uchiya, “Proposal of Rescue Drone for Locating Indoor Survivors in the Event of Disaster”, NBiS 2022: 309-318, 2022.
- ・Yafei Zhou, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, “Storage Structure Optimization of Container Images in P2P File System”, Proc. of GCCE2022, 2022.
- ・Masafumi Hombe, Takahiro Uchiya, “Proposal of Robot-Guided Evacuation Method Considering Congestion at Stairs”, Proc. of GCCE2022, 2022.
- ・Kota Watanabe, Takahiro Uchiya, “Detecting Dialogue Breakdowns Using Nonverbal Information in Text-Based Dialogue System”, Proc. of GCCE2022, 2022.
- ・Yuga Oba, Shinsuke Kajioka, Takahiro Uchiya, Hiroshi Matsuo, Ichi Takumi, “Indoor Positioning by Multiple Smartphones for Rollcall System With Seating Information”, Proc. of GCCE2022, 2022.
- ・山田大雅, 打矢隆弘, “発災時の施設内要救助者発見のための物体検出モデルの作成”, WiNF2022 講演論文集, 2022.
- ・永井隆介, 藤田茂, “ブレインストーミングの動画を対象とした深層学習による認識結果統合システムの開発”, FIT2022, F-001, pp.341-342, 2022.
- ・永沼祥吾, 滝雄太郎, 藤田茂, “秘密分散法を用いた秘匿性と耐障害性を備えたファイルシステムの開発”, FIT2022, pp.161-162, 2022.
- ・藤田茂, 白鳥則郎, “ポストエージェント指向に基づく内外の変化を自律的に吸収し継続動作する情報システム”, 情報処理学会 DPS/EIP, 2022-DPS-192, pp.1-6, 2022.
- ・永沼祥吾, 藤田茂, “秘匿性と耐障害性を実現する秘密分散法を用いたネットワークファイルシステムの開発”, 情報処理学会, 研究報告マルチメディア通信と分散処理(DPS), 2022-DPS-193(5), pp.1-8, 2022.
- ・Kazuto Sasai, Ryota Fukutani, Gen Kitagata, Tetsuo Kinoshita, “Multiagent-Based Data Presentation Mechanism for Multifaceted Analysis in Network Management Tasks”, Sensors, Vol. 22, pp. 8841, 2022.
- ・熊谷遼太, 柴田奎哉, 鈴木優太, 笹井一人, “対話における持続と創造のための媒介者エージェント”, 第 6 回共創学会年次大会講演論文集, pp. 62-65, 2022.
- ・岡野龍樹, 花崎諒, 笹井一人, “市場モデルにおけるエージェントの創造性と非合理性”, 第 6 回共創学会年次大会講演論文集, pp. 66-68, 2022.
- ・井深綾乃, 笹井一人, 望月諒登, 渋谷麗夢, “指先で共創表現するスマホアプリとエージェントアルゴリズム”, 第 6 回共創学会年次大会講演論文集, pp. 69-71, 2022.
- ・花崎諒, 笹井一人, “集団の膠着を解消するノイズとその汎化手法の検討”, 第 6 回共創学会年次大会講演論文集, pp. 150-152, 2022.
- ・関根拓人, 笹井一人, “CCR ゲームにおける不確実性とエージェントの創造的行動戦略”, 第 23 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 3027-3031, 2022.
- ・三野宮楓太, 笹井一人, “ラフ集合誘導束によるミステリー小説の分析に関する研究”, 第 23 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 3036-3038, 2022.
- ・久保田隆一, 笹井一人, “拡張ベイズ推論に基づく人間の視線行動予測に関する研究”, 第 23 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 3039-3042, 2022.
- ・笹井一人, 熊谷遼太, 鈴木優太, 柴田奎哉, “オンライン対話を和ませ共創する天然知能的傍観者”, 第 23 回システムインテグレーション部門講演会, pp. 3047-3049, 2022.
- ・Takuto Sekine, Kazuto Sasai, “Behavior Comparison in Game of Chicken with Cards Based on Bayesian Inference Models”, Proc. The AROB-ISBC-SWARM2023, pp. 1349-1353, 2023.
- ・Ryuichi Kubota, Kazuto Sasai, “Gaze Trajectory Prediction Based on Inverse Bayesian Inference”, Proc. the AROB-ISBC-SWARM2023, pp.1354-1357, 2023.
- ・福谷遼太, 有田凜, 板垣翔大, 安藤明伸, “製作品の 3D データを用いた仕上がり評価支援アプリケーションの試作”, 日本産業技術教育学会第 65 回全国大会講演要旨集, p.1, 2022.
- ・有田凜, 福谷遼太, 板垣翔大, 安藤明伸, “製作品の 3D データを用いた仕上がり評価支援システムの構築”, 日本産業技術教育学会第 38 回四国支部大会講演要旨集, p.8, 2022.
- ・阿部暖子, 板垣翔大, 福谷遼太, 安藤明伸, 堀田龍也, “CBT における視覚利用型不正行為の有無による視線運動の違い”, 日本産業技術教育学会第 40 回東北支部大会要旨集, pp.19-20, 2022.
- ・早坂知広, 板垣翔大, 福谷遼太, 安藤明伸, 堀田龍也, “のこぎり引き動作の特徴をスマートウォッチと AI で判別する手法の提案”, 日本産業技術教育学会第 40 回東北支部大会要旨集, pp.55-56, 2022.

採択番号：R03/A25

デバイス・インフォマティクスの創成と Beyond5G デバイスへの応用

[1] 組織

研究代表者：

吹留 博一（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

吹留 博一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

尾嶋 正治（東京大学）

川合 眞紀（分子科学研究所）

渡邊 一世（情報通信研究機構）

尾辻 泰一（東北大学電気通信研究所）

舘野 泰範（住友電気）

松田 巖（東京大学）

原田 慈久（東京大学）

川原田 洋（早稲田大学）

日比野 浩樹（関西学院大学）

水口 将暉（東北大学）

小飼 真人（東京理科大学）

組頭 広志（高エネルギー加速器研究機構）

堀場 弘司（高エネルギー加速器研究機構）

永村 直佳（物質・材料研究機構）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

（背景）

新材料を用いた機能化研究が盛んである。これらの研究の多くは「物性と機能は直結する」を前提とする。しかし、現実には、この前提は成立しないことが多い。その原因を探るために、代表者は「電圧印加下でデバイスのナノ物性を元素選択的に診る」画期的分光法：*o-nXS* (*operando nano X-ray Spectroscopy*) を開拓してきた (Fukidome et al. Sci. Rep. (2014))。

さらに、今回の共同プロジェクト研究の基となった前回の共同プロジェクト研究において、代表者らは *o-nXS* を発展させ空間的だけでなく時間的にも高分解能でデバイスの物性を詳細に調べることができる *o-STXS* (*operando SpatioTemporally resolved X-ray*

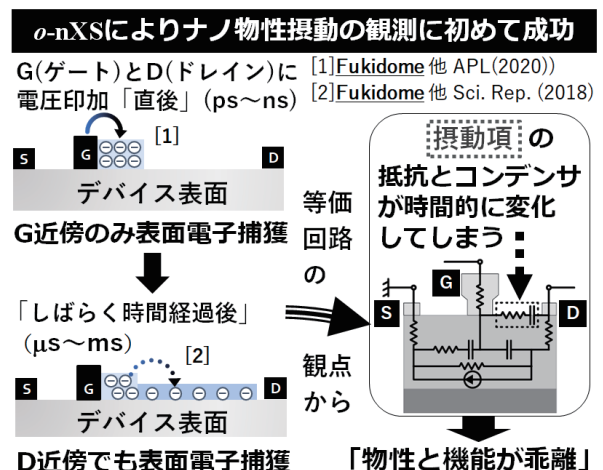


図1 ナノ物性の *o-nXS* 観測例

Spectroscopy) を世界に先駆けて開発した (Omika et al. Appl. Phys. Lett. (2020))。

代表者らは *o-STXS* を駆使して、機能発現を企図した新材料領域以外で、企図しないナノ物性摂動が電圧印加により表面・界面で起こることを *o-nXS* を用いて観測した (図1)。ここで、ナノ物性摂動の一例として、GaN 高速電子移動度トランジスタ (GaN-HEMT) の表面電子捕獲を調べた。さらに電気特性の周波数依存性に基づく等価回路の観点から洞察し、企図しないナノ物性摂動 (例：表面電子捕獲) の時空間ダイナミクスが物性と機能を乖離させると認識した。物性と機能の乖離を解消するために、機能を定量評価できる「等価回路モデリングによる可視化」に注目した。具体的には、代表者は次の学術的問いを着想した：「応用物理学と電気工学を相補的に融合させることで「ナノ物性に根差した特徴量を抽出して機能を等価回路でモデリングできれば、ナノ物理学に基づいて機能を可視化して、かつ、定量的に説明することができるようになるのでは？」

（目的）

そこで、我々は、機能を等価回路モデリングにより定量的に説明する「デバイス・インフォマティクス」を創成することを目的とした研究を行う (次頁の図2)。

（概要）

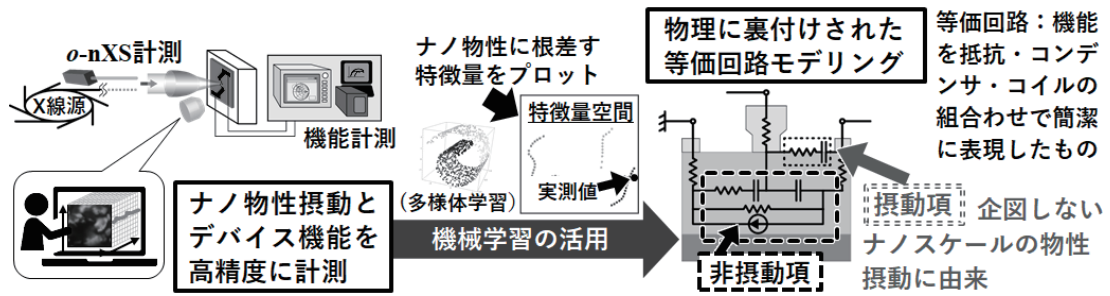


図2 本研究の概略

そのために、下記二つの研究細目を実施する。

- ① $o-nXS$ 計測とデバイス機能計測のデータからナノ物性に根差した特徴量を抽出する。
 - ② その特徴量を用いて、解釈性の高い機械学習法によりナノ物性摂動の寄与を可視化する。
- そして、以上の研究成果を基に、新規デバイスの創出を目指す。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

① 主成分分析による画像変化の抽出

InGaAs-HEMT²をモデルとして、デバイスシミュレーターを活用することで機械学習用のデータセットを作成した。モデルデバイスは寸法のうちゲート長 L_G のみを変化させ、6種類 (35 nm, 120 nm, 180 nm, 330 nm, 530 nm, 700 nm) 用意した。ゲートソース間電圧 V_{gs} を $-0.6V \sim 0.6V$ の範囲で $0.005V$ ずつ変化させ、デバイス動作下での4種類の物性(電子密度分布, 正孔密度分布, 電界分布, ポテンシャル分布)を画像として取得した。

4種の物性ごとに分布図に主成分分析を行ったところ、電子密度分布図の主成分分析結果の分布にゲート長に依存する特徴がみられた。電子密度分布図の主成分分析結果を図3に示す。ゲート長が短いほど第一主成分が広く分布している。固有ベクトルの観察も加味し、電子密度分布図の第一主成分は物性のゲート長に依存することが明らかとなった。

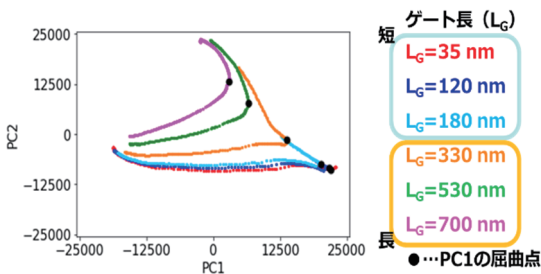


図3 電子密度分布図の主成分分析結果

図中の各ゲート長で見られている屈曲点は、その近傍において有意な画像変化が起こっていることが示唆する。そこで、屈曲点周辺にフォーカスして、どのように画像変化が起きているかを観察した。第一主成分を用いて再構築した画像を用いてその差分を観察することで画像変化を分かりやすく可視化した。その結果、ゲ

ト長の長短に依らず、屈曲点を境にして画像変化の起こる位置がゲート直下からソース・ドレイン側へと変化していることが、初めて明らかとなった。主成分分析を用いて画像表示した物性を解析することで、デバイスの特定の位置における物性変化がデバイス機能発現に寄与することを示唆した。

② 物性分布図の画像変化のゲート長依存性

次に、電子密度分布がデバイス機能発現にどのように寄与するのかを可視化するために、ゲート長ごとにデバイス機能が最大化する V_{gs} 値近傍における画像変化を観察した。デバイス機能の指標として、電流利得遮断周波数 f_T を用いた。 f_T が大きいほど高周波特性が良いといえる。 f_T を用いた理由は、 f_T に対して物性が直接反映しやすいためである。 f_T が最大になる V_{gs} の前後 $0.1V$ の値近傍での画像変化を観察した結果、ゲート長が 330 nm よりも短い時、画像変化の位置に変化がみられた。画像変化の量はゲート長が短いほど顕著であった。また、 f_T が最大になる V_{gs} の前後 $0.04V$ 間での画像変化に対しても比較を行った。画像変化の位置は全ゲート長で共通していたがゲート長が短くなるほど画像変化の量が顕著であった。

さらに、主成分分析結果の分布における屈曲点と f_T 最大点の距離はゲート長が短くなるほど離れていた(図4)。電子密度分布図の主成分分析結果および画像変化にはゲート長依存性がみられている。このことから、電子密度分布と短チャネル効果とが相関しており、電子密度分布がデバイス機能発現に寄与していることが示唆された。

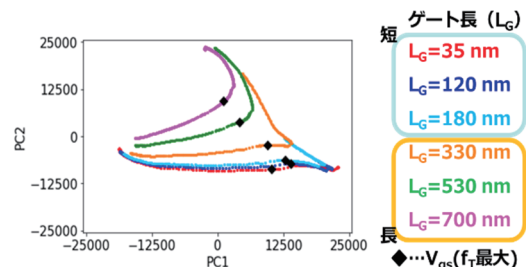


図4 電子密度分布図の主成分分析と電流増幅機能の関係

③ 二種類の物性分布図の主成分分析得点相関

こまでは、各物性分布図データセット単体を主成分分析してきた。しかし、デバイス機能発現機構において複数の物性が互いに絡み合っ関与し得ることを踏まえると、物性分布図データ同士の相関を調べることも重要であると推論される。そこで、各物性分布図のデータセ

ット単体では得られなかった示唆を見出すために、各物性分布図のデータセットの主成分得点 (PC1) 同士をプロットすることで2種類の物性間の相関解析を行った。このうち、電子密度分布図とポテンシャル分布図の組み合わせにおいて1種類の物性分

布図の解析からでは得られなかった示唆が、次に示すようにみられた。

電子密度分布図とポテンシャル分布図の第一主成分得点同士で相関をとったグラフを図5に示す。

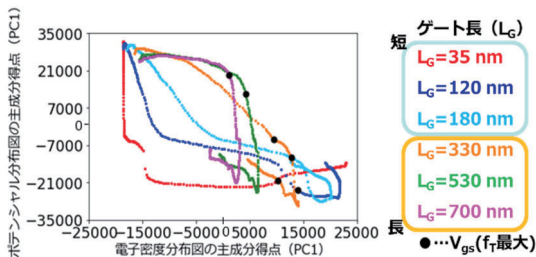


図5 電子密度分布図とポテンシャル分布図の主成分得点 (PC1) 同士の相関

図5を見ると、ゲート長 330 nm を境にグラフが屈曲する方向が変化しており、 V_{gs} に対する2種の物性分布の変化の仕方の関係性が変化したことが分かった。この結果は、 V_{gs} に対する2つの物性の挙動がゲート長によって顕著に変化することを示している。以上のことから、デバイス機能発現に関わる物性は個別に寄与するのではなく、2種類以上の物性が相互に関係しながら寄与する可能性があると考えられる。

④単原子長ゲートを有する次世代トランジスタ開発
これまでに培ってきた二次元半導体の立体的エピ成長技術およびデバイス技術を駆逐することで、ゲート長を単原子一個分およびチャネルを原子一層まで超極薄化した研究開発を開始した。本年度は、単原子ゲート構造を既に実現している。二年以内に単原子長ゲート・トランジスタを作製し、従来の RF Si-CMOS や InGaAs-HEMT を大きく凌駕する増幅器を実現させたい。本トランジスタは、ゲート長を極限まで短縮させたものであるという点で、ムーアの法則を極限まで突き詰めたものだり、インパクトは非常に大きなものになると言える。なお、本研究は、産総研・東大・筑波大・広島大との共同研究だり、吹留博一が代表研究責任者として本研究を主導している。

(研究打ち合わせ)

・渡邊一世博士との研究細目①に関する研究討論を、月に二回程の頻度でオンラインで行った。一回につき5人程度参加。のべ80人程度参加。

・東京理科大・小飼教授らをはじめとした分担者らと、研究細目①～③に関する研究討論を、月に一回程の頻度でオンラインで行った。一回につき5人程度参加。のべ50人程度参加。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し二つの大型プロジェクト「NICT・Beyond 5G 研究開発促進事業」および「JST・未来創造事業」に発展した。代表者は、国際会議における Special session の企画立案・開催、および Beyond 5G に関する基礎講座を主導している。

(大型プロジェクトにつながった事例)

1) 単原子長ゲートによる低環境負荷物質から成る高出力 THz 増幅器の創出

・Beyond 5G 研究開発促進事業

・NICT

・R4-R6

・代表：東北大 (責任者：吹留博一)

2) 2D 材料 CMOS ・デバイス集積化技術の開発

・未来創造事業

・JST

・R4-R8

・代表：長汐晃輔 (吹留博一：分担)

(国際会議・シンポジウムへの発展については詳細に記載してください。)

・ALC20222 におけるオペランド X 線分光に関する special session を主宰

・2022. 10. 21-22

・沖縄

・参加人数：300 人

(その他)

・応用物理学会・薄膜表面物理分科会・基礎講座

「Beyond 5G と表面物理の接点」

・2022. 10. 31

・慶応義塾大学・日吉キャンパス

を、常任幹事として吹留博一が企画立案し開催した。本基礎講座終了後、企業の方から、Beyond 5G デバイスに関する講演や技術指導の依頼をされた。

採択番号：R03/A26

実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究

[1] 組織

研究代表者：

福原 武（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

通研対応教員：

大塚 朋廣（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

山本 隆太（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

小沢 秀樹（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

田中 祐太朗（理化学研究所量子コンピュータ研究センター）

志賀 元紀（東北大学未踏スケールデータアナリティクスセンター）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

近年、量子力学的な自由度を活用した量子技術が、高度・多機能な情報処理や通信の実現に向けて注目を集めている。小規模な量子系を用いた量子センサーや量子メモリ、さらには大規模な量子系を用いた量子計算機等のアプローチがあり、従来のエレクトロニクスの限界を超えていくための候補として盛んに研究が進められている。また一方、コンピュータの計算機能力の飛躍的向上により、大量で複雑なデータから新しい知識や、その意味を引き出す情報科学技術が大きく進展してきた。この状況をふまえ、最近では機械学習をはじめとするデータ科学手法が量子技術の研究に導入され、量子系の測定や、デバイス構造や実験パラメータの自動最適化等で成功を収めるようになってきた。

一方でこの研究の進展とともに課題も明らかとなりつつあり、量子系の実験のみではデータ科学的処理に耐えうる十分なデータを低コストで大量に用意することが難しい場合も多いことが分かってきた。そこで本研究では、実験とデータ科学手法に加えて、比較的データ収集コストの小さいシミュレーション等の理論計算データを組み合わせることにより、データ科学手法を活用する際のデータ不足の困難を克服し、有用となる量子技術を実現する、実験・理論・データ科学の融合による量子技術の研究を推進した。特にシミュレーションデータに基づく手法・学習が、実デバイス、システムにおいても有効となるよう、物理過程を考慮したデータ科学アプローチの設計を行い、研究を実施した。

本研究の推進にあたり、参加研究者間での最新の研究成果や技術に関するディスカッションを行うとともに、2023年1月24日に量子技術・機械学習融合ミーティングを開催し、外部からの招待講演者も交えながら、融合研究の詳細の議論や、新しいデータ科学手法の情報共有等を行った。また、本活動および研究成果を広く周知するために、ウェブHP (<https://qmbd.riken.jp/qtml/index.html>) を通じた情報公開を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は以下に示す研究成果を得た。

融合的な量子技術の創生に向けて、実験データや理論、シミュレーションを取り入れたデータ科学手法について研究を行った。実験データのみに基づくデータ科学手法の際に問題となるデータ不足の困難を克服するために、シミュレーション等の理論も活用した手法の研究を実施した。シミュレーションにより、実験と比較して低コストに十分な量の学習データを用意し、これにデータ科学手法を活用して学習等を行う手法を開発した。

まず半導体量子ドット系を用いた研究では、機械学習に必要な大量のラベル付きのデータを取得することが実験的に容易ではない。この課題を解決するために、量子ドット状態シミュレータによるデータ生成とこれを用いた機械学習によって、量子ドット状態の推定器の研究を行ってきた。一般的には、実際の量子ドット状態の実験結果は、材料中に生じる電場や不純物のために、動作電圧等がシミュレーションとは合わないことが多いが、電圧等の影響を受けやすい物理量を直接的に学習するのではなく、電荷状態遷移に特徴的な構造等の影響を受けにくい構造を学習のターゲットにすることで、シミュレーションデータによる学習で生成した推定器でも、実際の実験データに対して良好に動作する推定器の開発を進めてきた。本年度は、シミュレーションデータ作成の際のパラメータの拡張や、学習データの前処理の最適化等により、推定器の精度と汎用性を向上させ、推定器の改良を進めた。

さらに構成した推定器の動作を検証するために Gradient-weighted Class Activation Mapping (Grad-CAM) と呼ばれる手法を用いて、推定器の判断根拠の可視化を行った。これによ

り、推定器が電荷状態遷移に特徴的な構造を実際に用いて推定を行っていることを確認し、構成した機械学習手法が実験家と同じように電荷状態遷移の特徴を判断基準として推定を行っていることを示した。これは、今後さらなる推定手法の改良を進めていく上で有用となる知見である。

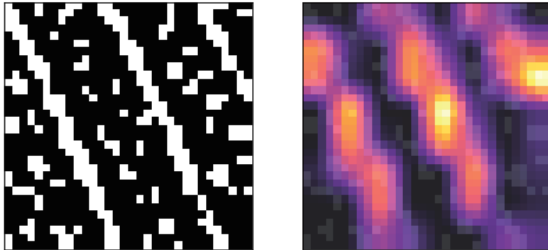


図1：推定器の判断根拠可視化の結果

次に冷却原子系の実験研究においては、昨年度に引き続きベイズ最適化による実験パラメータの自動最適化の効率化に取り組んだ。これまで我々が実験系で行ってきたベイズ最適化は全てガウスクERNELを用いたものであった。これに対し、Matérn 5/2 KERNELや、それらのAutomatic Relevance Determination (ARD) を用いることで改善が見込めるかについて調べた。実際の最適化実験では時間がかかるため、これまでのパラメータ最適化実験の際に取得されたデータをもとに、各KERNELを用いて目的関数を求めるということを行った。また、交差検証を行うことで、どれが予測精度の高いモデルになっているかを評価した。その結果、ガウスクERNELとMatérn 5/2 KERNELの間には明確な差は確認できなかった。一方、ARDとそうでないものを比較した際には、ARDのパフォーマンスが優れていることが確認できた。実験パラメータの最適化においては、パラメータ毎の感度が大きくばらつくこともあるため、ARDのKERNELを用いることは重要であると考えられる。

さらに、上記のようにガウスクERNELを用いて行われたデータから異なるKERNELで目的関数を求め、それをもとに最適パラメータを予想することを行った。予想されたパラメータを実際に実験で試し、スコアを確認した。ARDのKERNELのもので改善を期待したが、スコアの向上は見られなかった。今後は、ARDのKERNELを用いたベイズ最適化を実際に最適化実験に適用し、自動最適化の効率化が可能かを検討していきたい。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本研究課題の実施を通して、情報科学と量子科学、また量子科学の中でも冷却原子量子系と半導体量子系といった、異分野の研究者の協力、連携を活性化することができた。この連携の中

で、実験・理論・データ科学の融合による量子技術という新しい融合分野の研究を進めることができ、また新しい研究コミュニティの形成に貢献することができた。本技術は量子系の自動制御、自動最適化等を可能とするものであり、量子研究開発分野を押し進めるために不可欠な技術である。これにより量子センサーや量子メモリ、さらには大規模な量子計算機等に貢献し、高度・多機能な情報処理や通信への発展が期待される。また、この研究の中で取り組んでいる手法は情報科学の分野としても新しいものであり、応用分野だけでなく情報科学分野においても重要な成果となりうる。

今後としては、引き続きシミュレーションデータと実験データのずれに影響されない頑強性のある手法の開発を、複数の量子系において進めていきたい。また、さらに融合を進める上で、理論計算、シミュレーション、実験データ取得のトータルコストを最適化できる手法の開発も重要になると考えている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- “Noise robust automatic charge state recognition in quantum dots by machine learning and pre-processing, and visual explanations of the model with Grad-CAM”, Yui Muto, Takumi Nakaso, Takumi Aizawa, Motoya Shinozaki, Takahito Kitada, Takashi Nakajima, Matthieu R. Delbecq, Jun Yoneda, Kenta Takeda, Akito Noiri, Arne Ludwig, Andreas D. Wieck, Seigo Tarucha, Atsunori Kanemura, Motoki Shiga, and Tomohiro Otsuka, arXiv:2210.15070.

- 「機械学習を用いた冷却原子実験」、福原武、2022年9月8日電子回路研究会、<https://www.bookpark.ne.jp/cm/ieej/detail/IEEJ-20220908C00401-005-PRT/>

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- 「量子ドット電荷状態推定機械学習モデルの予測判断根拠可視化」、武藤由依、中曾拓、相澤拓海、篠崎基矢、北田孝仁、中島峻、Matthieu R. Delbecq、米田淳、武田健太、野入亮人、Arne Ludwig、Andreas D. Wieck、樽茶清悟、兼村厚範、志賀元紀、大塚朋廣、日本物理学会、オンライン、2023年3月24日(口頭)

- “Towards quantum simulation of frustrated spin systems: a triangular-lattice quantum gas microscope”, Takeshi Fukuhara, Ultracold Atoms Japan 2022, Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University (OIST), Japan, 13 April 2022 (Oral).

採択番号：R03/A27

遠距離における非接触電力伝送の検討

[1] 組織

研究代表者：

稲森 真美子（東海大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

亀田 卓（広島大学ナノデバイス研究所）

石谷 哲史（東海大学大学院工学研究科）

伊東 伸之助（東海大学大学院工学研究科）

古橋 汰晟（東海大学大学院工学研究科）

上原 圭吾（東海大学大学院工学研究科）

柴田 直人（東海大学大学院工学研究科）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

近年、海底資源の調査や海底での作業を目的とし海底で AUV(Autonomous Underwater Vehicle)などのロボットが稼働している。これらの機器はバッテリーにより自律航行を行っているが、充電の度に海面に浮上する必要があり、稼働範囲に制限が生じている。この問題点を改善するため、海水中で非接触電力伝送によりバッテリーへ充電する方法が検討されている。

非接触電力伝送の方式として磁界共振方式が盛んに研究されている。磁界共振方式では、コイルの位置ずれや伝送距離によって電力効率、電力及び磁束等が変化する。我々は先行研究において、空気中の磁界共振方式非接触電力回路の特性として、送信側コイルの漏れ磁束の増加により遠距離で電力効率が低下する事を報告した。また、海水を濃度 3%の塩水と仮定し、塩水の中では送受信コイルが塩水から受ける近接効果や表皮効果の影響により、空気中よりも伝送効率が低下する事を明らかにした。本研究の目的は、塩水における非接触電力回路の伝送特性を明らかにし、塩水での電力効率低下の要因を解明することである。海水中における遠距離での電力効率低下の要因を解明することで、長距離伝送系の設計への考察も行う。

2 年目にあたる今年度は、海洋環境が電力伝送に与える影響について検討を行った。これまでの東海大学海洋学部環境社会学科の海洋調査結果より、深海では海水の温度と電気伝導率が低下することが明らかになっている。図 1 に海水の水温と水深、図 2 に海水の電気伝導率と水温の関係を示す。そこで、本研究では海水の温度

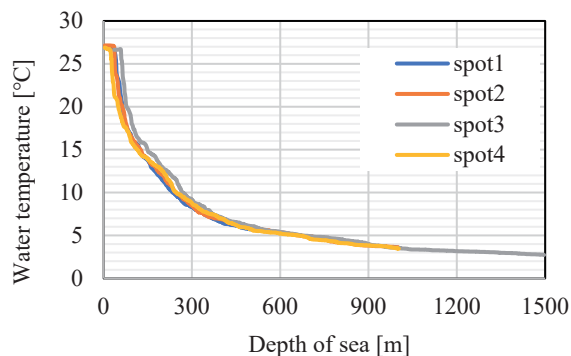


Fig.1. Relationship between water temperature and depth.

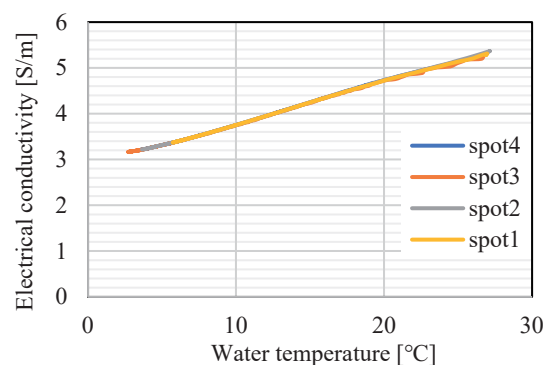


Fig.2. Relationship between water temperature and electrical conductivity of seawater.

変化が非接触電力伝送に与える影響について検討を行った。塩水での伝送実験を行い、温度の上昇が伝送特性に与える影響について明らかにした。

今年度、東北大学で研究打ち合わせを実施し、進捗確認や議論を行った。また、共同プロジェクト研究発表会において、ポスター発表を行った。

[研究打ち合わせ]

日時：令和 4 年 11 月 2 日（水）

場所：東北大学 電気通信研究所

出席者：稲森、末松、亀田、石谷、伊東、古橋、上原

[共同プロジェクト研究発表会]

日時：令和 5 年 2 月 18 日（木）

場所：オンライン

参加者：石谷、伊東、稲森

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本研究ではまず海水の温度を変化させたときのコイルの特性評価を行った。海水の温度を変化させたときのコイルの特性を図 3 に示す。これより水温上昇がコイルの交流抵抗 R_{AC} を増加させることがわかる。

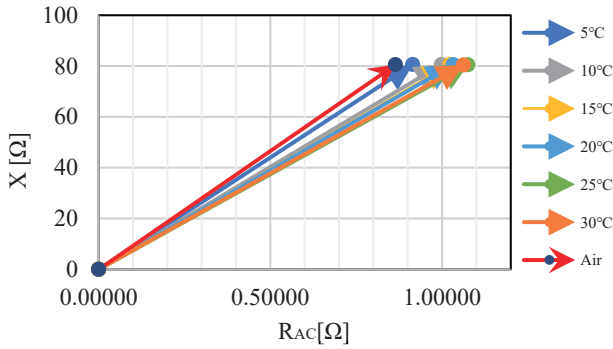


Fig.3. Vector Diagram of Impedance.

次に水温が海水中における非接触電力伝送に与える影響を明らかにするため、海水として模擬した 3%の塩水で満たした水槽を用意し、防水加工をしたソレノイドコイル用い、電力伝送実験を行った。周波数は 85kHz を用い、水温は 5[°C]から 27[°C]の間を 5[°C]刻みで変化させ測定を行った。実験結果から得られた全損失と水温の関係を図 4 に示す。この結果より水温の低下に伴い、全損失が減少していることがわかる。

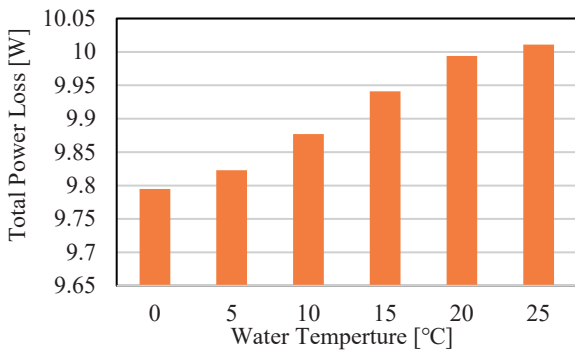


Fig.4. Relationship between total power loss and water temperature.

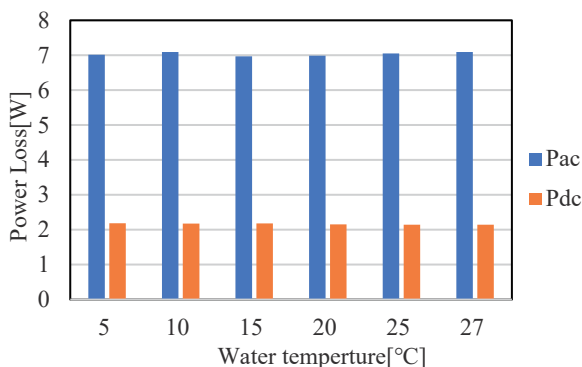


Fig.5. Loss in seawater.

また、交流抵抗 R_{AC} の変化が与える影響について着目するため、図 5 を示す。直流損失 P_{dc} は一定であるが、交流抵抗 R_{AC} は水温の上昇とともに増加していることがわかる。

海水で非接触電力伝送を行うときに考慮すべき損失として、導電率に起因する渦電流損失がある。この損失について検討するため、非接触電力伝送の電磁界解析シミュレーションを行った。図 6 に塩水 30[°C]における渦電流損失の密度の様子、図 7 に各温度における渦電流損失を示す。図 6 よりコイル付近で渦電流損失が最も多く発生していることがわかる。また、図 7 より水温の上昇により渦電流損失が増加することがわかる。これらの結果より、電気伝導率の上昇は渦電流損失の増加にも影響を与えることが明らかになった。

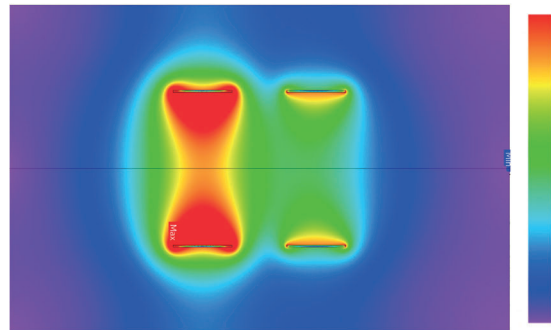


Fig.6. Eddy current loss in salt water at 30°C.

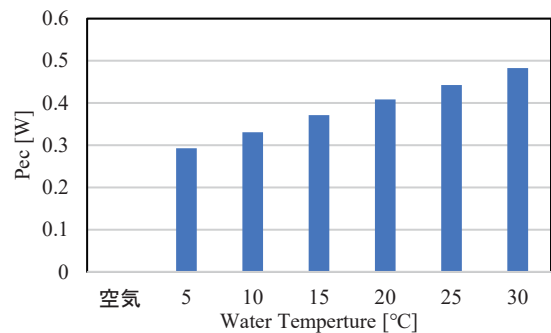


Fig.7. Eddy current loss in salt water in air and salt water .

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本研究では、海洋環境が海水中非接触電力伝送に与える影響を検討するため、水温を変化させ非接触電力伝送実験を行った。海水の水温上昇により非接触電力回路のコイルの交流損失および電力損失が増加することがわかった。さらに、電磁界解析シミュレーションより、電気伝導率の上昇が渦電流損失の増加にも影響を与えることを明らかにした。本プロジェクトで検討を行った伝送効率に対する温度変化の影響は、塩水中で大電力を送信する非接触給電システムの構築に結びつき、次年度以降の研究成果への発展につながる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・石谷哲史, 古橋汰晟, 稲森真美子, “非接触電力伝送用コイルの温度特性評価,” 電気学会産業応用部門大会 YPC, 2022 年 8 月.

・ S. Ishitani, T. Furuhashi, M. Inamori, “Influence of Water Temperature on Contactless Power Transmission in Seawater,” in Proc. AWPT2022, Dec. 2022.

・ T. Takada, S. Ito, K. Uehara, M. Inamori, “Long Distance Contactless Power Transmission in Seawater,” in Proc. ICEMS 2022, Nov. 2022.

採択番号：R03/A28

空間知覚の身体性：異方性と個人差

[1] 組織

研究代表者：

寺本 渉（熊本大学大学院人文社会科学研究所）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

黒田 尚輝（熊本大学大学院社会文化科学教育部）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

情報通信技術、特にバーチャルリアリティ技術の発展に伴い、情報の受け手が高いリアリティで提示情報と相互作用できる情報システムへの期待が高まっている。そうしたシステムにとって今後重要になると考えられるのは、映像情報や音声情報など複数の感覚情報を一方的に伝達するだけでなく、情報の受け手であるユーザーの動きや姿勢、あるいは好みに応じてできるだけ自然なかたちで情報を提示することであろう。人間は、通常、眼や頭部、身体全体を動かしながら周囲の環境を認識し、相互作用している。その身体の動かし方は、生体力学的な制約を強く受けると同時に、日常の生活習慣や余暇活動などライフスタイルの影響も受ける。座っているときには立っているときに比べて、手の届く範囲は狭くなり、一方向に動いている時には進行方向以外へ向けた動作は制約される。スポーツをする習慣がある人はない人に比べて、特定の動きに対する身体の可動範囲が広がっていたり、洗練されていたりする。そこで本研究では、高いリアリティをもった情報システムを実現するための基礎データを得るため、こうしたユーザーの動きや姿勢、あるいは運動能力や身体運動特徴等の個人特性に応じて、空間知覚や認識がどのように変わるのかを明らかにする。

本研究は3年計画である。初年度は静止時の身体近傍空間の広がりには焦点をあて、生体力学的制約および個人の身体能力との関係を明らかにすることを目的とした。第2年度である本年度は、自己運動時の身体近傍空間の広がりには焦点を当て、各自己運動情報の役割を明らかにした。なお、身体近傍空間（PPS:

peripersonal space）とは身体から数センチから数十センチの範囲の空間である。外部対象に対する働きかけや危機回避行動を行ううえで重要な空間であり、脳内でも他とは異なる空間として表現されている（e.g., Rizzolatti et al., 1981）。また、PPSは身体部位毎に形成され、さらに、その範囲は固定されているわけではなく、道具使用時には道具の先端まで拡大し（Iniki et al., 1997）、身体全体の運動時には進行方向側に拡大する（Noel et al., 2015; Kuroda & Teramoto, 2021）等可塑的な変化があることが知られている。

- ・第1回研究打ち合わせ（2022年12月22日）VR実験のパラメータについて議論を行った。

- ・第2回研究打ち合わせ（2023年2月15日）本年度得られた実験データを共有し、来年度の研究計画について議論を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

Kuroda & Teramoto (2022) では、ヘッドマウントディスプレイとエアロバイクを用いて、自転車走行時のPPSに各自己運動情報が与える影響について調べた。特に、視覚情報の影響のほか、能動運動と受動運動を比較することによって、運動意図や運動指令信号の影響を検討した。その結果、受動運動時に比べて能動運動時にはPPSが拡大することが示された。しかし、運動指令情報と自己受容情報のうちいずれが重要なのか明確な回答は得られていなかった。そこで、本研究では、すべての手がかりが含まれている能動条件と機械によって自転車をこがされる受動条件を設定した。

<方法>

PPS範囲の計測：視覚検出課題を用いた。視覚プローブを様々な距離から身体に向けて接近運動させ、その間に参加者の胸に触覚刺激を提示した。参加者には触覚刺激を検出後できるだけ早く反応するように教示した。視覚プローブが提示されない条件をベースラインとして、視覚プローブによる触覚検出の促進量を距離毎に算出した。そして、視覚プローブによる検出促進が生じた最大距離をPPSと定義した。
実験参加者：健常な視覚を有する大学生 23名（う

ち男性 12 名, 20.7±0.4 歳) が実験に参加した。本研究は熊本大学大学院社会文化科学教育部倫理委員会の承認を得たものであり, 参加者からは事前書面によるインフォームドコンセントを得た。

刺激および装置: 視覚刺激はヘッドマウントディスプレイ (HMD; VIVE Pro Eye) に呈示した。バーチャル環境では (Figure 1 左), トンネル (11.8m[横]×10m[高さ]×21m[奥行き]) の入り口から 1m 入った位置で 1.2m の高さから刺激を観察させることでトンネルの中心にいるように知覚させた。トンネルの床, 天井, 壁には黒色背景に白色のランダムドット (ドットの直径: 4.4 cm; ドットの密度: 15%) が描かれていた。注視点は, 前方 3.6m, 床からの高さ 0.7m の位置に呈示した赤色の球体 (直径 2.0 cm) とした。身体近傍空間の範囲を調べるために, 紫色の球体 (直径 2.0 cm; 床からの高さ 0.7m) を視覚プローブとして呈示した。視覚プローブは 0.7m/s の速度で 1.0s 間参加者の方へ接近し, 1.2m, 3.6m, 6.0m のいずれかの距離で消失した。視覚プローブの速度と方向は, ペダルをこぐ速度に関係なく, 常に壁の速度と一致していた。能動受動運動装置にはセラトレーナーモビ (MEDICA, Germany) を用いた。能動運動時の抵抗値はレベル 1 (0.4 Nm) に設定した。振動刺激装置 (直径 0.95 cm; Vibrating Mini Motor Disc #1201, Adafruit, USA; 300Hz; 100ms) は実験参加者の胸部に固定した。

手続き: 3 能動受動運動条件 (能動条件, 受動条件, 視覚のみ条件) × 3 距離条件 (1.2m, 3.6m, 6.0m) の 2 要因参加者内計画で実験を行った。能動受動運動条件の各条件はそれぞれ異なるセッションで実施した。セッション開始時には, 壁, 床, 天井のドットを参加者に向かって運動させ, 同時に注視点を呈示した。参加者にはその注視点を凝視させた。また, 能動条件では, それと同時に参加者に能動受動運動装置を一定速度 (36 rpm) でこがせた。実験は, 触覚刺激のみが呈示される T 試行 (ベースライン) と, 触覚刺激と同時に視覚プローブも呈示する VT 試行によって構成された。各試行では, 注視点を 0.5 秒間呈示し, 注視点消失後, VT 試行ではプローブ提示後 0.25s から

0.75s のランダムなタイミングで, T 試行では 0.75s から 1.25s のランダムなタイミングで触覚刺激を呈示した。また, 刺激への反応慣れを避けるために, 触覚刺激が提示されないキャッチ試行も含ませた。各運動条件は 64 試行であり, VT 試行 36 回, T 試行 12 回, キャッチ試行 16 回であった。

<結果と考察>

2 要因 ANOVA の結果, 能動受動運動の主効果 [$F(2, 30) = 4.10, p = .027, \eta_p^2 = 0.21$] 及び距離の主効果 [$F(2, 30) = 29.52, p < .001, \eta_p^2 = 0.66$] がのみ有意であった。能動受動運動の主効果において多重比較 (Holm 法) を行ったところ, 視覚のみ条件と能動条件間のみ有意な差がみられ, 視覚のみ条件と比べて能動条件では視覚プローブによる有意な反応促進がみられた。距離の主効果において多重比較を行ったところ, すべての距離の間で有意な差がみられ, 身体から視覚プローブの距離が遠くなるにつれて RT 差分が減少することが示された (Figure 1 右)。一方, 他の分析結果から, いずれの能動受動運動条件においても, PPS 境界は本研究で設定した範囲外にあることが示された。

以上の結果は, 能動的に自転車をこぐ際には運動指令信号が自己受容情報よりも自己運動時の身体近傍空間表現を形成するうえで重要な役割を果たしていることを示唆する。

3-2) 波及効果と発展性研究分野への貢献など

継続的に共同プロジェクト研究を実施していることにより, 東北大学電気通信研究所および熊本大学の 2 大学による共同研究体制を維持できている。得られた研究成果はすでに複数の研究会, 学会等で発表を行い, 学術論文として国際誌への投稿準備中である。今後さらに心理物理学的手法のみならず, 生理心理学的手法も駆使しながら, 系統的に検討を加えることによって, 学術的に非常にインパクトがある成果となると考えられる。また, 工学的にも, 情報の受け手にきわめて高い臨場感や実在感など豊かな感性情報を伝えることができる情報システム実現に貢献できるものとなる。

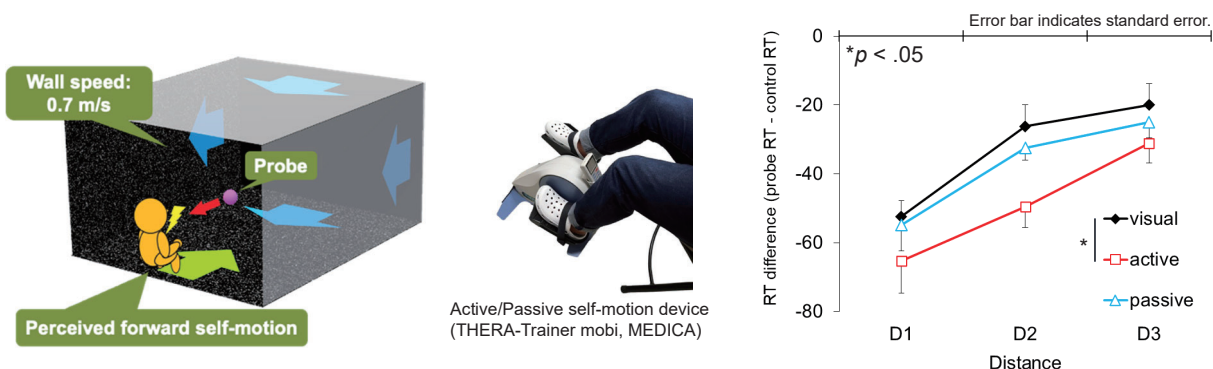


Figure 1: 実験環境と実験結果

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・ Kuroda, N., & Teramoto, W. (2022). Contribution of motor and proprioceptive information to visuotactile interaction in peripersonal space during bike riding. *Experimental brain research*, 240, 491-501. doi: 10.1007/s00221-021-06269-4

・ 双須藍里・黒田尚輝・原田新也・寺岡諒・寺本渉 (2023) 他者の歩容がパーソナルスペースに与える影響. 信学技法, HIP2022-81 (2023-02), 29-32.

・ 竹尾香凜・黒田尚輝・寺本渉 (2023) 手の身体近傍空間の時間特性. 信学技法, HIP2022-90 (2023-02), 68-71.

・ 黒田尚輝・原田新也・寺岡諒・寺本渉 (2023) 胸部の身体近傍空間様相の加齢変化. 信学技法, HIP2022-91 (2023-02), 72-75.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・ Kuroda, N., Ikeda, K., & Teramoto, W. (2022). Visual self-motion information contributes to passable width perception during a bike riding situation. *Frontiers in neuroscience*, 16, 938446. <https://doi.org/10.3389/fnins.2022.938446>

・ 黒田尚輝・寺岡諒・原田新也・寺本渉 (2023) 加齢が通過可能幅知覚に及ぼす影響～姿勢の不安定性との関連性～. 日本基礎心理学会, 千葉大学, 2022年12月2日～4日.

・ 黒田尚輝・寺岡諒・原田新也・寺本渉 (2023) 身体の行動制限時の身体近傍空間. 多感覚研究会, 立命館大学, 2023年2月18日.

採択番号：R03/A29

高機能軟磁性合金の評価とエネルギー関連デバイスへの応用

[1] 組織

研究代表者：

鈴木 茂（東北大学マイクロシステム融合
研究開発センター）

通研対応教員：

石山 和志（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

栢 修一郎（東北学院大学工学部）

丹野 健徳（東北大学電気通信研究所）

阿部 真帆（東北大学電気通信研究所）

千葉 雅樹（東北大学多元物質科学研究所）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

機能性材料とデバイスとの適合性などの特性を向上させるために、これらの分野の研究開発ではデバイスの動作に合わせた機能性材料の評価や設計だけでなく、デバイスを構成する構造材料の評価なども求められている。たとえば、振動発電などに用いられるデバイスの材質としては、強磁性体であるとともにある程度の高い強度の機械的性質などが必要である。それに適した材料としては二相からなる鉄合金などがある。そこにおけるフェライト相やオーステナイト相の構造はそれぞれ体心立方構造(bcc)と面心立方構造(fcc)であり、室温付近でそれらが混在する組織がしばしば観察される。熱処理や加工プロセスの条件等でそれらの相には複雑な残留応力が発生し、例えばフェライトとオーステナイトの二相からなる多結晶鉄合金の引張変形による組織変化および残留応力の特徴を検討されてきた。そこでは、粗大なフェライト粒と微細なオーステナイト粒からなる層状組織が観察され、bccのフェライトとfccのオーステナイトで異なる塑性変形が起こることが示唆された。しかし、微視的変形と階層的な残留応力との関係については不明な点が多い。

本プロジェクトにおいては、複雑な組織をもつ軟磁性フェライト相と非磁性オーステナイト相からなる二相の鉄合金におけるマイクロ組織や残留応力などを明らかにすることを目的とした研究を行った。研究においては、この二相合金の加工プロセスにおいて生じる下部組織と残留応力の関連性等に着目した。

本研究では測定される残留応力に影響する因子を明らかにするために、電子後方散乱回折(EBSD)による各結晶粒変形挙動を詳しく解析し、結晶方位等が残留応力に及ぼす要因について考察した。例えば、複合的な組織をもつ合金中に僅かな転位による塑性ひずみとともに周囲の弾性ひずみが残る、それが磁区構造の割合や分布等に影響を及ぼすことがあるため、僅かな塑性変形を加えた試料の下部組織や残留応力を調べた。

出発素材としては、市販の複相鉄合金を用いた。それらの鋼板は放電加工により厚さ約は、約1.0mmで、ゲージ部の長さ10mmに切り出した。それらの圧延した板材から放電加工により、引張り試験片を切り出した。試料の集合組織の測定には、通研の研究基盤技術センターが運営しているX線回折装置(PANalytical, X³ Pert MRD)を用い、110, 200, 211反射による極点図から、方位分布関数(ODF)を求めた。また、電子後方散乱回折の測定(下部組織観察)には、通研のOxford Instruments社のHKL Channel 5を付属したHitachi SU-6600を用いて測定しMATLABのツールボックスMTEXを用いて逆極点図マップ等を表示した。

なお、前年度までは、通研の教員や技術職員等とともに材料の構造解析技術の高度化やそれによる具体的な材料評価の計画等に関して打ち合わせを行った。本年度も、それらの実績を踏まえながら、二相の鉄合金の板材からの試料加工、マイクロ組織の生成機構、それらを変形したときに残留する残留応力等に関する研究を実施した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

まず Fig.1 に、変形前の圧延方向に対する逆



Fig.1 Inverse pole figure map of bcc in a duplex iron alloy against RD and stereo triangle.

極点図 (IPF) マップとステレオ三角形を示す。Fig.1では、フェライト相のIPF像が示されており、その粒径はオーステナイト相の結晶粒径に比べ大きかった。この試験片を横方向に引張り、その各結晶粒の方位変化や集合組織の変化を、EBSDやXRDにより調べた。

Fig.2は、約6%の引張り変形後に観察した逆極点図 (IPF) マップとステレオ三角形を示している。各結晶粒が塑性変形により多かれ少なかれ回転しており、各結晶粒の内部でも方位が変化していることが示唆された。

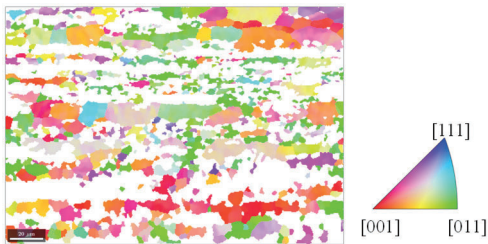


Fig.2 Inverse pole figure map of bcc in a tensile-deformed duplex iron alloy.

さらに複雑組織をもつ二相合金における残留応力を調べるために、微小部 X 線回折装置 (多元研共通機器) によりデバイリング (2D 法) を測定し、それらから残留応力を算出した。結晶性材料の残留応力は一般にテンソルで記述され、残留応力には結晶の弾性異方性も影響する。残留応力は応力楕円体を用いて表記され、ここでは3つの主応力 σ_1 , σ_2 , σ_3 の大きさ (楕円体の軸長)、方向 (矢印で表示: 楕円の内向きと外向き矢印はそれぞれ圧縮応力, 引張応力) が示される。2D 法ではそれらの三次元的残留応力を測定できるが、一般に主応力 σ_3 は小さく応力楕円体は楕円に近似できる。ここでは、引張りによる塑性変形を加えたものについて、残留応力 (テンソル) を評価するとともに、EBSD による組織の各場所での特徴的な空間的方位変化との関連などについて検討した。

本合金の引張り前と引張り後のフェライト相中の残留応力の測定結果を Fig.3 に示した。この図では残留応力を主応力で表されており、最大の主応力は、内向きの矢印は圧縮を示している。引張り前の残留応力は、引張り前の -100 MPa から引張り後の -159 MPa に変化した。前者の圧縮応力は、高温でのオーステナイト相が低温のフェライト相に変態し層状の組織が形成したときに、熱的な膨脹率の違いにより生じたものと考えられる。後者の残留応力は、層状組織の長さ方向への引張りによる塑性変形により変化し、最大主応力の方向も引張り変形の変化した。これらの結果は、合金の集合組織がすべり面やすべり方向に影響を及ぼし、結果的に

試料全体の主応力の大きさや方向が変化したものと考えられる。

本研究においては、複雑な微細組織を持つ試

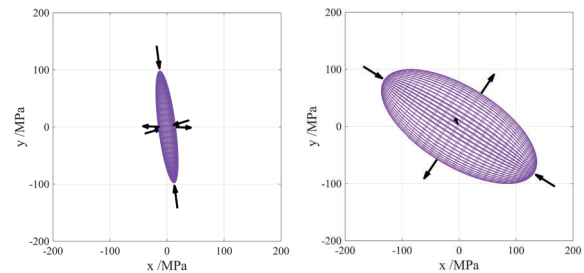


Fig.3 Residual stresses of bcc phase in as-prepared Samples A (left) and Sample B (right) against RD. The stresses are represented by using principal stresses.

料でも微視的な結晶粒の解析結果と全体の残留応力とが対応付くことが示唆された。さらに、それらは各結晶粒のすべり系を対応付けられる可能性がある。ここでは、試料への応力印加による結晶粒内への微視的な応力の伝播、各結晶粒でのすべり系の変化等が起こっている。さらに、すべり系と主応力は、相互に対応している可能性があり、今後は他の材料でも同様の解析を行い、応力印加に伴う各結晶粒の回転や内部のひずみが主応力の方向に及ぼす影響を検討することにより、振動デバイス等における実効的な変形機構を明らかにする予定である。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本プロジェクトを通じて、学内外の研究者・若手技術者との交流が活性化し、小さいプロジェクトではあるが科研費・基盤研究 C や奨励研究の採択に発展した。本プロジェクトで複雑な組織をもつ材料の特性と構造の関連性に関する成果は、研究基盤技術の高度化や新研究領域の発展につながることを期待される。

- a) ・プロジェクト名: 「機能性鉄合金の強制・減衰運動応答性の多面的解析による振動制御指針」
- ・資金制度, 研究費名 科研費・基盤研究 C
 - ・配分機関名 東北大学
 - ・研究期間 2022 年度-2024 年度
- b) プロジェクト名: 「機能性材料の位置依存性・結晶方位異方性を考慮したひずみ状態の数理解析技術の開発」
- ・資金制度, 研究費名 科研費・奨励研究
 - ・配分機関名 東北大学
 - ・研究期間 2023 年度

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・M. Chiba, T. Tanno, M. Abe, S. Hashi, K. Ishiyama, T. Kawamata, R.Y. Umestu, K. Sugiyama, S. Sato, Y. Mochizuki, K. Yatsushiro, T. Kumagai, T. Fukuda, S.-I. Tanaka, S. Suzuki: Magnetic Properties and Substructure of Iron-Gallium Alloy Single Crystals Processed from Ingot to Wafers, MATERIALS TRANSACTIONS 63 (2022), 502.
<https://doi.org/10.2320/matertrans.mtm2021217>

・千葉雅樹, 丹野健徳, 阿部真帆, 栢修一郎, 石山和志, 田中俊一郎, 鈴木茂: 複合組織をもつ鉄合金における残留応力と微視的変形の解析, 日本金属学会, 春期大会 (2023年3月)。

(2) 関連リスト (謝辞なし)

採択番号：R03/A30

視聴覚情報からの高臨場感ハイブリット振動作成

[1] 組織

研究代表者：

山高 正烈（愛知工科大学）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：15人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

・目的

本研究では、振動情報を手軽に入手する方法として視聴覚情報からの効果的なハイブリット振動作成法を提案・構築する。また、振動情報のあるべき「姿」を「知覚的リアルさ」の側面から分析し、本物の振動より「リアル」な振動情報の作成を目指す。本研究の遂行により、視聴覚コンテンツさえあれば誰でも簡単に振動情報を入手することができ、「視覚における HMD」や「聴覚におけるヘッドフォン」と並んで、簡単に振動提示が可能な第三の情報提示システムの実現につながると信じている。

・研究計画

超高臨場感バーチャルリアリティ（VR）システムを実現するためには、視聴覚情報だけでなく他のマルチモーダル感覚情報の提示も極めて重要であり、その中で、体全体が揺れたり動いたりするような全身振動感覚の提示は臨場感の向上に特に有効である。本研究では、近年爆発的な人気と広がりを見せつつある VR システムの更なる臨場感向上を目指し、本物の振動より「リアル」な振動を作ることを目的とする。そのために、誰でも手軽に入手可能な視聴覚コンテンツに着目し、視聴覚情報からの効果的なハイブリット振動作成法を提案・構築する。

この目的を実現するために、本年度は以下の課題を実施した。

【課題：疑似振動生成モデルの構築と検証】

前年度までに、動画共有サイト Vimeo を利用して 20 種類のコンテンツを収集し、体験者自身に音から生成された振動の大きさを調整させることで、感覚情報と最適振動量の関係を検討した。検討の結果、最適な振動の大きさを決める要素として、ラウドネスやシャープネス等の音響特徴量、および、物体移動を反映するオプティカルフローといった映像特徴量が関係してい

ることが示唆された。また、最適振動レベル（RAVib: Regression Analysis Vibration）の概念を提案し、先行研究にて収録した 2 種類の実測振動付き多感覚コンテンツを用いてその有効性を検証した。

しかし、導出した RAVib の有効性は、電車コンテンツでは +15dB まで評価値が上昇する一方、バスケットコンテンツでは評価が下がる結果となった。即ち、コンテンツによっては最適振動レベルを正確に推測できていなかった可能性が示唆された。そこで本年度は、導出した RAVib を見直し、評価が不均一な理由を探ると同時に、RAVib の最適化を図った。

以下、本年度の研究活動状況の概要を記す。

今年度は、前年度に実施した実験結果を見直すべく、複数回の研究打ち合わせを実施した。具体的には、2022 年 4/21～22 日に東北大学電気通信研究所にて研究打ち合わせを行い、実験パラメータの整理と問題点を抽出した。研究打ち合わせの結果を基に、10/6～10/8 日に東北大学電気通信研究所にて実験環境のセッティングを行い、実験刺激の再チェックを行った。これらの事前準備を経て、12/22～23 日に、再度研究打ち合わせを持ち、先行研究においてコンテンツによっては最適振動レベルの推測に誤差が生じる原因を特定した。

そのほかに 2 度に渡ってオンライン会議を持ち、前年度の実験結果の考察と今後の研究計画の打合せを行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

先行研究の実験結果、臨場感と迫真性両指標ともに、導出した最適振動レベル RAVib_org 条件が、他の条件よりも評価が低くなった。加えて、より高い印象強度を示す RAVib 条件がコンテンツ間で違いが生じた。即ち、電車コンテンツにおいて印象強度のピークを示す RAVib 条件の振動レベルが、バスケットボールコンテンツよりも約 5 dB 程度大きい結果となった。これらは、先行研究において、重回帰モデルにより推定した最適振動レベル RAVib と、体験者が調整した最適振動レベル間にコンテンツによっては差異が生じることを示しており、実験で使用したコンテンツにおいて最適振動レベルが適切に推定できていなかった可能性が考えられる。

この点について検討するために、先行研究で

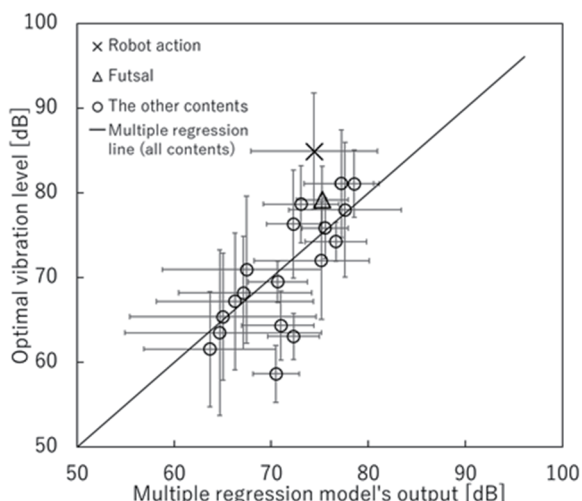


Fig.1 Relationship between optimal vibration level estimated by multiple regression model and that adjusted by subject.

得られた最適振動レベルと体験者が調整した最適振動レベルの関係性を比較・検討した（図1参照）。図の各点は、先行研究で使用した各コンテンツを示している。使用したコンテンツから、本実験で用いたコンテンツと「コンテンツに含まれる物体や事象」という観点で類似するコンテンツを探したところ、大きく、重い物体が移動する電車コンテンツはロボットの動作コンテンツが、複数人がボールを用いてスポーツを行うバスケットボールコンテンツはフットサルコンテンツが該当した（図2参照）。

図1において各コンテンツの位置を示したところ、ロボットの動作コンテンツは約10 dB程度、フットサルコンテンツは約5 dB程度、重回帰モデルによる推測を上回っている。これは、実験で用いたコンテンツにおいて同程度最適振動レベルがRAVib_org条件よりも上昇する可能性を示しており、RAVib_org条件が他の条件よりも低い印象強度を示したことで、二つのコンテンツ間でより高い印象強度を示すRAVib条件が異なった理由として考えられる。このことは、最適振動レベルを正確に推測することが臨場感、迫真性により強く寄与する可能性を示しており、そのためには、映像、音響特徴量に加えて、その他の情報、例えば対象物体や事象の情報も考慮した推定法が必要なことを示唆している。

（3-1）波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本研究の実現により、「体験者に高度な高次感性を感じさせる多感覚情報の提示法」や「高次感性を促進するためのVR空間の諸条件」が明らかになると考える。これらの知見を応用することにより、将来は、無観客試合で試合が行われているにもかかわらず、多感覚情報を効率よく合



Fig.2 The train passing content is like the "robot motion content", and basketball play content is like the "futsal content" in previous study.

成して提示することで、普段と変わらない臨場感を感じられるVRシステムの構築に貢献できると考える。

本研究の遂行は、産業界に与えるインパクトが大きいと考える。本研究の知見により、例えば、体験者は観客席にいるような臨場感を感じながらも間近でコンテンツの本物らしさを感じ取るといった「二面性」をも体験でき、実際にその場にいる以上の価値を得ることができると考えられる。本システムを通して、実際にその場に行かずともVRコンテンツを楽しむ人が増加しVRシステムの普及に大きく貢献するとともに、将来人々のライフスタイルを一変させる可能性も潜めていると考えている。また、エンターテインメント分野だけでなく、遠隔協働、教育分野に広く応用することにより、これまでない価値を提供できる可能性も考えられる。

昨今のCOVID 19等感染症が広がる情勢の中で、近い将来無観客でイベントが行われることがノーマルになることは否定できない。そのような場合においても、本研究の知見を応用することで、従来通りにコンテンツを楽しむことが強く期待される。

「4」成果資料

本プロジェクトの実施は、若手研究者の育成に特に役立ったと考えている。今回、愛知工科大学の学生2名が東北大学電気通信研究所を訪れた。東北大学電気通信研究所の学部生、および院生らと交流するとともに、実際被験者実験を実施することにより研究に興味を持つことができ、大学院への進学希望につながった。

今後、このプロジェクトを機に、愛知工科大学と東北大学電気通信研究所の若手研究者との交流が活性化し、科研費への応募にもつながるものと信じている。

採択番号：R03/A31

光通信技術を用いた重力観測網の構築と火山活動監視に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

葛西 恵介（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

葛西 恵介（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

新谷 昌人（東京大学地震研究所）

三ヶ田 均（京都大学大学院工学研究科）

荒木 英一郎（海洋研究開発機構）

三浦 哲（東北大学大学院理学研究科）

吉田 真人（東北大学電気通信研究所）

高森 昭光（東京大学地震研究所）

坪川 恒也（真英計測）

坂田 正治（元防災科学技術研究所）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

(2-1) 研究目的

我が国はしばしば地震や火山噴火による自然災害が発生しており、それらの現象を理解することは学術的にも防災の観点からも極めて重要である。そのためには、災害の前兆現象である地面の隆起・沈降やマグマの移動といった地殻変動を常時観測することが不可欠である。しかしながらこれらの現象を温度・湿度等の変化が激しい環境下や火山活動の活発な地域において直接観測ことは困難である。そのため、地殻変動を遠隔地から高精度に観測できる多点監視システムの実現が強く求められている。

本研究では、これまでの共同プロジェクト研究の成果を活かし、波長 1.5 μm 帯光ファイバー通信技術を用いて複数の絶対重力計による多点観測システムを展開し、地面の隆起・沈降やマグマの挙動といった地殻変動を重力変動として捉える遠隔監視技術の研究を行う。

(2-2) 研究概要・計画

我々はこれまでアセチレン分子の線形吸収線（線幅： ~ 500 MHz）を用いた、 10^{-9} ～ 10^{-10} の周波数安定度を有する絶対周波数安定化レーザーを開発してきている。一方、研究分担者である東京大学 地震研 新谷昌人教授はレーザー干渉方式の絶対重力計（TAG-1：Transportable Absolute Gravimeter-1）を開発している。またその有用性を 10^{-11} の周波数安定度を有する波長 0.633 μm ヨウ素安定化 He-Ne レーザーを用いて実証している。本研究ではアセチレン分子の超

狭線幅（線幅： ~ 2 MHz）な飽和吸収線を光周波数基準として用いた高安定な波長 1.5 μm 帯周波数安定化レーザーを開発する（従来の周波数安定化レーザーの周波数安定度を向上）。また本光源を用いたレーザー干渉型絶対重力計の開発を行う。これを多点配置し、一箇所から光ファイバーを介して供給される周波数安定化光を用いて同時に重力計測を行う光ファイバー遠隔計測システムを実現する。

本研究は研究期間 3 年として R3 年度より開始している。R3 年度は、極限環境下（低温野外環境）での長期絶対重力観測の実現を目指して、TAG-1 の改良（小型化を含む）及び低温環境下における動作特性の確認を行った。また、本装置を南極・昭和基地内に設置し、633 nm 光源を用いて基本的な観測実験を行なった（研究分担者 新谷教授による）。周波数安定化レーザーに関しては、シングルモード光ファイバ結合型光干渉計及びマルチパス型アセチレン飽和吸収セルの設計及び試作を完了した。

R4 年度は前年度の研究成果を踏まえ、南極・昭和基地における極限環境下（低温野外環境）における長期絶対重力観測実験を継続して実施した。また、本学電気通信研究所においては、重力加速度の遠隔計測の実現に向け、周波数安定化光信号の光ファイバー伝送実験を実施した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

南極昭和基地重力計室内および周辺の露岩 2ヶ所（昭和基地内およびラングホブデ雪鳥沢）において TAG-1 を用いた重力観測を実施した。

図 2(a)、(b)、(c)にそれぞれ重力加速度計、重力計内蔵の加速度センサ及び、重力加速度計の構造図を示す。真空容器中で自由落下させた落体（Free-fall mirror）の位置をレーザー干渉計で正確に計測し、その加速度から重力加速度の絶対値を 9～10 桁の確度で計測する。外部振動による重量加速度計測エラーを補正するため、本装置の加速度センサには参照ミラー（光干渉計の参照光パスのため）が取り付けられている。

図 3 (a) は、TAG-1A を用いた南極ラングホブデの雪鳥沢での現地観測の様子を示している。重力計は露頭のベンチマーク上のテント内に設置され、離れた小屋のレーザーと検出器ユニッ

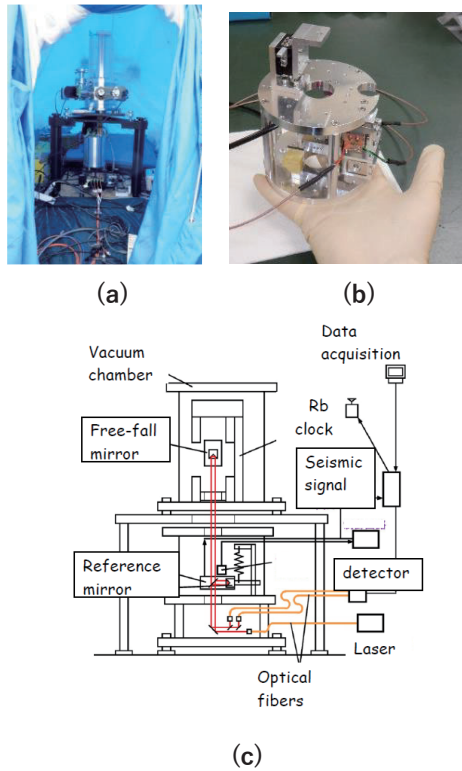


図 2. (a) 重力加速度計, (b) 重力計内蔵の加速度センサ, (c) 重力加速度計の構造

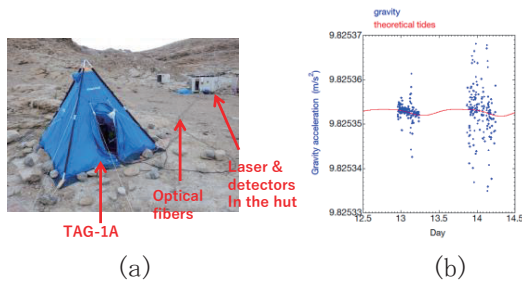


図 3. (a) 現地観測の様子, (b) 重力加速度測定結果

トに長さ 50 m の光ファイバーで接続した。図 3(b)は重力加速度の測定結果である。温度 0~10℃の寒冷地環境でも本装置が正常に動作することを確認できた。また、風の強い日には測定値に大きなばらつきが出るようになった。

これまでに開発してきている、アセチレン分子の線形吸収線（線幅 500 MHz）を用いた 1.5 μm 帯周波数安定化ファイバーレーザーを用い、本信号を標準シングルモード光ファイバー 26 km 伝送した後（伝送光パワーは 0 dBm）、その周波数安定度（アラン偏差）の評価を行った。光ファイバー中での位相変化が周波数安定度に及ぼす影響を評価している。

図 4(a), (b)に実験系および周波数安定度評価結果を示す。(b)より、光ファイバー伝送前後で周波数安定度に大きな変化は見られない。光ファイバー中で生じる位相変化は本システムの

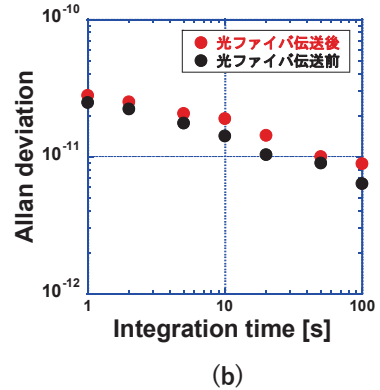
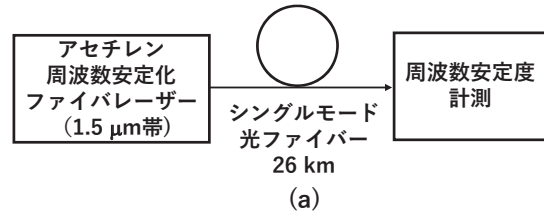


図 4. (a)実験系, (b)周波数安定度評価結果

周波数安定度に影響を及ぼさないことがわかった。今後は実際に光ファイバー伝送後の光信号を用いて重力加速度計測を行い、システム全体における性能評価を実施する。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本共同プロジェクト研究の成果を基に、下記の研究プロジェクトが同時に進められている。

進行中課題

- ・プロジェクト名：「Slow-to-Fast 地震現象の詳細把握へ向けたマルチスケール観測技術の開発」
- ・科研費：新学術領域研究
- ・代表：田中愛幸（東京大学地震研究所）
- ・期間：R3~R7

終了課題

- ・プロジェクト名：「南極氷床における多点連続観測を目指した小型重力計の開発研究」
- ・科研費：新学術領域研究
- ・代表：新谷 昌人（東京大学地震研究所）
- ・期間：R2~R3

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

- ・新谷昌人, 岡 大輔, 風間卓仁, 西島 潤 服部 晃久, 福田洋一, 奥野淳一, 青山雄一, 土井浩一郎, 葛西恵介, 坪川恒也, “小型絶対重力計 TAG-1 を用いた低温野外環境における連続重力観測,” 日本測地学会第 138 回講演会, 62, 2022/10/7. (ハイブリッド, 鹿児島大学)

(2) 関連リスト（謝辞なし）

採択番号：R03/A32

脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用

[1] 組織

研究代表者

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)

中尾 光之 (東北大学大学院情報科学研究科)

片山 統裕 (尚絅学院大学理工・自然部門)

堀尾 喜彦 (東北大学電気通信研究所)

小山内 実 (大阪大学大学院医学系研究科)

早川 美德 (東北大学教育情報基盤センター)

矢内 浩文 (茨城大学大学院理工学研究科)

浅井 哲也 (北海道大学大学院情報科学研究科)

原田 知親 (山形大学大学院理工学研究科)

廣瀬 明 (東京大学大学院工学系研究科)

斉藤 利通 (法政大学工学部)

八木 哲也 (大阪大学大学院工学研究科)

土居 伸二 (京都大学大学院工学研究科)

森江 隆 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)

佐村 俊和 (山口大学大学院創成科学研究科)

上田 哲史 (徳島大学情報センター)

西尾 芳文 (徳島大学社会産業理工学研究部)

石田 文彦 (富山高等専門学校電気制御システム工学科)

田中 敦 (山形大学大学院理工学研究科)

佐野 雅己 (上海交通大学自然科学研究院)

菅原 研 (東北学院大学教養学部)

金城 光永 (琉球大学工学部)

水柿 義直 (電気通信大学大学院情報理工学研究科)

鳥飼 弘幸 (法政大学理工学部)

田向 権 (九州工業大学大学院生命体工学研究科)

Jordi Madrenas (カタルーニャ工科大学電子工学科)

山本 英明 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

AI 技術のより一層の社会実装に向けて、脳型情報処

理を実現するハードウェア基盤を確立することが本プロジェクトの目的である。生物神経系における脳型情報処理の高効率性や柔軟性は、現 Si テクノロジーを遙かに凌駕し、次世代の情報処理システムの開発において優れたお手本である。また、脳のような大規模な集積システムを実現する手段は Si テクノロジーが最も有力であり、Si テクノロジーと脳型情報処理の融合が大きな課題となっている。課題克服のためには、長期記憶を実現する不揮発性メモリデバイス、記憶と演算を融合するシナプスデバイス、時分割処理により大規模配線を実現する回路アーキテクチャ、神経素子のダイナミックな力学特性を再現するアナログ回路モジュール、有限なハードウェアリソースで環境変化に対応しうる学習機能モジュール、モジュール競合により判断処理を行う計算機アーキテクチャなどの要素技術の整備と、これらの統合が必要不可欠である。

本プロジェクトではこれまでに得られた知見、すなわちスピントロニクス不揮発メモリ素子を用いたシナプスデバイス、モジュール構造神経回路に発現する複雑ダイナミクス、リカレントアナログ神経回路を用いたリザーブコンピューティング等をさらに発展させて、高効率かつ柔軟な脳型ハードウェアを構築すること、並びに、そうしたハードウェアをエッジコンピューティング等に应用することによりその有効性を明らかにすることを目指す。

本プロジェクトは、本年度が二年度であり、本プロジェクト研究と連動する形で、「第 11 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム」を 2023 年 2 月 17 日、18 日にハイブリッド開催し、本プロジェクトの課題を確認すると共に、今後の研究開発の方向性について有益な知見を得ることができた。以下はシンポジウムの口頭発表リストである。

- (1) CMOS + stochastic MTJ: Heterogeneous probabilistic computers for optimization and sampling, N. A. Aadit (UC Santa Barbara, U.S.A.)
- (2) Analog CMOS implementation of spiking neural networks for edge computing, S. Sato (Tohoku Univ., Japan)
- (3) High-speed stochastic simulated annealing for large-scale combinatorial optimization problems, D. Shin (Tohoku Univ., Japan)
- (4) In vitro neural systems as intelligent

devices: Previous progress and current challenges
B. J. Kagan (Cortical Labs, Australia)

(5) Reservoir computing models for integrating sensory processing and motor control, Y. Katori (Future Univ. Hakodate, Japan)

(6) The advantages of neuroengineering and perturbations to explore collective behavior in living neuronal networks, J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain)

(7) Machine learning approaches to optimizing neuromodulation therapies in a clinical setting, T. Netoff (Univ. Minnesota, U.S.A.)

(8) Modular strategy for development of the hierarchical visual network in mice, T. Murakami (Univ. Tokyo, Japan)

(9) Technical development to construct novel neural circuits in the brain, Y. Masamizu (Doshisha Univ., Japan)

(10) LFP Theta dynamics contribute to retrieving motor plans after interruptions in the primate premotor area, R. Hosaka (Shibaura Inst. Tech., Japan)

(11) Computational test for the roles of potassium channel inactivation in short-term plasticity, H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)

(12) An adaptive automatic system for analyzing single channel currents, A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

(13) Principle for synaptic transmission during excitatory synapse development, S. Katsurabayashi (Fukuoka Univ., Japan)

(14) Stimulus responses of modular neuronal networks grown on engineered substrates, H. Yamamoto (Tohoku Univ., Japan)

(15) Memdevice-based accelerator for beyond-neuromorphic systems, M. Kimura (Ryukoku Univ., Japan)

(16) IMAX3: Amazing dataflow-centric CGRA and its applications, Y. Nakashima (NAIST, Japan)

(17) Combination of memristor and capacitor for synapse device in neuromorphic spiking computing, T. Kuwahara (Ryukoku Univ., Japan)

(18) A memcapacitive spiking neural network with circuit nonlinearity-aware training, R. Oshio (NAIST, Japan)

(19) Interfacing considerations for digital neuromorphic spiking neural hardware, J. Madrenas (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain)

(20) Towards hardware implementation of

hippocampal spatiotemporal learning network model, T. Orima (Tohoku Univ., Japan)

(21) Film-penetrating transducers for spin-wave reservoir computing: Basic characteristics, J. Chen (Univ. Tokyo, Japan)

(22) Reconstructive reservoir computing for edge-computing use to detect anomaly in time-series signals, J. Kato (Univ. Tokyo, Japan)

(23) Spatial computing offers a new perspective on the control of working memory, P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden)

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

エッジコンピューティングでの低電力脳型処理を実現するために、専用ハードウェアの開発が急務な課題となっている。そこで、サブスレッショルド領域で動作する CMOS 回路を用いてアナログスパイクングニューラルネットワークを構成し、その動作を検証した。その結果、48 ニューロンから成るリカレントネットワークが時系列信号に応じて複雑な振舞いを示すことを確認した。また、具体的な応用として、音声識別のタスクをリザーブ計算により実装し、良好な識別が可能であること、電力性能が 38.1 TOPS/W 程度であることを実験により確認した。

さらに、本プロジェクトのメンバーのひとりであるカタルーニャ工科大学の Jordi Madrenas 氏との共同により、SIMD 型デジタルスパイクングニューラルネットワークを FPGA 上に実装するためのツールチェーンを用いて、リザーブ計算に利用可能な Izhikevich ニューロンモデル等の実装を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの成果は、現在の計算機システムでは克服しきれない知的処理の課題を補間する役割を果たし、次世代の情報システムの基礎となるものである。特に注力して開発を行っている脳型計算ハードウェアは、その高い電力効率から幅広くエッジコンピューティングに応用可能であり、AI 技術のより一層の社会実装に向けて大きく貢献するものと期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

• S. Moriya, et al., "A Fully Analog CMOS Implementation of a Two-variable Spiking Neuron in the Subthreshold Region and its Network Operation," 2022 Int. Joint Conf. Neural Networks (IJCNN), 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/IJCNN55064.2022.9891920.

• Jiakuan Chen, Ryosho Nakane, Gouhei Tanaka, and Akira Hirose, "Film-penetrating transducers applicable to on-chip reservoir computing with spin waves", Journal of Applied Physics 132, 123902 (2022) <https://doi.org/10.1063/5.0102974>.

• H. Chen, R. Natsuaki and A. Hirose, "Polarization-Aware Prediction of Mobile Radio Wave Propagation Based on Complex-Valued and Quaternion Neural Networks," in IEEE Access, vol. 10, pp. 66589-66600, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3184788.

• Sato Y, Yamamoto H, Kato H, Tanii T, Sato S and Hirano-Iwata A (2023) Microfluidic cell engineering on high-density microelectrode arrays for assessing structure-function relationships in living neuronal networks. Front. Neurosci. 16:943310. doi: 10.3389/fnins.2022.943310.

• Y. Kikuchi, Y. Horio, S. Fukami, and H. Ando, "Tunnel conductance modeling of spintronics devices based on device temperature dynamics," in Proc. International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications, pp. 139-142, 2022.

• 堀尾喜彦, "高次元複雑ダイナミクスとブレインモルフィックコンピューティング," 第70回日本応用物理学会春季講演会 講演予稿集, 18p-A30249, p. 100000001-329, 2023年3月18日。(招待講演)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• Amano R, Nakao M, Matsumiya K, Miwakeichi F (2022) A computational model to explore how temporal stimulation patterns affect synapse plasticity. PLoS ONE 17(9): e0275059. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275059>.

• Hayashida Y, Kameda S, Umehira Y, Ishikawa S and Yagi T (2022) Multichannel stimulation module as a tool for animal studies on cortical neural prostheses. Front. Med. Technol. 4:927581. doi: 10.3389/fmedt.2022.927581.

• Hotaka Udagawa, Taiji Okano, Toshimichi Saito. Permutation binary neural networks: Analysis of periodic orbits and its applications. Discrete

and Continuous Dynamical Systems - B, 2023, 28(1): 748-764. doi: 10.3934/dcdsb.2022097.

• Kento SAKA, Toshimichi SAITO, A Trade-Off between Memory Stability and Connection Sparsity in Simple Binary Associative Memories, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, 2022, Volume E105.A, Issue 9, Pages 1377-1380, 2022, doi: 10.1587/transfun.2021EAL2113.

• D. Suzuki, M. Natsui, A. Tamakoshi, Y. Takako, and T. Hanyu, "Design of a Low-Power FPGA-Based CNN Accelerator Based on Nonvolatile Logic-in-Memory Circuitry," Proc. the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2022), pp. 132-135, Dec. 2022.

• M. Natsui, D. Suzuki, Y. Takako, A. Tamakoshi, and T. Hanyu, "Prospects of Energy-Efficient Edge-AI Accelerator Architecture Using Nonvolatile Logic," Proc. the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2022), pp.136-138, Dec. 2022.

• Yamagishi Y., Kaneko T., Akai-Kasaya M., and Asai T., "Holmes: A hardware-oriented optimizer using logarithms," IEICE Transactions on Information and Systems, vol. E105-D, no. 12, pp. 2040-2047 (2022).

• 浅井 哲也, "確率的コンピューティングの再開拓 - その場学習が可能な極低電力エッジ AI に向けて-", 情報処理, vol. 63, no. 3, pp. e8-e14 (2022).

• M. Tanaka, Y. Nishio, H. Sekiya, M. Bandai, Y. Tanji and Y. Uwate, "CellularFlow: Memristive Circuits of Gyrator Neurons Toward Brain Circuits," in IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, vol. 12, no. 4, pp. 963-977, Dec. 2022, doi: 10.1109/JETCAS.2022.3215479.

• Masaki Saito, Yoko Uwate, and Yoshifumi Nishio "Effect of Social Distancing on COVID-19 Infection Determined by a Multi-Agent Simulation" RISP Journal of Signal Processing, pp. 189-193, vol. 26, no. 6, Nov. 2022, doi: 10.2299/jsp.26.189.

• Yuichiro Tanaka and Hakaru Tamukoh, "Reservoir-based convolution," Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, Vol. E13-N, No. 2, pp. 397-402, 2022.

• Takumi Kotooka et al 2023 Appl. Phys. Express 16 014002.

採択番号 (Grant No.) : R04/A01

Coplanar waveguide size and magnetization angle dependence of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure measured by spin rectification ferromagnetic resonance

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) : Eli Christopher Inocencio Enobio (Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) : Shunsuke Fukami (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 (Project Member List) : Cristine Ruvy Doble Mahilom (Mindanao State University-Iligan Institute of Technology)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

We investigated the mechanism of spin rectification effect by varying the coplanar waveguide size and microwave power for CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure with perpendicular easy axis using spin rectification enabled by anomalous Hall Effect [APL 105, 262404, (2014)]. Samples are deposited by dc/rf magnetron sputtering on Si/SiO₂ substrate with structure from the substrate side of Ta(5)/CoFeB(1)/MgO/CoFeB(1.8)/Ta(5)/Ru(5). Numbers in parentheses are nominal thicknesses in nanometers. Samples are annealed at 300 ° C for 1 hour. Blanket film is cut into 1.0–2.0 mm x 2.5 mm bars. Microwave signal of output power 10–20 dBm with amplitude modulation is injected directly into the bars through coplanar waveguide.

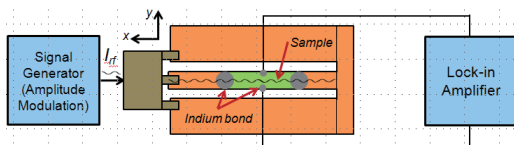


Fig. 1. Schematic of electrical detection of magnetization dynamics.

Fig. 1 shows the schematic of the measurement setup. For each applied rf current I_{rf} (1.0 GHz to 8.0 GHz), the magnitude of external DC magnetic field H_{ext} is varied. Resonant Hall voltage V_x along

the longitudinal (x) direction is measured using lock-in amplifier. Peaks are fitted by combination of symmetric and antisymmetric Lorentzian functions [PRB 84, 054423, (2011)]. Effective perpendicular anisotropy field H_K^{eff} and damping constant α are determined from resonance conditions derived from LLG equation

$$f \cong \frac{\gamma \mu_0}{2\pi} \sqrt{\left(H_R \cos(\theta_M - \theta_H) + H_K^{eff} \cos 2\theta_M \right) \left(H_R \cos(\theta_M - \theta_H) + H_K^{eff} \cos^2 \theta_M \right)}$$

$$\mu_0 \Delta H \cong \left\{ \left(\frac{2\pi\alpha}{\gamma} f \right)_{intrinsic} + \left(\frac{d(\omega/\gamma)}{dH_K^{eff}} \right) \Delta H_K^{eff} \right\} + \Delta H_{TMS}$$

where γ is gyromagnetic ratio, μ_0 is Bohr magneton, θ_M is magnetization direction, θ_H is external magnetic field H_{ext} direction, ΔH_{TMS} is two-magnon scattering linewidth. Vector-network-analyzer ferromagnetic resonance (VNA-FMR) measurement [IEEE Magn. Lett. 6, 5700303 (2015)] is also measured from blanket film sample for comparisons.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

Resonant Hall voltage V_y versus external field with varied CPW size is shown in Fig. 2. Only transverse resonance voltage is detected suggesting spin rectification from anomalous Hall Effect [APL 109, 182406, (2016)]. Increase of V_y amplitude in narrower CPW and sample size possibly due to increase in rf field.

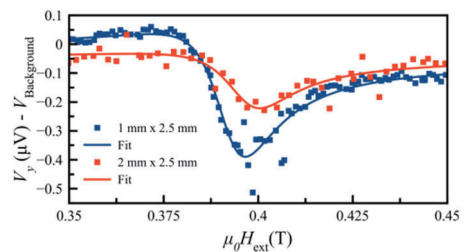


Figure. 2. External magnetic field dependence of spin-rectified anomalous Hall voltage at varied CPW size.

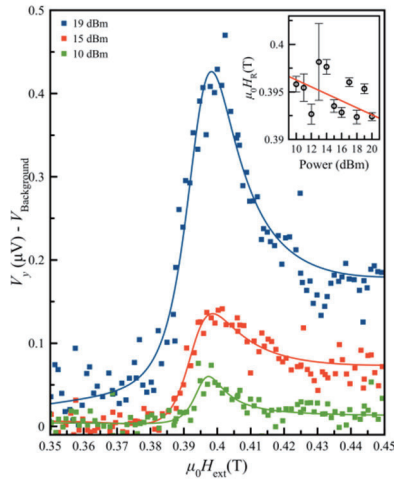


Figure. 3. Microwave power dependence of resonance Hall voltage amplitude. Inset shows small shift of resonance peaks at varied microwave power derived from fitting.

Fig. 3 shows microwave power dependence of resonance amplitude. Increase of voltage amplitude possibly due to increase in Oersted field driving the resonance. From Fig. 4, no size and microwave power dependence observed on measured H_K^{eff} and α of top CoFeB recording layer and values consistent with VNA-FMR. Sample size and microwave power dependence of V_y amplitude suggests Oersted field as main driving force in magnetization precession.

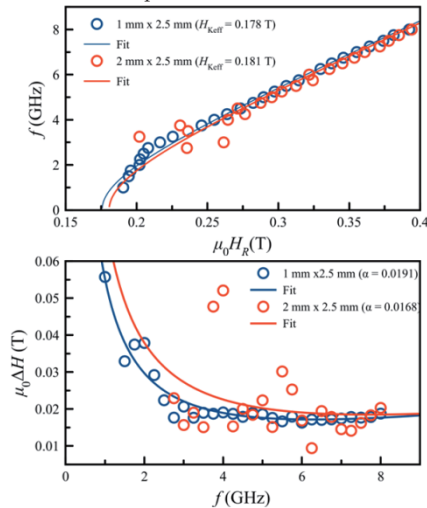


Figure. 4. Frequency dependence of resonant field H_R and linewidth ΔH . Fitted values of H_K^{eff} and damping constant α is shown.

This collaborative work enhances knowledge and capability exchange between the Physics Department of Mindanao State University-Iligan Institute of Technology, Philippines, and the Laboratory of Nanoelectronics and

Spintronics, Tohoku University, Japan. The Mindanao State University-Iligan Institute of Technology is pursuing to become a research university, and the exposure of its faculty and students to international cooperative researches is valuable for the development of its research capabilities.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

As magnetic film thickness is reduced, characterization of magnetic properties utilizing inductive method such as VNA-FMR approach measurement limits. The result established an electrical method to characterize damping constant of magnetic tunnel junction structure with perpendicular easy axis. By employing electrical method to characterize dynamic magnetic properties, the technique has no dependence on sample thickness thus offer superior capabilities in comparison to inductive method such as VNA-FMR.

Finally, from this RIEC cooperative project we published an article in Applied Physics Letters from related and previous results of Principal Investigator on the temperature dependence of VNA-FMR measurements on CoFeB-MgO magnetic tunnel junctions. Analysis of data and preparation of manuscript were partly done in the Philippines.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

- (1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)
E. C. I. Enobio, C. R. D. Mahilom, S. Fukami. *Coplanar waveguide size and microwave power dependence of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure measured by spin rectification effects.* FY2022 RIEC Annual Meeting on Cooperative Research Projects. February 1, 2023.
- (2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)
Y. Takeuchi, E. C. I. Enobio, B. Jinnai, H. Sato, S. Fukami, H. Ohno, APL 119, 242403 (2021)

採択番号：R04/A02

高磁場 MRI 対応 NMR 受信コイルの開発

[1] 組織

研究代表者：

李 相錫（鳥取大学工学部）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

松永 忠雄（鳥取大学工学部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本研究では、高磁場 Magnetic Resonance Imaging (MRI) でのプロトン (^1H) の核磁気共鳴 (NMR) 信号を、高い Signal-Noise-Ratio (SNR) で受信するための体腔内 MRI プローブの設計、試作、評価を行うことを目的とし、伝送路の設計、および評価方法について共同研究を遂行する。

RI は X 線 CT、超音波エコー、PET (Positron Emission Tomography) など他の断層撮像モダリティと比較して高い軟部組織の識別能、計測量の多様性、空間領域の任意選択性において優れており、放射線被曝もない。タンパク質の有機系高分子化合物などの分子構造解析 (分子イメージング) などにも優れている。MRI では原子核 (最も一般的なものはプロトン (^1H)) の共鳴信号を RF コイルで受信するが、分子イメージングでは分子中の原子核の磁場付近に存在する原子核によって作られる磁場の影響により、同じ原子核であっても周囲の環境によりわずかに共鳴周波数の違いが生じ (chemical shift)、その周波数シフトの大きさと信号強度から生体内の分子の種類・成分などを調べることができる。一方、研究用途においては神経系や免疫系のように統合された生体システムの機能解明のために、脳機能のようなヒトの体のダイナミックな機能解明の目的で、MR イメージング技術によるバイオイメージング・分子イメージングの研究が盛んに行なわれている。しかしながら、体内局所での分子イメージングをリアルタイムに近い速度でイメージングするためには NMR 信号強度を大きくする必要があり、そのためには磁場強度を大きくする、NMR 発生部位と受信コイル間距離を短くすることなどが挙げられる。特に小動物に対して行なわれているバイオイメージングは 7 Tesla や 11.7 Tesla といった高磁場 MRI により行われている。また、一般の撮像や分子イメージングでは、体外 RF コイルにより核磁気共鳴信号を受信するため、体深部における微小な

領域の信号の検出効率には限界がある。生体組織との接触面に体内 RF コイルを装備することにより、近傍組織の断層構造を高分解能で抽出することができる。図1に体腔内 MRI の概念図を示す。この原理を用いる利点は、受信コイルとの距離に比例して減衰する核磁気共鳴信号を高感度で受信することによる高い SNR (Signal-Noise-Ratio) の実現だけでなく、撮像時間の短縮も可能になる。高い SNR は高い空間分解能の chemical shift の検出を可能にし、撮像時間の短縮は生体内でのバイオイメージングを可能にする。しかしながら、高磁場 MRI では内径 15 mm から 10 mm 程度の送受信兼用のコイル内部に小動物を保持し撮像が行われており、体外からの NMR 信号受信であることから信号強度が低く、未だリアルタイムバイオイメージングには至っていない。

本研究の最終的な目的は、小動物体腔内 (直腸など) へ挿入できる直径 2 mm 以下、かつ 500 MHz の NMR 信号を受信できる細径 MRI プローブを開発し、リアルタイムバイオイメージングを実現することである。そこで、当該共同研究においては、体腔内 MRS プローブの設計、試作、評価を行うことを目的とし、伝送路の設計を遂行する。

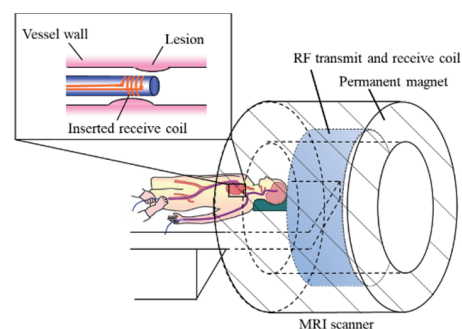


図 1. 体腔内 MRI 概念図

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

提案する高磁場 MRI 対応 NMR 受信コイルの設計では、以下 2 つの仕様が求められる。

(1) 受信するプロトンのラーモア周波数は 11.7 T の磁場環境下では 500 MHz であるため、受信コイルの自己共振周波数は 500 MHz よりも大きい必要がある。

(2) プロトンの NMR 信号を効率的に受信するためには、受信コイルの外側の磁場分布が均一である必要がある。

上記 2 つの仕様を考慮し、コイルの特性や検出能力に大きな影響を与えるパラメータ（配線ピッチ、配線の太さ、ループ形状、コイル間の絶縁層の材質や厚さ）を検討しシミュレーションにてモデリングを行った。

高周波受信コイルの試作モデルを図 2 に示す。コイル形状はサドルコイルとなっており、チューブの短軸方向に感度を持つ側方視のためのコイル形状で、円周上に 2 つのループコイルが向かい合っている。図 2 に示すコイルの開き角は 120° と 160° であり、配線幅は 100 μm、配線厚さは 35 μm とした。また、コイルの材質は高磁場環境下でも磁場を乱さない非磁性材料である銅を用いる。配線の厚みは、高周波信号において表皮深さを考慮しても、抵抗成分とならない様、十分な厚さとした。

図 2 にシミュレーションによるコイル断面方向から観察した磁場分布を示す。開き角 120° に比べ、開き角度 160° のコイルの方が分布が均一であった。開き角 120° コイルの外部磁場分布が不均一である理由は、同方向に電流が流れている配線によって形成される磁場が互いに干渉しているためであると考えられる。

一方、160° では同方向に電流が流れている配線同士を近づけることを提案した。配線間隔を狭めることでコイル近傍付近の磁場強度が大きくなり、微小な磁場変化の影響を受けにくくなる。これによりコイル外側の磁場不均一部分が均一になると考えられる。

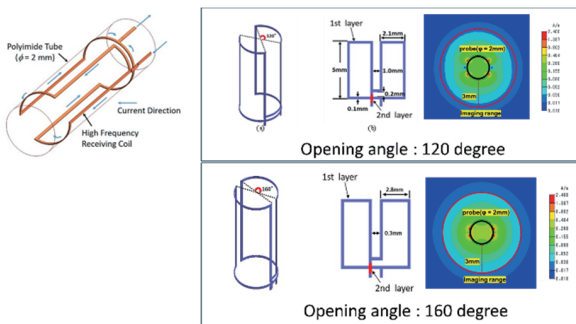


図 2. NMR コイル構造と算出結果

開き角 160° のプローブから 0.8 mm 離れた 3 地点の磁場強度を検討する。図 3 よりどの地点においても同じ磁場強度であり、磁場分布が均一に広がっていることが言える。コイル外部の磁場分布の均一性は、開き角 120° のコイルのそれと比較しても明らかに改善されていることがわかる。従って開き角 160° コイルの作製を行うことに決定した。開き角 160° の改良した

コイルを備えた MRI プローブを使用することにより動物の直腸を高感度でバイオイメージングすることが期待されることから、今後、高磁場 MRI (500MHz) を用いることを前提とし、動物用高磁場 NMR プローブを試作し、撮像実験を進めていく。

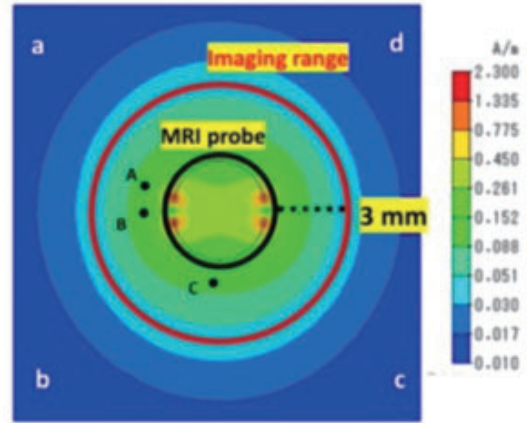


図 3. 開き角 160° NMR コイルの磁場分布

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

当該プロジェクトにおいては、臨床応用も考慮にいたれた取組として幅広い研究者との交流を行った。その結果、関西地域の医科大学との臨床医の研究協力も期待され、今後は共同研究へ発展する予定である。

(その他)
該当なし

採択番号 (Grant No.) : R04/A03

Japan-Russia International collaborative research on boosting a performance of a large-area THz photoconductive emitter

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

PONOMAREV Dmitry, Dr.

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

OTSUJI Taiichi, Prof.

研究分担者 (Project Member List) :

KHABIBULLIN Rustam, Prof.,

WATANABE Takayuki, Dr.,

GLINSKIY Igor, PhD student,

ZENCHENKO Nikolay, PhD student.

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

We have proposed the two approaches that both imply tight photocarrier confinement within the semiconductor surface, that is essential for THz emission enhancement of a photoconductive emitter.

The first approach proposes the new design which is based on an implementation of a densely packed sapphire fibers mounted on the emitter's surface. The design is used to enhance the overall performance of the emitter thanks to wonderful optical properties of the sapphire fiber in the THz frequency range providing high optical contrast at the semiconductor/sapphire interface. We demonstrated a 40-fold THz power boost compared to conventional emitter [P1].

The second approach relies on the high-aspect ratio plasmonic grating emitter, which enables a 10^4 THz boost compared to conventional emitter without grating thanks to the excitation of higher-order plasmon guided modes in Au slits [P2].

The both approaches have demonstrated their stability and feasibility. Overall, the emitters allow a 4.5 THz bandwidth with a 65 dB dynamic range.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

Approach 1.

We have proposed to use a high refractive sapphire-fiber lens to enhance the overall THz power in a photoconductive THz emitter. Using numerical simulations, we showed that the lens provides a spatial redistribution of the photocarriers density in the antenna's gap. Then, by optimizing the diameter of the sapphire-fiber, we demonstrated the possibility to enhance the coupling of the incident electromagnetic waves at the interface between the sapphire fiber and the semiconductor with the antenna terminals by a factor of ~ 40 compared with the case without the fiber,

boosting the total efficiency by a factor of $\sim 7-10$.

Furthermore, we note that in practice, the incident laser beam is featured by a diameter of 1.0–1.5 mm. Thereby, the number of stripe line pairs on the high-power emitter chip will be approximately 5 for $d = 220 \mu\text{m}$ and $g = 10 \mu\text{m}$. Therefore, to increase the overall performance, one can use 10 pairs of 5- μm -gap strip lines ($d = 110 \mu\text{m}$).

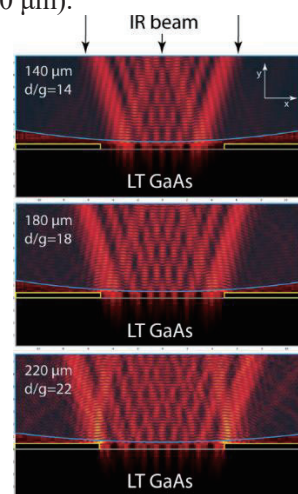


Figure 1. Simulated electric field $|E|^2$ distributions along the x -direction in the photoconductive gap of emitter for different sapphire-fiber dimensionless diameter d/g (g is the photoconductive gap). The emitter is excited by the plane EM wave with $\lambda = 780 \text{ nm}$.

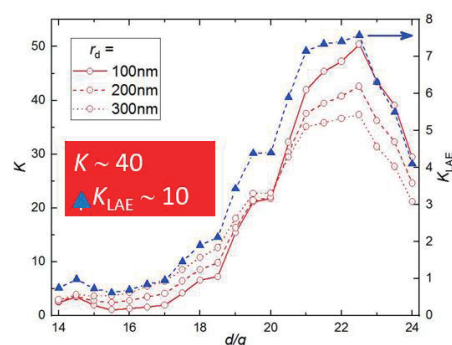


Figure 2. Intensity enhancement coefficients versus the dimensionless sapphire-fiber diameter d/g for a single PCA element in the large-area THz emitter K (empty circles, left axis) and for total emitter efficiency K_{LAE} (filled triangles, right axis). The parameter r_d denotes the photocarrier's drift distance. LAE is a large-area photoconductive THz emitter.

Approach 2.

We propose the design of a photoconductive emitter with a plasmonic grating featuring a very high plasmonic Au electrode with a thickness of 170 nm. As we show numerically, the increase in h

significantly changes the electric field distribution, owing to the excitation of higher-order plasmon guided modes in the Au slit waveguides, leading to an additional increase in the emitted THz power. We develop the plasmonic grating geometry with respect to maximal transmission of the incident optical light, so as to expect the excitation of higher-order plasmon guided Au modes. The fabricated emitter can efficiently work with low-power laser excitation, demonstrating an overall THz power of $5.3 \mu\text{W}$ over an ~ 4.0 THz bandwidth, corresponding to a conversion efficiency of 0.2%.

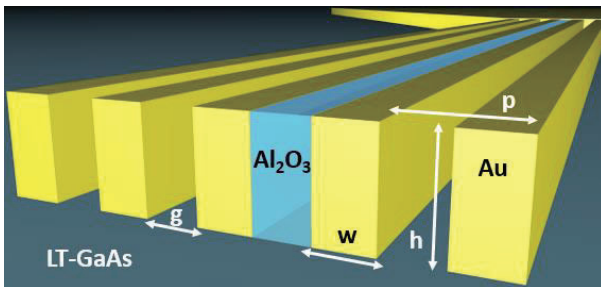


Figure 3. The layout of the developed high aspect ratio plasmonic grating with its geometrical parameters [2]. The low-temperature grown GaAs, LT-GaAs, was used as a photoconductor.

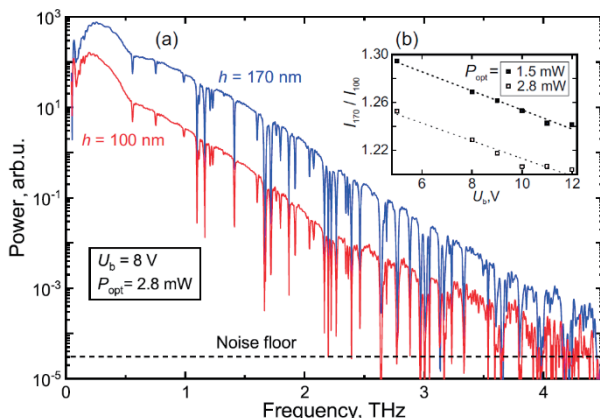


Figure 4. Experimental results for the emitters with different heights h of Au electrodes: (a) measured THz spectra; (b) ratio I_{170}/I_{100} , demonstrating photocurrent enhancement in 170-nm-thick grating emitter, compared with 100-nm-thick grating emitter vs. U_b for different P_{opt} .

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

- Both groups are gaining strategic experience in the processing, development and fabrication of high-power photoconductive THz emitters as well as in their characterization.

- New devices and the approaches as well, were fabricated and characterized together with the RIEC's group of Prof. T. Otsuji and also in Moscow. There are only a few groups in the world that can fabricate these types of THz devices. Among them we should notice the groups of Profs. M.

Skorobogatiy (Canada), M. Helm (Germany) and M. Jarrahi (USA). Important to notice that we also work with these groups.

- The study has a huge potential for accelerated THz spectral image acquisition, i.e. even for real-time THz imaging, for instance, in biomedical, nano-optics and photonics applications.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

List of papers and conference presentations (with acknowledgements)

[P1] D.S. Ponomarev, D.V. Lavrukhin, I.A. Glinskiy, A.E. Yachmenev, N.V. Zenchenko, R.A. Khabibullin, T. Otsuji, Yu. Goncharov, and K.I. Zaytsev, 'Enhanced THz radiation through thick plasmonic electrode grating photoconductive antenna with tight photocarrier confinement,' *Optics Letters*, 48(5), 1220 (2023), DOI: 10.1364/OL.486431.

[P2] D.S. Ponomarev, D.V. Lavrukhin, N.V. Zenchenko, T.V. Frolov, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, G.M. Katyba, V.N. Kurlov, T. Otsuji and K.I. Zaytsev, 'Boosting THz photoconductive antenna-emitter using optical light confinement behind a high refractive sapphire fiber-lens,' *Optics Letters*, 47(7), 1899 (2022); DOI: 10.1364/OL.452192.

[C1] D.S. Ponomarev, I.A. Glinskiy, R.A. Khabibullin, M. Skorobogatiy, T. Otsuji, Optical-to-THz switches for pulse THz generation and detection, 2022 IEEE Summer Topical Meeting Series, Cabo San Lucas, Mexico, 11-13 July, 2022, invited.

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

Invited presentations at international conferences:

[C1] D.S. Ponomarev et al, R&D of microwave and terahertz devices for power and spectral applications, China, Huawei seminar, 05 July, 2022, invited.

[C2] D.S. Ponomarev et al, R&D of mm-wave and THz devices for telecom and space applications, The IHP, 6 January 2023, Frankfurt-am-Oder, Germany, invited.

採択番号：R04/A04

SiH₄-CVD による金属ナノドットのシリサイド化反応制御に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

宮崎 誠一 (名古屋大学大学院工学研究科)

通研対応教員：

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

牧原 克典 (名古屋大学大学院工学研究科)

室田 淳一 (東北大学マイクロシステム
融合研究開発センター)

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

大田 晃生 (名古屋大学大学院工学研究科)

東 清一郎 (広島大学大学院先進理工系科
学研究科))

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

シリサイドやジャーマナイドおよび合金ナノ構造は、表面エネルギーの寄与が顕在化する為に、バルクや薄膜とは異なった相構造の安定性をはじめとして、従来のバルク相図にはない准安定相の発現が予想され、新たな電子状態や機能の発現が期待できる。しかし、これらを系統的に研究した例は殆どなく、ナノサイズ領域での混晶化において、相構造制御や物性変調する手法は未だ確立されていない。本研究では、申請者が独自開発した金属ナノドットの高密度形成技術および金属ナノドットのシリサイド化反応制御技術を発展・高度化させて、高密度形成したIV族半導体ナノドットと金属との混晶化を制御する手法を確立し、新たな電子状態や機能性を有するシリサイド(ジャーマナイド)および合金ナノドットの創成を実現する。

共同研究期間は、3年間とし、令和4年度は、超高密度金属シリサイドおよびFe系合金ナノドットの形成および反応制御に力点を置く。令和5年度以降では、高密度半導体ジャーマナイドドットの形成と電子状態・物性制御およびその機能を探索する。

初年度は、Si熱酸化膜上に形成した極薄Fe膜を極短時間VHFリモートH₂プラズマに曝すことで、Feナノドットを高密度・一括形成した後、同一チャンバ内にてSiH₄を用いたCVDを行うことでβ-FeSi₂ナノドットが形成できることを明

らかにした。さらには、シリサイド化反応はβ-FeSi₂相で自己停止することを明らかにするとともに、ドットサイズの縮小に伴い発光強度が大幅に増加することも明らかにした。

また、本共同プロジェクトを推進するために、実験打ち合わせを東北大学にて2回実施し、共同研究分担体制を築くと共に、本プロジェクト分担者の室田淳一教授が中心的に組織・運営する13th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics (1月23-24日に東北大学、片平キャンパス)において意見・情報交換を行い、関連分野の第一線で活躍している国内外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

【高密度FeナノドットへのSiH₄照射によるシリサイド化反応制御】

p-Si(100)基板上に形成したSiO₂熱酸化膜(膜厚~300nm)に、電子線蒸着により膜厚~1.0nmのFe薄膜を堆積した後、同一チャンバ内にて、外部非加熱でH₂-RP処理(60MHz-ICP: 500W, 10Pa)を行った。引き続き、基板温度をパラメータに、室温、200°C、400°Cでpure SiH₄照射(ガス圧力100Pa、30分間)を行った。

SiO₂上に形成した極薄Fe膜のH₂-RP照射前後の表面形状像から、Feナノドットの高密度・一括形成が確認できる(Figs. 1(a), (b)). Feナノドッ

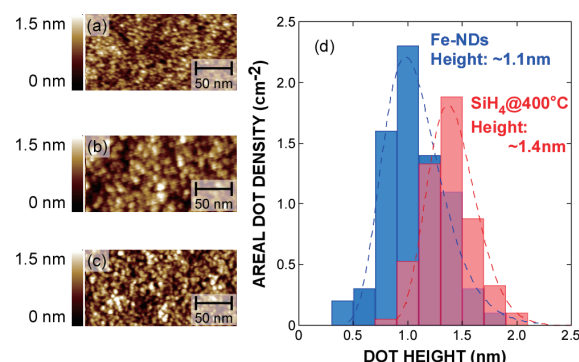


Fig. 1 AFM topographic images taken after ~1.0 nm-thick Fe film deposited on SiO₂ (a) before and (b) after H₂-RP, and (c) subsequent SiH₄ exposure at 400 °C. Dot height distributions before and after SiH₄ exposure evaluated from the AFM images are shown in (d).

ト形成後、 SiH_4 を基板温度 400°C で照射した結果、ドット面密度に顕著な変化は認められないものの(Fig. 1(c))、平均ドット高さが僅かに増加することから (Fig. 1(d))、Fe ナノドットのシリサイド化が示唆される。 SiH_4 照射後のナノドットの室温フォトルミネッセンス測定した結果 (Fig. 2)、 $0.65\sim 0.87\text{eV}$ に明瞭な信号が認められた。尚、 200°C での SiH_4 照射においても強度は低減するものの PL 信号が認められるが、室温 SiH_4 照射では PL 信号は認められない。これらの結果は、バルク $\beta\text{-FeSi}_2$ のバンドギャップ (Eg: Indirect) が $\sim 0.7\text{eV}$ であることから、Fe ナノドットを SiH_4 照射することで $\beta\text{-FeSi}_2$ ナノドットが形成でき、サイズ効果による離散的なエネルギー準位を反映した発光が顕在化したと解釈できる。さらには、初期 Fe 膜厚の制御により異なるサイズの Fe ナノドットを形成した後、 SiH_4 を照射した場合、何れのサイズのナノドットにおいても薄膜に比べて高エネルギーである $0.65\sim 0.85\text{eV}$ に明瞭な信号が認められた (Fig. 3)。これは、 SiH_4 照射により Fe ナノドットのシリサイド化が進行し、 $\beta\text{-FeSi}_2$ 相で反応が自己停止することを示唆している。また、ドットサイズの縮小に伴い発光強度が大幅に増加することから、ナノドットからの PL は光励起キャリアの量子閉じ込め効果の顕在化と解釈できる。さらに、PL スペクトルは 3 成分で分離することができ、全ての成分はサイズの縮小に伴い僅かに高エネルギー側にシフトすることが分かった (Fig. 4)。これらの結果は、Fe シリサイドナノドットからの PL は、ドットの量子準位間の発光再結合であり、平均ドットサイズに依存した量子化エネルギーを反映した結果として解釈できる。

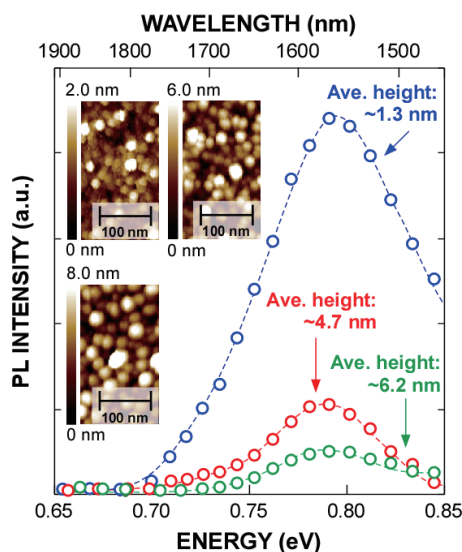


Fig. 3 PL spectra and AFM images of Fe-silicide nanodots with different average dot sizes.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトで得られた成果は、Si や Ge と金属および異種金属の混晶化に関する基礎データを蓄積するとともにナノドットに固有の構造・物性の創出に展開し、新しい機能性材料の設計指針を与える。

また、若手研究者および本プロジェクト研究に参加した学生が本プロジェクトで得られた成果を国際会議で積極的に発表することで、学外研究者および海外研究者との交流が飛躍的に活性化し、若手研究者の新たなネットワーク構築への発展が期待できる。さらには、本申請研究をドイツの IHP (Innovations for High Performance Microelectronics) と共同研究を実施し、国際共同研究体制を築くと共に、関連分野の第一線で活躍している国外の研究者との連携ネットワーク作りが着実に進展した。

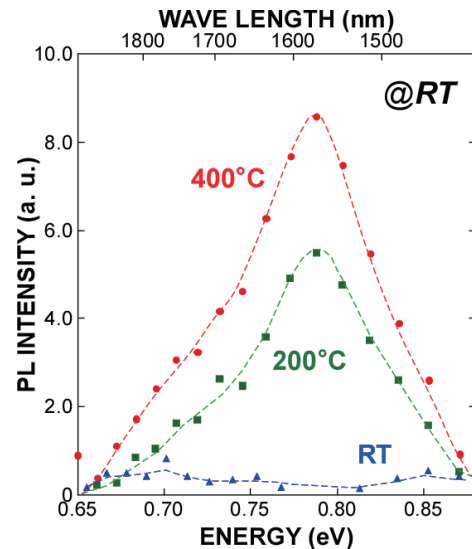


Fig. 2 Room temperature PL spectra of Fe-NDs after SiH_4 exposure at RT, 200, and 400°C .

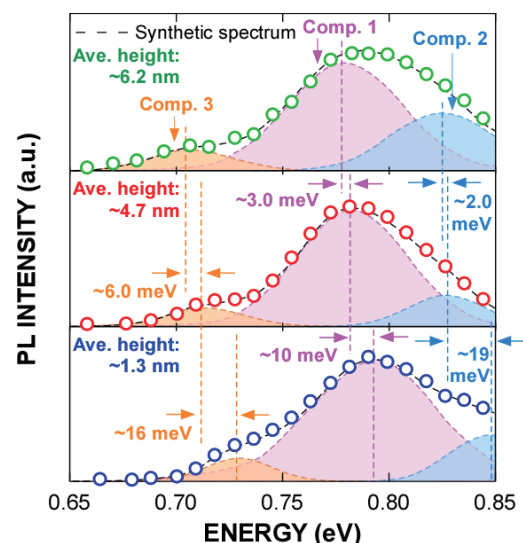


Fig. 4 PL and their deconvoluted spectra of Fe-silicide nanodots with different average dot sizes.

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・ H. Saito, K. Makihara, Y. Hara, S. Fujimori, Y. Imai, N. Taoka, A. Ohta, and S. Miyazaki, "Study on Photoluminescence Properties of Fe-silicide-NDs", The 6th Asia-Pacific Conference on Semiconducting Silicides and Related Materials, 2022 (APAC-Silicide 2022), Sun-p-O18, pp. 82-83 (Online, July 30 - August 1, 2022).

・ 斎藤 陽斗、牧原 克典、田岡 紀之、大田 晃生、宮崎 誠一、「Fe シリサイドドットの室温 PL 特性 —ドットサイズ依存性」、2022 年 第 83 回応用物理学会秋季学術講演会, 20a-A406-1, (東北大学 川内北キャンパス+ オンライン, 2022 年 9 月 20 日-23 日)

・ 斎藤 陽斗、牧原 克典、王子璐、田岡 紀之、大田 晃生、宮崎 誠一、「Fe ナノドットへの SiH_4 照射による $\beta\text{-FeSi}_2$ ナノドットの高密度形成」、2023 年 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 16p-PA03-2 (上智大学+ オンライン, 2023 年 3 月 15 日-18 日)

・ 斎藤 陽斗、牧原 克典、王子璐、田岡 紀之、大田 晃生、宮崎 誠一、「Fe 超薄膜への SiH_4 照射によるシリサイド化反応制御」、2023 年 第 70 回応用物理学会春季学術講演会, 16p-PA03-3 (上智大学+ オンライン, 2023 年 3 月 15 日-18 日)

採択番号 (Grant No.) : R04/A05

Study of magnetic, dielectric and optical properties of nanomaterials for Terahertz applications

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Dr. Amine El Moutaouakil (UAE University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. Taiichi Otsuji (RIEC, Tohoku Univ.)

研究分担者 (Project Member List) :

Asst. Prof. Takayuki Watanabe (RIEC, Tohoku Univ.)

Ms. Omnia Samy (UAE University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) :

4人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

In recent years, substantial advancement has occurred in the study of the magnetic, optical and dielectric properties of nanomaterials such as nanoclusters, quantum dots, or 2D materials. They are used particularly in permanent magnets, magnetic recording media, microwave absorption devices, ferrofluids and biomedical applications. For certain applications, it has been shown the use of bi-magnetic core/shell nanoparticles (Bilayer 2D materials) can be advantageous over single magnetic nanoparticles (Mono-layer 2D materials). In his project we aim to study the physical properties of nanostructures that can be exploited for the engineering of new material and nanostructure devices to make novel terahertz (THz) applications. Research in the THz technology is facing many challenges in both physics and engineering, but having more insights in materials properties and new nanostructure design will be the needed breakthrough to come up with compact and efficient THz devices. We will use the methods of Monte Carlo and ab-initio simulations to prove the consistency of the antiferromagnetic coupling in materials. This unique coupling could give rise to more advanced applications of bi-magnetic core/shell nanoparticle or bilayer 2D materials, including graphene and other widely researched nanomaterials. Based on the theoretical calculations, we will fabricate and characterize new devices based on the studied 2D heterostructures toward terahertz detection and emission. The work will pursue the collaboration between the PI team at UAE University, UAE and the host researcher team at RIEC, Tohoku University, Japan. The major impact of this project will also be to study the thermodynamic properties of these nanostructures, which are the key properties for magnetic and dielectric devices that remain unknown.

In the frame of this project, the PI from UAE University visited the host researcher team at RIEC, in the period of June 13th-24th, 2022. During this visit, several meetings were organized with Prof. Otsuji and his team to work on experimental transfer of 2D materials, and we were able to experimentally transfer a few layer MoS₂ thin film on top of Graphene channel in a GFET structure. We also made plans to investigate perovskites devices using the THz experimental setup available in Otsuji labs, but due to a recent earthquake, the experimental setup needed further calibration. During this visit, on June 23rd, 2022 from 17:00 to 18:00, an open seminar to RIEC faculty and students was organized to highlight the recent work of the PI at UAE University in the field of 2D nanomaterials.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

During FY2022, we have developed computational models to investigate the voltage tunability of THz absorptance in MoS₂/Graphene nanoribbon heterostructures (Figure 1). We were able to realize a thin THz absorber that can be easily tuned through the whole THz range (0.1 THz-10 THz) by applying a low gate voltage (< 1 V) (Figure 2). The computational model showed that we can achieve absorptance of approximately 50 % of the incident light, which is twice that of graphene-only nanoribbons, the structure performance is not affected by high temperatures (500 K and above) (Figure 3).

We also varied the nanoribbon width w_n from 90 nm to 300 nm while keeping the same spacing d between the nanoribbons as 10 nm. A shift in the absorption frequency towards low energy frequencies (low THz frequencies) occurs with increasing the nanoribbon width. Decreasing the widths less than 90 nm shifts the absorptance spectrum to the right, outside the THz region (Figure 4). Decreasing the nanoribbon width increases the band gap and so we can have electron transitions at higher energies/frequencies. Increasing the substrate thickness of SiO₂ (d_{sub}) shifts the absorption frequency to higher frequencies and causes a little increase in absorption for different gate voltages as shown in (Figure 5). In order to have a good tunability in the THz region by varying the gate voltage, we have to use a small substrate thickness in the range of 5 nm. This can be attributed to the fact that the carrier concentration of graphene is related to the substrate thickness according to developed model.

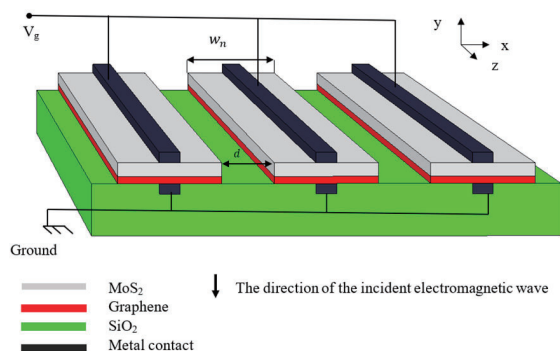


Figure 1. The schematic of the infinite nanoribbon structure with a SiO₂ substrate and nanoribbons of graphene and MoS₂ with applied gate voltage V_g and incident THz electromagnetic wave.

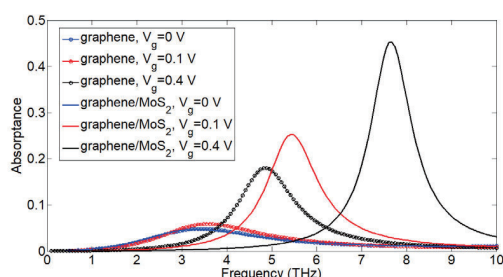


Figure 2. The nanoribbon structure absorbance in case of graphene only (marked lines) and MoS₂/graphene heterostructure (solid lines) at different gate voltages V_g = 0, 0.1, 0.4 V.

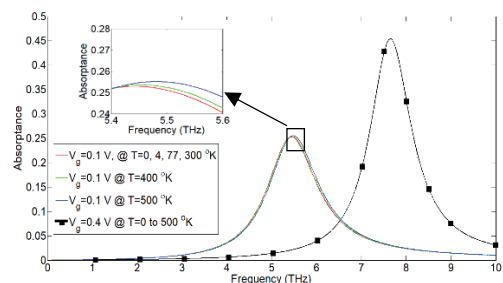


Figure 3. The effect of temperature on the absorbance of the nanoribbon structure at gate voltage V_g = 0.1 V, and 0.4 V.

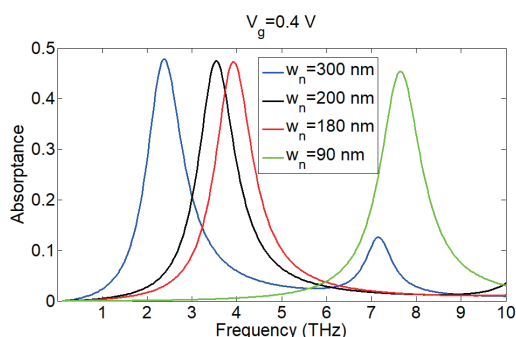


Figure 4. The effect of the nanoribbon width w_n on the absorbance frequency at V_g = 0.4 V.

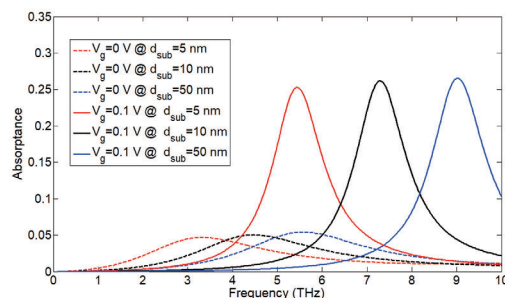


Figure 5. The effect of the substrate thickness d_{sub} of SiO₂ on the absorbance at V_g = 0, 0.1 V and nanoribbon width w_n = 90 nm.

This work allowed is a “Type: International,” and it allowed to visit RIEC and conduct experiments with colleagues at Otsuji-lab, and organize a seminar to discuss several opportunities to exploit the results of this project.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

Despite the fact that the simulated structures are expected from a theory point-of-view to show high electronic and optical properties, which will improve the sensitivity for THz detection, the experimental results show few limitations related to the degradation of the plasmon frequency due to the dimensions of the ribbon, and the degraded mobility values. Solving these issues, will promote these structures as THz devices, and can lead to a new era of low-cost and compact terahertz imaging systems and to develop ultra-high-speed THz wireless communication. Besides, it was found that there is a great potential for the MoS₂/graphene heterostructure, and BP/graphene heterostructure as good alternative nanomaterials for the design of photodetectors and transistors for applications in THz technology.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

- Conference accepted: “Terahertz Absorbance in MoS₂/Graphene Nanoribbon Heterostructures,” O. Samy, T. Otsuji, and A. El Moutaouakil, PIERS 2023, July 3rd-6th, 2023, Prague, Czech Republic
- Paper in preparation: “A Voltage-Tunable Terahertz absorber based on MoS₂/Graphene nanoribbon structure,” O. Samy, M. Belmoubarik, T. Otsuji, and A. El Moutaouakil, Nanomaterials.
- Conference in preparation: IRMMW-THz 2023, September 17th-22nd, 2023 Montreal, Canada.

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

採択番号：R04/A06

ナノギャップ金属電極による単一コロイド量子ドットの電気伝導評価

[1] 組織

研究代表者：

柴田 憲治 (東北工業大学工学部電気電子工学科)

通研対応教員：

大塚 朋廣 (東北大学電気通信研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

コロイド量子ドット (QD) は直径数ナノメートルの非常に小さな半導体結晶であり、近年特に太陽電池への応用が期待されている。中でも硫化鉛 (PbS) QD は赤外光領域で幅広く吸収波長を制御できる有望な光電変換材料であり、デバイス応用に向けて QD 間のキャリア伝導の理解が重要な課題となっている。このような背景から PbS QD の電気伝導特性に関しては、これまで多数の QD の 2 次元配列に関する電気伝導特性の評価が行われている一方で、単一 QD や少数 QD に対する電気伝導特性の評価は行われていない。本研究では単一 QD レベルでの PbS QD のキャリア伝導の知見を得ると同時に、単電子素子への応用も模索することを目的として研究を行う。具体的には、ナノメートルサイズのギャップを有する極微細電極 (図 1 参照) によって単一 PbS QD に電氣的にアクセスし、QD を介したトンネル伝導を観測するとともに、これをゲート変調することで PbS QD の電子状態に関する情報を得る実験をおこなった。

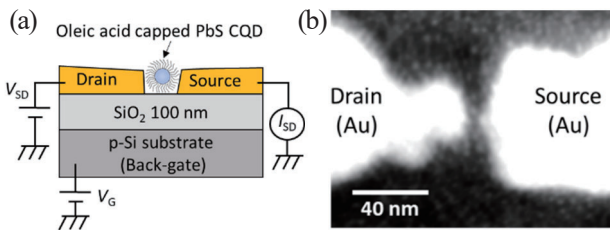


図 1: コロイド PbS QD を活性層とするトランジスタ素子の (a) 模式図と、(b) 電子顕微鏡写真。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度の研究により、コロイド PbS 量子ドットのサイズに依存して伝導特性が変化様子 (図 2 参照)

や同一の試料の中での電子軌道に依存したトンネル電流の変化を検出した。伝導特性には励起準位も明瞭に観測され、この系の大きなクーロン相互作用の影響により、電子数に依存して励起準位の位置が大きく変化する様子が観測された。また、クーロンピークにはスピンペアによる 2 つずつペアになったピークが観測され、伝導度が異なるスピンペア間で大きく変化することも分かった。これは量子ドット中で電子が占有する電子軌道によって波動関数の形や空間的広がりが変化し、伝導度に反映されると考えることで説明できることが分かった。

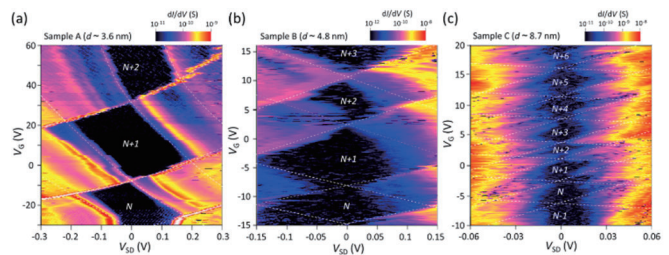


図 2 量子ドットの直径 d が、(a) $d=3.6$ nm、(b) 4.8 nm、(c) 8.7 nm の単一コロイド PbS 量子ドットを活性層とするトランジスタで観測されたクーロン安定化ダイアグラム。

最後に、ナノギャップ金属電極と単一量子ドットとの間のトンネル結合を強くすることにも成功し、単一コロイド量子ドットをチャンネルとするトランジスタでは初めて近藤効果を観測することにも成功した (図 3 参照)。単一のコロイド量子ドットに対する電気伝導評価で上記のような系統的な結果を示した例はないことから、これらの結果に関して現在論文を執筆中である。

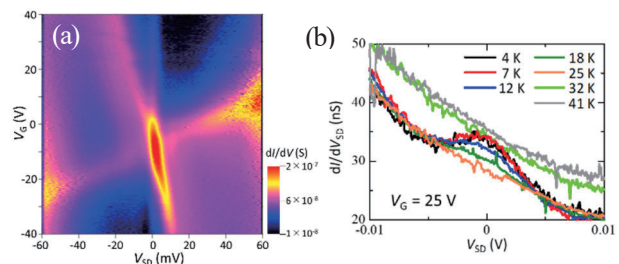


図 3 (a) $d=4.8$ nm の PbS 量子ドットを活性層とする素子で観測された近藤効果。(b) 近藤ピークの温度依存性。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

単一 PbS コロイド量子ドットを介した電気伝導の観測に関しては、PbS 量子ドットを用いた紫外から赤外領域の太陽電池や光検出器などの光デバイスの実現に向けて、有用な情報を提供することが可能であると考えている。これらのデバイスの実現には光の吸収によって発生したキャリアの電気伝導の理解が必須であるが、単一量子ドットレベルで伝導特性を観測する研究はこれまでほとんど行われておらず、その理解は進んでいない状況である。また、光デバイスに限らず、量子情報デバイスへの応用を探索する研究は、コロイド量子ドットではほとんど行われていないことから、その可能性を探索する意味でも本研究には意味があると考えている。コロイド量子ドットは良い光学特性を示すことが知られていることから、本素子を用いた単一光子発生や検出への展開が期待できると考えている。

本年度の研究では伝導帯の電子準位を介したトンネル電子を観測したと考えているが、価電子帯のホール準位を介した伝導特性も評価したい。このために、これまでの素子構造に加えてイオン液体をゲート絶縁膜とする電気二重層トランジスタ構造を取り、表面からも強い電界を印可することによって、PbS 量子ドットのバンドギャップとホール準位の観測を試みる。また、強磁性電極と結合したコロイド量子ドットにおけるスピン依存伝導の観測やペロブスカイト量子ドットなどの他の材料系への本手法の適用にも挑戦したいと考えている。また、コロイド量子ドットはサイズが数ナノメートルと小さなことから、これを活性層とするトランジスタの帯電エネルギーが 100 meV を優に超える値となり、室温動作も期待される。これまでは低温での特性評価しかおこなってこなかったが、今後は室温特性の評価にも取り組みたい。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

本年度の論文発表は無かった。

学会発表：

・吉田政希、阿部真弓、平川一彦、大塚朋廣、Bisri Satria、岩佐義宏、柴田憲治 「ナノギャップ電極と結合した単一 PbS 量子ドットの電気伝導特性」 2023 年第 70 回応用物理学会春季学術講演会 2023 年 3 月 18 日 (18p-A202-3)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号：R04/A07

次世代電磁ノイズ抑制体開発のための データベースとその機械学習

[1] 組織

研究代表者：

室賀 翔（秋田大学大学院理工学研究科）

通研対応教員：

石山 和志（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

遠藤 恭（東北大学大学院工学研究科）

直江 正幸（電磁材料研究所）

柁 修一郎（東北学院大学工学部）

田中 元志（秋田大学大学院理工学研究科）

三上 貴大（秋田大学大学院理工学研究科）

延べ参加人数：7人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

Society 5.0の実現を目指して、あらゆる場所であらゆるモノが相互に通信するため、様々な機器に通信機能が搭載されつつある。一方で、通信周波数の上昇によって、機器内の素子や配線同士は電磁氣的に結合しやすくなり、意図しない経路が各所で形成されうる。機器内の電磁ノイズ対策は、一般的に回路内で行われる場合が多いが、意図しないノイズへの「貼るだけで効く簡便な対策」として、電磁ノイズ抑制シート（Noise suppression sheet, NSS）が普及している。NSSを選定する際には、目標の周波数で十分なノイズ抑制効果が得られるように、磁性NSSであれば、透磁率の周波数特性を参考にすることが多い。しかし、対症療法的に利用されているために、その電磁氣的な特性とノイズ抑制効果の関係の明確化には至っておらず、データの蓄積もない。さらに、ノイズ抑制体の材料を開発側とそれを利用する機関の間の相互連携は少なく、次世代技術を創出するために必要な情報が不足している。

本グループでは、これまでに磁性および非磁性材料を利用した平面型のノイズ抑制体を電磁界モデル化する手法について検討してきた。さらに、その電磁界モデルを利用して、材料を電磁ノイズ抑制に利用した場合に期待されるノイズ抑制量を推定する手法について検討してきた。この逆問題を解くことにより、目標の周波数で必要なノイズ抑制効果を得るための材料開発指針が得られると期待できる。

本研究課題では、電磁ノイズ抑制体の電磁界モデル化を通して材料と設計パラメータの関係をデータベース化し、さらに機械学習を活用し、超高周波広帯域に対応した次世代磁性電磁ノイズ抑制体の開発のために活用する方法を提案することを目的に研究を遂行した。初年度は、NSSの性能評価のために利用されるマイクロストリップ線路（Microstrip line, MSL）を対象として、5, 7, 10 GHzそれぞれの周波数において、伝導ノイズ抑制効果が最大となるような磁性膜の材料パラメータを、遺伝的アルゴリズムを利用して推定した。

活動活動状況：

研究打ち合わせおよび実験：

10月31日 打ち合わせおよび実験

(参加人数 3名)

12月12日 実験(参加人数 3名)

1月17-18日 研究打ち合わせおよび実験

(参加人数 3名)

3月1日 対面(参加人数 3名)

随時 メールでの打ち合わせ(全員)

研究会への参加：

9月7日 日本磁気学会 学術講演会 口頭発表

11月10日 電気学会 基礎・材料・共通部門
マグネティックス技術委員会 口頭発表

12月1日 Asia-Pacific Microwave Conference 2022 口頭発表

2月16日 共同プロジェクト研究発表会
ポスター発表2月20日 IEEE EMC Society Sendai
Chapter 学生研究発表会 口頭発表

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

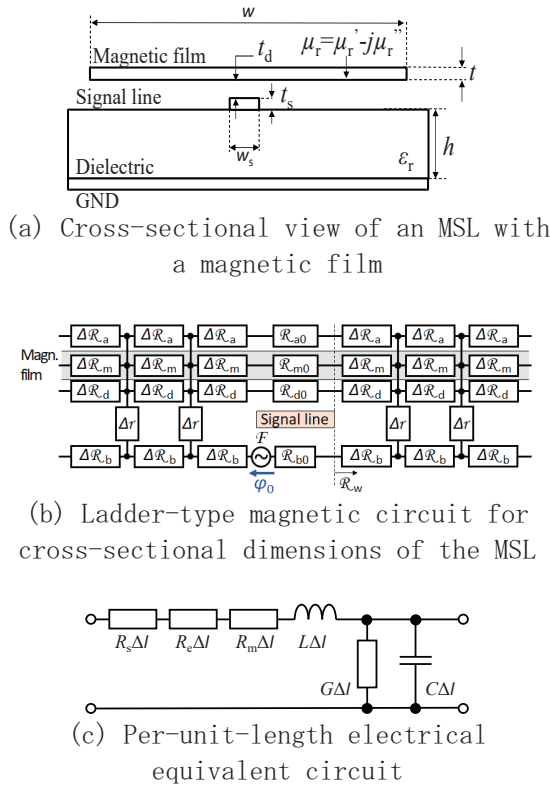
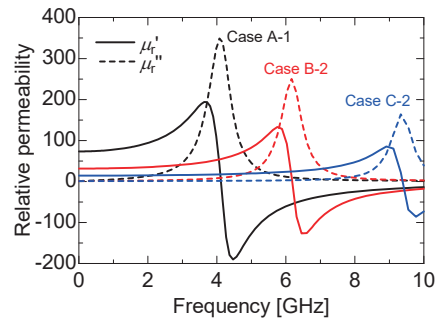


Fig.1 Magnetic and electric equivalent circuit of the MSL with a magnetic film

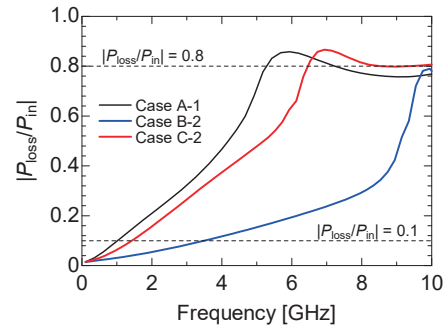
第1に、遺伝的アルゴリズムを利用するために、磁性膜を配置したMSLの等価電気回路モデル化手法を提案した[1-3]。図1に示すように、MSLの断面寸法と材料パラメータのみを用いて等価磁気回路を構築し、等価電気回路パラメータに変換することにより周波数特性を推定した。Co-Zr-Nb膜を配置したMSLの伝送特性の測定値から求めた等価電気回路パラメータと比較した結果、推定値と測定値はおおよそ一致し、提案手法の妥当性を示した。

第2に、磁性膜を配置したMSLの等価電気回路モデル化手法と遺伝的アルゴリズムを利用して、5, 7, 10 GHzそれぞれの周波数において、伝導ノイズ抑制効果が最大となるような磁性膜の材料パラメータを、遺伝的アルゴリズムを利用して推定する手法を提案した[4, 5]。その結果、図2に例を示す通り、それぞれの目標周波数に対応した磁性膜の材料特性が有限要素法を利用した電磁界シミュレーションにより得られ、妥当性が示された。今後は、提案した特性を持つ磁性膜を作製し、そのノイズ抑制効果を評価することが必要である。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等
本プロジェクトで提案した電磁ノイズ抑制シ



(a) Examples of estimated relative permeabilities of magnetic films.



(b) Electromagnetic simulation results of the ratio of loss to input power ($|P_{loss}/P_{in}| = 1 - |s_{11}^2| - |s_{21}^2|$) for MSLs with magnetic films with relative permeabilities.

Fig.2 Examples of estimated parameters.

ートの材料パラメータの推定手法は、これまで材料開発指針が不明であり、開発が困難であった超高周波数帯域のノイズ抑制体の設計指針構築のために活用できる可能性があり、今後の発展が期待される。

参考文献 (本プロジェクトの成果) :

- [1] 三上, 室賀, 田中: 日本磁気学会論文特集号, Vol. 6, No. 2, pp. 111-115, Sep. 2022.
- [2] 三上貴大, 室賀 翔, 田中元志: 電気学会マグネティックス研究会 (福山), MAG-22-124, Nov. 2022.
- [3] T. Mikami, S. Muroga, and M. Tanaka: 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2022) (Yokohama, Japan), TH3-F5-5, Nov.-Dec. 2022.
- [4] 三上貴大, 室賀 翔, 田中元志: IEEE EMCS 仙台チャプタ 学生研究発表会 (オンライン), (4), Feb. 2023.
- [5] T. Mikami, S. Muroga, and M. Tanaka: IEEE Intermag 2023 (Sendai, Japan), POA-10, May. 2022 (発表予定).

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

学術論文：

- [1] 三上貴大, 室賀 翔, 田中元志：“Co-Zr-Nb 膜を配置した MSL の磁気回路解析による回路定数の推定”，日本磁気学会論文特集号, Vol.6, No.2, pp.111-115, Sep. 2022.

国際口頭発表：

- [2] T. Mikami, S. Muroga, and M. Tanaka: “Estimation of Conductive Noise Suppression in Microstrip Line with Two Different Magnetic Films”, 2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2022) (Yokohama, Japan), TH3-F5-5, Nov.-Dec. 2022.

国内口頭発表：

- [3] 三上貴大, 室賀 翔, 田中元志：“はしご形磁気回路を用いた伝送線路上に配置した Co-Zr-Nb 膜の FMR 損失の算出”，電気学会マグネティックス研究会 (福山), MAG-22-124, Nov. 2022.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- [4] 三上貴大, 室賀 翔, 田中元志：“GA と等価回路モデルを用いた磁性伝導ノイズ抑制体の設計に関する一検討”，IEEE EMCS 仙台チャプタ 学生研究発表会 (オンライン), (4), Feb. 2023.

採択番号：R04/A08

非対称磁気渦構造を有するサブミクロンサイズ磁性体の高周波応答

[1] 組織

研究代表者：

神田 哲典（大島商船高等専門学校）

通研対応教員：

石山 和志（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

遠藤 恭（東北大学工学研究科）

室賀 翔（秋田大学理工学研究科）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

電磁波ノイズは電子機器の誤動作を引き起こすため、電磁波抑制シート等で外部からの電磁波を吸収あるいは反射することが求められる。そのために、電磁波の電界成分、あるいは、磁界成分に大きく応答する材料を用いる方法が一般に用いられ、磁界成分に大きく応答する軟磁性材料が広くその用途に用いられている。軟磁性材料とは外部磁界方向に磁化が容易に向く磁性体であり、低周波数領域においては透磁率の周波数依存性で電磁波に対する特性が決まる。一方で、5Gに代表されるGHz波帯については、強磁性体の磁化歳差運動の周波数に近づくために、その高周波電磁界応答は強磁性共鳴に大きく支配される。

磁化歳差運動とは強磁性体の磁化方向が変化する際に生じる駒振り運動のことで、その周波数は強磁性体にはたらく磁気的な様々な因子を磁界の大きさに換算した有効磁界で決まる。その因子の一つとして強磁性表面の磁荷によって決まる反磁界がある。電磁波ノイズ抑制用途にはミクロンサイズの強磁性微粒子が広く用いられているが、その内部はやや複雑な磁区構造となっている。強磁性微粒子のサイズを小さくするとその磁区構造はより単純化され、その磁界応答を制御しやすくなるため、近年、サブミクロンサイズの強磁性微粒子が注目されている。このサイズ領域で現れやすい磁区である磁気渦構造は強磁性体表面に磁荷が現れないために強磁性体内部の反磁界が非常に小さい特徴がある。我々はこの磁気渦構造に着目して、サブミクロンサイズの強磁性微粒子の高周波応答を数値シミュレーションで検討してきた。その結果、外

部磁界によって磁気渦の中心位置を変化させるとそれに伴って反磁界が大きく変化し、その歳差運動周波数が強磁性微粒子内部で幅広い周波数帯域となることが示された。

本研究ではこの計算結果に基づいて、強磁性微粒子のモデルとして微細加工によってナノサイズの強磁性ディスクを作製し、その高周波応答を評価する。特に、その磁気渦構造に着目して、反磁界分布の制御方法によって広帯域の周波数に対応する高周波電磁波応答技術の確立を目的とする。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、本プロジェクト1年目であるため、本研究のコンセプトを確認する実験に取り組んだ。具体的には、円および楕円形状の強磁性ディスクの作製とその高周波特性評価を実施した。測定試料構造を図1に示す。強磁性層として膜厚30nmのFeNi多結晶薄膜を用いた。この薄膜から微細加工プロセスを用いてディスク形状磁性体を作製した。比較として、本年度は円盤もしくは楕円状磁性体とそれらを連結させた試料も合わせて作製した。大きさは長軸の長さを2 μ mとし、短軸を1, 1.5, 2 μ mの3種類の形状とした。磁性体の間隔は縦方向横方向共に2 μ mとした。このディスク形状磁性体を配列し、磁性体上にコプラナー高周波伝送路を形成した。これらの試料は全て同一基板上で作製しているため、磁性薄膜の磁気特性は同一と考えられる。磁界印加方向は高周波伝送路の長手方向とした。ネ

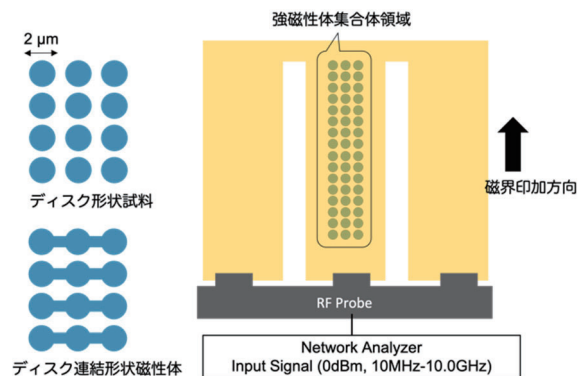


図1 測定試料構造及び測定方法

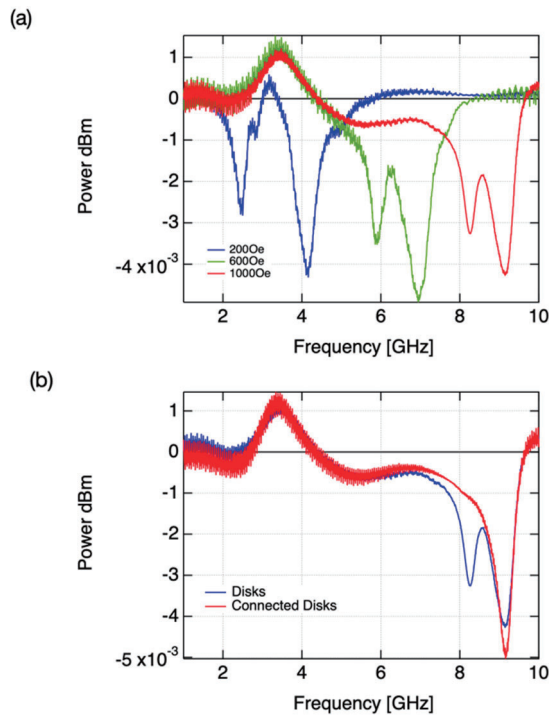


図 2 (a) ディスク形状における高周波応答の印加磁界依存性 (b) 高周波応答の磁性体形状依存性

ットワークアナライザを用いて反射電力のスペクトルを評価することで高周波応答を調べた。今回の実験においては、入力電力を 0dBm とし、1GHz～10GHz の周波数領域を評価した。代表的な測定結果を図 2 に示す。今年度は磁気渦構造の変化に伴う高周波応答の変化を調べた。その手段として、外部磁界印加によって磁気渦中心位置を変化させて内部磁界分布を変化させ、一定磁界下で周波数掃引によって高周波特性を評価した。図からわかるように、ディスク形状磁性体の場合には明瞭な周波数の異なる 2 つの吸収ピークが現れた。この結果は同一磁性体内部において、強磁性共鳴条件が 2 つ存在することを示しており、マイクロマグネティクスシミュレーションによる結果と一致する。一方、ディスク形状磁性体を連結した試料においても同様の測定を実施した。図 2(b) では外部印加磁界 1kOe における測定結果を示す。比較のため、磁気ディスクの測定結果も同時に表示している。同一測定条件において、ディスクを連結させた試料においては 1 つのピークのみが現れた。このピーク周波数はディスク形状の場合の 2 つのピークのうち、高周波側のピークと一致した。連結させた試料ではマイクロマグネティクスシミュレーションからは外部磁界印加によって磁気渦構造が消失することが示唆された。これらの結果を考慮すると、ディスク形状を連結させた試料における高周波応答の共鳴周波数は内部磁界が均一な領域の高周波応答に相当すると推

察される。ディスク形状磁性体における低周波側のもう一つのピークは磁気渦構造近傍の高周波応答を反映していると推察される。この理由は、磁気渦構造近傍ではその内部磁界の大きさは弱くなるためである。さらに、この 2 つのピーク間の周波数帯域においても反射電力が低下していることから広帯域での高周波応答が実現されていることがわかる。すなわち、本研究のコンセプトの基本的な実証ができたと考えられる。今後は、磁気渦構造の確認、磁化曲線の評価を実施してその詳細な磁気特性把握し、無磁界印加において、広い周波数応答を実現する形状の検討と実証が挙げられる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本共同研究プロジェクトでは、磁気渦構造の非対称化を利用した高周波応答の広帯域化を検討した。今年度は磁界印加によって強制的に磁気渦構造を変化させることでそのコンセプトの実証を検討した。その結果、期待された広い周波数帯域に応答する磁気特性の制御を実験的に示した。

この結果は高周波磁気応用の分野において学術的に意義深い。さらに、磁気渦構造の制御を無外部磁界条件で実現することで産業的にも重要である。一方、電源回路用のインダクタ等に代表される直流重畳特性が重要な分野においては、直流によって発生する磁界は本研究における外部磁界印加と同様の効果であると考えら得るため、より実用性が高いことも期待される。これらの検討をさらに進めることで、今後の発展が期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・なし

採択番号：R04/A09

軽元素を含む逆ペロブスカイト型金属材料の開発と スピントロニクス実用素子の作製

[1] 組織

研究代表者：

磯上 慎二 (物質・材料研究機構)

通研対応教員：

白井 正文 (東北大学 電気通信研究所)

研究分担者：

浅野 秀文 (名古屋産業科学研究所)

木村 昭夫 (広島大学 先進理工系科学研究科)

末益 崇 (筑波大学 数理物質系)

角田 匡清 (東北大学 工学研究科)

伊藤 孝寛 (名古屋大学 工学研究科)

古門 聡士 (静岡大学 工学部)

桜庭 裕弥 (物質・材料研究機構)

伊藤 啓太 (東北大学 金属材料研究所)

強 博文 (名古屋大学 工学研究科)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

磁気記録デバイスなどの高速化・省エネルギー化に関する研究は、近年ますますその重要度を増している。例えば、超高速・省エネルギー素子を実現するための新しいスピントロニクス材料の創成、試作素子における磁化反転の実証、第一原理計算と理論モデルを併用した磁気輸送特性の微視的理解が求められている。

上述の必要性を実現するために一般に行われているのは、貴金属などの重元素を利用したスピントロニクス材料開発である。これに対し我々が展開するのは、希少金属/重金属の特異な機能を豊富に存在する元素で置き換える元素代替を目指した研究であり、具体的には非金属軽元素 (B, C, N) の 2p 電子軌道と遷移金属元素の d 電子軌道との軌道混成効果といった物理化学に根差している。これは 10 年以上も前から通研共同プロジェクトの一環で我々が推進してきた着眼点であり、世界最大の室温インバーストンネル磁気抵抗効果、世界最速に迫る高速磁壁移動、希少金属フリースピン軌道トルク、スキルミオン生成などの優れたデバイス特性を多く導出してきた。近年では世界各国で研究人口が増大している状況にある。

今年度は新規採択課題の初年度であった。以前までは窒化物系に特化していたが、今年度から軽元素種を窒素から炭素にまで拡張した点、反強磁性スキルミオン物性開拓を行った点が新しい。前者の窒化物系では

相安定性の観点で実用化が難しい物質群を炭化物で代用しつつ、性能との両立を図るという新しいコンセプトに基づく。後者はスキルミオンの運動を自在操作する手法は将来的に極省エネルギー大容量ストレージ技術になると言われているため重要な意義をもつ。

研究活動は主として分担者それぞれの所属にて行うこととし、担当するデバイス実証、材料開拓を進め、下記のとおり年度末の成果報告会にて情報共有、課題創出に関する議論を行った。

(令和 4 年度通研共プロ研究成果報告会)

令和 5 年 3 月 3 日 (金) 13:00-18:45

@通研本館 M431 セミナー室

参加者数 20 名

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

(i) 遷移金属炭化物における異常ホール伝導率の増大

従来から行われてきた固相気相反応法を用いて、前駆体となる CoMn 合金膜を真空中にて浸炭させ、 $\text{Co}_2\text{Mn}_2\text{C}$ 擬単結晶薄膜を作製した。豊富に存在する軽元素の C がスピン輸送特性、磁気特性に与える影響を実証した (Fig. 1)。

結晶構造は、無秩序な面心立方構造の CoMn から、面心立方構造の $L1_0$ 規則格子中の体心位置に C が規則化する $\text{Co}_2\text{Mn}_2\text{C}$ へとマルテンサイト構造変態した。格子定数が 0.356 nm から 0.378 nm に増加した。 $\text{Co}_2\text{Mn}_2\text{C}$ 膜の C 1s X 線光電子スペクトルから、C-Co と C-Mn の混成が認められ、膜厚方向における C 濃度の傾斜がほぼ無視できることを確かめた。 $\text{Co}_2\text{Mn}_2\text{C}$ における飽和磁化の値は C の規則化、ならびに Co と Mn の規則化によって増大し、理論計算で予測される値と同等であることが確認された。ここで X 線構造解析において 0.9 程度の原子規則度が得られていることから、 $\text{Co}_2\text{Mn}_2\text{C}$ の磁気構造は理論予測どおりのフェリ磁性が安定と推察される。次に異常ホール伝導率の測定を行ったところ、CoMn 薄膜に比べて約 10 倍の増大が認められた。電流誘起スピン軌道トルク磁化反転素子において、反転対称性を破るための外部磁場を排除する技術につながる結果と期待される。また値の増大に関して、高々 1.2 倍であった飽和磁化の増大では説明ができないこと

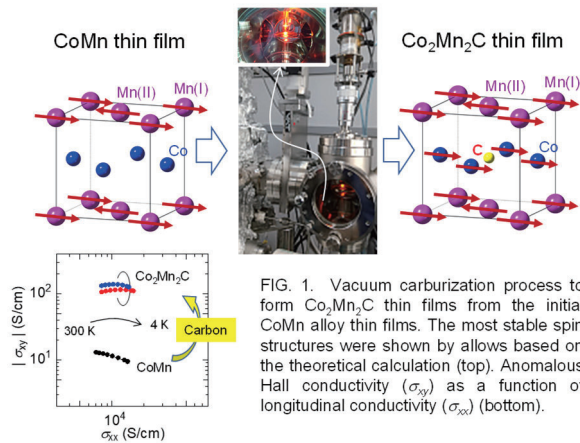


FIG. 1. Vacuum carburization process to form $\text{Co}_2\text{Mn}_2\text{C}$ thin films from the initial CoMn alloy thin films. The most stable spin structures were shown by arrows based on the theoretical calculation (top). Anomalous Hall conductivity (σ_{xy}) as a function of longitudinal conductivity (σ_{xx}) (bottom).

から、C が規則化したことによるフェルミ面近傍の電子バンド構造の影響を受けているものと推察される。

実際の第一原理計算による原子・スピン分解状態密度(DOS)を鑑みると、面心サイトのMn(II)とCoは、p-d ハイブリダイゼーションにより、C の影響を大きく受け、結果としてスピンの増強されることが判った。さらにフェルミ準位のDOSにおけるスピン分極率は約0.82と予測された。これらの結果は、Cとの軌道混成効果に起因する。以上から、Cの結晶中規則化は異常ホール伝導率の増大について有望な手法に発展するものと期待される。

(ii) 反強磁性 Mn 窒化物薄膜のスキルミオン生成

カイラル磁性体の磁気スキルミオンは次世代スピントロニクスデバイスのキーマテリアルとして期待されている。しかし主にバルク体サンプルにて実証実験が行われている上に、そのほとんどが強磁性スキルミオンに限定されている。また、室温動作スキルミオンのいくつかの報告例はスキルミオンサイズ 100 nm 以上のものに限られている。一方で、スキルミオンの微小サイズとトポロジカル的な安定性および漏洩磁場の影響を受けないことから、反強磁性スキルミオンに注目が集まりつつある。そこで本研究では、充填 β -Mn型カイラル反強磁性体 (AFM) のホール輸送とノンコリニア磁気抵抗 (NMR) を調べることで、反強磁性スキルミオン生成に関する最適化を試みた (Fig. 2)。 $\text{Co}_{2-x}\text{Pd}_x\text{Mo}_3\text{N}$ エピタキシャル薄膜をスパッタリング法にて作製し磁気・輸送特性を評価したところ、室温以上におけるキャント反強磁性の挙動に加え、 $x = 1.01 \sim 1.38$ の範囲内では高い飽和磁化を持つスピンスパイラル状態への転移を示すことを明らかにした。磁気モーメントの増大が 50 K 以下で観測され、これはスピン再配向転移に起因するものであることが判った。この低温相では、異常ホール効果 (AHE) およびトポロジカルホール効果 (THE) が観測されたが、室温近傍で得られるキャント型 AFM 相への移行に伴い

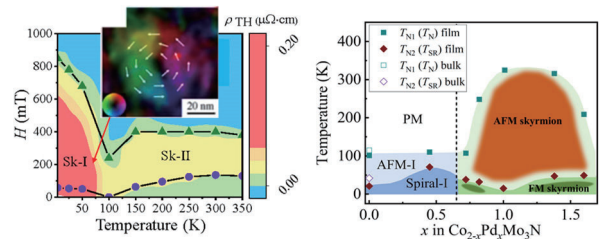


FIG. 2. Skyrmion phase diagram for FM $\text{Fe}_{2.5}\text{Pd}_{0.5}\text{Mo}_3\text{N}$ (left) and AFM $\text{Co}_{2-x}\text{Pd}_x\text{Mo}_3\text{N}$ (right). Inset in the left figure is a Lorenz-TEM image for FM skyrmion.

THE のみが消失する興味深い現象を確認した。NMR の測定で得られる信号と、消失した THE とを加味した結果、局所的に反強磁性秩序を持つトポロジカルなスピントクスチャの形成を示唆することが判った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究を通して期待されるのは、窒素に限らず高効率な磁化反転素子の実現に寄与するホウ素、炭素などの軽元素を含む化合物薄膜の開発である。本材料系にはシンプルな逆ペロブスカイト構造にて反強磁性を発現する物質が多く含まれるため、例えばデータ駆動型研究手法を用いることにより最適新材料の早急な開発につながる。また、量子情報を記憶できる大規模なストレージ技術のひとつにスキルミオン磁気構造の活用が提案されている。本材料系において既にその存在が室温かつ薄膜形態にて発見されている。以上のような高いポテンシャルを、優れたデバイス特性の導出につなげることが期待される。最終的には「軽元素を含む磁性材料」の観点で体系化させ、プロジェクトメンバー全員で取り組む大型研究に挑戦する。

派生的な国際研究体制としては、筑波大学-Spintec/グルノーブルアルプ大 (UGA, フランス) との共同研究が発足され、筑波大学-UGA とのダブルデグリープログラムに基づき、博士後期課程の学生 1 名が筑波大学に滞在している。

(大型プロジェクト)

- ・プロジェクト名：電流駆動超高速磁壁移動を実現する窒化物スピントロニクス材料
- ・資金制度、研究費名：科学研究費補助金国際共同研究加速基金 (国際共同研究強化(B))
- ・配分機関名：日本学術振興会
- ・研究期間：2019—2023 年度

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

1. S. Kokado and M. Tsunoda, “Theoretical Study on Anisotropic Magnetoresistance Effects of Arbitrary Directions of Current and Magnetization for Ferromagnets: Application to Transverse Anisotropic Magnetoresistance Effect,” *J. Phys. Soc. Jpn.* 91, 044701 (2022).
2. K. Ito, J. Wang, Y. Shimada, H. Sharma, M. Mizuguchi, and K. Takanashi, “Enhancement of the anomalous Nernst effect in epitaxial Fe₄N films grown on SrTiO₃(001) substrates with oxygen deficient layers,” *J. Appl. Phys.* 132, 133904 (2022).
3. W. Yin, K. Ito, Y. Tsubowa, M. Tsujikawa, M. Shirai, and K. Takanashi, “Anomalous Nernst effect in epitaxially grown Fe_{4-x}Ni_xN films,” *AIP Advances* 13, 025243 (2023).
4. S. Isogami, M. Ohtake, Y. Kozuka, Y. K. Takahashi, “Wide modulation of coercive fields in Mn₄N ferrimagnetic thin films caused dominantly by dislocation microstructures,” *J. Magn. Magn. Mater.* 560, 169642 (2022).
5. S. Isogami, M. Ohtake, and Y. K. Takahashi, “Impact of B-doping on topological Hall resistivity in (111)- and (110)-oriented Mn₄N single layers with the non-collinear spin structure,” *J. Appl. Phys.* 131, 073904 (2022).
6. S. Isogami, Y. Kota, H. Yasufuku, K. Oyoshi, M. Tanaka, and Y. K. Takahashi, “Carbon-induced magnetic properties and anomalous Hall effect in Co₂Mn₂C thin films with L1₀-like structures,” *Phys. Rev. Mater.* 7, 014411 (2023).
7. B. W. Qiang, T. Fukasawa, T. Hajiri, T. Ito, T. Hihara, and H. Asano, “Magnetic and transport properties of chiral antiferromagnetic Co_{2-x}Pd_xMo₃N thin films,” *AIP Advances* 13, 025138 (2023).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

1. T. Sato, S. Kokado, H. Shinya, M. Tsujikawa, A. Miura, S. Kosaka, T. Ogawa, M. Shirai, and M. Tsunoda, “Compositional dependence of anisotropic magnetoresistance effects in Weyl semimetal Co₂MnAl Heusler alloy epitaxial thin films,” *J. Appl.*

Phys. 132, 223907 (2022).

2. T. Kubota, D. Takano, Y. Kota, S. Mohanty, K. Ito, M. Matsuki, M. Hayashida, M. Sun, Y. Takeda, Y. Saitoh, S. Bedanta, A. Kimura, and K. Takanashi, “Magnetoelastic anisotropy in Heusler-type Mn_{2-δ}CoGa_{1+δ} films,” *Phys. Rev. Mater.* 6, 044405 (2022).
3. K. Ito, N. Kikuchi, T. Seki, K. Takanashi, “Perpendicularly magnetized epitaxial Co/Ni multilayers grown on Ru(0001) layers by alternate monoatomic layer deposition,” *J. Magn. Magn. Mater.* 563, 169908 (2022).
4. J. Wang, Y.-C. Lau, W. Zhou, T. Seki, Y. Sakuraba, T. Kubota, K. Ito, K. Takanashi, “Strain-Induced Large Anomalous Nernst Effect in Polycrystalline Co₂MnGa/AlN Multilayers,” *Adv. Electron. Mater.* 8, 2101380 (2022).
5. [Topics] S. Isogami, “Current Status and Perspective on Anti-perovskite Practical Spintronic Materials with Light Elements—For Example, Fe₄N and Mn₄N Thin Films—,” *Magnetics Jpn.* 17, 89 (2022).
6. [Review] S. Isogami and Y. K. Takahashi, “Antiperovskite Magnetic Materials with 2p Light Elements for Future Practical Applications,” *Adv. Electron. Mater.* 9, 2200515 (2023).
7. K. Imamura, M. Ohtake, S. Isogami, M. Futamoto, T. Kawai, F. Kirino, and N. Inaba, “Introduction of VN underlayer and caplayer for preparation of Mn₄N(001) single-crystal thin film with perpendicular magnetic anisotropy,” *AIP Advances* 13, 025110 (2023).
8. S. Noro, K. Nakano, M. Ohtake, S. Isogami, M. Futamoto, T. Kawai, F. Kirino, and N. Inaba, “Effects of Composition on the Ordered Phase Formation in Mn-Al and Mn-Ge Alloy Thin Films Grown on Cr(001) Single-Crystal Underlayers,” *IEEE Trans. Magn.* 58, 2900205 (2022).
9. B. W. Qiang, T. Fukasawa, T. Hajiri, T. Ito, T. Hihara and H. Asano, “Magnetic phase diagram and vanishing topological Hall effect in the chiral antiferromagnet Co_{2-x}Pd_xMo₃N,” *Jpn. J. Appl. Phys.* 61 120901 (2022).

採択番号 (Grant No.) : R04/A10

Japan-USA International Collaborative Research on the Theoretical and Experimental Investigation of Coulomb Drag Instability of Graphene Dirac Plasmons and its Application for THz Laser Transistors

[1] 組織 (Research Organization)

University at Buffalo, SUNY, USA

研究代表者 (Principal Investigator) :

Prof., Dr. MITIN, Vladimir

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. OTSUJI Taiichi (RIEC, Tohoku Univ.)

研究分担者 (Project Member List) :

Assoc. Prof. SATOU Akira (RIEC, Tohoku Univ.)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 3 人

[2] 研究経過 (Summary)

We build a solid basis for this proposal demonstrating that the plasmonic oscillations can substantially increase the device response [1,2] and our proposal was funded. Working on the proposed topic we demonstrated that the nonlinearity due to the Coulomb drag of quasi-equilibrium carriers by injected ballistic carriers of lateral $n^+ - i - n - n^+$ graphene field-effect transistors (GFETs) can be used for effective resonant detection of THz radiation, moreover the plasmonic oscillations in a GFET channel enables a strong resonant enhancement of the response [3]. As the resonant plasmonic detection dramatically increases the sensitivity of the terahertz detectors, we proposed detectors based on a gated graphene p-i-n (GPIN) field-effect transistor (FET) structure [4]. In the proposed device, the gated p and n regions serve as the hole and electron reservoirs and the terahertz resonant plasma cavities. The current-voltage (I - V) characteristics are strongly nonlinear due to the Zener-Klein interband tunneling in the reverse-biased i region between the gates. The terahertz signal rectification by this region enables the terahertz detection. The resonant excitation of the hole and electron plasmonic oscillations results in a substantial increase in the terahertz detector responsivity at the signal frequency close to the plasma frequency and its harmonics. Because of the transit-time effects, the GPIN-FET response at the higher plasmonic modes could be stronger than for the fundamental mode. Our estimates predict the detector responsivity up to a few 10^5 V/W at room temperature [4], much larger than for other electronic terahertz detectors, such as Schottky

diodes, p-n junctions, Si CMOS, and III-V and III-N HEMTs. The obtained results were presented at four conferences [C-1—C4]. Two of those presentations were invited talks [C-1,C-2]. The success of our collaboration is well presented in our review paper [5]. Some results are highlighted below in the short texts, Figures and Figure captures. The details are in papers [1-5] and report at conferences [C-1—C-4]

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

We demonstrated that the nonlinearity due to the Coulomb drag of quasi-equilibrium carriers by injected ballistic carriers of lateral $n^+ - i - n - n^+$ graphene field-effect transistors (GFETs) can be used for effective resonant detection of THz radiation, moreover the plasmonic oscillations in a GFET channel enables lead to a strong resonant enhancement of the response [3]. Figure 1 shows the structure of the graphene field-effect transistors (GFET). The positive dc voltage V_g forms the n-region. Apart from the dc bias component V , the source-drain voltage comprises the ac signal component $\delta V_\omega(t) = \delta V_\omega \exp(-i\omega t)$ produced by incident radiation of frequency ω received by an antenna, where δV_ω is the component amplitude. As a result, the net source-drain current J includes the dc component J , the ac component δJ_ω (including the fundamental and higher harmonics), and the rectified component ΔJ_ω .

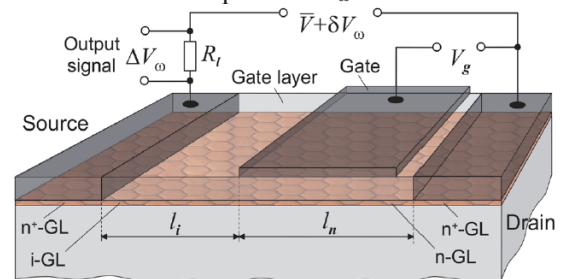


FIG. 1. Schematic view of a lateral $n^+ - i - n - n^+$ GFET with a ballistic i -region and a gated n -region using the Coulomb electron drag in this region.

Figure 2 demonstrates strong enhancement of responsivity of GFET at frequencies corresponding to frequency of plasmonic oscillations $\Omega/2\pi$.

Notations for the Table 1: l_i and l_n are shown in

Fig.1, d is the gate layer thickness, ν is the frequency of the electron scattering in the n-region, α is the quasi-equilibrium electrons viscosity, μ_n is Fermi energy, κ is dielectric constant, b is the drag parameter, Ω frequency of plasmonic oscillations.

TABLE I. GFET parameters.

	$l_p(\mu\text{m})$	$l_n(\mu\text{m})$	$d(\mu\text{m})$	$\nu(\text{ps}^{-1})$	$\alpha(\text{cm}^2/\text{s})$	$\mu_n(\text{meV})$	κ	b	η	$\Omega/2\pi(\text{THz})$
GFET(a)	0.1	0.75	0.05	1.0	500	37.5	6	2.52	8.4	0.790
GFET(b)	0.1	0.75	0.05	1.0	500	37.5	4	2.52	8.4	0.876
GFET(c)	0.1	0.5	0.05	1.0	500	50	4	2.43	16.8	1.52

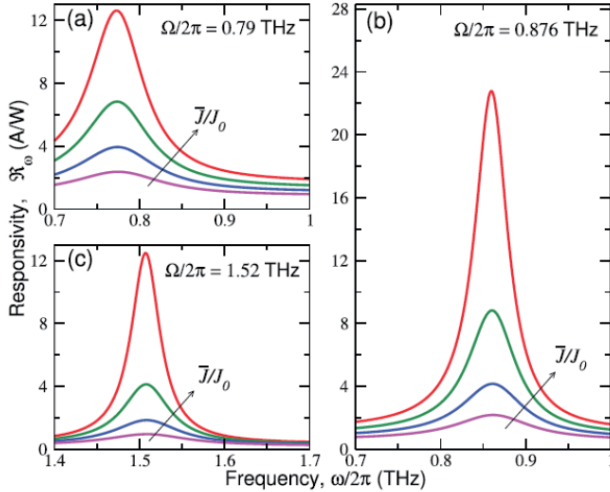


FIG. 2. Frequency dependence of the responsivity \mathcal{R}_ω of GFETs (a)–(c) with different plasma frequencies $\Omega/2\pi$ and other parameters given in Table I for different normalized dc current J/J_0 (varying from 0.7 to 1.0).

As the resonant plasmonic detection dramatically increases the sensitivity of the terahertz detectors, we proposed detectors based on a gated graphene p - i - n (GPIN) field-effect transistor (FET) structure [4]. In the proposed device, the gated p and n regions serve as the hole and electron reservoirs and the terahertz resonant plasma cavities. The current-voltage (I - V) characteristics are strongly nonlinear due to the Zener-Klein interband tunneling in the reverse-biased i region between the gates. The terahertz signal rectification by this region enables the terahertz detection. The resonant excitation of the hole and electron plasmonic oscillations results in a substantial increase in the terahertz detector responsivity at the signal frequency close to the plasma frequency and its harmonics. Because of the transit-time effects, the GPIN-FET response at the higher plasmonic modes could be stronger than for the fundamental mode. Our estimates predict the detector responsivity up to a few 10^5 V/W at room temperature [4], much larger than for other electronic terahertz detectors, such as Schottky diodes, p - n junctions, Si CMOS, and III-V and III-N HEMTs.

Figure 3 shows the gated graphene p - i - n (GPIN) field-effect transistor (FET) structure with the electrically disconnected gates and the potential profile in the GPIN-FET channel at the dc

condition (inset) when the bias voltage is applied between the side (source/drain) contacts.

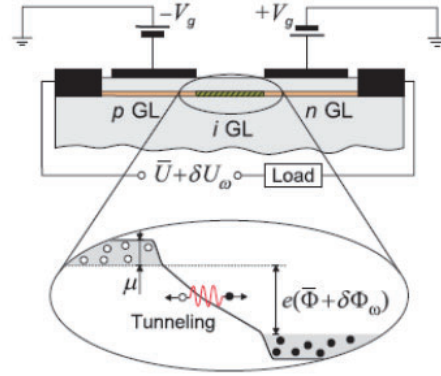


FIG. 3. Schematic view of the cross sections of the GPIN-FET structure cross section with gated electrostatically doped p and n regions in the GPIN-FET channel. Inset shows the potential profile in the channel.

We calculated the plasmonic frequencies for several devices and the ac rectified component ΔJ_ω^i and responsivity of the GPIN-FET. The rectified current components, exhibit two pronounced maxima (in the frequency range under consideration, $\omega/2\pi \leq 4$ THz). The first maximum corresponds to the signal frequency close to the gated regions plasma frequency. It is obviously related to the excitation (by the incoming signal) of the fundamental mode of a standing plasma wave with the wave number $q_1 \approx \pi/2L$ and the maximum amplitude at the ends of the i -region, $x = \pm l$, having the opposite phases. The collisional damping of these plasma oscillations results in lowering of the plasma resonance peaks. The second resonant peaks correspond to the excitation of the plasmonic mode with the wave number $q_3 \approx 3\pi/2L$. It is instructive that **the peaks associated with this mode can be higher than those related to the fundamental mode.**

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc.) In the collaboration the theory of new and efficient THz devices was developed. This is an important contribution to terahertz devices in general and especially to plasmonic enhancement of device performance and it places the group of Prof. Taiichi Otsuji on the front line of world specialists in THz devices that operate at elevated temperatures. In our future research a special attention will be paid to enhancement of efficiency of graphene-based devices and search for new operation principals.

[4] 成果資料 (Publications are attached in the file of References)

採択番号：R04/A11

ポスト 5G 基地局に向けたダイヤモンド高周波高出力素子 および回路の開発

[1] 組織

研究代表者：

金子 純一（北海道大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

星川 尚久（北海道大学大学院工学研究科）

榊村 匡史（北海道大学大学院工学研究科）

梅沢 仁（産業技術総合研究所関西センター）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

GaN や Ga₂O₃、ダイヤモンドなどのワイドギャップ/ウルトラワイドギャップ半導体は高い絶縁破壊電界により、超微細ゲート長素子でも高い電圧での駆動が可能であるため、5G/ポスト 5G 基地局用素子として期待されている。

特にダイヤモンドは表面を水素で終端することにより p 型の二次元キャリアガス層である“表面伝導層”が形成されるため、ゲート長の微細化に有利であり、70nm のゲート長のトランジスタ動作が確認されている[1]。

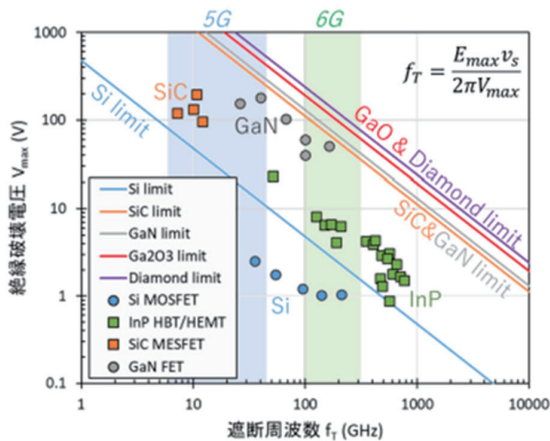


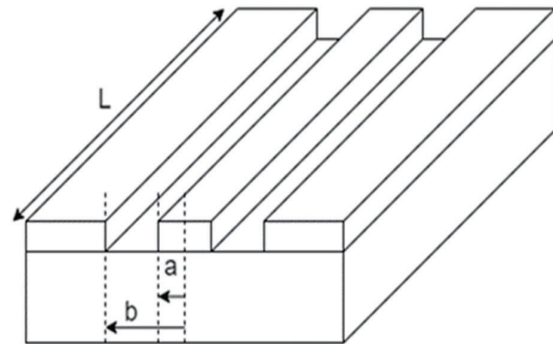
図 1 ワイドギャップ/ウルトラワイドギャップ半導体の JFoM(Johnson's Figure of Merit)

また、ダイヤモンドは物質中最大の熱伝導率 (2200W/mmK) により A 級や AB 級動作により発生した熱を効率的に抜熱し、温度上昇を防ぐことが可能である。

上記メリットを検証するため、本研究ではダイヤモンド半導体素子をポスト GaN デバイスと位置づけ、ポスト 5G 基地局デバイスの実用化を目指した研究を行った。

過去に作製した高周波ダイヤモンドトランジスタについて議論を行ったところ、高周波帯における信号増幅を行うためには、トランジスタの引き出し線路の特性インピーダンスを制御する必要があるという考えに至った。

特性インピーダンスが 40Ω, 50Ω, 55Ω, 60Ω となるように伝送線路を設計した。



Z ₀ [Ω]	a [μm]	b [μm]
40	10.0	11.5
50		14.0
55		15.5
60		17.5

図 2 伝送線路の模式図と寸法

ダイヤモンド上にリソグラフィプロセスを用いて伝送線路を作製した。

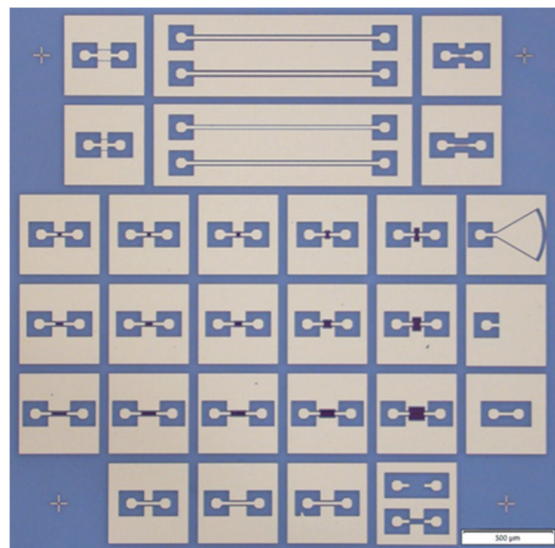


図 3 ダイヤモンド上に作製された伝送線路

特性インピーダンスの評価はベクトルネットワークアナライザを含んだ測定体系にてSパラメータを取得することで行った。

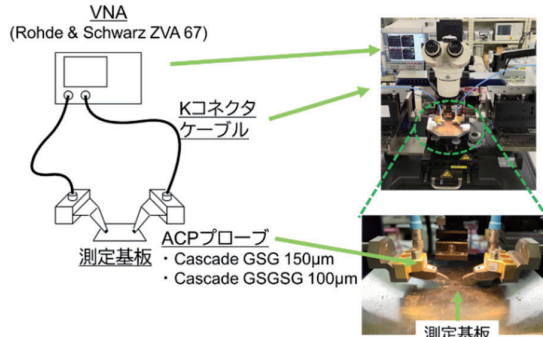


図4 特性インピーダンスの評価体系

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

各伝送線路のS11を測定したところ、おおよそ設計通りの特性インピーダンスとなっていることが確認された。

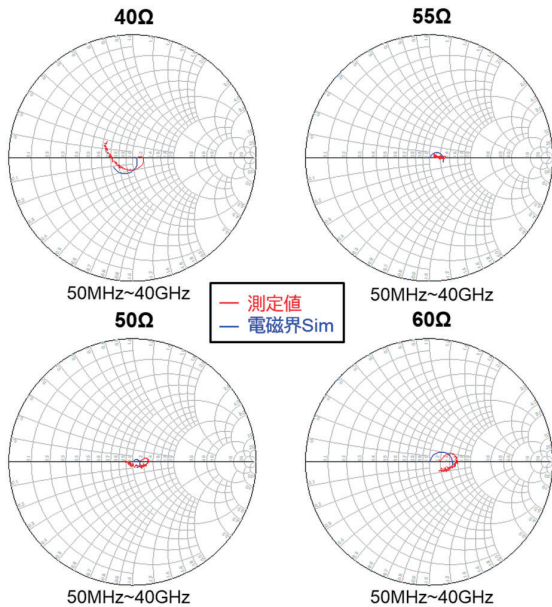


図5 各伝送線路のS11 (赤線が実測値、青線は電磁界シミュレーション)

各伝送線路のS21を測定したところ、周波数が高くなるにつれて損失が大きくなる傾向や位相回転はシミュレーション通りであった。電磁界シミュレーションと測定値の差は伝送線路と測定プローブとの接触抵抗によるものと考えられる。

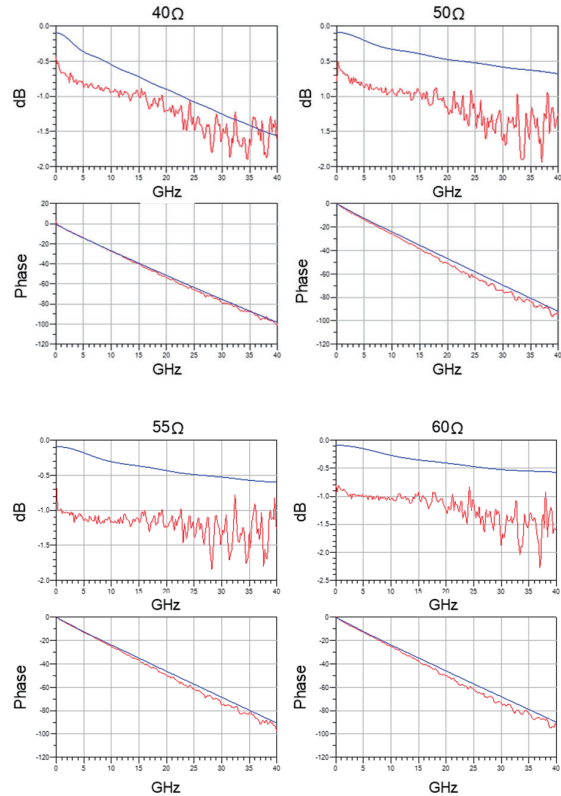


図6 特性インピーダンスの評価体系 (赤線が実測値、青線は電磁界シミュレーション)

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

ダイヤモンド高周波素子および回路の開発を行う中で、インピーダンスマッチングを行うのに必要な整合回路素子をダイヤモンド基板上に作る必要性が明らかになった。ダイヤモンド上に金属のパターンを作製し、容量成分やインダクタンス成分を作製することで高周波特性の発展が見込める。

本研究は国立研究開発法人情報通信研究機構(NICT)の「Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け未利用周波数帯活用型の無線通信技術の研究開発」につながった。

[4] 参考文献

[1] H. Umezawa et al., MRS Proceedings, vol. 680, E8.2 (2011)

採択番号：R04/A12

多感覚情報を用いた自己感の制御に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

田中 章浩（東京女子大学現代教養学部）

通研対応教員：

坂本 修一（（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：4人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

「自己とは何か」という問いに対して、現象学的哲学者のショーン・ギャラガーは、ミニマル・セルフ、すなわち自己を構成する最小限の要素という視点から、身体所有感（sense of ownership）と自己主体感（sense of agency）という2種類の自己感（sense of self）を定義した。身体所有感とは、「この身体は私のものである」という感覚のことである。自己主体感とは、「この行為を引き起こしたのは私である」という感覚のことである。どちらも当たり前のように感じられるかもしれないが、こうした感覚が希薄な人も存在するし、また実験操作によってこうした感覚を変容させることもできる。身体所有感と自己主体感はヴァーチャル・リアリティ（VR）において没入感を得るために重要である。そこで本研究では、身体所有感と自己主体感を変容させる手法について、いまだ明らかにされていない以下の問題について検討する。

- 1) 自分の声に対する所有感と主体感を変容させる手法を検討する
- 2) 身体所有感に関する錯覚を多感覚情報によって増強する手法を検討する
- 3) 自己主体感を社会的刺激の感覚フィードバックによって変容させる手法を検討する

本プロジェクトは、平成28～30年度に共同プロジェクトとして採択された「音声の感性情報から人間の認知・行動を制御する通信システムの研究」、および令和1～3年度「マルチモーダル感情誘発システムに関する研究」の延長として位置づけられる。本プロジェクトでは身体所有感・自己主体感に着目して、感情や感性情報に限定せず、VRや他の通信システムにおける没入感や臨場感を高める手法を検討する。研究体

制はこれまでの共同プロジェクトにおける体制を継続することで、スムーズな連携が可能である。なお、上記研究課題1～3はいずれも申請者の研究室において研究を開始しており、受入研究者との連携によって、とくに聴覚情報処理に関する部分で研究の進展が期待できる。

1年目にあたる令和4年度は上記研究課題1が進展し、ヘリウムを用いてリアルタイムに普段とは異なる声をフィードバックする手法の有効性を確認することができた。メールでの打ち合わせに加えて、2023年2月の研究打ち合わせには4名が参加し、今年度の実験の結果について議論した。また、共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表し、今後の研究展開、実験結果の応用可能性について議論した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

問題・目的

私たちは日常から、自分と他人の区別を行っている。例えば、動画に映っている人物が自分なのか他人なのか、あるいは、動画から聞こえる音声が自分の声なのか他人の声なのか、といったことを区別できる。自他の区別には、自分の身体を他から切り離して認識し、それが自分のものであるという感覚（身体所有感）を持つことが必要である。

自他の境界は実験的に変化させることが先行研究から報告されている。顔の自分と他人の境界が変化し、他人の顔が自分の顔のように感じられる錯覚として、エンフェイスマントと呼ばれる現象がある。先行研究では、実験参加者に正面のモニタに映る他人の顔が撫でられる様子を観察させた。この間、参加者の顔をモニタに映る他人の顔と同期して撫でた。続いて、参加者の顔と他人の顔画像をモーフィングし、他人の顔が徐々に参加者自身の顔に変化する動画を呈示し、自分の顔になったと思うところで動画を停止させると、撫でられた後には、自他の顔の境界が他人寄りにシフトすることが示された。

本課題では、自分と他人の顔の境界がシフトするのと同様に、自分と他人の声の境界もシフトするのかどうかを検討した。具体的には、実

験参加者の発話と同時に他人の声をフィードバックし、自己の発話に対して他人の声がフィードバックされる状況に順応させ、「これが自分の声である」という感覚（声の所有感）の変化について検討した。

方法

実験は、①録音フェーズと②実験フェーズの2つのフェーズから構成された。②の実験フェーズでは、あらかじめ録音した実験参加者自身の音声を刺激として使用した。そのため、実験フェーズに参加する前に、実験者が音声を収録した。実験フェーズでは、a) 音声評価セッションとb) 順応セッションを行った。音声評価セッションは順応課題の前後に1回ずつ実施した(a→b→a)。これは、声質を変化させた自分の声を何度も聞く「順応」による効果を見るため、これをする前と後とで、音声の評価がどのように変化するかを確認するためである。この流れを2日間に分けて行った。音声評価セッションでは、録音フェーズで取得した実験参加者自身の通常声、実験参加者自身のヘリウム声、これらをモーフィングした声(2種類の音を合成し、中間の音を11段階作成)を聴覚刺激として呈示し、実験参加者が、それぞれの音声をどの程度自分の声だと感じたかを測定した。順応セッションでは、参加者に文章を読み上げさせた。この際、そのまま読み上げを行うか、あるいはヘリウムを含む混合ガスを吸引したのちに読み上げを行うかの2条件を設定した。

結果・考察

参加者ごとに得られた評定値の最低得点と最高得点の中間を自他の境界であると定義し、主観的等価点(PSE)を算出し、順応声とテスト前後の別に平均を算出した(図1)。順応声(ヘリウム声、通常声)×テスト時期(プレ、ポスト)の2要因分散分析の結果、順応声×テスト時期の交互作用が有意であった($F(1, 9) = 10.11, p = 0.011$)。通常声条件ではプレよりポストのほうが所有感が上昇するのに対し($F(1, 9) = 11.13, p = 0.009$)、ヘリウム声条件ではプレよりポストのほうが所有感が低下した($F(1, 9) = 5.81, p = 0.039$)。

これらの結果は、自分と他人の顔の境界がシフトすると同様に、自分と他人の声の境界もシフトすることを示している。また、具体的な実験手法として、ヘリウム声のフィードバックが有効であることが判明した。

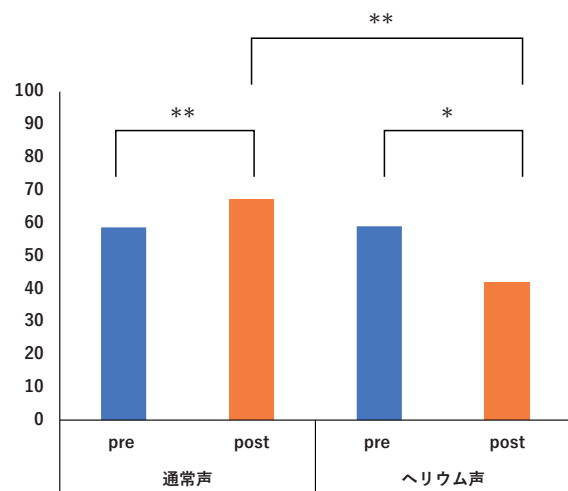


図1：通常声およびヘリウム声への順応前後における声の所有感の変化

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

人間が各種の感覚情報から身体所有感および自己主体感を得る仕組みと、それらの感覚を変容・増強させる手法を心理実験によって検討することで、VR等において身体所有感・自己主体感を任意の強さに制御できる通信システムの設計指針を得られる。

本プロジェクトは、東北大学および東京女子大学の2大学による共同研究体制の継続に貢献している。プロジェクトには若手研究者が多数参加しており、育成につなげると同時に、研究者ネットワークの拡大に貢献している。

本プロジェクトで得られた新たな人間情報処理計測技法や、身体所有感と自己主体感を変容させる手法をもとに、将来的には自己感を自在に制御できるVR技術の開発・実装に結びつくことが期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

1. 田中章浩(著) (2022). 顔を聞き, 声を見る: 私たちの多感覚コミュニケーション. 共立出版.
2. Oya, R., & Tanaka, A. (in press). Touch and voice have different advantages in perceiving positive and negative emotions. *i-Perception*.
3. Oya, R., & Tanaka, A. (2022). The interaction of emotional information from the voice and touch. *Acoustical Science and Technology*, 43(5), 291-293.
4. Diana, F., Kawahara, M., Saccardi, I., Hortensius, R., Tanaka, A., & Kret, M. (2022). Implicit and explicit attitudes towards artificial agents: a cross-cultural comparison. *International Journal of Social Robotics*, <https://doi.org/10.1007/s12369-022-00917-7>
5. Oya, R., & Tanaka, A. (2022). Cross-cultural similarity and cultural specificity in the emotion perception from touch. *Emotion*. Advance online publication.

採択番号 (Grant No.): R04/A13

Exploring and designing interactions for VR headsets using smartphone interfaces

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

BOUSTILA Sabah (Manchester Metropolitan University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Kazuki Takashima

研究分担者 (Project Member List) :

Dominique Bechmann (University of
Strasbourg)

Kazuyuki Fujita (RIEC)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) : 7人

[2] 研究経過 (Summary)

The purpose of this collaborative project is to further expand our previous studies by investigating a range of interactions with smartphone interfaces for several dominant in-VR tasks beyond text typing. More specifically, we plan to (i) explore interaction aspects on smartphone interfaces for the different possible interactions in VR including, navigation, manipulation, selection, and (ii) evaluate the user experience and interaction performance compared to other VR controllers and accordingly (iii) define interaction standards or guidelines for VR interactions using SIs.



Figure1: In-VR text typing interface using smartphone touch screen with confirm-on-release paradigm (visual cues)

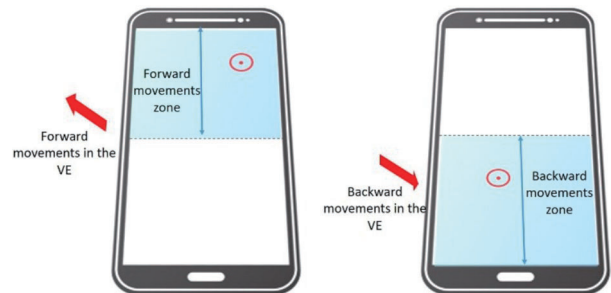


Figure2: smartphone interfaces zones for locomotion. The user's finger should touch any location on the upper zone to move forward (left smartphone) or any location on the lower zone to move backward (right)

This year, PI and RIEC had frequent discussions over emails and video conference system. Specifically, we argued our research platform creation and another research funding application to expand this project.

Then, we could successfully setup the research platform using a HMD and smartphone using this project's budget. The next goal is to prepare software to achieve the research plan and that PI will physically visit the RIEC to perform fine-tuning of the platform and run user-study. We also successfully obtained another funding (Daiwa Anglo-Japanese Foundation) that would significantly expands this collaboration. It can be considered as a result of this RIEC collaborative research project, and allows Kazuki Takashima (RIEC collaborator) to visit Manchester to expand the current project.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

The main results from this year's collaborations are as flows

- Had frequent discussions over emails and Google Meet system.
- Setup the research platform by an HMD and a foldable Android Smartphone
- Prepare the initial software to run experiential system.
- Formulate the further steps for the next two years.
- Got a Research funding (DAIWA Anglo-Japanese foundation) would deepen this collaboration from the next year.
-

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
(Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to
Related Research Fields etc)

This collaborative research project will be continued next year by using the same scheme of the RIEC Nation-wide Cooperative Research Projects or other related project. The expected outcomes of the project are twofold:

- A. Fix the software to design various interactions using our research setup.
- B. Run an initial study to access our basic idea and design.

The future impact of this work will be significant specifically in terms of establishing compact-mobile HMD setup that would be more promising in office environment or transportation (e.g., airline) than the current setup with game-oriented hand-held controllers. This work would contribute the new style of HMD and office VR applications.

参考文献 (References)

- [1] S. Boustila, T. Guégan, K. Takashima and Y. Kitamura, "Text Typing in VR Using Smartphones Touchscreen and HMD," 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), 2019, pp. 860-861, doi: 10.1109/VR.2019.8798238.
- S. Boustila, M. Ozkan, and D. Bechmann. 2020. "Interactions with a Hybrid Map for Navigation Information Visualization in Virtual Reality". In Companion Proceedings of the 2020 Conference on Interactive Surfaces and Spaces (ISS '20). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 69–72. DOI:<https://doi.org/10.1145/3380867.3426219>

[4] 成果資料 (Publications)

N/A

採択番号：R04/A14

オンライン視覚心理物理実験・モデル共有環境の構築

[1] 組織

研究代表者：酒井 宏
 (筑波大学)
 通研対応教員：塩入 諭
 (東北大学電気通信研究所)
 研究分担者：

内川恵二 (東京工業大学)
 小川 正 (京都大学)
 村上郁也 (東京大学)
 宇賀貴紀 (山梨大学)
 河原純一郎 (北海道大学)
 西田眞也 (京都大学)
 一川 誠 (千葉大学)
 石井雅博 (札幌市立大学)
 佐藤俊治 (電気通信大学)
 我妻伸彦 (東邦大学)

他東北大研究員・学生 10名
 筑波大学学生 2名
 延べ参加人数：24人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

感覚・知覚・認識機能は生物学的意味でも、社会的意味でもっとも重要なもののひとつである。生理学・心理学・工学を始め様々な取り組みによって、その理解とモデル化が進んでいるが、断片的・局所的なものが多く全体の理解にはほど遠い。本研究では、研究が進み、学際的にも広がりを持つ視覚機能に着目し、その理解促進のためのオンラインをベースとした心理物理実験及びモデルの共有システムのあり方について検討した。視覚心理実験・認知実験は、オンライン化によって多数の被験者を対象とした大規模な実験を容易に行うことを可能にする技術が提案されつつある。しかし、オンライン実験・モデルのいずれでも、各研究者が独自の技術とノウハウによってハンドメイドで作るか、専門組織に依頼する現状がある。それらは一般に共通の環境をもたないため、他者による改良が困難で、相互関連を検討することにも困難が伴う。本研究では、多様な視覚機能の研究において、多数の研究者間で実験の共有とデータ・ドライブンな議論を可能にすると共に、さらにそれら視覚機能を共通のフレーム

ワークの上に構築可能として総合的に視覚を理解するための共通環境利用の実質化をめざした。

担当者数名間でweb会議を複数回実施して、実際の具体的な心理実験・モデルを取り上げてその概略と方針について議論をした。塩入研では心理実験、酒井研ではモデル実験と、実際に離れた場所において共同作業をすることによって、心理実験とモデル実験の共有に際して必要とされる事項について検討した。特に、注意に関わる心理実験による現象の把握、モデル実験による皮質対応の仮説提案、仮説検証のための心理実験、さらにその結果についてのモデルによる解析、という実験とモデルの流れを実際に検討し、有用な実験・モデル共有環境に必要とされる事項を検討した。さらに、平成5年2月28日に研究代表・分担者8名及び関係研究者数名が参加してweb会議を開催して、それぞれが専門とする心理実験・モデル実験の実際について紹介した。これを基に、共有環境構築に重要な事項及び利用可能なリソースについての情報交換と議論を行った。

視覚心理実験環境に関しては、多様な視覚実験刺激および実験手続きに対応できる構築環境である PsychoPy, Psychlops, PsychoPy3, jspsych などの適用可能性を検討した。モデル環境に関しては、視覚経路における階層構造モデル、入力刺激に対する基本的な応答を推定することができるモデル環境について検討した。プラットフォームとしては、神経科学分野の研究者に広く使われている MATLAB ベースの環境を利用した視覚処理モデル環境を取り上げて検討した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

実際の心理実験・モデルとして、自発的注意に関する研究をケース・スタディとして取り上げて、環境構築の方針について議論をした。まず、注意変化にともなってどのようなダイナミクス変化が起きえるかを理解するために、数百の発火神経細胞群のモデル実験を行った。この結果、注意信号に依存してダイ

ナミクスが変化する現象を再現できることが判った。特に、反応強度が高いほど、その出現頻度が低いという神経雪崩理論に合致した傾向が観察され、その程度(冪乗値: power exponent)が注意変更によって変化することが示された(図1)。そこで、この現象に対応する脳活動を計測することを心理実験と EEG 計測によって試みた。自発的に注意を移動させる前後に、全頭(19ch)から EEG を記録した(図2)。記録を解析したところ、注意移動の直前にダイナミクスが変化していることが判った。具体的には、全頭を対象にして、活動の持続時間、活動が観察された地点数の累積頻度を、注意移動時を起点とした経過時間の関数として求めた。この結果、活動時間が長い程、発生頻度は低いという神経雪崩理論に合致した傾向が観察された(図3)。また、活動地点数が多い程、その発生頻度が低いことも観察された。このダイナミクスを PE で代表したところ、持続時間・活動地点数ともに、注意移動の経過時間に依存して変化することが判った(図4)。特に、注意移動よりも 1.4 秒程度前に、PE が上昇することが判った。このことは、注意移動直前に活動が上昇する傾向を示す。また、注意移動のタイミングを注意移動の発生前に検出できる可能性を示唆する。

一連の心理実験は東北大学、解析およびモデル実験は筑波大学と、遠隔で行われた。この遠隔連携研究によって、心理実験の再現・実験とモデルの連携など、オンライン共有環境に必要な事項について理解が進んだ。これらを基に、心理実験環境については、塩入が中心となって、オンラインベースで共用・拡張が容易な環境に必要な十分な仕様を検討して前駆的な環境構築を行った。モデル構築環境の実現のために酒井が中心となって前駆的な環境構築を行った。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

多様な実験分担者・参画者は、環境仕様に関する情報提供及びユーザーとしてそれぞれが専門とする多様な実験・モデルについて適用の提案・課題抽出・評価を行った。多様な実験を実施している研究分担者らとの情報交換・議論によって、多くの研究者が利用できる視覚モデルのデザインの方向性を示すことができた。研究成果の蓄積、構造化において飛躍的な協調的発展が期待できる。視覚機能の研究において報告する心理物理実験や生理実験の機能検討に資することのできる、オープンで基礎を共有する実験環境とモデル環境を構築することによって、研究者間のデファクトスタンダードを提供し、タイムリーで齟齬のない議論と相互検証を可能

にする効果が期待できる。さらに、多くの最新の実験・モデルが多くの人に利用できる環境も整うため、映像技術への貢献も期待できる。

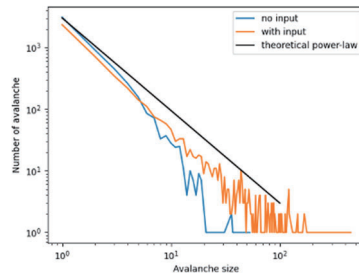


図1 Spiking neuron モデルによるダイナミクス変化の再現。注意による冪乗値(PE)の変化が示唆された。

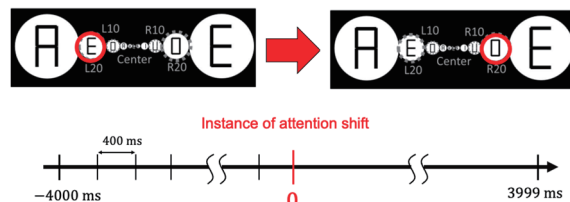


図2 心理実験のパラダイム。被験者が自発的に注意を移動させる前後4秒間に EEG(19ch)を記録した。

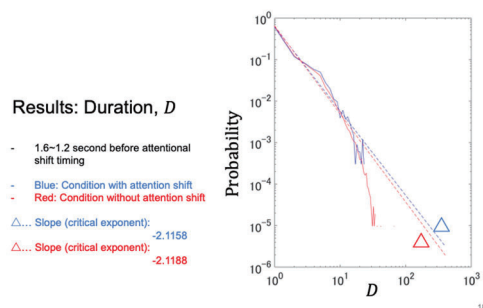


図3 EEG 解析。活動持続時間(D)の累積分布。長く続く活動は頻度が少ない。冪乗値(PE)をダイナミクスの指標とした。PE は時間経過に依存して変化した。

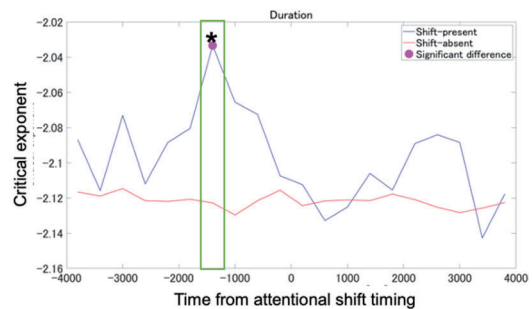


図4 EEG 活動持続時間のダイナミクス (power exponent) の時間変化。自発的注意移動の 1.4 秒前にダイナミクスが変化していた。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

Correlation between neural responses and human perception in figure-ground segregation.

M. Shishikura, H. Tamura, and K. Sakai (2023)
Frontiers in Systems Neuroscience, 12 January 2023, Volume 16 – 2022; doi:
10.3389/fnsys.2022.999575

Dimensionality of the intermediate-level representation of shape and texture in monkey V4.

A. Kodama, K. Kimura, and K. Sakai (2022)
Neural Networks, Vol. 153, 444-449

Figure-ground responsive fields of monkey V4 neurons estimated from natural image patches.

K. Kimura, A. Kodama, M. Shishikura, Y. Yamane and K. Sakai (2022)
PLoS ONE, 17(6):e0268650, 2022,
doi:10.1371/journal.pone.0268650

Testing the effect of display organization in the collinear search impairment.

L. Jingling and S. Shioiri (2022)
Perception, vol. 51, no. 9, pp. 658-671

Visual attention around a hand location localized by proprioceptive information.

S. Shioiri, T. Sasada, and R. Nishikawa (2022)
Cereb Cortex Commun, vol. 3, no. 1, p. tgac005, 2022, doi: 10.1093/texcom/tgac005.

Critical brain states related with self-initiated attentional shift.

W. Wu, K. Kobayashi, D. Hou, S. Ono, Y. Sato, Y. Hatori, C. Tseng, S. Shioiri (2022)
Journal of Vision 22 (14), 3883-3883

採択番号：R04/A15

学習時の注意推定に関する研究

[1] 組織

[代表者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

対応者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

分担者：YUEH, Hsiu-Ping

(国立台湾大学)

分担者：Wei jane Lin

(国立台湾大学)

分担者：満上 育久

(広島市立大学)

他東北大研究員、学生5名

国立台湾大学教員1名

延べ参加人数：8人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本研究では、特定の課題の学習時の学習者の認知・行動特性を計測し、学習行動のAIクローンを構築することを目的とする。学習内容として分担者 Yueh らの開発した自己学習教材を利用し、対象とする認知特性・行動特性としては、計測結果に基づく無意識的判断も含めた多様な分析を計画した。2021年度の研究により、暗算時の注意状態を顔表情から推定できることから、2022年度は、脳活動との関連について調査した。前年度と同様の暗算実験を実施し、暗算中に課題と無関係な音刺激を与え、それに対する脳波、事象関連電位(Event Related Potential)を計測した。ERPの振幅は注意を向けることによって増大することから、ERPを用いることで注意レベルを推定できる。計測するERPは課題に関係ない音刺激に対するものであるから、課題への集中度が高いほど、ERP振幅は低下することになる。脳波によって注意状態を推定することで、注意の客観指標を得ることができる、それを顔表情によって推定することがこの研究の目的であり、そのために暗算中に音情報に対するERPと顔画像の計測する実験を実施した。

実験結果の分析として、まず昨年度と同様に、顔表情による暗算時間の推定を実施した。昨年度の結果と同様で、顔表情による集中度に関連する心的過程の

推測が可能であることを示した。

ERPについては、課題を実施していない条件に比べて、暗算中では振幅が小さくなるのが期待できる。実際、統制条件として設定した音刺激に注意を向ける条件でのERPは、暗算時に比べて振幅が大きい子をと確認することができた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

実験は前回(昨年度)と同様に、学習者の認知行動予測システムを想定した実験を行なった。課題は、3桁か4桁の数字の間の加減算の暗算であり、顔映像と脳波の計測を行った(図1)。顔映像は、顔表情から学習時の心的過程を推測するためであり、脳波は、課題と無関係の音刺激に対する注意を推測するためである。課題非関連刺激への注意は、課題への注意が高いほど低くなると考えられることから、課題非関連刺激への注意から課題に対する注意が推定できる。

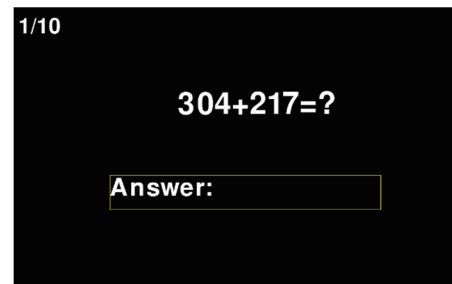


図1 実験課題は、ディスプレイ表示の加減算を暗算で実施するものである。

19名の各被験者(平均年齢23歳)に対して課題は300問実施した。課題非関連の音刺激は、2-5秒の間隔で再生される100msの音刺激(1000Hz, 矩形波)であり、ヘッドホンを通して呈示した。被験者は暗算中に集中し、音刺激は無視するように指示された。

顔映像から顔の特徴やその組合せによる表情予測が可能であることを確認し(図2)、検出された特徴と課題遂行との関連を検討した。

先行実験と同様に、顔特徴を利用し課題に対する集中度の指標として回答に要した時間と正答率を推定するために、機械学習(LightGBM)による予測を行った。図3に回答時間、図4に正答率の予測を示す。回答時間に関しては推定値と実測値の間に相関が認められ、また正答率の予測はROC曲線の下部の面積の指標(AUC)で0.68程度であった。したがって問題解決に対する

心的負荷の大小が顔表情から推測出るという先行実験の結果を支持する結果が確認された。

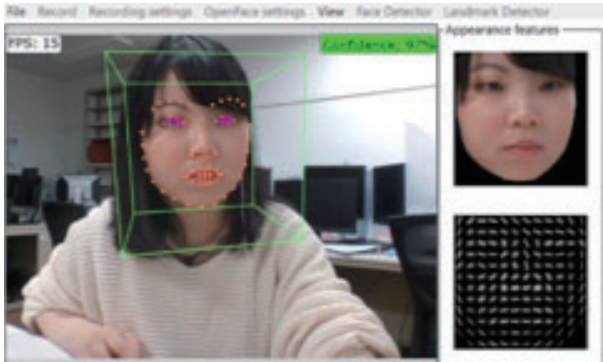


図2 OpenFaceによる顔特徴の解析。眼、眉、鼻、口、顔輪郭などに関連する特徴点の検出。直方体(青で表現)によって推定された頭部方向を表す。視線方向も推定される。

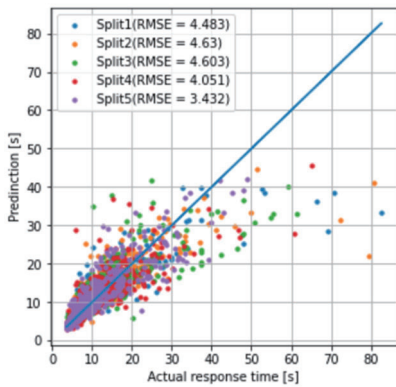


図3 回答に要した応答時間の予測。横軸が計測値であり、縦軸は機械学習による予測値。

次に脳波の分析結果について述べる。暗算中のERP脳波の平均を図5に示す。この平均波形を利用して、各音刺激呈示に対するERPの大きさを評価した。平均波形との相関の大小によってその振幅の大小が評価できるため、各刺激提示に対する注意状態の大小を推定できることになる。

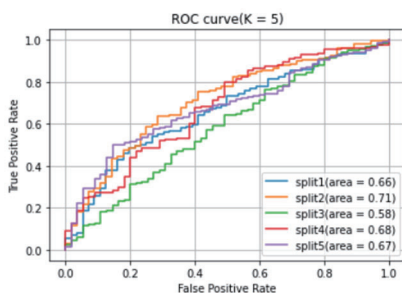


図4 解答の正誤を予測したROC曲線

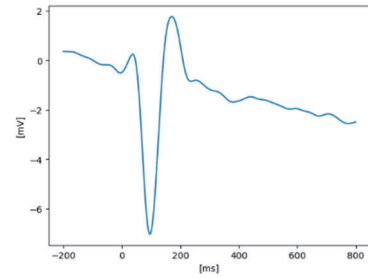


図5 課題に無関連な音刺激に対する事象関連電位m、ERP 応答の全被験者の平均値。横軸は音刺激の提示からの時間であり、パルス状の刺激に対する脳波応答を示す。

今回は試行単位でERPを平均し、試行中の顔表情を利用することでERPの大きさを予測した。これは応答時間の推定が試行単位であることと比較できる。その結果は、平均波形をもとにした計測ERP振幅と顔特徴からの推定の間に関連性を見出せないことを示した。この結果は期待と異なり、いくつかの原因が考えられる。それらを以下に列記する。

- ・顔表情からERP振幅で計測される注意を予測することはできない。これは、応答時間の推定は可能であることから、応答時間が注意状態を反映していない可能性を指摘する。
 - ・ERP計測の精度が不十分である。1事象はノイズの影響が大きく、注意による振幅変化成分を求めることができない可能性がある。解析方法についての検討も必要。
 - ・課題非関連刺激への注意が、課題への注意を反映しない。この手法の妥当性はいくつかの先行研究で確認されているが、課題への注意を直接計測していないためこの可能性は排除できない。
- 今後これらの点を確認する必要がある。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

顔表情の分析技術は進歩していて、情報デバイスを利用した学習や遠隔コミュニケーションなどでの利用が期待されている。それらは画像処理的技術や深層学習による表情分析など多くの研究があるが、注意や集中など心的状態の推定については、十分な検討がなされていない。本研究の問題意識は高精度の心的状態の推定と、それを顔表情から予測することであり、それにより集中度と注意状態の推定方法が確立できれば、多くの場面への展開が可能となる。本研究グループは、そのために次年度も新規の提案を申請中である。

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

List of papers and conference presentations (with acknowledgements)

•

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

1. H. Kato, K. Takahashi, Y. Hatori, Y. Sato and S. Shioiri, "Prediction of engagement from facial expressions: Effect of dynamic factors ", IIHMSP-2022, (9pages)
2. S. Shioiri, New Informatics Paradigm to Manage Quality and Value of Information. *Interdisciplinary Information Sciences* 28 (1), 2022
3. Y. Sato, Y. Horaguchi, L. Vanel & S. Shioiri, Prediction of Image Preferences from Spontaneous Facial Expressions, *Interdisciplinary Information Sciences* 28 (1), 45-53 2 2022
4. R. Miao, H. Kato, Y. Hatori, Y. Sato and S. Shioiri, Analysis of facial expressions for the estimation of concentration on online lectures, *World Conference on Computers in Education 2022 (WCCE 2022)*, 2022
5. H. Kato, K. Takahashi, Y. Hatori, Y. Sato & S. Shioiri, Prediction of engagement from temporal changes in facial expression , *World Conference on Computers in Education 2022 (WCCE 2022)*, 2022
6. 繆 仁軍, 加藤 遥, 羽鳥康裕, 佐藤好幸, 塩入 諭, 顔表情分析によるオンライン講義への集中度推定の試み、日本視覚学会 2022 年夏季大会, 2022
7. 王 冠云 1, 長田 皓, 羽鳥康裕, 佐藤好幸, 曾 加蕙, 塩入 諭, Estimation of mental state while solving a language puzzle, 日本視覚学会 2023 年冬季大会, 2023
8. H-P. Yueh, C.Y. Huang, W. Lin (2022). Examining the differences between information professional groups in perceiving information ethics: An AHP study. *Frontiers in Psychology*, 13, 954827.
9. W. Lin, W.T. Lo, H-P. Yueh (2022). Effects of learner control design in an AR-based exhibit on visitors' museum learning. *PLoS ONE*, 17(10), e0274826
10. T.L. Lai, Y.S.Lin, C.Y. Chou, H-P. Yueh (2022). Evaluation of an inquiry-based virtual lab for junior high school science classes. *Journal of Educational Computing Research*, 59(8), 1579-1600.
11. W. Lin, J.Y. Wang, H-P. Yueh (2022). Learning information ethical decision making with a simulation game. *Frontiers in Psychology*, 13, 933298.
12. K. Sumino, N. Wakita & I. Mitsugami, Geometrically and Temporally Consistent Visual Annotation for Smart Glasses, The 14th Asia-Pacific Workshop on Mixed and Augmented Reality (APMAR2022), 2022
13. K. Sumino, I. Mitsugami & R. Sagawa, Expression-Controllable Facial Video Generation for Impression Quantification, 2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE2022), 2022

採択番号：R04/A16

顔表情分析の遠隔医療応用に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

佐藤 好幸（東北大学ヨッタインフォマティクス研究センター）

通研対応教員：

塩入 諭（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

篠原もえ子（金沢大学医薬保健学総合研究科 認知症先制医学）

板谷智也（金沢大学医薬保健研究域保健学系）

北村喜文（東北大学電気通信研究所）

伊藤彰則（東北大学大学院工学研究科）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

昨今のパンデミックの状況下において、ウェブ会議システムや ICT 機器を用いた非接触型のコミュニケーションの重要性が、医療・教育・ビジネスなどをはじめとする社会のあらゆる場面において非常に高まっている。オンラインによるコミュニケーションは距離や時間の制約がなくなるという明確な利点があるため今後も継続的に使われていくことが予想される一方で、対面的なコミュニケーションとは得られる情報が異なるため、その有効性については不明な点も多く、様々な観点からの研究が望まれる。研究代表者の佐藤および通研担当教員の塩入らはこれまで、顔表情を用いて個人の認知・行動を理解・予測する研究などを共同で行ってきた。近年の多くの ICT 機器にはカメラが搭載されており、それを用いて容易に顔表情を得ることができる。また、オンラインコミュニケーションにおいても顔映像を撮影・送信しながら行うことが一般的になってきている。代表者らが発展させてきた顔表情の機械学習解析技術等を活用し、それに加えて研究分担者である伊藤の音声解析技術や北村のユーザーインターフェースに関する知見も融合させることで、これら技術の社会的に有用な応用例を検討することが本研究計画の主たる目的である。

本計画では特に医療応用に注力する。医療の現場においては感染予防の観点から活動が制限される状況にあり、特に在宅医療や認知症患者の経過観察など継続的な診療を行うことが困難

になっている。研究分担者の篠原は、認知症に関するコホート研究や、タッチパネルを用いた認知機能検査システム開発を行い、ICT 機器を活用した認知症の早期発見研究に携わってきた。また、研究分担者の板谷は、在宅医療や在宅介護における ICT 機器の活用に関する研究を行ってきた。これらの ICT 機器の利用の際には、顔表情などの多様な情報を同時に取得することが可能である。そのような多様な情報を活用することで、病気の早期発見や、在宅医療を受ける患者の QOL を維持するための遠隔対話手法などにつながる技術開発研究を行っていく。

全体の計画としては、篠原らが開発したタッチパネル式認知機能検査システムを用いて、認知機能検査を行っている際の顔表情などを取得し、その情報から認知症の早期発見や病院の早期受診を促すようなシステムを開発する。また、板谷らが在宅医療において活用してきた ICT 機器に関しても同様に、顔表情などの情報を取得し、より効率的な遠隔対話、遠隔モニタリングシステムの開発を行う。

臨床現場においては、医療従事者は対面で会話をを行う際の患者の表情などから状態をある程度推定可能であると言われるが、どのような情報から推定が可能となっているのかは明らかになっておらず、観察者ごとに異なる特徴に注目している可能性もある。しかし、そのような推定が可能であるならば顔表情などに何らかの情報が含まれているはずであり、機械学習的手法を用いて判断にとって重要な特徴を抽出することが可能となることが期待される。

それらの目的のもと、プロジェクト初年度である令和 4 年度には、研究グループによる議論を重ねて、具体的なシステムについて検討していくとともに、予備的なシステムの構築及び検証を行っていく。

本研究において構築するシステムは使用者各自が自宅などで使用することを想定しているため、あまりコントロールがされていない個人ごとの環境差が大きい状況における測定となる。一般的に、そのような環境で取得されたデータから機械学習を行うと精度が低くなる傾向があるため、その点をどのように解決していくかを検討していく必要がある。

ICT 機器からは顔表情の映像だけでなく、音声も取得できるため、伊藤の持つ音声解析技術に関する知見を活用して多様な情報を用いるこ

とも検討する。また、システムを実際に活用してもらうためにはユーザーインターフェースを洗練させる必要が出てくるため、北村の持つ技術・知見を活用し、より使いやすいシステムの実現を目指す。

また、医療情報の利用にあたってはプライバシーも大きな問題となる。技術的な面だけではなくプライバシー保護の観点からも議論を重ねていき、これらの課題を解決しながら、医療・介護支援において有用なシステムの具体化について検討を行う。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度はプロジェクトの初年度であった。本年度においては、プロジェクト参画者らが東北大学において対面での打ち合わせを行い、本プロジェクトにおいて開発するシステムに関しての議論及び意見交換を行った。

本年度においては特に、在宅医療現場の現状や求められている技術などに関する議論を行った。その結果、日常的な介護を行うケアテイクが患者の状態を判断するための補助となるシステムや、患者の状態を日常的に記録し大きな変化が観察されたときにアラートするシステムなどが特に有用であるとの見解を得た。

本プロジェクトでは今後、これらのシステムのプロトタイプを構築し有用性を検証していく予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

顔表情分析などの技術により、患者の状態推定を行うことができれば、遠隔医療をより効率的に行うことができるようになり、医療関係者の負担の軽減が期待できるとともに患者のQOL向上につながる。また、患者にとっては簡便に自分で状態を客観的にチェックすることができるようになるため、病院へかかる適切なタイミングを知ることにもつながる。また、医療従事者にとっての直感的判断を参考にして機械学習モデルを構築することができれば、医療従事者本人にとっても自分が何を基準に判断を行っているかについてのフィードバックを与えることができ、よりの確な判断を下す指針となりうる。さらに、豊富な経験に基づき学習された判断基準を、未習熟者に訓練させることができるようになる可能性もある。このような、熟練者による直感によりコミュニケーションを通して

相手の状態を判断するということは、教育など他の分野でも行われていることであるため、ここで開発した手法をより広い分野に応用できる可能性がある。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

Guan-yun Wang, Hikaru Nagata, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato, Chia-huei Tseng, Satoshi Shioiri, “Estimate students’ concentration level by using facial expression”, 信学技報, vol. 122, no. 326, pp. 65-69, 2022

Yoshiyuki Sato, Yuta Horaguchi, Lorraine Vanel, and Satoshi Shioiri, “Prediction of image preferences from spontaneous facial expressions”, *Interdisciplinary Information Sciences* 28(1) 45-53, 2022. DOI: 10.4036/iis.2022.A.02

Yoshiyuki Sato and Satoshi Shioiri, “Prediction of subjective evaluation for images from facial expressions and biosignals”, *Symposium of Yotta Informatics – Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2023*, 2023

王冠云, 長田 皓, 羽鳥康裕, 佐藤好幸, 曾加蕙, 塩入諭, “Estimation of mental state while solving a language problem”, 日本視覚学会 2023 年冬季大会 1o02, *Vision* 35(1) p.18, 2023

Haruka Kato, Koki Takahashi, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato, and Satoshi Shioiri, “Prediction of Engagement from Facial Expressions: Effect of Dynamic Factors”, *The 18th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing*, 2022

Renjun Miao, Haruka Kato, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato and Satoshi Shioiri, “Analysis of facial expressions for the estimation of concentration on online lectures”, *World Conference on Computers in Education 2022 (WCCE 2022)*, 2022

Haruka Kato, Koki Takahashi, Yasuhiro Hatori, Yoshiyuki Sato and Satoshi Shioiri, “Prediction of engagement from temporal changes in facial expression”, *World Conference on Computers in Education 2022*

(WCCE 2022), 2022

繆 仁軍, 加藤 遥, 羽鳥康裕, 佐藤好幸, 塩入諭, “顔表情分析によるオンライン講義への集中度推定の試み”, 日本視覚学会 2022 年夏季大会 1p20, *Vision* 34(4) p.131, 2022

採択番号 (Grant No.) : R04/A17

Creation, manipulation, and electrical control of chiral spin textures in non-collinear antiferromagnetic heterostructures

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Dr. Oleg A. Tretiakov (UNSW)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Prof. Dr. Shunsuke Fukami

研究分担者 (Project Member List) :

1. Dr. Samik DuttaGupta (RIEC)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

The capability to utilize antiferromagnets (AFMs) as multifunctional components of spintronic devices has opened new avenues for future spintronic devices. Previous works utilizing antiferromagnetic heterostructures have demonstrated promising characteristics suitable for AFM-based memories, AFM/ferromagnet (FM) spin-orbit torque (SOT) device for spintronics-based neuromorphic hardware, and skyrmion-based computing. Realizing the full potential of antiferromagnetic spintronics requires AFM-based components, which can complement the essential functions of existing FM-based spintronic devices. To achieve this objective, the capability to electrically record and retrieve information from an antiferromagnetic material is of paramount importance. Mn-based binary metallic alloys correspond to a class of specialized materials, utilized in spin-valve structures owing to their capabilities of significant exchange bias field, low processing temperatures, and compatibility with Si-based electronics. The favorable combination of room temperature ordering, high thermal stability, significant uniaxial magnetic anisotropy and magnetoresistive effects in PtMn for reading renders this material feasible for future antiferromagnetic spintronic devices.

This project aims at the exploration of creation, manipulation, and control of topologically protected spin textures in non-

collinear antiferromagnetic heterostructures with a focus on future spintronics-based antiferromagnetic hardware architectures.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

The as-grown NCAFM thin film heterostructures have been fabricated into microscopic and nanometric devices using a combination of lithographic and milling techniques. The stack structures were deposited by magnetron sputtering on highly-resistive Si substrates with a natural oxidation layer. We utilized sub./Ta(3)/Pt(3)/MgO(2)/Pt_{0.38}Mn_{0.62}(10)/Pt(5)/Ru(1) (PtMn/Pt, hereafter), where the numbers in parentheses are the nominal thicknesses in nm (Fig. 1(a)). The obtained results are compared to sub./Ta(3)/Pt(3)/MgO(2)/Pt_{0.38}Mn_{0.62}(10)/Ru(1) (PtMn/Ru, hereafter). The deposited films are patterned into star-shaped structures by photolithography and Ar ion milling. After fabrication, we anneal the structures at 300 °C for 2 hours.

Figures 1(b)-(e) shows the electrical switching measurement procedure. Ten current pulses are sourced along the horizontal arm (A→B) followed by ten pulses along the vertical arm (C→D). We measure R_{ball} after each pulse, enabling us to detect possible changes in Néel vector under the application of current. Figure 1(f) shows the results of PtMn/Pt for different current density amplitudes. The application of pulse “1” results in a high-resistance state while pulse “0” corresponds to a low-resistance state. We also compare the experimental results for PtMn(10)/Pt with similar measurements on

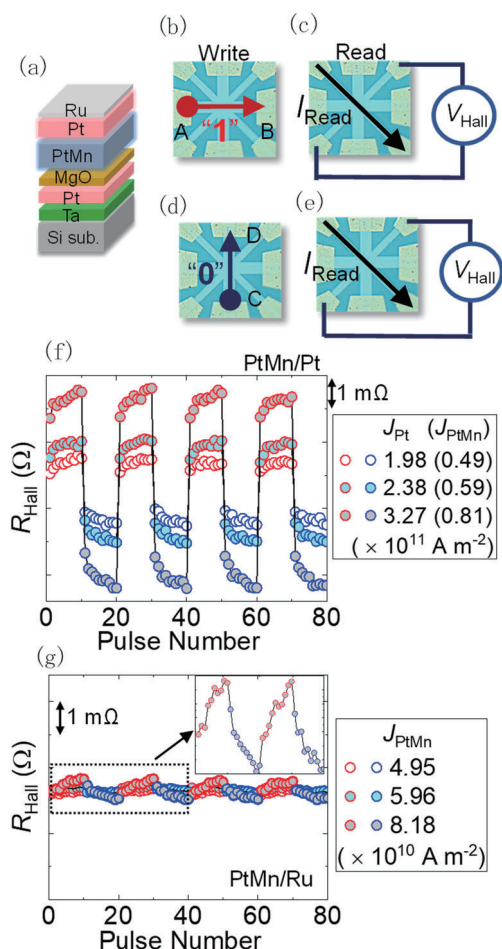


Fig. 1. (a) Schematic diagram of the stack structure. (b)–(e) Optical micrograph of the device structure and schematic diagram of the measurement set-up. Write currents are sourced along the paths from A(C) to B(D), respectively. Reading is achieved by measuring transverse Hall voltage (V_{Hall}) under the application of read current (I_{Read}) along the arm aligned at 45° to the write channel. (f) Experimental results of current-induced manipulation of PtMn/Pt under varying current densities through the stack. (g) Results of current-induced manipulation of PtMn/Ru under varying current densities through the stack. Inset shows a magnified view of R_{Hall} vs pulse number for the area bounded by the rectangular box.

PtMn(10)/Ru at identical device dimensions (Fig. 1(g)). As opposed to distinct reversible R_{Hall} states in PtMn(10)/Pt, we observe a gradual change of R_{Hall} in PtMn(10)/Ru, with a much smaller magnitude. Our experimental results demonstrate the possibility of current-induced switching of antiferromagnetic PtMn by SOTs, relevant for AFM-based future spintronic devices. The present study also shows that uniaxial

metallic antiferromagnets are suitable candidates for antiferromagnetic spintronics. On the theory side, dynamics, stability and nucleation of skyrmions and bimerons in two-sublattice antiferromagnets have been studied. The Hall response of a non-collinear antiferromagnet via spin-transfer torques have been theoretically investigated.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc.)

The momentum in the research of AFMs is immense, however a lot remains to be understood. Manipulation of antiferromagnetic order parameter by current forms the core of the development of next generation antiferromagnetic spintronic architectures. Our primary goal is the clarification of underlying physics for current-induced manipulation of AFMs. The obtained results demonstrate novel ways to storage and transfer the information using AFM heterostructures. The proposed research offers novel insights bearing potential to introduce new concepts in the field of spintronics.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

- (1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)
- (1) T. Uchimura, S. DuttaGupta, S. Fukami *et al.*, Appl. Phys. Lett. **120**, 172405 (2022).
- (2). D. Kurebayashi, O.A. Tretiakov, Phys. Rev. Res. **4**, 043105 (2022).
- (3). S. Dasgupta and O.A. Tretiakov, Phys. Rev. Res. **4**, L042029 (2022).
- (4) K. Ohara, O.A. Tretiakov, *et al.*, Nano Letters **22**, 8559 (2022).
- (5) O.A. Tretiakov, “Nucleation and dynamics of magnetic solitons in topological materials,” Materials Oceania 2022 conference, December 5 – 8, 2022, Gold Coast, Australia (**invited presentation**).
- (6) O.A. Tretiakov and S. DasGupta, “*Tuning the Hall response of a noncollinear antiferromagnet via spin-transfer torques and oscillating magnetic fields*,” APS March Meeting, March, 2023, Las Vegas, USA.

採択番号：R04/A18

生体膜機能を可視化する電気化学発光顕微鏡の創製

[1] 組織

研究代表者：

平本 薫（東北大学学際科学フロンティア研究所）

通研対応教員：

平野 愛弓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

井上 久美（山梨大学大学院総合研究部）

久保田 恒喜（山梨大学大学院総合研究部）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

細胞内外の物質や電子のやりとりのインターフェースとなる細胞膜機能の解析は、生理・病理機序の基礎的な理解においても、新しいバイオ素子としての応用展開においても重要である。近年では、細胞が分泌する脂質膜に囲まれた小胞「細胞外小胞」にも高い注目が集まり、その情報伝達機構の解明や、薬剤スクリーニング応用が期待される。これまで膜機能解析の汎用的な手法として、電流計測や蛍光観察が用いられてきた。電流計測では脂質二重膜を介して一対の電極を配置し、膜容量変化や膜タンパク質のイオン輸送を電流によりモニタリングすることができる。この手法は、長時間分解能であるが、膜融合や膜タンパク質の包埋がどこで生じたのか位置情報を得ることはできない。一方蛍光検出は、比較的広い視野で検出ができハイスループットな測定に向くが、標識作業が必要、生体試料のバックグラウンド蛍光が S/N を悪化させるといった課題がある。これに対し本研究では、新規の検出手法として電気化学発光 (Electrochemiluminescence: ECL) 現象を利用する。ECL は電極上の酸化 (還元) 反応を発光反応に変換することで、ダイレクトに電極界面状態を可視化する手法である。反応が生じた電極表面でのみ発光が生じるため、蛍光測定のようにバックグラウンド蛍光に悩まされることがなく、電極-溶液界面の状態を高感度に反映する発光が得られる。また、発光反応は電極反応に紐づくため、電流計測と光学検出を同時に行うことで、細胞膜の電気的な特性と平面での分布状態を同時に測定することができる。しかしながら、ECL を利用して直接的に膜小胞や脂質二分子膜の評価を行っている報告はほとんどなく、ECL に利用する発光物質と脂質との相互作用や、電圧印加パターンによる影響などは未解明である。そこで本研究では、ECL を介して細胞外小胞や電極基板上に形成したモデル脂質二分子膜を観

察できるような電気化学発光顕微鏡システムをつくり、生体膜の電気化学的/光学的な特性の評価システムの構築を目指した。

研究打合せ

11月22日に東北大学片平キャンパス AIMR ラボ棟 5階にて、井上久美准教授とこれまでの研究進捗状況について、データや知見の共有を行い、それに基づいて今後の研究の方向性について意見交換をした。

研究発表会

R4 年度共同プロジェクト研究発表会にて平本が研究報告を行った。

題目：電気化学発光による細胞機能の可視化
Visualization of cellular functions via electrochemiluminescence

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

(3-1-1) 細胞分泌物の可視化

我々のグループでは以前に酸素濃度を反映する電気化学発光システムを開発しており、基板に置いた細胞組織の酸素呼吸のイメージングを報告している[1]。この機構を利用してがん細胞スフェロイドの分泌物の可視化を行った。スフェロイドとは近年注目される 3次元細胞培養法で作製される球形の細胞塊であり、特にがん細胞を用いたスフェロイドは、平面培養系と比較し生体の腫瘍組織を模倣するような代謝活動を再現できるとされる。本研究ではヒト乳がん細胞 (MCF-7) を Uボトム型の 96 ウェルプレートで 7日間培養することによって作製した。電気化学発光デバイスは、金薄膜をスパッタしたスライドガラス上に絶縁テープを貼ることでスフェロイドを配置する領域を区切り、ポリジメチルシロキサン (PDMS) でウェル構造を設けて作製した。電気化学発光溶液は、200 μ M の 8-Amino-5-chloro-2,3-dihydro-7-phenylpyrido[3,4-d]pyridazine-1,4-dione (L-012) をダルベッコリン酸緩衝液 (PBS, pH7.4) に溶かしたものを用いた。参照極に銀-塩化銀電極、対極に白金線を用いてポテンショスタットで電圧制御を行った。

L-012 は過酸化水素の存在下で酸化電位を印加することにより電気化学発光を生じることが知られているが、本研究では、筆者らが以前報告した方法により -0.3 から +0.7 V (vs Ag/AgCl) へ電位をステップすることで、溶存酸素の電極還元から L-012 の発光を誘導した。スフェロイ

ドの分泌物が電極に付着すると電極反応阻害によって電気化学発光が減少すると考えられる。電極上に一定時間スフェロイドを静置した後取り除き、電極表面の電気化学発光をカメラで取得することにより、スフェロイドの分泌活動を評価した。結果、生きているスフェロイドでは、スフェロイドの直下および周囲で減光が生じたのに対し、活動が停止したスフェロイドでは減光がほとんど見られなかった。この減光部分を蛍光標識や X 線光電子分光法で解析すると、脂質膜由来と考えられる結果が得られた。すなわち、細胞膜や細胞の分泌活動に伴う膜小胞が電極に堆積し、ECLによって可視化できたと考えられる(Fig.1)。

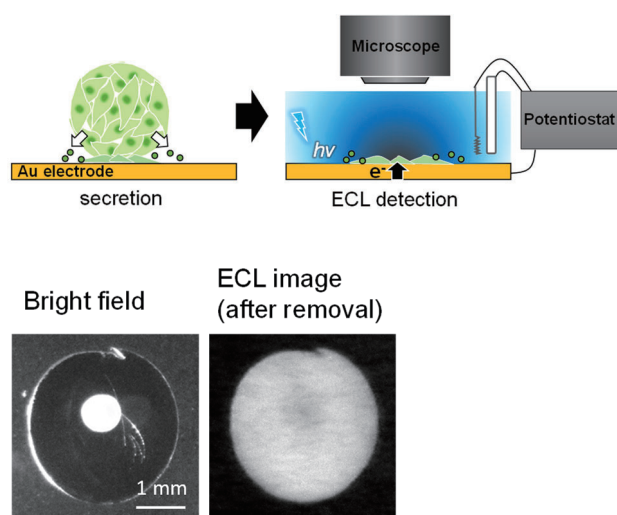


Fig. 1 Images of ECL detection of secreted molecules from a cancer cell spheroid. Top: Conceptual image of the ECL detection. Bottom: Bright field image of MCF-7 spheroid on an electrode and ECL image after the removal of the spheroid.

(3-1-2) モデル脂質二分子膜の観察

前項で、電極反応阻害により電気化学発光を介して細胞膜を可視化できるという知見を得たため、本項ではモデル脂質二分子膜を電極表面に形成しその評価を行った。脂質は 1,2-dioleoyl-sn-glycero-3-phosphocholine (DOPC) を用い、溶媒中で超音波処理することにより脂質膜小胞を作製し、ITO 電極上に滴下することで平面支持脂質二分子膜を作製した。脂質膜を展開した溶液を ECL 発光試薬である $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ と共反応物 Tri-*n*-propylamine に置換し、サイクリックボルタムメトリを行いながら顕微鏡で観察することで、モデル脂質二分子膜の電気化学発光特性を調査した (Fig. 2)。DOPC 膜を形成した電極では $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}$ の酸化ピークが減少するものの、わずかに電気化学発光が得られた。

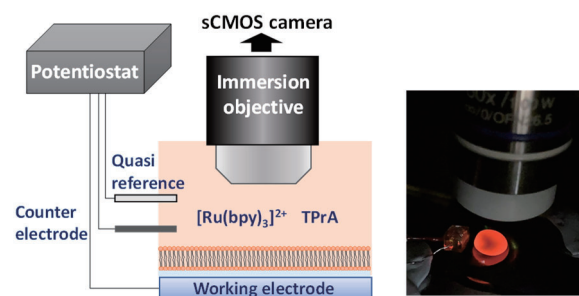


Fig. 2 Bilayer lipid membrane imaging through ECL on an ITO electrode. Left: Conceptual image of the ECL system for model lipid bilayer imaging. Right: Outlook photo of the ECL imaging. The ECL of $[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}/\text{TPrA}$ shows bright orange emission on an ITO electrode.

$[\text{Ru}(\text{bpy})_3]^{2+}/\text{TPrA}$ の反応系では脂質二分子膜を介しても電気化学発光が完全には消失しない、という特徴から、脂質二分子膜上にある小胞の挙動や、膜の形成過程で生じた平面膜上のディフェクト (孔) が、電気化学発光によって可視化できる兆候が得られた。具体的には、膜上に存在する小胞では、電気化学反応が進行せず暗く投影される一方、ディフェクト部分には発光種が侵入し電極反応が生じやすくなるため発光が増強する。このように本手法では、脂質分子自体を標識せずとも膜表面状態を観察可能であり、脂質二分子膜の評価手法として有望である。[1] Kaoru Hiramoto, *et al.*, *Biosensors and Bioelectronics*, 181, (2021), 113123.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

ECL を利用した顕微鏡システムに関する研究は、ここ数年で急増している。低バックグラウンドで電極表面状態に敏感であるという特長から、ECL は電極最表面の XY 平面で高い分解能を持ち、細胞接着や細胞膜に発現するタンパク質の可視化などが報告されている。しかし ECL を利用した脂質二分子膜そのものの評価系は報告されておらず、本測定システムを確立することで、細胞膜およびモデル脂質膜の電気的・光学的な新しい機能発現、デバイス応用への展開が期待できる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

平本薫, 宿輪諒太, 伊野浩介, 平野愛弓, 珠玖仁「電気化学発光イメージングによる細胞分泌活動の観察」電気化学会第 90 回大会, 東北工業大学八木山キャンパス (2023/3/27~29)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

特になし

採択番号：R04/A19

単一光子検出のための超伝導ナノワイヤーに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

美馬 覚（情報通信研究機構）

通研対応教員：

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

神代 暁（産業技術総合研究所）

石野 宏和（岡山大学大学院
自然科学研究科）

猪股 邦宏（産業技術総合研究所）

寺井 弘高（情報通信研究機構）

牧瀬 圭正（国立天文台）

日高 睦夫（産業技術総合研究所）

水柿 義直（電気通信大学）

明連 広昭（埼玉大学）

吉川 信行（横浜国立大学）

藤巻 朗（名古屋大学）

野口 卓（国立天文台）

山下 太郎（東北大学）

大谷 知行（理化学研究所）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

近年、量子暗号通信や量子光学、生命科学、暗黒物質探索など幅広い分野で高精度な光検出器の要求が高まってきている。これらの要求を満たす検出器として、超伝導薄膜ナノワイヤを用いた超伝導ナノワイヤ単一光子検出器（SSPD）がある。SSPD は、紫外から中赤外に及ぶ広い波長帯域において高い検出効率を有し、高計数率、低暗計数率、低ジッターと優れた特性を持つため、上記の様々な先端技術分野において適用が進められている。その一方で、SSPD のさらなる高性能化や、検出器の大規模アレイ化による単一光子イメージングなどのシステムの高度化も強く求められている。

一方、量子アニーリング装置や超伝導量子ビットにおける信号読み出しや、超伝導力学インダクタンス検出器において、超伝導薄膜を用いた超伝導共振器が広く利用されている。超伝導共振器における Q 値は薄膜中の金属欠陥や不純物の濃度、表面酸化膜や化合物ではその組成によって大きく異なることが分かっているが、共振器における Q 値やその他の超伝導

薄膜パラメータは、SSPD における各種性能と

密接に関連し、性能向上にむけた知見が得られる可能性がある。同様に、SSPD とは異なる様々な超伝導デバイスは SSPD の高性能化、高度化を支える重要な知見や技術となりうることを期待される。例えば、超伝導単一磁束量子回路や断熱磁束量子パラメトロン回路は、すでに複数の SSPD からの出力信号を極低温環境下で多重化するために用いられており、SSPD アレイ化などをはじめとするシステム高度化に大きく寄与する技術となっている。そこで、本プロジェクトでは、超伝導量子センシング、超伝導エレクトロニクス、超伝導材料、超伝導量子物理の研究者を集め、各研究者が進める様々な超伝導デバイス開発から得られる知見や技術を集約し、超伝導ナノワイヤ単一光子検出器の性能を飛躍的に改善させるための糸口を探り、この分野におけるさらなる発展と新たな応用分野の開拓を目的として研究を行った。

本プロジェクトは本年度が採択初年度であり、プロジェクトの始動にあたり国内の各研究機関の研究者と技術討論を行うべく、東北大学で 2022 年 11 月 4 日の日程で、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会と共同で研究会を開催した。会議はオンラインとオンサイトのハイブリッド形式で行われ約 20 名の参加があった。会議では、招待講演 2 件の他、超伝導ジョセフソン接合、超伝導集積回路、超伝導共振器、物理実験用超伝導検出器の研究発表が行われた。研究成果の発表に対する活発な意見交換がなされ、有意義な研究会になった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度開催された研究会の発表内容を以下に記す。

電気通信大学の星野らは、希釈冷凍機温度下で動作するラテラル型過減衰 $\text{Al}/\text{AlO}_x/\text{Al}$ 接合の作成方法を報告した。主として Josephson 位相に基づく従来型の超伝導エレクトロニクスに、単一 Cooper 対素子を複合させることを目的としている。希釈冷凍機温度で動作するラテラル型 $\text{Al}/\text{AlO}_x/\text{Al}$ 接合に、シャント抵抗として Cr 上に成膜された Au 薄膜を用いた。2 層レジストを用いた斜め蒸着法で Al ジョセフソン素子を製膜している。斜め蒸着法で比較的再現性良く形成できる接合面積で、超伝導臨界電流が $1 \mu\text{A}$ になる接合

の作成を試みた。Au 薄膜の厚みを最適化し、希釈冷凍機温度下で過減衰特性を示すこと確認した。

電気通信大学の佐藤らは、タイミングジッタを利用して真性乱数を生成する超伝導集積回路について報告した。超伝導 SFQ 回路でつくる 2 つのオシレータからの信号のタイミングジッタを利用したハードウェア乱数生成回路を提案した。先行研究より参照するタイミングジッタの数を増やすことで、周波数変動による影響の耐性を期待している。回路は産業総合研究所の HSTP プロセスを利用して作成し、試作回路の測定において、1 M bits の乱数列が乱数検定 SP800-22 に合格した。

埼玉大学の村山らは、超伝導共振器の Q 値を飛躍的に高める新構造伝送線路の研究を報告した。微細加工プロセスで超伝導薄膜を加工する共振器の Q 値は最大で 10^6 程度と、超伝導のバルク材からなる共振器の Q (最大で $\sim 10^{11}$) と比較して数桁小さい。村山らは、バルクの超伝導共振器には無い誘電体の誘電損失が、伝送線路型の共振器全体の Q 値を制限していると考えた。マイクロストリップラインの信号線とグラウンドを 2 枚の基板で作る新構造の伝送線路を考案し、電場が集中する部分から誘電体を排除した。新構造の伝送線路で、Nb 薄膜を用いた作成した超伝導共振器を試作し、希釈冷凍機で冷却評価した結果、Q 値が 1.0×10^8 と、従来の構造と比べて 3 桁程度高い Q 値が得られることを示した。また、Nb の超伝導転移温度の 1/2 程の 4.2 K で Q 値 1.2×10^5 を実験的に得ており、広い温度帯において飛躍的な Q 値の向上がみられた。今後、超伝導量子ビットやミリ波帯での超伝導線路などへの応用が期待される。

岡山大学の風早らは、太陽からの pp ニュートリノの実時間観測を目的としたインジウム標的超伝導検出器システム開発の報告を行った。ニュートリノとインジウムの逆 β 反応で発生したベータ線とガンマ線は、インジウムに吸収され弾道フォノン生成する。システムではアルミを吸収体とした力学インダクタンス検出器で弾道フォノンをとらえ検出する。産総研の CAVITY を用いて作成した素子の 0.3 K の静特性から、逆 β 崩壊反応に感度があることを見積もった。また、インジウムの弾道フォノンを効率的に収集するため、サファイア基板をナノ秒パルスレーザーで加工したマスクを MKID にアライメントして貼り付けた構造で、熔融させたインジウムが検出部に選択的に接合することを確認した。今後、溶解したインジウムが接合した MKID の評価を行う。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本研究プロジェクトでは、超伝導量子物理系、超伝導エレクトロニクス工学系、宇宙素粒子物理実験系の研究者の交流が行われ、意見交換が活発になされ、異分野研究の交流の場となる。このように、本研究プロジェクトでは、超伝導薄膜を基盤とする異分野融合や共同研究の架け橋になり、これまで強い結びつきのなかった研究者同士の交流を活発にし、新しい研究領域の開拓を可能にする。今後、大型外部予算の獲得や研究者間の交流を促進することによって、新たな研究領域開拓が期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・ Satoru Mima, Fumihiro China, Masahiro Yabuno, Shigeyuki Miyajima, Shigehiro Miki, Yuki Gama, Toshiyuki Tashima, Masaya Arahata, Yu Mukai, Ryo Okamoto, Shigeki Takeuchi, Hirotaka Terai, "Evaluation of a superconducting nanowire single photon detector for midinfrared wavelengths", 29-Nov, The 5th IFQMS, online, 2022.

・ Fumihiro China, Satoru Mima, Shigehito Miki, Masahiro Yabuno, Shigeyuki Miyajima, Hirotaka Terai, "Efficient superconducting nanostrip single-photon detectors for 2 um wavelength", The 5th IFQMS, online, 29-Nov, 2022.

採択番号 : R04/A20

Interpersonal coordination of motor, cognitive and neurophysiological processes in joint activities

[1] 組織

研究代表者 :

CHENG Miao (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員 :

CHENG Miao (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

Jingling Li (China Medical University)

Monica Perusquía Hernández (奈良先端科学技術大学院大学)

谷部 好子 (東京大学)

Shinsuke Shimojo (California Institute of Technology, USA)

Mohammad Shehata (豊橋技術科学大学)

Asaf Bachrach (Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

Interpersonal coordination is a fundamental component in social activities. People coordinated with each other at multi channels and in various fashions. From daily task to complexed artistic performance, interpersonal coordination acts as a key element linking perception, body movement, emotional state, physiological response and etc., which enables smooth communication. In this collaboration, we aim to study the link between interpersonal coordination and social cognition. Specifically, we interested in 3 topics:

1. We have been collaborating with Prof. Jingling Li on a newly found phenomenon: partner-advantage (Cheng & Tseng, 2019). We conducted a series of studies to explore the underlying mechanism of partner-advantage: how social affiliation and joint task modulate this effect.
2. We have been collaborating with improvisation dancers Ms. Katsube Chico and Ms. Kashima Shoko to study how we coordinate body movement with each other in the joint dance. Ms. Katsube and Ms. Kashima visited Tohoku

University as instructors in International Workshops on Non-verbal Communication, during which, they gave the Contact Improvisation - Body Philosophy Dance Workshop.

3. Dr. Monica Perusquía and I worked on a project about the link between bodily responses, affective appraisals, and the emotional awareness. Dr. Perusquía visited RIEC for research discussion and data analysis from January 30 - February 3, 2023.

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

1. Partner-advantage

We have conducted 5 experiments to investigate the boundary of partner-advantage. characteristics and enabling factors remain unknown. We use the paradigm in Cheng & Tseng's publication in 2019 (Fig. 1) and explored the boundary of partner-advantage via gradually weakening "partner" label and social context (Fig. 2).



Figure 1. Task stimuli for partner-advantage experiments.

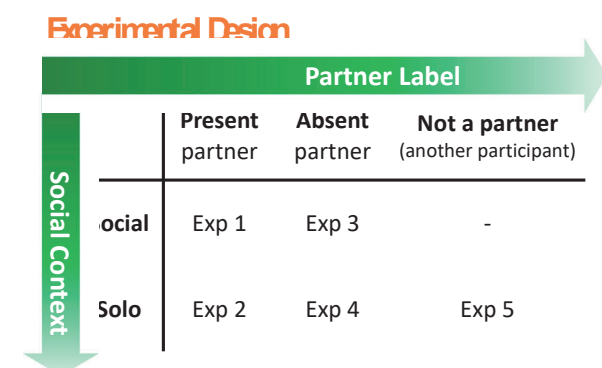


Figure 2. Paradigm design.

We discovered that partner-advantage appears

even in the absent and solo conditions. The referential advantage disappears only when the “partner” label is removed (Fig. 3). Together with other literature, our results suggest that it is necessary to reconsider the identity-referential advantage along a spectrum from self and significant others to acquaintances and newly met partners. This paper has been published on Scientific Reports.

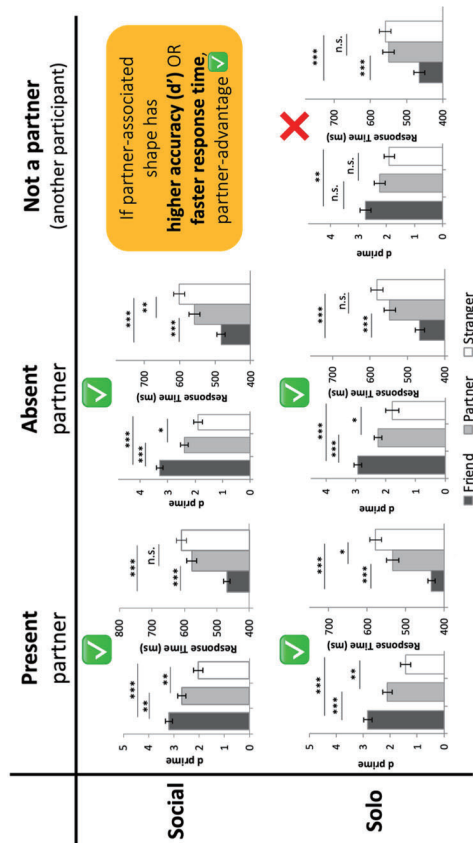


Figure 3. Mean and SE of d prime and response time for different shape categories in 5 experiments. Partner-advantage was observed in Exp 1-4. (* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$)

2. On 2023/02/27, we have invited 17 participants to the Contact Improvisation - Body Philophosy Dance Workshop conducted by Ms. Katsube and Ms.Kashima Communication (Fig. 4). They introduced participants how to establish contacts and relationships with self and others. We have discussed about decoding body cues and building self-other rapport with participants from different areas (psychologist, engineer, art and etc.). After the workshop, instructors and participants have discussed about future

collaboration on nonverbal communication in interdisciplinary areas.



Figure 4. Photo of Contact Improvisation - Body Philophosy Dance Workshop

3. Dr. Perusquía and I had a group meeting within collaborators of emotion awareness project, we developed a system for data preprocessing and organization. In addition, Dr. Perusquia attended lab demos and lab meetings, gave a presentation on her research. We exchanged comments and ideas on various topics (emotion, affective computation, human-computer interaction, and etc.).



Figure 5. Photo of Dr. Perusquia's visitor talk in ICD lab.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

This comprehensive project delves into diverse topics within social cognition, bringing together international researchers from Asia, USA, and Europe. Moreover, we have invited experts from outside the academic realm to delve into the exploration of interpersonal coordination from laboratory to field. Last year we have published on a high impact journal, Scientific Reports. We plan to continue increasingly incorporating innovative methods to study the complexity and diversity of everyday social interactions.

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・Tseng, C. H., Jingling, L., & Cheng, M.* (2022). Social affiliation is sufficient to provoke the partner-advantage. *Scientific Reports*, 12(1), 21293. (IF: 4.996)

・ Perusquía (January, 2023) Continuous Experience Sampling and the Affect-Embodiment Coherence, RIEC, Tohoku University.

・ Cheng, M., Jingling, L., & Tseng, C. H. (February, 2023) Social affiliation is sufficient to provoke the partner-advantage.

令和5年共同プロジェクト研究発表会

・ Katsube Chico & Kashima Shoko (February, 2023) Contact Improvisation - Body Philophosy Dance Workshop, RIEC, Tohoku University.

(* Corresponding Author)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

なし

採択番号：R04/A21

人体領域通信用指向性伝搬特性に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

秋元 浩平

(秋田県立大学システム科学技術学部
知能メカトロニクス学科)

通研対応教員：

末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

亀田 卓

(広島大学ナノデバイス研究所)

福井 蓮太

(秋田県立大学システム科学技術研究科)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

人体領域通信 (WBAN: wireless body area network) は人体上の複数のデバイス間で通信を行うネットワークであり, 個人を単位として基本的に独立して構築されるネットワークである. 本プロジェクトでは, WBAN アプリケーションの高度化・多様化に伴う高スループット化の要求を満たす新しい WBAN のための人体領域の電波伝搬特性を実測により明らかにすることを目的として研究を行った.

本研究は指向性アンテナを用いたミリ波帯での人体領域の伝搬特性を実測し, WBAN 内通信, WBAN 間干渉, および Body-to-body network の電波伝搬特性を明らかにする. WBAN 内通信や WBAN 間通信の際の電波伝搬特性はどちらも人体による影響が非常に大きい. そのため本研究では電気通信研究所の測定室 (電波暗室) および測定機器を用いてミリ波帯での人体によるブロッキングを考慮した電波伝搬特性を実測する. 人体ブロッキングの測定の際には, 歩行や走行などの動作や静止時の微妙な動きで特性が変わるため, 人体の様子をビデオカメラ等で撮影し, 後処理で測定時の人体の様子を特徴づける. ここで WBAN は人体にデバイスを装着する都合上, バッテリーの問題やアンテナ寸法の問題などハードウェア的な制約を受けるため, WBAN 用無線伝搬路への要求性能もこれを考慮する必要がある. 本研究は, ミリ波帯無線通信のハードウェア設計を専門の1つとする電気通信研究所の末松憲治先生と共同で行うことにより, 実際の WBAN のアプリ

ケーションとそのハードウェアによる制限を踏まえた無線伝搬路の設計と測定を可能としている.

本プロジェクトは, 本年度が初年度であり, 実験のためのアンテナ作成と電波伝搬の指向性に着目した実験を行った.

令和4年7月21日(木), 電気通信研究所にて研究打ちあわせを行った.

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

Wireless body area network (WBAN) とは人体に装着したセンサノードにより医療用途やエンタテインメント用途などに活用される人体領域通信である. 従来のマイクロ波帯 WBAN では人体幅に対して波長が十分に短くないため回折により電波が回り込み, 遠くのユーザーまで干渉が届く. そのため駅や大通りなどのユーザー密集環境下ではユーザー間の WBAN 干渉が発生するという課題がある. 本研究では指向性アンテナを用いた WBAN システムを提案し, 指向性アンテナによって WBAN における信号波と干渉波を分離させることで, ユーザー間の WBAN 干渉の抑制により上記課題を解決する.

指向性アンテナかつ人体に装着しやすい形状であることから, WBAN に適しているアンテナであるパッチアンテナを設計した.

表1に製作した単素子パッチアンテナ, および2×1素子パッチアレイアンテナの設計諸元, 図1に試作した2×1素子パッチアンテナを示す. 同じ種類のアンテナ対で測定するため, それぞれ2枚ずつ製作した.

図2に単素子は破線, 2×1素子は実線としてそれぞれのアンテナのH面の放射パターンを示す. 実測を行う際は頭部に受信アンテナ, 足先の高さに送信アンテナを配置する. ここで送信アンテナは他ユーザーからの干渉源であることを想定し, 人体からの距離が0~3mの場所に配置する. 送信電力0 dBm, 送信周波数16.4 GHzの無変調波を送信し受信電力を測定する.

図3に測定系を示す. 製作したパッチアンテナを人体に装着し, WBAN における干渉抑制を測定にて検討する. はじめに頭部と足先に製作したパッチアンテナを装着する. 次に送信電力0 dBm, 送信周波数16.3 GHzの無変調波を送信し, 信号波の受信電力を測定する. 次に送信アンテナを干渉源として離れた位置からの干渉波の受信電力を測定する. 干渉波の測定も信号波

と同様の無変調波を送信する。最後に測定結果である信号波と干渉波の受信電力の比較から、指向性アンテナを用いた WBAN の干渉抑制効果を確認する。

図4に人体からの距離における干渉波の受信電力の測定結果を示す。図4の破線と実線はそれぞれ単素子と2×1素子の利得を用いたフリスの伝達公式で求めた計算値である。計算値と測定値のどちらも、単素子に比べて2×1素子の方が人体から遠ざかる時の受信電力の減衰量が大きい。

表1：設計諸元

Center frequency	16.4 GHz
Dielectric constant ϵ_r	2.15
Length of substrate	50 mm
Width of substrate	50 mm
Thickness of substrate	0.8 mm
Length of antenna element	5.7 mm
Width of antenna element	7.3 mm
Antenna element spacing	9.2 mm (array)
Width of feed line	2.4 mm (50 Ω) 0.7 mm (100 Ω)
Length of matched transmission line	3.4 mm (single) 3.5 mm (array)
Width of matched transmission line	0.6 mm (single) 0.2 mm (array)

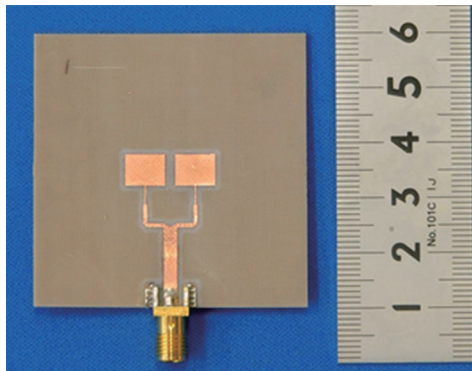


図1 試作パッチアンテナ

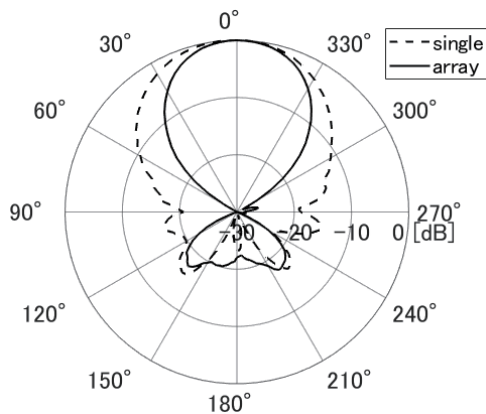


図2 磁界面の放射パターン

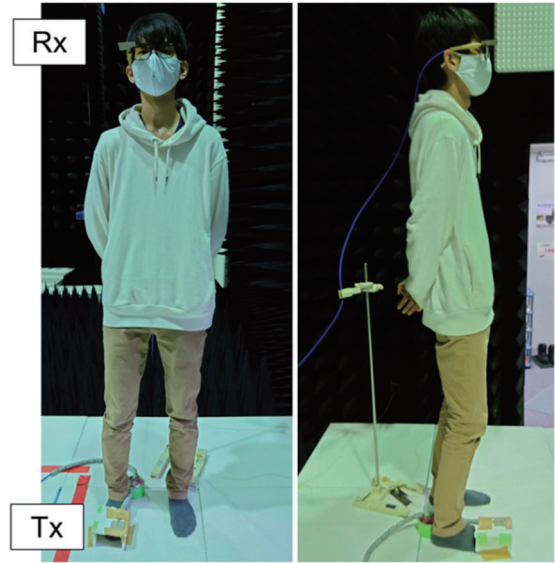


図3 測定系

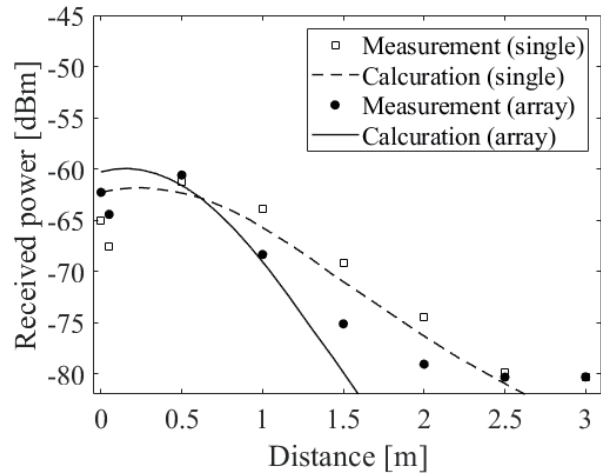


図4 信号波および一定距離離れた干渉波の受信電力実測結果

以上より、本研究では、WBANに適しているパッチアンテナを設計・製作し、製作したパッチアンテナを用いた WBAN における干渉抑制を測定により検討した。実測により、パッチアンテナのアレイ化による WBAN 間干渉抑制効果を明らかにした。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで明らかになった人体領域の電波伝搬特性およびその測定手法は、単一の人体領域で完結する WBAN のみならず、人体間通信 (Body-to-body network) の分野に発展することが期待できる。Body-to-body network は、次世代移動通信システム (5G) のリレー中継手法や、スポーツ・医療などの個人間での情報の伝送に非常に有効な無線通信システムであり、本プロジェクトで得られる電波伝搬特性はそのシステムを構築する上での基礎となる。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・栢木 優希, 秋元 浩平, 戸花 照雄, “直結給電方式を用いた WBAN 用パッチアンテナの試作,” 本荘由利テクノネットワーク学生パネル発表 2023 年 2 月.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・亀田 卓, 秋元 浩平, 末松 憲治, “[依頼講演] 超過密環境に適応可能なミリ波帯 WBAN,” 信学技報, vol. 122, no. 131, WBS2022-33, MICT2022-33, pp. 94-98, 2022 年 7 月.

・福井 蓮太, 秋元 浩平, 戸花 照雄, “16.4GHz パッチアレイアンテナを用いた WBAN における干渉電力の実測評価,” 信学ソ大, 2022 年 8 月.

・K. Kawamura, K. Akimoto, and O. Takyu, “Antenna beamforming selection with low complexity and high exploitation of white space in frequency spectrum sharing,” Proceedings on 2022 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), Nov. 2022.

・亀田 卓, 秋元 浩平, 末松 憲治, “超過密環境においても適応可能なミリ波帯 WBAN,” 信学総大, BI-8-4, 2023 年 3 月.

採択番号：R04/A22

XR 技術を活用した協働型 HyFlex 授業 環境構築のための探索的研究

[1] 組織

研究代表者：

林 雅子（東北大学高度教養教育・学生支援機構）

通研対応教員：

北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

内海 太祐（湘北短期大学総合ビジネス・情報学科）

大関 真之（東北大学大学院情報科学研究科）

菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

中村 教博（東北大学高度教養教育・学生支援機構）

水野 義之（関西外国語大学外国語学部）

森田 裕介（早稲田大学人間科学学術院）

小池 武志（東北大学高度教養教育・学生支援機構・大学院理学研究科 兼務）

高木 亜有子（湘北短期大学総合ビジネス・情報学科）

高嶋 章雄（湘北短期大学総合ビジネス・情報学科）

SPRING RYAN EDWARD（東北大学高度教養教育・学生支援機構）

八木 秀文（東北大学オープンオンライン教育開発推進センター）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本研究の目的は、国際相互理解深化のために、XR 技術を活用した「協働型 HyFlex 授業」環境構築のためのプラットフォームを開発し、調査研究の実施によりその効果を検証することである。申請者は、東北大学において留学生と日本人学生が協働で国際相互理解の深化・醸成を図る「国際共修授業」を担当している。しかし、COVID-19 により、渡日できない留学生が海外からオンラインで参加する一方、国内では対面授業の実施を望まれたため、対面・オンラインが混在する「協働型 HyFlex 授業」はグローバル化の維持発展に必要な授業形態となった。申請者が実施した協働型 HyFlex 授業により、オンライン参加者が対面参加者との間に心理的な壁を感じやすいことが分かった。一方、先行研究から「VR（仮想現実）/AR（拡張現実）/MR（複合現実）」の「XR（クロスリアリティ）の技

術」により臨場感・現実感・没入感が高まることが明らかになっている。言語文化や各地域が抱える経済的・社会的問題について受講者が協働で調査研究し、XR 技術を活用して発表すれば、より Reality の高い国際相互理解の深化と醸成を図ることが可能となる。XR 技術を活用した協働型 HyFlex 授業は、国境と時差を超えた次世代型遠隔協働学修を可能とし、世界的に広がる Virtual Exchange のプラットフォームとして貢献し得ると考える。以上から、本研究では、XR 技術の活用により対面・オンラインの「協働型 HyFlex 授業」の環境を構築し、時空を超えて異文化理解の深化を目指す次世代型の国際共修授業を開発し、国際相互理解深化・醸成を図ることを目的とする。

研究計画として、通研対応教員、研究分担者に XR 技術を活用した授業実践方法等を講演いただき、研究代表者も発表する。同時開催で、研究分担者に参加いただき、課題抽出やディスカッションをソーシャル VR プラットフォームを活用して実施する。特に、技術的、環境的、教育実践的に今後何が必要かの意見を集約し、それを基に、産学官連携を視野に入れてさらなる共同研究の拡大を目指す。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果（※所属等は開催時）

2022 年度は東北大学知の創出センター主催未来社会デザインプログラム「XR 技術の教育・社会貢献—メタバースと国際協創—」の「第 1 回国際シンポジウム：メタバース・XR 技術の教育利用と国際協創」を電気通信研究所と共催で 12 月 2 日から 3 日の 2 日間に渡り、東北大学片平キャンパス知の館にて開催した。ハイブリッド開催初の試みとして、オンサイト、オンライン会場に加えて、メタバース会場を用意した。また、理系集會、バーチャル学会の協力により、参加者がディスカッションしながら試聴できるメタバースサロン会場を設置した。加えて、知の創出センタースタッフと、



東北大学アドミニストラティブアシスタントの尽力により、オンサイト会場の講演の様子をすべての会場に流しつつ、メタバースサロン会場の様子すべての会場に流すという難易度の高い取り組みに挑戦し、成功した。オンサイト 33 名、オンライン 140 名もの方々に参加いただくことができた。

通研対応教員である北村喜文教授には「非言語情報を活用する人間性豊かなコミュニケーション～これからのメタバースへの応用を目指して」の題目で講演いただいた。研究分担者のうち、森田裕介教授には「社会情動的エンゲージメントを高めるための仮想学習環境としてのメタバース」の題目で、大関真之教授には「量子アニーリングとその教育プログラムへの可能性」、講演いただいた。また、研究代表者である林も「メタバースで世界をつなぐ国際協働学修の挑戦」の題目でメタバース教育利用の成果と課題、今後の展望を紹介した。

菅沼拓夫教授にはパネルディスカッション第 1 部「メタバースの教育利用における利点と技術的な課題」にてパネリストとして登壇いただき、常田泰宏氏の座長のもと、五十嵐大和特任教授（東北大学）、高嶋和毅准教授（東北大学）、田中宏樹氏（クラスター株式会社）、研究代表者林とともにメタバースの教育利用における技術的な側面をディスカッションした。

SPRING RYAN EDWARD 准教授にはパネルディスカッション第 2 部「メタバースで世界をつなぐ国際協働学修」において座長を担当いただき、Agus Budi Cahyono 講師（Brawijaya University:インドネシア）、Njeri Kagema 講師（United States International University-Africa:ケニア）、Zhishen You 教授（Dalian University of Technology:中国）、小熊利江講師（Ghent University:ベルギー）、田中宏樹氏、研究代表者林とともにメタバースの教育利用について世界の教育者とディスカッションした。

中村教博教授、小池武志特任准教授、八木秀文特任講師には各プログラムにおける座長を担当いただき、オーガナイザーである五十嵐大和特任教授、北村良氏（リコージャパン株式会社）とともにシンポジウムの最後に「将来の展望」を語っていただいた。内海太祐教授、水野義之教授、高木亜有子客員准教授、高嶋章雄准教授には時間的制約により依頼が叶わなかったが、ポスターを送付しシンポジウム参加を依頼した。

研究分担者以外の多くの方々にも登壇いただいた。まず、大野英男東北大学総長に開会の挨拶を頂戴した。次に、喜連川優国立情報学研究所所長には「教育とメタバースー教育 DX シンポでの取り組み情報共有から見えてくる世界ー」

の題目で、滝澤博胤東北大学理事・副学長には「東北大学における XR 技術・メタバースの教育・研究への応用」の題目で、基調講演に登壇いただいた。

学問領域の分野からは、雨宮智浩准教授（東京大学）に「メタバース・VR 技術の教育利用とその可能性」の題目で、川鍋友宏氏（情報通信研究機構）に「農業高校における XR 技術を用いた遠隔実習システムとその周辺技術の紹介」の題目で、東昭孝助教（金沢大学）に「XR 技術を活用した教育メタバースの構築」の題目で、XR・メタバースの教育利用について講演いただいた。

省庁の取組として、柳島智局長（東北総合通信局）に「メタバース時代の ICT 基盤, Beyond 5G (6G)の推進戦略」について、上田泰成氏（経済産業省）に「メタバースにおけるクリエイターエコノミーの創出と相互運用性について」について講演いただいた。

産業界の分野から田中宏樹氏に「『cluster』がもたらすユーザー体験からみえてきたメタバースと教育の未来」の題目で、また、メタバース上での研究交流組織の代表である Kuroly 氏（理系集会）に「異分野融合をメタバースで加速する」の題目で、ふあるこ氏（バーチャル学会）に「電脳世界における文化醸成とバーチャル学会の取り組み」の題目で講演いただいた。

最後に、滝澤博胤東北大学理事・副学長より閉会の挨拶を頂戴し、次年度の取組の展望をお話しいただいた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

XR 技術やメタバースの教育への貢献や関連課題について本シンポジウムで講演いただいた幅広い分野の研究者、企業関係者からの提言を書籍として公開すべく本学の出版助成に申請し採択された。また、本シンポジウムの取組について河北新報の朝刊（12 月 3 日）に掲載された。なお、研究代表者の教育手法の波及効果の一つとして、文部科学省遠隔教育ガイドライン、日本経済新聞、読売新聞、朝日新聞、河北新報、日経 BP、東洋経済新報等のメディアから紹介されている。

加えて、本シンポジウムを機に 2023 年 11 月 24 日開催台湾日語教育学会国際シンポジウムの基調講演を依頼され、さらに 2023 年 8 月 17～21 日 The 17th International Conference of the European Association for Japanese Studies (EAJS:ベルギーゲント大学)にて、メタバース協働学修についての口頭発表が採択されており、ヨーロッパをはじめ海外の大学や遠隔教育の研究分野への波及と連携強化を見込め、内閣府 J-MIRAI にも貢献可能な取組である。

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・国際会議 (メインオーガナイザーとして主催)

Contributions of XR Technology to Education and Society: The Metaverse and International Collaborative Creation, Tohoku Forum for Creativity, Future Society Design Program 2022 - 2023 【International Symposium2 回, Workshop, Public Forum 各1回 企画実施】

(※電気通信研究所共催のロゴあり)

招待講演

林雅子「メタバースで世界をつなぐ国際協働学修」東北大学知の創出センター知のフォーラム「XR 技術の教育・社会貢献ーメタバースでの国際協創ー」2022.12.2【招待講演】

論文等 (査読あり)

林雅子 et al. (1/4) (2022)「メタバースを活用した国際共修の利点と課題ー受講者のリフレクションを基にー」『東北大学言語・文化教育センター年報』第8号

(2) 関連リスト (謝辞なし)

林雅子 (2022)「VR 技術を活用した国際共修授業」『東北大学言語・文化教育センター年報』第8号

その他

「迫真 ウィズコロナの新年度3 対面授業再び, その先に」に名前・写真とともにメタバースの国際教育の実践例・メッセージ掲載【日本経済新聞社 2022.4.6 朝刊2面】

「アカデミックメタバースで世界をつなぐ国際共修」東北大学統合報告書 2022

採択番号：R02/B02

コヒーレント光・マイクロ波融合通信・計測システムに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

井上 崇（産業技術総合研究所）

通研対応教員：

廣岡 俊彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

森 雅彦（産業技術総合研究所）

並木 周（産業技術総合研究所）

土田 英実（産業技術総合研究所）

黒須 隆行（産業技術総合研究所）

鋤塚 治彦（産業技術総合研究所）

松本 怜典（産業技術総合研究所）

吉富 大（産業技術総合研究所）

稲場 肇（産業技術総合研究所）

大久保 章（産業技術総合研究所）

柏木 謙（産業技術総合研究所）

石川 浩（株式会社光パソコミュニケーションズ）

洪 鋒雷（横浜国立大学）

美濃島 薫（電気通信大学）

中嶋 善晶（東邦大学）

浅原 彰文（電気通信大学）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

クラウド・ビッグデータ社会の基盤として従来用いられている情報通信システムでは、ワイヤレスネットワークと、これを収容する大容量光ネットワークが、それぞれ独立に構築ならびに運用されている。将来に向けてより安全・安心で効率的な社会基盤を構築するためには、更なる大容量化と多様な情報に対応できる自律分散協調ネットワークが必須である。このような高度なネットワークを実現するためには、それぞれ独立に運用されているワイヤレスと光のネットワークを、光やマイクロ波などの伝送媒体に依存しない仮想的な通信方式に置き換えたい。両者の違いを意識せずに利用できる仮想化ネットワーク技術が要求される。

一方、計測標準分野においては、マイクロ波領域の原子時計により実現されている時間の定義が精度の限界に達し、飛躍的な精度向上が期待できる光格子時計に置き換えられようとしている。光波領域で規定される時間標準を通信やセンシングに利用するためには、光波の高純度

なコヒーレンスを保持したまま、周波数をマイクロ波帯に変換する必要がある。

本プロジェクトでは、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究所、電気通信大学、横浜国立大学などの研究者の間で、コヒーレンスを保持して光波とマイクロ波を相互変換し、システムとして両者を融合したコヒーレント通信・計測技術に関する研究討論を行った。

本プロジェクトは、今年度が採択3年目に当たり、令和5年2月22日にオンラインで、東北大学、産業技術総合研究所、埼玉大学、東京大学、NTT などから約50名の研究者が参加して研究会を開催し、11件の発表を行った。量子関連技術、光周波数計測技術や分光技術、光ファイバ無線伝送技術等に関する発表に対して、活発な討論を行った。研究会のプログラムを以下に示す（○は発表者を示す）。

2023年2月22日（水）

1. 開会挨拶 廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）
2. リザーバコンピューティングの進展と近年の研究動向：○菅野円隆（埼玉大）
3. ループ型光量子コンピュータとその応用：○武田俊太郎（東大）
4. 量子アニーリングの応用と人材育成：○大関真之（東北大）
5. コヒーレントイジングマシン：○武居弘樹（NTT）
6. 光・マイクロ波と関連の深いイジングマシンの最新動向：○後藤隼人（東芝）
7. 光格子時計の高稼働率運転と暗黒物質の探索(1)－協定世界時UTCへの貢献－：○小林拓実 1・高見澤昭文 1・赤松大輔 2・川崎瑛生 1・西山明子 1・保坂一元 1・久井裕介 2・和田雅人 1・稲場肇 1・田邊健彦 1・安田正美 1（1産総研、2横浜国大）
8. 光格子時計の高稼働率運転と暗黒物質の探索(2)－セシウム原子泉型原子時計との協力による暗黒物質の探索－：○小林拓実 1・高見澤昭文 1・赤松大輔 2・川崎瑛生 1・西山明子 1・保坂一元 1・久井裕介 2・和田雅人 1・稲場肇 1・田邊健彦 1・安田正美 1（1産総研、2横浜国大）
9. 低繰り返し周波数光コムを用いた可視デュアルコム分光：○杉山陽平・櫻村翼・赤松大

輔・洪鋒雷（横浜国大）

10. FPGA 位相計を用いたフリーランデュアルコムレーザーの相対タイミングジッターの高感度検出：○中嶋善晶（東邦大）・穀山渉（産総研）

11. 小型平面アンテナを用いた光・無線融合フルコヒーレント伝送：○白幡晃一・佐藤大晟・葛西恵介・吉田真人・廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）

12. 自己注入同期型 1.5 μm 帯利得スイッチング DFB-LD による 10 GHz, 6.2 ps フーリエ限界コヒーレント光パルスの発生：○葛西恵介・吉田真人・廣岡俊彦・中沢正隆（東北大）

13. 閉会挨拶 井上崇・土田英実（産総研）

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

- ① 光リザーバコンピューティングの手法と課題について検討がなされ、レーザ、光強度変調器、SOA の非線形性を用いた手法や、光リザーバコンピューティングの深層化などについての成果が得られた。
- ② ループ型光量子コンピュータについて検討がなされ、プログラマブル光源を開発したうえで、パルスごとのスクイーズ度合いと位相の制御手法についての成果が得られた。[1]
- ③ 量子アニーリングの応用事例として、無人搬送システムの最適化や、旅行サービスの推薦システム最適化などの成果が得られた。
- ④ コヒーレントイジングマシン(CIM)について検討がなされ、CIM が 2 次元イジングモデルにおける相転移現象を精度よく示すという事実を明らかにするという成果が得られた。[2]
- ⑤ 光・マイクロ波と関連の深いイジングマシンについて検討がなされ、超伝導マイクロ波イジングマシンや、疑似量子イジングマシンなどに関する新たな方式や応用事例に関する成果が得られた。
- ⑥ 光格子時計の高稼働率運転による協定世界時への貢献と、セシウム原子泉型原子時計との協力による暗黒物質探索に関する成果が得られた。[3]
- ⑦ 低繰り返し周波数光コムを用いた可視デュアルコム分光に関する検討を行い、波長変

換によってエルビウムファイバコムの 3 倍波にあたる 532nm の波長帯で、ヨウ素分子の分光を可能とする成果が得られた。[4]

- ⑧ フリーランのデュアルコムレーザーについて検討がなされ、マルチチャンネル FPGA 位相計を用いて、相対タイミングジッターを高感度に検出する手法が提案された。
- ⑨ 28GHz 帯（帯域 2GHz）および 61GHz 帯（帯域 9GHz）の無線信号を注入同期型フルコヒーレントアナログ RoF によりファイバ伝送し、小型平面アンテナを用いて、空間伝送に成功した成果が得られた。[5]
- ⑩ 自己注入同期型利得スイッチ LD の出力を分岐・フィードバックして安定化し、LCOS による波形整形、DCF による分散補償を行ってフーリエ限界光パルスの生成に成功するという成果が得られた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

これまで独立に発展してきた光波とマイクロ波のコヒーレンスを保持して相互変換し、システムとして両者を融合したコヒーレント通信・計測技術を目指す点において、本プロジェクトは独自性と優位性を有していると考えられる。超高速光伝送技術とコヒーレント光伝送に関して世界最高レベルの実績とポテンシャルを有する東北大学・電気通信研究所と、シリコンフォトニクスを中心とする光デバイス、光信号処理、レーザ制御技術、標準・計測技術に多大の実績を有する産業技術総合研究所等の研究者が討論を行うことにより、当該分野の研究開発が一層加速されるとともに、我が国の技術的優位性の確立に貢献する。さらに、このような交流を学官だけでなく、産業界や海外にまで広げることにより、電気通信研究所が当該分野の世界的な研究拠点となることが期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)
なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

[1] H. Tomoda et al., "Programmable time-multiplexed squeezed light source," Opt. Express 31, 2161-2176 (2023).

[2] H. Takesue et al., "Observing a Phase Transition in a Coherent Ising Machine," Phys. Rev. Applied 19, L031001 (2023).

[3] T. Kobayashi et al., "Search for Ultralight Dark Matter from Long-Term Frequency Comparisons of Optical and Microwave Atomic Clocks," Phys. Rev. Lett. 129, 241301 (2022).

[4] Y. Sugiyama, "Precision dual-comb spectroscopy using wavelength-converted frequency combs with low repetition rates," Sci. Rep. 13, 2549 (2023).

[5] K. Shirahata et al., "48 Gbit/s 256 QAM coherently-linked optical and wireless transmission at 61 GHz band using a small planar antenna for 6G," International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC) 2022, 04-3.

採択番号：R02/B03

将来無線のレイヤレスデザインとその応用

[1] 組織

研究代表者：石橋 功至（電気通信大学）

通研対応教員：末松 憲治（東北大学）

研究分担者：

秋元 浩平（秋田県立大学）
 安達 宏一（電気通信大学）
 荒井 伸太郎（岡山理科大学）
 有吉 正行（NEC）
 安在 大祐（名古屋工業大学）
 石川 直樹（横浜国立大学）
 伊藤 孝弘（広島市立大学）
 稲毛 契（東京都立産業技術高専）
 衣斐 信介（同志社大学）
 岩田 大輝（日立国際電気）
 梅林 健太（東京農工大学）
 大賀 正夫（三菱電機）
 太田 真衣（福岡大学）
 大野 光平（明治大学）
 大山 哲平（富士通）
 大和田 泰伯（情報通信研究機構）
 金子 めぐみ（国立情報学研究所）
 亀田 卓（広島大学）
 木下 雅之（千葉工業大学）
 小澤 佑介（茨城大学）
 佐藤 光哉（電気通信大学）
 須藤 克弥（電気通信大学）
 田久 修（信州大学）
 田谷 昭仁（東京大学）
 タンザカン（東京工業大学）
 土田 輝（三菱電機）
 天間 克宏（情報通信研究機構）
 中村 聡（神奈川大学）
 成枝 秀介（三重大学）
 西尾 理志（東京工業大学）
 橋浦 康一郎（秋田県立大学）
 藤井 威生（電気通信大学）
 三宅 裕士（三菱電機）
 山本 高至（京都大学）

延べ参加人数：36人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

今後の進展が予測される Massive IoT を核とする無線通信ネットワークにおいては、超多接続や極低遅延など多種多様な要求条件で通信を行うことが求められ、加えて将来の新しいアプリケーションで求められる条件にも対応していく必要がある。このような大変革期の無線通信

ネットワークやその周辺技術においては、これまでの設計技術で主流だったレイヤ構造によるシステム設計では限界がある。今後はレイヤレスプラットフォーム設計や異なるレイヤ間（クロスレイヤ）の連携技術が必要不可欠であり、研究者コミュニティにおいて研究開発の方向性を長期的視野で議論を行うことが求められる。

本研究課題では、未知である将来の新しいアプリケーションの要求にも柔軟に答えられる無線通信プラットフォームを、ハードウェアから信号処理・情報理論に至るまでを統合的に設計するアイデアについて、各研究分野の新進気鋭の若手・中堅研究者を中心としたコミュニティで活発に議論することを目的とした。

2022年10月21日（金）に今年度の研究会をハイブリットにて開催した。今後の無線通信システムのレイヤレスデザインとその応用分野に関連する講演を行い、参加者全員で議論した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

今年度の研究会では、3件の講演を行った。

(1) 知識蒸留を用いたサーバレス分散機械学習 （青山学院大学（現 東京大学）・田谷 昭仁）

様々なモノにセンサと通信機能が搭載されるIoT（Internet of Things）と機械学習を組み合わせ、スマートハウスやスマート工場などで利用することが広く検討されている。機械学習ではデータの増加に伴い、予測・推論モデルの精度も向上することから、単独のセンサ端末だけでなく、複数の端末から得られる実環境でのデータを収集して、学習することでより精度改善が期待できる。こうした複数端末が連携して機械学習を行う分散学習アルゴリズムの一つに FL（Federated Learning）がある。FL は端末のデータをサーバや他の端末と共有しない学習方式で、プライバシー保護の観点から利点があり、様々な派生アルゴリズムが提案されている。

本発表では、機械学習の民主化を念頭に置き、FL の中でも端末同士がマルチホップ接続された環境を想定したサーバレス FL に、知識蒸留（Knowledge Distillation）を適用する学習アルゴリズム CMFD（Consensus-based Multi-hop Federated Distillation）を紹介した。典型的な FL では学習モデルや制御はサーバが管理するため、学習の参加者は学習を統括するプラットフォームに依存することになる。それに対し、CMFD

ではサーバが不要なため、プラットフォームに依存することなく学習を進めることができる。

技術的な観点では CMFD は関数空間上での分散合意最適化と解釈することができる。分散合意最適化はマルチホップ接続された端末間で分散最適化を行うアルゴリズムであるが、凸最適化にしか収束が保証されない。NN (Neural Network) の学習をパラメータ最適化と考えると、非凸最適化であるため、パラメータ空間で分散合意最適化を適用しても収束が困難である。一方で、機械学習を関数の最適化と考えると関数空間上での凸最適化問題となり、分散合意最適化を自然に適用できる。本発表ではマルチホップ環境での知識蒸留が関数空間上での分散合意最適化を近似していることを説明し、関数空間上での最適化がパラメータ空間での最適化よりも学習が安定することを示した。

(2) 三菱電機におけるローカル 5G の取り組み (三菱電機・土田 輝)

2019 年 12 月の 28GHz 帯の制度化によりローカル 5G の活用が実証実験を中心に開始された。また、2020 年 12 月には Sub6 帯と呼ばれる、4.6 ~ 4.9GHz 帯の制度拡張によって、ローカル 5G の普及が広がっている。三菱電機では、2020 年 5 月に当社名古屋製作所（愛知県名古屋市）構内に開設した 28GHz 帯ミリ波基地局を活用した実証環境の構築を皮切りに、ローカル 5G に関する実証実験および研究・開発を推進している。本発表では、当社のローカル 5G に関わる研究・開発の中から以下の 4 つの事例を紹介した。

- ・ミリ波基地局の電波伝搬検証: 28GHz 帯ミリ波基地局を活用するローカル 5G 実証システムを構築し、屋内電波検証を行った。
- ・コア NW における低遅延化技術の開発: ローカル 5G における低遅延化の取り組みとして、汎用 FPGA アクセラレータカードを活用し、コア NW におけるデータ転送機能である UPF (user plane function) を H/W 化する試作を行った。
- ・産業利用を想定した障害監視技術: ローカル 5G における外部環境情報（カメラ映像）と連携した通信障害監視技術を開発した。
- ・ローカル 5G 実証環境の構築: 2021 年 6 月に、当社情報技術総合研究所（神奈川県鎌倉市）構内に開設した実証環境である 5G OPEN INNOVATION Lab について紹介した。

(3) ローリングシャッターカメラを用いた可視光通信における通信領域の拡大に関する検討 (千葉工業大学・木下 雅之)

可視光通信は LED を高速変調することで情報を伝送する無線通信方式である。可視光通信は

カメラの受信も可能であり、LED の遍在性に加えて、普及が進むスマートフォンカメラを用いれば容易に導入が可能である。カメラを受信機に用いる可視光通信をイメージセンサ通信 (ISC) または光カメラ通信 (OCC) と呼ぶ。ISC では、通信速度が撮影速度に依存するため、通信の高速化が困難である。この課題に対し、一般的な商用カメラで採用されているローリングシャッター方式における行ごとに順次露光する撮像機構に注目することで、通信速度の大幅な向上が可能である。

しかしながらローリングシャッター方式の課題として、通信速度と通信距離のトレードオフが挙げられる。通信距離が延びると、画像上の LED の面積が縮小する。つまり、情報をもつ行の数が減少し、結果として通信速度が低下してしまう。本発表では上記の課題を改善し、ローリングシャッター方式における通信領域拡大のために二つのアプローチを紹介する。

一つ目のアプローチは、重畳繰返し伝送による通信距離の拡大である。ローリングシャッター方式において、遠距離で通信するためには、短いビットで構成されるデータを繰返し伝送することが要求されるが、近距離では通信速度が低下してしまう。そのため近距離通信では、長いビットで構成されるデータを少ない繰返し数で伝送することが望ましい。これらの条件を両立させるために、重畳繰返し伝送を提案し、近距離での通信速度を低下させずに遠距離での通信リンクの確立を目指す。

二つ目のアプローチは、デュアルカメラ受信機による通信距離の拡大である。ローリングシャッター方式における通信距離の伸長を妨げる別の要因として、不均一な輝度分布が挙げられる。LED は放射状に発光することから、画像上において、LED の端部と中央部で輝度（受信信号強度）が異なり、通信状態に差が生じる。これにより使用可能な行数が制限されてしまい、所望の通信速度を達成する通信距離も制限されてしまう。こうした不均一な輝度分布に対してデュアルカメラを利用した受信手法を提案し、LED 端部における通信誤りの改善を図る。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究プロジェクトは、国内外の研究者のコミュニティのすそ野を広げ、今後の無線通信技術の研究開発の方向性を活発に議論することに寄与している。特に、産学の研究者がそれぞれの立場でこれまでの研究成果について議論を行うことで、産学が連携して進むべき方向性について、包括的な議論を行うことができた。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・ (なし)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・ A. Taya, T. Nishio, M. Morikura, and K. Yamamoto, “Decentralized and model-free federated learning: consensus-based distillation in function space,” IEEE Transactions on Signal and Information Processing over Networks, vol.8, pp.799-814, Sep. 2022.
- ・ A. Taya, “Distillation-based serverless federated learning over sensor networks,” 2022 International Conference on Emerging Technologies for Communications (ICETC), Tokyo, Japan, Nov. 2022 (invited).
- ・ A. Taya, “Federated learning: privacy-preserving distributed machine learning in IoT,” Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform (APRIS), Tokyo, Japan, Nov. 2022 (invited).
- ・ 前田 隆人, 木下 雅之, 鎌倉 浩嗣, 山里 敬也, “ローリングシャッター型可視光通信のための重畳繰返し伝送による通信領域拡大,” 信学技報, CS2022-14, pp.16-21, 2022年7月.
- ・ 木下 雅之, 前田 隆人, 鎌倉 浩嗣, 山里 敬也, “ローリングシャッターカメラを用いた可視光通信における通信距離拡大手法,” 信学ソ大, AS-2-4, pp.S-10 - S-11, 2022年9月.
- ・ 土田 輝, 此川 志穂, 松永 亮, 大賀 正夫, 野田 雅樹, “産業用ネットワーク向けローカル 5G 通信障害監視技術の検証,” 信学ソ大, B-17-3, Sep. 2022.
- ・ 友江 直仁, 三宅 裕士, 山本 寛人, 大賀 正夫, 青山 哲也, 松永 亮, “事業 DX を支えるローカル 5G 技術,” 三菱電機技報, 97, No.2, pp.109-112, 2023.
- ・ K. Sato, “Over-the-air gaussian process regression based on product of experts,” 2022 IEEE GLOBECOM Workshops: Edge Learning over 5G Mobile Networks and Beyond, Virtual Conference, Dec. 2022.
- ・ 佐藤 光哉, “[招待講演] 分散連合機械学習: 基礎, 動向および無線設計から見た課題,” 信学技報, vol. 122, no. 25, IT2022-14, pp. 73-73, 2022年5月.
- ・ K. Tsurumi, A. Kaburaki, K. Adachi, O. Takyu, M. Ohta, and T. Fujii, “Simple Clock Drift Estimation & Compensation for Packet-Level Index Modulation and its Implementation in LoRaWAN,” IEEE IoTJ, vol.9, no.16, pp.15089-15099, Aug. 2022.
- ・ 尺田 一輝, 唐 正強, 荒井 伸太郎, “LED 設置位置の異なるプロペラ型回転式 LED 送信機を用いたイメージセンサ通信の性能評価,” 信学技報, vol. 122, no. 429, WBS2022-84, pp. 120-125, 2023年3月.

採択番号：R02/B04

Beyond-5G の実現に向けた高周波技術の探索

[1] 組織

研究代表者：

九鬼 孝夫 (国士舘大学)

通研対応教員：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

石崎 俊雄 (龍谷大学大学院)

伊藤 信之 (岡山県立大学)

大久保 賢祐 (岡山県立大学)

岡崎 浩司 (NTT ドコモ)

亀田 卓 (広島大学ナノデバイス研究所)

河合 邦浩 (NTT ドコモ)

河合 正 (兵庫県立大学大学院)

川崎 繁男 (スペース&モバイルワイヤレステクノロジー)

古神 義則 (宇都宮大学大学院)

佐藤 潤二 (パナソニック)

真田 篤志 (大阪大学大学院)

谷口 英司 (三菱電機)

中津川 征士 (函館工業高等専門学校)

檜橋 祥一 (摂南大学)

西川 健二郎 (鹿児島大学大学院)

西野 有 (BaSAI)

檜枝 護重 (菱電湘南エレクトロニクス)

平野 拓一 (東京都市大学)

藤島 実 (広島大学大学院)

藤本 竜一 (キオクシア)

丸橋 建一 (日本電気)

本良 瑞樹 (静岡理工科大学)

吉田 賢史 (鹿児島大学大学院)

Dmitry V. Kholodnyak (St. Petersburg Electrotechnical University)

延べ参加人数：26 人 (所属は 2022 年 4 月現在)。

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

日本の第 5 世代移動通信システム (5G) の本格的商用サービスは 2020 年 3 月に開始された。携帯電話に代表される移動通信システムは、1979 年開始の第 1 世代以降およそ 10 年単位で進化しており、次のシステムは 2030 年頃に開始されると予想される。このため、次世代の移動通信システム「Beyond-5G/6G」の研究開発は、将に今、検討しなければならない。その技術仕様

は概ね、伝送容量 100Gbps (5G の 10 倍)、接続密度 10^7 台/km² (5G の 10 倍)、最大遅延時間ほぼゼロ (5G は 1 ミリ秒) という値が示され、ハードルの高い技術課題が提案されている。そこで本プロジェクト研究会は、Beyond-5G 実現にあたりどのような高周波技術がキー技術となるのかを検討する。そして、これら技術の現状把握と課題の明確化および課題解決のための方法論を議論することにより、今後の高周波技術の研究開発の方向性を示すことを目的としている。

本プロジェクトは、2020 年度から 22 年度までの 3 年間のプロジェクトとして計画した。2020 年度は「Beyond-5G の概要と要素技術研究」、2021 度は「Beyond-5G のためのビームフォーミング技術研究」をサブテーマとして研究会を実施し、Beyond-5G の実現にはハードルの高い高周波回路・アンテナ技術が要求されることを示してきた。そして最終年度となる 2022 年度は「Beyond-5G 実現のための高周波技術のまとめ」をサブテーマに研究会を開催した。

このプロジェクトの 3 年間、研究分担者が一堂に会しての研究会の開催は、新型コロナウイルス感染拡大の影響で難しい状況が続いた。今年度はその影響も下火になり、2023 年 2 月に東北大学電気通信研究所にてオンサイトによる研究会開催を実現した。以下、研究活動状況の概要を記す。

(2022 年度研究会開催実績)

第 3 回共同プロジェクト研究会

日時：2023 年 2 月 22 日 (水)

場所：東北大学電気通信研究所・本館 1 階オープンセミナールーム

参加者：13 名

末松憲治, 大久保賢祐, 岡崎浩司, 亀田卓, 河合正, 川崎繁男, 真田篤志, 谷口英司, 中津川征士, 西川健二郎, 平野拓一, 吉田賢史, 九鬼孝夫

内容：

- ・ 研究代表者あいさつ
- ・ 講演 1 「フェライト装荷折り返し導波管による非相反右手/左手系複合メタマテリアル線路」, 大久保賢祐 (岡山県立大学)
- ・ 講演 2 「300GHz 帯アレーアンテナの開発」, 平野拓一 (東京都市大学)
- ・ 講演 3 「広ダイナミックレンジ整流器の

- 設計」, 西川健二郎 (鹿児島大学大学院)
 ・まとめと閉会

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

Beyond-5G の実現に必要な高周波技術の研究開発を検討するため、2020 年度研究会では、現在の 5G での研究開発例を振り返り、Massive-MIMO によるビームフォーミング技術や先端的な回路実装技術の研究開発がキーとなることを示した。さらに 2021 年度研究会では、送信電波のビームフォーミング・制御技術の研究開発に焦点を当て、ミリ波・テラヘルツ波帯電波が利用される Beyond-5G では、受信エリアの不感地帯低減やエリアカバレッジ改善のため、より高性能な Massive-MIMO や、メタサーフェス反射板のような新しい物理を活用した電波制御技術の開発が必要となることを示した。

そこで今年度の研究会は、ミリ波・テラヘルツ波帯アンテナ技術に関連する最新の研究開発をさらに議論し、Beyond-5G 実現の課題をまとめる研究会とした。

はじめに、岡山県立大学・大久保賢祐教授より、「フェライト装荷折り返し導波管による非相反右手/左手系複合メタマテリアル線路」のご講演をいただいた。これまでの研究会で示唆されたように Beyond-5G では送信電波ビームフォーミングがキー技術であり、高周波信号の位相制御が可能な高周波フェライトデバイスには大きな利用価値がある。講演では、フェライトを用いた伝送線路によるマイクロ波帯デバイスの提案が解説された。高周波伝送線路にフェライト片を周期的に配置することで、伝搬する高周波の非相反特性が得られると同時に右手/左手系複合メタマテリアルの特性により位相制御を実現できることを理論的・実験的に示し、Beyond-5G への応用も議論した。

つぎに、東京都市大学・平野拓一准教授より、「300GHz 帯アレーアンテナの開発」のご講演をいただいた。Beyond-5G で利用が検討されるミリ波・テラヘルツ波帯のアンテナ開発に関する技術課題が紹介された。ミリ波・テラヘルツ波は波長が極めて短いために回路とアンテナの接続が困難となり、新たな実装技術の検討が必要であることが示された。60GHz 帯アンテナの試作例から、ミリ波・テラヘルツ波帯でのアンテナ設計のためには高周波基板の正確な材料定数(誘電特性)が必要であることが示され、その

重要性が議論された。

最後に、鹿児島大学大学院・西川健二郎教授より、「広ダイナミックレンジ整流器の設計」のご講演をいただいた。無線電力伝送技術の拡張として、電力と同時に情報も送信する技術が検討されている。このとき、無線電力信号の波形は情報に応じて大きく変化するので、受信(受電)側の整流動作特性の解析が複雑になることが示された。高周波から直流電力への整流効率改善のため、広ダイナミックレンジ整流器の設計についての研究成果が紹介された。

以上の議論から、本年度はつぎの研究成果を得た。すなわち、ミリ波・テラヘルツ波帯電波が利用される Beyond-5G システムは送信電波の高度なビームフォーミング技術が必要である。このため、ビームフォーミングを実現するための高周波フェライト伝送線路やアレーアンテナ設計、実装の検討を進める必要があると考えられた。

(特別支援(国際)に係る研究成果)

Beyond-5G に必要となる受動回路技術で世界的に活躍しているサンクトペテルブルグ電気工科大学の Dmitry V. Kholodnyak 教授に参加いただくことにより、新しい高周波技術を探索する国際共同研究推進型の研究会を計画していた。しかし、新型コロナウイルス感染拡大やロシアのウクライナ侵攻の影響により渡航が難しく、当初に期待していた国際共同推進の成果は得られなかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクト研究会(2020~2022 年度開催)での議論の結果、Beyond-5G 実現のためには、送信電波のビームフォーミング技術がキー技術のひとつになることを示唆した。Beyond-5G では、伝送容量と接続密度のさらなる増加のためにミリ波・テラヘルツ波帯電波の利用が考えられるが、これは同時に通信エリアカバレッジの狭小化をもたらす。このジレンマの解決策のひとつが、より高度なビームフォーミング技術の開発であると考えられる。そして、これを開発するためには、フェーズドアレーアンテナや Massive-MIMO のための高周波回路技術の高度化のほか、メタマテリアルやメタサーフェスによるビーム制御といった新機軸の研究開発が重要であることを示した。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・ 九鬼孝夫, "印刷による2帯域阻止形周波数選択面(FSS)の設計・評価," 令5電学全大, S10-7, 名古屋大, March 2023.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・ T. Hirano, "Evaluation and Extraction of Equivalent Circuit Parameters for GSG-type Bonding Wires Using Electromagnetic Simulator," IEICE Trans. Electronics, Vol.E105-C, No.11, pp.692-695, Nov. 2022. (DOI: 10.1587/transele.2021ESS0002)
- ・ T. Hirano, "Series-Fed Printed-Dipoles With a Director for Substrate Lateral Radiation," Proc. of International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), RS26, pp.537-538, Sydney, Australia, Oct. 31-Nov. 3, 2022.
- ・ 平野拓一, "ミリ波・テラヘルツ波アンテナの開発と課題," 令5電学全大, S10-2, 名古屋大, March 2023.
- ・ 平野拓一, "テラヘルツ時間領域分光 (THz-TDS) 測定による Si の複素誘電率評価," 信学会無線端末・アンテナシステム測定技術研究会 (AMT 研), AMT2022-14, 名護, Dec. 2022.
- ・ 平野拓一, "ネットワークアナライザ Open-Short-Load 校正の電磁界シミュレーションと原理の理解," 電子情報通信学会 無線端末・アンテナシステム測定技術研究会 (AMT 研), AMT2022-02, 根室, June 2022.
- ・ 円山知浩, 坂口浩一郎, 岸原充佳, 大久保賢祐, "ジャイレータを用いた非相反 CRLH 線路の分散特性に関する一考察," 2022 信学ソ大, C-2-14, p.20, Sept. 2022.
- ・ 大久保賢祐, "フェライト装荷導波管による非相反右手/左手系複合メタマテリアル線路," 信学技報, Vol.122, No.183, pp.62-67, Sept. 2022.
- ・ K. Okubo, T. Maruyama, K. Sakaguchi, M. Kishihara, "A study on dispersion characteristics for a nonreciprocal CTLH-TL using gyrator and series capacitor," Proc. APMC 2022, WE1-F6-3, pp.79-81, Nov. 2022. (DOI:10.23919/APMC55665.2022.10000059)

- ・ 大久保賢祐, 森隆司, 岸原充佳, 坂口浩一郎, "折り返し導波管を用いた非相反右手/左手系複合導波管の変移相特性について," 信学論(C), vol.J106-C, no.1, pp.62-63, Jan. 2023. (DOI:10.14923/transelej.2022MWF0002)
- ・ M. Ugajin, Y. Kakei, N. Itoh, "A study of phase-adjusting architectures for low-phase-noise quadrature voltage-controlled oscillators," IEICE Trans. Electronics, Vol.E106-C, No.2, pp.59-66, Feb. 2023.
- ・ K. Miyazaki, K. Komoku, N. Itoh, "920 MHz Current-Reuse Low-Power LNA Operated in Moderate Inversion Region," IEICE Electronics Express, Vol.19, No.7, pp.1-6, April 2022.
- ・ Y. Hashimoto, B. Kaneda, K. Komoku, N. Itoh, "A Study on 23.8-43 GHz CMOS Low-Power Ultra-Wideband Injection-Locked Frequency Multiplier with Transformer Input," Proc. APMC 2022, TH3-F1-3, pp.372-374, Yokohama, Japan, Dec. 2022.
- ・ S. Seguchi, K. Komoku, N. Itoh, "1.40/2.42/4.21-GHz Triple-Band Concurrent LNA Using Inductor Coupling," Proc. APMC 2022, WE1-F1-2, pp.4-6, Yokohama, Japan, Nov. 2022.
- ・ M. Miyake, K. Komoku, N. Itoh, "920-MHz Fully Integrated Low-Power LNA Under Moderate-Inversion Operation," Proc. APMC 2022, WE1-F1-1, pp.1-3, Yokohama, Japan, Nov. 2022.
- ・ N. Tamura, K. Komoku, N. Itoh, "A 27.2-27.8 GHz Fine Frequency Tuning DCO Using 13-bit Switched Resistor," International Conference on Analog VLSI Circuits (AVIC 2022), pp.46-49, Hiroshima, Japan, Nov. 2022.
- ・ Y. Hayashi, K. Komoku, N. Itoh, "A study of K-band gain-boosted amplifier using inductor coupling," 2022 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp.77-79, 2022. doi:10.1109/RFIT54256.2022.9882429.
- ・ R. Mochizuki, N. Shinohara, A. Sanada, "Quarter-wavelength E || H Beltrami

- cavity resonators," AIP Advances 13 (2), 025158, 2023
- K. Yonemura, Y. Nakata, Y. Kato, A. Sanada, "Broadband Optimization of Perfect Anomalous Reflective Metasurfaces for Beyond 5G Wireless Communications," Proc. APMC 2022, pp.222-224, 2022.
 - R. Mochizuki, N. Shinohara, A. Sanada, "Zero Poynting vector E//H Beltrami field cylindrical cavity resonators," AIP Advances 12 (7), 075314, 2022.
 - 真田篤志, 米村一真, 関 健斗, 中田陽介, 加藤悠人, "テラヘルツ波領域の完全異常反射メタサーフェス技術," 2022 信学ソ大, CK-2-6, Sept. 2022.
 - 土屋歩, 河合正, 榎原晃, "任意3周波数整合による一定の比帯域幅を有するデュアルバンド準集中定数型電力分配器," 電学論 C, Vol. J142, No. 8, pp. 806-810, Aug. 2022.
 - S. Ohtani, K. Ichiba, T. Kawai, A. Enokihara, "High Efficiency of Rectifier Circuit for WiCoPT utilizing Doubly Asymmetrical Branch-Line Coupler," Proc. Wireless Power Week 2022, pp.166-169, July 2022.
 - M. Fukunaga, T. Kawai, A. Enokihara, "Unequal LC-Ladder Divider with Broad/Dual-Band Characteristics Utilizing Two-Frequency Matching," Proc. APMC 2022, IF-B16, Dec. 2022.
 - T. Kawai, "Compact and Broadband/Multiband Designs of Microwave Couplers/Dividers for Wireless Communication Systems," 2022 Taiwan-Japan Passive Component Technology Symposium, Oct. 2022.
 - 福永祥利, 土屋歩, 河合正, 榎原晃, "2周波数整合可能な集中定数素子型非等電力分配器の一構成法," 信学技報, vol. 122, no. 35, MW2022-19, pp. 23-27, May 2022.
 - 福永祥利, 土屋歩, 河合正, 榎原晃, "2周波数整合可能なLCはしご形非等電力分配器の実験的検討," 信学技報, vol. 122, no. 313, MW2022-133, pp. 11-15, Dec. 2022.
 - 福永祥利, 河合正, 榎原晃, "LCはしご形非等電力分配器を用いた5分岐回路の一構成法," 2023 信学総大, C-2-54, p. 72, March 2023.
 - 河合正, 松本泰樹, 林龍音, "方形導波管TE₁₀-TE₃₀モード変換器を用いたマイクロ波フライヤー," 令5電学全大, S10-5, 名古屋大, March 2023.

採択番号：R02/B06

人の行動理解・解析に基づいた空間型ユーザインタフェース

[1] 組織

研究代表者

山本 豪志朗 (京都大学)

通研対応教員

高嶋 和毅 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

小倉 加奈代 (岩手県立大学)

磯山 直也 (神戸大学)

三武 裕玄 (東京工業大学)

池田 聖 (立命館大学)

藤本 雄一郎 (東京農工大学)

酒田信親 (奈良先端科学技術大学院大学)

真鍋 宏幸 (芝浦工大)

Sabah Boustila (University of Toronto)

武富 貴史 (サイバーエージェント)

[2] 研究経過

本研究では、空間における人々の様々な活動を支援し、そして強化するための空間型ユーザインタフェースについて議論する。関連する要素技術として、三次元空間内での人の行動解析技術、意図理解・推定、コミュニケーション技術、ロボット型のディスプレイ (e.g. ドローン等)、バーチャルリアリティ、人を引きつけるためのエンタテインメント技術やインタラクティブインストール等がある。これらは全て近年極めて活発に研究が進められているものである一方で、それぞれの分野における技術課題が依然として多いためお互いが十分に接続されていないことが多い。本プロジェクトでは、関連分野で活躍する若手による研究会を開催し、これらの分野の強みや課題、そしてそれぞれの接続を十分に議論することで、将来の空間型ユーザインタフェースの設計や実装について議論を深め、今後の共同研究の構想を練ることを目的とした。

本プロジェクトは、本年度が最終年度であり、初めて対面で研究会を開催することができた。その概要を記す。

開催日程：令和5年2月20日、21日

参加者：[1]に示すプロジェクト関係者に加えて、他プロジェクトに関わる研究者ら計20名程度

内容と議論：

一人20分の持ち時間で各自が持っている技術や課題などについて下記の通り共有を行った。以下は講演者とその演題であり、様々な観点で空間ユーザインタフェースデザインに関する情報が共有された。

秋山 恵 (イトーキ 先端技術研究所)

「スマートキャンパス構想のコンセプトとPOCの取組みについて」

高原 良 (株式会社TATAMI)

「ワークプレイスにおけるウェルビーイング研究の動向」

磯田 和生 (大日本印刷株式会社)

「DNP ミュージアムラボ「みどころウォーク」クロスモーダル知覚を活用したスケール感を体感できる空間体験」

津川 翔 (筑波大学)

「ソーシャルネットワークにおける情報流通のモデル化と適正化」

土方 嘉徳 (関西学院大学)

「デジタルマーケティングのための行動心理モデリングの研究」

武富 貴史 (サイバーエージェント)

「サイバーエージェントにおけるデジタルツイン技術」

小倉 加奈代 (岩手県立大学)

「ユーザ主体の農業機械操縦行動分析／所属内行動変容デザインの実践」

池田 聖 (大阪大学)

「三次元固視検出に基づく注視対象推定」

藤本 雄一郎 (奈良先端大学院大学)

「パブリックスピーキングトレーニングへの VR/AR の適用」

伊藤 雄一 (青山学院大学)

「無意識コンピューティングとその応用」

山本 豪志朗 (京都大学)

「医療における空間拡張技術」

酒田 信親 (龍谷大学)

「クロスモーダル現象とプロテウス効果を利用した空間拡張インタフェース」

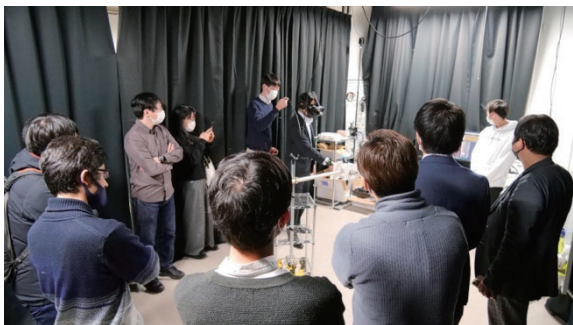
真鍋 宏幸 (芝浦工業大学)

「3D プリンタを用いた個人向け電子回路作成手法」

以下は実際の研究会の様子である。



研究会終盤には、通研の情報コンテンツ研究室のデモツアーを実施し、デモを見ながら空間ユーザインタフェースデザインについて意見を交換した。以下はその様子である。



[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究会プログラムは充実しており、それぞれの講演者からの研究報告は多岐に渡り、バーチャルリアリテ

ィや空間インタフェースを構築する技術やインタラクションデザインに関して広く深く情報交換することができた。一昨年、昨年度と異なり、通研にて開催できたため、オンラインでは得られない同一空間での情報共有によって、情報交換と交流の質と量は大きく向上したと感じた。また、通研にて情報コンテンツ研究室のデモを体験することができた点もオンライン開催とは違って有意義であったと考える。

会議終了に再度打ち合わせをして、来年度の共同プロジェクトを申請することにも合意することができ、有意義に研究会を終了することができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
本プロジェクトは、身体の三次元的な計測とそのユーザインタフェース応用を専門とする研究者と密な交流を実現し、具体的な共同研究テーマを模索することが目的である。一回の研究会を経て、お互いの交流は大きく発展した。今年度は、引き続きコロナ禍の話題が多かったが、今後は、より具体的な成果や関連業界への波及が見込めると考える。例えば、医療やスポーツ等についても同様の観点で深い議論が可能と考える。そのため、本プロジェクトを来年度も継続し、近い分野ではあるがお互い強い交流を持たない研究者同士でノウ・ハウや研究動向を整理して、成果をまとめて公開するなどして、空間ユーザインタフェースを中心とした研究領域に貢献していきたい。

[4] 成果資料

なし

採択番号：R02/B07

異種データ融合による人・社会センシング基盤

[1] 組織

研究代表者：

岡部 寿男（京都大学学術情報メディアセンター）

通研対応教員：

尾辻 泰一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

荒川 豊（九州大学大学院システム情報科学研究科）

安本 慶一（奈良先端科学技術大学院大学先端科学研究科）

菅沼 拓夫（東北大学サイバーサイエンスセンター）

白石 陽（公立はこだて未来大学システム情報科学部）

吉廣 卓哉（和歌山大学システム工学部）

乃村 能成（岡山大学大学院自然科学研究科）

白鳥 則郎（東北大学電気通信研究所）

東野 輝夫（京都橘大学工学部）

渡辺 尚（大阪大学大学院情報科学研究科）

北上 眞二（福井工業大学環境情報学部）

藤田 滋（千葉工業大学情報科学部）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

Society 5.0 に向けて、IoT (Internet of Things) と呼ばれるあらゆるものにセンサと通信機能が搭載され、絶え間なく情報が送られるようになってきている。そのような異種データを融合し、人と社会をセンシングする基盤の実現することを目的として研究を行った。

本プロジェクトの最終年度となる令和 4 年度は、異種データを融合し、人と社会をセンシングする基盤の実現に向けて、(1) スマートホームにおける通信・電力情報に基づく行動認識、(2) (1)におけるプライバシーおよび機器に対するトラスト実現技術、(3) スマートシティにおける人・車・電力データ融合データ処理技術に関する検討、を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

令和 4 年度も、新型コロナウイルス感染症拡大防止対策のため、年度前期は対面での研究会や研究打ち合わせを控え、テレビ会議を利用したオンラインでの非公式な打ち合わせやメーリングリストでの議論を中心に行いつつ、秋に、以下の 3 プロジェクトと合同で、東北大学電気

通信研究所において、対面とオンラインを併用するハイブリッド形式の研究会を 2 日間かけて開催した。

日時：2022 年 11 月 18 日（金）10 時～19 時

19 日（土）9 時～12 時

場所：東北大学電気通信研究所 本館 6 階大会議室 (M601) およびオンライン (Zoom)

共催：

- ・ R02/A25 「人間の能力を拡張する次世代マルチモーダルデータ流通処理基盤」(研究代表者：峰野博史・静岡大学情報学部教授)
- ・ R03/B12 「持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究」(研究代表者：石田繁巳・公立はこだて未来大学准教授)

本プロジェクトからは 27 日の午後に 7 件（すべて現地）の発表を行ったほか、3 プロジェクトの進捗の総括と研究の方向性について幅広く討論を行った。

また、2023 年 2 月 16 日（木）に開催された共同プロジェクト研究発表会において、研究代表者が現地でポスター発表を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度の研究成果として、11 月の研究会では以下に示す 7 件が発表された。

- 岡部 寿男（京大） Beyond 5G 時代のオープンでセキュアな Wi-Fi ローミングに向けて
- 荒川 豊（九大） My-IoT 基盤とその活用について
- 安本 慶一（奈良先端大） IoT およびナッジによる健康支援
- 渡辺 尚（阪大） 非地上ネットワークのその後の展開
- 菅沼 拓夫（東北大） 局所空間デジタルツインの概念とその応用について
- 東野輝夫（京都橘大学） 人やモノの行動認識技術～未来の健康社会の実現を目指して～
- 藤田茂（千葉工大）・白鳥則郎（中央大学）ポストエージェント指向 Double の提案とその応用 —持続動作可能な情報システムの構成—

このうち、岡部らによる「Beyond 5G 時代のオ

オープンでセキュアなWi-Fi ローミングに向けては、モバイルキャリアによるSIM認証と一元化されたセキュア認証をWi-Fiサービスのローミングにおいて実現する技術であるPasspointとそれに基づいたオープンな国際的公衆無線LANローミングの枠組みであるOpenRoamingを、国際学術無線LANローミングのフレームワークであるeduroamなどの上で利用できるようにすることで、Beyond 5G時代のモバイルデータオフローディングを実現するための技術を確認しようとするものであり、本共同研究プロジェクトでの基礎的な検討を基に、令和3年度より情報通信研究機構(NICT)のBeyond 5G研究開発促進事業委託研究に国際共同研究型プログラムとして採択され、研究開発と社会実装を進めている。共同プロジェクト研究発表会ではこの内容を中心にポスター発表した。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等


本プロジェクトでの議論の一部は、JST 研究開発戦略センターの戦略プロポーザル「Society 5.0時代の安心・安全・信頼を支える基盤ソフトウェア技術」(CRDS-FY2020-SP-06)に反映され、同タイトルでの文部科学省の戦略目標の下で、2021年度からJSTの戦略的創造研究推進事業においてCREST「基礎理論とシステム基盤技

術の融合によるSociety 5.0のための基盤ソフトウェアの創出」とさきがけ「社会変革に向けたICT基盤強化」が設定され、前者の研究総括に研究代表者の岡部が、後者の研究総括に研究分担者の東野が選任され、2021年度より公募により課題が採択されている。

また、関連する国際会議として、前年度までに引き続き、2022 IEEE Computers, Software and Applications Conference (COMPSAC 2022)の併設国際ワークショップとして、研究代表者の岡部並びにR02/A25の研究代表者である峰野を中心に以下を企画し開催した。

- ・ 会議名：The 10th IEEE International Workshop on Consumer Devices, Systems, and Services (CDS 2022)
- ・ 日時：2023年7月27日—31日
- ・ 開催場所：オンライン（当初はTorino, Italyでの現地開催を予定）

スマート社会の実現のために持続動作可能な情報システムの開発へ向けて、「ポストエージェント指向Doubleの提案とその応用—持続動作可能な情報システムの構成—」では、従来のエージェント指向を超えたパラダイムとして、Double指向モデルを提案し、将来の自律的情報システムの構成法の一つとして貢献が期待され注目されている。



Beyond 5G時代のオープンでセキュアなWi-Fiローミングに向けて

Toward Open and Secure Wi-Fi Roaming in the Beyond 5G Era

京都大学 *Kyoto Univ.* ・ Local24 ・ 東北大学 *Tohoku Univ.* ・ 国立情報学研究所 *NII*

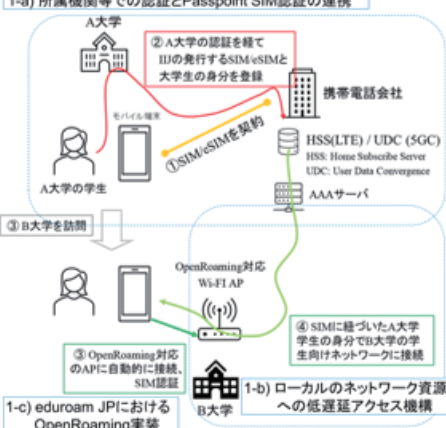
<https://b5gwr.cityroom.jp/>

次世代公衆無線LANローミングであるOpenRoamingによりモバイルキャリアのユーザがWi-Fiに接続する際のモバイルデータ通信とのシームレスな切り替えと効率的なデータオフローディングを行うための課題をSIMによるセキュアな認証で解決します。

OpenRoaming, the next generation of public wireless LAN roaming, solves the problem of seamless switching with mobile data communication and efficient data offloading when mobile carrier users connect to Wi-Fi with SIM-based secure authentication.

1. オープンでセキュアなWi-Fiローミングメカニズム
Open and secure Wi-Fi roaming mechanism

1-a) 所属機関等での認証とPasspoint SIM認証の連携




1-b) ローカルのネットワーク資源への低遅延アクセス機構

1-c) eduroam JPIにおけるOpenRoaming実装

2. QUIC multipath拡張における動的経路選択機構
Dynamic path selection mechanism in QUIC multipath extension

2-a) ポリシーベースのアドレス追加・選択機構



2-b) 帯域・遅延に応じた動的経路選択

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- Zhou Enping, M. Kobayashi, T. Fujihashi, Md. A. Alim, S. Saruwatari, M. Nishi, T. Watanabe, "Reliable Multicast Streaming for Hierarchical Non-Terrestrial Network", 9th International Conference on Wireless Networks and Mobile Communications, pp.1-6, 2022. **Student Best Paper Award**
- 石岡 卓将, 周 恩平, 小林 真, 藤橋 卓也, Md. Abdul Alim, 猿渡 俊介, 西 正博, 渡辺 尚, "マルチメディアストリーミングに向けた NTN 基礎実験," 第 85 回情報処理学会全国大会, No. 6Y-07, pp.1-2, 2023.
- 松尾 周汰, 中村 優吾, 荒川 豊, "ナッジフレームを適用した Captive Portal によるセキュリティリテラシ向上支援システムの検討と評価," 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ 第 2 回研究会 (IPJS BTI2), 2022 年 11 月.
- 大園 咲奈, 中村 優吾, 荒川 豊, "フェムテックによる本人及び周辺の人々の行動変容支援に関する調査," 情報処理学会 IoT 行動変容学研究グループ 第 2 回研究会 (IPJS BTI2), 2022 年 11 月.
- 藤田 茂, 白鳥 則郎, "ポストエージェン指向に基づく内外の変化を自律的に吸収し継続動作する情報システム," 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), 2022-DPS-192(6), pp.1-6, 2022 年 8 月.
- Jiahao Wen, Toru Abe, and Takuo Sukanuma, "Customer Behavior Recognition Adaptable for Changing Targets in Retail Environments," Proc. of the 18th IEEE International Conference on Advanced Video and Signal-Based Surveillance (AVSS), pp.1-8, 2022.
- 吉田 周平, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, "XR を用いたギター演奏技能育成支援システムの提案," 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (2022-DPS-193), Vol. 18, pp.1-6, 2022 年 12 月.
- 永沼 祥吾, 滝 雄太郎, 藤田 茂, "秘匿性と耐障害性を実現する秘密分散法を用いたネットワークファイルシステムの開発," 研究報告マルチメディア通信と分散処理 (DPS), 2022-DPS-193(5), pp.1-8, 2022 年 12 月.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- Masato Hirai, Daisuke Kotani, Yasuo Okabe, "Linking Contexts from Distinct Data Sources in Zero Trust Federation," 5th International Workshop on Emerging Technologies for Authorization and Authentication (Co-Located with ESORICS 2022), Sept. 30, 2022.
- Kanta Matsumoto, Tomokazu Matsui, Hirohiko Suwa, Keiichi Yasumoto, "Stress Estimation Using Biometric and Activity Indicators to Improve QoL of the Elderly," Sensors 23(1): 535, Jan. 3, 2023.
- Jiahao Wen, Toru Abe, and Takuo Sukanuma, "A Customer Behavior Recognition Method for Flexibly Adapting to Target Changes in Retail Stores," Sensors 2022, 22(18): 6740, Sep. 6, 2022.

採択番号：R02/B11

音声によるカラスの行動制御手法の自動化に向けた開発

[1] 組織

研究代表者

塚原 直樹 (株式会社 CrowLab)

通研対応教員

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

末田 航 (SenseFoil PTE. LTD.)

佐藤 隆史 (株式会社 IHI)

永田 健 (株式会社 CrowLab)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

カラスによる農作物被害は約 13 億円に達している (農林水産省 令和 3 年度)。その他、都市部での騒音や糞害、配電トラブルなど多様かつ深刻な被害がある。カラスの被害を軽減するため、カラスを追い払うなどの技術が必要であり、民間企業等が様々な製品を販売しているものの、それらはカラスの生理・生態を無視したものが多く、決定打がないのが現状である。これまでの申請者の研究より、カラスは鳴き声によるコミュニケーションが発達しており、鳴き声をスピーカーから再生することでカラスの行動をコントロールすることができることがわかってきた。申請者はその技術をもとに株式会社 CrowLab を立ち上げ、事業を展開している。しかしながら、それらの手法は申請者の感覚に頼る部分が大きく、この技術を様々な被害現場で広く活用するためには、自動化などの省力化が必須である。そこで本研究では、鳴き声に対するカラスの反応のデータを蓄積するとともに、機械学習等を用いることでカラスの行動制御手法の自動化が可能かどうか、研究会を通じて検討する。

本プロジェクトは、本年度が 3 年目であった。6 月 18 日、11 月 17 日、2 月 3 日、2 月 17 日に電気通信研究所を訪問しての対面での研究打ち合わせを行った。6 月 18 日は、塚原、北村、末田、永田の 4 名にて対面で打ち合わせを行った。11 月 17 日と 2 月 3 日は、塚原、北村、永田の 3 名にて対面で打ち合わせを行い、末田がウェブ参加した。2 月 17 日は、塚原、北村、末田の 3 名にて対面で打ち合わせを行い、永田がウェブ参加した。

研究会の他、実質的な研究活動として、深川市、八戸市、福島市、越谷市、入善町、佐賀市、熊本市にて音声再生装置を用いたカラスの行動制御実証試験を行った。これらの場所では、定点カメラを設置し、カラスのモニタリングを行

った。

また、本プロジェクトに関連して、より広範囲のカラスの行動制御手法の開発のため、ドローンを用いた手法を検討した。過去に、固定翼機にスピーカーを乗せ、カラスの鳴き声を再生しながら飛行させたところ、カラスの警戒行動などを誘発することができた。固定翼機を用いたのは、飛行する様子が鳥の見た目により近いため、カラスの行動を誘発する上で適していると考えたためである。しかし、固定翼機の操縦には、技術の修練が必要であることから、より操縦が簡易な回転翼機を用いての行動制御が可能かどうかを検討した。回転翼機にスピーカーを搭載してカラスの鳴き声を再生しながら飛行する他、カラスの羽根や翼を搭載した回転翼機に対して、カラスがどのように反応するかを調べた。今年度は、飯田市のたい肥場や平塚市の畜産施設、気仙沼の漁港において、ドローンに対するカラスの反応を調べる試験を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

4 回実施した研究打ち合わせでは、これまでの研究の進捗と成果の他、本プロジェクトの総括と今後の方向性について議論した。打ち合わせでは、カラスの行動制御手法を自動化する上で、カラスの振る舞い等のデータについてより多くの蓄積の必要性などが議論され、その実現可能性は示されたものの、実装するにあたって、電源やコストの問題が課題として上がった。一方で、カラス被害のニーズは非常に多いものの、現在の CrowLab が提供するサービスでは申請者の感覚に頼る部分が多く、人件費がかかり、それが提供価格に反映されていることから、サービスの提供先が限定されてしまっている。自動化することでコストを下げ、提供価格を下げることであれば、これまで提供できていなかった顧客へのサービス提供が可能となり、市場の拡大が期待できる。そこで、カラスの振る舞い等のデータの蓄積やそれらを学習させたアルゴリズム、プロトタイプの開発に向け、それらの資金獲得のための A-STEP 等の助成金への応募に向けた議論を行った。

また、実証試験では、以下の成果を得た。

深川市、越谷市、入善市では、夏から秋にかけて、八戸市、佐賀市、熊本市では、冬に、福島市では一年を通じて、市街地に多数のカラスが飛来し、夜間から朝まで電線等に滞在し、道

路の糞害が問題となっている。各自治体の協力のもと、糞害が顕著な場所に音声再生装置を設置し、タイマー制御で行動制御の音声を再生し、追払いを実施した。また、定点カメラを設置し、カラスの飛来状況を調べた。その結果、いずれの場所においても糞害を長期的に軽減することができた。本実証試験に関わる取り組み等について、2022年4月9日 The Japan Times、2022年7月10日 TBS「アブノーベルSHOW これがまさかの大発見!？」、2023年3月3日テレビ朝日「羽鳥慎一モーニングショー」など20件以上のメディアで紹介された。

本プロジェクトの関連研究であるドローンを用いたカラスの行動制御手法の開発については、5月30日と31日に飯田市のたい肥場にて、7月19日に平塚市の畜産施設にて、カラスに向け、回転翼機を飛行させたところ、回転翼機に対しカラスの反応は見られなかった。そこで、11月17日に気仙沼漁港において、スピーカーやカラスの羽根を搭載した回転翼機（図）を飛行させたところ、回転翼機に複数のカラスが近づくななどの反応が得られた。しかし、1月11日や2月3日の気仙沼漁港、2月14日の平塚市の畜産施設における同様の実験では、音声を再生した際のカラスの反応は得られたものの、カラスの羽根を搭載した回転翼機に対する反応の再現性は得られなかった。また、平塚市においては、飛び方をカラスに近づけるため、高低差をつけながら飛行させたが、カラスの反応は得られなかった。それらのことを含め、本プロジェクトにおいて議論したところ、回転翼機をよりカラスの見た目近づけることも可能ではあるが、安定飛行性やコストの問題などから、現時点では現実的ではないとの結論に至った。そこで、今後は回転翼機にスピーカーを搭載したものを3次元的に移動するスピーカーとして活用し、カラスの行動制御を目指すこととした。



図. カラスの羽根を搭載した回転翼機

上記の成果については、令和4年度共同プロジェクト研究発表会の共同プロジェクト研究成果報告にて報告した。

【特別支援（産学）に係る研究成果】

それぞれの研究会及び研究打ち合わせ、実証試験の実施に伴い、株式会社 CrowLab の永田氏を招聘した。株式会社 CrowLab では、カラス被害対策の製品開発やサービスの提供を行っている。本年度は各試験を実施し、カラスの行動制御手法の自動化に向けた議論を行った。また、株式会社 IHI の佐藤氏から自動化に向けたデバイスに関する助言を受けた。佐藤氏は精密加工を専門とし、また、シンガポールの政府機関において、シーズ技術の実用化に関わるプロジェクトを推進する部署に所属していた実績より、プロダクトを見据えた意見を受けた。

【特別支援（国際）に係る研究成果】

それぞれのウェブ会議に SenseFoil PTE. LTD. の末田氏を招聘した。末田氏はヒューマンコンピュータインタラクションの専門家であり、本プロジェクトではその専門性を活かし、カラスとのコミュニケーションを試みるアニマルコンピュータインタラクションへと挑戦する。会議では、カラスの行動制御手法の自動化に向けた議論を行った。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで行われた実証試験の成果は、下記の「[4] 成果資料」に記載した通り、新聞やテレビ、ラジオ、WEB 等の多数のメディアに取り上げられた。カラスによる被害対策に対する高いニーズがあるという理由だけではなく、野生動物と音声によるコミュニケーションを行うといった新たな切り口の社会課題の解決法に興味を持たれたと推測される。

本プロジェクトは、動物行動学とコンピュータサイエンスの異分野融合型の研究課題であり、それぞれの研究分野に対し、新たな手法の提案や新たなアプリケーション例の提案の面で、一石を投ずることが期待される。また、未だ萌芽的な研究分野である、コンピュータを介し動物とのインタラクションを目指す、アニマルコンピュータインタラクションの分野への貢献も期待できる。その他、本システムが開発されれば、野生動物と人の摩擦といった社会的課題を解決することにも貢献できる。

〔4〕論文や学会発表等

【招待講演等】

- 1) 令和 4 年度共同プロジェクト研究発表会
セッション 2/共同プロジェクト研究成果
報告「カラスの行動をコントロールする手
法の開発」2023 年 2 月
- 2) かぬま生涯学習大学 特別企画「カラスの
生態について知ろう」2023 年 2 月
- 3) 放送大学栃木学習センター足利学舎 公開
講演会「カラスと共存！
知ろう生態・防ごう被害！」2023 年 2 月
- 4) およま市民大学（放送大学栃木学習センタ
ー連携事業）「カラスを知ろう～生態と対策
～」2022 年 7 月

【メディア出演等】

- 5) 2023 年 3 月 15 日 福島民友新聞
- 6) 2023 年 3 月 3 日 テレビ朝日「羽鳥慎一モー
ニングショー」
- 7) 2022 年 12 月 27 日 佐賀テレビ
- 8) 2022 年 12 月 20 日 佐賀新聞
- 9) 2022 年 12 月 15 日 熊本日新聞
- 10) 2022 年 12 月 15 日 熊本県民テレビ
- 11) 2022 年 12 月 15 日 熊本放送
- 12) 2022 年 12 月 15 日 テレビ熊本
- 13) 2022 年 12 月 1 日 日本テレビ「news
every.」
- 14) 2022 年 11 月 30 日 中京テレビ
- 15) 2022 年 10 月 29 日 MBC 南日本放送「アブ
ノーベル SHOW これがまさかの大発見！？」
- 16) 2022 年 10 月 19 日 西日本新聞
- 17) 2022 年 10 月 14 日 中日新聞
- 18) 2022 年 10 月 2 日 北國新聞
- 19) 2022 年 9 月 21 日 NHK ラジオ「ごごカフ
ェ」
- 20) 2022 年 7 月 10 日 TBS「アブノーベルSHOW
これがまさかの大発見！？」
- 21) 2022 年 7 月 5 日 RKB 毎日放送「田畑竜
介 Groooooow Up」
- 22) 2022 年 6 月 8 日 福島中央テレビ「ゴジ
てれ chu！」
- 23) 2022 年 5 月 7 日 福島民報新聞
- 24) 2022 年 5 月 4 日 福島民友新聞
- 25) 2022 年 4 月 21 日 中国新聞
- 26) 2022 年 4 月 9 日 The Japan Times
(<https://www.japantimes.co.jp/life/2022/04/11/environment/tokyo-crows-pandemic/>)

採択番号：R02/B12

脳型 LSI とその関連技術国際共同研究

[1] 組織

研究代表者：

羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員：

羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

Wai Tung Ng (Univ. of Toronto, Canada)

P. Glenn Gulak (Univ. of Toronto, Canada)

Ali Sheikholeslami (Univ. of Toronto, Canada)

Warren C. Gross (McGill Univ., Canada)

Vincent C. Gaudet (Univ. of Waterloo, Canada)

松岡 浩（(一)日本海事協会）

夏井 雅典（東北大学電気通信研究所）

鬼沢 直哉（東北大学電気通信研究所）

米田 友洋（国立情報学研究所）

今井 雅（弘前大学理工学部電子情報工学科）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

（研究目的・概要）情報量の急速な増大に加え、デジタルデバイスが急増することによる現代情報社会の危機的状況を回避するためには、その膨大な情報を効率的かつ瞬時に処理する新しいコンピューティングパラダイムを構築することが重要である。このような新しいコンピューティングパラダイムは、従来型のコンピュータアーキテクチャとは全く異なり、ハードとソフトの発想を一新し、人間的な知的処理機能を取り込んだ柔軟かつ超低消費電力なハード・ソフト融合型集積回路「新概念脳型 LSI」を研究開発することが必要となる。

このような萌芽的研究開発を推進する上で、ハードとしての LSI 技術のみならず、人間、あるいは人間の脳が行っている認識・学習、あるいは自律分散制御といった高次の情報処理技術を如何に融合し、開発目標である「脳型 LSI」を実現していくかを検討する必要がある。そこで、本研究開発に関連する研究分野を専門とする国内外の著名な研究者らと交えた意見交換を、継続的かつ積極的に行っていく必要がある。以上の理由により、人間的判断の実現に向けた新概念脳型 LSI の研究開発を推進するための国際共同研究を行うことを目的とする。

（研究計画及び内容）本研究会は、人間のような認識・学習をするメカニズムの解明、環境に適応して歩行制御する人間的な自律分散制御のメカニズムの解明、こ

れらの人間的判断を瞬時に、かつ効率的に実行する集積回路技術等の研究分野における具体的な基礎検討・調査を行いながら、新しい LSI に基づくシステム実現を展開する。具体的には、Healthcare に関連した先行研究に取り組んでいる研究者を招へいし、現有システムの問題点・改善点に関する知見等を共有し、当研究チームの特異性を明確化していく。特に、本プロジェクト研究に参画する海外研究者らは、biomedical 分野・healthcare 分野の LSI 実現に関して先行した研究開発に取り組んでおり、彼らとの研究討論や意見交換を、年間を通じて適宜実施すると共に、各種の基礎検討・調査結果のまとめを、年間 1 回程度の国際ワークショップ形式で相互に発表し合いながら、脳型 LSI の実現に向けた研究開発を推進する。

ここ 2 年半に渡るコロナウイルス感染症の影響により、人的交流が大幅に制約されてしまい、対面での意見交換が困難な状況であったが、2022 年下旬頃より、国際会議等の対面開催が順次実施されつつあり、上述した国際交流を再開できる状況となっている。具体的な実施事例は以下の通り：

○Warren Gross 教授（カナダ・McGill 大学）との意見交換：

- ・日時：令和 4 年 9 月 23 日（金）10:00～11:00、
- ・場所：カナダ・McGill 大学にて対面で開催

また、IMT Atlantique（仏）の研究者らとの対面での研究交流（研究分担者：鬼沢直哉氏が 2022 年 11 月に 1 ヶ月間現地に滞在し意見交換を実施）を通じて、本所への招へいも再開することを確認した。具体的には、2023 年 4 月に Vincent Gripon 先生（教授、仏・IMT Atlantique, フランス）が来仙する計画、ならびに Mathieu Leonardon 先生（准教授、IMT Atlantique, フランス）が本年 5 月から 1 ヶ月間来仙する計画であり、それぞれ脳型 LSI アーキテクチャに関する共同研究に関する意見交換を実施する計画である。さらに、Wai-Tung Ng 先生（教授、カナダ・トロント大学）と 2023 年 2 月に意見交換（電子メール）し、2023 年中に来仙し研究打合せを対面にて実施する話しを進めている。このような研究交流の再開を通じて、脳型 LSI 研究のさらなる応用展開に取り組んでいく準備が出来ている。加えて、直近でも国際共著論文等（以下のリストはその抜粋）を継続的に進めており、このプロジェクト企画により、国際交流活動がより一層加速される状況である。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

令和4年度の主な研究成果は、不揮発CPU/ACCハードウェアの設計・検証である。不揮発記憶素子のMTJ (magnetic tunnel junction) 素子はハードウェアの省電力化に効果が出せることは知られていたが、実際にCPU等へ適用した事例は極めて少ない。本研究では、CPUの命令セットにパワーゲーティング (PG) 命令を追加し、PG制御に起因する無駄な制御データ生成等を極限まで減らし、制御の効率化を図った。図1は提案の不揮発CPUアーキテクチャである。このアーキテクチャに基づく不揮発CPUのシミュレーション波形を図2に示す。データラッチ動作の遅延等は実デバイスの特性を参照し組み込んでいる。この動作シミュレーションにより、所望のPG制御が効率的に実施されていることがわかる。本CPUを用いて、省電力化の効果を定量的に評価した結果を図3に示す。アクセラレータ (ACC) を適切に稼働させることで、CPUの負荷 (命令数) を半分以下へ低減できること、またこの結果、大幅な省電力化が図られることが示された (別紙成果リスト4) を参照)。

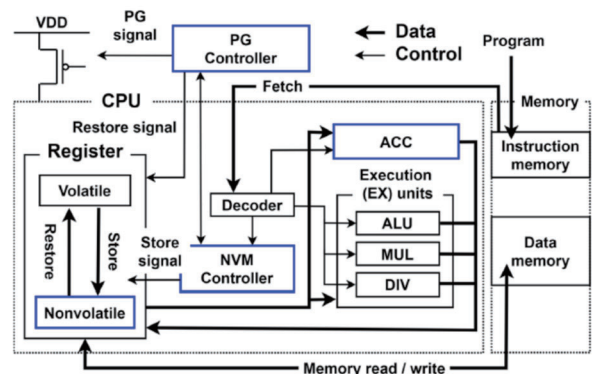


図1：提案不揮発CPUアーキテクチャ。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

令和4年度の特筆すべき成果として、カナダ・McGill 大学・Warren Gross 教授との共同研究として取り組んでいる「stochastic computing」に関して、Simulated Annealing のベンチマークとして典型的な K2000 問題の求解へ適用した結果、①過去最高のカット値が得られたこと、また②その求解収束までのサイクル数が従来手法と比べ格段に少ないこと (つまり高速な求解ができたこと) が明らかになった。本成果は、回路・システム関連の国際シンポジウム (査読付) にて発表した (別紙成果リストの9) を参照)。またその効率的なハードウェア実装方法に関する論文が回路・システム関連で世界的に著名な学術雑誌 IEEE JETCAS へ掲載される (別紙成果リストの3) を参照) など、今後のさらなる研究展開が大いに期待される。

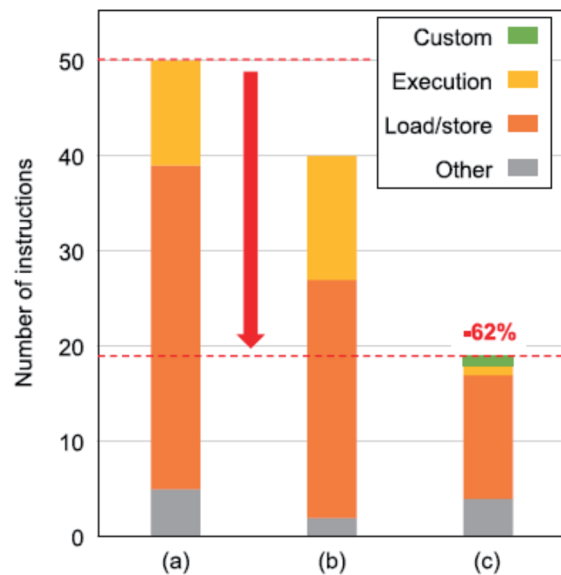


図3：PG制御利用の効果。

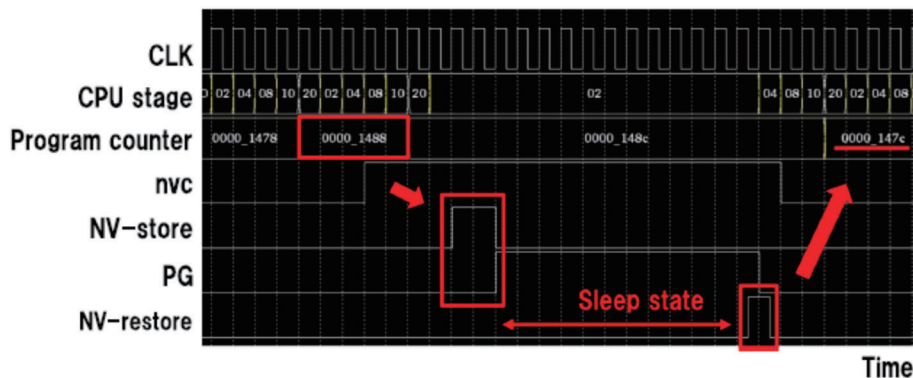


図2：提案不揮発CPUの動作波形 HSPICE シミュレーション結果。

[4] 論文や学会発表等

- (1) 成果リスト (謝辞あり)
・なし
- (2) 関連リスト (謝辞なし)
- 1) (査読付国際会議論文) F. Zhong, M. Natsui, and T. Hanyu, "High-Performance/Low-Area Power-Gating Switch Linear Array for Energy-Efficient LSIs with an Optimum Switch-Timing Control," proceedings of the 2023 IEEE International Symposium on Circuits & Systems (iscas2023), Monterey, CA, USA, May 21-25, 2023 (accepted).
 - 2) (査読付国際会議論文) K. Asano, M. Natsui, and T. Hanyu, "Write-Energy Relaxation of MTJ-Based Quantized Neural-Network Hardware," proc. of International Symposium on Multiple-Valued Logic, May 2023 (accepted).
 - 3) D. Shin, N. Onizawa, W. Gross, and T. Hanyu, "Memory-Efficient FPGA Implementation of Stochastic Simulated Annealing," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS), vol.13, issue 1, pp.108-118, March 2023. doi: 10.1109/JETCAS.2023.3243260
 - 4) M. Natsui, K. Sakamoto, and T. Hanyu, "Design of a nonvolatile-register-embedded RISC-V CPU with software-controlled data-retention and hardware-acceleration functions," Memories-Materials, Devices, Circuits and Systems, vol.4, 9 pages, 2023. doi: 10.1016/j.memori.2023.100035
 - 5) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of an Energy-Efficient Nonvolatile Lookup Table Circuit Using Active-Load-Localized Circuitry with Self-Terminated Writing/Reading," Japanese Journal of Applied Physics (JJAP), March 2023. doi: 10.35848/1347-4065/acbd5a
 - 6) (査読付国際会議論文) D. Suzuki and T. Hanyu, "A Spintronics-Based Nonvolatile FPGA and Its Application to Edge-AI Accelerator," 2022 IEEE 15th Int. Symp. Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip (MCSoc2022), pp. 53-60, Dec. 2022. doi: 10.1109/MCSoc57363.2022.00018
 - 7) (査読付国際会議論文) D. Suzuki, M. Natsui, A. Tamakoshi, Y. Takako, and T. Hanyu, "Design of a Low-Power FPGA-Based CNN Accelerator Based on Nonvolatile Logic-in-Memory Circuitry," Proc. of the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2022), pp. 132-135, Dec. 2022.
 - 8) (査読付国際会議論文) M. Natsui, D. Suzuki, Y. Takako, A. Tamakoshi, and T. Hanyu, "Prospects of Energy-Efficient Edge-AI Accelerator Architecture Using Nonvolatile Logic," Proc. of the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (NOLTA 2022), pp.136-138, Dec. 2022.
 - 9) (査読付国際会議論文) K. Katsuki, D. Shin, N. Onizawa, and T. Hanyu, "Fast Solving Complete 2000-Node Optimization Using Stochastic-Computing Simulated Annealing," Proc. of 29th IEEE International Conference on Electronics Circuits and Systems (ICECS2022), 2 pages, Oct. 2022.
 - 10) (査読付国際会議論文) D. Suzuki and T. Hanyu, "Design of an Energy-Efficient Nonvolatile Lookup Table Circuit Using Active-Load-Localized Circuitry with Self-Terminated Writing/Reading," Extended Abstract of 2022 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2022), pp. 754-755, Sep. 2022.

採択番号：R02/B14

3次元空間内の自己運動知覚と多感覚統合

[1] 組織

研究代表者：

櫻井 研三（東北学院大学教養学部）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

行場 次朗（尚絅学院大学）

Hiroshi Ono（York 大学心理学部）

Laurence R. Harris（York 大学心理学部）

蘆田 宏（京都大学文学研究科）

一川 誠（千葉大学文学部）

岡嶋 克典（横浜国立大学環境情報研究院）

北崎 充晃（豊橋技術科学大学工学研究科）

佐藤 雅之（北九州市立大学国際環境工学部）

玉田 靖明（北九州市立大学国際環境工学部）

中村 信次（日本福祉大学子ども発達学部）

金子 寛彦（東京工業大学総合理工学研究科）

古賀 一男（京都ノートルダム女子大学心理学部）

白井 述（新潟大学人文学部）

妹尾 武治（九州大学高等研究院）

寺本 渉（熊本大学文学部）

Philip M. Grove（Queensland 大学 心理学）

松宮 一道（東北大学大学院情報科学研究科）

栗木 一郎（埼玉大学理工学研究科）

Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：32人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

現実の環境における観察者の行動は能動的であり、自己の身体を適切に制御しながら空間内を移動し、外界の対象に近づいてそれを自分の四肢で操作している。この能動的行動において主要な役割を果たす自己身体感覚情報は前庭覚と自己受容感覚であり、本プロジェクトでは、観察者の能動的運動が観察者自身の知覚をどのように変容させるのかという問題に焦点を当て、能動的観察事象における前庭覚と視覚、聴覚の関係、あるいは自己受容感覚と視覚の関係を明らかにすべく、このテーマに取り組んでいる国内外の研究者が集まり議論を深めることを目的として研究を進めている。

コロナの感染状況も落ち着いてきたため、本プロ

ジェクト3年目の今年度は、研究会を対面開催に戻すことにした。もちろん感染拡大防止のための基本的対策は怠らず、オンライン配信を同時に行うハイブリッド形式で参加者の便宜を図りながら、講演会と研究会を開催した。

講演会：2023年3月16日：熊本大学の寺本先生のご尽力で、トロント大学（カナダ）の Jennifer Campos 先生に電気通信研究所でご講演いただいた。

講演者：Professor Jennifer Campos (Toronto Rehabilitation Institute; University of Toronto)

講演題目：“Multisensory Self-motion Perception in Younger and Older Adults”

共催：学術変革領域研究 A「生涯学の創出—超高齢社会における発達・加齢観の刷新」

場所：東北大学電気通信研究所 本館4階 M431ゼミ室

参加人数：対面およびオンライン合計で20名。

講演内容は Toronto Rehabilitation Institute（トロント大学）と、そこで進められている研究の紹介であった。主に加齢による自己運動知覚への影響を実験心理学の手法で検討する研究が続けられており、高齢者になるほど知覚課題へのパフォーマンスが低下することと、それを回避する方策が提案された。



研究会：2023年3月17日：近況報告と研究打ち合わせを中心としたミーティングを実施した。

場所：東北大学電気通信研究所 本館4階 M431ゼミ室

対面参加者は、白井、玉田、佐藤、金子、寺本、中村、櫻井の7名。その他、朝倉暢彦（大阪大学）、村田佳代子（千葉大学）の2名がメンバー外で参加。

オンライン参加者は、古賀、蘆田、一川、妹尾、Tsengの5名。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

Zoomによるミーティングでは、参加者各自の研究動向を報告してもらい、その成果について議論した。そこで報告された主要な研究の概要を以下にまとめておく。

1) 白井述（新潟大学）

・この数年来のコロナ禍の影響で、2022年度も対面での視覚発達実験の実施が困難な状況が続いていたが、実験室での対面実験と遜色なく乳幼児の視覚選好を測定可能なリモート視覚発達実験の手法（Shirai et al., 2022, 基礎心理学研究）を開発し、研究を継続した。同リモート手法は参加者の自宅で、参加者の都合の良いときに実施可能であり、参加児や保護者の心身の負担を軽減しつつ視覚機能の評価を行うことが可能である。そうした利点を活かすことで、同手法を対面実験の代替手段とするだけではなく、より多様な参加者集団（例えば、人見知りが強くて実験室実験に参加できない乳幼児、など）を対象とした「新しい形」の視覚発達研究へ応用することを、現在計画している。

2) 一川誠（千葉大学）

・2月に*i-Perception*誌に掲載された小林美沙氏との共同研究について報告した。「怒り」の表情を示す顔画像を見て緊張が高まると、視覚の処理能力が向上して短時間で生じた出来事を認識しやすくなる、すなわち物事がスローモーションで見えることを確認したもので、多くのメディアで取り上げられた。また、実験にはCRTを現在も使用していることが驚きを持って取り上げられたことも話題となった。

3) 蘆田宏（京都大学）

・藤本花音氏とのヘッドマウントディスプレイ（HMD）を利用した共同研究論文（*Frontiers of Virtual Reality*誌）について報告した。参加者にHMDでオプティックフローを観察してもらい、視覚により誘導される身体のswayの2つの指標である頭の動きと重心位置（CoP）を比較した。HMDで頭の動きを追跡することは容易であるが、人体の複雑な関節構造のため、従来のCoP測定とはいくつか異なる特徴を

持つ可能性がある。分析の結果、反応ゲインを除いて、両者の反応は非常に類似していた。そして時間領域と周波数領域で有意な差は見られなかった。私たちの結果は、少なくとも視覚による姿勢制御の研究において、身体swayの変動の予測指標として頭部運動が利用可能であることを示している。

4) 櫻井研三（東北学院大学） Chia-huei Tseng（東北大学電気通信研究所）

・Chia-huei Tseng准教授との共同研究で、2022年12月に「*Multisensory Research*」誌に掲載された研究を報告した。縦方向の真っ直ぐ、すなわち「垂直」をほぼ間違いなく知覚できる能力は、自分の姿勢を正しく保つ場合など、私達がこの環境で生きていく上で極めて重要な意味を持つが、この能力が正しく機能せずに錯視が生じる場合がある。Chia-huei Tsengと櫻井研三らの国際研究チームは、実験室での再現が難しいこの錯視の仕組みを探るため、垂直のビルが傾いて見える錯視で知られる香港のビクトリアピークのケーブルカー「ピークトラム」で垂直に感じる向きを調べる実験を実施した。その結果、身体の前傾の傾きと直線移動が同時に組み合わせられた場合に垂直に感じる向きが歪み、この錯視が生じることを明らかにした。この研究は「垂直な建物が傾いて見える錯視の謎を解明」という東北大学と東北学院大学のジョイントニュースリリース記事でも紹介された。

https://www.tohoku.ac.jp/japanese/2022/12/pres_s20221226-02-body.html

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究会の実施を中心とした共同プロジェクトであるが、3年目の今年度は、外部のプロジェクト「学術変革領域研究A「生涯学の創出—超高齢社会における発達・加齢観の刷新」との共催という形でトロント大学のJennifer Campos教授の講演を実現することができた。

さらにプロジェクトメンバー同士が中心となった国際共同研究の成果の一つとして、垂直な建物が傾いて見える錯視の謎を解明」という東北大学と東北学院大学のジョイントニュースリリース記事でも紹介された*Multisensory Research*誌に掲載された論文の発表が挙げられる。

採択番号：R02/B15

半導体微細加工技術とナノ材料に基づく脂質二分子膜と膜タンパク質の機能計測・制御手法の開発

[1] 組織

研究代表者：

手老 龍吾（豊橋技術科学大学応用化学・生命工学系）

通研対応教員：

平野 愛弓（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

井出 徹（岡山大学自然科学研究科）

森垣 憲一（神戸大学バイオシグナル総合研究センター）

12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

共催：電気通信研究所共同プロジェクト研究会

日時：2023年3月7日(火)－8日(水)

場所：オンライン開催 (Zoom)

3月7日(火)

参加者：38人（うち外国人参加者 13人）

“Single atom co-catalysts in photocatalytic H₂ generation”

Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

“Single atom co-catalysts in photocatalytic H₂ generation”

Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

“Single atom co-catalysts in photocatalytic H₂ generation”

Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

“Nanothick metal oxide channel thin film transistors and their application as gas and UV sensing”

Fumihiko Hirose (Yamagata University, Yamagata, Japan)

“Substrate-supported photosynthetic model thylakoid membrane”

Yuka Kusunoki¹, Daisuke Takagi², Seiji Akimoto³, Sophie A. Meredith⁴, Ashley M. Hancock⁴, Stephen D. Evans⁴, Peter G. Adams⁴, Kenichi Morigaki¹ (¹Kobe University, Japan, ²Setsunan University, Japan, ³Kobe University, Japan, ⁴University of Leeds, UK)

“Fluorescence single molecule tracking for molecular behaviors at interfaces between solid surfaces and organic solvents”

Yui Matsushita¹, Satoki Kubota², Takuya Matsumoto², Ken-ichi Amano³, Tomoko Hirayama⁴, Hiroshi Onishi^{2,5}, Ryugo Tero¹ (¹Toyohashi University of Technology, TJapan, ²Kobe University, Japan, ³Meijo University, Japan, ⁴Kyoto University, Japan, ⁵Institute for Molecular Science, Japan)

“An adaptive automatic method for idealization of

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

半導体加工技術とバイオテクノロジーと融合することにより、ナノバイオエレクトロニクス・ナノバイオテクノロジーへの展開が進められている。本研究では、生体高分子の中でも、特に創薬ターゲットや薬物副作用の観点から注目されているイオンチャネルタンパク質を対象に、半導体ナノ微細加工技術と脂質二分子膜系の融合により、高感度・高精度センシングデバイスの開発、および脂質二分子膜系の全く新しい計測・制御技術の開発を目指している。

イオンチャネルは様々な疾患に関わる創薬の主要ターゲットタンパク質である。例えば、医薬品による催不整脈作用の問題から開発薬物に対する安全性薬理試験として心筋の hERG チャネルへの作用評価が必須となるなど、イオンチャネルに対する高効率な薬物スクリーニング系への需要が高まっている。今年度はチャネル計測実験のボトルネックとなっている膜融合過程の解明と改善方法の開発に引き続き取り組んだ。また、酸化グラフェン(GO)上への脂質二重膜形成と膜内ドメイン局在化についての観察を行った。

2023年3月7-8日には、ナノ、バイオ、エレクトロニクス分野の研究者が集う国際シンポジウムを、本共同プロジェクト研究会の共催としてオンラインで開催した。周辺領域の研究分野における最近の動向と最新の研究成果について情報交換を行い、研究者同士での交流の場とした。以下にその概要を記す。

single-channel currents”

Ayumi Hirano-Iwata, Madoka Sato, Masanori Hariyama, Maki Komiya, Hideaki Yamamoto (Tohoku University, Japan)

3月8日(水)

参加者：27人（うち外国人参加者6人）

“Multiplexed detection of biomarkers in unprocessed clinical samples”

Shenglin Cai, Thomas Pataillot-Meakin, Akifumi Shibakawa, Ren Ren, Charlotte L. Bevan, Sylvain Ladame, Aleksandar P. Ivanov, Joshua B. Edel (Imperial College London, UK)

“Anodic TiO₂ nanotubes with defined intertube spacing in biomedical applications”

Anca Mazare^{1,2}, Patrik Schmuki^{1,3,4} (¹Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Germany, ²Tohoku University, Japan, ³Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Czech Republic, ⁴King Abdulaziz University, Saudi Arabia)

“Nonlinear responses observed in random arrays of gold nanoparticles assembled by dielectrophoresis”

Yoshinao Mizugaki, Tetsuya Urae, Hiroshi Shimada (The University of Electro-Communications, Japan)

“Development of a highly sensitive gas sensor using TiO₂-nanotube film”

Daisuke Tadaki¹, Kazuki Iwata², Hiroyuki Abe³, Teng Ma¹, Ayumi Hirano-Iwata¹, Yasuo Kimura⁴, Shigeaki Suda⁵, Michio Niwano¹ (¹Tohoku University, Japan, ²Tohoku Fukushi University, Japan, ³Industrial Technology Institute, Miyagi Prefectural Government, Japan, ⁴Tokyo University of Technology, Japan, ⁵Miyagi Factory, CHEST M.I., Inc., Japan)

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

脂質二分子膜デバイスにイオンチャネルなどの膜タンパク質を埋め込む際には、球殻状の脂質二分子膜構造(リボソーム)に膜タンパク質を埋め込んだ状態(プロテオリボソーム: PL)の状態にして、デバイス中の人工脂質二分子膜と融合させる方法が用いられる。この際にPLの融合効率が実験全体の歩留まりを決める律速段階であるが、膜融合の操作は経験的なパラメータに頼らざるを得ないのが実情であった。我々はこれまでに支持脂質二重膜系を用いて、イオンチャネル計測に用いられる phosphatidylcholine (PC), phosphatidylethanolamine (PE), cholesterol (Chol)か

ら成る脂質二分子膜内に、PL融合サイトとして働く微小ドメインが存在しており、多価不飽和PEがその形成を誘起していることを見出した。昨年度までにPEの2本のアシル鎖の不飽和度と2重結合数の配分によってドメイン形成能が大きく変化することを明らかにした。PEよりも細胞膜内での存在比が高いPCについても、多価不飽和PCが存在することによって同様のドメイン形成が起きることを見出し、PEとのドメイン形成効率の違いを明らかにした。

GOはその特異的な蛍光クエンチ作用などからバイオセンシング分野への応用が盛んに研究されている材料である。我々はこれまでにGO上への脂質二分子膜形成とその物性計測を行ってきた。単層GOフレークを担持したSiO₂/Si基板上に、固-液相分離および液-液相分離を起こす多成分脂質二分子膜を形成したところ、GO上に流動性の低い膜内ドメインが局在化する現象を蛍光顕微鏡および原子間力顕微鏡観察により見出した。局在効率の試料冷却速度依存性について得られた結果に基づき、ドメイン形成時の核生成がGO上で優先的に起きる機構を提案した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

イオンチャネルは、アルツハイマー病や禁煙、麻酔、不整脈等の疾患に関わる創薬の主要ターゲットタンパク質であり、イオンチャネルに対する高効率な薬物スクリーニング系への需要が高まっている。本プロジェクトは電子工学、神経科学、生理学、化学の融合により初めて成し遂げられるものであり、それぞれの分野の研究者がその成果をお互いにフィードバックすることで今後の進展が期待される。また、無機・有機ナノ材料や膜タンパク質のナノポア応用など、材料化学と生理学の技術を融合した学際領域研究についての講演が多いのも本研究会の特徴である。

2022年度も前年度に引き続き国内外への移動には制約があったものの、オンラインでの研究会開催が一般的になり、海外の研究者にも講演を依頼しやすくなったのは利点であった。2日間の開催でのべ65人の参加者のうち、19人が外国人参加者であった。2020年度より本プロジェクトで開催した国際シンポジウムでの交流で得られたネットワークを活用して、2022年度もシンポジウムの申請を検討する。

採択番号：R03/B01

スピン・軌道・多極子がもたらす新規界面物性の開拓

[1] 組織

研究代表者：

三浦 良雄 (物質・材料研究機構)

通研対応教員：

白井 正文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

岡林 潤 (東京大学 理学研究科)

柳原 英人 (筑波大学 数理物質系)

三谷 誠司 (物質・材料研究機構)

介川 裕章 (物質・材料研究機構)

増田 啓介 (物質・材料研究機構)

小泉 洸生 (物質・材料研究機構)

小田 洋平 (福島工業高等専門学校)

千葉 貴裕 (福島工業高等専門学校)

芝田 悟朗 (日本原子力研究開発機構)

名和 憲嗣 (三重大学 工学研究科)

田中 清尚 (分子科学研究所)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本共同プロジェクト研究の目的は、磁気メモリや磁気センサーなどのスピントロニクスデバイスにおいて鍵となる、電子のスピンと軌道および多極子の結合によってもたらされる新規界面物性の直観的理解を、薄膜作製・放射光によるスピン・軌道・多極子の測定・第一原理計算を融合させて議論することで得ることにある。そして、得られた知見を、新しい機能性を有する磁性スピントロニクス材料の基盤研究へと展開することにより、新しいスピントロニクスデバイスの提案に結び付ける。高度な情報社会を支えるために電気通信技術のさらなる発展が必要不可欠であり、本研究の成果はその一端を担う高速・高密度・低消費電力でかつ信頼性の高いスピントロニクスデバイスの創製に寄与することが期待できる。

そのために、それぞれの専門分野（薄膜作製・磁気物性解析・放射光解析・理論計算）の研究者が本共同プロジェクト研究に参加し、各々の研究成果を有機的に結び付けて議論を行う。2022年度は以下の日時・内容で通研共同プロジェクト研究会を行った。

第5回研究会

日時：2022年6月18, 19日

場所：東北大学電気通信研究所

三谷誠司(NIMS)「界面軌道物理に基づくTMR研究」関連の研究として、CuO表面で特殊な表面

結合により軌道角運動量が生じて、軌道ラシュバ効果が起こることが報告されている研究の紹介があった。また、このような軌道ラシュバ効果が生じる界面を利用した軌道トンネル効果の提案があった。

介川裕章(NIMS)「トンネル磁気抵抗比の巨大振動効果」MRAMの現状に関する説明、および磁気抵抗効果に関する最新の実験結果の報告があった。特に、世界最高値の室温TMR、トンネル抵抗のMgO膜厚による振動現象に関する議論がなされた。振動現象の解析より、3Åの振動周期がローレンチアン関数でよくフィットできることが説明された。

柳原英人(筑波大)「軌道角運動量を持つ磁性酸化物薄膜の成長とその磁気特性」スピネル $\text{Fe}_{3-x}\text{Co}_x\text{O}_4$ 薄膜の結晶磁気異方性とその歪効果に関する実験研究の報告があった。歪の効果としては下地材料を変化させる方法と、機械的に歪みを加える方法の2種類について実験結果が議論された。また、軌道磁性体として知られる CoMnO_3 の磁気物性に関する研究報告がなされた。

岡林潤(東大)「第1種、第2種軌道弾性効果の定義と今後の研究展開」歪と磁気異方性の関係を記述する軌道弾性効果に関して、第1種(軌道モーメントの効果)と第2種(電荷分布の効果)に分けた議論があった。またホイスラー合金 Co_2FeSi を下地のピエゾ効果によって歪ませて面内磁気異方性を変化させる研究の紹介があった。

三浦良雄(NIMS)「磁気トンネル接合における伝導計算の再検討」TMRのバリア膜厚振動現象の理論解析に関する報告があった。特に、複素バンドの実部による振動では、実験の3Åの振動周期が説明できないことが示された。また、界面ステップを考慮した計算からTMRがステップにより大きく減少することが報告された。

関剛斎(東北大)「招待講演」強磁性転移に伴うスピン変換効率の増大」トポロジカル物質のスピンホール効果に関する実験研究が紹介された。特に、磁性トポロジカル物質の常磁性状態と強磁性状態において、スピンホール効果が議論された。常磁性状態では、ドーピングすることにより、フェルミ面を変調して、理論計算と一致するスピンホール効果の傾向が得られることが示された。また、強磁性状態では、GMR効果による角度依存とスピンホール効果による角度依存が複雑に実験結果に現れることが示された。

千葉貴裕(福島高専)「熱電研究の最近の話題

から：トムソン効果とトポロジカル物質」熱電効果の一般理論に関する紹介があった。またトポロジカル物質の熱電効果において、緩和時間のエネルギー依存性が重要であることが議論された。また、磁気トムソン効果において、その活用法と、理論の定式化が説明された。



(写真) 第5回研究会会場にて撮影

第6回研究会

日時：2022年11月18-20日

場所：北海道大学札幌カンファレンスセンター

小泉洗生 (NIMS) イルメナイト型 CoMnO_3 のスピンと軌道構造について説明があった。CoとMnのスピンは反平行にてキャンセルし、Coの軌道角運動量のみが残ることが説明された。そして、 LiNbO_3 などの基板による表面弾性波と組み合わせた CoMo_3 の軌道流の生成について議論された。

壬生攻 (名工大) (招待講演) 垂直型スピフィルター的设计について講演頂いた。垂直磁気異方性を有する伝導性、絶縁性の CoFe_2O_4 の作り分けを行い、堆積構造から縦型スピフィルター構造を実証した。 CoFe_2O_4 の成分存在比について詳細な解析が行われ、 Fe^{2+} の存在量は導電性に寄与することが議論された。

芝田悟朗 (原研) $5d^2$ 電子配置を有する $0s$ 酸化物の XMCD と磁気八極子の形成の可能性について説明があった。 $0s$ L 吸収端の XMCD について紹介され、その理論計算との比較を行い、八極子 J_x , J_y , J_z の形状分布について議論された。

三谷誠司 (NIMS) 軌道・四極子が垂直磁気異方性に及ぼす電子配置スピン配置についての直感的な理解について説明があった。スピン反転を伴う四極子形成では電荷分布の変化について議論された。また軌道流の生成について最近のレビューと理解に必要な検討事項を挙げられた。

岡林潤 (東大) Fe_3Si の磁気異方性の外的ひずみ変調について説明し、その起源を探るために外場印加時のメスバウアー分光について議論した。そして、 Mn_3Ga のバンド分散を ARPES にて調べ、バンド計算との比較から垂直磁気異方性に有効なバンド対称点について述べた。また、 CoFe_2O_4 の XMCD 強度の考察からカチオン欠損量を定量的に評価できること (Mibu 法) について説

明した。

柳原英人 (筑波大) 垂直磁化 CoF_2O_4 上のねじれた Fe のスピン構造と Hall 効果について説明があった。ねじれにより生じる永続スピン流の存在について説明され、ねじれ構造の評価について議論された。ねじれ角や Hall 効果が捉えていることについて検討された。

三浦良雄 (NIMS) GaAs 上のホイスラー合金の材料設計について説明があった。機械学習により最適な垂直磁気異方性を示すホイスラー合金について Ga と As を非磁性体にもつ合金がよいことを示され、その性質について議論された。

介川裕章 (NIMS) (111) 方位での良質な結晶成長について、本来は難しいとされていたものであるが、可能であることを実証された。

長浜太郎 (北大) (招待講演) Fe_3O_4 を用いたトンネル磁気接合について講演いただいた。TMR の結晶方位依存性、Verwey 転移の有無、バリア材質依存性などの詳細を説明され、界面構造について議論した。また、 NiCo_2O_4 を用いた MTJ についても説明され、議論した。

新屋ひかり (東北大) 強磁性半導体 (Ga, Mn) As, (Zn, Cr) Te の磁性と伝導について理論計算から議論された。磁性イオン組成、ドーパント、格子ひずみ依存性などを議論された。

白井正文 (東北大) 軌道ホール効果の第一原理計算について報告があった。軌道ホール効果の直感的理解に向けて指摘いただき、ゲージ場を有効場として軌道占有率の変化から軌道蓄積が生じることを説明された。また、物質依存性について議論された。

名和憲嗣 (三重大) Co/5d 遷移金属のスピンホール効果 (SHE) と異常ホール効果 (AHE)、垂直磁気異方性の物質依存性について説明があった。SHE は 5d 遷移金属のバルクにて生じ、AHE は界面から、垂直磁気異方性は Co から生じていることが議論された。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

研究集会を主とするプロジェクトであるため、本研究会で得られた成果は、研究会の内容として上記に記載した通りである。特に、TMR 振動や軌道ホール効果および多極子と磁気異方性について活発に議論したことにより、課題が明確になり、今後の研究指針を得ることができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトにより、複数の研究機関の間での研究者交流が飛躍的に活性化し、科学研究費補助金基盤研究 (S) 「トンネル磁気抵抗効果の新展開：軌道対称性効果の解明と新規量子デバイスの創出」(代表：三谷誠司) が採択された。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

・論文

- [1] Y. Miura and J. Okabayashi, “Understanding magnetocrystalline anisotropy based on orbital and quadrupole moments”, *J. Phys.: Condens. Matter* **34**, 473001 (2022).
- [2] I. Kurniawan, Y. Miura, and K. Hono, “Machine learning study of highly spin-polarized Heusler alloys at finite temperature”, *Phys. Rev. Mat.* **6**, L091402 (2022).
- [3] K. Masuda, H. Itoh, Y. Sonobe, H. Sukegawa, S. Mitani, and Y. Miura, “Band-folding-driven high tunnel magnetoresistance ratios in (111)-oriented junctions with SrTiO₃ barriers”, *Phys. Rev. B* **106**, 134438 (2022).

・学会発表

- [1] I. Kurniawan, Y. Miura, K. Hono, “Machine learning study of highly spin-polarized Heusler alloys at finite temperature”, The 83rd JSAP Autumn Meeting 2022 第83回応用物理学会秋季学術講演会. 2022年9月.
- [2] 増田啓介, 伊藤博介, 園部義明, 介川裕章, 三谷誠司, 三浦良雄, 「SrTiO₃ バリアを用いた(111)配向接合における大きなトンネル磁気抵抗効果」, 第70回応用物理学会春季学術講演会, 2023年3月.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・論文

- [1] T. Scheike, Z. Wen, H. Sukegawa and S. Mitani, “Enhanced tunnel magnetoresistance in Fe/Mg₄Al-*O_x*/Fe(001) magnetic tunnel junctions”, *Appl. Phys. Lett.* **120**, 032404-1-4 (2022).
- [2] K. Tang, Z. Wen, T. Seki, H. Sukegawa and S. Mitani, “Elemental doping and interface effects on spin-orbit torque in CoSi-based topological semimetal thin films *Adv. Mater. Interfaces*” **9**, 2201332-1-7 (2022).
- [3] T. Scheike, Z. Wen, H. Sukegawa, and S. Mitani, “631% room temperature tunnel magnetoresistance with large oscillation effect in CoFe/MgO/CoFe(001) junctions”, *Appl. Phys. Lett.* **122**, 112404 (2023).
- [4] K. Nawa, K. Hagiwara, and K. Nakamura, “Prediction-accuracy improvement of neural

network to ferromagnetic multilayers by Gaussian data augmentation and ensemble learning”, *Comp. Mat. Sci.* **219**, 112032 (2023).

・学会発表

- [1] 三浦良雄. 「機械学習を用いたスピントロニクス材料の理論設計」, 第35期CAMPフォーラム 本例会「コンピュータによる材料開発・物質設計を考える会」. 2022年8月.
- [2] 増田啓介, 只野 央将, 三浦良雄. 「トンネル磁気抵抗効果の温度変化に対する新たな物理描像: 界面 s-d 交換相互作用の重要性」, 第46回日本磁気学会学術講演会 2022年9月.

採択番号：R03/B03

知的生産性場のモデル化と生産性向上のための 計算機による介入手法の検討

[1] 組織

研究代表者：

伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）

通研対応教員：

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

藤原 健（国立中正大学（台湾））

吉田 成朗（東京大学）

津川 翔（筑波大学）

土方 嘉徳（関西学院大学）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

新たなコンテンツやイノベーション創出には集団で議論することが重要であり、これを集団の知的生産性と呼ぶ。集団の知的生産性を向上させるために、様々な手法が検討されている。我々は特にコンピュータによって集団の知的生産場の状況を取得・解析し、その生産性を向上させるように情報を提示するシステムの実現を目指し、情報工学的アプローチと、社会心理学的検証手法によって確立させることについて議論する。具体的には、センサやカメラ、3次元トラッキング技術や新たなデバイス実装といった情報工学的知見を駆使して集団のコミュニケーション特徴を取得し、評価することで、知的生産性モデルを確立し、実際の社会心理額実験を通じたモデルの検証およびその利用を目指す。そのための要素としては、議論の深化・活性化を表す集合的なコミュニケーション特徴の議論と、これをコミュニケーションに影響を与えることなく環境に応じてセンシングする手法を開発、さらに、社会心理学実験の実施手法の確立と、実験を通じ得られたコミュニケーション特徴量と集団の知的生産性の関連についての議論、得られた手法のモデル化の実施と、実際のコミュニケーション場への適用に関する議論などが挙げられる。特に、本研究は、社会心理学と情報科学

との連携を密接に図る必要がある。そのために、関連分野で活躍する若手による研究会を開催し、それぞれの分野の強みや課題、さらにはこれら分野を超え、ロボット工学や人文学、デザイン学といった多種多様な分野を俯瞰して束ね、新たな知見を得ること、さらには要素技術を体系化することで今後の研究構想を練ることとする。

本プロジェクトでは、年1回から2回の研究会を通研、または通研+VR空間のハイブリッドスタイルにより開催し、具体的な共同研究や研究費申請書の立案を目指す。日程は2~3日程度とし、参加者の情報交換の場を設けるとともにワークショップ形式や、様式に依存しない自由討論形式、ハッカソン形式など、議論を深化するために有効な実施体制を採る。さらに得られた知見をメタ研究の形で発表出来るレベルを目指す。研究会においては、活発な議論のためには少人数が適当であると考えられることから、参加人数をそもそも絞るか、グループに分かれてのディスカッション方式を検討する。

本プロジェクトでは、本年度は一回の対面合同研究会を開催した。以下、研究活動状況の概要を記す。

日時：令和4年2月20~21日

参加者：伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

土方 嘉徳（関西学院大学）

津川 翔（筑波大学）

上記他、他プロジェクトのメンバーおよび企業から計20名程度

内容と議論：

一人20分の持ち時間で各自が持っている技術や課題などについて下記の通り共有を行った。

秋山 恵（イトーキ 先端技術研究所）

「スマートキャンパス構想のコンセプトと
POC の取組みについて」

高原 良（株式会社 TATAMI）

「ワークプレイスにおけるウェルビーイング研
究の動向」

磯田 和生（大日本印刷株式会社）

「DNP ミュージアムラボ「みどころウォーク」
クロスモーダル知覚を活用したスケール感を体
感できる空間体験」

津川 翔（筑波大学）

「ソーシャルネットワークにおける情報流通の
モデル化と適正化」

土方 嘉徳（関西学院大学）

「デジタルマーケティングのための行動心理モ
デリングの研究」

武富 貴史（サイバーエージェント）

「サイバーエージェントにおけるデジタルツイ
ン技術」

小倉 加奈代（岩手県立大学）

「ユーザ主体の農業機械操縦行動分析／所属内
行動変容デザインの実践」

池田 聖（大阪大学）

「三次元固視検出に基づく注視対象推定」

藤本 雄一郎（奈良先端大学院大学）

「パブリックスピーキングトレーニングへの
VR/AR の適用」

伊藤 雄一（青山学院大学）

「無意識コンピューティングとその応用」

山本 豪志朗（京都大学）

「医療における空間拡張技術」

酒田 信親（龍谷大学）

「クロスモーダル現象とプロテウス効果を利用
した空間拡張インタフェース」

真鍋 宏幸（芝浦工業大学）

「3D プリンタを用いた個人向け電子回路作成
手法」

その後、知的生産活動についての様々な角度か
ら分析と意見交換を行った。以下は実際の研究会
の様子である。



[3] 成果等

(3-1) 研究成果

上記研究会は充実したものとなり、各メンバー
が持つ技術の共有と、引き続き議論を続け、今後、
科研費や各種財団の助成事業への申請、さらには
メンバー同士の共同研究等に対する準備を進めて
いくことを検討することとした。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献 など

本プロジェクトは社会心理学と情報科学という
二つの分野において、分野横断的アプローチを採
り、計算機によって人の知的生産性をどのように
評価し、どのように向上できるかという新しい研
究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつけよ
うとするものである。本プロジェクトは2年目で
あり、昨年度に引き続き当該研究テーマに関する
検討を進められ、さらに深い議論ができたと思え
る。また、(3-1)にも記載した通り、科研費や各
種財団の助成事業等の申請を実施する予定である。
また、社会実装を念頭に置いた研究を進めるため
に、特にオフィスにおける知的生産性を利用した
サービスを参加企業メンバーと検討し、本研究チ
ーム発の新たなサービスやマーケットの実現を目
指した研究検討を実施する予定である。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト（謝辞あり）

特になし

(2) 関連リスト（謝辞なし）

特になし

採択番号 : R03/B04

機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開

[1] 組織

研究代表者 :

廣瀬 文彦 (山形大学大学院理工学研究科)

通研対応教員 :

平野 愛弓 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者 :

Patrik Schmuki (University of Erlangen
-Nuremberg)

Richard Rosenberg (アルゴンヌ国立研)

水柿 義直 (電気通信大学情報理工学研究科)

守屋 雅隆 (電気通信大学情報理工学研究科)

手老 龍吾 (豊橋技科大学環境・生命工学系)

戸澤 譲 (埼玉大学理工学研究科)

木村 康男 (東京工科大学コンピュータサイエンス学部)

鹿又 建作 (山形大学大学院
有機システム研究科)

但木 大介 (東北大学電気通信研究所)

馬 騰 (東北大学・材料科学高等研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

金属酸化物は、防食やガスバリアなどのコーティング素材だけではなく、ワイドギャップ半導体として、透明電極やガスセンサ、色素増感太陽電池、水素製造に利用される。これら酸化物に、ナノチューブ、ナノワイヤ、超薄膜などのナノスケールでの構造変化を与えることで、バンドギャップやキャリア濃度、移動度等の電子物性を自在に調整でき、バルクでの限界を超え、新しい機能材を創生できる可能性がある。即ち、非常に高感度なガスセンサ、太陽電池、光触媒、水素製造デバイスの実現が期待できる。また究極の2D絶縁膜としてしられる生体細胞膜(脂質二分子膜)と組み合わせることで、水中でも使用可能なバイオトランジスタ、人工網膜センサとしての活用も期待されている。これを実現するために、金属酸化物の合成のみならず、超LSI製造、ナノテクプロセス、センサ、エネルギーデバイス、表面科学、触媒、電気化学、バイオテクノロジーといった幅広い分野の研究者が協力して酸化物表面制御やナノ構造制御の革新に向けた技術目標や戦略目標を議論することが必要である。本プロジェクトでは上記議論の場を形成し、酸化物・ナノデバイスの新学術領域を創生することを目標とした。そのために、酸化物半導体表面、ナノテクノロジー、表面科学、触媒、電気化学、バイオといった様々な分

野の専門家同士での現況認識や意見交換が重要である。それらを通して酸化物表面制御技術やナノ構造制御技術のデバイス化に向けた技術目標や戦略目標を立てることが可能となる。本プロジェクトでは、研究会を年2回程度で開催を予定した。また国内外から広く研究者を集め議論するため、講演者30名、聴講者100名程度のシンポジウムの開催を計画した。

実際に2023年3月7~8日で、オンライン開催ではあったが、“13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics”を実施した。ここでは、規模は予定の半分程度ではあったが、二日間で延べ65人、内外国人19人の参加があり、発表件数も11件となった。プログラムは次の通りである。

2023年3月7日開催分

1. Single atom co-catalysts in photocatalytic H₂ generation, Patrik Schmuki (Department of Materials Science WW4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany)
2. Nanothick metal oxide channel thin film transistors and their application as gas and UV sensing Fumihiko Hirose (Graduate School of Science and Engineering, Yamagata University, Yonezawa, Yamagata, Japan)
3. Substrate-supported photosynthetic model thylakoid membrane Yuka Kusunoki¹, Daisuke Takagi², Seiji Akimoto³, Sophie A. Meredith⁴, Ashley M. Hancock⁴, Stephen D. Evans⁴, Peter G. Adams⁴, Kenichi Morigaki^{1,5} (¹Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, Kobe, Japan, ²Faculty of Agriculture, Setsunan University, Hirakata, Osaka, Japan, ³Graduate School of Science, Kobe University, Kobe, Japan, ⁴School of Physics and Astronomy, University of Leeds, Leeds, UK, ⁵Biosignal Research Center, Kobe University, Kobe, Japan)
4. Fluorescence single molecule tracking for molecular behaviors at interfaces between solid surfaces and organic solvents Yui Matsushita¹, Satoki Kubota², Takuya Matsumoto², Ken-ichi Amano³, Tomoko Hirayama⁴, Hiroshi Onishi^{2,5}, Ryugo Tero¹ (¹Toyohashi University of Technology, Toyohashi, Japan, ²Kobe University, Kobe, Japan, ³Meijo University, Nagoya, Japan, ⁴Kyoto University, Kyoto, Japan,

- ⁵Institute for Molecular Science, Okazaki, Japan)
5. An adaptive automatic method for idealization of single-channel currents
Ayumi Hirano-Iwata^{1,2,3}, Madoka Sato^{1,3}, Masanori Hariyama⁴, Maki Komiya¹, Hideaki Yamamoto¹
(¹Research Institute of Electrical Communication, Tohoku University, Sendai, Japan, ²WPI-Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, ³Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, Sendai, Japan, ⁴Graduate School of Information Sciences, Tohoku University, Sendai, Japan)
 6. Multiplexed detection of biomarkers in unprocessed clinical samples
Shenglin Cai, Thomas Pataillot-Meakin, Akifumi Shibakawa, Ren Ren, Charlotte L. Bevan, Sylvain Ladame, Aleksandar P. Ivanov, Joshua B. Edel
(Department of Chemistry, Molecular Science Research Hub, Imperial College London, London, UK)
 7. Investigation of cell biochemical behavior under physical microenvironment using scanning electrochemical microscopy
Fei Li, Shuake Kuermanbayi, Junjie Zhang, Zhaoyang Ye
(School of Life Science and Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China)
 8. The Electrostatically asymmetric nanopore for single peptide sensing and sequencing
Yi-lun Ying, Fan Gao, Xinyi Li, Hongyan Niu, Yi-Tao Long
(State Key Laboratory of Analytical Chemistry for Life Science, School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing, China)
 9. Anodic TiO₂ nanotubes with defined intertube spacing in biomedical applications
Anca Mazare^{1,2}, Patrik Schmuki^{1,3,4}
(¹Department of Materials Science WW-4, LKO, Friedrich-Alexander University of Erlangen-Nuremberg, Erlangen, Germany, ²WPI-Advanced Institute for Materials Research, Tohoku University, Sendai, Japan, ³Regional Centre of Advanced Technologies and Materials, Olomouc, Czech Republic, ⁴Department of Chemistry, Faculty of Science, King Abdulaziz University, Jeddah, Saudi Arabia)
 10. Nonlinear responses observed in random arrays of gold nanoparticles assembled by dielectrophoresis
Yoshinao Mizugaki, Tetsuya Urae, Hiroshi Shimada
(Department of Engineering Science, The University of Electro-Communications (UEC Tokyo), Chofu, Tokyo, Japan)
 11. Development of a highly sensitive gas sensor using TiO₂-nanotube film
Daisuke Tadaki¹, Kazuki Iwata², Hiroyuki Abe³, Teng Ma¹, Ayumi Hirano-Iwata¹, Yasuo Kimura⁴, Shigeaki Suda⁵, Michio Niwano¹
(¹Tohoku University, Sendai, Japan, ²Tohoku Fukushi University, Sendai, Japan, ³Industrial Technology Institute, Miyagi Prefectural Government, Sendai, Japan, ⁴Tokyo University of Technology, Hachioji, Tokyo, Japan, ⁵Miyagi Factory, CHEST M.I., Inc., Japan)
- 2023年3月8日開催分
- [3] 成果等**
- (3-1) 研究成果**
- 本年度では、機能性酸化膜については、アルミナシリケートとシリコン酸化膜をナノ周期膜化したところ、溶液中で著しいカチオン吸着性が出るのが明らかになった。この結果は、酸化物においてもナノ化し、周期化することで新しい機能の開拓につながることを示すものである。また電子デバイスとしては、ナノ薄膜化した酸化チタンによる薄膜トランジスタにおいて、著しいUVに対する感度を持つことが分かり、バルク材料を超える機能性がナノ化によってもたらされることを明らかにできた。
- 本年度はコロナ禍でもあり研究者の直接往来ではなかったが、オンラインベースで様々な討論が行われ、特に酸化物の新機能性と光触媒、さらに脂質二分子膜に関する情報交換を基に、新しい共同研究の構想などが検討された。
- (3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など**
- 今後、酸化物材料のナノ周期化による新機能発現研究をテーマにCREST等の大型プロジェクトへの展開を狙う。すでに、一部のテーマにおいて研究代表者は2023年度で基盤研究A(23H00098)に採択されている。今後、国際共同研究につなげて、当該テーマの新学理としての分野確立につなげていく。

採択番号 : R03/B05

高次元・時空間ニューロダイナミクスと それに基づくシステム構築への展開

[1] 組織

研究代表者 :

廣瀬 明 (東京大学大学院工学系研究科)

通研対応教員

佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

黒江 康明 (京都工芸繊維大学
教育研究プロジェクトセンター)

田中 剛平 (東京大学生産技術研究所)

橋 完太 (工学院大学情報学部)

Eckhard Hitzer (国際基督教大学教養学部)

松井 伸之 (兵庫県立大学大学院工学研究科)

磯川 悌次郎 (兵庫県立大学大学院工学研究科)

金城 光永 (琉球大学工学部)

村瀬 一之 (福井大学工学部)

新田 徹 (立教大学大学院人工知能科学研究科)

小林 正樹 (山梨大学工学部)

山根 敏志 (日本アイ・ビー・エム)

中野 大樹 (日本アイ・ビー・エム)

山田 功 (東京工業大学大学院工学院)

中川 八穂子 (日立製作所)

伊丹 哲郎 (兵庫県立大学
人工知能研究教育センター)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

高度に成熟した Si-LSI 技術に支えられ, 現代の計算機は驚異的な計算能力を有するようになった。しかし一方で, パターン認識や学習など, フォンノイマン型計算機が苦手とする問題も数多く残されている。アナログ情報処理が有効な課題も数多く存在し, 脳型情報処理を実現するニューラルネットワークでは, パターン認識や組み合わせ最適化問題などを効率的に解くことができることが知られている。

ニューラルネットワーク分野の最近の動向として, 時系列信号を再帰的ニューラルネットワーク (リザバー) に入力し, ニューロンの応答を観測することにより, 時系列信号を識別するリザバーコンピューティングが注目を集めている。比較的少ないリソースで高次の認識処理が可能となるためエッジコンピューティングへの応用も期待されている。一方, 複素ニューラルネットワークや量子ニューラルネットワークなどの高次元化ニューラルネットワークにおいても, 豊か

な表現能力と情報処理能力に関する研究が盛んに行われており, 複素表現, 四元数表現, さらにそれらを包含するクリフォード代数表現を用いて, 統括的に理解する意欲的な試みがなされている。高次元化あるいは多次元化されたこれらネットワーク上に発現する複雑ダイナミクスは, リザバーコンピューティングの本質である入力信号の高次元空間への写像機能を実現する上で有用である。

人間と環境を調和させるには, 要求される情報処理を効率的かつ迅速に行うことが必要不可欠であり, そのためには, すべての入力情報を通信でクラウドサーバに集めて処理して結果を配信するのではなく, 入力端での処理すなわちエッジコンピューティングで前処理を行って通信量を削減することも重要技術になる。そこで本プロジェクトでは, リザバーコンピューティングを用いたエッジコンピューティングの実現に向けて, 高次元ニューラルネットワークが有する高次元・時空間ニューロダイナミクスのリザバーコンピューティングへの応用とシステム構築を目的として研究を行う。

二年度目にあたる本年度は, 1月27日に対面で研究会を開催し, 各メンバーが関連する研究の進捗状況について報告し, 今後の課題について議論した。以下に研究会のプログラムを示す。

1) Haotian CHEN, 夏秋嶺, 廣瀬明 (東大)

“Polarization state prediction based on quaternion neural networks to facilitate channel prediction”

2) Eckhard Hitzer (ICU)

“Octonion Fourier Transform in Geometric Algebra of \mathbb{R}^3 and Polar Representations of Octonion Analytic Signals”

3) 久米啓太, 山田功 (東工大)

“On convergence of certain Armijo-type optimization algorithms with generalized Cayley parametrization”

4) 張 毅, 山田功 (東京工業大学)

“A Debaised Sparseness-Promoting Affine Projection Algorithm Based on Difference-of-Convex Type Regularizers”

5) 松井伸之 (兵庫県立大学)

「Quantum neuron について」

6) 伊丹哲郎 (兵庫県立大学)

「量子バギー・マクロ系による量子計算」

7) 黒江康明 (京都工芸繊維大学)

「複数のヒューリスティクスを組み込む高性能強化学習法」

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

複素ニューラルネットワークや四元数ニューラルネットワーク、さらにそれらを一般化した高次元ニューラルネットワークの研究は、ニューロの考え方を生かした理論構築やその電気電子デバイスやシステムとしての工学利用を指向している。エレクトロニクスの分野では、複素ニューロは複素振幅を扱うニューロであると言え、また四元数ニューロは偏波を表すポアンカレ球空間などに相当する3次元空間での情報を扱うニューロであると言える。特にそのコヒーレントな情報空間での学習の高い汎化能力が特長である。本年度は、四元数ニューロに基づく移動体通信チャネル予測を提案し、偏波を含む電波伝搬のチャネルを予測する手法を新たに提案し、その高い性能を実証した。図1に示すように、電波伝搬で時間的に変動する偏波状態をポアンカレ球上に表現する。それは球面上あるいは中を移動する。その移動は3次元空間で起こるため、四元数ニューラルネットワークが予測で威力を発揮する。

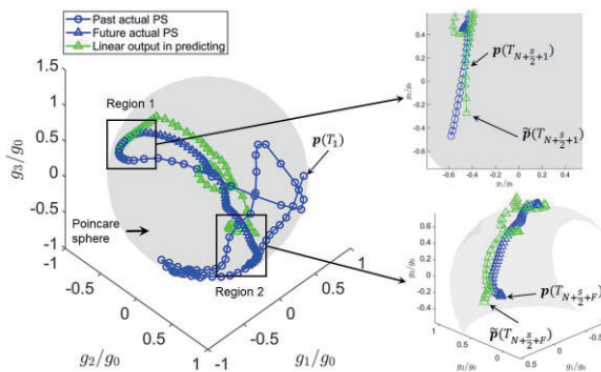


図1 ポアンカレ球上に表現された偏波状態の時間変動とその予測の様子

また、リザバーコンピューティングの物理実装に向けた検討の一貫として、超伝導体のジョセフソン伝送線路(図2)をリザバー層に応用したリザバーコンピューティングについて、数値実験により性能評価を行った。リードアウト層の結合荷重をリッジ回帰で求める方法を採用した、手書き数字画像の識別課題において、低消費電力(12.8 μ W)で高精度に識別が可能であることを確認した。

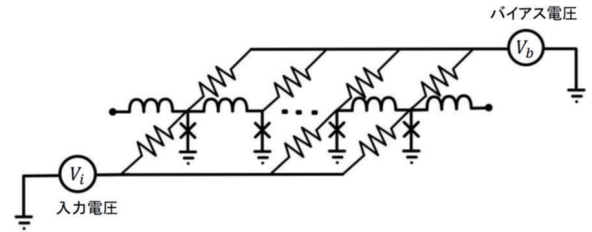


図2 ジョセフソン伝送線路

このような知見を研究会で共有し、議論することによって、ニューロハードウェアやシステムに関する今後の展開について展望した。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

本プロジェクト遂行により以下の成果が得られると考えられる。

- ・複素ニューラルネットワークにおける高次元・時空間ダイナミクスと情報処理性能に関する知見
 - ・量子波動等の波動物理に基づくニューラルネットワークダイナミクスに関する知見
 - ・リザバーコンピューティングに最適な高次元・時空間ニューロダイナミクスとシステムの構成方法
- また、本プロジェクトと関連して次の国際会議の開催が予定されている。

会議名: IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI) 2024

日程: 2024年6月30日(日) - 7月5日(金)

場所: 横浜(日本)

参加予定者数: 2,000名程度

参画者: 廣瀬明(組織・実行委員長ほか)

さらに、関連学会におけるイベントとして、IJCNN 2023 Special Session、SICE コンピュータショナル・インテリジェンス研究会等の開催が予定されている。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

• R. Imai, Y. Song, R. Natsuaki and A. Hirose, "Model-Based Homogeneity to Extend Compressed Sensing for Ground Penetrating Radar," in IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 60, pp. 1-10, 2022, Art no. 4510610, doi: 10.1109/TGRS.2022.3186727.

• H. Chen, R. Natsuaki and A. Hirose, "Polarization-Aware Prediction of Mobile Radio Wave Propagation Based on Complex-Valued and Quaternion Neural Networks," in IEEE Access, vol. 10, pp. 66589-66600, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3184788.

• Y. Matsumoto, R. Natsuaki and A. Hirose, "Full-Learning Rotational Quaternion Convolutional Neural Networks and Confluence of Differently Represented Data for PolSAR Land Classification," in IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, vol. 15, pp. 2914-2928, 2022, doi: 10.1109/JSTARS.2022.3164431.

• B. Konishi, A. Hirose and R. Natsuaki, "Isotropization of Complex-Valued Reservoir Computing on 2-D Dynamical System," 2022 International Conference on Emerging Techniques in Computational Intelligence (ICETCI), Hyderabad, India, 2022, pp. 136-140, doi: 10.1109/ICETCI55171.2022.9921365.

• H. Chen, N. Ryo and A. Hirose, "Predicting polarization state based on quaternion neural networks to facilitate channel prediction," 2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Padua, Italy, 2022, pp. 1-6, doi: 10.1109/IJCNN55064.2022.9892509.

• Y. Matsumoto, R. Natsuaki and A. Hirose, "Proposal of PolSAR Land Classification Using Quaternion Convolutional Neural Networks," 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium, 2021, pp. 403-406, doi: 10.1109/IGARSS47720.2021.9554545.

• S. Moriya, H. Yamamoto, S. Sato, Y. Yuminaka, Y. Horio and J. Madrenas, "A Fully Analog CMOS Implementation of a Two-variable Spiking Neuron in the Subthreshold Region and its Network Operation," 2022 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), Padua, Italy, 2022, pp. 1-7, doi: 10.1109/IJCNN55064.2022.9891920.

(2) 関連リスト (謝辞なし)

• T. Itami, N. Matsui, T. Isokawa, N. Kouda, T. Hashimoto, "Algorithm for operating an ordinary engineering system as a quantum bit, SICE journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.15, No.1, pp.96-103, 2022.

• Y. Okawa, S. Kanoga, T. Hoshino and T. Nitta, "Sequential Learning on sEMGs in Short- and Long-term Situations via Self-training Semi-supervised Support Vector Machine," 2022 44th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society (EMBC), Glasgow, Scotland, United Kingdom, 2022, pp. 3183-3186, doi: 10.1109/EMBC48229.2022.9871311.

• T. Nitta, "Fully Augmented Complex-Valued Neural Networks", Proceedings of the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA2022), Dec. 12-15, pp.248-251, 2022.

• E. Hitzer, Special affine Fourier transform for space-time algebra signals in detail, Adv. Appl. Clifford Algebras, Vol. 32:60, Iss. 5, 18 pages (October 2022). DOI: <https://doi.org/10.1007/s00006-022-01228-w>.

• E. Hitzer, Extending Lasenby's embedding of octonions in space-time algebra $Cl(1,3)$, to all three- and four dimensional Clifford geometric algebras $Cl(p,q)$, $n=p+q=3,4$, Mathematical Methods in the Applied Sciences, pp. 1-24 (Early View: 04 Aug. 2022), DOI: <http://doi.org/10.1002/mma.8577>.

• E. Hitzer, C. Lavor, D. Hildenbrand, Current Survey of Clifford Geometric Algebra Applications, Mathematical Methods in the Applied Sciences, 31 pages, (2022), DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/mma.8316>.

• Tokuhira, K., Nakamura, M., Kinjo, M., Shimabukuro, K. (2023). QUBO Model Formulation Based on Petri Net Behavioral Description for Combinatorial Optimization Problems. In: Vasant, P., Weber, G.W., Marmolejo-Saucedo, J.A., Munapo, E., Thomas, J.J. (eds) Intelligent Computing & Optimization. ICO 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 569. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19958-5_77.

採択番号：R03/B06

制御不要な無線給電システム実現に向けた 理論構築とその実装

[1] 組織

・研究代表者：

関屋大雄（千葉大学大学院工学研究院）

・通研対応教員：

堀尾喜彦（東北大学電気通信研究所）

・研究分担者：

魏 秀欽（千葉工業大学工学部電気電子工学科）

麻原寛之（岡山理科大学電気電子システム学科）

黒川弘章（東京工科大学工学部電気電子工学科）

高坂拓司（中京大学工学部電気電子工学科）

大里辰希（八戸工業高等専門学校電気情報工学
コース）

グエンキエン（千葉大学大学院工学研究院）

朱 聞起（千葉大学大学院数学情報科学専攻）

菅野瞭子（千葉大学大学院数学情報科学専攻）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

マサチューセッツ工科大学(MIT)による磁界共鳴結合方式による大電力電力伝送の実機実験がブレークスルーとなり、無線給電(ワイヤレス給電)システムの研究開発が本格化してからおよそ10年が経過した。この間、コイルを通じて無線給電を実現する磁界結合や磁界共鳴方式の理論はほぼ体系化されたと言え、例えばMITが発表した「共鳴させることにより長距離大電力伝送が可能になる」理由も明確に説明できるようになった。ところで、窒化ガリウム(GaN)等ワイドバンドギャップ半導体パワーデバイスの登場により、様々なパワーエレクトロニクス回路の高周波化が期待されている。無線給電もパワーエレクトロニクス回路のひとつと見ることができる。これまで車載用EV用に割与えられた85kHz帯での研究開発がメインであったが、高周波化のトレンドの中、ISMバンド(6.78, 13.56, 27.12 MHz)に対応した高周波無線給電システムの研究開発も本格化してきている。ここで、高周波化のために、ただ既存のデバイスをGaNに置き換えて周波数を上げればいいわけではなく、パワーデバイスの特性を真に引き出すあらたな回路設計技術が求められている点に注意しなければならない。そのような背景の中、「【H30/B12】高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」における議論は、独自の視点で無線給電システムを見直すことにつながり、定常状態動作における理論体系の構築に貢献で

きたと考えている。

定格状態の最適設計理論が整備される中、無線給電システムの課題はパワーマネージメントシステムの構築へと移ってきた。無線給電システムにおいては、負荷(電池、モータなど)の変動はもちろんのこと、送電器と受電器の位置ずれ(コイル間の相互インダクタンスのみならず、コイル自身の自己インダクタンスにも変動が生じる)にも対応する必要がある。実システムでは、これらに対して出力(電圧または電流)を一定とすることが求められる。例えば、iPhoneなどで実用化されているQi規格では、受電器側の出力情報を送電器へ無線通信でフィードバックし、送電器側で送信電力を調整することで一定出力を実現している。ここで「無線給電の高周波化」を考えると、高周波化によって無線通信の(キャリアセンス等によるゆらぎを含む)遅延の影響が大きくなり、最適パラメータの同定に困難性をもたらす。さらに、高周波化にはZVSが必須となるため、一定出力とZVSのふたつの制御目標を同時に補償しなければならないという新たな問題も生じ、制御システムの複雑化を招く。本研究では、高周波で送電する無線給電システムにおける負荷変動、位置ずれに対し、制御システムなしに一定出力と高効率を達成する「無制御無線給電システム」の研究開発に取り組む。無線給電システムの高周波化に対し、制御システムの複雑化が性能向上のボトルネックとなっており、この問題に対して抜本的発想の転換を図ることを目標とする。

昨年度の活動として令和4年2月26、27日に東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究非線形ワークショップ合同研究会を開催し、議論を深めた。このワークショップは【R02/A31】非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開、【R03/B08】進化計算の機械学習への適用に関する研究、との合同開催とし、さらに広い視点から議論を深めることができた。

そこで本年度は昨年度と同様な合同ワークショップの形で、令和4年11月4-6日の3日に渡り合同研究会を開催した。合同研究会は15件の口頭発表と29件のポスター発表から構成された。参加者数は64名(3日間の延べ人数148名)であり、質・量ともに昨年を上回る十分な議論を進めることができた。我々のプロジェクトからは、機械学習による無線給電シ

システム設計や一定電流/一定電圧出力の切り替えを制御不要で可能とするバッテリー向け充電回路の研究結果が報告され、非線形複雑システムや進化計算の専門家と議論することで、広い視点からの議論が実現でき、あらたな知見を得ることができた。

さらに、研究代表者の関屋は実行委員長を務めた 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications, and Signal Processing (NCSP) において、特別セッションを企画した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は制御不要な無線給電システム実現に向けた具体的二つの問題について議論した。

第一に、負荷変動に加えて位置ずれにもロバストなワイヤレス給電システムの設計論の確立に向けた議論を行った。具体的には1送電2受電システムとして図1のシステムを提案・検討した。図1においてD級整流器及びバックコンバータはともに入力インピーダンスが純抵抗で表される。したがって、負荷非依存設計を適用することにより、WPTシステムにおける負荷変動に対するロバスト性を持つ。バックコンバータにより、一定出力電圧が維持される。二次側を動作周波数に対して完全共振を取ることにより、位置ずれにおいて受電回路は送電回路から見た等価インピーダンスが一定となるように動作する。したがって、インバータは負荷非依存動作を維持することが可能となり、高効率動作を実現する。受電回路は互いに独立に送電回路

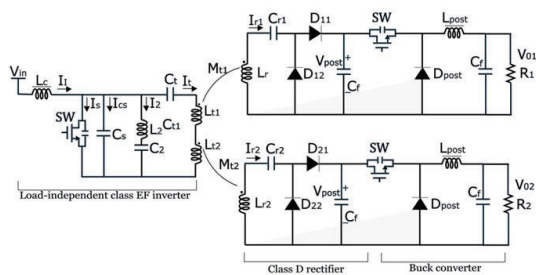


図1：負荷変動・位置ずれにロバストな WPT システム

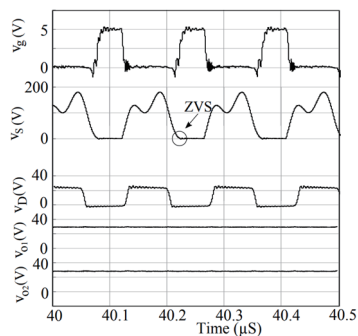
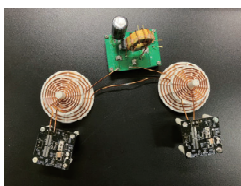


図2：実装回路と動作波形

から所望の電力を引き出すため、送受電回路間及び受電回路間同士の通信を不要とする。つまり、各受電器は独立に動作しつつ、自動的に協調動作を実現しているといえる。

図2に実装回路と動作波形を示す。本システムでは85%の電力伝送効率を実現し、また、理論にしたがっており、ロバスト性を獲得できていることを確認した。

第二にバッテリー充電を意識し、図3の回路について検討した。図3の回路はスイッチを切り替えることにより、一定電流/一定電圧を切り替える機能を有している。図4に実験波形を示す。これに負荷非依存特性を付与することにより、出力制御不要でバッテリーへの充電を達成できることが示唆された。

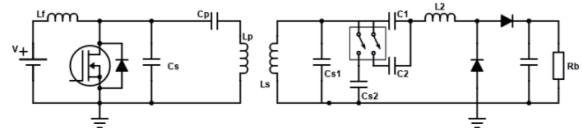


図3：負荷非依存 CC/CV 切り替え回路

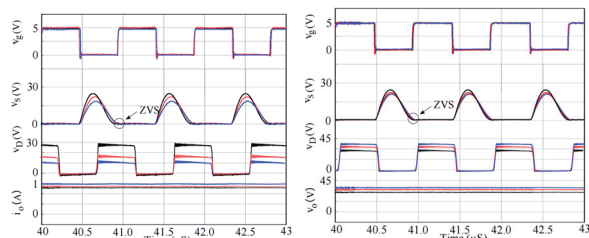


図4：負荷非依存 CC (左) /CV (右) モードの動作波形

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本プロジェクトにより、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、本研究内容の重要性を多角的に把握することができた結果、下記プロジェクトに採択され、今後の発展が期待されている。

- ・プロジェクト名 通信・電力を無線化し連携協調動作するワイヤフリーロボットの研究開発
- ・資金制度,研究費名 「Beyond 5G 研究開発促進事業 委託研究」
- ・配分機関名 情報通信研究機構
- ・研究期間 令和4年度～令和7年度

- ・プロジェクト名 「GaN デバイスで拓く超高周波パワーコンバータの開発とその革新的直流給電システムへの応用」
- ・資金制度,研究費名 「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業」
- ・配分機関名 文部科学省
- ・研究期間 令和3年度～令和5年度

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

H. Sekiya, K. Tokano, W. Zhu, Y. Komiyama, and K. Nguyen, "Design procedure of load-independent class-E WPT systems and its application in robot arm," IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2023. (Early Access)

S. Uchino, S. Aoki, T. Kousaka, H. Asahara, "A unique bifurcation structure in one-dimensional model of current-controlled step-up DC-DC converter with photovoltaic module," Transactions of ISCIE, 2023. (In press)

朱聞起, 駒中綾乃, 小宮山裕太郎, グエンキエン, 関屋大雄, "定電流給電と定電圧給電の双方が可能な E 級負荷非依存インバータ回路," 電子情報通信学会電子通信エネルギー技術研究会(EE), Mar. 2023.

Y. Komiyama, W. Zhu, X. Wei, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Wireless power transfer system with series resonant inverse class-E inverter," 2023 International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'23), Mar. 2023.

Y. Komiyama, W. Zhu, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Load-independent constant-current/zero-current switching inverter with series resonant filter," 2023 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Mar. 2023.

Achievement of CV and CC Output Modes on Class-E/F Inverter with One Auxiliary Switch
Wenqi Zhu, Yutaro Komiyama, Kien Nguyen, and Hiroo Sekiya
2022 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS), pp.2635-2639, Dec. 2022.

松田敏拓, 小宮山裕太郎, 朱聞起, グエンキエン, 関屋大雄, "多受電無線電力伝送システムにおける最大効率追従制御," 電子情報通信学会電子通信エネルギー技術研究会(EE)EE2022-12, pp.22-26, July 2022.

謝寅晨, 朱聞起, 小宮山裕太郎, グエンキエン, 関屋大雄, "負荷変動に対するロバスト性を有する E 級周波数 2 倍器の設計," 電子情報通信学会電子通信エネルギー技術研究会(EE), vol.122, no.109, pp.11-16, July 2022.

小宮山裕太郎, 朱聞起, グエンキエン, 関屋大雄, "負荷非依存一定出力電流直列共振インバータ," 電子情報通信学会電子通信エネルギー技術研究

会(EE) EE2022-42, pp.89-94, June 2022.

Y. Xie, W. Zhu, Y. Komiyama, K. Nguyen, H. Sekiya, "Analysis and Design of Load-independent Class-E Frequency Multiplier," IEICE NOLTA ソサイエティ大会, June 2022.

松田敏拓, 小宮山裕太郎, 朱聞起, グエンキエン, 関屋大雄, "多受電無線電力伝送システムにおける最大効率追従制御," 2022 年 NOLTA ソサイエティ大会, p.37, June 2022.

Y. Komiyama, S. Matsushashi, W. Zhu, T. Mishima, Y. Ito, T. Uematsu, K. Nguyen, and H. Sekiya, "Wireless power transfer system with load-independent inverse class-E oscillator," Nonlinear Theory and Its Application, IEICE, vol. 13, no. 2, pp. 465-470, Apr. 2022.

採択番号：R03/B07

アフターコロナ時代の適応型ワークスペースに関する研究

[1] 組織

研究代表者：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者：

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

市野 順子（東京都市大学 メディア情報学部）

小林 奈緒（国際大学 GLOCOM）

伊藤 雄一（青山学院大学 理工学部）

松島 咲季子（Learning Design Lab.）

関川 博之（株式会社イトーキ）

延べ参加人数：8人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本プロジェクトの目的は、アフターコロナ時代の新たな生活様式が求められる今後に向けて、未来のオフィス像である適応的な空間ユーザインタフェースを構築するため、これからのオフィス空間に求められるべき要素に関する知見を集めること、および、空間ユーザインタフェース実現のための研究コミュニティを構築することである。空間内での人の活動を計測し、理解するための知見、空間構築・デザインや什器に関する知見、空間・什器をダイナミックに動作させる要素技術の知見、さらには市場としてのニーズも取り入れながら、社会的意義の高いテーマ創出を目指す。

本プロジェクトに関わる研究会は、前身となる共同プロジェクト「人と空間と情報技術」「未来型オフィス空間とインタラクション」から引き続き12年目である。本年度は、他の研究会との併催で、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション、空間デザイン、社会心理学等の多様な分野を専門とする産学の研究者・実務家ら計13名を招いて研究会を実施した。

以下に、研究会の詳細を示す。

研究会名：アフターコロナ時代の適応型ワークスペース

日程：2023年2月20日 13-18時

場所：電気通信研究所 M531、および M561-M567（研究室デモ時）

参加人数：23名

参加者（敬称略）：

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

秋山 恵（株式会社イトーキ）

高原 良（株式会社 TATAMI）

磯田 和生（大日本印刷株式会社）

津川 翔（筑波大学）

土方 嘉徳（関西学院大学）

武富 貴史（サイバーエージェント）

小倉 加奈代（岩手県立大学）

池田 聖（大阪大学）

藤本 雄一郎（奈良先端大学院大学）

伊藤 雄一（青山学院大学）

山本 豪志朗（京都大学）

酒田 信親（龍谷大学）

真鍋 宏幸（芝浦工業大学）

ほか

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

各研究者・実務家による研究内容・成果が発表され、それぞれの研究や取組みに関する可能性や発展性を得ることができた。以下に、本研究会と特に関連の深い発表を示す（敬称略）。

- 秋山：スマートキャンパス構想のコンセプトと POC の取組みについて
- 高原：ワークプレイスにおけるウェルビーイング研究の動向
- 磯田：DNP ミュージアムラボ「みどころウォーク」クロスモーダル知覚を活用したスケール感を体感できる空間体験
- 伊藤：無意識コンピューティングとその応用

いずれの発表においても、多くの質問が挙がり、活発な議論がなされた。発表の中では、現地に行くことが困難な状況における VR でのミーティング（秋山氏）や美術館鑑賞体験（磯田氏）の事例紹介があり、その実現方法については深い議論がなされた。また、高原氏からは、近年のウェルビーイング研究動向に関する話題提供があり、特に環境指標とウェルビーイングとの関係を調べる論文が非常に増えていることが強調された。アフターコロナ社会においては対面とオンラ

インのワーカーが共存することが見込まれ、その双方でウェルビーイングを維持可能なワークスペースを提供することが重要であると考えられた。以上の議論を踏まえ、研究代表者は本テーマに関する先行研究のレビューや今後の研究のあるべき方向性をまとめたサーベイ論文を執筆し、国際ジャーナルに投稿済みである。

また、本プロジェクトは特別支援（産学）を受けたものであるが、この支援により、学外研究者や実務家との交流が活性化し、本テーマに関わるネットワークが拡大され、共同研究の可能性が向上している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、新たな共同研究の萌芽及び新たな研究領域の開拓を目的にしている。アフターコロナ時代の働き方を考えるというテーマであるため、今後の発展性や社会的なニーズも大きいと考えられる。今後も、本テーマに関して産学の幅広い分野からの研究者・実務家が集まり、市場のニーズを取り入れた研究テーマ創出、および社会への実装が期待される。

採択番号：R03/B08

進化計算の機械学習への適用に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

神野 健哉（東京都市大学・情報工学部）

通研対応教員：

堀尾 善彦（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

坪根 正（長岡技術科学大学）

中野 秀洋（東京都市大学）

進藤 卓也（日本工業大学）

山仲 芳和（宇都宮大学）

佐々木 智志（湘南工科大学）

黒川 弘章（東京工科大学）

松浦 隆文（日本工業大学）

齋藤 吏（東京都市大学大学院）

中里 悠介（東京都市大学大学院）

高頭 陸（東京都市大学大学院）

元木 竜平（東京都市大学大学院）

泉 諒音（東京都市大学）

岡本 紗季（東京都市大学）

代 美月（東京都市大学）

高橋 知里（東京都市大学）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

システムのパラメータを与えられた大量の入出力教師データから自動で決定する機械学習が非常に注目を集めている。特に多層ニューラルネットワークに対する深層学習に近年注目が集まっている。多層ニューラルネットワークでは一般的に損失関数の微分値に基づく勾配法に基づいた方法で学習が行われる。多層ニューラルネットワークで用いられる損失関数は非凸関数であり、無数の局所解、プラトー、鞍点が存在するため目的関数の最適解に勾配法で到達することは困難である。しかしながら局所解は最適解近傍に存在していることが示唆されており、またネットワークが十分大量なニューロンで構成される場合には確率的勾配法で最適解に収束できることも報告されている。これらの結果から大量のニューロンで構成されたシステムでは勾配法に基づく学習が成功することが示唆されているた

め、近年の多層ニューラルネットワークでは深層化し、構成するニューロン数が増加している。一方、ニューロン数の増加に伴い、必要とするメモリ量は増加し、これに伴い学習時間の増加なども発生している。

一方、評価関数値のみが与えられ、評価関数式が陽に与えられないBlack-box 最適化問題の最適解探索において進化計算に基づく最適化手法が注目を集めている。進化計算は複数のエージェントが解空間を勾配法には依らずに最適解を探索する。その際に各エージェントが互いに情報を交換しながら解を探索する。このような進化計算には確率要素が含まれるためその解探索能力を定量的に測ることは困難であった。一方我々は進化計算に含まれる確率的要素を排除し、力学系理論に基づき進化計算の解探索能力に関して解析を行ってきた。これらの解析結果を基に進化計算を機械学習アルゴリズムに適用させ、より効率的かつ効果的な機械学習を行えるシステムの開発、およびその応用に関する研究を実施することが本研究計画の目的である。このような目的の下、非線形力学系、最適化アルゴリズム、および機械学習アルゴリズムに関する造詣が深い研究者が参集し、各自の研究結果を発表・議論することで今後の展開を模索することを目的としている。

具体的にはこのような目的遂行のため研究プロジェクト開始 2 年目の本年度は深層学習における潜在変数の役割、様々なタスクに対して効果的な深層学習の構造を評価する手法を検討し、これらの情報を用いて進化計算で最適化をすることを目指した。

以上の目的遂行のため本研究プロジェクトでは非線形力学系解析、非線形最適化、人工ニューラルネットワークの研究者を研究分担者として参画した。また本プロジェクトが対象とするシステムは高速な計算サーバを使用しても非常に大量の計算資源を必要とし、また計算機シミュレーションに非常に時間を要する。これらのシミュレーションに従事するため、東京都市大学神野研究室の大学院生、学部生も研究分担者として参画した。そして進捗状況の情報交換のため、東北大学電気通信研究所において研究会を開催する計画を立てた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本プロジェクトでは昨年度、「ヒステリシスリザバーコンピューティングシステム」および「新たなクラスター評価基準を用いたデータの

ラベル推定」に関して精力的に研究を行なった。この研究成果をまとめ本年度、原著論文として公表した。

更に昨年度は深層学習を用いて画像分類、画像変換を行うタスクに対して既存の正則化技術などが具体的にシステムにどのような影響を与えることによって性能が向上するののかに関して解析を行なった。この研究成果に基づき本年度は適切な構造を有したネットワークの自動生成に関する検討を行った。自動生成に関してはネットワークを評価するための指標に関して研究を精力的におこなった。

その結果、入力データから自動的に包含する特徴量を抽出することが可能な Auto Encoder にスキップコネクションを加えたシステムにおいて、潜在変数が果たす役割を実験的に明らかにした。また、自然言語処理システムにおいて入力された文章に対応した文ベクトルから画像を生成するシステムを用いて、文ベクトルの性質を明らかにした。

またネットワークの学習を勾配法に基づく方法ではなく、進化計算で行う検討を行った。その結果、勾配法では学習困難なシステムでも進化計算を用いれば学習が可能であることを明らかにした。この結果は一般的なニューラルネットワークが非常に大量のパラメータを有するシステムでも何故正則化を用いなくても学習が可能になるのかを解明する端緒になると考えられる。

深層学習システムではそのネットワークの設計法は経験則によるものが大きい。そこで、どのような構造が様々なタスクに対して効果的であるのかを解明することを目指した研究を開始した。本年度は学習初期の状態から学習結果を予測するシステムおよび構造からシステムの性能を予測できるような指標生成に取り組んだ。学習初期の状態から学習結果を予測するシステムについては限定したシステムでは一定の成果を上げることができた。また、システムの評価指標も基本的なものの検討を行うことができ、これらを使い、進化計算でニューラルネットワークの構造そのものの最適化についての検討を行った。

これらの研究成果は論文、国際会議、国内研究会で公表している。また 2022 年 11 月 4 日から 11 月 6 日の 3 日間「【R02/A31】非線形複雑システムの構成論的研究と理論への展開」

「【R03/B06】制御不要な無線給電システム実現に向けた理論構築とその実装」「【R03/B08】進化計算の機械学習への適用に関する研究」の 3 つの共同プロジェクト研究と非線形ワークショップ合同の「東北大学電気通信研究所共同 PJ 研究、

非線形 WS 合同研究会」として研究会をハイブリッドで実施した。本研究会は 15 件のオーラル発表、29 件のポスター発表が行われ、3 日間で延べ 148 名の参加者で活発な議論が行われた。

本プロジェクトの機械学習と群知能に関する研究成果は、2022 年度は別紙 [4] のように論文 5 件、国際会議 9 件、国内口頭発表 34 件で研究成果を公表した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

近年、深層学習は非常に注目を集めると同時に様々な分野においてその利用が進んでいる。しかしながら、その動作原理は未だ不明な点が多く、説明可能な AI の実現が求められている。

本プロジェクトで現在取り組んでいる潜在変数の役割の解明は説明可能な AI の一端を担っていると考える。

また様々なタスクにおいて効果的な性能を発揮する深層学習システムを設計するための進化計算を用いた探索システムは今後の深層学習システムの発展に寄与できる。

本プロジェクトでの研究成果は 2023 年 9 月にイタリアでの開催が予定されている『2023 年非線形理論とその応用に関する国際会議』(NOLTA 2023) でスペシャルセッションを企画しており、本年度の研究成果を基に更に研究を活発化させる予定である。

【 別紙 】

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

論文：

- [1] Ryuhei Motoki, Kenya Jin' no, "Estimating label of data using Fisher Criterion", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp. 252-257, DOI: 10.1587/nolta.13.252, 2022.
- [2] Masanao Yasumuro, Kenya Jin' no, "Japanese Fingerspelling Identification by using Mediapipe", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp.288-293, DOI: 10.1587/nolta.13.288, 2022.
- [3] Tsukasa Saito, Kenya Jin' no, "Consideration of the Output Series Generated by Hysteresis Reservoir Computing", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp. 258-263, DOI: 10.1587/nolta.13.258, 2022.
- [4] Taichi Fukawa, Kenya Jin' no, "Evaluation of the Effect of Phoneme Time Stretching on Speaker Embedding", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp. 277-281, DOI: 10.1587/nolta.13.277, 2022.
- [5] Takumi Genka, Kenya Jin' no, "Relationship between the number of elements in constraint satisfaction problems and the computation time of HNN", NOLTA, IEICE, vol. 13 no. 2 pp. 282-287, DOI: 10.1587/nolta.13.282, 2022.

国際会議：

- [1] Ryuhei Motoki, Kenya Jin' no, "Label Estimation of Data Using the Modified Fisher Criterion", 2022 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2022), pp. 1694-1699, Prague, Czech Republic, 2022. 10. 9-12. (DOI: 10.1109/SMC53654.2022.9945463)
- [2] Masato Izumi, Kenya Jin' no, "Investigation of the Influence of Datasets on Image Generation Using Sentence-BERT", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 252-255, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.B1L-E-03)
- [3] Mizuki Dai, Kenya Jin' no, "Toward the realization of lightweight CNN", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 301-

- 304, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.B2L-E-04)
- [4] Saki Okamoto, Kenya Jin' no, "Feature of Latent Variables in Rotational Transformation of Face Images by U-Net", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 256-259, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.B1L-E-04)
- [5] Riku Takato, Kenya Jin' no, "Learning a simple multilayer perceptron with PSO", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 470-473, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.C3L-C-01)
- [6] Yusuke Nakazato, Kenya Jin' no, "Finding the minimum value of a function using the emergence phenomenon of Boids", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 474-477, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.C3L-C-02)
- [7] Chisato Takahashi, Kenya Jin' no, "Proposal of a new zero-shot evaluation index for simple CNN", 2022 International Conference of Nonlinear Theory and its Applications (NOLTA 2022), pp. 478-481, on-line, 2022. 12.12-12.25. (DOI:10.34385/proc.71.C3L-C-03)
- [8] Saki Okamoto, Kenya Jin' no, "A Study of the Role of Latent Variables Using Three-Dimensional Shapes" 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2023), pp. 466-469, Alamoana Hotel, Honolulu, Hawaii, 2023. 2. 28 - 3. 3.
- [9] Chisato Takahashi, Kenya Jin' no, "Zero-shot evaluation index based on robustness of CNN output" 2023 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP 2023), pp. 462-465, Alamoana Hotel, Honolulu, Hawaii, 2023. 2. 28 - 3. 3.

国内口頭発表：

- [1] 高頭 陸, 神野 健哉, "ニューラル多クラス分類器の PSO による学習", 2022 年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-11 (大阪大学, 2022. 6.11)

- [2] 元木 竜平, 神野 健哉, “修正フィッシャー評価基準を用いた多クラス分類”, 2022 年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-14 (大阪大学, 2022. 6. 11)
- [3] 泉 諒音, 神野 健哉, “Sentence-BERT の文ベクトルの UMAP による特徴解析”, 2022 年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-17 (大阪大学, 2022. 6. 11)
- [4] 代 美月, 神野 健哉, “CNN における Dropout と Batch Normalization の CIFAR-10 に対する最適値の考察”, 2022 年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-20 (大阪大学, 2022. 6. 11)
- [5] 岡本 紗季, 神野 健哉, “U-Net による顔画像の回転変換”, 2022 年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-40 (大阪大学, 2022. 6. 11)
- [6] 中里 悠介, 神野 健哉, “評価関数による Boids が呈する動現象の観測”, 2022 年度 NOLTA ソサイエティ大会, NLS-43 (大阪大学, 2022. 6. 11)
- [7] 代 美月, 神野 健哉, “画像分類性能の高い CNN モデルの構造の検討”, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-27 (北海道大学, 2022, 8. 4-8. 5)
- [8] 岡本 紗季, 神野 健哉, “Auto Encoder と U-Net の潜在変数の役割に関する検討”, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-29 (北海道大学, 2022, 8. 4-8. 5)
- [9] 泉 諒音, 神野 健哉, “UMAP による Sentence-BERT における入力文の変化に対する文ベクトルの検討”, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-30 (北海道大学, 2022, 8. 4-8. 5)
- [10] 高頭 陸, 神野 健哉, “摂動を用いた PSO による MLP の学習について”, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-32 (北海道大学, 2022, 8. 4-8. 5)
- [11] 小山 伶, 布川 大知, 代 美月, 井波 辰朗, 神野 健哉, “CNN による顔画像からの感情分析の検討”, 電子情報通信学会 2022 年ソサイエティ大会, N-1-9 (オンライン, 2022, 9. 6-9. 9)
- [12] 泉 諒音, 代 美月, 神野 健哉, “Sentence-BERT を用いた画像生成における車の色変化の実験”, 電子情報通信学会 2022 年ソサイエティ大会, N-1-10 (オンライン, 2022, 9. 6-9. 9)
- [13] 高橋 知里, 神野 健哉, “CNN 構造の次元数の減少率と分類精度の関係の検討”, 電子情報通信学会 2022 年ソサイエティ大会, N-1-11 (オンライン, 2022, 9. 6-9. 9)
- [14] 中里 悠介, 神野 健哉, “三種の Boids が呈する動現象の観測”, 電子情報通信学会 2022 年ソサイエティ大会, N-1-12 (オンライン, 2022, 9. 6-9. 9)
- [15] 泉 諒音, 神野 健哉, “Sentence-BERT の文ベクトルによる画像生成”, 情報処理学会/電子情報通信学会 第 21 回情報科学技術フォーラム (FIT2022), CE-003 (慶應義塾大学, 2022, 9. 13-9. 15)
- [16] 岡本 紗季, 神野 健哉, “U-Net による顔画像の回転変換での潜在変数の特性”, 情報処理学会/電子情報通信学会 第 21 回情報科学技術フォーラム (FIT2022), H-024 (慶應義塾大学, 2022, 9. 13-9. 15)
- [17] 岡本 紗季, 神野 健哉, “画像変換における潜在変数の役割に関する検討”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P05, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11. 4-11. 6)
- [18] 泉 諒音, 神野 健哉, “Sentence-BART を用いた画像の擬似的テキスト変換モデルの提案”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P06, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11. 4-11. 6)
- [19] 高頭 陸, 神野 健哉, “CNN の構造探索の評価と考察”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P14, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11. 4-11. 6)
- [20] 中里 悠介, 神野 健哉, “Boids を用いた群れ生成のシミュレーション”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P15, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11. 4-11. 6)
- [21] 石田 遼河, 神野 健哉, “色と形状が AE の特徴空間に与える影響”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P24, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11. 4-11. 6)
- [22] 酒井 麻帆, 神野 健哉, “Sentence-BERT による文章埋め込み表現の基礎考察”, 東北大学電気通信研究所 共同プロジェクト研究・非線形ワークショップ 合同研究会, P25, (東北大学電気通信研究所, 2022, 11. 4-11. 6)
- [23] 布川 大知, 神野 健哉, “音声特徴抽出と話者制御音声合成の 2 段階処理による声質変換”, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-52 (シンフォニアテクノロジー響ホール伊勢, 2022, 11. 17-11. 18)
- [24] 岡 晴香, 神野 健哉, “CNN による超解像の検討”, 電子情報通信学会 複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-53 (シンフォニアテクノロジー響ホール伊勢, 2022, 11. 17-11. 18)
- [25] 高橋 知里, 神野 健哉, “CNN に適した総チャンネル数を示す指標の検討”, 電子情報通信学会

複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-54 (シンフォニアテクノロジー響ホール伊勢, 2022, 11.17-11.18)

[26] 中里 悠介, 神野 健哉, "Boids を用いた群れ生成のシミュレーション", 電子情報通信学会複雑コミュニケーション研究会, CCS2022-56 (シンフォニアテクノロジー響ホール伊勢, 2022, 11.17-11.18)

[27] Chisato Takahashi, Kenya Jin'no, "Proposal of a Classification Performance Index Based on the Sum of the Number of Channels on CNN", The 2022 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN' 22), pp. 63-66, (四国大学交流プラザ, 2022.12.9-10)

[28] Mizuki Dai, Kenya Jin'no, "Prediction of CNN Classification Performance by Polynomial Regression", The 2022 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN' 22), pp. 67-70, (四国大学交流プラザ, 2022.12.9-10)

[29] Kenya Jin'no, "Artificial Neural Network Research Revisited" (Invited Paper), The 2022 IEEE Workshop on Nonlinear Circuit Networks (NCN' 22), pp. 78-81, (四国大学交流プラザ, 2022.12.9-10)

[30] 岡本 紗季, 神野 健哉, "生成立体画像を用いた潜在変数の役割に関する検討", 電子情報通信学会 2023 年総合大会, D-12-22, (芝浦工業大学, 2023, 3.7-3.10)

[31] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERT の文ベクトルの性質を用いた画像加工の実験", 電子情報通信学会 2023 年総合大会, D-12-9, (芝浦工業大学, 2023, 3.7-3.10)

[32] Ryoga Ishida, Kenya Jin'no, "Contributions of The Influence of Color and Shape on The Latent Space of AE", 電子情報通信学会 2023 年総合大会, D-12-2, (芝浦工業大学, 2023, 3.7-3.10)

[33] 齋藤 吏, 神野 健哉, "ヒステリシスリザーバーコンピューティングにおける周期記憶とカオス力学系の学習", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2022-145 (長崎大学 文教キャンパス総合教育研究棟 3F 大講義室, 2023, 3.15-3.17)

[34] 泉 諒音, 神野 健哉, "Sentence-BERT で生成される文ベクトルを用いた類義語間の類似性の調査", 電子情報通信学会 非線形問題研究会, NLP2022-146 (長崎大学 文教キャンパス総合教育研究棟 3F 大講義室, 2023, 3.15-3.17)

採択番号：R03/B09

社会行動の脳内機序解明にむけた ヒトの知覚・運動・認知・情動特性の検討

[1] 組織

研究代表者：

筒井 健一郎（東北大学生命科学研究科）

通研対応教員：

塩入 諭（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

下條 信輔（カリフォルニア工科大学生物工学）

酒井 宏（筑波大学情報学群）

西田 真也（京都大学情報科学研究科）

村上 郁也（東京大学社会学系研究科）

宇賀 貴紀（山梨大学医学部）

河原 純一郎（北海道大学文学研究科）

田中 真樹（北海道大学医学研究科）

一川 誠（千葉大学文学部）

吉田 正俊（生理学研究所）

富田 浩史（岩手大学理工学部）

金子 寛彦（東京工業大学工学院）

齋木 潤（京都大学人間環境学研究科）

小川 正（京都大学次世代研究創生ユニット）

渡邊 克己（早稲田大学基幹理工学部）

七五三木 聡（大阪大学医学系研究科）

佐藤 暢哉（関西学院大学文学部）

鮫島 和行（玉川大学脳科学研究科）

松宮 一道（東北大学情報科学研究科）

岡谷 貴之（東北大学情報科学研究科）

天野 薫（情報通信研究機構）

林 拓也（理化学研究所）

坂本 一寛（東北医科薬科大学）

Sven Bestmann (UCL)

Peter Janssen (KU Leuven)

Martin Giese (University Clinic Tübingen)

Po-Jang Hsihe (国立台湾大学)

Soren Krogh Andersen (Univ of Southern Denmark)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

認知・情報・神経科学の進歩をうけて、ヒトの情報処理特性や、その脳内基盤の理解がすすんでいる。これまでとられてきた研究アプローチの多くは、ヒトを単独で実験室という制御された環境に置き、定型的な刺激を与えてその反応を記録して分析するというものであった。一方で、実世界では、ヒトは自由に移動し、さまざまな相手と出会い、コミュニケーションを行う。このような、ダイナミ

ックな社会行動を研究するには、従来の、認知・情報・神経科学の方法論的枠組を越えて、新たなアプローチを取る必要がある。そして、最近では、バーチャルリアリティ技術、ロボット技術、脳の計測や操作の技術、さらには、情報処理技術など、技術開発のさまざまな方面で長足の進歩がみられており、従来の手法で研究対象となり得なかった、ダイナミックな社会行動を研究対象とする機が熟しつつあるとわかってきている。本プロジェクトでは、全国の、認知・情報・神経科学の研究者が一同に会し、それぞれの研究において取得された、ヒトの知覚・運動・認知・情動特性にかかわる最新のデータを持ち寄り、議論することによって、社会行動の脳内機序の解明を目指す。

今年度は、2023年3月6日（月）・7日（火）の2日間にかけて、オンライン形式にてセミナーを開催し、全国から50名を超える方々の参加を得た。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

2023年3月に実施したオンラインセミナーでは、以下の5名の講師の講演と各講演のあとの質疑応答において、社会行動にかかわるヒトの知覚・運動・認知・情動特性について多岐にわたる議論が行われた。長井志江先生（東京大学ニューロインテリジェンス国際研究機構）には、「多感覚予測情報処理に基づく社会的認知機能の発達」という標題で、社会認知の計算論モデルとそれに基づいたロボット実験について講演いただいた。石津智大先生（関西大学文学部心理学）には、「悲劇芸術と仮想の悲しみ」という標題で、人文学、心理学、および、脳科学の知見を通して、悲劇芸術における悲しみについて講演いただいた。宮腰誠先生（シンシナティ小児病院）には、「The art of dimension」という標題で、脳波の多次元的分析にかかわる最新の知見と、それに基づく科学的・哲学的考察について、講演いただいた。吉田正俊先生（北海道大学人間知・脳・AI研究教育センター）には、「統合失調症における視覚サリエンスの変容」という標題で、統合失調症患者でのフリービューイング中の視線データの解析結果とそれに

かかわる考察について、ご講演いただいた。山田真希子先生（量子科学技術研究開発機構量子医科学研究所）には、「ポジティブ・イリュージョンの脳科学研究」という標題で、ご自身の脳機能イメージング研究に基づいた自分に対して肯定的に偏った解釈を行う「ポジティブ・イリュージョン」についてご講演いただいた。このように、向社会的な行動の基盤となる、ヒトの知覚・運動・認知・情動特性にかかわる多岐にわたる話題提供をうけ、有意義な議論が行われた。

また、2022年11月24日に、11月1日から30日にかけて電気通信研究所に滞在した Søren Andersen 教授（南ベルギー大学）の講演会を開催した。「Visual attention in dynamic scenes: electrophysiological investigations of multiple object tracking」のタイトルで、脳波を利用した注意研究の講演であり、本研究テーマに関連する活発な議論が行われた。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

本研究会にて、ヒトの知覚・認知過程の研究領域で活躍する、情報工学や制御工学、認知科学・心理学、および、神経科学・脳科学の研究者が集い、広範かつ深い議論が展開された。これにより、これらの領域の研究者の交流を促進することができ、新たな研究コミュニティの形成に寄与することができた。

また、本プロジェクトと関連して、日本生理学会 100 回大会（2023 年 3 月 16 日）にて、シンポジウム「神経科学と工学の融合的技術によるこころのセンシングとコミュニケーション支援」を筒井が主催したほか、東北大学知のフォーラムの 2024 年度のテーマプログラム実施者に、筒井が選ばれた。本プロジェクトとこれらの集会・会議を効果的に結び付けていくことにより、ヒトの社会行動を理解するための融合的学問領域の形成と発展に寄与することが期待される。

[4] 論文や学会発表等

- (1) 成果リスト（謝辞あり）
- (2) 関連リスト（謝辞なし）

Nakamura S, Kishimoto Y, Sekino M, Nakamura M, Tsutsui KI (2022). Depression induced by low-frequency repetitive transcranial magnetic stimulation to ventral medial frontal cortex in monkeys. *Exp Neurol.* 357: 114168.

Hosokawa T, Xu M, Katori Y, Yamada M, Aihara K, Tsutsui KI (2022). Monkey Prefrontal Single-Unit Activity Reflecting Category-Based Logical Thinking Process and Its Neural Network Model. *J Neurosci.* 42: 6380-6391.

Okada KI, Takeya R, Tanaka M (2022). Neural signals regulating motor synchronization in the primate deep cerebellar nuclei. *Nat Commun.* 13: 2504.

Sasaki R, Kumano H, Mitani A, Suda Y, Uka T (2022). Task-specific employment of sensory signals underlies rapid task switching. *Cereb Cortex.* 32: 4657-4670.

Stiles NRB, Tanguay AR Jr, Shimojo S. Crossmodal Postdiction: Conscious Perception as Revisionist History (2022). *J Percept Imaging.* 5: jpi0150.

Jingling L. and Shioiri S. (2022), Testing the effect of display organization in the collinear search impairment, *Perception*, vol. 51, no. 9, pp. 658-671

Shioiri S., Sasada T., and Nishikawa R. (2022), Visual attention around a hand location localized by proprioceptive information, *Cereb Cortex Commun*, vol. 3, no. 1, p. tgac005, 2022, doi: 10.1093/texcom/tgac005.

Wu W., Kobayashi K., Hou D., Ono S., Sato Y., Hatori Y., Tseng C., Shioiri S. (2022), Critical brain states related with self-initiated attentional shift, *Journal of Vision* 22 (14), 3883-3883

Shioiri S. (2022) New Informatics Paradigm to Manage Quality and Value of Information, *Interdisciplinary Information Sciences*, 28 (1), iv-iv

Sato Y., Horaguchi Y., Vanel L., and Shioiri S. (2022), Prediction of Image Preferences from Spontaneous Facial Expressions., *Interdisciplinary Information Sciences* 28 (1), 45-53

採択番号：R03/B11

アファンタジア (aphantasia) に関する 心的イメージ情報処理特性の検討

[1] 組織

研究代表者：

高橋 純一 (福島大学人間発達文化学類)

通研対応教員：

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

齋藤 五大 (東北大学大学院文学研究科)

安永 大地 (金沢大学歴史言語文化学系)

大村 一史 (山形大学地域教育文化学部)

杉村 伸一郎 (広島大学人間社会科学研究科)

行場 次朗 (尚絅学院大学総合人間科学系)

堀川 友慈 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

最近、「アファンタジア (aphantasia) : Zeman et al., 2015」と言って、“実際の知覚は機能しているが、心的イメージの形成が難しい特質”が知られてきた。心的イメージはコミュニケーション、想像（創造）や思考など日常生活の様々な場面で多用されている認知機能である。一方で、アファンタジア当事者はイメージの共有ができないためにコミュニケーションで困難を感じやすく、さらにエピソード記憶の弱さから個人内の思考や行動でも不安を感じやすい。しかしながら、アファンタジアの心理的・生理的な特性については多くのことが明らかになっていないのが現状である。

2022年度は、アファンタジア当事者のエピソードに注目して事例を集めることで、アファンタジアのイメージ特性について検討することを目的とした。それを遂行するため、当事者および研究者が参加するオンライン会議を開催した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果：共同プロジェクトの研究会の実施

会議はオンラインで実施した。研究者メンバーによるミーティングおよびアファンタジア当事者を交えたミーティングの2種類を開催した。

研究者メンバーによるミーティング

2022年度より採択された基盤研究Bに関する打ち合わせを主な内容として実施した。

2022年3月24日 参加者：全員

基盤研究Bに関する調査・実験の進め方について打ち合わせを行った。それぞれの研究分野および担当箇所の確認を行った。

2022年8月26日 参加者：全員

基盤研究Bに関する調査・実験の進捗状況について確認した。また、アファンタジアの大規模調査に関する投稿論文の内容についても、査読者への対応、分析方法の変更などについて打ち合わせを行った。

2023年3月31日 参加者：全員

基盤研究Bに関する2022年度の進捗状況、および2023年度の進め方について確認した。

アファンタジア当事者を交えたミーティング

アファンタジア当事者のエピソードを検討することで調査・実験の方向性について重要な示唆を得ることができる。特に、2022年度はアファンタジア当事者の日常生活におけるエピソードを検討して、質的観点からの検討を試みた。

2022年9月24日 参加者：当事者、研究者

アファンタジア当事者の日常生活におけるエピソード（得意なこと、苦手なこと、仕事、家族・友人関係など）について、当事者どうしが話し合いを行った。これまでも参加していた当事者に加えて新規の当事者も参加した。また、研究者も参加することで、当事者が感じている主観的体験を研究の観点から解釈した。

アファンタジア当事者を交えたミーティングでは、既に作成しているメンバーリストのメンバーで実施してきた。2022年度の新たな試みとして、アファンタジア研究に関するウェブサイトを通して広く募集をかけた。結果として、ウェブサイトから参加希望を申し出る参加者も一定数確認することができた。今後のミーティングの運用について参考となった。

2022年12月10日 参加者：当事者、研究者

アファンタジア当事者の日常生活におけるエピソードについて、当事者どうしが話し合いを行った。特に、仕事におけるイメージの影響、それへの対応について話し合った。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

2022年度は、アファンタジア研究の展開、さらには当事者との協働体制の拡充を図ることができた。特に、アファンタジア研究に関するウェブサイトの構築により、多くの当事者から問い合わせを受けるようになった。基盤研究 B の研究開始とともに、国内におけるアファンタジア研究の展開が実現した。

本プロジェクトは、以下の外部資金の獲得につながった。

- ・研究費名 基盤研究 B
- ・配分機関名 福島大学や東北大学など研究代表者、通研対応教員、および研究分担者が所属する研究機関
- ・研究期間 2022年4月～2025年3月

- ・研究費名 挑戦的研究
- ・配分機関名 福島大学、広島大学、山形大学
- ・研究期間 2022年4月～2025年3月

また、本プロジェクトは、以下のシンポジウムやワークショップの開催につながった。

- ・日本認知心理学会第20回大会ワークショップ
- ・日本心理学会第86回大会自主シンポジウム

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- ・高橋純一・他, アファンタジアの心的イメージ特性: 当事者のエピソードから, 日本心理学会第86回大会シンポジウム, 2022年9月.
- ・高橋純一・他, アファンタジアとファンタジアの相互理解に向けて: 心的イメージ論争再考, 日本認知心理学会第20回大会ワークショップ, 2022年10月.
- ・高橋純一, アファンタジアの統御性, 日本イメージ心理学会第23回大会シンポジウム, 2022年11月.

採択番号：R03/B12

持続可能なユビキタスシステムに向けた実証的研究

[1] 組織

研究代表者：

石田 繁巳（公立はこだて未来大学システム情報科学部）

通研対応教員：

長谷川 剛（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

渡邊 拓貴（北海道大学情報科学研究科）

高橋 秀幸（東北学院大学教養学部）

松井 加奈絵（東京電機大学理工学部理工学科）

西尾 理志（東京工業大学工学院情報通信系）

岩井 将行（東京電機大学未来科学部情報メディア学科）

川原 圭博（東京大学工学系研究科）

木谷 友哉（静岡大学大学院総合科学技術研究科情報学専攻）

梶 克彦（愛知工業大学情報科学部）

鈴木 秀和（名城大学情報工学部）

米澤 拓郎（名古屋大学工学研究科）

村尾 和哉（立命館大学情報理工学部）

中村 嘉隆（京都橘大学工学部）

廣井 慧（京都大学防災研究所）

松田 裕貴（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科）

猿渡 俊介（大阪大学大学院情報科学研究科）

内山 彰（大阪大学大学院情報科学研究科）

荒瀬 由紀（大阪大学大学院情報科学研究科）

大西 鮎美（神戸大学大学院工学研究科）

神崎 映光（島根大学学術研究院理工学系）

中村 優吾（九州大学大学院システム情報科学研究院）

神山 剛（長崎大学情報データ科学部）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本プロジェクトでは、ユビキタス技術を持続可能な形で実現することを目的とし、前年度に引き続き研究者間で連携しながら研究を行った。

■研究会開催状況

プロジェクト研究会は、2022年11月18日（金）～11月19日（土）に東北大学電気通信研究所において開催した。研究会は現地とオンラインのハイブリッド形式で行われ、本プロジェクトメンバーからの8名に加えて、関連する別の研究グループなどの研究者11名が参加し、計19件の最先端研究が発表され、議論を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

第1の研究成果として、前年度から引き続き実施している**現実的な環境での通信及びセンシングに関する研究成果**を報告する。持続可能なユビキタスシステムの実現に向けた電力的な課題の解決に向け、大阪大の内山はWi-Fi CSIを用いてBackscatter通信を行う手法について提案している[R26]。ユビキタスシステムを実現するためには大規模なネットワークを構築する必要があり、エッジコンピューティングやIoTへのニューラルネットワークの導入が必要となる。東工大の西尾は、ニューラルネットワークモデルを分割してIoTシステムに導入するにあたり、遅延と精度のトレードオフについて報告している[R22]。名城大の鈴木は、QUIC通信を用いてエンドツーエンドで暗号化通信を行うことを可能とする通信方式を提案している[R19]。また、高速通信の伝送路として広く利用されている光ファイバをIoT技術を用いて監視する手法を提案している[R20]。

持続可能なユビキタスシステムでは継続的なセンシングが求められるが、センシング結果が欠損した場合には他の情報を使った補完するなどの必要が生じる。東工大の西尾は、無線信号を用いて画像の欠損部分を補完するRF-Inpainterを提案している。本手法ではカメラで得たRGB画像と無線信号の受信信号強度情報を用いて深層オートエンコーダを用いて無線信号と欠損のある画像から欠損部分を含む画像を復元する[R13]。はこだて未来大の石田は、複数のユーザの行動認識に向けて必須となる「誰が行動しているのか」を推定するために家電を使っているユーザを家電の操作から推定する手法を提案した。その第1歩として、研究成果[P1]ではPCをマウスでスリープから復帰させる動作からユーザを推定する手法を報告している。

高度なセンシングに向けては情報技術の知識を持たないユーザの協力が欠かせない場合がある。奈良先端大の松田は、情報技術の知識を持たないユーザも簡単に参加可能な参加型モバイルセンシングプラットフォームであるParmoSenseを提案している[R5]。また、ポイ捨ての情報を収集する手法として、清掃ボランテ

ニアがトングを使ってゴミを拾う際に拾ったものを認識するシステム Tongaraas を提案している[R17].

第2の研究成果として、**ユビキタスシステムの容易な構築・維持に向けた研究成果**を報告する。ユビキタスシステムを持続可能な形で導入・普及させるためには、情報通信技術に詳しくないユーザが容易にシステムを構築・維持できるようにすることが必要となる。センシング環境を容易に構築する手法として、はこだて未来大の石田はセンサを置いた位置を教師なし学習とユーザの補助で取得する手法を提案している[R23]。また、既存のセンサを代替する手法として、筋電位の有用性が低いことから、立命館大の村尾は脈波データを用いて筋電位を推定する手法を提案している[R25]。継続的なセンシングに向けてはユーザの補助やユーザへの確認も欠かせないことから、ユーザから前向きな回答を得るダイアログシステムとして、名古屋大の米澤は感情を認識・制御して対話を行う手法を提案している[R15]。測位とともにセンシングを実現する例として、愛知工大の梶は、BLE ビーコンを用いて車椅子の自走・介助状態やその活動量を推定する手法を示している[R27]。また、ユビキタスシステムの構築においては高精度な測位技術が欠かせないことから、位置情報システムを構築する際の真値の取得方法について調査した結果を報告している[R24]。

第3の研究成果として、**ユビキタスシステムの実際の応用例に関する研究成果**を報告する。ユビキタスシステムを持続的に利用してもらうためには、ユーザに利便性の高い魅力的なシステム・サービスを示すことが重要である。九大の中村は、水を飲む際に甘い香りを付けて甘さを感じさせることで砂糖の摂取量を減らす手法を提案している[R12]。また、杖を使った高齢者のリハビリテーション支援システムを提案している。コロナ禍での運動不足が大きな課題となったことから、持続可能なシステムとして1人でも継続的に運動を支援できる仕組みとして、杖に取り付けられた加速度センサを用いて運動を認識し、運動の記録を取るとともに運動を支援する仕組みを示している[R4][R6]。立命館大の村尾はリハビリテーションやスポーツトレーニングなどにおいて筋電位を操作することで知覚する負荷を変化させる手法[R9]や、腕時計型デバイスからの触覚刺激[R10]や視覚刺激[R11]によって主観的に感じる経過時間を変化させる手法を提案している。また、視覚インタフェースによる視覚刺激によってユーザの暗記力を向上させる手法を提案している[R7]。神戸大の大西は、フィールドホッケーの上達を支援するた

めのセンシング及びフィードバック手法を提案している[R14]。また、普及が進んでいる3Dコンテンツに字幕を表示する際の表示方法について検討している[R18]。コロナ禍で広く普及した遠隔授業と対面授業との違いを明確化し、今後の授業計画に役立てる一助として、対面と遠隔のリアルタイム授業での受講態度や心拍などの表出情報と集中度を比較した結果を報告している[R28]。これらは多くの人々が注目するであろう健康で快適、便利な生活の実現に向けてICT技術が役に立つ例を示したものであると言える。

第4の研究成果として、**ユーザインタフェースに関する研究成果**を報告する。ユビキタスシステムでは超小型デバイスが多用されることが予想され、入力インタフェースが大きな課題となる。立命館大の村尾は、耳のアクセサリやメガネ型デバイスに取り付けた距離センサを用いたジェスチャ入力[R1][R2]や鼻息を用いた入力[R16]を提案している。神戸大の大西は、ヘッドマウントディスプレイが普及した際の視点移動に向けたジェスチャ入力を検討している[R3]。

第5の研究成果として、**ユビキタスシステムのユーザへの影響を検証した研究成果**を報告する。ユビキタスシステムが日常的に利用されるようになると、システムの利用がユーザにどのような影響を与えるかを考慮する必要が生じる。立命館大の村尾は、AIによる他人の感情推定結果が他者の感情を認知するときに影響を与えることを明らかにしている[R21]。奈良先端大の松田は、専門知識を持つ人と持たない人がプログラミング学習をする中でどのような行動の差が生じるのかを調査し、専門知識の有無でプログラミング学習時の行動が変化することを示している[R8]。これらの成果はAIによる情報提供をシステムとして行う際には人に影響を与えることを考慮に入れて設計する必要があることを示唆していると言える。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本研究プロジェクトで参加研究者間での連携が進んだ成果として、参加研究者の共著での論文を多く発表するに至っている。例えば、研究成果[R4][R6][R8][R12][R17]は本プロジェクトメンバーが連携して発表した共著論文であり、いずれも査読付きの国際会議、論文誌ジャーナル論文である。また、別の研究グループと合同で研究会を開催している効果として別グループの研究者との連携も進み、研究成果[R5][R19]などの共著論文の執筆に至っている。

前年度までに競争的資金に採択される参加研究者がいた成果として連携研究が促進され、本年度は共著での論文発表に至ったと言える。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

[P1] K. Suda, S. Ishida, and H. Inamura: User Identification Based on Mouse Operation toward Automatic Home Appliance Configuration, IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), pp.727-728 (Oct. 2022).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

[R1] K. Futami, K. Oyama, K. Murao: Augmenting Ear Accessories for Facial Gesture Input using Infrared Distance Sensor Array, MDPI electronics, vol.11, no. 9, article no.1480 (May 2022).

[R2] K. Futami, Y. Tabuchi, K. Murao, T. Terada: Exploring Eyeball Movement Gesture Recognition Method for Hands-Free Input using Eyewear with Infrared Distance Sensor Array, MDPI electronics, vol.11, no. 10, article no.1637 (May 2022).

[R3] S. Yamazaki, A. Ohnishi, T. Terada, and M. Tsukamoto: Extensible Neck: A Gesture Input Method to Extend/Contract Neck Virtually in Video See-through AR Environment, MDPI Journal of Sensors, pp. 1-21 (May 2022).

[R4] K. Oi, Y. Nakamura, Y. Matsuda, M. Fujimoto, and K. Yasumoto: Short Stick Exercise Tracking System for Elderly Rehabilitation using IMU Sensor, The 2nd International Workshop on Cyber-Physical-Human System Design and Implementation (CPHS '22), pp.13-18 (May 2022).

[R5] Y. Matsuda, S. Kawanaka, H. Suwa, Y. Arakawa, and K. Yasumoto: ParmoSense: Scenario-based Participatory Mobile Urban Sensing Platform with User Motivation Engine, Sensors and Materials, vol.34, no. 8, pp. 3063-3091 (June 2022).

[R6] K. Oi, Y. Nakamura, Y. Matsuda, M. Fujimoto, and K. Yasumoto: Inertial Measurement Unit-sensor-based Short Stick Exercise Tracking to Improve Health of Elderly People, Sensors and Materials, vol.34, no. 8, pp. 2911-2928 (June 2022).

[R7] K. Futami, D. Kawahigashi, K. Murao: Mindless Memorization Booster: A Method to Influence Memorization Power using Attention Induction Phenomena Caused by Visual Interface Modulation and Its Application to Memorization Support for English Vocabulary Learning, MDPI Electronics, vol.11, no.14, article no.2276 (July 2022).

[R8] K. Watanabe, Y. Matsuda, Y. Nakamura, Y. Arakawa, and S. Ishimaru: How do Programmers Use the Internet? Discovering Domain Knowledge from Browsing and Coding Behaviors, The 8th IEEE International Conference on Smart Data (SmartData '22), pp.605-610 (Aug. 2022).

[R9] K. Futami, T. Seki, K. Murao: Unconscious Load Changer: Designing Method to Subtly Influence Load Perception by Simply Presenting Modified Myoelectricity Sensor Information, frontiers (Sep. 2022).

[R10] K. Shirai, K. Futami, K. Murao: Exploring Tactile Stimuli from a Wrist-Worn Device to Manipulate Subjective Time Based on the Filled-Duration Illusion, MDPI Sensors, vol.22, no. 19, article no.7194 (Sep. 2022).

[R11] K. Futami, N. Hirayama, K. Murao: Unconscious Elapsed Time Perception Controller: Exploring Visual Stimuli Presentation Method to Change and Reverse Tendencies of the Filled-Duration Illusion on Visual Interface, IEEE Access, vol. 10, pp. 109253-109266 (Sep. 2022).

[R12] D. Mayumi, Y. Nakamura, S. Misaki, Y. Matsuda, and K. Yasumoto: Aromug: Mug-type Olfactory Interface to Assist in Reducing Sugar Intake, The 5th International Workshop on Computing for Well-Being (WellComp '22), pp.1-6 (Sep. 2022).

[R13] C. Chen, T. Nishio, M. Bennis, and J. Park: RF-Inpainter: Multimodal Image Inpainting Based on Vision and Radio Signals, IEEE Access, vol. 10, pp.110689-110700 (Oct. 2022).

[R14] 岩本宗大, 大西鮎美, 寺田 努, 塚本昌

- 彦: 圧力センサ付きスティックを用いた聴覚フィードバックによるフィールドホッケーのプッシュ上達支援システム, 情報処理学会論文誌, vol.63, no.10, pp.1574-1582 (Oct. 2022).
- [R15] Shin Katayama, Shunsuke Aoki, Takuro Yonezawa, Tadashi Okoshi, Jin Nakazawa and Nobuo Kawaguchi: ER-Chat: A Text-to-Text Open-Domain Dialogue Framework for Emotion Regulation, IEEE Transactions of Affective Computing, vol.13, no.4, pp. 2229-2237 (Oct.-Dec. 2022).
- [R16] R. Ogawa, K. Futami, K. Murao: Nasal Breath Input: Exploring Nasal Breath Input Method for Hands-free Input by using a Glasses Type Device with Piezoelectric Elements, Journal of Data Intelligence, Vol. 3, No. 4, pp. 421-440 (Nov. 2022).
- [R17] K. Tachibana, Y. Matsuda, K. Isobe, D. Mayumi, T. Kikuchi, H. Suwa, K. Yasumoto, and K. Murao: Tongaraas: Tongs for Recognizing Littering Garbage with Active Acoustic Sensing, The 12th International Conference on the Internet of Things (IoT '22), pp.224-230 (Nov. 2022).
- [R18] 清水裕介, 大西鮎美, 寺田 努, 塚本昌彦: 立体映像における奥行き要素に着目した視線適応型字幕配置手法, 情報処理学会論文誌, vol.63, no.11, pp.1666-1678 (Nov. 2022).
- [R19] S. Horisaki, K. Matama, K. Naito, H. Suzuki: A Proposal of QUIC-Based CYPHONIC for Encrypted End-to-End Communications, The 10th International Symposium on Computing and Networking (CANDAR 2022), pp. 27-35 (Nov. 2022).
- [R20] K. Shimizu, H. Suzuki: Proposal for Optical Fiber Network Monitoring System Using IoT Technology, The 10th International Symposium on Computing and Networking Workshop (CANDARW 2022), pp. 421-425 (Nov. 2022).
- [R21] K. Futami, S. Yanase, K. Murao, T. Terada: Unconscious Other's Impression Changer: A Method to Manipulate Cognitive Biases That Subtly Change Others' Impressions Positively/Negatively by Making AI Bias in Emotion Estimation AI, MDPI sensors, vol.22, no.24 (Dec. 2022).
- [R22] S. Shimizu, T. Nishio, S. Saito, Y. Hirose, C. Yen-Hsiu, and S. Shirakawa: Neural Architecture Search for Improving Latency-Accuracy Trade-off in Split Computing, IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps), pp.1864-1870 (Dec. 2022).
- [R23] S. Ishida, T. Murakami, and S. Otsuki: Room-by-Room Device Grouping for Put-and-Play IoT System, IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), pp.4293-4298 (Dec. 2022).
- [R24] T. Yoshida, K. Kaji, S. Ogiso, R. Ichikari, H. Uchiyama, T. Kurata, N. Kawaguchi: A Survey of Ground Truth Measurement Systems for Indoor Positioning, Journal of Information Processing vol.31, pp.1-6 (Jan. 2023).
- [R25] M. Okamoto, K. Murao: PPG2EMG: Estimating Upper-Arm Muscle Activities and EMG from Wrist PPG Values, MDPI Sensors, vol.23, no.4, article no.1782 (Feb. 2023).
- [R26] V. Elderyi, K. Miyao, A. Uchiyama, T. Murakami: Towards Activity Recognition Using Wi-Fi CSI from Backscatter Tags, IEEE PerCom 2023 Work in Progress (Mar. 2023).
- [R27] 大鐘勇輝, 榎堀優, 梶克彦: BLE ビーコンを用いた車椅子の自走・介助および活動量の推定手法, 情報処理学会論文誌, vol.64, no.1, pp.145-157 (Jan. 2023).
- [R28] 角田幸太郎, 大西鮎美, 寺田 努, 加藤浩, 葛岡英明, 久保田善彦, 鈴木栄幸, 塚本昌彦: 授業中の表出と集中度に基づく対面授業と遠隔リアルタイム授業の比較調査, 情報処理学会論文誌 (2023, accepted).

採択番号：R04/B01

磁性材料の微細構造制御による次世代情報通信システムのための磁気デバイスの開発

[1] 組織

研究代表者：

池田 慎治

(公立小松大学生産システム科学部)

通研対応教員：

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

栢 修一郎 (東北大学電気通信研究所)

藪上 信 (東北大学大学院医工学研究科)

遠藤 恭 (東北大学大学院工学研究科)

小澤 哲也 (東北学院大学工学部)

直江 正幸 (電磁材料研究所)

室賀 翔 (秋田大学大学院理工学研究科)

山本 健一 (琉球大学工学部)

佐藤 敏郎 (信州大学工学部)

曾根原 誠 (信州大学工学部)

中山 英俊

(長野高等専門学校電子制御工学科)

井上 光輝 (国立高等専門学校機構)

内田 裕久 (豊橋技術科学大学大学院)

中村 雄一 (豊橋技術科学大学大学院)

後藤 太一 (豊橋技術科学大学大学院)

本田 崇

(九州工業大学大学院工学研究院)

竹澤 昌晃

(九州工業大学大学院工学研究院)

福永 博俊 (長崎大学大学院工学研究科)

中野 正基 (長崎大学大学院工学研究科)

柳井 武志 (長崎大学大学院工学研究科)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本プロジェクト研究では、アクチュエータ、磁気センサ、各種電磁エネルギー変換素子に代表される「磁気デバイス」を発展させることを目的としている。現在の情報通信技術は、電気自動車や自動運転を代表とするモビリティのインテリジェント化や、IoT のような分散型の情報入出力などの要求に対して、様々な機能や性能向上が求められており、磁気デバイスも様々な役割を担っている。これらの今後の更なる発展のために、材料の特性やその発現の物理的メカニズムを詳細に把握することと、それを踏まえた上で適切に活用するためのマルチスケールな設計開発が必要である。一方、現在の材料開発およびデバイス応用の

分野においては、その専門性は多岐にわたっており、全容を把握することは容易ではない。この問題の解決のため、近隣分野の研究者との情報交換を促進し、相互の研究の深化を図る。新型コロナウイルスの影響下で研究情報交換はオンライン形式が主流となっており、同時多発的に発展的な話題が起きるような機会が減少し、分野横断的に話題が拡がりにくい状況である。そこで本研究では、次の各分野を専門とする研究者を広く集めて研究会を組織した。

1. 磁性材料の微細構造の観察・特性評価
2. 磁性材料のマルチスケールな構造制御
3. 電磁エネルギー変換用磁気デバイス

本プロジェクト研究会を通じて、各研究者の先進的研究の対面形式での発表および討論を通じた学際的な交流を行い、学術的連携の強化を図ることを目的とした。しかしながら、本年度も感染症流行の影響があり、全研究者が集まる形での研究会は日程的に困難であり、開催できなかった。そのため、メールやWeb会議により研究者間相互の情報交換や討論を個別に実施した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

全ての研究者が集まる形式での研究会は年度内に実施できなかったものの、研究者間での情報交換および討論は、メールやWeb会議により継続的に実施した。対面形式で実施される学術会議も徐々に増加しており、そのような場で参加研究者間で直接討論ができる機会もあった。本研究会の目的は、細分化されがちな研究分野の枠を超え、隣接する研究領域にも範囲を広げて議論できる場となることであるので、引き続き参加研究者間の交流の維持と拡大を図ってゆく。

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献等

感染症の影響を受け、本研究プロジェクトでは限定的な研究交流を強いられている状況である。継続的にオンラインツールも活用しつつ社会情勢の好転を見据え、研究会の開催を通じて研究活性化への貢献ができるよう、活動してゆく。

採択番号：R04/B02

固体における新奇スピンドYNAMIXの創発とデバイス応用

[1] 組織

研究代表者：好田 誠

(東北大学大学院工学研究科)

通研対応教員：金井 駿

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

千葉 大地 (大阪大学)

眞田 治樹 (NTT 物性科学基礎研究所)

深見 俊輔 (東北大学電気通信研究所)

森田 健 (千葉大学工学研究科)

石原 淳 (東京理科大学理学部)

家田 淳一 (日本原子力研究開発機構)

大江 純一郎 (東邦大学物理学科)

鈴木 義茂 (大阪大学基礎工学研究科)

相馬 清吾 (東北大学 CSRN)

高梨 弘毅 (東北大学金属材料研究所)

多々良 源 (理化学研究所)

仲谷 栄伸 (電気通信大学情報理工学部)

林 将光 (東京大学理学系研究科)

水上 成美 (東北大学材料科学高等研究所)

守谷 頼 (東京大学生産技術研究所)

松倉 文礼 (東北大学 CIES)

国橋 要司 (NTT 物性科学基礎研究所)

谷口 知大 (産業技術総合研究所)

大兼 幹彦 (東北大学大学院工学研究科)

延べ参加人数：21 人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

スピン・軌道相互作用は金属や半導体など材料を問わず、現在固体物性で最も重要な相互作用の一つとなっており、スピンオービトロニクスと言われる新たな分野を形成しつつある。本プロジェクトの目的はスピントロニクス関連分野、特にスピン・軌道相互作用に関連した様々な新現象についての統一的理解の形成である。すなわち、半導体のバンド構造に由来するス

ピン・軌道相互作用と、金属元素不純物等に起因する散乱を起源として生まれるスピン・軌道相互作用は、それぞれ基本的概念にギャップがある一方で、例えばラシュバ効果は半導体および金属界面におけるスピン・軌道相互作用を介したスピン生成を統一的に理解する手法として極めて重要である。材料の枠にとらわれず共通の理解が可能な概念は興味深く、今後の研究展開の予測やさらなる新奇物性の創出に重要な役割を果たす。上述のラシュバ効果はその一つの例に過ぎないが、多様なバックグラウンドに基づく第一線の研究者による深い議論が、本プロジェクトの目的である物性の統一的理解の上で欠かせない。その具現化のため、国内において金属・半導体・酸化物・原子層物質を軸に研究を進めている第一線の実験・理論研究者が集い、互いの研究に対し広く深く議論する場を設けることで、スピントロニクスに関連する固体物性の最前線を理解する研究会を開催した。本年は2023年3月3日に対面・オンラインハイブリッドによる会議を開催し、8名の研究者を招いて(うち1名は外部からの特別講演)成果発表が行われた。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

以下に研究会における発表についてその概要を記す。

山ノ内氏(北大)は外部からの特別講演として、強磁性酸化物 SrRuO_3 におけるトポロジカルホールトルクというタイトルで強磁性酸化物を用いた新奇スピンホールトルクに関する発表を行った。その温度依存性の実験結果と理論計算との整合性など、酸化物を用いたスピン軌道トルクの興味深い現象について、質疑応答でも活発な議論がなされた。

多々良氏(理研)は、スピン輸送の流体理論=スピンホール効果=スピン渦結というタイトルで講演を行った。スピンホール効果の新しい解釈として流体理論を取り込み、その帰結としてスピンホール効果はスピン渦結であるという解釈を提示した。本研究の良いところはこのような理論の最前線に関する講演に関しても深い議論ができることであり、初めて聞く内容であったが多々良氏からの解説は興味深いものがあった。

張氏(東北大)は III-V 族半導体および二次元層状物質におけるスピン軌道相互作用に関する講演であ

った。InGaAs/InAlAs 二次元電子ガスにおいて永久スピン旋回状態と逆永久スピン旋回状態のゲート制御を実現した内容と、二次元層状物質の合成に関する講演であった。どちらもスピン軌道相互作用がキーワードであり、その強さを外部制御もしくは物質を選択することで増大させる手法についての内容であった。

国橋氏 (NTT) は GaAsBi/GaAs ヘテロ構造中におけるスピン軌道相互作用の定量評価に関する講演で、もともとスピン軌道相互作用がそれほど大きくない GaAs に Bi をパーセントオーダーでドーピングすることで狭ギャップ化を行い、それによるスピン軌道相互作用の増大を時間分解カー回転測定から明らかにした。

相馬氏 (東北大) は反強磁性トポジカル絶縁体におけるドメイン依存した表面状態に関する報告であった。ARPES ビーム径を絞ることでマイクロメータ領域の光電子分光が可能となり、異なるドメインにおけるバンド構造を詳細に評価することが可能となった。高い技術力と解析力には大変目を見張るものがあった。

大江氏 (東邦大) は磁気フラストレーション系の磁化構造制御に関する理論的な講演であった。近年この様なフラストレート磁性はさまざまな角度で研究がなされてきており、磁化構造の制御による機能発現について分かりやすい説明がなされた。

森下氏 (東北大) はダイヤモンド NV 中心の電気的制御と検出に関する講演で、通常ダイヤモンド NV では光学的な検出がなされるが、スピン欠陥の電子を伝導帯にまでたたき上げることでフォトカーレントとして電子スピン共鳴を検出することに成功する内容であった。電気的検出によりデバイス化の観点からも小型化が期待できる。

最後の谷口氏 (産総研) はスピントルク発振器の情報処理容量に関する講演であった。スピントルク発振器はリザバーコンピューティングなどに応用できるため近年多くの研究者が情報処理に向けた研究を進めている。その中でも処理できる容量に関するユニークな発表内容であり、参加者も初めて接する内容なこともあり興味深く研究を聞いていた。

この様に今年度も様々なトピックで発表が構成され、何より対面での講演ができたことで互いの研究者の親睦をより深めることができたと考えている。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、日本のスピントロニクス研究を牽引する若手・中堅研究者が多数参画し、その年の最もホットな話題を未発表データも含めて講演することから、現在のスピントロニクスの立ち位置や、今後の研究展開を定める上で重要な場となる。本プロジェクトを通して、様々な共同研究や大型プロジェクトへと発展することを計画している。

[4] 論文や学会発表等

1. J. Ishihara, T. Mori, T. Suzuki, S. Sato, K. Morita, M. Kohda, Y. Ohno, and K. Miyajima, "Imprinting spatial helicity structure of vector vortex beam on spin texture in semiconductors", *Physical Review Letters* **130**, 126701 (2023).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.130.126701>
2. J. Ryu, R. Thompson, J. Y. Park, S.-J. Kim, G. Choi, J. Kang, H. B. Jeong, M. Kohda, J. M. Yuk, J. Nitta, K.-J. Lee, and B.-G. Park, "Exploiting all three polarizations of spin currents for efficient spin-orbit torques in magnetic trilayers", *Nature Electronics* **5**, 217-223 (2022).
3. T. Saito, T. Nishimura, J.-Y. Yoon, J. Kölzer, D. Iizasa, M. Kammermeier, T. Schäpers, J. Nitta, and M. Kohda, "Lifetime of spin-orbit induced spin textures in a semiconductor heterostructure probed by quantum corrections to conductivity", *Physical Review Research* **4**, 043217 (2022).
<https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.4.043217>

採択番号：R04/B03

革新的気相プロセスによるナノ材料創成と 高機能デバイス応用

[1] 組織

研究代表者：

内田儀一郎（名城大学理工学部）

通研対応教員：

佐藤茂雄（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

酒井道（滋賀県立大学工学研究科）

白谷正治（九州大学大学院システム情報科学研究院）

古閑一憲（九州大学大学院システム情報科学研究院）

金子俊郎（東北大学大学院工学研究科）

布村正太（産業技術総合研究所電子光基礎技術研究部門）

三重野哲（静岡大学理学部）

伊藤剛仁（東京大学大学院新領域創成科学研究科）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本研究プロジェクトの目的は、量子効果などが期待できるナノ材料を新規プロセスを用いて新たに探索し、高機能デバイスへと応用展開することにある。特に反応性ガスを用いたプラズマ気相プロセスは、半導体、金属、絶縁体の各種ナノ材料の生成が可能であり、3次元ナノ構造膜や1次元ナノワイヤー膜を単一ステッププロセスで作製できる利点がある。本研究プロジェクトでは、プラズマやレーザーを用いた気相プロセスに加え、液相プロセス、固相プロセスの専門家を交えて研究を遂行することにより、これらをハイブリッドした革新的ナノ材料プロセスを提案することを目的とする。さらに、これらナノ材料プロセスの開発に加え、作製したナノ材料を用いたデバイス応用についても議論し研究を展開する。具体的には太陽電池などの電子デバイス、Liイオン電池などのイオンデバイス、さらに情報通信デバイスやバイオセンサーなどについて議論し、ナノ材料の特異機能を活用した高性能デバイスの提案を目指す。各種プロセス、材料、デバイスの専門家が参集して議論する本研究プロジェクトにおいて、1) 気相、液相、固相をハイブリッドした新たな概念のナノ材料プロセスの提案、2) ナノ材料(半導体、金属、絶縁体)を付加した高性能デバイスの創成が成果として期待できる。

今年度は、下記に示すナノ材料プロセスとそれを用いた各種デバイスに関するテーマから講演を企画し、各種ナノ材料プロセスの最新動向について議論し、共同研究に向けての

コンセプトを議論する。また、電子デバイス、イオンデバイスなどのデバイス応用に向けた諸問題と可能性についても広く議論する。

- 反応性プラズマ・レーザーを用いたナノ材料生成・制御技術
- 液相プロセスを用いたナノ材料生成・制御技術
- 固相プロセスを用いたナノ材料生成・制御技術
- ナノ材料電子デバイス応用（トランジスタ、太陽電池）
- ナノ材料イオンデバイス応用（Liイオン電池、電気二重層キャパシタ）
- ナノ材料バイオセンサー、情報通信デバイス応用

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下のプログラムの研究討論会を東北大学で開催し 30人以上の参加者のもと情報交換と今後の研究展開について議論した。

【令和4年度 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会プログラム】

日時：2023年2月21日(火) 13:00~17:00

会場：東北大学大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟 306A/B

13:00 - 13:40

「溶液プロセスを用いた触媒酸化ナノ粒子の作製」

東北大学 菅居 高明

13:40 - 14:20

「タンデム型変調熱プラズマを用いた酸化物ナノ粒子の大量生成」

金沢大学 田中 康規

14:40 - 15:20

「低温気相プロセスを用いた 1-2 次元材料の作製と量子ドットデバイス応用」

東北大学 加藤 俊顕

15:20 - 16:00

「熱プラズマプロセスにおける二元系合金ナノ粒子の生成機構」

九州大学 田中 学

16:00 - 16:40

「低温プラズマプロセスを用いた二元系 SiSn ナノワイヤーの作製と Liイオン電池応用」

名城大学 内田 儀一郎

苦居高明(東北大)より、ナノ粒子作製プロセスの基礎原理、さらに超臨界状態を用いた液相プロセスの最新成果についての講演があった。モノマー合成に関して、最初の昇温過程での核形成、サイズの制御が重要であることが述べられた。また、超臨界状態では気体と液体との境界が無くなり、それを利用することで反応速度が速まり、かつ単分散粒径の作製が可能であることが示された。また、混合が難しい無機、有機溶液なども超臨界状態を利用することで混合が可能となり、新たな材料創成や表面処理が可能となることが述べられた。最後に気相プロセスと液相プロセスのそれぞれの利点と欠点が示され、新規プロセスへの展望が議論された。

田中康規(金沢大)より、2つのICP熱プラズマ源を連続的に配置した独自のタンデム型熱プラズマ装置を用いたZnOならびにSiO₂ナノ材料の生成について講演があった。ナノ粒子生成量1時間当たりkgオーダーが達成できたことが報告された。また、上配置プラズマ源と下配置プラズマ源への投入電流波形を適切なタイミングで変調することにより、プラズマ内部への巻き込み流が自発的に発生し、その領域でナノ粒子の核形成が超高密度で励起される様子が計算器シミュレーションにより示された。また、ナノ粒子以外にもSiナノワイヤーの生成にも成功し、これに関するメカニズムについて議論された。最後にデバイス応用としてSiナノワイヤーを用いたLiイオン電池の報告があり、非常に高い容量と低劣化の充放電サイクル特性が示された。

加藤俊顕(東北大)より、低温プラズマプロセスを用いたナノ材料の高集積化プロセスと量子ドットデバイス応用についての講演があった。グラフェンナノリボンにNiナノバーを下地に、ラジカル、温度制御で作製する革新的プロセスが紹介され、それを用いたグラフェンナノリボンの高集積化の成功が示された。また、量子ドットで発現するクーロンブロック効果に起因する特徴的な電流波形の詳細な分析が示され、量子ドットデバイスとしての高いポテンシャルが示された。

田中学(九州大)より、熱プラズマを用いた2元素金属ナノ粒子の生成についての講演があった。Ni、FeをベースとしてTi、Si、Ge、Cu、Mnを添加した膨大な実験データが紹介され、その形態、組成、結晶性解析結果が示された。形態に関して、2元素が置換して結晶を形成する合金型、中心のナノ粒子コア表面に均一にシェルが形成されるシェル型、また、中心コア表面の一部に材料が偏在する分離型

の3パターンに分類できることが示された。これらについて2元素の蒸気圧、表面張力、平衡状態図に基づいた固溶限の観点から考察され、形態制御の統一的な法則について議論された。

内田儀一郎(名城大)より、低温プラズマスパッタリングを用いたSiナノワイヤーの単一ステップ作製プロセスとLiイオン電池応用についての講演があった。Si、Sn混合ターゲットを用いたHeプラズマスパッタリングプロセスで、基板過熱なしでSiナノワイヤーが大量に作製可能であることが示された。また、デバイス応用としてSiナノワイヤー膜を用いたLiイオン電池が報告され、高い容量と低劣化の充放電サイクル特性が示された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

学外研究者との交流が活性化し、令和4年核融合科学研究所で本プロジェクトと関連した国際ワークショップ、第23回微粒子プラズマ・ワークショップ(23th Workshop on Fine Particle Plasmas)が本プロジェクトの分担者である古閑一憲が代表となり開催された。同じく分担者である三重野哲、白谷正治、酒井道、内田儀一郎はもとより、多数の参加者があり、本分野が国際的にも発展する可能性を示した。

[4] 論文や学会発表等

(2) 関連リスト (謝辞なし)

【発表論文】

1. G. Uchida, K. Nagai, A. Wakana, Y. Ikebe, “Low-temperature and high-speed fabrication of nanocrystalline Ge films on Cu substrates using sub-Torr-pressure plasma sputtering”, IEEE Open Journal of Nanotechnology Vol. 3, pp. 153–158 (2022).

【研究発表】

2. G. Uchida, 75th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC 2022), 2022年10月3-7日, Sendai, Japan, “Next-generation Li-ion battery achieved by the low temperature plasma process”.
3. G. Uchida, The international Conference on Battery for Renewable Energy and Electric Vehicles 2022, 2022年6月23日, e-conference, “High-capacity Li ion battery with nanostructured Ge and GeSn anode fabricated in the low temperature plasma process”.
4. G. Uchida, MRS 2022 MRS SPRING MEETING and EXHIBIT, 2022年5月23-25日, e-conference, “Precise control of the nanostructure of Ge films by high-pressure plasma sputtering for Li-ion battery with super-high capacity”.
5. G. Uchida, T. Omac, T. Yamada, K. Masumoto, R. Hanai, M. Kiga, The 32nd Annual meeting of MRS-J, Yokohama, 2022年12月5-7日, “Ge/C nanocomposite anode fabricated in co-sputtering plasma process for high capacity Li ion battery”.
6. G. Uchida, J. Hayashi, Y. Habu, K. Nagai, Advances in Functional Materials 2023, Fukuoka, 2023年1月10日, “High electrical conductivity LiAlGePO films deposited by plasma co-sputtering for Li-ion battery application”.
7. 山田輝也, 木賀海晴, 花井稜, 益本幸泰, 内田儀一郎 「RFスパッタリング Si/C 複合膜の堆積と高容量 Li イオン電池負極への応用」, 第 83 回応用物理学学会秋季学術講演会, 2022年9月20-23日, 東北大学・オンラインハイブリッド開催.
8. 益本幸泰, 木賀海晴, 山田輝也, 花井稜, 内田儀一郎 「Si ナノワイヤー/Si ナノ粒子ポーラス膜の堆積と Li イオン電池負極への応用」, 第 83 回応用物理学学会秋季学術講演会, 2022年9月20-23日, 東北大学・オンラインハイブリッド開催.

採択番号：R04/B04

量子物質の制御と機能開拓および そのデバイス応用

[1] 組織

研究代表者

松野 丈夫 (大阪大学・大学院理学研究科)

通研対応教員

深見 俊輔 (東北大学・電気通信研究所)

研究分担者

小林 研介 (東京大学・大学院理学系研究科)

野村 晋太郎 (筑波大学・数理物質系)

佐々木 進 (新潟大学・工学部)

三沢 和彦 (東京農工大学・大学院工学研究院)

長谷川 修司 (東京大学・大学院理学系研究科)

山口 浩司 (NTT 物性科学基礎研究所)

中山 隆史 (千葉大学・大学院理学研究院)

求 幸年 (東京大学・大学院工学系研究科)

小野 輝男 (京都大学・化学研究所)

塚崎 敦 (東北大学・金属材料研究所)

越野 幹人 (大阪大学・大学院理学研究科)

新見 康洋 (大阪大学・大学院理学研究科)

大兼 幹彦 (東北大学・大学院工学研究科)

林 将光 (東京大学・大学院理学系研究科)

橋坂 昌幸 (NTT 物性科学基礎研究所)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

半導体技術は現代の社会を支える重要な基盤技術である。その成功を支えているのは、半導体中のキャリアの性質を、精密に理解し制御することを可能にした物性科学・材料科学の長年の蓄積である。現在、このような通常の枠組みの半導体を超えて、トポロジカル物質や強相関物質などを総称した量子物質と呼ばれる物質群に関する研究が盛んに行われるに至っている。その中でも基礎研究から離陸し、エレクトロニクスへの展開を図ろうとする世界的な研究の潮流が加速している。そこでは、本研究では量子物質の制御と機能開拓を通して、革新的ナノデバイスの実現を目指す研究を行っている専門家による討論の場を設け、新規デバイス創成に資する知見を獲得することを目的とする。

本プロジェクトでは、量子物質の制御と機能開拓を目指した数々の研究、例えば、コヒーレント反転連続パルス照射、超低ノイズ非平衡電流測定、トポロジカル物質、ベクトル波形整形パルス、近接場スピン局所分光等、について議論を深め、学理の構築を行うと同時に、不揮発性スピントロニクスデバイスの超低消費電力化と超高速化のための処方箋の確立を目指した徹底的な討論を行う。このような方向性は、まさに、量子物質の学理構築に基づくデバイス応用への展開と呼ぶべきものである。半導体物理分野からは「ナノ電子物性理論」、「高度なレーザー技術」、「非平衡状態測定」等、半導体工学分野からは「半導体結晶成長技術」、「半導体デバイス技術」等、スピントロニクス分野からは「磁性電界制御」「磁壁電流駆動」等、国内を代表する研究者を主力メンバーとして組織する。これらのメンバーの間の討論から得られる量子物質の知見をもとにして、新原理デバイスの提案・創成を目指す。

2022年度は、仙台近辺において20名程度の規模で開催する予定で準備を進めていたが、コロナ禍のため、残念ながら中止とせざるを得なかった。そのため、プロジェクトメンバーの間での個別の議論を通して計画を実施した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度の代表的な成果を以下に紹介する。

①ナノスケール磁気トンネル接合における非線形伝導特性 ([4] 論文や学会発表等[1])

研究分担者の小林 (東大)、深見 (東北大)、及び本共同プロジェクト研究の前身のプロジェクトに参加していた大野 (東北大) らは、垂直磁化容易軸を有する数 10nm スケールの磁気トンネル接合の非線形トンネル伝導特性を調べ、その結果をまとめた論文原稿が *Physical Review B* 誌に受理された [Shinozaki *et al.* (2023)]. 本

研究に先立ち、小林らは面内磁化容易軸を有する 100 nm スケールの磁気トンネル接合での非線形トンネル伝導を測定し、トンネル電流を印加電圧で級数展開した際の 3 次の項の係数が 1 次の項の係数と負の比例関係にあり、これがトンネル伝導過程でのマグノンの励起を考慮したモデルで説明されることを報告していた [Iwakiri *et al.*, *Physical Review B* (2021)]。今回の研究では、用いた試料のサイズや磁化容易軸方向が大きく異なるにもかかわらず、先行研究で得られた 3 次の項と 1 次の項の比例関係が定量的に再現された。加えて本研究では、先行研究では観測されていなかった 2 次の項も観測され、これが素子の微細化に伴って増大し、また 3 次の項と相関があることも明らかになった。磁気トンネル接合は磁気センサや不揮発性メモリで利用されており、今後の性能の向上に向けて非線形トンネル伝導特性に関する物理的理解の確立が求められていた。今回、電気通信研究所共同プロジェクト研究の一環として行った本共同研究で得られた一連の成果は、磁気トンネル接合の非線形トンネル伝導の物理的機構に関する今後の理解の促進に向けた重要な情報を与えるものである。

②非磁性金属-磁性絶縁体二層膜におけるスピンホール磁気抵抗 ([4] 論文や学会発表等[2])

研究代表者の松野 (阪大) らは非磁性金属 Pt と磁性絶縁体 $Y_3Fe_5O_{12}$ (YIG) からなる二層膜に対してスピンホール磁気抵抗を測定し、その基板依存性について調べた結果を *Applied Physics Letters* 誌に出版した [Fukushima *et al.* (2022)]。熱酸化 Si 基板上に作製した多結晶 YIG と GGG 基板上に作製したエピタキシャル YIG とを比較した結果、成膜条件が十分に最適化された多結晶 YIG はエピタキシャル YIG に匹敵するスピンホール磁気抵抗を示すことが明らかとなった。スピンミキシングコンダクタンスを評価し、多結晶 YIG と Pt との界面はスピン流の観点から高い品質を持つことが明らかとなった。これらの結果は既存のシリコンテクノロジーにスピン流による磁化制御を組み合わせるにあたって重要な知見を与えるものである。

③強相関ディラック半金属 $SrIrO_3$ におけるスピン軌道トルク生成 ([4] 論文や学会発表等[3])

研究代表者の松野 (阪大) らは強相関ディラック半金属 $SrIrO_3$ と磁性金属 CoFeB からなる二層膜に対して高調波ホール測定を行い、界面におけるスピン軌道トルク生成について調べた結果を *Applied Physics Letters* 誌に出版した [Hori *et al.* (2022)]。ダンピングライクなス

ピン軌道トルクが参照試料である CoFeB/Pt と比較して 3 倍程度と強く観測された。このことは 5d 電子のみが伝導に寄与する Ir 酸化物に特徴的な電子構造を反映しており、 $SrIrO_3$ に存在するトポロジカルなバンド構造や、近傍に存在するスピン軌道モット絶縁体とスピン流物性の関連について明らかにするための重要な第一歩となる成果である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

2022 年度は残念ながら研究会を開催できなかったが、本プロジェクト参加者の間での議論を通して量子物質の応用展開を目指す議論が行われた。上に記載した成果以外にも、本プロジェクトを契機として、研究者間の交流が活性化し、光集積回路を用いた量子情報処理、ダイヤモンド NV センター広視野量子センシング、導電性酸化物積層構造の開拓、Bi/Ni 薄膜におけるスピン輸送測定、磁性体に現れるマヨラナ粒子についての議論が進んでいる。

(その他)

本プロジェクトでの議論を契機として、2023 年第 70 回応用物理学会春季学術講演会においてシンポジウム「量子物性と量子情報の協奏」を実施した。研究代表者の松野 (阪大) が世話人の一人を務め、研究分担者の小林 (東大) が「ダイヤモンド量子センサによる物性研究」について招待講演を行った。本プロジェクトの中心概念である量子物質の新たな展開について議論が行われた。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

- [1] M. Shinozaki, J. Igarashi, S. Iwakiri, T. Kitada, K. Hayakawa, B. Jinnai, T. Otsuka, S. Fukami, K. Kobayashi, and H. Ohno, “Nonlinear conductance in nanoscale CoFeB/MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis”, *Physical Review B*, accepted for publication (2023).
- [2] K. Fukushima, K. Ueda, N. Moriuchi, T. Kida, M. Hagiwara, and J. Matsuno, “Spin Hall magnetoresistance in Pt/Y₃Fe₅O₁₂ bilayers grown on Si and Gd₃Ga₅O₁₂ substrates”, *Applied Physics Letters* **121**, 232403 (2022).
- [3] S. Hori, K. Ueda, T. Kida, M. Hagiwara, and J. Matsuno, “Spin-orbit torque generation in bilayers composed of CoFeB and epitaxial SrIrO₃ grown on an orthorhombic DyScO₃ substrate”, *Applied Physics Letters* **121**, 022402 (2022).

(2) 関連リスト (謝辞なし)

該当なし

採択番号：R04/B05

次世代無線技術の基盤を構築するための アンテナ・電磁界解析技術の研究

[1] 組織

研究代表者：

今野 佳祐（東北大学大学院工学研究科）

通研対応教員：

末松 憲治（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

羽賀 望（群馬大学）

吉田 賢史（鹿児島大学）

袁 巧微（東北工大）

チャカロタイ ジェドヴィスノブ(NICT)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本共同プロジェクト研究会の目的は、アンテナ、電磁界数値解析法、無線電力伝送などの分野における新技術の開発や最新の知見の共有を行い、次世代の無線技術の基盤を構築することである。

本共同プロジェクト研究会は、メンバーによる研究集会を中心に進め、マルチスケールの電磁界数値解析法の研究、低周波無線電力伝送用アンテナの電磁界数値解析法、ミリ波帯における3次元ビームフォーミングアンテナと整流回路の研究、次世代無線通信のための高機能散乱体の研究、MIMO-WPTシステムを用いた無線電力伝送法の研究など、近年の無線技術に関する重要性の高いテーマについて議論を行った。

本プロジェクトは、本年度が1年目であったが、前年度までのプロジェクト研究会から継続した開催となっている。研究活動状況の概要は下記の通りである。

【研究会】

第七回 通研共同プロジェクト研究会 -次世代無線技術の基盤を構築するためのアンテナ・電磁界解析技術の研究-

日時 : 12月26日(月) 13:00~18:00
12月27日(火) 09:00~12:00

会場 : 電気系1号館612会議室

議題 : 研究内容の共有, 進捗報告等

その他、2022年5月には研究会メンバーの吉田、今野、羽賀らが中心となって、助成団体への応募を行った他、6月には今野、

羽賀、ジェドらが中心となって電磁界数値解析法の勉強会を群馬で開催するなどの活動を行った。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、過年度に構築した、複雑あるいは形状が未知のアンテナに対し、その近傍界から電流分布を推定する手法について、IEEEの学術論文にまとめて投稿した結果、採録された。

第2に、Sパラメータを用いて複数の受電アンテナへ選択的な無線電力伝送を行う手法を提案し、数値シミュレーションを行ってその有効性を明らかにした研究内容について学術論文への投稿を実施しており、採録に向けて査読対応中である。

第3に、無線電力伝送用結合素子の回路モデリング手法であるインピーダンス展開法を、結合素子に近接する誘電体および磁性体による散乱波の影響を含められるように拡張した。そして、得られた回路モデルと全波動解析による電力伝送特性の計算結果を比較し、拡張手法の妥当性を確認した。

その他、線状素子を用いてアレーのエンドファイア方向への散乱を実現するリフレクタアレーの研究や、誘電体スラブを利用した無線電力伝送用アンテナの高利得化、無限周期構造上にあるアンテナの数値解析法などに関する研究も実施しており、本プロジェクト研究会の枠組みから着実に研究成果が得られている。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本研究の成果の1つである線状モノポール素子を用いたエンドファイアリフレクタアレーの研究は、修士課程の学生との共同研究の成果である。成果リスト(1)に記載の発表の内容が認められ、電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会にて筆頭著者の学生が優秀ポスター発表賞を受賞した。このように、本プロジェクトにより、若手研究者が育成され、その成果は関連研究分野の学会において高く評価されている。

また、本共同研究プロジェクトでの研究内容やディスカッションの内容については学会からの関心も集めている。研究代表者の今野は、電子情報通信学会のアンテナ・伝播研究会にてチ

チュートリアルワークショップの講師を務め、「モーメント法によるアンテナ解析の基礎」というタイトルで10月18日にオンラインで講演を実施した。この講演の中では、本プロジェクト研究会で議論されたマルチスケールの電磁界数値解析法に関する話題も提供され、好評を博した。翌月の11月には同会のチュートリアル講演の講師も務め、関連の話題を提供した。また、研究分担者の羽賀は、2022 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC 2022)にて招待講演を依頼され、低周波無線電力伝送用アンテナの電磁界数値解析法について講演を行った。

また、本プロジェクト研究会をベースにして、関連の研究プロジェクトが立ち上がっている。それらの研究プロジェクトに関して、以下のような競争的研究資金に応募し採択されている。

新規採択

- ・Beyond 5G の電磁環境制御用散乱体の設計 (研究代表者 チャカロタイ ジェドヴィスノプ, 研究分担者 今野 佳祐)
 - ・東北大学-NICT マッチング支援事業
 - ・東北大学およびNICT
 - ・2023年4月-2024年3月

継続中

- ・基地局端末間の協調による動的ネットワーク制御に関する研究開発 課題ア 高周波数帯 I R S の制御技術(課題ア-② 研究分担者 今野佳祐)
 - ・電波資源拡大のための研究開発
 - ・総務省
 - ・2021年8月-2025年3月.
- ・Beyond 5G の電磁環境制御用散乱体の設計 (研究代表者 今野 佳祐, 研究分担者 チャカロタイ ジェドヴィスノプ)
 - ・科研費 基盤研究(C)
 - ・日本学術振興会
 - ・2022年4月-2026年3月.

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

学術論文

- [1] N. Haga, J. Chakarothai, and K. Konno, "Circuit Modeling of a Wireless Power Transfer System Containing Ferrite Shields Using an Extended Impedance Expansion Method," IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol. 70, no. 5, pp. 2872-2881, May 2022.
- [2] K. Mochiki, K. Konno, and Q. Chen, "Estimation of Equivalent Current Distribution Using Fourier Transform and Eigenmode Currents," IEEE Trans. Electromagn. Compat., vol. 64, no. 5, pp. 1380-1390, Oct. 2022.

国際会議発表

- [1] N. Haga, J. Chakarothai, K. Konno, "Circuit Modeling of Wireless Power Transfer Systems Using Impedance Expansion Method," Proc. APMC2022, pp. 243-245, Nov. 2022 (Invited).

国内会議発表

- [1] 桑田瑞希, 吉田賢史, 西川健二郎, "掘り込みつき銅ボール縦配線のための GCPW-SL トランジション設計・試作評価," 信学ソ大, C-2-27, Sept. 2022.
- [2] 青木 稜吾, 今野 佳祐, 陳 強, チャカロタイ ジェドヴィスノブ, 藤井 勝巳, 村上 靖宜, "線状モノポール素子を用いたエンドファイアリフレクタアレーの散乱特性," 信学技報, vol. 122, no. 214, AP2022-121, pp. 113-115, 2022年10月.
- [3] 今野 佳祐, 陳 強, "【チュートリアル講演】モーメント法によるアレーアンテナの数値解析," 信学技報, vol. 122, no. 251, AP2022-160, pp. 73-78, 2022年11月.
- [4] 青木 稜吾, 今野 佳祐, 陳 強, チャカロタイ ジェドヴィスノブ, 藤井 勝巳, 村上 靖宜, "線状素子を用いたエンドファイアリフレクタアレーに関する基礎検討," 第635回伝送工学研究会, 2023年1月.

受賞

- [1] 青木 稜吾, 優秀ポスター発表賞, 電子情報通信学会アンテナ・伝播研究会, 2022年10月 (国内会議発表[1]の業績による受賞.)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

国際会議発表

- [1] S. Asakura, S. Yamanokuchi, S. Yoshida, and K. Nishikawa, "Design and prototyping of a single-shunt rectifier with 71% fractional bandwidth having acceptable matching on 10 dBm LSSP," in Proc. Wireless Power Transfer Conf., July 2022.

受賞

- [1] 小野 佑希菜, Best Student Award, AWPT2022, 2022年12月. (今野および袁の関連研究による受賞.)

採択番号：R04/B06

これからの学術集会を考える

Designing the Next Normal of Academic Conferences

[1] 組織

研究代表者：

北村 喜文 (東北大学 電気通信研究所)

通研対応教員：

北村 喜文 (東北大学 電気通信研究所)

研究分担者：

村山 公美 (株式会社 横浜国際平和会議場
(パシフィコ横浜))山下 直美 (NTT コミュニケーション科学基礎
研究所)中小路 久美代 (公立はこだて未来大学
システム情報学部)

矢谷 浩司 (東京大学 大学院工学系研究科)

Kotaro Hara (Singapore Management University)

坂本 大介 (北海道大学 大学院情報科学研究科)

葛岡 英明 (東京大学 大学院情報理工学系研究科)

中尾 優美子 (公益財団法人 仙台観光国際協会)

山谷 泰賀 (量子科学技術研究開発機構)

加納 弘子 (公益財団法人

横浜観光コンベンション・ビューロー)

加藤 淳 (産業技術総合研究所)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

今、国内・国際会議等の学術集会は重要な岐路にある。開催形式としてのオンライン／対面／ハイブリッドにはそれぞれメリットやデメリットがあり、各方面で様々な試みがなされている。また、参加者が誰でも全てのプログラムに安心・安全・快適に参加できるアクセシビリティ、そして幅広いダイバーシティにも配慮したインクルーシブな学術集会にしてゆく工夫や、持続可能な社会への貢献も大切になって来ている。また、そもそも「集まる」意味を考え直すことが必要な時期かもしれない。未来を見通し辛い昨今であるが、研究者、学生、企業の人、そしてサプライヤーと呼ばれる方々を含めた多くの方々の活動にとって、学術集会などのイベントが、これからも益々、魅力的で、役立ち続けるものであるように、さらに、市民、国民、ご家族にも応援してもらえるように、皆で考えてみる良い機会ではないかと思う。

そこで、様々なステークホルダーの皆様が集まっていたいただき、各方面からのお考えを伺い、意見交換を実施する機会として、公開のシンポジウムを2022年10月6日にハイブリッド形式で開催した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

公開シンポジウム / Open Symposium を実施した。

日時: 2022年10月6日(木)

会場: ハイブリッド

(東北大学 電気通信研究所本館
+ Zoom Webinar)

参加者数: 128名

(現地19名, オンライン109名)

シンポジウム Web ページ:

<https://sites.google.com/view/riec-symposium-designing-next>

シンポジウムのプログラムと主な発言の要旨は次の通りである。なお、各講演の動画はシンポジウム Web ページで限定公開している。

司会: 北村 喜文 (東北大学 電気通信研究所 教授)

開会のご挨拶

遠藤 克己 (日本政府観光局 (JNTO) 理事)

本シンポジウムを出発点として、国際会議の新しい開催スタイルや、持続可能な国際会議のあり方などを、日本から世界発信してゆき、それがさらに国際会議開催国としての日本の魅力へと拡大へとつながっていくことを期待している。

最近の国際会議の開催形態・事例紹介

池松 香 (Yahoo Japan 研究所 上席研究員

/ 東北大学 電気通信研究所 助教)

リアルタイムのプレゼンやインタラクションに主眼を置くハイブリッド形式のもの、現地参加が必須のもの、リアルタイムのセッションは基本的に無しでかなり割り切った運営をしているものなどいろいろな例がある。

学術集会のこれから ~研究者の視点と学会主催者の視点

山谷 泰賀 (量子科学技術研究開発機構 次長)

そもそも、グローバル化と日本のプレゼンス向上のために、外国にどんどん出るべき。コロナ禍の出口で欧米に比べて約1年出遅れている。

学究生活における文脈の共有と文化的交感

中小路 久美代 (公立はこだて未来大学 教授)

集った時にその場で起きるような創造的・共創的アクティビティと、時間をかけてこうじわ

じわ発達・発展してくるようなコラボレーションがある。偶然の出会いからじわじわとコラボレーションに発展する場合もある。物理的に体験してもらうことで通じる研究の価値や意義やポイントがある。

会議におけるアクセシビリティ

原 航太郎 (Singapore Management University 助教)

参加者のうち約 1%は何らかの障がいをお持ちなので、こういう参加者とのコミュニケーションと主催者間での調整が主な役割。アクセシビリティの調査は、開催地・会場・ホテル・これら同士をつなぐネットワーク、アクセシビリティチェッカーを使った Web サイトの調査、査読時や PC ミーティングでのアクセシビリティ等多岐に及ぶ。

サプライヤーに求められるもの、会議がもたらすもの

村山 公美 (パシフィコ横浜 課長代理)

参加者がオンラインになることで消えてしまった消費効果は深刻。会議による旅行消費効果は会議がもたらす価値の一面に過ぎない。会議本来の開催意義に立ち返って開催効果を具現化していくということが本来のあり方なのではないか。

Panel Discussion

学術集会在ビジネスに与える新たなインパクト

矢谷 浩司 (東京大学 准教授)

浅野 正太郎 ((株) Save Medical 代表取締役社長)

井尻 善久 (LINE(株) AI カンパニー 室長)

湊 和修 (TechDoctor 代表取締役)

学術集會に参加する意義: 最先端の治療報告事例の勉強, デジタルへの関心の高まりの医師側のマインド, 研究対象のトレンド, 医師との直接的に接点づくり. 参加前には必ずプログラムを全部見て名刺交換する先生と話の内容のリストを予め作って臨んでいる。

閉会のご挨拶

山下 直美 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所 特別研究員 / 京都大学 客員教授, ACM SIGCHI Executive Committee Vice President At Large)

ACM SIGCHI では、これからのインクルーシブな学術集會のあり方として、オンラインの部分は残していかなければならないという議論が進んでいる。オンラインと対面の良さが最大限に出せるようなハイブリッド形式を探ってゆくため、いろいろなノウハウを持ち寄ってそれをナレッジシェアリングするような役割を果たしてゆきたい。

(3-2) 波及効果と発展性,研究分野への貢献等

シンポジウム参加者からは、「大変役に立った」等のポジティブな意見が多く寄せられた。当日参

加が叶わなかった多くの方々からの要望があり、各講演の動画はシンポジウム Web ページ⁽¹⁾で限定公開しているが、2023年3月現在で31名の動画聴講希望を受け付けている。

また、本シンポジウムの内容は、2022年12月13日にパシフィコ横浜で開催された横浜グローバル MICE フォーラムで、北村喜文から「これからの学術集會を考える」と題した講演の中で報告した⁽²⁾。



公開シンポジウムの配信会場

[4] 論文や学会発表等

- (1) 東北大学 電気通信研究所 共同プロジェクト 研究 公開シンポジウム「これからの学術集會を考える」2022年10月6日(木)開催 <https://sites.google.com/view/riec-symposium-designing-next>
- (2) 横浜グローバル MICE フォーラム (パシフィコ横浜) 2022年12月13日(火)開催 <https://ygmf.pacifico.co.jp/>

採択番号：R04/B07

視聴覚におけるオブジェクト認知の原理

[1] 組織

研究代表者：

栗木 一郎（埼玉大学 大学院 理工学研究科）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者：

岡嶋 克典（横浜国立大学 大学院 環境情報
研究院）

永井 岳大（東京工業大学 工学院）

森川 大輔（富山県立大学 工学部）

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

人間は、外界からの情報を受容し、自身の外の世界を認識して的確に行動を計画し決断する。「人間性豊かなコミュニケーション」を実現する情報通信技術には、的確な感覚情報の伝達が求められる。そのため、人間の感覚・知覚メカニズムの特性を熟知する必要がある。特に視覚・聴覚の情報は外界からの情報取得において大きな役割を占めているが、いずれも脳内での情報処理を経て認知モデルを脳内に構築し、外界での出来事に対処していると考えられている。このような内部モデルの構築を「オブジェクト認知」と呼び、これは全ての感覚モダリティにおいて行われていると考えられる。本研究プロジェクトの目的は、このオブジェクト認知の現象およびメカニズムを理解する基礎研究について情報交換の場を設け、関連研究の促進とともに、オブジェクト認知メカニズムの原理の解明を進めることにある。

研究代表者および通研対応教員の専門分野である視覚と聴覚を中心として、オブジェクト認知に関わる研究に従事する研究者を集め、研究者間の意見交換を行う。同じ概念が異なる用語で表されることや分野内に固有の常識が存在することなど、異分野間のコミュニケーションには注意が必要である。そのため、十分な意思疎通を図る目的で、1人あたりの持ち時間を1時間とし、十分なディスカッション・意見交換の時間を取ることを特徴とする。本年度は以下の要領で2回の研究会を開催した。（敬称略）

第1回研究会

期日：2022/8/5-6

場所：東北大学 電気通信研究所 M401 号室

8/5（金）

15:15- 栗木一郎, 有馬隆人, 浜野 剛 (埼玉大), 上野賢一 (理研)「カラーアピランスと色カテゴリーの脳内情報処理」

16:15- 森川大輔 (富山県立大)「両耳間差による音像の分離と統合」

17:15- 坂本修一, 玉川真帆 (東北大)「水平面における音源間の角度が聴覚オブジェクトの知覚に及ぼす影響」

8/6 (土)

10:00- 永井岳大, 戸塚文紀 (東工大)「感性的質感認知の心理物理学的時間特性」

11:00- 岡嶋克典 (横国大)「視覚のオブジェクト認知とクロスモーダル効果」

第2回研究会

期日：2022/12/23-4

場所：東北大学 電気通信研究所 M401 号室

12/23(金)

17:00- 永井岳大「質感認知と画像特徴の関わりとは」

17:50- 坂本修一・堀田堯八「周波数および空間位置が聴覚オブジェクトの知覚に及ぼす影響」

12/24(土)

9:30- 栗木一郎・斉藤 輝・渡辺英治・篠崎隆志「蛇の回転」錯視は運動残効か」

10:20- 森川大輔・河内悠希・勇崎峻佑「音像定位に音源近傍の反射板が与える影響」

11:10- 鍵本明里・岡嶋克典「色覚の5次元展開」

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

【第1回研究会】

栗木らは、同じ視覚刺激に対し2種類の異なる課題を実行中の脳活動（機能的MRI/fMRI）に関する最新の知見を報告した。課題による脳内のフィードバック信号の変化が、脳活動パターンに影響すると予想される。課題に対する被験者応答パターンと、課題中に計測した脳活動の小領域におけるパターンの類似性を、複数色間に対する表象非類似度行列（RDM: representational dissimilarity matrix）を用いて比較し、マップした。その結果、2課題に異なる応答を示す脳部位の存在が示された。一方、2課題の脳活動の直接比較や、受動的観察時の脳活動との類似性も評価すべき等の議論が行われた。

森川は音像定位に関する自身の一連の研究についてレビューを行なった。両耳間の時間差（ITD）や音圧差（ILD）を操作して2つの音源の分離を知覚する最小限界を測定する試みにおいて、

音像の広がりを感じる状態に分離限界を測定することが困難であり、オブジェクト認知の影響を強く受けている可能性を指摘した。定義の困難さや個人差が大きく影響していることなどについて、詳細な意見交換が行われた。

坂本らは、音像の空間定位置の違いが音脈の解釈に与える影響について評価する研究を報告した。固定スピーカー（2箇所）と偏位スピーカーから単音もしくはストリーム音を呈示し、音の「まとまり」としての聴覚オブジェクト知覚とスピーカーの配置との関連を評価する心理物理実験を行なった。2つのスピーカーからの音像を個別に定位することと、2つのスピーカーをまとめて1つの聴覚オブジェクトとして捉えることは矛盾しないなど、個々の音源に対する音像定位とオブジェクト表象の形成に関わる知覚の捉え方について議論が行われた。

永井らは、光沢感や透明感など物質の性質に関わる物性的質感と、審美性／高級感／年代感などの感性的質感について、相互の結びつきをモデル化する試みを報告した。個別に複数組の刺激に対する一対比較を行い、計測した応答時間の関係性を満たすよう、重回帰分析によりパス図の形にモデル化する試みを行なった。整理されたパス図において影響の指向性を評価すると、感性的質感が物性的評価から生起するとは必ずしも考えにくい、とか、音声での感情音声／中間層／物理層という区分との類似性に関する議論等が行われた。

岡嶋は、色と光沢に関する知覚と質感や食品の評価に関する自身の研究のレビューを行なった。色の信号や光沢の抽出などは比較的低次の情報により取得できるが、物体の鮮度判断や質感評価と結びつけるには、物体認識や材質に関する事前知識が必要となる等の知見が報告された。また、VRで視覚を操作することにより味や食感を操作するクロスモーダル効果については、似ている属性同士でないとは機能しない平均化の傾向などについて意見交換が行われた。

【第2回研究会】

永井は、統計量を操作した画像を使用して質感認知に関する研究を行う際の訪略について、「画像特徴と知覚の関連は調べれば何か出るが、それだけでいいのか」等の問題提起を行った。これに対し、質感は連続量として変化しないので物理的な実験パラメータとの対応が取りづらい、むしろDNNの方が何かを学習している等の意見交換が行われた。

坂本らは、聴覚情景分析／知覚体制化に関する

研究結果を報告した。3音の音高が異なる場合に異なる音脈に分離される場合があるが、その時の音響空間の操作が結合の知覚に影響する現象について報告した。

栗木らは、静止画なのに動いて見える「蛇の回転」錯視を模倣する予測符号化DNNモデルPredNetを用いた研究について、物体の動きによる画像のボケ(ブラー)を人工的に付与した学習画像を用いるとPredNetの学習および錯視の予測が促進されるという知見を報告した。

森川らは、音源の近くの反射板が音像定位に与える影響について調べた際に、位置のズレた1オブジェクトが知覚される場合や、高音と低音の2オブジェクトが知覚される場合があり、通常の音像定位情報に直接波と反射波のITDを加えると現象が説明可能という知見を報告した。

鍵本らは、2005年になって発見された網膜内の光感受性物質メラノプシンの視知覚への影響、特に条件等色への影響について調べた成果を報告した。色の見えを4つの基本色の成分比で報告するエレメンタリーカラーネーミングでは、桿体とメラノプシンの応答を変調した光に対しては、相補的な色の見えが生じたと報告した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

物体の質感認知に関する科研費の大型プロジェクト（新学術・質感脳情報学(H.22~H.26)、同・多元質感知(H.27~R.1)、学術変革A・深奥質感(R.2~))が立て続けに実施された。代表者の栗木ならびにメンバーの永井・岡嶋はこれらに計画班あるいは公募班として初期から参画し、触覚など他感覚の研究者との繋がりを持っている。これらのプロジェクトでも質感知覚の感覚器あるいは視知覚メカニズムに関する研究は多く行われ報告されたが、オブジェクト認知の原理はオープンな課題として残されている。オブジェクト認知は知覚に共通の大きな課題であり、将来的に情報メディア技術の主要な研究テーマになってくると予想される。

本年度の研究会では、視覚・聴覚のオブジェクト認知に関わる様々な研究の知見を発表しあい意見交換を行った。視聴覚で互いに相似する部分と、モダリティによる相違の両方が見られた。次年度も研究会を実施し、オブジェクト認知の本質に迫る研究として何を指向すればよいか、知見を深めていきたい。また若手を中心に視覚／聴覚の研究者を新たに招き、意見交換を行いたい。将来的には、大型研究助成への提案／応募に結びつけていきたいと考えている。

〔4〕論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- ・有馬隆人, 上野賢一, 栗木一郎. (2022) 色カテゴリーとカラーアピアランスの脳内情報処理に対する文字課題の影響. *VISION*, 34(4), p. 150.
- ・浜野 剛, 上野賢一, 栗木一郎. (2022) 色カテゴリーとカラーアピアランスに関する脳内処理経路の比較. *VISION*, 34(4), p. 144.
- ・斉藤 輝, 篠崎隆志, 渡辺英治, 栗木一郎. (2022) 画像ブレによる予測符号化 DNN の学習高速化の検討. *VISION*, 34(4), p. 134
- ・玉川真帆, 坂本修一. (2022) 水平面における音源間の角度が聴覚オブジェクトの知覚に及ぼす影響. *信学技報*, EA2022-39, pp. 68-73
- ・小泉和人, 永井岳大 (2022) ハイライト領域の Helmholtz-Kohlrausch 効果が有彩色表面における光沢感を上昇させる. 映像情報メディア学会ヒューマンインフォメーション研究会, 大阪, 2022 年 11 月 25 日. *映像情報メディア学会技術報告*, 46(38), pp. 27-30.
- ・Daisuke Morikawa, Tsubasa Sakai, Parham Mokhtari. (2022) Effect of the frequency band on spatially splitting sound image by interaural time and level differences. *Proc. 24th International Congress on Acoustics*, ABS-0751.
- ・鍵本明里, 岡嶋克典 (2022) 中心視の色知覚におけるメラノプシン細胞と杆体の寄与の定量的解析, *VISION*, 35(4), p. 142

採択番号：R04/B08

持続的社會を実現する水上モビリティの要素技術 に関する研究会

[1] 組織

研究代表者：

末田 航 (SenseFoil PTE. LTD.)

通研対応教員：

北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

野間恒毅 (エバーブルーテクノロジーズ株式会社)

渡会 俊輔 (NTT 東日本株式会社)

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

シンガポール国立大学(申請者が 2021 年まで所属)・SenseFoil 社とエバーブルーテクノロジーズ社との共同研究開発として取り組んできた帆船走ドローン技術は、化石燃料を大量消費する水上交通の EV シフトや、インフラの整わない途上国、離島や中山間部の物流や漁業などの地場産業支援するモビリティとして期待されている。離島輸送等の持続的なエコシステムを担保するためには無人帆船走ドローンを利用し、小口かつオンデマンドに対応できる複数舟艇による小型分散型の運用を実現する、誰もが直感的かつ簡便に利用できるユーザフレンドリーなインタフェースがさらに重要である。

これまで、東北大学電気通信研究所の北村研究室、末田の前所属である国立シンガポール大学スマートシステム研究所が協力し、複数ドローンの直感的な操縦・撮影ワークフローを提供するインタラクションの方法を提案して重要国際会議で発表するなどの成果を上げてきた。

本研究会では、これらのノウハウを拡張し、実際のユースケースに適合した水上モビリティの運用形態やそれを実現するための要素技術についての包括的な議論と検討を行った。その結果、

水上モビリティの自動化などのインフラ持続は、地場産業や経済の現状の維持もしくは、衰退を減速可能にするが、それのみでは成長は困難であることが指摘された。そして打開策としてユニバーサルデザインやインクルーシブ性向上などを通し、当事者としての課題解決のアイデアの社会への発信や展開を図るなどの方策の必要性が認識された。

本年度は電気通信研究所研究打ち合わせ、研究

発表の合計 2 回延べ 6 名 (2022 年 10 月 26 日 (2 名)、2023 年 2 月 16 日 (4 名)) で実施したほか、オンラインにて日本とシンガポールの分担者間での研究打ち合わせを現在も多数おこなっている。また東北大学電気通信研究所 令和 4 年度共同プロジェクト研究発表会 (2023 年 2 月 16 日開催) においてポスター発表を行なった。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は研究会の開催と並行して、同テーマで「スマートアイランド実証事業¹」を実施している。これらの取り組みを通し、研究会参画者らは離島の持続可能性向上を目的とした帆船ドローンの試験運用をおこなっている。本研究会では、その結果を通して、持続的社會を実現する水上モビリティの研究開発の将来展望について議論をおこなった。

申請者らは本年度、上記事業の一環として、過疎高齢化に直面する山形県酒田市沖の飛島をサイトして、当実験に投入する帆船ドローンを開発し、2022 年 9 月と 11 月の 2 度に渡り、実証実験を実施した。当実証実験の背景と課題は以下のとおりである。

- 背景：人口 200 人弱、少子高齢化、地場産業の後継者・担い手不足
- 課題 1：将来的に島の生活インフラや産業（漁業や観光業）物流定期船の運営コスト（定期船の燃油、船員の確保）の維持が困難
- 課題 2：冬季など荒天時には欠航率が高く、長期間の欠航によって物流や救急搬送も含めた医療に支障をきたす場合がある
- ソリューション：島の現状、将来に適合した水上モビリティ導入の検討が必要

当研究会での議題～離島部における自動帆船走の最適な導入運営形態は何か。そのための次のステップは何か。

帆船走ドローンによる実証実験では、自動航行に関する規制が未整備なことや、制御機構等に改善の余地が顕在化した。一方、本土間の往来や荒天時の無人航行、漁業、監視など、島関係者の水上業務の負荷軽減に期待を寄せるフィード

¹ スマートアイランドに関する取組 離島振興課

バックが寄せられた。またその将来に期待する多くのメディアからの報道を受けた（別紙参照）。しかし同時に、自動化等に必要な港湾設備投資などを考慮すると持続性採算性確保が難しいこと、仮に助成などによって経済的な課題を解決したとしても自動航行技術の投入のみでの島社会の持続が難しいことが指摘された。



図 1 酒田市飛島にて帆船ドローンによる自動航行物流実験の様子

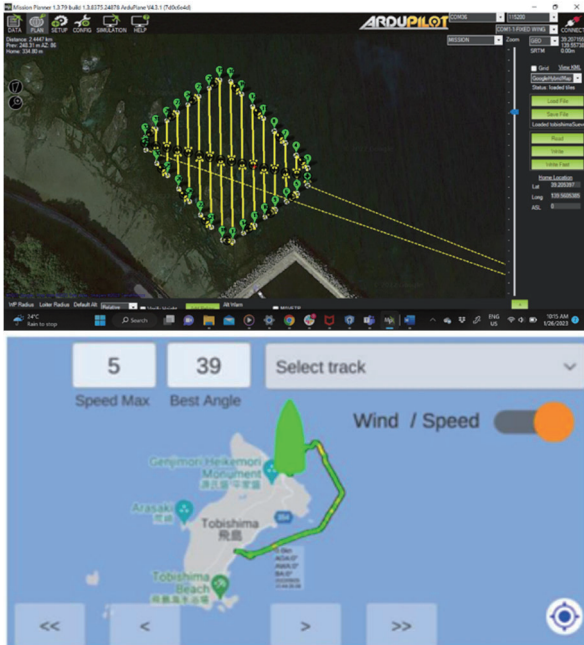


図 2 船員負担の高い密漁監視や魚場モニタリングを無人かつ自動で実施した

将来展開：ニッチな課題解決を社会に展開するユニバーサルデザインの視点

本研究会では、実証事業の結果と当事者とのフィードから議論を重ねた結果、ニッチな課題解決からより包摂的（インクルーシブ）な課題解決手法として展開をしていくユニバーサルデザインを水上モビリティに適用することについて注目をしている。元々、本実証実験に投入した帆船ドローンのベースとなった、Hansa クラス²はパラスポーツだけでなく、さまざまなデザインによって障がいの有無に関わらず同じ条件で

安全に操船しレース可能なインクルーシブヨットである。また、自動運行船に関するロードマップによれば、今現在、2040 年までの当面は完全自律であっても、有人で運行することが想定されている³。そのため、有人航行の操船負荷の低減に一定のニーズも見込まれることから、インクルーシブな水上モビリティ実現のためのユニバーサルデザインを引き続き検討、調査研究することでコンセンサスが形成され、日本セーリング連盟パラセーリング関係者や、日豪をはじめとする国際ハンザセーリング協会などとの交流と情報交換を開始した。



図 3 ユニバーサルデザインが適用されたヨットによるインクルーシブ国際レガッタ⁴に参加、包摂的な自動帆走技術に関する情報交換を実施

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献等
今年度の研究会での議論の結果、自動航行技術が操船等の業務負荷を低減する可能性があること、それによって高齢化などによる船員確保の課題解決に資する可能性があること、それを実現するための操船や管理面でのインターフェースをはじめとする ICT 研究分野の貢献が期待される。また、自動航行（帆走）研究開発の展開先として人と環境に優しくインクルーシブな水上モビリティを目指す方向性が見えてきたことで、今後はユニバーサルデザイン分野などとの学際的な研究テーマとして発展・貢献が期待される。また本研究会と並行して実施した山形県や国内外セーリング連盟・スマートアイランド実証事業の参画者と共に、日本財団や政府機関系の海洋振興事業助成や、当地の地銀などの地域創成スキーム⁵を活用した展開が提案された。次年度以降も、本研究会での議論を軸に、関係者間の研究開発活動や、通研北村教授と議論を継続し水上モビリティのためのインクルーシブな対話技術としてのシナジーを模索したいと考えている。

² [International Hansa Class Association](#)

³ [自動運行船の実用化に向けたロードマップ](#)

⁴ [ハンザ・アジアパシフィック&パラワールド](#)

⁵ [荘内銀行ふるさと創造基金, B&G 海洋クラブ](#)

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

該当なし

(2) 関連リスト (謝辞なし)

・メディア露出 (リストにリンク埋込)



- [NHK: 飛島と酒田港を結ぶ自動操縦ヨットの実証実験 冬の欠航対策](#)
- [朝日新聞: 離島へ物資搬送 小型帆船型ドローンで実証実験](#)
- [山形新聞: 自動操船ヨット、酒田ー飛島で実証実験](#)
- [荘内日報: 飛島でスマートアイランド推進実証調査「帆船型ドローン」活用](#)
- [日本財団: 風を動力に！帆船型ドローン【海と日本プロジェクト in 山形 2022 #24】](#)
- [Drone. jp 酒田港ー飛島間で「スマートアイランド推進実証調査業務](#)
- [ドローンジャーナル: エバーブルーテクノロジー、山形県酒田市の本土・飛島間で実証実験を開始](#)
- [河北新報: 無人帆船で離島に物資運搬 酒田ー飛島間 39 キロで実験へ](#)
- [環境ビジネス: 山形の離島でスマートアイランド推進実証調査 帆船型ドローン活用](#)

展示・コンペ等

- [研究代表者末田、Hansa 2.3 シングル 3位: 日本メダル獲得! さわやかに閉幕、2022 広島ハンザワールド\(バルクヘッドマガジン\)](#)

採択番号：R04/B09

多機能マルチメディア生成に関する研究

[1] 組織

研究代表者：

藪田 光太郎（長崎大学情報データ科学部）

通研対応教員：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

研究分担者：

青木 直史（北海道大学大学院情報科学研究科）

岩村 恵市（東京理科大学工学部）

鶴木 祐史（北陸先端科学技術大学院大学）

河口 英二（九州工業大学）

川村 正樹（山口大学大学院創成科学研究科）

貴家 仁志（東京都立大学システムデザイン学部）

栗林 稔（岡山大学大学院自然科学研究科）

小嶋 徹也（東京工業高等専門学校情報工学科）

近藤 和弘（山形大学大学院理工学研究科）

秋山 寛子（足利大学工学部）

西村 明（東京情報大学総合情報学部）

長谷川 まどか（宇都宮大学工学部）

日置 尋久（京都大学大学院人間・環境学研究科）

藤吉 正明（東京都立大学学術情報基盤センター）

吉田 真紀（情報通信研究機構サイバーセキュリティ研究所）

山田 隆亮（大阪工業大学情報科学部）

今泉 祥子（千葉大学大学院工学研究院）

高嶋 洋一（新潟総合学院開志専門職大学情報学部）

Junfeng Li（中国科学院声学研究所）

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

マルチメディアコンテンツの流通において、マルチメディアの多機能化（単一メディアへのコンテンツの多重化やメディアからのコンテンツマイニング等）の研究・開発が、近年ますますその重要性を増している。本プロジェクトでは、この多機能マルチメディア生成技術に関する、最新技術の動向、セキュリティ保護、知覚特性の発見を共有、討議することを目的として研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

・研究集会、1回開催、2023年1月26日（20名参加）

・研究発表会、6回開催、（5月、7月、9月、11月、1月、3月、各参加者20名程度）

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

本年度は、主に以下に示す研究成果が得られた。

VisionTransformer (ViT) や ConvMixer に代表される Isotropic Model と、ResNet 等の CNN モデルとの間の敵対的事例 (Adversarial Example; AE) の転移性（あるモデルに対して予測結果を誘導させる敵対的事例が異なるモデルに対しても有効にご認識させる現象）についての考察があった。実験により ViT は ConvMixer などの他モデルよりも転移性が低く、暗号化を施すことでその転移性がより小さくなることが確認された。

また、攻撃耐性のある新たな電子透かし手法が、画像、音響信号、音声信号に対して提案された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは、学外研究者との交流が飛躍的に活性化した。

こうした、研究分野の発展を受け、電子情報通信学会情報システムソサイエティ英文論文誌小特集号「Media technologies opening up the future」を企画した。2023年3月投稿締め切り、2024年1月号に掲載される。

採択番号：R04/B10

マイクロ波・レーザ SAR の応用研究

[1] 組織

研究代表者：近木 祐一郎

(福岡工業大学工学部)

通研対応教員：八坂 洋

(東北大学電気通信研究所)

研究分担者：

池地弘行 (元九州大学産学連携センター)

間瀬 淳 (福岡工業大学総合研究機構)

富尾 武 (元宇宙航空研究開発機構)

犬竹正明 (元東北大学電気通信研究所)

佐藤源之 (東北大学東北アジア研究センター)

中沢正隆 (東北大学電気通信研究機構)

伊藤直樹 (宇部工業高等専門学校)

際本泰士 (元京都大学)

山鹿光紀 (国土交通省/法政大

/オブザーバー参加)

徳田伸二 (高度情報科学技術研究機構)

酒井文則 (サクラテック (株))

鈴木昭広 (個人事業主)

岩月勝美 (東北大学電気通信研究機構)

吉本直人 (千歳科学技術大学電子光工学科)

小川裕之 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：18人

研究費：

旅費 241,000 円

今年度は研究会をハイブリッドで実施

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容

本研究は、電波 (マイクロ波) あるいは光 (赤外線) を用いた合成開口レーダ (Synthetic Aperture Radar: SAR) システムを様々な分野へ適用し、これまでになりにリモートセンシング情報を得ること、及びその原理実証を行うことを目的としている。

また、合成開口レーダシステムが計測する位置情報を応用するソフトの開発、および応用ソフトの適用できる分野の検討・開拓、近年発展が目覚ましいドローンなどのレーダプラットフォームの検討も目的としている。

本プロジェクトは継続して実施しているが、本テーマとなっては1年目であり、以下の研究会を行った。

2022 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会：令和5年3月8日 (ハイブリッド開催)、参

加者 14 名 (現地参加 8 名、オンライン参加 6 名)

また、本研究代表者らは以下の発表会でポスター発表を行った。

令和4年度共同プロジェクト研究発表会 2023年2月16日 「マイクロ波・レーザ SAR の応用研究」

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

共同プロジェクト研究会では、マイクロ波およびレーザを用いた合成開口レーダの研究開発および災害監視への適用報告など6件の報告があった。以下にいくつかの報告を抜粋し、その概要を示す。

1) 潮位測定レーダによる潮位測定実験 福岡工大 近木祐一郎

津波の早期検知のための潮位測定レーダの開発および実機適用状況について解説を行った。レーダ電子回路系は周波数 9.3-9.4GHz の出力 1W の FM パルス波を送受信できる構成で、アンテナ系は送信 1、受信 2 系統を縦に配列した構成となっている。散乱体までの距離をパルス圧縮技術により分解し、一方で散乱体の高さを 2 つの高さ方向に配列したアンテナの位相差で検出する原理について説明を行った。実機適用では 150m 以内のレンジの海波に対して長時間の実験が行われたことが報告され、潮位の変化に対応したレーダの測定結果が得られたことが分かった。また潮位の測定精度は波浪の高さや潮位測定時のデータを利用する時間幅によって変化する可能性が示された。

2) コンクリートのマイクロ波イメージング 九大 間瀬 淳

講演者等が携わってきたマイクロ波・ミリ波計測システムの応用の一端について紹介があった。内容は、以下の二課題に分類される。

1) 反射計の建築物壁面検査への適用について報告された。周波数 30-45 GHz 帯におけるプロトタイプ品の製作、および実現場の測定について紹介された。また、基礎実験として、実用化のために重要となる、測定可能な剥離の厚さ、幅、傾きの程度等についての検証を行い、測定周波数領域を選択することにより、表面からの深さ 60-70 mm、クラックの形状については、厚さ 0.05-0.1 mm、幅 1/2 波長、傾き ~30° まで検知可能であることを示した。

2) 電磁波を用いた計測では、クロスレンジ方向の空間分解がレイリー分解 ($\delta \cong 0.61\lambda/NA$: NA は対物

レンズの開口数)で制限されることから、波長の長いミリ波システムの大きな短所となっている。その問題を解決する一手法として、可視光領域で開発されてきたスーパーレンズをミリ波帯(周波数 100 GHz)で試作した。レンズの集光点でのスポット径は 1.3 mm、焦点深度 48 mm が得られ、薄膜スリットや文字パターンを用い 1.5 mm 幅のイメージング

(0.5λ) が検証され、レイリー分解 $\delta \cong 1.1\lambda$ に対し空間分解の向上が実現している。

3) ミリ波を用いた非破壊検査 八光オートメーション株式会社 是枝雄一

ミリ波に SAR を適用した非破壊検査装置について報告を行った。

これまでミリ波を用いた非破壊検査装置を開発し、SAR の位相情報から密度や混ざり具合の評価をすることができた。ただし、ミリ波帯では位相がフリンジジャンプしやすく、絶対値として評価することができなかった。そこで、理論反射率とカーブフィッティングから誘電率に変換して絶対値として評価する手法の検討を実施した。

検証ではまず掃引周波数に対する位相のカーブフィッティングで誘電率(又は厚さ)をもとめた。結果として、モジュールを校正することで誘電率変換できる可能性が確認できた。

今後は、SAR の位相での誘電率変換と、MIMO を利用した高速化の検討を実施していく。

4) 3D Image formations from sparse SAR data 元九大 池地弘行

ドローンは航跡が自由に選べるので、三次元の SAR データ収集に向いている。しかしながら、二次元 SAR のように密にデータを収集すると、データ量は膨大になり、長大なデータ収集時間を要するため、実用的ではない。そこで、希薄なデータからの画像生成を考案し、計算機シミュレーションで画像生成ができることをしめした。

5) 24G 帯 MIMO レーダ サクラテック 酒井 文則
ドローンに搭載が可能な 24GHz 帯レーダをドローンに搭載し、高度 20m でホバリングさせ地上で動いている人の検知実験、および茂みに隠れた目視外で動いている人の検知実験をおこなった。レーダ設定は、動いているものを検知するモードで動作させ、ドローンの動きがあるときのデータを無効とした。

本内容は、レーダ性能および人の検知結果について報告する。

6) 測量事業での無人航空機の利活用動向 法政大山鹿光紀

IT 業界、ベンチャー企業、電機メーカー、航空機メーカー、投資ファンドなどの様々な分野の関係者

が、都市部、山間部及び離島等での新しい物資輸送、地上インフラの点検、災害時のリモートセンシングなどの構想を描いて、「無人航空機、いわゆるドローン」の研究開発・実証・社会実装を始めている。こうした構想をより具体化し、日本における新しいサービスとして発展させていくために、産学官で、社会に受容されるルール作りなどを統合的に進め、空の産業革命に向かっている。本発表では、測量事業の側面から、無人航空機の全般動向、無人航空機による測量の方式や実例、無人航空機に搭載されている「レーザレーダ」や「合成開口レーダ」の仕様、これらの課題等もあわせて解説する。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

様々な帯域のマイクロ波レーダのみならずレーザを利用した共通する解析処理技術で遠方のターゲットを高精度かつ高時間空間分解で画像取得し、また移動体検出など特徴ある情報をアピールできれば、災害監視のための応用ソフト開発の弾みがつき、防災対策などの関係部署への導入も見えてくることを期待している。

【 別紙 】

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

1. Yuichiro Kogi, Narumi Kimura, Hiroyuki Ikezi, Masaaki Inutake and Atsushi Mase, “Visualizing Small Objects Using Amplitude-Modulated Laser Light at Microwave Frequencies”, *Appl. Sci.* 2022, 12(19), 9836;

<https://doi.org/10.3390/app12199836>

(2) 関連リスト (謝辞なし)

採択番号：R04/B11

An Inter-personal Dimension of MA: Behavior, Physiology, and Engineering

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator) :

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

通研対応教員(Research Collaborator of RIEC) :

Chia-huei Tseng (東北大学電気通信研究所)

研究分担者(Project Member List) :

Asaf Bachrach (Centre National de la Recherche Scientifique Paris, France)

Hsin-Ni Ho (Kyushu University, Fukuoka)

Mohammad Shehata (Toyoshi University of Technology)

Hsin-I Liao (NTT Communication Science Laboratories)

Masahiko Terao (Yamaguchi University)

Hsiao-Wen Zan (National Yang Ming Chiao Tung University)

Chia-fan Hsu (National Cheng-Kung University)

I-Lien Ho (National Sun Yat-Sen University)

[2] 本プロジェクトの目的,研究計画や内容(Purpose of this project, research plan and contents)

The Japanese concept/character MA (間), commonly translated as gap, interval, or the in between, partakes in many forms of Japanese arts (e.g. architecture, tea ceremony, dance), sports (e.g. Japanese wrestling, fencing, martial arts), and daily life practices (e.g. speaking, walking, to social interaction). There is a recent calling to attend to the “interpersonal dimension of MA”, and we intend to form an interdisciplinary research team to apply research techniques from psychology, neuroscience, engineering, and humanities to conceptualize and quantify this rich cultural concept.

We proposed to understand MA is not as being outside, as an empty space or silence, but within us (individually and collectively), experienced as a certain quality of attention or perceptual mode highlighting the anticipation of action (a-tension). Our research group took diverse approaches to connect this new endeavor with other better established fields such as non-verbal communication, computer-human interaction, and cultural influences on perception and cognition.

[3] 成果等(Results)

(3-1) 研究成果(Research Results)

In this year, we have initiated group member activities in person as well as remote collaborative methods. We have organized 2 workshops together with invited talks at Tohoku University.

1. Oct 7, 2022, RIEC, Tohoku University

Dr. Dixon Huang (editor for Routledge Culture, Society, Business in East Asia Series. Currently affiliated with Global Creative Industries in the School of Modern Languages and Cultures in the Faculty of Arts of HKU) visited Tohoku University and gave insightful comments from the perspective of social anthropology.

2. February 26, 2023, RIEC, Tohoku University

We invited a few experts to present their research results for the group members. The speakers and their talk titles are:

Su-Ling Yeh: Enhancing Well-Being in the Age of AI: How Psychology Can Help

Kazuki TAKASHIMA: Human-Computer Interaction

Professor Hajime Mushiake: Non-cognitive Skill Education: Play-back Theater

Yi-Chuan Chen: How to assess crossmodal correspondences? Some methodological considerations

Pi-Chun Huang: The Effects of Mandarin Chinese Lexical Tones in Sound-Shape and Sound-Size Correspondences



3. February 27, 2023, Tohoku University
 Playback Theater Workshop: The first Playback Theater Company was founded in 1975 by Jonathan Fox and Jo Salas. This theater is an original form of improvisational theater in which participants tell stories from their lives and watch them enacted on the spot. There are varieties of forms in theatrical method and this workshop offered an introduction to participants. (Instructors: Miki Mushiake & Hajime Mushiake)



4. February 27, 2023, Tohoku University
 Contact improvisation (CI) Workshop: CI is an improvisational dance that establishes contacts and relationships with self and others. Without words, our bodies deepen self-awareness and understanding of others effortlessly, possibly because the body perceives and conveys the essence of each other unconsciously. We started with a careful warm-up to loosen up the body, followed by improvisational dancing and movements with others. During the reflection time, we talked about what the body experienced and what moved the mind. (Workshop Instructors: Shoko Kashima & Chico Katsube (Contact Improvisation Group Clco, Kagoshima))



(3-2) 波及効果と発展性,研究分野への貢献など
(Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

We will use the foundation this year to seek for possibilities of international event organization to increase the awareness of our research theme and capacities. We are a truly interdisciplinary research team with a niche to study cross-cultural and cross-boundary of various forms of communication. Our goals are not limited to academic excellence, but also to engage community participation in achieving more together.



[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

List of papers and conference presentations (with acknowledgements)

Cheng, M., Higashiyama, S., Fujiwara, K., Tseng, C.H., Kitamura, Y. (2022) E-Motion: a database of bodily expression of basic and social emotions. Paper presented at the European Conference on Visual Perception 2022, Nijmegen, Netherland.

Liu, J., Cheng, M., Higashiyama, S., Kitamura, Y., Tseng, C.H., (2023) Contextual Effects on Embodied Emotion: Assimilation and Contrast Effects. Paper presented at Vision Society Japan Winter Meeting, Tokyo, Japan

Fujiwara, K., Cheng, M., Higashiyama, S., Tseng, C.H., Kitamura, Y. (2022) Toward the development of Motion Unit: A data-driven study using motion capture. Paper presented at Annual Convention of Society for Personality and Social Psychology, Atlanta, USA.

採択番号 (Grant No.) : R04/B12

Research of the fundamental technologies of edge computing and edge-assisted smart systems for smart city (スマートシティを支えるエッジコンピューティング基盤技術、およびそれを活用するスマートシステム)

[1] 組織 (Research Organization)

Toyohashi University of Technology

研究代表者 (Principal Investigator) : Xun Shao

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC) :

Go Hasegawa

研究分担者 (Project Member List) :

Hongyang Hong (Kitami Institute of Technology)

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容 (Summary)

This research aims at developing fundamental technologies of edge computing and edge-assisted smart systems for smart cities. The research collaboration was mainly carried out by having workshops. Specifically, we organized and carried out the following workshop:

- 1) Name: RIEC Workshop on Key Technologies for Smart Cities
- 2) Date: 2022/2/22
- 3) Place: RIEC
- 4) Number of participants: 5

In this workshop, Prof. Go Hasegawa from Tohoku University presented his recent research about packet scheduling algorithm between wireless base stations and C-RAN, which are connected with PON. This research is very important for lowering the operational cost of mobile carriers. Prof. Hiroshi Masui from Kitami Institute of Technology presented the development of bus location system. With this system, bus passages can obtain the real time location of the buses they are waiting from smart phone application. Prof. Guowei Lu from Aizu University presented the latest research results about optical communications, and Master student Hongyang Hong from Kitami Institute of Technology presented an approach to improve the effectiveness of renewable energy. All the presentations are closely related to smart city. The participants had an extensive and in-depth exchange of views.

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果 (Research Results)

This year, our focus is on smart energy scheduling technology for interconnected micro grids. For this purpose,

1) We conducted a comprehensive survey about micro grids, and clarified both quantitative and qualitative requirements from micro grid users.

2) We built a comprehensive mathematical model to catch the main characteristics of the energy scheduling problem, defining the objective function, and clarifying the main constraints.

3) We proposed novel optimization algorithms with multi-agent deep reinforcement learning to solve the optimal scheduling problem. Fig. 1 shows that the proposed method can save the energy cost significantly for the micro grid users.

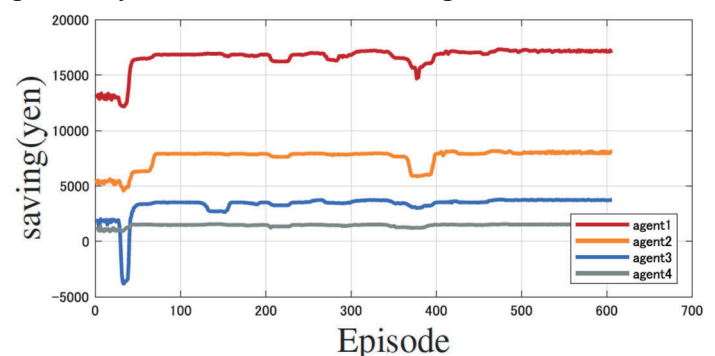


Fig. 1. Electricity saving of 4 micro grid users

In addition, we also developed a truthful auction algorithm for trading edge resources, and a prediction-based routing algorithm for vehicle networks.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など (Multiplied Effects, Development Potential, and Contributions to Related Research Fields etc)

The proposed technologies in this project are expected to contribute to the future smart cities and society.

This research also stimulated the initiation of 12th EAI International Conference on Mobile Networks and Management (MONAMI 2022) that was held in Oct 2022, Nanchang, China. Xun Shao served as the general co-chair of the conference.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

[1] Y. Liu, D. Zhang, X. Shao, K. Yu, and S. Mumtaz, “A Truthful Auction for Green Continuous Task Allocation and Pricing in Edge Computing,” Proc. IEE ICC 2023, 2023

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

[1] J. Qi, H. Zhang, X. Li, H. Ji, and X. Shao, “Edge-Edge Collaboration Based Micro-Service Deployment in Edge Computing Networks,” Proc. IEEE WCNC 2022, 2022

[2] B. Liu, Y. Lu, W. Han, X. Shao, and W. Chen, “A Vehicle Density Prediction Based Routing Protocol for Green VANET Powered by VFC,” Proc. IEEE ICC 2023, 2023

採択番号：R04/B13

屋内マップのためのグラフコンテンツ可視化技術と ナビゲーションインタフェース

[1] 組織

研究代表者：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員：

藤田 和之（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者：

原 航太郎（シンガポールマネジメント大学）

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

北村 喜文（東北大学 電気通信研究所）

延べ参加人数：4人

[2] 本プロジェクトの目的、研究計画や内容

本プロジェクトは、複雑なノード・リンクからなるグラフ構造のコンテンツにおいて、グラフ要素同士の密集によるオクルージョンの問題を解消し、目的とするオブジェクトの獲得や、グラフ内のエラーの発見を効率的に行うためのインタフェースを確立するとともに、このインタフェースを用いた実環境内でのナビゲーション手法を検討するものである。本プロジェクトによって確立される技術は、今後ますます需要が拡大すると見込まれる屋内地図情報のデータ整備や、これを利用したナビゲーションや検索等の多くのアプリケーションの発展に寄与すると期待される。

本年度では、これまで検討してきた屋内グラフデータの可視化・編集のためのユーザインタフェースの研究のさらなる推進、および、アクセシビリティに関わる発展的な研究テーマの創出に向けて、以下の通り、4度の意見交換を繰り返した。

- 2022年10月7日 11-13時 @東北大学 電気通信研究所 本館5階M557にて対面ミーティング
 - 2022年12月29日 16-17時 @オンライン
 - 2023年1月13日 10-12時 @オンライン
 - 2023年2月24日 13-15時 @オンライン
- ミーティングでは、互いに直近で進めている研究テーマを紹介し、今後の共同研究テーマを模索した。

[3] 成果等

(3-1) 研究成果

意見交換の結果、これまで検討してきた屋内グラフデータをエンドユーザが簡易に（プログラミングの知識を要さず）生成できるようにするために、研究代表者が進めている研究である、スマートフォンのみを用いた視線トラッキング手法の適用するアイデアや、新たなドキュメントベースのビデオデータに関するナビゲーションユーザインタフェースのアイデア等が挙げられた。前者のアイデアとしては、具体的な実装についてオンラインミーティングで現在も議論を進めており、後者のアイデアは、次年度の別途テーマによる共同プロジェクトの申請に繋がった。

また、本プロジェクトは特別支援（若手・国際）を受けたものであるが、この支援により、アクセシビリティ分野で国際的に活躍している原先生や、その研究室とのコラボレーションが促進された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトによって確立される技術は、屋内地図情報のデータ整備や、これを利用したナビゲーションや検索等の多くのアプリケーションの発展に寄与すると期待される。特に、屋内のアクセシビリティマップ（例：車椅子での通行が可能なルートを表すマップ）や、ドローンを用いた物流網の構築のためのマップ等が顕著な応用先として考えられ、今後検討を進めたい。加えて、本年度の意見交換により挙げられた別途テーマ「ドキュメントベース動画の直接操作インタフェースに関する研究」は次年度の共同プロジェクト研究テーマとして申請済みであり、新たな研究領域としての開拓や、これに関する外部資金の獲得も計画している。

採択番号(Grant No.) : R02/S01

先端的コヒーレント波技術の基盤構築とその応用

[1] 組織

研究代表者

三村 秀典 (静岡大学電子工学研究所)

通研対応教員

八坂 洋 (東北大学電気通信研究所)

研究分担者

青木 徹 (静岡大学電子工学研究所)

根尾陽一郎 (静岡大学電子工学研究所)

伊藤 哲 (静岡大学電子工学研究所)

川人 祥二 (静岡大学電子工学研究所)

香川景一郎 (静岡大学電子工学研究所)

安富 啓太 (静岡大学電子工学研究所)

原 和彦 (静岡大学電子工学研究所)

小南 裕子 (静岡大学電子工学研究所)

猪川 洋 (静岡大学電子工学研究所)

佐藤 弘明 (静岡大学電子工学研究所)

庭山 雅司 (静岡大学電子工学研究所)

小野 篤史 (静岡大学電子工学研究所)

佐々木哲朗 (静岡大学電子工学研究所)

小野 行徳 (静岡大学電子工学研究所)

横田 信英 (東北大学電気通信研究所)

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

吉田 真人 (東北大学電気通信研究所)

藤掛 英夫 (東北大学大学院工学研究科)

石鍋 隆宏 (東北大学大学院工学研究科)

柴田 陽生 (東北大学大学院工学研究科)

延べ参加人数 49人

[2] 研究経過

コヒーレント波デバイス開発とコヒーレント波の制御・システムに関する研究、及びそのコヒーレント波応用に関する研究を連携して進めた。令和4年7月27日、夏季研究会が静岡大学電子工学研究所にて口頭発表6件、ポスター発表8件、参加者19名で開催、また令和5年2月27日、冬季研究会が東北大学電気通信研究所にて口頭発表4件、ポスター発表7件、参加者28名で開催、いずれも活発な討議が行われ、横断的な研究交流が図られ、また若手人材交流が推進された。そして、令和5年2月16日、通研共プロ成果報告会において電研青木徹教授が「TIBrを用いたフォトン・電荷カウンティング X線イメージャー」と題して、開発したフォトン・電荷カウンティング X線イメージャーを紹介、化合物半導体放射線検出器との相補関係などについて解説した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

【静岡大学・三村・根尾研究室】共振器を結合し透明化を誘起することで得られる狭小なスペクトルに注目し、FDTDシミュレーション等を用いてその発現、増幅、再放射にいたる過程の解析を進めている。高屈折率ガラスN-SF11を基板に用い、低屈折率誘電体にMgF₂を選び、プロセスの確立を目指した。貴金属材料のAg, Auは密着性が悪いため、層間材料としてAl, Cuを選択し、プラズモンの分裂に成功した。

【静岡大学・青木・伊藤研究室】X線イメージで粒子性に加えて位相情報など波の性質の利用への展開を目指し、CdTeを基盤材料として高エネルギーイメージング中心で進めていた研究に波の性質が利用しやすい低エネルギーへの拡張を進め、薄膜臭化タリウムや他のワイドギャップ半導体を導入し、光子・電荷カウント型のイメージングデバイスの試作を進めた。

【静岡大学・佐々木研究室】結晶に対するテラヘルツ分光スペクトル測定によって観測される鋭い吸収線は構造敏感であるために格子欠陥の高感度検出を実現し、極微量不純物検出等に応用可能である。今年度はD-Mannitol他の単結晶成長を実施してテラヘルツ偏光分光測定を適用し、そのa, b, c各軸方向の振動を分離して直接計測し、量子化学計算と比較して分子振動帰属解明を進めた。

【静岡大学・小野篤史研究室】藤掛・石鍋研究室との共同研究にて、銀ナノキューブ単層集積膜上に液晶を充填し、縦電界駆動型の液晶/銀ナノキューブ単層集積膜ハイブリッド構造を開発した。クロスニコル及びパラレルニコル配置系において電圧印加により透過光色が緑色とマゼンタ色にてスイッチングすることを発見した。これはハイブリッド構造固有の現象で、銀ナノキューブプラズモン共鳴と液晶分子配向とが強く相互作用していることを示唆する。

【静岡大学・猪川研究室】単電子トランジスタ整流器では、3 GHzまで平坦な周波数特性を得ることに成功した。高インピーダンスアンテナ付きボロメータでは、電氣的NEPと1 THzにおける光学的NEPを、半波長ダイポールに比して、それぞれ2.5倍と1.6倍改善できることを実証した。熱により反射率・透過率をアクティブ制御する表面プラズモンアンテナ付きフォトダイオード構造を考案し、プロセス要素技術を検討した。

【静岡大学・庭山研究室】光散乱と光吸収の高精度計測を目指し、今年度はToFと空間分解式NIRSを同時計測できるシステムの多波長化を実現するために光学素子基板とハウジングを試作した。その結果、850nmと940nmでの安定なToF測定が可能となった。光散乱の波長依存性を把握可能としたことにより高精度な組織性状診断への展開も期待できる。

【静岡大学・小野行徳研究室】シリコン系・エサキダイオードの計測についてはドーパントクラスターによる伝導機構を解明し論文 (Appl. Phys. Express) を執筆した。MOSトランジスタの2次元電子系の伝導特性の極低温計測は、電子・正孔2層系における特異な電流変調効果(クーロン・ドラッグ)が生じることを見出した。

【静岡大学・川人研究室】今年度は、前年度に試作した1画素に6タップを有するVGAクラスのCMOSイメージセンサと極短パルス高パワーの近赤外レーザー光源とを組み合わせて直接法間接法ハイブリッド型画素駆動を行い、ディレイ特性を評価した。この結果、画素のイオン注入特性の課題が判明したため、解決策を盛り込んだセンサの改版試作を行った。

【静岡大学・原・小南研究室】六方晶窒化ホウ素薄膜の高品質化に向け、局所基板加熱方式のCVD装置を用いて、低温(1300℃)でc面サファイア上に成長したh-BNを剥離し、これをテンプレートとすることで高温成長による高速成長化を図った。その結果、発光特性と表面平坦性には改善の余地があるが、1600℃において、これまでの標準的な成長速度の約3倍にあたる5 $\mu\text{m}/\text{h}$ の膜成長を達成した。

【東北大学・八坂・吉田研究室】イメージセンサを受光器として用いる新規な構成を有する周波数連続変調方式の測距を実験的に検証した。測定可能距離や距離分解能がイメージセンサのフレームレートに制限されたが、外乱光に耐性を有する周波数連続変調方式の3次元イメージングがビーム偏向器を用いることなく実現可能であることが確認できた。今後、本構成の改良を進めることで新規シーズの創出が期待できる。

【東北大学・坂本研究室】球状多チャネルマイクロホンアレイは、3次元音空間中の所望の方向からの音を抽出するビームフォーミングに広く用いられている。この球状多チャネルマイクロホンアレイは球形の形状から球面調和解析との親和性が高く、ビームフォーミングの実装時において、球面調和スペクトル領域が選択されることも多い。本研究では、ビームフォーミングを従来からの時間周波数領域とこの球面調和スペクトル領域で実装し、両者の実装の違いを分析するとともに、それが性能に及ぼす影響を明らかにした。

【東北大学・藤掛・石鍋研究室】液晶に3次元的な配向規制を及ぼして素子応用を拡大するため、水素結合に伴う自己組織化で凝集する dendritic の応用を試みた。Dendritic分散状態を制御するため、液晶溶液を加熱・急冷したところ、液晶の配向乱れが減少した。これは dendritic の凝集繊維が短くなったためである。さらに dendritic 添加の液晶素子の電圧応答特性から基板配向膜と dendritic の配向規制力が競合していることが分かった。今後、Dendritic の配向制御法を開発する必要がある。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など電波と物質のコヒーレント相互作用に関する研究は、D-Mannitol 他単結晶成長を実施してテラヘルツ偏光分光測定を適用し、各軸方向の振動を分離して直接計測することで分子振動帰属解明を進めた。コヒーレント光の時空間制御に関する研究は、小野篤史研と藤掛・石鍋研との共同により銀ナノキューブ単層集積膜上に液晶を充填し、縦電界駆動型の液晶/銀ナノキューブ単層集積膜ハイブリッド構造を開発した。光のコヒーレント性を利用した高機能アンテナ付き光検出器に関する研究は、単電子トランジスタ整流器では3GHzまで平坦な周波数特性を得ることに成功、高インピーダンスアンテナ付きボロメータでは電氣的NEPと1THzにおける光学的NEPを、半波長ダイポールに比べ、それぞれ2.5倍と1.6倍改善できることを実証した。また近赤外レーザー光を利用したToF法による時間分解イメージングデバイスは、CMOSイメージセンサと極短パルス高パワーの近赤外レーザー光源とを組み合わせて直接法間接法ハイブリッド型画素駆動を行い、ディレイ特性を評価し、センサの改版試作を行った。X線領域の高次情報抽出イメージャーの研究では、光子・電荷カウント型のイメージングデバイスの試作を進めた。またToF計測と近赤外分光計測による生体組織形状計測法の研究は、ToFと空間分解式NIRSを同時計測できるシステムの多波長化を実現するために光学素子基板とハウジングを試作し、850nmと940nmでの安定なToF測定が可能となった。さらには、小型コヒーレント半導体レーザーとイメージセンサを融合した新規測距技術の実現に向けた研究では、イメージセンサ外乱光に耐性を有する周波数連続変調方式の3次元イメージングがビーム偏向器を用いることなく実現可能であることを確認した。以上、各研究課題において明確な進展が見られ、研究所間の共同研究による具体的成果もあって、今後深化させていくことにより更なる波及効果が期待される。

[4] 論文や学会発表等

(1) 成果リスト (謝辞あり)

(2) 関連リスト (謝辞なし)

- Masaya Yamamoto, Hiromasa Murata, Noriyuki Miyata, Hiroshi Takashima, Masayoshi Nagao, Hidenori Mimura, Yoichiro Neo, Katsuhisa Murakami, "Low-temperature direct synthesis of multilayered h-BN without catalysts by inductively coupled plasma-enhanced chemical vapor deposition" ACS Omega, No.: ao-2022-06757e (acsomega.2c06757), January 20, 2023
- D-X. Lioe, Y. Fukushi, M. Hakamata, M. Niwayama, K. Mars, K. Yasutomi, K. Kagawa, S. Yamamoto, S. Kawahito, "A CMOS Lock-in Pixel Image Sensor with Multi-Simultaneous-Gate for Time-Resolved Near-Infrared Spectroscopy", IEEE Transactions on Electron Devices, 2023.1
- Shukri B. Korakkottil Kunhi Mohd, D-Xing Lioe, K. Yasutomi, K. Kagawa, M. Hashimoto, S. Kawahito, "A CMOS Double-Demodulation Lock-in Amplifier for Stimulated Raman Scattering Signal Detection", Electronics, 2022.12
- K. Hatakeyama, Y. Okubo, T. Nakagome, M. Makino, H. Takashima, T. Akutsu, T. Sawamoto, M. Nagase, T. Noguchi, S. Kawahito, "A Hybrid Indirect ToF Image Sensor for Long-Range 3D Depth Measurement under High Ambient Light Conditions", 2022 IEEE SYMPOSIUM ON VLSI TECHNOLOGY & CIRCUITS, 2022.6
- 川人 祥二, Kamel Mars, 安富 啓太, 香川景一郎, "近赤外領域を用いたハイブリッド型 ToF 測距イメージセンサの開発と応用", 日本赤外線学会第 31 回研究発表会, 2022. 11
- 安富啓太, 古橋 樹, 佐川航輝, 高澤大志, 香川景一郎・川人祥二, "電荷注入式参照光サンプリングを用いた高距離精度 TOF センサ", 映像情報メディア学会情報センシング研究会 (IST), 2022. 8
- Arie Pangesti Aji, Hiroaki Satoh, Catur Apriono, Eko Tjipto Rahardjo, and Hiroshi Inokawa, "Responsivity and NEP Improvement of Terahertz Microbolometer by High-Impedance Antenna," Sensors, Vol. 22, No. 14, pp. 5107_1-17, Jul. 7, 2022.
- Hiroaki Satoh, Ken Kawakubo, Atsushi Ono, and Hiroshi Inokawa, "Angle-sensitive pixel based on silicon-on-insulator p-n junction photodiode with aluminum grating gate electrode," IEICE Electronics Express, Vol. 19, No. 21, pp. 20220428_1-5, Oct. 13, 2022.
- Alka Singh, Tomoki Nishimura, Hiroaki Satoh, and Hiroshi Inokawa, "Dynamic Single-Electron Transistor Modeling for High-Frequency Capacitance Characterization," Applied Sciences, Vol. 12, No. 16, pp. 8139_1-11, Aug. 14, 2022.
- K. Mizukoshi, Y. Hamanaka, M. Niwayama, "Investigation of oxygen saturation in regions of skin by near infrared spectroscopy", Skin Research and Technology, 28, 5, 695-702, 2022 年 9 月
- T. Sasaki, S. Ando, T. Sakamoto, M. Otsuka, "Crystal Quality Evaluation of N-(4-methoxybenzylidene) aniline by Terahertz Laser Spectroscopy", The 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz2022), Aug.28- Sep.2 Delft, Holland (online)(2022).
- 佐々木 哲朗、大塚 誠、坂本 知昭、田邊 匡生、劉 庭秀、眞子 岳、「テラヘルツレーザー分光による有機結晶中の欠陥評価」、日本金属学会 2022 年秋期(第 171 回)講演大会 2022 年 9 月 21 日、福岡工業大学
- 土門里湖、佐々木哲朗「D-マンニトール単結晶の作製とテラヘルツ分光法を用いた分子振動モード解析」テラヘルツ科学の最先端 X、2022 年 11 月 17 日(木)、フェニックスプラザ、福井
- 佐々木哲朗、「テラヘルツレーザー分光測定とその応用」、先進機械電子システム研究センター (AMES) 講演会、2022 年 9 月 8 日、鳥取大学
- Taruna Teja Jupalli, Ananta Debnath, Gaurang Prabhudesai, Kensuke Yamaguchi, P. Jeevan Kumar, Yukinori Ono, and Daniel Moraru, "Room-temperature single-electron tunneling in highly-doped silicon-on-insulator nanoscale field-effect transistors, Applied Physics Express 15, 065003 (2022). 2022 年 5 月
- 武元航, 坂本修一, "実装時の計算領域が球状アレイを用いた音源分離アルゴリズムの分離特性に及ぼす影響", 令和 5 年東北地区若手研究者研究発表会, YS-21-P01, 209-210 (2023)

採択番号 : R03/SI01

人間科学と AI 技術

Human sciences with AI technologies

[1] 組織 (Research Organization)

研究代表者 (Principal Investigator)

Su-Ling Yeh (National Taiwan University)

通研対応教員 (Research Collaborator of RIEC)

Satoshi Shioiri (RIEC, Tohoku University)

研究分担者 (Project Member List)

Li-Chen Fu (National Taiwan University)

Hsiu-Ping Yueh (National Taiwan University)

Tsung-Ren Huang (National Taiwan University)

Shu-Kai Hsieh (National Taiwan University)

Yung-Jen Hsu (National Taiwan University)

Jong-Tsun Huang (National Taiwan University)

Keng-Chen Liang (National Taiwan University)

Tai-Li Chou (National Taiwan University)

Joshua Goh (National Taiwan University)

Yoshifumi Kitamura (RIEC, Tohoku University)

Yoshihiko Horio (RIEC, Tohoku University)

Takahiro Hanyu (RIEC, Tohoku University)

Chia-huei Tseng (RIEC, Tohoku University)

延べ参加人数 (Total Number of Participants) 100 人

[2] 本プロジェクトの目的, 研究計画や内容(Purpose of this project, research plan and contents)

AI application in industry, business, medical treatment and human science is the most remarkable and forward-looking research area. The proposed study area, AI in Human Studies will create synergy based on the strength of the two research institutes. The AI and advanced robotic center at NTU consists of a strong team from human studies: education, psychology, medicine, humanities, and etc. RIEC at Tohoku includes experts in Advanced Acoustic Information Systems, Visual Cognition and Systems, Interactive Content Design,

Soft Computing Integrated System, New Paradigm VLSI System.

The two research institutes have co-organized a symposium (The First NTU-Tohoku Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies) on December 23, 2017 in Taipei, Taiwan. It was a public event which attracted more than 100 attendants from academic fields and the public. From the initial preparation and execution, the two teams have established several possible collaboration research lines as well as joint research plan. The second Tohoku-NTU symposium was held on November 24 and 25, 2018 at RIEC in Sendai, the third one was held on NTU, on November 24, 2019 and the fourth one and fifth one were held on March 12 and 13, 2021 and March 19th, 2022 on line due to the COVID 19 pandemic.

In this year, the sixth NTU-Tohoku Symposium on Interdisciplinary AI and Human Studies was held on February 26th. It had 16 talks and the titles and speakers are shown below.

Su-Ling Yeh

Enhancing Well-Being in the Age of AI: How Psychology Can Help

Kazuki TAKASHIMA

Human-Computer Interaction

Li-Chen Fu

Bringing Human-like Cognition to Social Robots: Implementing Cognitive Robots for Human-robot Interaction

Hajime Mushiake

Non-cognitive Skill Education: Play-back Theater

Hung-Yi Lee

Self-supervised Learning for Speech Processing

Kazunori Yamada

Strong AI and machine consciousness / neural network for sequence processing and dialogue agent/video game and entertainment

Yi-Chuan Chen

How to assess crossmodal correspondences? Some methodological considerations

Nobuyuki Sakai
Psychology of eating

Pi-Chun Huang
The Effects of Mandarin Chinese Lexical Tones in Sound-Shape and Sound-Size Correspondences

Yu-Chiang Wang
Recent Advances in Vision & Language

Shinichiro Omachi
Image processing

Che Lin
Smart Healthcare: How can AI Revolutionize the Healthcare Ecosystem

Tsukasa Ishigaki
Humanities & social sciences / Commerce /

Tsung-Te Liu
Hardware Security Circuits for Reliable Key Generation and Protection Prof. Naofumi Homma Hardware security

[3] 成果等(Results)

(3-1) 研究成果(Research Results)

The following list shows collaboration topics between the two organization.

- (1) AI & Social Robotics
- (2) AI & Education
- (3) AI & Robots for the Aging Society:
- (4) Speech and Natural Language Processing
- (5) Ethics and Law in AI
- (6) AI & Human Mental Functions
- (7) Yotta Informatics and AI
- (8) AI & Medical Imagine
- (9) Differences in Color Representations of Tastes:
Cross-cultural Study Among Japanese, Russian and Taiwanese

Among the topics listed above, details are shown for topic (2) and (9). For the topic (9), a group of researchers between two university estimated students' mental states while studying. While participants were solving a language puzzle, facial images were recorded. There

were several hints for the participants who clicked a button to get one during the task. Analyzing facial expressions succeeded predict the time when a participant required a hint. This indicates that Ai could use facial images to provide hints at appropriate time in learning processes.

For the topic (9), cultural differences in cross-modal color-taste associations were investigated among Japanese, Taiwanese, and Russian respondents. The participants were asked to choose a color from a 35-color palette that corresponds to a particular item including three voices (male, female, and child), five basic tastes, five types of oral chemesthesis (hot, sharp, spicy, fatty, and astringent), and eight functional foods. The results demonstrate that cross-modal associations were mostly similar among the participants. However, for some specific tastes such as umami, more cultural differences were observed. The results indicate there are specific cultural features in addition to the common associations between color and taste for participants from different cultures.

(3-2) 波及効果と発展性, 研究分野への貢献など

The project aims to progress the research in the fields of AI and human sciences through the collaboration of the two organizations. We expect a variety of novel applications of information and robotics technologies with the development and use of AI technologies. It is crucial to understand human in the use many of these applications and without development of AI without human sciences may cause troubles in the society. The project explores the futures for hearty developments of AI technology and the two organizations are expected to be the centers of the research field not only in Japan and Taiwan, but also in the world.

[4] 論文や学会発表等成果資料 (Publication of papers and conference presentations of the results of this program Publications)

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

List of papers and conference presentations (with acknowledgements)

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

List of publications and conference presentations related to this project (without acknowledgements)

Related publications

Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, "On the Success Rate of Side-Channel Attacks on Masked Implementations: Information-Theoretical Bounds and Their Practical Usage," The 29th ACM Conference on Computer and Communications Security (CCS 2022), pp.1521-1535, Los Angeles, CA, USA, November 2022.

Kotaro Saito, Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, "One Truth Prevails: A Deep-learning Based Single-Trance Power Analysis on RSA—CRT with Windowed Exponentiation," IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2022(4), pp.490-526, 2022.

Akira Ito, Rei Ueno, and Naofumi Homma, "Perceived Information Revisited: New Metrics to Evaluate Success Rate of Side-Channel Attacks," IACR Transactions on Cryptographic Hardware and Embedded Systems, 2022(4), pp.228-254, 2022.

Naoya Onizawa, Kota Katsuki, Duckgyu Shin, Warren Gross, and Takahiro Hanyu, "Fast-Converging Simulated Annealing for Ising Models Based on Integral Stochastic Computing," IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, 2022. DOI: 10.1109/TNNLS.2022.3159713

Chang, Y. L., Luo, D. H., Huang, T. R., Goh, J. O. S., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2022). Identifying mild cognitive impairment by using human-robot interactions. *Journal of Alzheimer's Disease*, 85(3):1129-1142.

Chen, Y. C., Yeh, S. L., Huang, T. R., Chang, Y. L., Goh, J. O. S., & Fu, L. C. (2021). Social robots for evaluating attention state in older adults. *Sensors*, 21(21), 7142.

Huang, T. R., Liu, Y. W., Hsu, S. M., Goh, J. O. S., Chang, Y. L., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2020). Asynchronously embedding psychological test questions into human-robot conversations for user profiling. *International Journal of Social Robotics*, 13(6), 1359-1368.

Chuang, Y. S., Hung, H. Y., Gamborino, E., Goh, J. O. S., Huang, T. R., Chang, Y. L., Yeh, S. L., & Fu, L. C. (2020). Using machine theory of mind to learn agent social network structures from observed interactive behaviors with targets. 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN).

Lo, S. Y., Lai, Y. Y., Liu, J. C., & Yeh, S. L. (2022). Robots and sustainability: Robots as persuaders to promote recycling. *International Journal of Social Robotics*, 1-12.

Liu, J. C., Li, K. A., Yeh, S. L., & Chien, S. Y. (2022). Assessing perceptual load and cognitive load by fixation-related information of eye movements. *Sensors*, 22(3), 1187.

Chen, Y. T., Lee, H. H., Shih, C. Y., Chen, Z. L., Beh, W. K., Yeh, S. L., & Wu, A. Y. (2022). An effective entropy-assisted mind-wandering detection system using EEG signals of MM-SART database. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, 26(8), 3649-3660.

Jingling L. and Shioiri S. (2022), Testing the effect of display organization in the collinear search impairment, *Perception*, vol. 51, no. 9, pp. 658-671

Shioiri S., Sasada T., and Nishikawa R. (2022), Visual attention around a hand location localized by proprioceptive information, *Cereb Cortex Commun*, vol. 3, no. 1, p. tgac005, 2022, doi: 10.1093/texcom/tgac005.

Wu W., Kobayashi K., Hou D., Ono S., Sato Y., Hatori Y., Tseng C., Shioiri S. (2022), Critical brain states related with self-initiated attentional shift, *Journal of Vision* 22 (14), 3883-3883

Shioiri S. (2022) New Informatics Paradigm to Manage Quality and Value of Information, *Interdisciplinary Information Sciences*, 28 (1), iv-iv

Sato Y., Horaguchi Y., Vanel L., and Shioiri S. (2022), Prediction of Image Preferences from Spontaneous Facial Expressions., *Interdisciplinary Information Sciences* 28 (1), 45-53

Raevskiy A., Bubnov I., Chen Y. C., and Sakai N. (2022) Differences in Color Representations of Tastes: Cross-cultural Study Among Japanese, Russian and Taiwanese, In: Rau, P.L.P. (eds) *Cross-Cultural Design. Interaction Design Across Cultures. HCII 2022. Lecture Notes in Computer Science*, vol 13311. Springer, Cham.

採択番号：R04/T01

伝送工学研究会 Society 5.0 に向けた電波・光波伝送技術

[1] 研究組織

研究代表者：

山田 博仁（東北大学 大学院工学研究科）

通研対応教員

葛西 恵介（東北大学 電気通信研究所）

主査

山田 博仁（東北大学 大学院工学研究科）

幹事

松田 信幸（東北大学 大学院工学研究科）

研究分担者

陳 強（東北大学 大学院工学研究科）

松浦 祐司（東北大学 大学院工学研究科）

西山 大樹（東北大学 大学院工学研究科）

今野 佳祐（東北大学 大学院工学研究科）

[2] 研究目的

電波、光波の無線及び有線伝送に関するシステム、方式及びデバイスについて研究発表と討論を行う。

[3] 研究成果等

(1) 成果等

本年度は9回の定期研究会と1回の特別講演会が開催され、3件の特別講演と30件の一般講演が行われた。最新の研究動向と成果が発表され、活発な議論が行われた。

(2) 開催した研究会

第629回

2022年5月17日（火）14:40～

オンライン開催

一般講演 3件

参加人数 61名

第630回

2022年6月21日（火）14:40～

オンライン開催

特別講演 1件

「情報通信分野における技術政策動向」

小川 裕之（総務省国際戦略局研究推進室長）

一般講演 1件

参加人数 61名

第631回

2022年7月19日（火）14:40～

オンライン開催

一般講演 3件

参加人数 60名

第632回

2022年9月20日（火）14:40～

オンライン開催

一般講演 3件

参加人数 51名

第633回

2022年10月18日（火）14:40～

オンライン開催

一般講演 4件

参加人数 61名

第634回

2022年11月15日（火）14:40～

東北大学 電子情報システム・応物系 復興記念教育研究未来館 復興記念ホールおよびオンライン（ハイブリッド開催）

特別講演 1件

「放送技術者の視点からメディアを考える～より良いメディア環境の構築に向けて～」

芝田 正（東北放送株式会社 技術局次長兼技術管理部長）

一般講演 4件

参加人数 72名

特別講演会

2022年12月16日（火）15:00～16:00

東北大学 電子情報システム・応物系 復興記念教育研究未来館 復興記念ホール

特別講演 1件

“Be Water My Friend - It may change the future mobile communication”

Kin-Fai (Kenneth) Tong (University College London)

参加人数 45名

第635回

2022年12月20日（火）14:40～

オンライン開催

一般講演 2件

参加人数 61名

第 636 回

2023 年 1 月 17 日 (火) 14:40～

オンライン開催

一般講演 4 件

参加人数 59 名

第 637 回

2023 年 2 月 21 日 (火) 14:40～

オンライン開催

一般講演 6 件

参加人数 63 名

採択番号：R04/T02

音響工学研究会

サブタイトル音響・音声・聴覚およびマルチモーダルシステムに関する基礎と応用に関する研究発表

[1] 研究組織

研究代表者：

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

主査

坂本 修一（東北大学電気通信研究所）

幹事

能勢 隆（東北大学大学院工学研究科）

研究分担者

伊藤 彰則（東北大学大学院工学研究科）

[2] 研究目的

音響・音声・画像・マルチモーダル分野における認知科学，信号処理，認識・理解，人工知能，自然言語処理に関する研究発表を通して，情報交流，意見交換を行う。

[3] 研究成果等

(1) 成果等

音響工学研究会は，1950年頃に発足した研究会で，2020年度末までに383回実施された歴史と伝統のある研究会である。また，2020年に実施された第380回音響工学研究会から，優秀な発表を行った若手発表者を顕彰する目的で優秀発表賞を選定するなど，若手育成にも力を入れている。

2022年度は研究会2回（第387回，第388回）が開催された。会場は第387回は東北大学電気通信研究所本館6階大会議室をメイン会場としたハイブリッド形式で，第388回はオンライン形式で実施した。なお，第387回は電子情報通信学会ヒューマン情報処理研究会，日本認知心理学会感性学研究部会，日本心理学会注意と認知研究会，東北大学電気通信研究所音響工学研究会，東北大学ヨッタインフォマティクス研究センターとの共催で開催された。第387回は2022年12月22日（木）および23日（金）に開催され，招待講演2件を含む研究発表17件，参加者は2日間で延べ96名であった。第388回は2023年2月27日（月）に開催され，研究発表8件，参加者は32名であった。また，第388回で発表した2名の発表者に優秀発表賞を授与した。

(2) 開催した研究会

<第387回研究会 プログラム>

12月22日（木）

387-1 13:00 - 13:30

不気味なスマイル～笑顔がプリントされたマスクがもたらす印象低下～

○立花太希・尾崎 翼・橋本 芳・佐々木恭志郎（関西大）

387-2 13:30 - 14:00

食品画像の背景色が食品ジェンダーステレオタイプに与える影響

○櫻井美穂（立命館大）・木村 敦（日大）・和田有史（立命館大）

387-3 14:00 - 14:30

美術作品の自由鑑賞時の視線計測データに対する特徴マッチングを用いた簡便な解析ツールの開発

○楊 詩韻・川畑秀明（慶大）

387-4 14:45 - 15:15

意識的な記憶検索が洞察問題解決を阻害するか

○西田勇樹・服部雅史（立命館大）

387-5 15:15 - 15:45

アファンタジアの出現率とイメージ特性に関する調査

○高橋純一（福島大）・齋藤五大（東北大）・大村一史（山形大）・安永大地（金沢大）・杉村伸一郎（広島大）・坂本修一（東北大）・堀川友慈（NTT）・行場次朗（尚絅学院大）

387-6 15:45 - 16:15

猫・蜘蛛に対する好みの判断に処理流暢性が与える影響

○周 一禎・川畑秀明（慶大）

387-7 16:30 - 17:30

[招待講演] 運動感覚統合と自己超越～認知神経科学的が繋ぐ災害研究と生涯学～

○杉浦元亮（東北大）

12月23日（金）午前（09:30～16:45）

387-8 09:30 - 10:00

コンピュータゲームでの課金・ガチャ経験と心理特性の関連性の探索的検討

○鈴木勇輝・杉本海里・渡邊克巳（早大）

387-9 10:00 - 10:30

視聴覚間の協応における言語環境の影響～日本語母語話者と中国語母語話者の比較～

○山本健太郎・張 雅梅 (九大)
 387-10 10:30 - 11:00
 短期間での顔の変化とセンシング ～ 満腹時と空腹時の顔の識別 ～
 ○前川真緒・蒲池みゆき (工学院大)
 387-11 11:15 - 12:15
 [招待講演] Religion and violence: formation of a fanatic mindset
 ○Raevskiy Alexander (TU)
 387-12 13:30 - 14:00
 声と内容の感情表出が不一致な刺激における感情認知 ～ 優位なモダリティはどちらか ～
 ○菊谷まり子 (金沢大)・池本真知子 (同志社大)
 387-13 14:00 - 14:30
 Estimate students' concentration level by using facial expression
 ○Guan-yun Wang・Hikaru Nagata・Yasuhiro Hatori・Yoshiyuki Sato・Chia-huei Tseng・Satoshi Shioiri (Tohoku Univ.)
 387-14 14:30 - 15:00
 運動-視覚遅延課題遂行中のヒト心理行動パフォーマンスの市販 VR ヘッドマウントディスプレイを用いた計測可能性の検討
 ウンダリ バユ ゴータマ (NICT)・フィンウー (華東師範大)・○番 浩志 (NICT)
 387-15 15:15 - 15:45
 アニマシーを喚起するドット型ヘビ様刺激のパラメータに関する検討
 ○喜田悠功・高橋康介 (立命館大)・氏家悠太 (立教大)
 387-16 15:45 - 16:15
 二者での知覚的意思決定における反応バイアス
 ○河内 建・河地庸介 (東北大)
 387-17 16:15 - 16:45
 Enhancement and Inhibition in Size of Visual Attention with Steady State Visual Evoked Potential
 ○陳 広宇・塩入 諭 (東北大)

<第 388 回研究会>

388-1 13:00 - 13:25
 大規模事前学習モデルを利用したマルチモーダル感情認識に関する研究
 ○駒形晃大・伊藤彰則・能勢隆 (東北大)
 388-2 13:25 - 13:50
 競合音存在下での標的音の出現・消失方向が変化検出精度に与える影響
 ○久保捺姫・坂本修一 (東北大)・Maria Chait (UCL)
 388-3 13:50 - 14:15
 深層学習に基づくブラウザベースリアルタイム歌声合成システムの研究開発
 ○金泰誠・能勢隆・今井柊平・高谷恒輝・伊藤彰則 (東北大)

388-4 14:15 - 14:40
 オンライン講義における生体情報に基づく集中度推定に関する研究
 ○遠藤雄飛・伊藤彰則・能勢隆 (東北大)
 388-5 14:40 - 15:05
 距離変換フィルタに基づく近距離頭部伝達関数合成法のバイノーラル情報を用いた精度検証
 ○北村航太・坂本修一 (東北大)
 388-6 15:05 - 15:30
 対話における非発話時の口唇の動きに関する研究
 ○川西翔貴・伊藤彰則 (東北大)・千葉祐弥 (NTT CS 研)・能勢隆 (東北大)
 388-7 15:30 - 15:55
 分散球状アレイを用いた三次元聴覚ディスプレイ ADVISE によるバイノーラル音場再現に向けた検討
 ○新井航平・坂本修一 (東北大)
 388-8 15:55 - 16:20
 対話時における話者の動作に関する研究
 ○伊藤遥稀・伊藤彰則・能勢隆 (東北大)

また、388-2、388-3 の 2 件の発表に、優秀発表賞を授与した。

◆ 論文や学会発表等成果資料

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

なし

採択番号：R04/T03

東北プラズマフォーラム 非平衡プラズマ現象の基礎と応用

[1] 研究組織

研究代表者：

金子俊郎（東北大学・大学院工学研究科）

通研対応教員

平野愛弓（東北大学・電気通信研究所）

主査

金子俊郎（東北大学・大学院工学研究科）

幹事

安藤晃（東北大学・大学院工学研究科）

研究分担者

加藤俊顕（東北大学・大学院工学研究科）

高島圭介（東北大学・大学院工学研究科）

佐々木渉太（東北大学・大学院工学研究科）

何杏（東北大学・大学院工学研究科）

高橋和貴（東北大学・大学院工学研究科）

岡田健（東北大学・大学院工学研究科）

茂田正哉（東北大学・大学院工学研究科）

大西直文（東北大学・大学院工学研究科）

佐藤岳彦（東北大学・流体科学研究所）

高奈秀匡（東北大学・流体科学研究所）

穂坂紀子（東北大学・大学院工学研究科）

本田竜介（東北大学・大学院工学研究科）

國嶋友貴（東北大学・大学院工学研究科）

武田一希（東北大学・大学院工学研究科）

岩本拓仁（東北大学・大学院工学研究科）

岩本祐汰（東北大学・大学院工学研究科）

藤田立樹（東北大学・大学院工学研究科）

室橋天兵（東北大学・大学院工学研究科）

青木颯馬（東北大学・大学院工学研究科）

及川和起（東北大学・大学院工学研究科）

武士将熙（東北大学・大学院工学研究科）

加藤樹（東北大学・大学院工学研究科）

石橋洸陽（東北大学・大学院工学研究科）

金谷康平（東北大学・大学院工学研究科）

川野翔平（東北大学・大学院工学研究科）

高島正行（東北大学・大学院工学研究科）

村富孝輔（東北大学・大学院工学研究科）

[2] 研究目的

本研究会は、低温プラズマから高温核融合プラズマといった広範なパラメータ領域にわたるプラズマ現象の基礎と新規物質創製や材料表面の改質、プラズマ医療、バイオ応用、電気推進機、プラズマアクチュエータ、核融合加熱ビーム源など多方面の基礎・応用に関連する最新の

研究成果に関して、特別講演及び特別企画を開催するとともに、活発な研究討論と研究発表を行うことを目的としている。

[3] 研究成果等

(1) 成果等

令和4年度は、大学院生によるプラズマ加熱装置、プラズマ推進機、プラズマナノ材料合成、プラズマ気液界面、プラズマ生物応用に関する最新の研究発表会を2回開催した。また、学部学生による最新の研究紹介を3回開催した。

さらに、国内、国外研究者による気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成およびプラズマ精密制御による量子デバイス材料合成に関する研究会を2回開催した。

他分野との融合や新展開を見せるプラズマの応用技術とそれを支える基礎研究に関し、最新の研究成果を持ち寄り討論することで情報交換を行い、共同研究展開も含めて有用な知見を得た。

以上の研究会参加者は、学内外合わせて常時50名前後であった。

(2) 開催した研究会

東北プラズマフォーラム

日時：2022年5月24日 15:00～15:35

会場：東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟 306 講義室

プログラム：

・明 帥辰（電子工学専攻）

「生体分子・生体試料に対するプラズマ作用の解明」

東北プラズマフォーラム

日時：2022年5月30日 15:00～16:30

2022年6月10日 15:00～16:30

2022年6月13日 15:00～16:30

場所：東北大学大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟 306 講義室

プログラム：

菊池 航大（電気情報物理工学科，安藤・高橋研）

石橋 洸陽（電気情報物理工学科，金子・加藤研）

金谷 康平（電気情報物理工学科，金子・加藤研）

川野 翔平（電気情報物理工学科，金子・加藤研）

寺西 夢（電気情報物理工学科，安藤・高橋研）

中濱 友吾（電気情報物理工学科，安藤・高橋研）

町田 昂平 (電気情報物理工学科, 安藤・高橋研)
高島 正行 (電気情報物理工学科, 金子・加藤研)
村富 孝輔 (電気情報物理工学科, 金子・加藤研)

東北プラズマフォーラム

日時: 2022年10月27日 9:30 ~ 17:15

会場: 東北大学 大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟 306 講義室

プログラム:

- ・尾形眞美 (電気エネルギーシステム専攻)
「誘電体表面での沿面放電における残留電荷の時空間変化計測」
- ・岩本 拓仁 (電子工学専攻)
「植物免疫制御に向けたプラズマ合成五酸化二窒素に対する植物早期応答解明」
- ・柴代 大志 (電気エネルギーシステム専攻)
「高周波イオン源を用いた水素負イオンビームの高電流密度化」
- ・岩本 祐汰 (電子工学専攻)
「プラズマ活用その場観測 CVD による機能化二次元シート材料の高品質合成」
- ・佐藤 旭 (電気エネルギーシステム専攻)
「次世代 NBI 用多段型高周波ビーム加速手法の検討」
- ・藤田 立樹 (電子工学専攻)
「窒素固定のための液面非熱プラズマ生成」
- ・佃 耕介 (電気エネルギーシステム専攻)
「磁気ノズル中を膨張する非マクスウェル分布電子の熱力学特性」
- ・室橋 天兵 (電子工学専攻)
「多元系触媒プラズマ CVD によるカーボンナノチューブの超高純度カイラリティ選択合成」
- ・Nakul Thanatith (電気エネルギーシステム専攻)
「Development of Radiofrequency Plasma Source toward a Large-Diameter and High-Power Helicon Plasma Thruster (大口径大電力ヘリコンスラスタに向けた高周波プラズマ源開発)」

東北プラズマフォーラム

日時: 2023年2月20 ~ 21日

場所: 東北大学大学院工学研究科 電子情報システム・応物系 教育研究実験棟 306 講義室

(オンライン会議 zoom とのハイブリッド開催)

プログラム:

- ・奥村 賢直¹, 古閑 一憲^{1,2}, 白谷 正治¹ (¹九州大学 システム情報科学研究科, ²自然科学研究機構)
「種子へのプラズマ照射量定量解析」
- ・原 宏和 (岐阜薬科大学 薬学部)
「プラズマ照射溶液の抗がん作用の分子機構」
- ・神崎 展 (東北大学 医工学研究科)
「肥満・2型糖尿病に対する プラズマ医療の可能性」

- ・白井 直機 (北海道大学 大学院工学研究院)
「プラズマ液体相互作用で生じる界面現象の計測技術」
- ・宗岡 均 (東京大学 大学院新領域創成科学研究科)
「溶鉄上のアークプラズマの発光分光測定」
- ・武田 一希, 佐々木 渉太, 高島 圭介, 金子 俊郎 (東北大学 大学院工学研究科)
「プラズマ-高速水流システムを用いた液相短寿命活性種の実験的検出」
- ・杉本 真 (東北大学 大学院工学研究科)
「格子ボルツマン法による複雑構造周りの気液二相流数値シミュレーション」
- ・中西 勇介 (東京都立大学 大学院理学研究科)
「ナノ試験管を活用した物質探索」
- ・中野 匡規 (東京大学 大学院工学系研究科)
「強相関ファンデルワールス超構造の創発量子物性」
- ・宮内 雄平 (京都大学 エネルギー理工学研究所)
「一次元及び二次元ナノ物質の分光研究」
- ・岩本祐汰, 金子俊郎, 加藤俊顕 (東北大学 大学院工学研究科)
「その場観測 CVD による単層 WS₂ 中欠陥導入機構の解明」

◆ 論文や学会発表等成果資料

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

・なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

・なし

採択番号：R04/T04

コンピュータサイエンス研究会 理論計算機科学を中心とする情報科学の基礎と応用

[1] 研究組織

研究代表者

住井 英二郎（東北大学 大学院情報科学研究科）

通研対応教員

中野 圭介（東北大学 電気通信研究所）

主査

住井 英二郎（東北大学 大学院情報科学研究科）

幹事

松田 一孝（東北大学 大学院情報科学研究科）

研究分担者

篠原 歩（東北大学 大学院情報科学研究科）

Oleg Kiselyov（東北大学 大学院情報科学研究科）

[2] 研究目的

コンピュータサイエンスにおける最新の話題について講演会を開催し、電気・情報系、通研、学外の研究者、学生間の交流を図る。

[3] 研究成果等

(1) 成果等

コンピュータサイエンス研究会は、国内外で活躍する研究者を講師に招き、コンピュータサイエンスにおける最新の研究成果、話題について講演会を開催し、通研および電気・情報系に所属する研究室間の学問の交流を図ることを目的としている。今年度は下のとおり計 2 回の講演会を開催した。本研究会は、このように第一線で活躍する研究者による最新の研究成果の講演をもとに、活発な討論と意見交換がなされ、有意義な学問交流の場を提供した。

(2) 開催した研究会

1) 第 182 回コンピュータサイエンス研究会

日時：2022 年 7 月 21 日（木）14:00～15:00

場所：オンライン

講演者：海野 広志 氏（筑波大学）

題目：「演繹的推論と帰納的推論の融合に基づく形式手法」

2) 第 183 回コンピュータサイエンス研究会

日時：2022 年 9 月 12 日（月）15:00～17:00

場所：オンライン

講演者：末永 幸平 氏（京都大学）

題目：「多義化するソフトウェアのための形式検証手法」

発表者：松田 一孝（東北大学）

題目：双方向変換記述のための記述性および利便性の高いプログラミング言語

採択番号：R04/T05

システム制御研究会 システム制御理論と応用に関する研究発表

[1] 研究組織

研究代表者：

渡邊 高志（東北大学 大学院医工学研究科）
通研対応教員

石黒 章夫（東北大学 電気通信研究所）

主査

渡邊 高志（東北大学 大学院医工学研究科）

幹事

杉田 典大（東北大学 サイバーサイエンス
センター）

研究分担者

本間 経康（東北大学 大学院医学系研究科）

酒井 正夫（東北大学 データ駆動科学・AI
教育研究センター）

加納 剛史（東北大学 電気通信研究所）

市地 慶（東北大学 大学院医学系研究科）

湯田 恵美（東北大学 データ駆動科学・AI
教育研究センター）

福原 洸（東北大学 電気通信研究所）

安井 浩太郎（東北大学 電気通信研究所）

[2] 研究目的

システム制御工学に関する理論から応用にあたる最新の研究動向について情報共有を進めると共に、参加者の研究の成果について討議を行い、当該分野における研究交流を推進する。

[3] 研究成果等

(1) 成果等

①運動機能麻痺者の日常生活動作を機能的電気刺激（FES）により補助する方法として、フィードバック誤差学習型 FES（FEL-FES）制御器について、実用的な適用方法の構築を行った。事前準備における使用者の負担を軽減するため、筋骨格モデルを利用して FEL-FES 制御器の学習を行う方法に着目し、筋骨格モデルの簡略化と、筋骨格モデルのパラメータ調整法の簡略化について検討した。最初にモデルシミュレーションを行い、簡易的な筋骨格モデルでも学習により制御誤差が減少し学習可能であること、学習した FEL-FES 制御器が未学習の運動軌道を小さな誤差で追従制御可能であることを確認した。次に、簡略化モデルに対して簡略化したモデルパラメータ調整法を適用し、それを用いて学習させた FEL-FES 制御器について、健常者を対象と

した肘関節 1 自由度運動の制御試験を通して検証した結果、閉ループ制御で生じる時間遅れの改善に有効であることを確認した。

②運動麻痺者の関節運動の機能的電気刺激（FES）制御において、電気刺激に対する筋骨格系の非線形特性に対応する方法として、線形モデル予測制御（MPC）と非線形変換を組み合わせた FES 制御器の検討を行った。非線形変換法として 4 種類の非線形関数を比較検討し、また、非線形変換関数のパラメータ推定法の開発を行った。提案した制御器とパラメータ推定法を、手関節 1 自由度運動の追従制御の計算機シミュレーションにより検証した。計算機シミュレーションでは、健常者モデルと運動麻痺者モデルを作成して制御対象として実施し、提案した MPC-FES 制御器が、推定したパラメータを用いた場合にも適切に動作すること、ファジィ FES 制御器よりも優れた制御能力を有していることを確認した。

③運動麻痺者のリハビリテーションとして、障害者スポーツを組み合わせる方法に着目し、機能的電気刺激（FES）を利用してスポーツ参加に向けた動作補助の実現可能性を検討した。座位でのアンダーハンド投球動作を対象として、まず、前腕と上腕に装着した慣性センサで上肢の運動を計測し、肩関節と肘関節に関わる筋を電気刺激するシステムを構築した。次に、随意的なアンダーハンド投球動作を、ワインドアップなしとワインドアップありの 2 種類で実施し、ボールの飛距離、筋活動、上肢の動きを比較した。その結果をもとに、FES による投球動作をワインドアップ有りと無しの 2 通りで制御する方法を構築し、上肢の運動速度と上腕と前腕の角度により比較した。肩関節と肘関節の伸筋群の FES 制御により上肢の関節可動域が拡大し、ワインドアップ動作を実現可能であること、投球動作の速度に改善がみられることを示す結果を得た。次の段階として、伸筋と屈筋の協調動作、上腕と前腕の協調動作の制御方式の開発が重要であることが推察された。

④片麻痺者を対象に、下腿部に装着した慣性センサを用いて、ストライド長と歩行速度を推定するシステムの構築を行った。ストライド長推

定では立脚中期の検出が必要であるが、単純な角速度の極小値検出を利用する方法では、健常者歩行では十分に高い推定精度を得られるが、運動麻痺者では立脚期の不安定性による推定精度の低下が生じることを確認した。これに対し、足底接地期の検出精度を改善する方法と、立脚期の不安定性の対策法について、健常者歩行と片麻痺模擬歩行の両方で検証を行った。足部に装着したセンサを用いて推定する方法と比較した結果、健常歩行では差が無かったが、片麻痺模擬歩行において、実用的推定精度が安定して得られる可能性があることを確認した。

⑤片麻痺者の歩行リハビリテーションにおいて、個人に適した訓練プログラムを作成する上で、患者の歩行の特徴、ならびに、異常歩行の性質を分類することが有効になることから、慣性センサ信号をもとに、長・短期記憶 (LSTM) モデルを用いた歩行パターンのクラスタリングについて実現可能性を検討した。分類する歩行パターンは、健常歩行、分回し歩行、鶏歩の3種類とし、麻痺側(右側)足部に装着した慣性センサで運動を計測した。片麻痺歩行である分回し歩行、鶏歩は、健常者による模擬歩行で計測した。クラスタリング法で分類する際に、歩行中の慣性センサ信号(3軸の加速度と角速度)を予測するモデルを利用し、その予測誤差を入力に用いた。学習データセット、予測誤差の次元数、クラスタリング方法を変更することで計8種類の分類モデルを作成して比較した結果、8種類のうち3種類のモデルで90%以上の分類精度が得られた。分類結果では、健常者歩行と片麻痺模擬歩行(分回し歩行、鶏歩)を誤分類することはほとんどなく、誤分類のほとんどが分回し歩行と鶏歩との間で生じる結果であることが確認された。

⑥バーチャルリアリティ(VR)の体験で生じる“VR酔い”の原因とされる視覚と前庭感覚の不一致を解消するシステムとして、頭部のみを傾斜させる簡易的な前庭感覚提示装置の開発を行った。このシステムを用いて、回転運動に伴う遠心力を再現した際のVR酔いの誘発について調べた結果、映像のみの時よりも提案装置を利用した時の方が酔いの症状が軽減し、さらに症状が現れるまでの時間が有意に遅れることが示された。

⑦医療・健康に関するサイバーフィジカルシステムの実現に資する技術として、顔の映像から血中酸素飽和度(SpO₂)を非接触かつ安定的に測定するための手法を提案した。特に、波長によ

って皮下における光の透過深度が異なることを利用し、従来よりも精度の高いSpO₂推定を行える可能性を示した。

(2) 開催した研究会

① 第110回システム制御研究会

令和4年9月21日(水) 15:00~16:20

- A Basic study on Feedback Error Learning Functional Electrical Stimulation (FEL-FES) System for Daily Use: A Proof of Concept of a Method Using Musculoskeletal Model
- A Wearable Functional Electrical Stimulation (FES) System for Elbow and Shoulder Joint Movements Restoration with Trajectory Based Fuzzy Control Method
- A Validation Test of MPC-FES Controller Capability in Controlling Wrist Joint Movement of Paralyzed Patient Through Computer Simulation
- Design of Multi-Sensor Gloves System for Assistive Interpreter of Indonesia Sign Language for Hearing and Speech Impaired Person

② 第111回システム制御研究会

令和4年10月19日(水) 15:00~16:20

- Development of Embedded Computer Vision Method to Extract Percentage of Eye Close (Perclos) for a Safety Driving System
- A Feasibility Study on FES Control of Underhand Throwing Motion in Seated Position: Analysis of EMG and Throwing Motion, and Stimulation Test
- A Detection System for Center of Pressure Change and Lower Extremity Kinematics During Pregnancy for Welfare Design Recommendation of Pregnant Women
- A Basic Study on Gait Pattern Classification Using LSTM Based on Inertial Sensor Signals

③ International Symposium on Human Welfare Engineering for Smart-Aging

(112回システム制御研究会)

令和4年12月8日(木) 13:30~16:30

- Learning entropy: machine learning based information concept for anomaly detection
- Time series transition of the human heart rate variability using ALLSTAR database
- Video based beat-by-beat blood pressure monitoring
- How intra-source imbalance affects deep learning performance for COVID-19 diagnosis using chest X-ray images
- Pre-clinical evaluation approach of a bare metal aortic stent for interventional dissection treatment

◆ 論文や学会発表等成果資料

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)

- ・ T. Watanabe and T. Watanabe, “Center of mass position estimation during walking based on inertial measurement unit: determination of input data and its preprocessing for mapping using artificial neural network,” The IUPESM World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2022.
- ・ K. Katayama and T. Watanabe, “A Study on Gait Change Detection from Reference Gait Using Prediction Error of IMU Signals: Comparison of Prediction Models,” The IUPESM World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2022.
- ・ F. Arrofiqui, T. Watanabe, and A. Arifin, “Development of Parameter Estimation Method for Nonlinear Transformation Used with Linear Model Predictive Control for FES: Computer Simulation Test in Wrist Joint Control,” The IUPESM World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering 2022.
- ・ 片山, 渡邊, “基準歩行に対する慣性センサ信号の予測誤差に基づく歩容変化分類のための基礎検討”, 第 61 回日本生体医工学会大会, 2022.
- ・ 佐々木, 杉田, 八巻, 池宮, 寺井, 吉澤, “顔映像を用いた非接触式血中酸素飽和度測定法”, 第 61 回日本生体医工学会, 2022.
- ・ T. Shinohara, K. Ichiji, J. Wang, N. Homma, X. Zhang, N. Sugita, M. Yoshizawa, “Improved Tumor Image Estimation in X-Ray Fluoroscopic Images by Augmenting 4DCT Data for Radiotherapy,” Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.26, No.4, pp.471-482, 2022.
- ・ 寺井, 杉田, 佐々木, 吉澤, “映像脈波を利用した生体認証に関する基礎的研究”, 第 30 回インテリジェントシステムシンポジウム 2022, 2022.
- ・ 篠原, 市地, 張, 杉田, 本間, “肺がん放射線治療のための粒子フィルタを用いた X 線動画像からの体内臓器運動の推定”, 第 30 回インテリジェントシステムシンポジウム 2022, 2022.
- ・ 水野, 張, 本間, 市地, 杉田, “深層学習を用いた PET 画像によるアルツハイマー病分類における注目領域の可視化・解析”, 第 30 回インテリジェントシステムシンポジウム 2022, 2022.
- ・ 福島, 杉田, 吉澤, “頭部傾斜型前庭感覚提示システムによる感覚特性に関する研究”, 第 56 回日本生体医工学会東北支部大会, 2022.
- ・ 片山, 渡邊, “単一慣性センサを用いた基準歩行に対する予測誤差に基づく歩容変化検出の検討”, 第 43 回バイオメカニズム学術講演会, 2022.
- ・ 樋口, 渡邊, “慣性センサを用いた深層学習による歩行事象検出法の片麻痺者歩行に対する適用可能性の検討”, 第 43 回バイオメカニズム学術講演会, 2022.
- ・ 近藤, 渡邊, “機能的電気刺激 (FES) による座位での下手投げ動作の制御に関する基礎的検討”, 第 43 回バイオメカニズム学術講演会, 2022.
- ・ 梅原, 杉田, 市地, 本間, “Bluetooth 電波を用いた端末装着不要な屋内位置推定”, 2023 年電子情報通信学会総合大会, 2023.
- ・ F. Arrofiqui, T. Watanabe, and A. Arifin, “A Computer Simulation Study on Movement Control by Functional Electrical Stimulation Using Optimal Control Technique with Simplified Parameter Estimation,” IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E106-D, No.5, 2023. (in press)

採択番号：R04/T06

情報バイオトロニクス研究会 バイオ・ナノエレクトロニクスに基づく 次世代バイオデバイスの創製

[1] 研究組織

研究代表者：

平野 愛弓（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員

平野 愛弓（東北大学 電気通信研究所）

主査

平野 愛弓（東北大学 電気通信研究所）

幹事

宮本 浩一郎（東北大学 工学研究科）

研究分担者

吉信 達夫（東北大学 工学研究科）

山本 英明（東北大学 電気通信研究所）

但木 大介（東北大学 電気通信研究所）

小宮 麻希（東北大学 電気通信研究所）

馬 騰（東北大学 材料科学高等研究所）

平本 薫（東北大学 学際科学フロンティア研究所）

住 拓磨（東北大学 工学研究科）

佐藤 まどか（東北大学大学院 医工学研究科）

佐藤 有弥（東北大学大学院 医工学研究科）

[2] 研究目的

高機能・高次生体計測技術などの開発研究を通して、情報処理分野における、バイオエレクトロニクス関連の先導的研究を創生・推進する。

[3] 研究成果等

(1) 成果等

電子工学技術と多種多様な機能を有する生命科学反応系とを融合したナノ・バイオエレクトロニクス分野は、異分野融合による科学技術のさらなる発展において今後ますます重要と考えられている分野の一つである。しかし、半導体素子と生体分子とのインターフェイスの設計においては、生体分子の配向制御や活性の保持等における困難さなど、解決すべき課題が数多く存在する。本研究会では、電子工学や半導体工学のみならず、表面科学、生理学、数理工学など幅広い分野に携わる研究者達が協力して、ナ

ノ・バイオエレクトロニクスの今後の戦略目標を討論してきた。本年度は、以下に示す通り、2件の通研国際シンポジウムを開催した。これらのシンポジウムでは、関連分野の著名な研究者を海外・国内から招聘しただけでなく、学内の研究者による発表も行われ、最先端の知見を共有し議論する機会が多数提供された。さらに、博士課程学生等の学内学生が積極的に議論に加わる機会も提供されたことから、本研究会は、若手研究者の育成にも貢献できたと考えられる。

(2) 開催した研究会

・ The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer
令和5年2月17-18日開催，参加人数：延べ104名（うち外国人8名），脳機能や脳型計算機に関する最近の成果・動向について，幅広い分野に跨る研究発表と議論が行われた。
T. Netoff (Univ. Minnesota, U.S.A.), J. Madrenas (Polytechn. Univ. Catalonia, Spain), J. Soriano (Univ. Barcelona, Spain), B.J. Kagan (Cortical Labs, Australia), P. Herman (KTH Royal Inst. Technol., Sweden), N.A. Aadit (UC Santa Barbara, U.S.A.) 他

・ The 13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics
令和5年3月7-8日開催，参加人数：延べ65名（うち外国人19名），ナノ・バイオテクノロジーに関する最近の成果・動向について，幅広い分野に跨る研究発表と議論が行われた。
P. Schmuki (Univ. Erlangen-Nuremberg, Germany), J.B. Edel (Imperial College London, U.K.), F. Li (Xi'an Jiaotong Univ., China), Y. Ying (Nanjing Univ., China), A. Mazare (Univ. Erlangen-Nuremberg, Germany) 他

採択番号：R04/T07

スピニクス研究会 磁性材料の開発と磁気応用

[1] 研究組織

研究代表者：

藪上 信（東北大学 大学院医工学研究科）
通研対応教員

石山 和志（東北大学 電気通信研究所）
主査

藪上 信（東北大学 大学院医工学研究科）
幹事

小川 智之（東北大学 大学院工学研究科）
羽根 吉紀（東北大学 大学院工学研究科）

研究分担者

中村 健二（東北大学 大学院工学研究科）
サイモン グリーブス

（東北大学 電気通信研究所）

遠藤 恭（東北大学 大学院工学研究科）

田中 陽一郎（東北大学 電気通信研究所）

島津 武仁

（東北大学 学際科学フロンティア研究所）

齊藤 伸（東北大学 大学院工学研究科）

角田 匡清（東北大学 大学院工学研究科）

桑波田 晃弘（東北大学 大学院工学研究科）

ロイ トンタット

（東北大学 大学院工学研究科）

村上 泰斗（東北大学 大学院工学研究科）

[2] 研究目的

磁気現象の起源である電子スピンを意識した学問分野（スピニクス）に携わる研究者間の情報交換と、最新のスピニクスに関連する研究動向や萌芽的研究に関する討論を行い、微細磁気物性に基づくさらなる磁気工学の発展を創成するためである。

[3] 研究成果等

(1) 開催した研究会

第 206 回スピニクス研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section）

日時：令和4年5月18日（水）13:30～16:20

場所：オンライン, 発表件数：3件

参加人数：30名

講演：

22-1-1 Barrier layer for Cu interconnects

application, ヌエン マイ フォン
（東北大学）

22-1-2 スピン依存トンネル伝導による磁性-誘電ナノグラニュー膜の複機能性, 青木 英恵（東北大学）

22-1-3 磁性ガーネットを用いたスピン波ロジックデバイスとスピン制御レーザー, 後藤 太一（東北大学）

第 207 回スピニクス研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section）

日時：令和4年8月26日（金）13:30～16:20

場所：オンライン, 発表件数：3件

参加人数：31名

講演：

22-2-1 鉄基アモルファス合金と珪素鋼板からなる大容量ハイブリッド鉄心変圧器に関する研究, 小林 千絵（日立製作所）

22-2-2 モータの鉄損予測技術と磁性材料特性, 吉岡 卓哉（デンソー）

22-2-3 高占積率コイルを搭載したアスター電動機の諸特性, 後藤 良, 古屋 勇太（アスター）

第 208 回スピニクス研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section, 電気学会）

日時：令和4年10月24日（月）14:00～17:00

場所：東北大学工学研究科電気系、および、オンライン, 発表件数：3件

参加人数：23名

講演：

22-3-1 磁気回路を利用した電磁ノイズ抑制体の機構解析と設計, 室賀 翔（秋田大学）

22-3-2 Fe系メタルコンポジット磁性材料とその応用, 佐藤 敏郎, 曾根原 誠（信州大学）

22-3-3 メタル材料を使用した小型パワーインダクタの開発動向, 長野 将典（太陽誘電）

第 209 回スピニクス特別研究会（共催：IEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Section）

日時：令和4年11月15日（火），16日（水）
 場所：東北大学工学研究科電気系、および、オンライン、発表件数：19件

参加人数：23名

プログラム

11月15日（火）

講演：

- 22-4-1 L1₀型FePt基グラニューラ薄膜における磁性結晶粒への軽元素の固溶，[○]岩動大樹¹，田中元人¹，齊藤節¹，タムキムコング²，小川智之¹，齊藤伸¹（¹東北大，²田中貴金属工業）
- 22-4-2 イットリウムアルミニウムガーネット基板上(111)高配向セリウム置換イットリウム鉄ガーネット膜の作製，[○]吉原優紀^{1,2}，リムパンボイ²，井上光輝¹，石山和志¹，後藤太一¹（¹東北大，²豊橋技術科学大）
- 22-4-3 真空中レーザーアニールを用いた多結晶セリウム置換イットリウム鉄ガーネット膜の作製，[○]宮下響^{1,2}，吉原優紀^{1,2}，リムパンボイ²，井上光輝¹，石山和志¹，後藤太一¹（¹東北大，²豊橋技術科学大）
- 22-4-4 イットリウム鉄ガーネットと非磁性金属を用いた二次元マグノニック結晶の作製，[○]森冠太^{1,2}，渡邊聡明³，井上光輝¹，石山和志¹，後藤太一¹（¹東北大 電気通信研究所，²東北大 工学研究科，³信越化学工業）
- 22-4-5 マイクロマグネティックシミュレーションを用いた磁性ガーネットの磁気ドメイン計算，[○]高口拓己^{1,2}，リムパンボイ²，石山和志¹，井上光輝¹，後藤太一¹（¹東北大，²豊橋技術科学大）
- 22-4-6 Spin-orbit torque measurement of RuO₂/Co-Fe-B bilayer, [○] T. V. A. Nguyen,^{1,2} S. DuttaGupta,^{1,3,7} Y. Saito,² S. Fukami,¹⁻⁵ D. Vu,⁶ H. Naganuma,^{1,2} S. Ikeda,^{1,2} T. Endoh^{1,4}, Y. Endo^{1,4}（¹CSIS, ²CIES, ³RIEC, ⁴Grad. School of Eng., ⁵WPI-AIMR Tohoku Univ., ⁶IOP, VAST, Vietnam, ⁷Saha Institute of Nuclear Physics, India）
- 22-4-7 超高速磁気ギヤの実証実験，[○]朝雛えみり¹，三ツ谷和秀¹，中村健二¹，立谷雄一²，鈴木雄真²，操谷欽吾²（¹東北大，²プロスパイン）
- 22-4-8 フラックスリバーサルモータの磁石渦電流損低減に関する検討，[○]于越，中村健二（東北大）
- 22-4-9 集中巻埋込磁石モータのリラクタンストルク増大に関する基礎検討，[○]

尾花輝哉¹，中村健二¹，齊藤徹²，栗津稔²（¹東北大，²東芝）

- 22-4-10 【特別講演】スイッチトリラクタンスマータの高効率および力率化に関する研究，[○]中沢吉博（秋田工業高等専門学校）

11月16日（水）

- 22-4-11 深部局所領域に感度を持つMRI受信コイル形状の最適化，[○]高橋雅治¹，伏見幹史²，藪上信¹，関野正樹²，桑波田晃弘¹（¹東北大，²東京大）
- 22-4-12 医療用磁性ナノ粒子 Resovist の強磁性共鳴加熱，Weronika Szawro，鏡味隆行，藪上信，[○]桑波田晃弘（東北大）
- 22-4-13 【特別講演】生命科学における光・磁気・温度制御技術の応用，[○]稲田仁（東北大大学院医工学研究科／大学院医学系研究科）
- 22-4-14 複合配向化させた軟磁性微粒子コンポジット材の静的・動的磁気特性，[○]若林和志，村田啓太，宮崎孝道，増本博，遠藤恭（東北大）
- 22-4-15 電解鉄粉における磁気特性の形状依存性，[○]児玉雄大，グエンフォン，宮崎孝道，遠藤恭（東北大）
- 22-4-16 極薄圧延した高純度Fe薄帯における構造と磁気特性の熱処理効果，[○]馬小童¹，梅津理恵¹，宮崎孝道¹，三上慎太郎²，平城智博²，遠藤恭¹（¹東北大，²東邦亜鉛）
- 22-4-17 (10・0)面を切り出した円盤状の六方晶Coバルク単結晶の面内磁化曲線の計測と一軸結晶磁気異方性の評価，[○]山田航太，小川智之，齊藤伸（東北大）
- 22-4-18 局所異方性測定による歪センサの動作解析，[○]豊田恵伍^{1,2}，後藤太一²，石山和志²（¹東北大 工学研究科，²東北大 電気通信研究所）
- 22-4-19 電子機器の実回路に適応可能な高周波近傍磁界測定手法の提案，[○]荻田健徳^{1,2}，石田竜太^{1,2}，後藤太一²，石山和志²（¹東北大 工学研究科，²東北大 電気通信研究所）

採択番号：R04/T08

ニューパラダイムコンピューティング研究会 次世代 IoT 社会を担う新概念コンピューティング技術の開拓

[1] 研究組織

研究代表者：

張山 昌論（東北大学 情報科学研究科）
通研対応教員
夏井 雅典（東北大学 電気通信研究所）

[2] 研究目的

知能集積システムやコンピューティングに関する研究発表及び討論を通じた新分野の開拓および萌芽的研究の創出，ならびに関連研究に携わる学生の育成支援を目的とする。

[3] 研究成果等

(1) 成果等

本研究会では，従来の延長上にはない新しいパラダイムに基づくコンピューティングシステムに関する研究を推進することを目的として，企業および大学における研究者を招聘し，毎年数回の研究会・講演会を開催している．本年度は2回の研究会が開催され，次世代 IoT 社会の実現に向けた企業・大学における様々な取り組みが紹介されるとともに，学内の学生・研究者を含む多くの参加者による忌憚のない意見交換が行われた。

(2) 開催した研究会

名称：第 114 回ニューパラダイムコンピューティング研究会

日時：2022 年 10 月 22 日

会場：オンライン

講演者：岩月 和子 氏（株式会社日立製作所）
弓仲 康史 氏（群馬大学）

参加者：33 名

名称：第 115 回ニューパラダイムコンピューティング研究会

日時：2023 年 2 月 15 日

会場：オンライン

講演者：阪本 利司 氏（ナノブリッジ・セミコンダクター株式会社）

題目：高いエネルギー効率を備えた不揮発 FPGA

概要：IoT 端末での AI 処理には大きな計算能力が必要である．FPGA アクセラレータはニューラルネットワーク計算において高

い電力効率を発揮する．さらに，不揮発性は頻繁な間欠動作を可能とし，また，待機時の電力の削減に貢献する．回路構成情報はチップ内部に保持され，外部記憶素子を必要とする従来 FPGA と比較して実装面積が減らせるなどのメリットもある．本講演では，最近のトピックスについても述べる．

参加者：14 名

採択番号：R04/T09

超音波エレクトロニクス研究会 超音波の基礎と応用に関する研究発表

[1] 研究組織

研究代表者：

金井 浩（東北大学 大学院工学研究科）

通研対応教員

坂本 修一（東北大学 電気通信研究所）

主査

金井 浩（東北大学 大学院工学研究科）

幹事

荒川 元孝（東北大学 大学院医工学研究科）

研究分担者

西條 芳文（東北大学 大学院医工学研究科）

小玉 哲也（東北大学 大学院医工学研究科）

吉澤 晋（東北大学 大学院工学研究科）

森 翔平（東北大学 大学院工学研究科）

石井 琢郎（東北大学 学際科学フロンティア研究所）

菅野 尚哉（東北大学 大学院医工学研究科）

小原 優（東北大学 大学院医工学研究科）

佐藤 滉太（東北大学 大学院医工学研究科）

Anam Bhatti（東北大学 大学院医工学研究科）

第 107 回超音波エレクトロニクス研究会

日時：2023 年 1 月 19 日（木）15:00-17:00

場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 復興記念教育研究未来館 復興ホール／オンライン（ハイブリッド開催）

第 108 回超音波エレクトロニクス研究会

共催：日本超音波医学会東北地方会

日時：2023 年 3 月 5 日（日）8:55-17:15

場所：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 復興記念教育研究未来館 復興ホール／オンライン（ハイブリッド開催）

[2] 研究目的

医用超音波、超音波計測、音波物性、超音波デバイス、誘電体・圧電体の物性とその応用に関する研究発表会を通して、互いの研究成果を共有し、研究の進展に寄与する。

[3] 研究成果等

（1）成果等

第 106, 107, 108 回の研究会において、それぞれ 6 件、3 件、26 件の医用超音波、超音波デバイスに関する研究発表が行われた。互いの研究成果や発表後の質疑応答により、違いの知見を深めることができた。

（2）開催した研究会

第 106 回超音波エレクトロニクス研究会

共催：電子情報通信学会・日本音響学会 超音波研究会、レーザー学会 光音響イメージング技術専門委員会、日本超音波医学会 超音波分子診断治療研究会、日本音響学会、IEEE UFFC Society Japan Chapter

日時：2022 年 9 月 20 日（火）13:00-16:00

場所：オンライン

◆ 論文や学会発表等成果資料

(1) 論文や学会発表のリスト (謝辞あり)

なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト (謝辞を除く)
(出版物)

- Y. Obara, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, "Appropriate window function and window length in multifrequency velocity estimator for rapid motion and locality of layered myocardium," IEEE Trans. Ultrason., Ferroelectr., and Freq. Control, Vol. 69, pp. 1353-1369 (2022.4).
- N. Hermawan, T. Ishii, Y. Saijo, "Color Doppler shear wave elastography using commercial ultrasound machine with compensated transducer scanning delay," J. Med. Ultrason., Vol. 49, pp. 163-173 (2022.4).
- A. Sukhbaatar, S. Mori, T. Kodama, "Intranodal delivery of modified docetaxel: Innovative therapeutic method to inhibit tumor cell growth in lymph nodes," Cancer Sci., 113(4):1125-1139. (2022.4).
- R. Suzuki, R. Shintate, T. Ishii, Y. Saijo, "Comparative investigation of coherence factor weighting methods for an annular array photoacoustic microscope," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, SG1047 (9 pages) (2022. 5).
- E. Hayashi, N. Kanno, R. Shintate, T. Ishii, R. Nagaoka, Y. Saijo, "3D ultrasound imaging by synthetic transmit aperture beamforming using a spherically curved array transducer," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, SG1034 (10 pages) (2022. 5).
- R. Shintate, T. Ishii, J. Ahn, J.Y. Kim, C. Kim, Y. Saijo, "High-speed optical resolution photoacoustic microscopy with MEMS scanner using a novel and simple distortion correction method," Sci. Rep., Vol. 12, 9221 (19 pages) (2022.6).
- K. Higashiyama, S. Mori, M. Arakawa, S. Yashiro, Y. Ishigaki, and Hiroshi Kanai, "Estimation of aggregate size of red blood cell by introducing reference power spectrum measured for hemispherical ultrafine wire," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, SG1046 (10 pages) (2022.7).
- Y. Shoji, S. Mori, M. Arakawa, S. Ohba, K. Kobayashi, and H. Kanai, "Accurate measurement of elasticity of the radial artery wall considering changes in cross-sectional shape of artery caused by pushing pressure applied by ultrasound probe," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, SG1042 (9 pages) (2022.7).
- T. Bando, S. Mori, M. Arakawa, E. Onishi, M. Yamauchi, and H. Kanai, "Transmission condition for clear depiction of thoracic spine based on differences in reflection and scattering characteristics of medical ultrasound," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, SG1068 (10 pages) (2022.7).
- K. Kawamata, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, "Improving axial resolution of medical ultrasound images by using noise-robust broadband filter based on singular value decomposition," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, SG1061 (11 pages) (2022.7).
- N. Obara, S. Umemura, and S. Yoshizawa, "Quantitative analysis of heat-source estimation of high-intensity focused ultrasound using thermal strain imaging," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 61, SG1062 (8 pages) (2022.7).
- Y. Haji, S. Mori, M. Arakawa, T. Yamagishi, and H. Kanai, "Evaluation of local changes in RF signal waveform and brightness caused by vessel dilatation for ascertaining reliability of elasticity estimate inside heterogeneous plaque: A preliminary study," J. Med. Ultrason., Vol. 49, pp. 529-543 (2022.10).
- M. Hisatsu, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, "Application of low-complexity generalized coherence factor to *in vivo* data," J. Med. Ultrason., Vol. 49, pp. 555-567 (2022.10).
- R. Mishra, A. Sukhbaatar, A. Dorai, A. S. Mori, K. Shiga, T. Kodama, "Drug formulation augments the therapeutic response of carboplatin administered through a lymphatic drug delivery system," Cancer Sci., 114(1):259-270 (2023.1).
- S. Sora, A. Sukhbaatar, S. Fukushige, S. Mori, M. Sakamoto, T. Kodama, "Combination therapy of lymphatic drug delivery and total-body irradiation in a metastatic lymph node and lung mouse model," Cancer Sci., 114(1):227-235. (2023.1).
- M. Arakawa, K. Higashiyama, S. Mori, S. Yashiro, Y. Ishigaki, and H. Kanai, "*In vivo* measurement of attenuation coefficient of blood in a dorsal hand vein in a frequency range of 10–45 MHz: A preliminary study," Front. Phys., Vol. 11, 1077696 (7 pages) (2023.2).
- S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, "Lateral M-mode: Ultrasound visualization of displacement along the longitudinal direction at intima-media complex," Ultrasound Med. Biol., Vol. 49, pp. 875-888 (2023.3).
- A. Bhatti, T. Ishii, N. Kanno, H. Ikeda, K. Funamoto, Y. Saijo, "Region-based SVD processing of high-frequency ultrafast ultrasound to visualize cutaneous vascular networks," Ultrasonics, Vol. 129, 106907, (2023.3).
- Y. Okada, N. Kanno, A. Bhatti, T. Ishii, Y. Saijo, "Robust flow vector estimation for echocardiography with extended Nyquist velocity using dual-PRF approach: a flow phantom study," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 62, SJ1033, (2023.3).
- S. Mori, H. Kanai, and M. Arakawa, "Lateral M-mode: Ultrasound visualization of displacement along the longitudinal direction at intima-media complex," J. Med. Ultrason. doi: 10.1007/s10396-023-01282-2

- Y. Nagai, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, "Ultrasonic measurement of thickness of carotid arterial wall using its natural longitudinal displacement," *Jpn. J. Appl. Phys. Accepted for publication*.
- S. Suzuki, S. Mori, M. Iwai-Takano, M. Arakawa, and H. Kanai, "Internal pressure dependence on viscoelasticity of arterial wall by ultrasonic measurement," *Jpn. J. Appl. Phys. Accepted for publication*.
- R. Yamane, S. Mori, M. Arakawa, J. E. Wilhjelms, and H. Kanai, "Ultrasonic measurement of carotid luminal surface roughness with removal of axial displacement caused by blood pulsation," *Jpn. J. Appl. Phys. Accepted for publication*.
- K. Hara, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, "High-speed measurement of two-dimensional displacement of myocardium using element RF data of ultrasonic probe," *Jpn. J. Appl. Phys. Accepted for publication*.
- S. Mori, M. Arakawa, H. Kanai, and H. Hachiya, "Quantification of limitations in statistical analysis of ultrasound echo envelope amplitudes," *Jpn. J. Appl. Phys. Accepted for publication*.
- S. Kuji, S. Umemura, and S. Yoshizawa, "Basic study on a filtering method for selectively extracting cavitation bubble region in ultrasound imaging by triplet pulse sequence," *Jpn. J. Appl. Phys. Accepted for publication*.

(学会発表)

- A. Bhatti, N. Kanno, H. Ikeda, T. Ishii, Y. Saijo, "Development of an imaging framework for visualization of cutaneous microvasculature by using high frequency ultrafast ultrasound imaging," *Proc. The 44th Ann. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* (2022.7).
- S. Kuriu, R. Mishra, A. Sukhbaatar, S. Mori, T. Kodama, "Activation of Anti-tumor Immunity by Local Irradiation," *Interface summer seminar 2022 (The 17th International Workshop on Biomaterials in Interface Science)*. (2022.8).
- K. Shimizu, A. Sukhbaatar, S. Mori, T. Kodama, "Ultrasonographic analysis of enhanced intra lymphatic drug delivery by high osmotic pressure and high viscosity solvent in lymphatic drug delivery," *Interface summer seminar 2022 (The 17th International Workshop on Biomaterials in Interface Science)*. (2022.8).
- A. Sukhbaatar, M. Sakamoto, S. Mori, T. Kodama, "Docetaxel facilitates improved treatment effect for lymph node metastasis by LDDS administration," *Interface summer seminar 2022 (The 17th International Workshop on Biomaterials in Interface Science)*, (2022.8).
- M. Arakawa, Y. Shoji, S. Mori, S. Ohba, K. Kobayashi, and H. Kanai, "Elasticity measurement of radial arterial wall considering vessel shape change caused by pushing pressure applied by ultrasonic probe," *Proc. 2022 IEEE Int. Ultrasonics Symp.* (2022.10).
- Y. Obara, S. Mori, M. Iwai-Takano, M. Arakawa, and H. Kanai, "Local measurement of instantaneous change in myocardial thickness in swine heart during acute myocardial ischemia," *Proc. 2022 IEEE Int. Ultrasonics Symp.* (2022.10).
- M. Arakawa, K. Higashiyama, R. Takeyama, S. Mori, S. Yashiro, Y. Ishigaki, and H. Kanai, "Estimation of size of red blood cell aggregates using reference power spectra," *Proc. 2022 IEEE Int. Ultrasonics Symp.* (2022.10).
- T. Ishii, C. Shibata, T. Yamanishi, H. Nahas, B.Y.S. You, A.C.H. Yu, Y. Saijo, "Development and clinical validation of a high-framerate transrectal urodynamic vector flow imaging system," *Proc. 2022 IEEE Int. Ultrasonics Symp.* (2022.10).
- Y. Saijo, R. Shintate, T. Ishii, R. Nagaoka, "Optical/Photoacoustic hybrid microscopy for visualizing morphology and composition of cells," *Proc. 2022 IEEE Int. Ultrasonics Symp.* (2022.10).
- M. Yoshida, K. Kobayashi, Y. Kawaguchi, T. Ishii, Y. Haga, Y. Saijo, "Relationship between MEMS Mirror Angle and Beam Characteristics in High-Speed Scanning Ultrasound Microscopy," *Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics*, 43, 1J1-3 (2022.11).
- Y. Nagai, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, "Ultrasonic measurement of carotid arterial wall thickness applying accurate ultrasonic measurement method of carotid arterial surface roughness," *Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics*, 43, 1Pa5-2 (2022.11) (2 pages).
- S. Miyake, S. Umemura, and S. Yoshizawa, "Development of efficient method of generating reactive oxygen species by expanding cavitation region using ultrasound focus scanning," *Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics*, 43, 1Pa5-5 (2022) (2 pages).
- Y. Okada, N. Kanno, T. Ishii, Y. Saijo, "A Preliminary Study to Extend Nyquist Flow Speed of Echocardiography using a Dual-PRF Dealiasing Method," *Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics*, 43, 1Pb5-2 (2022.11).
- S. Mori, M. Arakawa, H. Kanai, and H. Hachiya, "Examination of statistical limitation in statistics evaluation of ultrasound echo envelope amplitudes," *Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics*, 43, 2E3-2 (2022.11) (2 pages).
- Y. Obara, S. Mori, M. Iwai-Takano, M. Arakawa, and H. Kanai, "Improvement of precision in strain rate measurement using spatial distribution of envelope of RF echoes," *Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics*, 43, 2Pa5-1 (2022.11) (2 pages).

- I.G.E. Sulistyawan, D. Nishimae, T. Ishii, Y. Saijo, "Compressed Sensing for Faster Optical-resolution Photoacoustic Microscopy: A Simulation Framework," Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics, 43, 2Pa5-4 (2022.11).
- S. Kuji, S. Umemura, and S. Yoshizawa, "Basic study on a method for extracting cavitation bubble region in ultrasound imaging by triplet pulse sequence," Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics, 43, 3Pa5-4 (2022) (2 pages).
- E. Numahata, S. Yoshizawa, S. Umemura, T. Ishii, Y. Saijo, "A Basic Study on Effect of Shielding Objects on Focused Ultrasound Treatment by Acoustic Radiation Force Imaging," Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics, 43, 3Pa5-5 (2022.11).
- S. Kannoto and S. Yoshizawa, "Experimental investigation on effect of focal scanning in ultrasound propagation direction on bubble and coagulation regions in bubble-enhanced ultrasonic heating," Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics, 43, 3Pa5-6 (2022.11) (2 pages).
- T. Orihara, N. Kanno, H. Yagami, K. Ito, T. Ishii, M. Kawasaki, M. Okubo, H. Matuo, Y. Saijo, "3D Modeling of Coronary Lumen Structure by IoU Optimization in Deep Neural Networks," Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics, 43, 3Pa5-7 (2022.11).
- R. Yamane, S. Mori, J. E. Wilhelm, M. Arakawa, and H. Kanai, "Removal of beam directional displacement caused by blood vessel pulsation for ultrasonic roughness measurement on luminal surface of carotid artery," Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics, 43, 3Pa5-9 (2022.11) (2 pages).
- S. Suzuki, S. Mori, M. Iwai-Takano, M. Arakawa, and H. Kanai, "Examination of change in arterial wall viscoelasticity by internal pressure in ultrasonic measurement," Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics, 43, 3Pa5-10 (2022.11) (2 pages).
- K. Hara, S. Mori, M. Arakawa, and H. Kanai, "Two-dimensional displacement estimation using received time distribution of scattered wave on elements in ultrasonic probe, Proc. 43rd Symp. Ultrasonic Electronics, 43, 3Pa5-11 (2022.11) (2 pages).
- R. Mishra, A. Sukhbaatar, S. Mori, T. Kodama, "CTLA4 targeted therapy using LDDS for the treatment of metastatic lymph nodes," the AACR Special Conference: Precision Prevention, early detection and interception of Cancer, Cancer Prev Res (Phila) (2023) 16 (1_Supplement): P046. (2022.11).
- B. Namugga, A. Sukhbaatar, T. Kodama, "Comparing the pharmacokinetic parameters of ICG via lymphatic drug delivery and the intravenous injection," 19th International Conference on Flow Dynamics, Program: 21. (2022.11).
- S. Kuriu, R. Mishra, A. Sukhbaatar, S. Mori, T. Kodama, "Acquisition of anti-tumor immunity by local irradiation and its application to radioimmunotherapy," 19th International Conference on Flow Dynamics, Program: 21. (2022.11).

採択番号：R04/T10

ブレインウェア工学研究会 生物に比肩しうる知的情報処理システムの構築を目指して

[1] 研究組織

研究代表者：

石黒 章夫（東北大学電気通信研究所）

通研対応教員

石黒 章夫（東北大学電気通信研究所）

主査

石黒 章夫（東北大学電気通信研究所）

幹事

安井 浩太郎（東北大学電気通信研究所）

研究分担者

羽生 貴弘（東北大学 電気通信研究所）

堀尾 喜彦（東北大学 電気通信研究所）

夏井 雅典（東北大学 電気通信研究所）

鬼沢 直哉（東北大学 電気通信研究所）

加納 剛史（東北大学 電気通信研究所）

福原 洸（東北大学 電気通信研究所）

塩入 諭（東北大学 電気通信研究所）

坂本 修一（東北大学 電気通信研究所）

路技術の将来展望」（夏井雅典、東北大学）、
「四脚動物のようなしなやかな旋回の実現に向けて」（天池隼斗、東北大学）、
「温度ダイナミクスに基づくスピントロニクスデバイスのトンネルコンダクタンスモデル」（菊地優志、東北大学）。

第二回ブレインウェア工学研究会を令和4年11月1日にオンラインにて開催し、各研究組織に所属する合計11名の学生によるポスター発表会を実施した。

第三回ブレインウェア工学研究会を令和4年12月9日にオンラインにて開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである：「大容量ストレージを活用した記憶検索型～画像分類技術応用～」（出口淳、キオクシア株式会社）、
「 Γ を以って Γ を御する」シーブドッグシステムに学ぶスケールフリーなヘテロ群ナビゲーション」（角田祐輔、大阪大学）、
「感覚・運動情報処理を行う脳のリザーバー計算モデル」（香取勇一、公立はこだて未来大学）。

[2] 研究目的

生物が示す知的な振る舞いに内在するメカニズムを紐解き、それを人工物の構築へと活用する方策について議論するとともに、広く情報発信することで若手研究者や学生の育成も行う。

◆ 論文や学会発表等成果資料

(1) 論文や学会発表のリスト（謝辞あり）
なし

(2) 本プロジェクトに関連する出版物、学会発表のリスト（謝辞を除く）
なし

[3] 研究成果等

(1) 成果等

本年度は、年3回の研究会を通じて、生物が有する優れた運動機能や感覚情報処理、認知・学習能力に内在するメカニズムの理解、ならびにそれらに比肩しうる人工システムの設計原理や工学的技術課題等について、多様かつ学際的な討論、研究交流が活発に行われた。第1回は関連する学内研究室の講師による講演会であり、第2回は学生による研究成果発表会、第3回は学外から招聘した講師による講演会であった。

(2) 開催した研究会

第一回ブレインウェア工学研究会を令和4年7月7日にオンラインにて開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである：「次世代エッジコンピューティングを支える集積回

採択番号：R04/T11

生体・生命工学研究会 生体信号の解析・モデリング

[1] 研究組織

研究代表者：

塩入 諭（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員

羽鳥 康裕（東北大学 電気通信研究所）

主査

塩入 諭（東北大学 電気通信研究所）

幹事

西 羽美（東北大学 情報科学研究科）

羽鳥 康裕（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者

木下 賢吾（東北大学 情報科学研究科）

大林 武（東北大学 情報科学研究科）

[2] 研究目的

生命現象や生体情報処理に関する知見を得るためには、生体から計測したデータの解析が必要である。本研究会では、生体から得られたデータを解析・解釈するための手法や生体における情報処理過程のモデリング等に関する最新の研究成果について発表と議論を行う。

[3] 研究成果等

（1）開催した研究会

第38回生体・生命工学研究会，2022年1月12日，招待講演1件，一般講演2件，参加者17名

招待講演では，株式会社アラヤの笹井俊太郎様より「意識研究は役に立つか？：意識理論に基づく次世代 AI・BMI 実装」という題で，意識研究の紹介とその知見の社会応用に関して講演いただいた。招待講演，一般講演ともに広範な分野からの参加者があり，活発な議論が行われた。

採択番号：R04/T12

ナノ・スピン工学研究会 ナノエレクトロニクス・スピントロニクスを ベースとした次世代情報通信基盤

[1] 研究組織

研究代表者：

佐藤茂雄（東北大学 電気通信研究所）

通研対応教員

深見俊輔（東北大学 電気通信研究所）

主査

佐藤茂雄（東北大学 電気通信研究所）

幹事

深見俊輔（東北大学 電気通信研究所）

研究分担者

平野愛弓（東北大学 電気通信研究所）

堀尾喜彦（東北大学 電気通信研究所）

尾辻泰一（東北大学 電気通信研究所）

大塚朋廣（東北大学 電気通信研究所）

櫻庭政夫（東北大学 電気通信研究所）

山本英明（東北大学 電気通信研究所）

佐藤 昭（東北大学 電気通信研究所）

金井 駿（東北大学 電気通信研究所）

陣内佛霖（東北大学 材料科学高等研究所）

但木大介（東北大学 電気通信研究所）

馬 騰（東北大学 材料科学高等研究所）

尹 注鉄（東北大学大学院 工学研究科）

K. Vihanga De Zoysa

（東北大学大学院 工学研究科）

織間健守（東北大学大学院 情報科学研究科）

菊地優志（東北大学大学院 情報科学研究科）

住 拓磨（東北大学大学院 医工学研究科）

佐藤まどか（東北大学大学院 医工学研究科）

佐藤有弥（東北大学大学院 医工学研究科）

[2] 研究目的

ナノエレクトロニクス・スピントロニクスをベースとした次世代の情報通信の基盤技術の研究開発を行う。

[3] 研究成果等

(1) 成果等

次世代情報通信の基盤技術の開発のために、関連分野の著名な研究者を招聘し各種研究会を開催した。ナノエレクトロニクスやスピントロニクスに関する最新の研究成果について活発に議論した。また、博士学生の育成のために、学生中心の研究会も開催した。

(2) 開催した研究会

・第117回 令和4年6月6日、”Ultrastrong Light-Matter Coupling～物質と光との極限的強相互作用”、河野淳一郎（米ライス大学教授）

・第118回 令和4年10月13日、ナノ・スピン実験施設、「磁気スキルミオンのブラウン運動」、土肥昂堯（Akerman 研、助教）、「ノンコリニア反強磁性薄膜の作製と物性・機能性評価」、Ju-Young Yoon（深見・金井研、D3）、「機械学習と前処理による量子ドット状態推定」武藤由依

（大塚研、M2）、「酸化チタンナノチューブ型高感度ガスセンサの開発」、但木大介（平野研、助教）、「高密度多点電極アレイ上への神経細胞回路のパターニングと構造機能相関の解析」佐藤有弥（平野研、D1）、「グラフェンチャネル FET のゲートスタックプロセス高度化とその高速・高感度テラヘルツ波検出への応用に関する研究」、田村紘一（尾辻・佐藤研、M2）、「InP 系光電子融合ダブルミキサトランジスタの高変換利得化に関する研究」中嶋大（尾辻・佐藤研、M2）、「物性の画像情報解析を活用した Beyond 5G デバイスの動作機構解明」、山本うらん（吹留研、M2）、「SiC 上に形成したグラフェンおよび Au/Ti から成るコプレーナ導波路の特性インピーダンス」、石田智也（吹留研、M2）、「温度ダイナミクスを基としたスピントロニクスデバイスの数値モデルの研究」、菊地優志（堀尾研、D1）、「時系列予測におけるリザーバーニューロンの減衰特性の調査」、石井豪（堀尾研、M1）、「感覚運動制御を担うリザーバーニューラルネットワークの構造最適化に関する研究」、藤本ありさ（佐藤・櫻庭・山本研、M2）、「ジョセフソン伝送線路を用いた物理リザーバーに関する基礎的研究」、渡邊紘基（佐藤・櫻庭・山本研、M2）

・第119回 令和4年12月19日-20日、「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」、電子情報通信学会電子デバイス研究会との併催

・第120回 令和4年11月18日、”Synergistic development of brain models and brain-like computing algorithms for applications,” Pawel Herman（スウェーデン王立工科大学准教授・東北大学電気通信研究所客員准教授）

・第121回 令和5年2月17日、”Graphene Plasmons and their importance for THz emitters and detectors,” Vladimir MITIN（University at Buffalo、

SUNY, USA, Distinguished Professor)

・第 122 回 令和 5 年 3 月 7 日-8 日、13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics との併催

・第 122 回 令和 5 年 3 月 2 日、”Mutually synchronized spin Hall nano-oscillators for neuromorphic computing and Ising machines,” Johan Åkerman (University of Gothenburg & Tohoku University, Professor)

第 5 章 シンポジウム・国際会議等

5. 1 通研国際シンポジウム

2022 Spintronics Workshop on LSI

開催日：令和4年6月13日（月）（1日間）

開催方式：オンライン開催

参加人数：298名

世界的権威ある Symposia on VLSI Technology and Circuits の公式サテライトワークショップとして、2022 Spintronics Workshop on LSI をバーチャルで開催しました。台湾 TSMC、シンガポール A*STAR、仏 SPINTEC、韓国 Samsung Electronics、日本キャノンアネルバより招待講演が行われました。本学の遠藤 哲郎教授が座長となり、招待講演、及び質疑応答を通じて、スピントロニクスが切り拓くメモリからプロセッサに至る省電力半導体の未来が議論されました。世界中から約 300 名の参加がありました。



ウェブサイト：http://www.cies.tohoku.ac.jp/2022_Spintronics_WS/

The 11th International Conference on Reactive Plasmas (ICRP-11) / The 75th Annual Gaseous Electronics Conference (GEC 2022)

開催日：令和4年10月3日（月）～7日（金）（5日間）

開催場所：仙台国際センター

参加人数：550名（うち外国人参加者人数240人）

本国際会議（ICRP-11）は、応用物理学会プラズマエレクトロニクス分科会が主導する反応性プラズマの基礎と応用を扱う国際会議であり、米国物理学会（APS）の低温プラズマ分野の国際会議であるGEC2022と合同で、電気通信研究所の支援を得て開催した。

発表件数は、Plenary講演（受賞記念講演）2件、招待講演82件、口頭発表283件、ポスター発表227件であり、参加者総数は550名であった。国別では、日本開催であったことから日本が最も多く310名で、次いで米国85名、韓国38名、ドイツ28名、インド14名、フランス13名と続き、日本国外から240名の参加者であった。

Plenary講演として、ICRPでは「Reactive Plasma Award 受賞記念講演」を行っており、本年度は名古屋大学の堀勝先生がReactive Plasma Awardを受賞され、“Evolution of reactive plasma processes by radical control”と題して受賞記念講演が行われた（写真）。また、GECでは「The Will Allis Prize 受賞記念講演」を行っており、慶応大学の真壁利明先生が受賞され、“40 years with studies on radiofrequency plasma and related transport theory”と題して受賞記念講演が行われた。

一般講演のトピックとしては、低圧プラズマ、大気圧プラズマ、磁化プラズマ、高密度プラズマ、液中・気液界面プラズマなどの基礎的な内容から、半導体プラズマプロセス、ナノマテリアル合成、バイオ医療応用、推進器応用まで多岐にわたる講演が多数あり、さらに計測、モデリング・シミュレーション、衝突プロセスに関するセッションもそれぞれ複数開催され、非常に幅広いプラズマ関連分野をカバーしている国際会議であった。

その他のイベントとして、Women in Scienceを実施し、今回は東北大学男女共同参画推進センター（TUMUG）との共催で、プラズマ科学分野で活躍されている女性研究者からの発表とパネルディスカッションを行った。

本国際会議は、3年ぶりの対面での開催であったため、口頭発表、ポスター発表ともに非常に活発な議論が展開されるとともに、コーヒブレーク、バンケット等での研究者間の交流も盛んであり、対面開催の良さを再認識する国際会議であった。



Reactive Plasma Award 受賞記念講演の様子。

RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction

ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する通研国際シンポジウム

開催日：2023年2月17日～18日

開催場所：ハイブリッド開催（電気通信研究所本館 6階大会議室＋Zoom Webinar）

参加人数：71名

Japan ACM SIGCHI Chapter と共催で、ヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する通研国際シンポジウム 2023 を、2023年2月17日と18日にハイブリッド形式で開催しました。対面とオンライン合わせて、9か国から71人の参加がありました。招待講演とともに、この分野の発展に貢献された方々の授賞式と受賞講演会も開催され、これらを通して、この分野の未来を皆で一緒に考えることができました。[1]

The RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction 2023 was held in a hybrid format on February 17 and 18, 2023, jointly with the Japan ACM SIGCHI Chapter. A total of 71 participants from 9 countries attended the symposium, both in person and online. In addition to the invited lectures, an award ceremony and award lectures for those who have contributed to the development of this field were also held [1].

[1] <https://sites.google.com/view/riec-hci-symposium-2023>



The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer

第11回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム

開催日：令和5年2月17日（金曜日）～18日（土曜日）（2日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所ナノ・スピン総合研究棟

4階カンファレンスルーム（ハイブリッド開催）

参加人数：104名

本シンポジウムは、半導体工学、計算機工学、ロボット工学、数理工学、大脳生理学、神経科学、心理物理学、非線形物理学といった関連分野から広く研究者を集め、脳機能や脳型計算機に関する最近の成果・動向について、分野の垣根を超えて研究発表と議論を行うことを目的として企画・設立された。今回が11回目であり、令和5年2月17日～18日に開催された。アメリカ、オーストラリア、スペイン、スウェーデンから6名の海外招待講演者を迎え、23件の口頭発表と21件のポスター発表が行われた。2度のオンライン開催を挟んで3年ぶりの対面開催となり、学際的な国際交流の機会を提供する活気あふれるシンポジウムとなった。



第11回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウムの様子

第13回ナノ構造とナノエレクトロニクス に関する国際ワークショップ

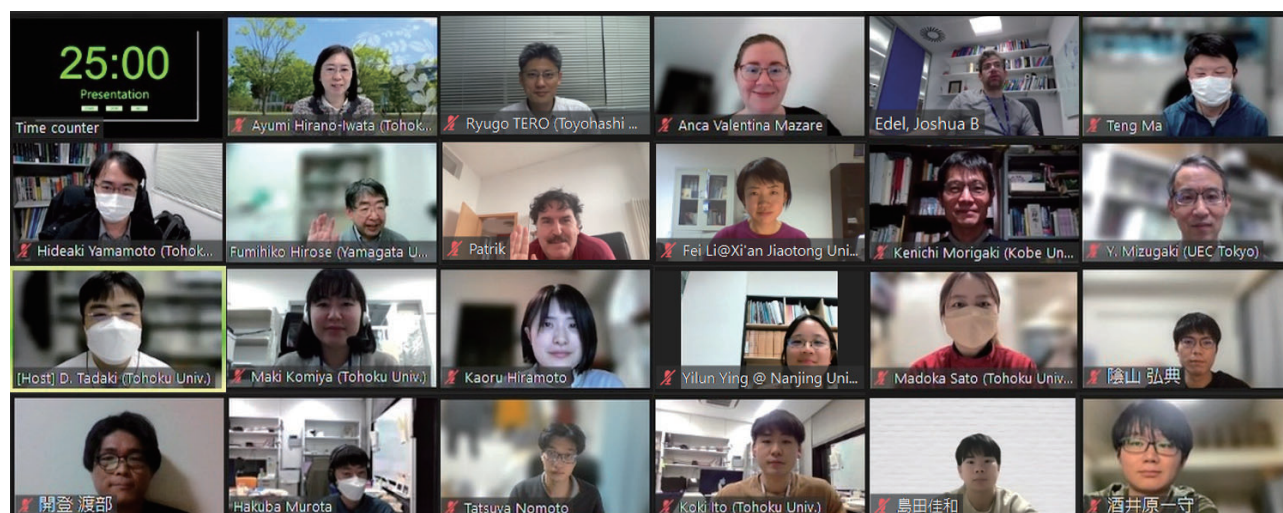
(The 13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics)

開催日：令和5年3月7日（火）～8日（水）（2日間）

開催方式：オンライン開催

参加人数：65名（うち外国人参加者人数19人）

第13回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際ワークショップが令和5年3月7日（火）～8日（水）の2日間にわたり、オンラインにて開催された。ドイツ、イギリス、中国、そして日本から計6件の招待講演が行われ、2日間の延べ参加人数は、研究者、学生などを含め65名を数えた。昨年度に続きオンライン形式での開催となったが、ナノ・バイオ融合分野の発展に資する、電子工学、表面科学、生命科学、材料科学等の多様な分野の研究者による多くの講演がなされ、活発な討論が展開された。特に、光触媒反応に基づく酸化チタンナノチューブ構造体での水素生成の実証、ガスや紫外線センシングのための金属酸化物半導体によるナノ薄膜トランジスタの開発、ナノ・マイクロ加工技術と人工脂質二分子膜との融合から成る新規バイオセンシングプラットフォームの創成、走査型電気化学顕微鏡を用いた微小環境下での細胞の生化学的挙動の解明、金属ナノ微粒子を用いた単電子デバイスの創成、酸化チタンナノチューブ構造体のバイオメディカル応用、といった非常に幅広い領域にまたがる内容の発表がなされ、これらの分野における発展性と将来性を強く感じさせるものであった。また、本ワークショップに係わる研究者間での交流も日頃より活発に行われており、ナノ・バイオ融合分野の今後益々の発展が期待される。



第8回 CIES テクノロジーフォーラム 8th CIES Technology Forum

開催日：令和5年3月27日（月）～3月28日（火）（2日間）
開催方式：オンライン開催
参加人数：606名

第8回 CIES テクノロジーフォーラムをバーチャル開催しました。初日は、産学共同研究、大型国家プロジェクト及び地域連携プロジェクトからなる CIES コンソーシアムにおける2022年度の活動成果を紹介する CIES 成果報告会、2日目は、CIES のコア技術であるスピントロニクス半導体、及びパワーエレクトロニクスに関する国際シンポジウムを開催しました。延参加者は606名、うち民間企業は約7割、海外は約2割でした。電気通信研究所の共催、内閣府、文部科学省、経済産業省、特許庁、日本学術振興会、科学技術振興機構、新エネルギー・産業技術総合開発機構、工業所有権情報・研修館の後援により開催しました。



Virtual 8th CIES Technology Forum 2023年3月27日(月)～28日(火) March 27-28, 2023

<p>主催者 挨拶</p>  <p>東北大学 大野 英男総長</p>	<p>来賓 挨拶</p>  <p>TIA運営最高会議 東 哲郎議長</p>	<p>来賓 挨拶</p>  <p>文部科学省研究開発局長 千原 由幸局長</p>
<p>概要 説明</p>  <p>東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センター 遠藤 哲郎センター長</p>	<p>来賓 挨拶</p>  <p>経済産業省 大臣官房 田中 哲也審議官（産業技術環境局担当）</p>	<p>来賓 挨拶</p>  <p>特許庁 審査第四部 大森 伸一郎長</p>

ウェブサイト：http://www.cies.tohoku.ac.jp/8th_forum/

第2回オンライン通研スピントロニクス 国際ワークショップ (第19回通研スピントロニクス国際ワークショップ)

2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics (19th RIEC International Workshop on Spintronics)

開催期間：2022年3月20日（月）～4月6日（木）
開催方式：オンライン開催
参加人数：322名（うち海外からの参加者251名）
主催：東北大学 電気通信研究所
共催：先端スピントロニクス研究開発センター
スピントロニクス国際共同大学院

本ワークショップは、2004年以降ほぼ年1回のペースで開催してきた RIEC International Workshop on Spintronics の一環として開催したものであり、コロナ禍での対面開催の困難を鑑みて、2021年度に引き続きオンラインで開催したものである。以前の計17回の対面イベントで築き上げてきた知名度を維持しながら、オンラインの特徴を活かしてスピントロニクスコミュニティにとって実りのある企画とするため、2021年度と同様に以下の開催方法を採用した。

会議は4月6日に開催したライブセッションと、3月20日から公開したオンデマンドセッションの2部構成とした。ライブセッションはPIクラスの著名研究者6名からなるパネルディスカッション形式を採用して集中力が持続するよう開催時間を1.5時間に限定し、一方オンデマンドコンテンツは各PIが指名した若手研究者による15～40分程度の研究紹介の招待講演ビデオで構成した。

今回は“Computing with Spintronics”というテーマを設定し、スピントロニクス素子を用いた新原理コンピューティングに関する研究を扱った。コミュニティとして非常に関心の高いテーマであり、活発な議論がなされた。

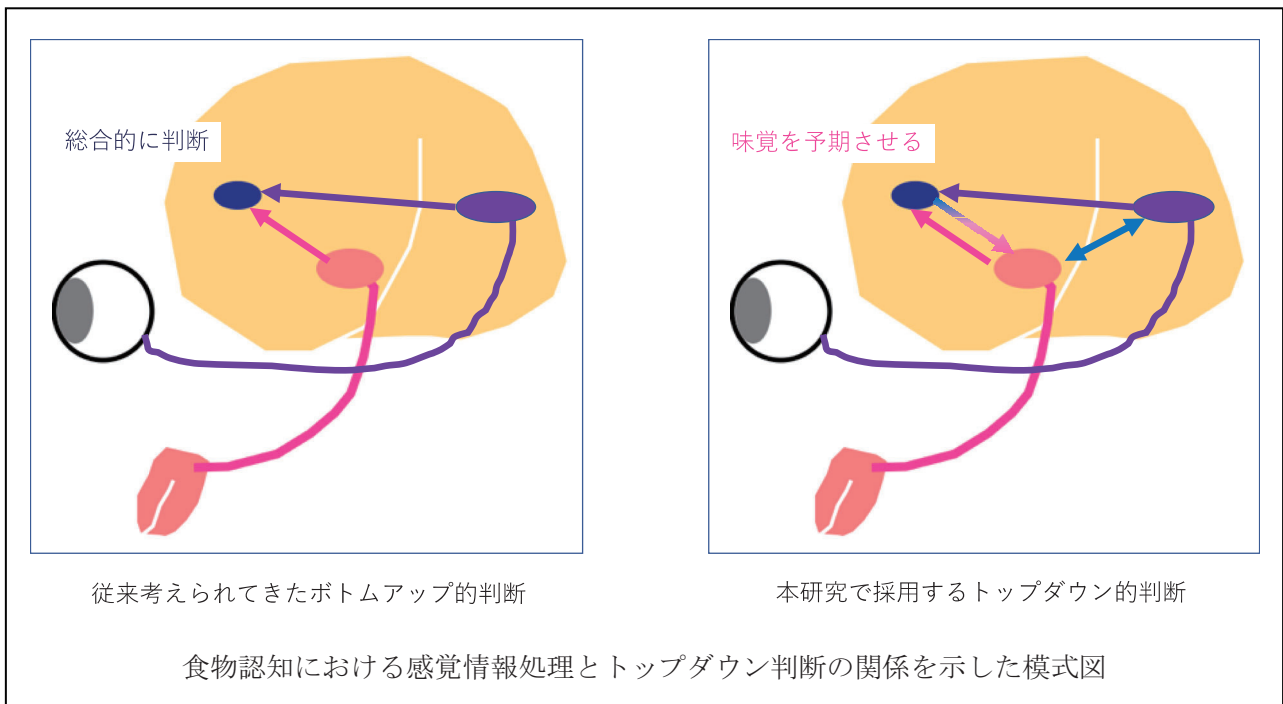
参加者は合計322名を数え、35の国と地域から非常に多くの方にご参加いただいた。東北大学内からの参加者は52名のみであり、学外の多くの研究者、技術者、学生の関心を集めたことがうかがえる。

第 6 章 通研教員が中核的役割を果たす 他部局組織等

6.1 設立に関与した組織等

高等研究機構 新領域創成部
多感覚情報統合認知システム研究室

食物認知を例に多感覚統合のメカニズムを探る



多感覚情報統合認知システム研究分野 教授 坂井 信之
多感覚情報統合認知システム研究分野 助教 山本 浩輔

<研究室の目標>

味覚、嗅覚、口腔内化学感覚に視覚、聴覚を加えることで、食物を人がどのように受容し、認知しているかについて研究を進める。食物認知を五感統合の例として、その知識を応用することにより、多感覚統合に関する認知システムの研究を進める。本研究室の目標は今後多感覚化が進むことが予想される情報通信分野を牽引し、発展に大きく貢献することを目指すことである。

<2022年度の主な成果>

2022年度は、以下の成果を得た。

1. 食物認知における多感覚統合

味覚と視覚（色情報）の関連性に関する国際比較研究を実施した。また、咀嚼音と食感のオノマトペの関係に関する研究を進め、様々な食感を持つ食品の記述とその食物を咀嚼しているときの音や咀嚼筋の動きなどの相関を求める研究を実施した。その他、トップダウン的な味覚情報処理に関する研究、ノンバーバルコミュニケーションにおける香りの役割などに関する研究を開始した。

2. 人間の行動と感覚情報の相互作用性

視聴覚モダリティ間の時間情報統合過程に関する研究成果について、2018年11月に開催された国際シンポジウム (The 2nd Tohoku U-NTU Symposium on Interdisciplinary AI and Human Science) にてポスター発表を行った。聴覚情報が視覚的意識の形成に及ぼす影響に関する研究成果について、2022年8月から9月に開催された国際学会 European Conference on Visual Perception にて発表を行った⁶⁾。

3. 顔の印象形成に関する認知・知識の影響

歯学系研究者と共同で、歯科医学的知識の有無によって顔の印象形成に違いが生じるか否かについて実験的研究を実施した。また、その時の脳活動について NIRS や fMRI などを用いた実験を行った。また、ウィーン大学・早稲田大学との共同研究により、顔印象の認知過程についての実験的研究を実施し、現在は後続実験を実施中である。

<職員名>

教授 坂井 信之 (2018年より)

助教 山本 浩輔 (2018年より)

<プロフィール>

坂井 信之 1998年大阪大学大学院人間科学研究科修了。博士(人間科学)。日本学術振興会特別研究員(広島修道大学)、科学技術振興事業団科学技術特別研究員((独法)産業技術総合研究所)、神戸松蔭女子学院大学人間科学部を経て、2011年10月より東北大学大学院文学研究科准教授。2017年4月同教授。2006年におい・かおり環境協会学術賞、2009年におい・かおり環境学会ベスト・プレゼンテーション賞、2013年・2017年電子情報通信学会ヒューマンコミュニケーション賞、2016年・2018年日本心理学会学術大会優秀発表賞、2014年日本味と匂学会優秀ポスター賞、2016年日本応用心理学会齊藤勇記念出版賞、2017年平成28年度東北大学全学教育貢献賞

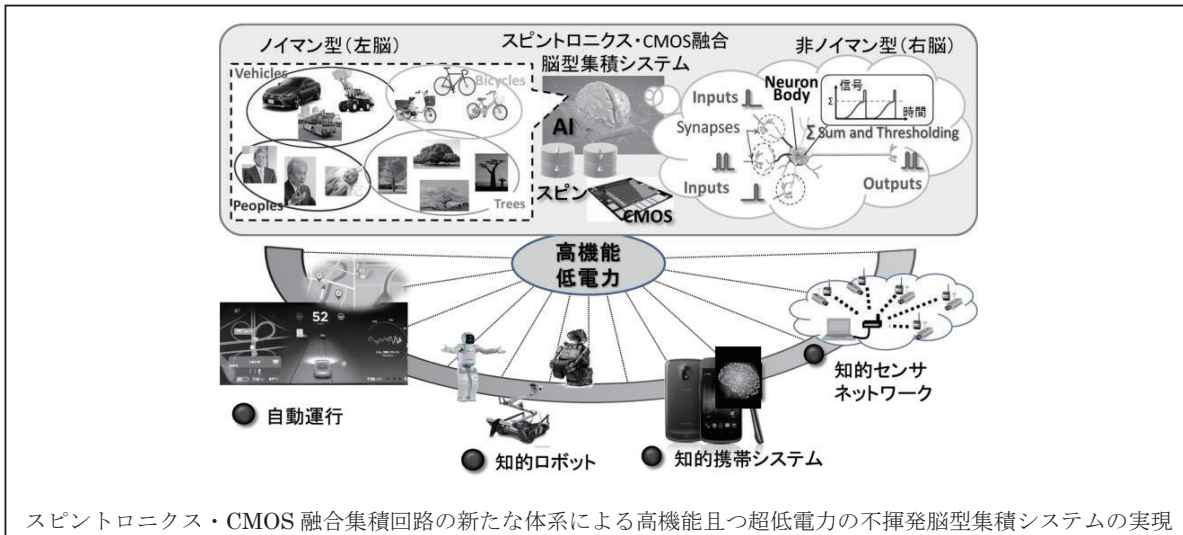
<2022年度の主な発表論文等>

- [1] Alexander Raevskiy , Ivan Bubnov , Yi-Chuan Chen , and Nobuyuki Sakai, Differences in Color Representations of Tastes: Cross-cultural Study Among Japanese, Russian and Taiwanese. P.-L. P. Rau (Ed.): HCII 2022, LNCS 13311, pp. 378–395, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06038-0_28
- [2] 笠松千夏・坂井信之 ヘルスケアフーズの情報に対する認知がおいしさ評定に及ぼす効果測定 日本家政学会誌, 73, 613-620
- [3] 坂井信之, 「見た目」と「香り」に騙される味覚. 保健の科学, 63(4), 243-247
- [4] 齋田涼裕・坂井信之 香りと雰囲気・場の空気 Aroma Research, 23(4), 298-303
- [5] 坂井信之 おいしさの創出—一人の感情を取り入れた感性評価の提案— エモーション・スタディーズ, 8, 28-35
- [6] Alexander Raevskiy, Shuichi Sakamoto, and Nobuyuki Sakai Psychoacoustic Study of Japanese Mimetics for Food Textures. K. Kondo et al. (eds.), Advances in Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Smart Innovation, Systems and Technologies 339, https://doi.org/10.1007/978-981-99-0105-0_37

高等研究機構 新領域創成部

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室

MRAM を用いた高機能・超低電力不揮発脳型集積システムの実現



スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究分野 教授 遠藤 哲郎

スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究分野 助教 李 涛

＜研究室の目標＞

本研究分野は、スピントロニクス工学、CMOS 半導体集積回路工学及び脳科学を融合し、デバイス、回路、アーキテクチャ、ソフトウェアまでわたる新しい工学技術分野を構築し、人間のよう
に高度な情報処理・判断を高効率且つ低電力で実行できる新しい脳型コンピューティングシステム
の実現を目的として研究を進めている。具体的には、研究全体を「ノイマン型」と「非ノイマン型」
の2つのアプローチに分けて研究を展開し、スピントロニクス・CMOS 融合デバイスに関する理解、
スピントロニクス・CMOS 融合に基づく回路・アーキテクチャ設計論、脳型 CMOS 集積回路、及
び AI コンピューティング実現のための学理を結集し発展させることによって、自動運行や知的ロ
ボットなどの応用に着目した高機能且つ超低電力の不揮発脳型視覚認識システムの実現を目指す。

＜2022 年度の主な成果＞

本研究プロジェクトは、2021 年にスピントロニクス・CMOS 融合の不揮発性脳型回路の検証とデ
モ実験環境の整備を完了し、高効率・高精度な脳型 VLSI チップの評価と解析を実現するための保
証を得ることができた。本年度は、スピントロニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路を実装す
るためのモジュール設計に重点を移した。適応量子化モジュール、ニューラルネットワークの畳み込
み演算を実装する近似乗算器モジュールなどで実施する。以上2つの研究成果の進捗状況と、関連
する本年度の研究成果については、下記で説明する：

1. スピントロニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの適応型・低消費電力量子化モジ
ュール

スピントロニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの開発には、多様なデータ表示形
式の適応的変換を実現することが不可欠である。本プロジェクトでは、自律走行車の精密航法
や ディープニューラルネットワークを活用した正確な分類を対象とした産業用 IoT アプリケ
ーションに向けて、新しい適応的かつ低消費電力な量子化手法を提案し、アルゴリズムからハ
ードウェアモジュールまで整合性の高い有効性を系統的に検証する。提案する量子化手法は、
浮動小数点から固定小数点バイナリへの適応的変換機能と適応的基数点決定機能を融合し、エ

ッジ AI モジュールへの固定小数点入力の適切な分解能と最小限のエラー損失を確保する。実験結果は、提案した量子化手法の量子化誤差が、ストラップ型慣性航法システムの航法解と DNN の TOP1 および TOP5 の分類精度に極小の誤差しか与えないことを示す。さらに、提案する量子化技術に従って、量子化演算器ハードウェアモジュールの設計、合成、回路設計を行った。

2. 低消費電力の STT-MRAM ベースのスピン트로ニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムのハイブリッド符号付き畳み込み演算モジュール

STT-MRAM は、低消費電力・高速処理・高耐久性のため、民生用電子機器におけるスピン트로ニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの高速度開発において最適なメモリとして期待されている。スピン트로ニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの機能多様性と省エネルギー性を強化するために、本プロジェクトでは、符号なし分割型乗算器のアーキテクチャを導入したハイブリッド符号付き畳み込みモジュールを提案している。提案する乗算器の構造により、3 つの乗算モードが可能になり、次世代不揮発性脳型回路システムに向けた乗算器の汎用性が大幅に向上した。提案する乗算器ベースの畳み込みモジュールは、最新の畳み込みアクセラレータと比較して、8 ビット畳み込み処理の平均消費電力が最も低くなっている。STT-MRAM のパワーゲーティング技術を利用することで、提案する畳み込み演算モジュールは、消費電力を 22 倍削減しながら、高ビットの乗算で許容できる精度を維持する。さらに、ハイブリッド畳み込みモジュールを搭載することで、電力効率を 8 倍向上させ、スピン트로ニクス・CMOS 融合型不揮発性脳型回路システムの消費電力効率を 175 倍に低減させることが実現した。

<職員名>

教授(兼) 遠藤 哲郎 (2008 年より)

助教 李 涛 (2023 年より)

<プロフィール>

遠藤 哲郎 1987 年 3 月 東京大学物理学卒業。1995 年 3 月 東北大学電気工学専攻博士後期課程修了。1987 年より、東芝 R&D センターの VLSI 研究ラボにて NAND フラッシュメモリと 3D 先端 CMOS デバイス設計に関する研究開発に従事。1995 年より東北大学電気通信研究所講師。1995 年より同准教授。2008 年より同教授。2008 年 5 月より同大学際フロンティア研究所教授。2012 年より同大工学研究科教授、及び、同大国際集積エレクトロニクス研究開発センター・センター長、同大先端スピン트로ニクス研究開発センター・副センター長(世界トップレベル拠点)現在に至る。東北大学にて、最先端 CMOS デバイス設計、クリーンルーム技術、低電力・高速回路技術、次世代メモリ技術、スピン・CMOS 融合型ナノ LSI、GaN パワーデバイス、及び集積パワーエレクトロニクスの研究に関する研究開発に従事。JSAP フェロー、LSI IP Design Award 受賞(2001)、JJAP Paper Award 受賞(2009)、JSAP 6th Fellow Award 受賞(2012)、SSDM Paper Award 受賞(2012)、2020 VLSI Test of Time Award 受賞 (2021)、第 14 回産学連携功労者賞・内閣総理大臣賞 (2017 年)、全国発明賞 (2018 年)。

李 涛 2016 年 6 月 ハルビン工程大学工学研究科航法・誘導・制御博士後期課程修了。2016 年 10 月 東海大学創造科学技術研究機構特任研究員。2020 年 5 月 東北大学国際集積エレクトロニクス研究開発センターと同大工学研究科助教。2023 年 4 月同大電気通信研究所助教。

<2022 年度の主な発表論文等>

- [1] T. Li, Y. Ma, K. Yoshikawa and T. Endoh, "Hybrid Signed Convolution Module With Unsigned Divide-and-Conquer Multiplier for Energy-Efficient STT-MRAM-Based AI Accelerator," in *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, doi: 10.1109/TVLSI.2023.3245099.
- [2] T. Li, Y. Ma, and T. Endoh, "Neuromorphic processor-oriented hybrid Q-format multiplication with adaptive quantization for tiny YOLO3," *Neural Computing and Applications*, **35**, 11013–11041 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08280-y>.
- [3] T. Li, Y. Ma and T. Endoh, "From Algorithm to Module: Adaptive and Energy-Efficient Quantization Method for Edge Artificial Intelligence in IoT Society," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2022, doi: 10.1109/TII.2022.3223222.

先端スピントロニクス研究開発センター (CSIS)

<施設の概要>

設 置：平成 30 年 1 月 30 日設置

(スピントロニクス世界トップレベル研究拠点が高等研究機構に設置された日付)

組 織：センター長：平山祥郎（総長特命教授）

教員数：43 名（専任教員：6 名、兼務教員：37 名）

目 標：基礎から応用にわたる幅広い分野の卓越した研究者を海外有力大学との共同研究を通じて戦略的に結集し、Spin-Centered Science というべき領域を世界に先駆けて切り拓く世界トップレベル拠点を形成することを目的とする。

研究内容：スピンを基軸とする基礎科学、先進スピントロニクス材料、スピントロニクスデバイスおよびその集積技術の四つに区分される。

<2022 年度の主な成果>

• 世界を先導するスピントロニクス研究の推進

独創性があり大きな成果が期待できる国際共同研究 5 件を採択し、東北大学版クロスアポイントメント制度を活用して業務委託費ならびに研究費を支援した。

インパクトファクターの高い海外論文誌への投稿を支援した。

• 優秀な若手研究者の育成

国内外の有力研究機関との共同研究を促進するため、若手外国人 4 名を専任助教として雇用した。スピントロニクス学術連携研究教育部門に専任准教授 1 名を PI として雇用し、量子センシングとスピンの融合を目指した研究室を立ち上げた。

• 国際頭脳循環の推進

シカゴ大学との共同研究室を継続して運営した。

材料科学／スピントロニクス世界トップレベル研究拠点合同国際シンポジウム（2022 年 10 月）を初めとして、下記の国際会議等を共催・後援した。

- EPSRC International Network for Spintronics Early Career Researchers Meeting (May, 2022)

- The 2022 Spintronics Workshop on LSI (June, 2022)

- Materials Development Towards Energy Efficient Magnetic Memory (December, 2022)

- International Workshop of Spin/Quantum Materials and Devices (February, 2023)

- 2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics (March-April, 2023)

国際集積エレクトロニクス研究開発センター (CIES)

<施設の概要>

設置：平成 24 年 10 月、東北大学は民間企業との産学連携研究を拡充し、エレクトロニクス産業の発展に向けた組織として「国際集積エレクトロニクス研究開発センター」を設置した。平成 25 年 4 月、本研究開発センターの研究棟が初の 100%民間拠出による東北大学サイエンスパーク第 1 号の施設として、青葉山新キャンパス内に竣工された。

組織：センター長：遠藤哲郎（工学研究科・教授）

職員数：71 名（工学研究科、情報科学研究科、電気通信研究所等からの兼務を含む）

目標：東北大学が有する多岐にわたる研究シーズと豊富な産学連携実績を求心力として、集積エレクトロニクス技術を研究開発する。また、その技術に係る国際的産学連携拠点の構築を図ることにより、次世代集積エレクトロニクス分野における我が国の国際的な競争力の強化に寄与する。更に、当該分野の技術の実用化及び新産業の創出を目標とする。

研究内容：産学共同研究、国家プロジェクト、地域連携プロジェクト等の枠組みの中で、これまで CIES で研究開発してきた世界最先端技術であるスピントロニクス技術から AI ハードウェア技術とパワーエレクトロニクス技術に拡充し、3 つのコア技術の研究開発を推進すると共に、カーボンニュートラルや AI/IoT/DX の実現に不可欠な飛躍的な省電力動作を実現する革新的集積エレクトロニクスシステムへの展開を目指している。

<2022 年度の主な成果>

本学が創出してきたコア技術の実用化に向けて、多様な国内外の企業、そして地方公共団体と連携して、材料・装置・プロセス・デバイス・回路・システムなど産学共同研究、大型国家プロジェクト（文部科学省 X-nics 事業、JSPS Core-to-Core 事業、JAXA 宇宙探査イノベーションハブ事業、NEDO 事業、東北経済産業局サポイン事業、文科省パワエレ事業）、地域連携プロジェクトからなる CIES コンソーシアムを運営してきた。令和 2 年より経済産業省事業「地域オープンイノベーション拠点選抜制度」に、本センターが第 1 号の地域オープンイノベーション拠点に選抜されている。研究開発分野をスピントロニクスから、3D メモリ、AI ハードウェア、パワーエレクトロニクスに拡充し、産学共同研究も 20 課題に拡大して、集積エレクトロニクス技術に係るコア技術の開発を推進している。コンソーシアム参画企業には、「宮城県と県内市町村が共同申請を行った民間投資促進特区（情報サービス関連産業）制度」と「東北大学と仙台市の協定に基づいた固定資産税等相当額の助成制度」を活用して頂いた。令和 3 年 6 月、東北大学は、我が国の半導体戦略、ひいては世界の省エネ化社会に貢献すべく、東北大学半導体テクノロジー共創体を設立した。本共創体に加えて、我が国の半導体戦略の中でも、CIES はスピントロニクス省電力ロジック半導体開発拠点と位置付けられ、産学官共創の推進、社会実装への取組みを更に強化している。

スピントロニクス集積回路対応としては世界唯一、大学が運営するワールドクラスの企業と互換性のある 300mm プロセス試作・評価ラインを活用して、多様な革新的技術を開発している。具体的には、スピントロニクス分野では、6 重界面の界面垂直型強磁性磁気トンネル接合素子で最先端マイコン製造時の 260°C でのデータ保持耐性と 1 千万回以上の書き換え耐性を実証し、1 桁 nm 世代の最先端マイコン用混載不揮発メモリの高性能化と大容量化に道筋を付ける成果を創出している。令和 4 年度には、文部科学省「次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業」に本学提案の「スピントロニクス融合半導体創出拠点（拠点長：遠藤 哲郎）」が採択され、10 年に渡って、連携・協力機関と共に、革新的省エネ半導体創出と高度人材育成を推進する。加えて、NEDO「高効率・高速処理を可能とする AI チップ・次世代コンピューティングの技術開発」に採択され、電気通信研究所と連携して、AI エッジコンピューティングの産業応用加速のための技術開発を進めている。パワーエレクトロニクス分野では、令和 3 年度に採択された文部科学省「革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業」にて、集積化パワーエレクトロニクスの研究開発を更に進め、SiC や GaN などのワイドバンドギャップデバイスの優れた性能を極限まで活かした回路システムの研究・開発と、当該回路システムに最適な受動部品の適用により、次世代 EV 用インバータおよびデータセンター用電源の高パワー密度化（小型化）、高効率化の実現を進めている。これまで CIES で研究開発してきた世界最先端技術であるスピントロニクス技術、AI ハードウェア技術とパワーエレクトロニクス技術の 3 つのコア技術を活用し、カーボンニュートラルの実現に不可欠で超低消費電力が要求される IoT/AI システムへの展開を目指す。

加えて、革新的集積エレクトロニクス事業展開と、本学における更なる産学連携高度化に資することを旨として創業した東北大学発スタートアップ企業「パワースピン株式会社」は 5 年目を迎え、本センターの技術やノウハウをベースとして実用化開発を進めている。また、宮城県、みやぎ高度電子機械産業協議会、みやぎ自動車産業協議会、岩手県、いわて半導体関連産業集積促進協議会に加え、東北経済産業局等との協力を得て、山形県の地域・地元企業との連携が加わり、地域連携が拡充するなど、東北復興・地域貢献の一助となる成果が得られている。令和 4 年度には、我が国の半導体戦略に基づき、東北経済産業局が中心となって「東北半導体・エレクトロニクスデザイン研究会」が設立されている。遠藤センター長が本研究会に参画し、本学半導体テクノロジー共創体等との連携により、地域の特性に応じた人材育成方策、サプライチェーンの強靱化等の推進策の検討の検討を進めている。

引き続き、世界を先導する集積エレクトロニクス・AI ハードウェア研究開発拠点を目指し、革新的コア技術の創出、及び実用化による産業界への貢献と我が国の国際的競争力強化、そして地域連携による「東北復興・日本新生の先導」に寄与する。

ヨッタインフォマティクス研究センター

<施設の概要>

設 置：平成 30 年 4 月設置

平成 26 年東北大学学際研究重点プログラムに採択され、その後の活動により、平成 30 年に文科省・国立大学法人機能強化促進補助金の予算措置を受けて設置された。

組 織：センター長：坂井信之（文学研究科・教授）

センター参加学内教員数：47 名（電気通信研究所・工学研究科・国際集積エレクトロニクス研究開発センター・文学研究科・情報科学研究科・経済学研究科・医工学研究科・教育学研究科・生命科学研究科・サイバーサイエンスセンター・加齢医学研究所・学術資源研究公開センター・国際文化研究科・災害科学国際研究所・未踏スケールデータアナリティクスセンター）

目 標：超巨大情報量の量と質を扱うための新情報サイエンスとそれに基づく ICT 情報処理技術と新たな自分社会科学を文理連携体制によって構築する

研究内容：人類が作り出すデータ量は日々増加して 2030 年にはヨッタバイト（10 の 24 乗バイト）を超えると推定される。従来の ICT 技術の延長ではこれほど巨大な情報量を適切に取り扱うことができないので新たな情報処理パラダイムが必要である。そこで情報の「量」と「質」をも扱う科学技術基盤の創出を目指す。本センターでは、情報の質と価値を扱う学術領域の研究のために人文社会科学の研究者と連携した文理連携により部局を超えた研究者集団を構成し、ヨッタバイト級の巨大情報「量」に加えて、情報の「質」と「価値」を判断する基盤技術を確立し、巨大なビヨンドビッグデータ情報が持つ大きな価値を最大限活用する科学技術プラットフォームの構築を目指す。

<2022 年度の主な成果>

1. 情報の「質」から「価値」を判断し、一定の規範を見出して適切に情報を取捨選択できる情報学を先導するための 19 件の文理連携プロジェクトを、公募を通して発足、もしくは継続遂行させた。論文発表 105 編、発表・講演 114 件（うち招待講演 24 件）、外部資金によるプロジェクト 80 件。
2. 国際シンポジウム Symposium of Yotta Informatics - Research Platform for Yotta-Scale Data Science 2022 を主催した。また、国際シンポジウム Tohoku U・NTU Symposium: "When AI Meets Human Science"および日中韓の国際シンポジウム (International Workshop on Emerging ICT) を共催し、電子情報通信学会 EMM 研究会、同 HIP 研究会との共催研究会を実施した。
3. 情報質インフォマティクス研究のオープンイノベーションプラットフォームの構築のために、高等研究機構新領域創成部と連携し、21 世紀情報通信研究開発センター学際連携プロジェクトを推進した。

6.2 参画する事業・プログラム

スピントロニクス国際共同大学院プログラム

<概要>

設置：平成27年4月設置

組織：国際共同大学院プログラム部門長：山口昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））
スピントロニクス国際共同大学院プログラム長：平山祥郎（総長特任教授）
プログラム担当者：学内教授10名

海外教育研究機関：ヨハネスグーテンベルク大学マインツ（独）、レーゲンスブルク大学（独）、カイザースラウテルン工科大学（独）、ミュンヘン工科大学（独）、ロレーヌ大学（仏）、シカゴ大学（米）、デルフト工科大学（蘭）、フローニンゲン大学（蘭）、ヨーク大学（英）、リーズ大学（英）、ポーランド科学アカデミー（ポーランド）、清華大学（中）

目標：
・世界で活躍する人材の育成
・スピントロニクスの理論から応用、デバイス形成や産業化までを俯瞰的に見渡せる人材の育成
・広く多様な技術分野のイノベーションを先導することができる人材の育成

概要：研究センター大学であり門戸開放を謳う東北大学の特色・強みを活かして、海外教育研究機関と共同してスピントロニクス分野における世界的な人材を育成するために設立された。東北大学のみならず海外教育研究機関から世界トップクラスの教員を集め、英語による授業を実施する。海外教育研究機関での研修等を通じて学生の積極的な交流を促進する。Qualifying Examinationにより学生の質を保証し、実質的に共同指導学位が認定できるレベルの国際共同教育を実践する。

<2022年度の主な成果>

2022年度は新型コロナウイルス感染症による影響が残る中、2022年5月に開催された「EPSRC International Network for Spintronics Early Career Researchers Meeting」において学生が企画した5名の東北大学関係者の講演があった。また、2023年2月に学生企画ワークショップが「32nd Joint-Interlaboratory Workshop on Nano-Magnets」の下で開催され、4件の招待講演に加えてプログラム学生による発表があった。恒例の英語発表スキル向上のためのワークショップは、2022年6月と10月の2回開催された。

文部科学省 卓越大学院プログラム 人工知能エレクトロニクス (AIE) 卓越大学院

<施設の概要>

設 置：平成 30 年 10 月採択

平成 30 年度からの新規事業である「卓越大学院プログラム」(WISE Program (Doctoral Program for World-leading Innovative & Smart Education)) に採択された。

組 織：全体責任者：大野英男（東北大学総長）

プログラム責任者：山口 昌弘（副学長（教育改革・国際戦略担当））

プログラムコーディネーター：金子 俊郎（工学研究科・教授）

プログラム担当者：約 70 名（責任者・コーディネーターを含む）

目 標：本卓越大学院プログラムでは、産学連携・社会連携を意識して「社会課題の解決」と「新たな価値の創出」を実現する『実践力』と、Society 5.0 における現実空間とサイバー空間およびそれらを繋ぐあらゆる空間を見通せる『俯瞰力』を習得することで、異分野技術を巻き込み「継続的イノベーション」を起こすことができる卓越した博士人材を育成することを目的とする。Society 5.0 の実現にあたっては、ソフトウェア層単独でなく、良質なデータ創生の基盤となるハードウェア層との融合を図る必要がある。本プログラムでは、『人工知能エレクトロニクス』ともいふべき、現実空間からサイバー空間に渡って重要な基盤技術である「人工知能スピンドバイス（ハードウェア層）」と「人工知能データ科学（ソフトウェア層）」、さらにハードウェア・ソフトウェアを考慮した革新技術である「人工知能プロセッサ（アーキテクチャ層）」のあらゆる空間・技術層を見通せる『俯瞰力』を持ち、異分野技術を巻き込み「継続的イノベーション」を起こすことができる卓越した博士人材を育成する。

<2022 年度の主な成果>

前年度に行われた中間評価の結果、A 評価を受けた。プログラム全体としては高い評価を受けたが、いくつかの指摘点も受けており、その改善にも取り組んだ。AIE 卓越大学院の独自科目の PBL (Project Based Learning) 科目については、2022 年度は対面方式にて開講し、修了後には学修成果シンポジウムを開催した。また、AIE 講演会を 6 回、国際シンポジウムを開催し、人工知能エレクトロニクスの基本的な技術から応用、社会実践における課題など多岐に渡る内容について、国内外の著名な先生方に講演頂いた。国際シンポジウムにおいては、プログラム生全員が英語での研究発表を行った。この他、第 5 期生の募集と選抜を行い、新規プログラム生 25 名（新 M1 7 名、新 M2 11 名、新 D1 7 名）を決定した。

第 7 章 評価と分析

7. 1 運営協議会報告（議事録）

第38回東北大学電気通信研究所運営協議会

日時: 令和4年12月2日(金)午後2時～午後5時20分

場所: 電気通信研究所本館6階大会議室

ハイブリッド開催(対面形式+オンライン形式)

出席者:

田畑 仁 (東京大学大学院工学系研究科 教授)
 山口 浩司 (日本電信電話株式会社 NTT物性科学基礎研究所 フロンティア機能物性研究部フェロー)
 関野 徹 (大阪大学産業科学研究所 所長)
 斉藤 健 (株式会社東芝 研究開発センター 情報通信プラットフォーム研究所 所長)
 玉田 薫 (九州大学 副学長 先導物質化学研究所 教授)
 森島 繁生 (早稲田大学先進理工学部 教授)
 福永 博俊 (長崎大学 理事)
 小林 直樹 (東京大学大学院情報理工学系研究科 教授)
 丸山 宏 (株式会社Preferred Networks PFNフェロー)
 中村 孝 (大阪大学大学院 工学研究科 招聘教授)
 小松 直子 (宮城県労働委員会事務局長)
 橋本 隆子 (千葉商科大学 副学長)
 阿野 茂浩 (公益財団法人 KDDI財団 理事長)
 村山 宣光 (国立研究開発法人 産業技術総合研究所 副理事長)
 今井 亨 (日本放送協会 放送技術研究所 所長)
 江村 克己 (日本電気株式会社 シニアアドバイザー)
 寺田 眞浩 (東北大学 大学院理学研究科長)
 伊藤 彰則 (湯上 浩雄 東北大学 大学院工学研究科長の代理)
 加藤 寧 (東北大学 大学院情報科学研究科長)
 古原 忠 (東北大学 金属材料研究所長)
 寺内 正己 (東北大学 多元物質科学研究科長)
 菅沼 拓夫 (東北大学 サイバーサイエンスセンター長)
 安藤 晃 (東北大学 大学院工学研究科 教授)

通研出席者:

羽生貴弘所長、佐藤茂雄副所長、北村喜文副所長、石山和志評議員ほか各教授及び准教授

開 会

事務長から、東北大学電気通信研究所第38回運営協議会の開会が宣言され、引き続き会議日程の説明と配付資料の確認があった。

続いて、羽生所長から開会にあたり挨拶があった。

委員紹介

出席委員から順に自己紹介があった。

委員長選出

委員の互選により、江村委員を委員長に選出した。

議 事

羽生所長、佐藤副所長、北村副所長から、次のことについて説明があった。

(1) 研究所の活動全般について

(2) 研究と教育について

引き続き、電気通信研究所の各教員から研究紹介があり、その後、次のような質疑応答があった。

- ★ ここまで、研究所の活動全般、研究と教育について、それから研究紹介をいただきました。ここで20分ぐらい時間を取って質疑を行いたいと思います。
質問とかコメントのある先生方は手を挙げて、リアルに手を挙げていただく方と、オンライン上で手を挙げていただく方と、両方あると思いますけれども、お願いします。それから、研究紹介についてはご質問もあろうと思うんですけれども、ぜひアドバイスとか、エンカレッジの言葉とかもいただけるとありがたいと思います。
それでは、お願いします。いかがでしょうか。東芝の斎藤さんがチャットにコメントを入れていただいているので、意図も含めて、まずお話しただけますでしょうか。よろしくをお願いします。
- ☆ 私がコメントを書かせていただいたのは、全体の電気通信研究所の運営の目指すところのお話と、それから人間性豊かなコミュニケーションというところと、それからコロナへの対策をいろいろ行ってきたんだけれども、やっと落ち着いてきて、昔のと言うとあれですけれども、リアルな状況というのを取り戻しつつあるというようなお話も伺ったと思うんですけれども、やはりこのコミュニケーションという分野に対してコロナの与えた影響たるや本当に物すごいものがあったなど。やっぱりコロナ前とコロナ後で、通信、5G、Beyond5Gというところへの影響も大きいと思うんですけれども、これが非常に大きく変わってきたというふうに感じるわけです。
特に、人間性豊かなコミュニケーションというのを標榜されるこの研究所としては、コロナというものを経験して、こういうような新しい方向性を見いだしたとか、見だしつつあるとか、コロナの前後で、やはり先生方、あるいは学生さんの気質で、こういうところを重視すべきではないかという方向性の変化であるとか、深化というようなものが、何か関係性があるのか。特に、人間性豊かなコミュニケーションというのはこういうところに直結する、ビジョンにも通ずるところもあるのかと思ひまして、ちょっと漠とした質問なんですけれども、思わずここはどうなんだろうなと思ひ質問させていただきました。いかがでしょうか。
- ★ では、お願いします。
- ☆ ご指摘ありがとうございます。
ちょうどこの議論は、後半の課題と取組のところでも特出ししておりますが、端的に申し上げますと、我々ももともとこのキャッチコピーを標榜しており、コミュニケーションの重要性というのを実感できたこのコロナ禍だったかなという思いはあります。この視点で現在いろいろな研究開発プロジェクトなど、この重要性をもっとしっかり見詰めて、それがどういうふうに解決できるかという点に注力しています。具体的に申し上げますと、理系による科学技術の推進だけでは不十分で、そこには人間性といった文系的な要素が入ってくるので、文理融合がないと人間性豊かにはならないなと感じております。画像等の表層的情報を送りさえすれば通じ合えるわけではなく、お互いの気持ちが伝わるようにするというところが本質だということを見詰め直したという視点でございます。
ですから、一つはこういった形にもっと注力して、これの出口を見いだすというのが一つの方向かなというふうに思っております。以上でございます。

- ☆ いろいろありがとうございます。
学際というようなキーワードであるとか、あとこの前のシンポジウムでも互換というキーワードが例えば出てきたりしましたがけれども、そういった人間の本質とか、あるいは文系と理系の研究との融合とか、そういったところへの広がりを伴わなければというようなところ、非常によく分かりました。ありがとうございます。
- ★ ありがとうございます。
ほかにご質問、ご意見のある方いらっしゃいますか。
- ☆ 前半のほうに関わってくるんですけども、もしかしたらこの後ご説明があるかもしれませんが、人員構成が徐々に年々減ってきているということと、でも外部資金は増えているというような状況で、先生方が非常に活発に大変頑張っているということを感じさせられるデータだと思ったんですけども、そうすると逆に、研究以外の仕事で物すごく負担が増えてきて、人が減ってきて、外からお金を取ってくる、増えてくると、研究以外の部分での負担が増えてしまっているという問題点が発生していないのかということをちょっと確認させていただきます。
- ☆ ありがとうございます。我々もその点をすごく懸念をしております。つまり、少ない人数でお金も取ってこなければいけないという、明らかに負担が増えるという話になると思います。
それで今、ちょうど今年から研究時間確保という所内アンケートを実施しています。これは本部でも部局評価項目の1つとして取り上げております。アンケートの回答を通して、いろいろなイベント等で研究時間が無いよ、というご意見を率直にいただく取組です。具体的には、いろいろなイベント等を一生懸命やっているんですが、一部にやり過ぎているんじゃないかというご意見もあって、やっぱり身の丈に合った形で負担を上手にシュリンクしていく必要があると感じています。イベントはとても人気があって、たくさんの方々や地域への貢献というポジティブな視点はありますが、2日間は長すぎて、例えば1日にすればいいのではないかとか、そういうことで現場の先生方の声をしっかり聞いて、もっともっといろいろと工夫していただかなければいけないという、研究時間の確保が難しい。教員個人の負担に目を向け、過度な負担にならないように、ちゃんとみんなで支えられるように、今しっかり考えているところでございます。
- ☆ ありがとうございます。本当にすごく重要だというふうに感じております。
- ★ ありがとうございます。
- ☆ 今の質問とも絡むんですけども、スライド11枚目ぐらいですかね。教員の年齢構成というのがあって、20代の助教がないというのがすごく気になったんですけども、これは大体最近はこういう状態なんですかね。助教が一番学生に近い存在なので、もうちょっと若い方がたくさんいるといいかなと思ったんですが。
- ☆ そうですね、ありがとうございます。ドクターを修了する年齢が大体27～8歳ぐらい。その若手研究者の方々が少し年齢を重ねて30歳代に入っているというのが現状でございます。引き続き、若手研究者の任用をウォッチして参ります。
また、先ほどもお話ししましたように、教授が新しく着任すると、教授研究室の人員配置は(101)ですから、教授が1人着任しますと1名助教が採れます。その配置が今100%は埋まっていない状況です。ですから、その新しく着任した教授の先生方、いわゆる権利を持っている方々は、しっかり人選してもらうことで20代の若手研究者が入ってくるかなと思います。この点はしっかりウォッチして参ります。

- ☆ ありがとうございます。
- ★ ドクターへの進学率もやっぱりそんなに高くない。結局、若い方たちが自分のキャリアを描くということを考えたときに、今のご指摘は結構重要なところを言われているのかなという気もしますので、トータルで少しお考えいただいたらいいかと思います。
- ☆ IT分野は、ご存じのように結構就職率がよくて、学生はそっちに魅力感じてしまうというのも一つ問題だと感じています。もちろん、就職がしにくいからドクターに進むというのは不純な動機ですけれども、進学率を上げる工夫を考えなければいけないと思っています。その意味では、ドクターに例えば社会人で再入学してもらい、社会人教育としても受け入れるとか、その辺、今後大学ファンドということを見ると、恐らくもっと産学連携をしっかりとやって、その中には教育も入っていますのでということもしっかりやっていきたいと思っています。
- ★ ありがとうございます。
- ☆ 先ほどの人員構成の問題なんですけれども、効率化係数というのでどんどん減ってくるので、お金のトータルが減ってくる。ただし、人件費の単価を下げるのは難しいので、トータルの人数が減ってくるという構造にあるわけです。ただ一方では、人数が力であるという部分もあって、非常に難しいところなんです。私のところの大学等で同じような状況を見ると、分野にもよりますが、効率化係数がかかっているのは運営交付金の部分なので、そこでその領域の職員を減らすと、分野によってはその分を外部資金で雇用して、トータルとしては、結局人数は減っていないというふうな形の分野も結構見えるんです。けれども、通研さんの先ほどちょっと見せていただきますと、順調にといいますか、単調に減っていつているんですが、いいことか悪いことかは別として、分野によっては比較的若い方を短期間の雇用で回しているというような状況もあろうかと思うんですが、そういうふうなことはお考えにはならないでしょうか。
- ☆ 先生ご指摘のように、研究分野によってはうまく人材が回っていて、ある期間勤めた後に、その後の雇用(キャリアパス)も潤沢な場合もございます。加えて、5年の雇用期間だと短いので、例えば10年ぐらいの期間通研で活躍していただけるような仕組みを考えています。例えば、5年間は教員自身が獲得した外部資金で雇用し、残り5年間程度は所の自己資金を充てるなどの形。そういう仕組みで成功事例が出てくるとまた新たなポジションを取れますよという話の可能性も出てくるんじゃないかなと思っています。このような取組はまさに戦略的に進めていこうと現在思っております。そう意味でも研究開発プロジェクトがあって、それが大きく進むことによってどんどん前述のような可能性が増えるという取組を通じて、優れた研究者人材の確保につながるのかなと思っています。
- ☆ 分かりました。ありがとうございました。
- ☆ ご説明ありがとうございました。これまで何人かの通研の先生方を存じ上げておって、その素晴らしい業績は認識しておったんですけれども、それ以外の分野も非常に世界的に業績を上げられているのを認識いたしました。それで、2点、これまでの先生方の質問とも関連するんですが、運営、いわゆるポストの関連で、全国的には承継ポストが減っている現状において、獲得された外部資金、その費用での雇用というか、特任教員というか、それを承継とはちょっと違う形の人、特任というよりはほぼ同列にして、ちゃんと資金さえ、ある程度この研究所の規模で一定担保できれば、そういうこともできるのかなど。そういうお金でポストをつくって、そこを1つの枠として拡大するという、そういうお考えなり、既に試みというのはされているでしょうかというのが1点目です。

- ☆ ありがとうございます。
- まさにその形に持っていくというのが理想でございまして、そのための仕組みというので今、今後のいわゆる人件費予測というのでも少し計算をしております、このぐらいからは少し余剰分が出るから、そのときには機動的に使えますねということの計算で、そうすると例えば研究プロジェクト等で継続してやっていただく方というので、もしご希望があればその中で、じゃあいけますよという、例えば先ほどの5プラス5ぐらいの話でやっていって、その後はまたその実績を見ながらつなげていこうというようなのが、一つ形としてやっていこうという計画で今進めているところです。
- ☆ すばらしいご計画だと思います。やはり総論はいいんだけど、ある程度高い精度で予算を積み上げられないとか、見積もれないと、非常にやはり心配だということで、今しっかりと計算されているというようなところをお聞きいたしました。
- 2点目は、それとも関連しますけれども、やはり若手の先生方、それから若手に限らず、ご説明でも、例えば科研費も当たるときもあれば当たらないときもあるという、そういう不安な要素はどうしてもそういう資金にはあるというのは皆さんご存じだと思います。
- なので、通研のように、非常にある程度の資金を平均すると獲得されている規模感もあるようなところであれば、所としてファンドとか、そういうものを持っておいて、資金の谷間でも、そこは1年ぐらいは補填できるような、特に若手の先生方に安心してある程度のチャレンジングないろんなプロジェクトにも応募できるようにという、何かそういう仕組みというのはおつくりなんではないでしょうか。
- ☆ そこが理想の形だと思っております。通研基金という形で、そういった仕組みもあるんですけども、まだまだ人件費が何人か分を養えるほどたまっておりませんので、そういったところを含めて、今、先生おっしゃったように、少し余剰分があってそれがうまく機動的に活用できて、それがちゃんとキックバックとして戻ってくると良いと思っています。
- 大学としては、今度、大学債というのを発行してという話が出てきており、これを東北大学でも進めますので、例えば通研卒のようなものをいただければ、人件費の確保につながり得るかなと思っております。
- いずれにしても、研究成果について、民間企業の方から興味を持っていただいて、その上で資金をうまく活用できるような仕組みを推進していくのが理想かなと思っています。
- ☆ ありがとうございます。私からは以上です。
- ★ ありがとうございます。
- ☆ 前回は議論させていただいたんですけども、ドクターの進学率というのが理系の先生皆さんどんどん減っていると。実際にその研究を進める部隊としては、やっぱりドクターの学生さんが中心になるというのは事実なので、将来的にはこれはなかなか難しいところがあると。
- それで、先ほどのデータを見せていただくと、去年26人で、今年28人かと思うんですけども、よく見えますと、その半数ぐらいが留学生の方ということですね。ということは、今後多分この傾向はどんどん増えていくといえますか、留学生にかなり依存する形でドクターの研究を進めていくという形になるんじゃないかということを想定して、今例えば中国とか韓国とか、ほかの国との非常にある意味、優秀な学生さんの取り合いになっているという側面もあると思うんです。
- そういうことに対して、例えば通研さんのほうで、海外からの留学生を受け入れる上で何か施策みたいなものがあれば教えていただければと思います。

☆ ありがとうございます。

実際のところは、なかなか海外の留学生等がやはりドクター進学の高い希望を持っているというので、そちらをむしろ積極的に進めましょうという話があると思います。

それで、大学の仕組みとしても、例えばクルートするために、オンラインだけではなくて、直接本人に会ってジャッジする重要性が認識されています。そのためその旅費の一部を支援する仕組みがあります。これを利用すれば、より初期段階からちゃんと対象学生のクオリティーをその先生自身が確認をして、その上でリクルートするとか、受け入れるということができ、海外の留学生を積極的に呼びましょうという方向性です。一方で、経済安全保障の問題もありますので、そういったところもしっかり情報の管理が必要不可欠。大学に入っちゃったら誰でも何でも全部のデータへのアクセスがオープンになるわけではありませ

ん。これら両側面をしっかり確認しながら活性化しなければいけないということで進めていきます。ドクターの学生でいうと、日本人学生の誰か1人が進学すると、例えば「先輩、カッコいいな」と思ったら後輩達がどんどん進学するようになる。何かちょっとのきっかけかなということ、誰も行かないので俺も行かないという感じにやっぱりなっちゃうんですね。ちょっとその辺は少し努力をしっかり努力を続けていきたいと思っています。

☆ 先ほどの先生方が忙し過ぎるという話とちょっと関連してしまっていて、学生さんなんか聞くと、なかなか先生方も土日働かれて大変だと。働き方改革じゃないですけども、そこら辺も少し何か関係しているので、例えば不要な仕事というのはないとは思いますが、でもやっぱり何となく続いている仕事とかもあるので、ぜひそういうのはバシバシと切っていただいて、先生方のポジションというのを非常に、何といいますか、研究者として魅力的な形にしてみらうのも大事なかなと思います。

☆ 講義なんかはバイアウトで、お金があったら誰かにやってもらうという話もありますし、あとは今ご指摘いただきましたように、教員を見て、ああはならないぞと学生から思われちゃうと困るんです。そうではなくて、むしろああなりたいたいという話になるように、我々も努力したいと思っています。

☆ そうですね。ありがとうございます。

★ ありがとうございます。

☆ 外部資金の獲得状況のところでは質問になるんですけども、科研費をはじめとして、国県とか各省庁、いろいろ入ってくると思うんですが、民間というのは、そういう意味ではかなり今のところは相対的には少ないと思います。

民間との共同研究のところでは幾つか情報を出していただいているんですが、やっぱり昨今の傾向として、研究の内容によって、従来型というのか、大企業が連携してお金を出すケースと、あと民間のスタートアップと連携していく、もしくは大学の中のスタートアップというケースもあるのかもしれないんですけども、そこら辺の深掘りというんですか、何か分析みたいなのはできているんでしょうか。今後はやっぱりそういうことを深掘って行って、増やしていかなければいけないところがあるかと思っています。

☆ 主に今は教員個人レベルの関係性で進めているのが現状。我々はURAという機動的な人材も雇用しており、産学連携等で非常に積極的によく動いてはいただいています。この人材も交えて、特に民間等との話のときには、密に話し合いをして、じゃあこれでやっていこうという話になって、よければ次のステージに行きますという話なので、ここは本当に今後、強く、より深く、最終的には大きなコミットでできるようにというのは、まさに今狙っているところでございます。

☆ 最近、一見関係のないような企業でも、基礎研究的なところでのアライアンスというのは、弊社もそうですけれども、いろいろ組んでいて、そのキーワードはSDGsとか、カーボンニュートラルという話になってきているんです。

そういう意味では、そういうところから深掘りすると結構大きな展開があるのかなということで、知財も関係してくると思うので、まだ知財も件数的には、主に特許収入ということだと思うんですが、そういうところとか、あと先ほど羽生所長のほうからありましたけれども、共同研究することによって、そこでインスパイアされた学生がドクター取ってみようかなというような流れになっていくというのも、大企業じゃなくても、中小とか、スタートアップでも最近そういうケースが多いので、そこら辺のところも戦略の中で議論をしていただければうれしいなと思いました。ありがとうございます。

☆ ありがとうございます。

一部の企業では、例えば研究テーマをむしろ決めずに、企業のほうから、何か面白いことができるものを提案してくださいというので、お金はこれですという話でいただくのもあるんですね。2年間で5,000万円とか、さらに2年間で、だから5,000万円で、計1億円ぐらいでどうですかという話とか。そういう意味で、企業の方も萌芽的な研究開発のネタを大学との連携で探せるんだったら良しとしようという視点もあります。その意味で大学側では常に研究ネタをしっかりとっていて、チャンスに応じて展開していく形で進めたいと思っています。

☆ 分かりました。総合的にそこへアプローチをかけていくというのが、これから盛り上げていくというのも大切かと思いました。ありがとうございます。

☆ 今日、見学もさせていただきまして、若手研究者のお話も聞かせていただきました。国の重点項目に当たるような量子、DX、次世代半導体、そしてセキュリティーまで手を広げてということで、すごく感心しました。そうなるくと通研再ブレイクのチャンスといますか、大学改革と教育とで、最先端の研究所としての期待が大きくなってきていると思うんですけども、それについて何か具体的な動きはありますでしょうか。

☆ もう芽が出ている研究ネタは、外部資金の獲得に至っているというのが一つ。近年は、経済安全保障という観点で国から期待されている流れがある。例えば半導体はもっといろいろ開発してほしいとか、そういうような一つ形がありますので、そういうところから実績を出していくということかと思っています。個別の話は、多分先生方がいただいていますけれども、通研として結集していくというところは、先ほどのコロナ禍に向けたような形の人間性とのコミュニケーションというところを、具体的に後で説明しますけれども、そういったところは切り口の一つかなというふうに思っています。

☆ 社会の中でももちろんですけども、東北大学の中でも非常に重要な位置を占める、そういうチャンスの時期なのかと思ひまして、ぜひ頑張っていたいただければと思います。

☆ ありがとうございます。

★ 先ほど、先生が忙しいというお話が出ていて、バックオフィスの充実について方針等があればというチャットが入っていますけれども、いかがですか。

☆ 積極的に考えたいと思います。いろんなチャンスがあるかと思っています。現状、今年実施したアンケートの結果だと、そんなにかなり強いネガティブな回答は無かったので、もう少ししっかり聞き方を工夫して、どういうことが問題かということを加えたいと思っています。追加の説明はありますか。

☆ 研究時間確保のために、アンケートを取りました。将来計画委員会ですが、いろんな意見がありました。やはり人件費が減っているので、人をどうやって確保するかということで、やはり技術補佐員とか事務職員、そういったものをうまく雇って教員の負担を減らしていくべきではないかということなので、バックオフィスの充実というのは、そういった意味で通研として大きな課題になると思っています。

- ★ ありがとうございます。

- ☆ 研究テーマの横連携がどうなっているのか、教えてください。例えばNHKの場合ですと、将来のメディアが10年後、20年後、こういう世界になるべきだとか、こういう世の中になると想定したうえで、バックキャストで今やるべき研究テーマに落とし込み、番組を作って、届けて、見るところまで、それぞれの分担テーマが一つにつながるような仕組みを作っています。研究者任せにしておくと、それぞれが基礎研究の段階ではいいのですが、将来それらが一気に通貫でシステムとしてつながり、かつ社会に出てユーザーのところへ届くまでの目標を描けると、研究所としての一体感といったものがあるのかなと思います。そういった横連携の検討とか、ボトムアップだけの提案ではない、トップダウンでこういう方向性に進もう、といった検討はあるのでしょうか。

- ☆ ありがとうございます。
 トップダウンという話ですと、例えば概算要求というのは一つ大きく研究資金を獲得していく話です。概算要求に関連している先生は、実質的には横連携をして、そのプロジェクトを推進するという形です。通常の研究は、いわゆるボトムアップで何人かの先生で提案書を作成する形。最近ですとプロジェクトも単独でというのがほとんどなくて、システムまでの構築が要請されるため必然的に横連携を幾つかして、研究チームを大きなものにし、その上で研究成果を出していくという形になっています。ですから、幾つかのボトムアップ的な研究プロジェクトの発展形として概算要求テーマをウォッチし、本所としてトップダウン的にそれを企画して横連携のさらなる充実を図っていくことが重要だと思っています。
 大学なので、やはり基本的には基礎研究で、その上で先生方の自由な発想で新しい世界を開いていくというのが基本で、その中でも横連携を実質的に幾つかウォッチしてやっていく、そういうスタイルでございます。

- ☆ 分かりました。ありがとうございます。

- ☆ 最初のほうにも議論が出ました人員構成、それから定員の問題、それからあとお金というのは全部絡んでいるかと思うんですけれども、一方で先ほど研究紹介いただいた先生方で、プロミネントリサーチフェローやディスティングイッシュトリサーチャー、これは恐らく東北大学の制度だと思うんですが、やっぱりこういう中堅どころ、若い先生の支援というのはすごく重要だと思っていて、私どもで恐縮ですが、独立PIとして准教授を時限つきで採用して、幾つか立てて承認まで持っていつているんですけれども、こういう例えば大学のフェローシップとかりサーチャーのプログラムで、やはり独自に通研として支援をする、あるいはそういう方をちょっと押し出しというような、そういう施策は何かございますでしょうか。

- ☆ 関連する取組事例として、我々は毎年、教員個人評価というのをやっておりまして、1年間の成果物を見て査定をしている形です。その結果をベースに給与をプラスアルファしています。3段階の評価「卓越、優秀、あとは普通」という形にて評価しております。そういう意味で、今、今年活躍したなという方には、実質的にはその成果を評価しているという仕組みはあります。

- ☆ インセンティブということですね。それ以外に、研究所で何らかの例えばスペースや重点的な資金配分とか、そういうことはいかがでしょうか。そこまではまだ。

- ☆ その点については今後、考えていかなければいけないかなと思います。

- ★ ありがとうございます。

- ☆ 先ほどのご質問にも関連するんですけども、研究の紹介の中でも、社会実装というキーワードが出てきたと思いますが、社会実装は各プロジェクト単位に主にやられているのか、あるいはその社会実装を支援するような何か仕組みというものがこの研究所の中にあるのか。例えばNICTのように、社会実装をサポートする組織というか部門みたいなものがあったりするのか。そのあたりのサポートといいますか、支援について、ちょっと教えていただきたいんですけども。
- ☆ 基本的には、プロジェクトに紐付いた形での社会実装という形になります。民間等との連携を推進するという意味でも、うちではURAという特任の教授がいらっちゃって、その方がこういった話はできないかというネゴを進めており、社会実装等を実質的に進めている形でございます。
- ☆ その社会実装というのは、ある意味手間がかかるというか、非常に負担が大きくなる可能性があるもので、そういうところの支援みたいなものは、先ほどの研究する時間確保という点でも、もしかしたらすごく重要になってくるのかなというふうに感じました。ありがとうございます。
- ★ ありがとうございます。
では、ここで一旦休憩に入りたいと思います。4時からでいいですか。では、4時に再開しますのでよろしくをお願いします。
研究発表いただいた先生方、どうもありがとうございました。ぜひ皆さん、コメント等あれば入れていただければ、ありがたいと思います。
それでは、4時再開をお願いします。

(休憩)

引き続き、佐藤副所長、北村副所長、羽生所長から、次のことについて説明があった。

- (3)各種評価について
- (4)共同利用・共同研究拠点の活動について
- (5)課題と取組について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- ★ ありがとうございます。
それでは、後半の3件、それから前半の議論とも絡むと思いますので、トータルでいろいろご意見とか、ご質問とかをいただければと思います。また先ほどと同じように手を挙げていただければ。
では、お願いします。
- ☆ 先ほど、女性の教員が8名になったという話があったんですけども、ただその中でクロアポが2名でしたよね。その割合が実質どれぐらいで、本当に増員、実質的に増加しているのかというところがちょっと気になったんですが、いかがでしょうか。今、大学で、女性教員が結構取り合いになっているんじゃないかということも想像できるんですけども。
- ☆ 現状はクロアポもカウントしております。例えば別の例で言いますと、外国人教員もクロアポからスタートして、その後ぜひ日本に骨を埋めたいというぐらいの方もいらっしゃるということを考えますと、まず初めからイチゼロで入る入らないだけじゃなくて、クロアポから少しずつ連携していくことで、やはりこっちでやってみようかなという進め方が大事かなと思っております。ですから、いろんな形で、まず連携できるところからやっていくのかなというふうに思っております。

- ☆ ちなみに、参考までに、その2名の方というのは、5割以上のクロアポになるんですか。
- ☆ まだそれほど割合は多くないです。
- ☆ そうなんですか。分かりました。
- ★ ありがとうございます。
- ☆ ご説明どうもありがとうございました。
聞き逃したかもしれないんですけども、民間企業からの資金の獲得を増やしていくという方向性を示されましたけれども、今現在の民間からの資金額はお幾らで、そしてそれを例えば何年後にどのぐらいの規模に上げようというような、そういう計画がございましたら教えていただけないでしょうか。
- ☆ 民間等との共同研究というところで、33ページに載せております。現在は、民間等との共同研究費としまして、大体1億5,000万円ぐらいでございまして、件数が現在で46件ぐらいという話です。
どこまでというのが、実は今、大学としても、いわゆる大学から取りに行かなければいけないという、最初の仕込みはあるとしても、その後ずっと、むしろ公的資金ではなくて民間等との共同研究を中心にやっ
てくださいますので、これはもう相当大幅に増やさなければいけないということで考えて
おります。
そういう意味では、公的資金中心から少しずつ転換していきながら、社会課題を解決するような形でや
っていかなければいけないと思っています。そこは大きなミッションになっています。
- ☆ ご参考になるかどうか、産総研におきましても、まさに大学以上に企業からの資金で研究を回していく
ところが今我々としても問われているところでありまして、その際に私たちが今一番心がけているの
は、民間資金をいかに基礎研究に還流するかという、いわゆるイノベーションのエコシステムをどうつく
っていきけるかということが一番頭を悩ましていいいますか、使っているところであります。
それを実現するために、コストベースの契約額から、価値ベースといえますか、我々が提供する技術によ
って企業さんが生み出す市場の規模、そこから逆算して相応の投資をしていただくというような、何とか
そういう価値ベースの考え方に移行できないかということで、いろいろトライアルをしているところでござ
います。
もしそれが実現できると、ある額の中の一部は、我々は技術料という今回新たな契約の仕組みをつくっ
たのですけれども、その技術料につきましては、我々弊所の裁量で使わせていただきますと。つまり、そこ
で次の新しい技術への投資に充てていくというような取組を、まだ始めたばかりではありますけれども、
我々も同じ悩みを抱えておりまして、いかに企業資金で基礎研究を回していくかというところを、皆さん
方とも一緒にこれから考えていけたらと思っております。以上です。
- ☆ ありがとうございます。
共同研究の仕組みも、大学のほうでもそういった仕組みを全体的に考えておりまして、間接経費をもう
ちょっと増やすという話でありますとか、あとはいろいろな規模に応じて、いろいろ自由度が増していま
す。
その中では、例えば共同研究を獲得した教員自身の給与が、プラスアルファになるような形で使ってもい
いですよという形の自由度が増しています。つまり、獲得した教員に対するインセンティブが付与されま
す。これが無かった時代では、どんどん獲得すればするほど、自分が苦しくなってしまう弊害が生じてい
ましたので。

- ☆ 取ってきて、疲れてしまうだけではちょっと続きませんので。
- ☆ はい、そのため、インセンティブをつけてましようという仕組みで進めています。加えて、ネタ次第とか、そのテーマ次第というので、うまく拡大していただくということだと思います。
- ☆ 以上です。どうもありがとうございます。
- ★ ありがとうございます。
- ☆ 組織の改変のところで、システム・ソフトの部分を分散統合していく、垂直統合を目指すというようなお話があったかと思います。
これの狙いについてなんですけれども、これは昨年と同じ会合でも少し話題になったところかと思うんですけれども、改めての部分も出てくるかと思うんですけれども、ソフトウェアあるいはAIというような、今日のご発表にもありましたけれども、今非常に注目度が増す中で、それを積極的に、例えば先ほど材料とか、サイバーとリアルを垂直に結びつけていくというところに意図的にリソースを重点配分というか、配分の仕方をそういうような形に変えていくというような、これはある種、通研さんの戦略なのかなというふうにも感ずるわけなんですけれども、やはりハードウェアの強みと、それをシステムまでつないでいくというようなところに、通研さんとしての、電気通信研究所としての個性を発揮していくんだというような、やはり明確な戦略というようなものがあるのでしょうかというところ。
あと、システム・ソフトウェアというところでの大型研究、そういうようなものをより太くしていくために、今度は領域間の横連携というのが大事になってくるというような課題もあるかと思うんですけれども、そういったところはこういう方針で対処していこうとしているという、そのあたりをお聞かせいただければと思います。
- ☆ ありがとうございます。
まず、部門間を跨いではいけないということはありません。ただ、積極的に部門の中に入れると、部門会議とか、いろんな機会にお会いする機会が増え、自然にコミュニケーションがよりスムーズになるかなという思いもあって、まずは垂直統合してみようとなりました。ある技術を使おうと思ったら、必ずその上のソフトウェアも含めて開発しないと機能しません。ですから、そばにいていただくという形で一緒にやっていくことが大切だと思っています。もちろん、システム・ソフトだけで単独で研究テーマを出していくことは、教員が従来から取り組んでいる研究スタイルであり、それを阻害することではありません。こういう部門構成という枠組でやりながら、また新たな展開が開け、新たな視点で研究が進められることを願っております。
- ☆ その垂直というところでのシステム化まで成し遂げていくには、最初からそこまで考えるんだと、そういう場を強制的というようなところも含めて、そういうところは、やはり一つの施策として試してみようという、そういうようなところなのかなと思いました。
- ☆ プロジェクト関係でいうと、システムをつくるというのは結構あるんですね。そういう意味では、こういう枠になっていけば連携しやすいですねということも、思いとしてはあります。
- ☆ 逆にというのは確かにありますね。どうもありがとうございます。

- ☆ ちょっと全般的な質問になるかもしれませんが、組織の見直しとか、やっぱり戦略的な人事、それに関係すると思うんですが、こういう変革期においては、かなりその組織によって、今社会、企業だとエンゲージメントというので、それををはかるサーベイみたいなのをいろいろやっているんですけども、まずはそういうもので上がったり下がったりということで細かく見ていくと、何が原因でというところが深掘りできたりするんですけども、昔で言うと360度診断とか、部下が上司を、大学でもやられていると思うんですが、そういうものとも関係していくんですが、最近それからもう少し進んだエンゲージメントという考え方をに入れていくと、そこら辺の組織の話とか、そういうのが、方向性というのがまた見えてくる、課題が見えてくるのかと思うんですが、そこら辺についてのお考えをお聞かせください。
- ☆ ありがとうございます。
一つの我々の指標は、教員個人評価。ここでは、アカデミックが重視されます。個人情報保護に留意しつつ、自分は所内でどういう位置に居るのかを所内教員へ広く通知しています。例えば、論文がどれだけ出ているとかですね。そのデータに触れることで、もう一度、分野とか、自分の今専門としているところがどんなふうに広がっているかというのを確認してもらうというようなことをやっています。そのような取組を通じて、自身の研究分野を見直せるものと思っています。
- ☆ 個人ということも大事なんですけれども、組織全体としてのモチベーションがどう上がるかということで、どちらかという個人の評価よりも、エンゲージメントの場合、組織単位で、それをどういう単位にするかにもよるんですけども、企業だと部とか課ですけども、研究室単位になると思うんですけども、そこら辺のところで見ていく価値観もあるのかなということで、ちょっとコメントさせていただきました。
- ☆ ありがとうございます。
先ほどもご説明をしたように、トップダウン的にやるというのは、我々が概算要求として出していこうというもの。どの研究テーマを出すかは、全体の活動状況などを見て、決めていく話です。
基本的には、大学の場合は基礎研究なので、やっぱり先生方の自由な発想というのの大事にしたいというのはあります。その辺のバランスだと思うんですよ。だから、一括して全部この形でというような形には、なかなか大学だとやりにくい。ただ、それも個性かなと思っています。
- ☆ そこら辺のやっぱり個性が壊れないようなやり方というのを考えていかなければいけないということがよく分かりました。ありがとうございます。
- ★ ありがとうございます。
多分、評価という表現はよくないんですけども、どういう情報を取るかというときに、もう少し多様な取組をしたほうがいいんじゃないでしょうかというご示唆だったようにも私は受け止めたので、少しいろいろ検討いただくのもいいかなと思います。
- ☆ これまでのご説明にも含まれていたとは思いますが、いわゆる共共拠点としての視点で2点。
1つは、この通研の非常に得意な分野における、その共共拠点の役割を演じているような、ある意味では非常に近いライバルになるような海外でどんな組織があるのかなというところ。そういったところがあると、先ほど云々と比べていただきましたけれども、そういったところと、世の中の社会的ないろんな研究トレンドや世の中のニーズに対して、どう向かっていかれるのか分かるかなというので、それが1点目です。海外のエグザンプル。
それから、2つ目は、やはり共共拠点として活躍を、これまでの共同研究、それから論文、資金獲得の実績というのは非常によく分かりました。そうしますと、それを踏まえて、やはり今後の方向として、どういうところに重点を置いておられるのかというところを、恐らくそういったところが先ほどの組織改変等にもつながっていると思うんですけども、そういうところをもうちょっとご説明いただければと。
その2点をお願いできますでしょうか。

☆ まず、世界のどこを目指しているかという点でございしますが、先ほどの最初のほうのいろいろなデータからも分かりますように、世界と結構距離があるという認識です。ただ、研究の個別分野によっては世界と大体並んでいるところとか、足りないところというのは幾つか見えたと思います。それで、どこを目指すべきかというのは、まだ我々の考え足りなかったかなというふうに思っております。

☆ ありがとうございます。

☆ 2つ目は、今後の重点の考え方としましては、もちろん基礎研究で先生方のアクティビティを大事にするんですけども、やはり文理融合というのは一つ大事な事かなと思っております。先ほどの女性教員任用の活性化に関連して、理系だけの視点だと限界があって、もともと違う発想を積極的に取り込んで、もっといい世界を築いていこうという意味では、文理融合をさらにと強くしていくのは一つの形なのかなというふうにも思っております。ちょうどコロナ禍で、やはり豊かなコミュニケーションって何だろうというのを結構強く感じる場所もあったので、そういうところが一つ切り口かなと思っております。

☆ そうですね。今まさに言われましたように、いわゆる工学のというか、手に持てるような、そういうものだけを扱うのではなくて、通研の場合は、今情報であるとか、そういった非常に広範囲なものも非常に先端にされているということで、通研オリジナルないろんな魅力的なところがあると思いますので、そういったところを生かすようなというのが、我々として見ても非常に頼もしいというふうに思いました。以上です。

☆ ありがとうございます。一つだけちょっと補足させていただきます。共同プロジェクト研究という観点でのご質問をいただいたので、電気通信研究所としてやっていますのが組織間連携というものです。電気通信研究所とよその研究所、以前は大阪大学の産研さんともちょっとやらせていただいていますけれども、全く同じような組織ではなくて、ちょっと相互補完ができそうなグループ、そういう組織がもしありましたら、そういう関係もこれから大切にしていきたいというふうに思っております。今のところは2件ですけども、例えば、国立台湾大学とは、人工知能やロボットなどの研究をしている組織のセンターとの連携ですので、相互補完的にいいかなというふうに思っておりました。

★ ありがとうございます。ちょっと関連するところで言うと、文理融合というお話があって、これはすごく重要なんですけども、通研としては人材を入れてというお話をされていました。でも、もともと通研が持っているコンピテンシーみたいなのを考えると、自分たちで全部やれないよなというふうに思ったときに、そこでどこ連携するかというのが新しいポイントだと思うんですね。それで、今までの連携というのは、多分相補的と言いながら、どちらかという理の中での相補的な部分。だから、文という社会の問題みたいなどころまで含めたときに、どこ連携していくかみたいなどころ。そこが何か具体的なイメージがあればお話いただきたいし、もしこれからであれば、そういうところをぜひ考えていただけたらというのは、私は聞きながらずっと思っていたことなんですけれども。

☆ 具体的な話は、まだ手持ちはないんですね。今後しっかり考えていきたい。ただ、最近ですと、やはりクロスアポイントメントという形で、ルーサーにカップリングしていくという形もあり得ますので、そこから始めて、その強さをいろいろ加減していくというので、この仕組みを使えば、まずはどんどん連携ができて、その形を少しずつつくっていくというのはあるかなと思っております。

- ★ それが一つと、もう一つは、せっかくなコミュニケーションの大きなテーマを人間性豊かなコミュニケーションと掲げられているので、それを予算要求のときとかにテーマを設定されるとおっしゃったんだけど、そこに何か旗を立てて、中堅が核になってみんなを求心するみたいな、何かそういうこともできたら。無理を言っているんじゃないんですけれども、いいかなみたいにちょっと感じたりします。
- ☆ ありがとうございます。
- ☆ 今のご意見とも関係しますが、応用物理学会で企業の方とコミュニケーションしたときに、従来型の学会でのボトムアップ型の半導体の結晶成長だけでは今の企業から見ると十分な魅力がないと。もっと出口や社会とのつながり、社会実装から、デバイスよりももっと大きな目標を掲げ、そこにいろんな分野の人が集約できるシステムをつくってほしいと、そういうことを伺ったんですね。これまでの議論は、多分、そのようなことをイメージして話されてらっしゃるのかなと思いました。
- ☆ ありがとうございます。
材料デバイス技術も魅力的で、それをさらに発展させるという意味でも、やはり具体的な例えばそのシステム出口が幾つかあると、やはりもっとブラッシュアップしなければいけないとなると、また新たな活性化になるというので、そういうふうな形の仕組みが大事かなと思っております。
- ☆ バックキャスト型で、到達地点が分かるような、ということなのかなと思いました。
- ★ おっしゃるとおりだと思います。
それで、全部通研でやるという話をお願いしているわけではないんですね。今日なんかもいろいろ見せていただくと、スピントロニクスみたいなもので、うんと超低消費電力のものができますと。今、半導体が日本で随分話題になっていますけれども、それが社会を変えるということですよ。例えばデータセンターも変わるみたいな、そういう有機的につながっている社会になってきているので、その中でうまく価値をアピールいただく。それから、豊かなコミュニケーションという切り口でも、何が世の中に行くのかというところが見えると、価値がうんと上がるかなという気はちょっとしました。はい、すみません。どうぞ。
- ☆ 女性教員について、もう一度お聞きしたいんですけれども、この分野は本当に人を探するのは大変なので、ここまで着実に増えてきているというのはすばらしいことだというふうに感じております。
この後、本当に重要になってくるのが、その入った方々がいかに活躍できる環境を構築していくかということだと思うんですが、それについて、研究所のほうで何かこういったことをしているというのがあればぜひ教えていただきたいと思うんですけれども、いかがでしょうか。
もしあまりなければ、そういうのも少し検討していただいて、例えば女性のライフイベントなども考慮した形でよくやられているのは、サポートの方を充てるとか、そういうことも含めて、何かその次のステップとして、入った方をより活躍できるような環境づくりというのもぜひ目標に入れていただければいいかなというふうに考えております。
- ☆ ありがとうございます。
確かに、どちらかという、所で何とかというよりは、その受け入れた教員等の個別のケアになっている面があるかもしれません。
だから、もっともっと増やすことを考えた場合には、そういった大きな仕組みというか、インセンティブを与えながらというのをやらないと、さらなる増員は望めないかなと感じています。

- ☆ そうすると、恐らく女性だけでなく男性にとっても働きやすい職場環境になってくるかと思しますので、その観点をこの次のステップとしてぜひ入れていただければと思います。
- ☆ ありがとうございます。
- ★ 今回の件は、全学での議論みたいなものは、あんまりないんですか。
- ☆ 例えば、工学研究科では、女性専用の公募としてDEIという仕組みを推進しています。また、ケアでいうと、例えば最近ですと男性の育児休暇というのも積極的にやりなさいということを大学として推進しており、結果的には女性に対する支援につながっている形です。
でも、まだちょっと単発的なので、もっと全体的にというのは少しずつ良くしていこうと考えております。
- ★ ありがとうございます。
- ☆ ちょっと話を戻して申し訳ないんですけども、先ほどの文理融合の話なんですけど、私は仕事柄、大学全体を見ているんですが、生命医科学のほうはもうかなりそのところが進んでいて、社会実装というところに行く、もう文系の人が入らないと話にならないみたいな感じになっているわけですね。ですから、薬は作りました。いいんですけども、ではそれをどうやって普及させますかとか、法律をどう変えますか、どういう政策を提案しますかというふうな形になっていて、もうかなり進んでいて、逆にそういうところがないプロジェクトはなかなか大型のお金を取れないというふうな状況になっているので、恐らく理系のほうも、例えばエネルギー問題とかだとかなりそういうところは進んでいると思いますので、やはり単に女性を増やすという観点だけではなくて、その全体のプロジェクトをどういうふうには最後は社会に浸透していくかという観点からも、ぜひご検討をいただくといいのかなというふうに思いました。
- ☆ ありがとうございます。大変大事な視点だと思います。我々も社会実装のためには、まさにそれがマストだと、文系的な実装がというので、しっかりウォッチしていきたいと思います。
- ★ ありがとうございます。
ほかにかがでしょうか。
- ☆ 今回の議論にも関係すると思うんですけども、そういう競争とか、エンゲージメント。エンゲージメントというのは別の意味の他者との連携とか、他組織との連携という観点でいうと、これは外国の事例だったら専門のコンサルタントみたいなのを大学でも雇って何かつなげると。企業だと結構よくやっているんですよ。そういうところで顔をつないでもらって、そこからは話は合うので盛り上げていくということをやっているんですけども、現在そういうことは、大学全体も含めてやられているんでしょうか。
- ☆ 大学では、やはり研究者と、その現場というか企業と連携するというときには、橋渡しの人がいないんじゃないかという話になって、そこはかなり強くウォッチして、そういう人をどんどん雇用しないという問題意識を持っています。例えば、先ほどの民間との連携はこのままだととてもできないんじゃないかということ。つまり研究者が全部やっているんですね。これだと研究どころじゃなくなっちゃうんです。先ほどの研究時間の確保というのに関して、そこは大学全体としての大きな動きが今あります。
- ☆ そういう意味では、専門のコンサルみたいなのも将来的には入れていくということ。
- ☆ そうですね。

- ☆ 意外と大きな案件につながったケースとかも、企業だとよくあるので、大学とかでもそういうのを積極的に入れると、大学の先生の研究の負荷をかけることなくというところがあるので、よろしく願いいたします。
- ☆ ありがとうございます。
- ★ ほかにいかがでしょうか。
指名して申し訳ないんですけども、5時に退席される丸山さん、何かコメントとかお話しされることはありますか。
- ☆ 最後の点ですけども、文理融合の話で、今日の話の中で僕はすごく非常にいいなと思ったのは、共同利用の取組が非常によくやられているようですので、その中でうまく文理融合型のプロジェクトを推進されると非常にいいんじゃないかなと思いました。
ほかに幾つかありますけれども、それは後でメールでコメント差し上げます。
- ☆ ありがとうございます。ではまた、ぜひよろしくお願いいたします。
- ★ ありがとうございます。
- ☆ では、ここで失礼いたします。申し訳ございません。
- ★ ほかにいかがですか。
- ☆ 女性の問題で、今日お伝えしたいことが一つありまして、女性が活躍しやすい環境ということなんですけれども、今、九大で国際調査をしているんですね。その結果、育休とか、そういう制度上のものだけでは不十分で、「心理的な安全性」を確保する、自由にものが言える、受け入れられていると感じられる組織にするということが大事だそうです。女性が少ないと、どうしても一人ずつバラバラに分散した状態になってしまう。それが一番よろしくないらしいんですね。
例えば、もっと女性がグルーピングできる機会を作ったり、あとは職場でメンターをつける。メンターは研究室の上司は駄目らしいんですね。仕事に関わるので。他所の研究室の男性であっていいらしいです。必ずしも女性じゃなくてもいいんですけども、研究室の外で話せる人をちゃんと作る、そういうシステムにするべきだと。今まだ調査中なんですけれども、そのうちまとめて報告しますが、東北大学がたくさんの女性を採られようとしているのはすごくいいことだと思いますので、ぜひ(上記のようなことを)お願いできればと思っています。
- ☆ ありがとうございます。そういうところの配慮も少し考えたいと思います。
メンタルケアという意味では、相談室というものを設けておりますけれども、もっと充実させるということは大事なことであり、ぜひ考えたいと思います。
- ★ どうぞ。
- ☆ ちょうど今、メンタリング、メンターのお話が出ましたけれど、先ほども助教の先生にメンター制度、これ学内ですかね、されているというふうなことだったんですけども、これは具体的にどのような、例えば複数のメンターなのか、あるいはメンタリングのとき、メンティーも含めて、すごくやはりスキルが実際には必要だというふうに思うんですけども、そのあたりどのような仕組みで具体的にどういう成果が上がっているか、もし事例があればご教示いただければありがたいです。

☆ 学際科学フロンティア研究所というところがありまして、そこはどちらかというと、採用してもその場所には研究スペースとかがなくて、メンターの先生の研究室、ですから例えばメンター、通研の先生がいらっしゃったら、実質その研究室に、その助教の方の人件費は、学際研が出すという仕組み。5年間の支援となります。採用の倍率が10倍を超えているぐらいですから、物すごく優秀な若手研究者が、学内だけではなくて、実は全国とか海外からも応募があつて、競争しています。だから、今日ご発表いただいたうちで言うと、そこを終えて、その後、通研の正式な教員になった事例です。本所では、そこを出たのは計2人ぐらいの事例があります。ですから、メンター教員として担当した後、実際に通研にて雇用という可能性もあります。

学際研で人件費を出すから、研究は、メンターの先生の場所で実施するという形です。ですから、通常の研究室構成にメンターがさらにいてという形ではなく、メンター教員の研究室の一員として若手研究者を受入れて研究を推進するという仕組みです。

☆ 中心としては、研究メンタリングということになりますかね。

☆ そうですね。

☆ ありがとうございます。

★ ほか、いかがでしょうか。

☆ いろいろ連携について聞きたいんですけども、いろんなほかの大学ですとか、先ほど文理統合とか、非常に連携に対して積極的な取組をされているのは感心したんですけども、ふと思ったんですけども、通研さんは材料から、デバイスから、システムから、通研さんの中でもかなりいろんな多分野にわたって、先ほども3つ見させていただいたら非常に質の高い研究をされているんですけども、その通研の中での横方向の連携。私なんか企業の研究室出身なので、同じ研究室で装置を奪いながらいろんな研究をやっていると、横の人がやっていることがよく見えると。先ほど、文理連携も、まずすぐ横にすることがという、おっしゃるとおりで、通研の中で物すごく幅広く質の高い研究室がたくさんあると思うんですけども、そういう横連携のシステムというものはあるんでしょうか。

☆ 例えば、今、私自身やっている話で、CRESTというのは、代表は佐藤茂雄先生で、あとは深見先生と私が入っていますというので横連携ができています。CRESTは5、5年間です。

このプロジェクトを提案をするときに、もう既に、出口はどうするのかということまで要求されます。深見先生は材料デバイス、私はシステム屋ですからという形で、どうしても幅広でやらないとなかなかプロジェクトが取れないというような形でございます。つまり、個別のテーマが募集されたとき、その応募の際に「システム実装までできます」という説明をしていることでございます。

☆ ありがとうございます。

★ ありがとうございます。

☆ 先ほどの文理融合の話にちょっと戻ってしまうんですけども、東北大は総合大学なわけであつて、実は私も法学部の卒業生なんですけれども、内部に多分、法学部もあるし、経済学部もあるし、文学部もあります。それで、文学部は心理とか、人間の行動とかですね。あと、経済学部も、いろんなそういうアライアンスというか、まさに専門的にいろいろやっていらっしゃる素晴らしい先生方がいると思いますので、ぜひ学内のそういう先生方とのつながりを利用していただきたいというのが1点です。

それから、もう1点は、女性の登用ということでお話がいろいろありましたけれども、せっかく今8名の方がいらっしゃるの、広報をすごく上手にやってらっしゃるといふうに、今日お話を聞いて感じました。

ぜひこの中に女性の先生、なかなか通研人に女性の先生、難しいかもしれませんが、あるいは何人かペアで出てもいいと思いますし、女性の先生が少しでも露出する機会を設けていただければというふうに思います。よろしくお願いします。

- ☆ まず、ちょっと露出が少ないんじゃないかということがありましたので、それは早速考えたいと思いますので、ありがとうございます。
それから、学内連携に関しましては、最初のときに組織の図があって、通研が主導するという、そう意味では幅広の組織という意味で、例えばヨッタインフォマティクスというのは、まさに学内連携をしっかりやっている。それで、センター長は今、塩入先生がご担当いただいていると。これは7ページ目のところです。そこに示された形で進めておりますので、通研の外にあるように見えますが、実質的には通研の先生がしっかり関与して、学内の女性も含めてそういったところを他研究科との少し連携をしながらやっているという事例でございます。
- ☆ ちょっと補足させていただきます。
通研人に関して、実は私の出しの中では、次は女性の先生にご登板いただくというふうに密かに思っておりました。まだご本人の承諾等も何もしていませんけれども。いろいろお忙しいので、ここというときに出ていただくと思っていましたので、そろそろここかなというふうに思っていました。よろしくお願いします。
- ☆ よろしくお願いします。
- ★ ありがとうございます。
- ☆ スライドの最後のキャラクター、リエックんの頭に宇田・八木アンテナがついていて、放送をやっている我々からすると、これはとても大事だと思います。一方で、インターネットの時代に、子供たちとか一般向けにも、それがちゃんと伝わるというと思います。いろいろご議論があったのでしょうか、反応はいかがでしょうか。
- ☆ これ、どうですか。
- ☆ このキャラクターに関しては、アンケートとかをまだ取ったことがなかったので、今度やってみようと思います。
ただ、アンテナというのは、やっぱり通研のシンボルですし、あと今らしいものとしてVRをちょっと想起させるものとしてヘッドマウントディスプレイとか、あとはロボットみたいなものもちょっと組み合わせてみようと思いましたが、その意図が、子供たちとか、ほかの方に伝わっているかどうか、まだ実は分かっていないので、今度調べてみたいと思います。ありがとうございます。
- ☆ 顔がヘッドマウントディスプレイだったのは分からなかったです。建物なのかなと思っていました。
- ☆ そうですか。失礼いたしました。
- ☆ 真面目な質問としては、基礎研究の評価についてお聞きします。やはり基礎研究の評価というのはとても難しく、論文の件数だとか、どれだけ引用されているかというのは分かりやすいですが、その分野での成果の価値みたいなものは、なかなか本当に専門家じゃないと伝わりにくいところがあります。今日も4件ご報告いただきましたが、自分に近いところと遠いところがあって、いいのか悪いのか評価しにくい部分があると思います。そういった研究の質的な評価は、何か工夫をされていれば教えてください。

☆ ありがとうございます。

先ほども申し上げましたように、毎年教員個人評価というので、それはいわゆるアカデミック的なインパクトがどうだという話、論文を出しているという話以外に、いわゆる教員個人が、実はこの研究はこんな意味があるんだというのを別立てで書いていただいて、それを見て、ああなるほどということと理解することで、これは人事委員会で評価をして、あと私のほうで取りまとめてという形で最終的な評価をしているという形です。

ですから、もちろん論文で出ていけば結果なので一つの明らかなものでございますが、そうではないけれども実はこんな形になっているんだというのは、それはその個人じゃないとなかなか説明していただけない。それは専門家じゃなくても、それを見ると、ああそういうことだったんだというので理解しますと。人事委員会がそれをちゃんと見ているという形で対応していると、そんな形でございます。

☆ 一つのやり方として、KPIをあらかじめ設定して、目標数値なり、その研究分野での何か達成すべき数値みたいなものを上げておいて、それに対して1年間とか3年間でこれだけ達成できました、というやり方もあると思いますが、そういったことはなさっていないでしょうか。

☆ それも可能性としてあると思います。

通研の場合は、それこそソフトウェアから、材料・デバイスのハードのかなりの物理の部分まで含めているので、多分KPIも一律ではちょっとできなくて、その先生に説明していただくのかなと思っています。これはこんな意味があるんですということを直接ご説明頂くことです。それを広く理解して、ああそういうことなんだということを把握します。評価する人事委員会の人員も幅広く全部の分野の教員にて構成されておりますので、その中で価値というのをよくディスカッションして決めていくということとでございます。それは毎年やりますので、だんだん理解が深まっていくということだと思います。

☆ 今日出していた資料の数値とかグラフは、ほとんどが結果としてこうでした、というものでした。一方、例えば何年後にこういう目標に設定したいとか、そういうのもあると、要は多ければ多いほどいいということの手前で、この辺までをここで目指しますとか、企業だと大抵求められるので、そういうのがあると、もうちょっと締まるかなと思いました。

☆ ありがとうございます。

先ほど、世界30傑と比較していろんな分野についての今の場所というのがありますので、それを多分こういうふうに上げていこうということが、大体例えば我々所長会議メンバーでは理解して、そのために向けてこういうことをということを個別に話をしていくのがいいかなと思っています。

☆ 分かりました。ありがとうございます。

★ ありがとうございます。ほかにいかがでしょうか。

ちょっとルール違反的などところがあるんですけども、今、価値評価の話があって、先ほど、価値ベースの検討をされているというお話をされていました。それで、まだいっちゃったら、そこをどういう人がどうやっているのか、もうちょっとヒントになるようなお話をいただくと多くの人に参考になるかと思うんですけども、いかがでしょうか。すみません、急に振って申し訳ないですが。

☆ 今、価値ベースのことで我々が取り組んでいますのは、今日のスライドにもありますように、実はこの7月に社会実装本部というものを新たに立ち上げて、僕らが持っている技術がどれだけの企業さんにとって価値を提供できるのかということ、しっかりとマーケティングベースで試算できるような機能を今後持とうということと着手したところであります。

ですので、通研さんにおかれても、産学連携人材の拡充、強化というところがうたわれていましたけれども、恐らくそこが一つの大きなポイントになるのではないかなというふうに私は思います。以上です。

- ★ ありがとうございます。ですから、先生がご自身でやられるということと、また別のパターンでやられているということですね。
- ☆ ええ、はい。
- ★ ですから、その辺が一つのヒントなのかもしれないなという感じがします。ありがとうございました。
- ☆ ありがとうございます。
- ☆ 何かありますか。
- ☆ すみません。私が言うのはどうかと思うんですが。
今、社会的な価値についてのお話がありましたけれども、そのとおりだと思います。それで、時々ですけれども、私なんかも先生方の申請書の作成のお手伝いをするときに、先生方の技術がどういう位置づけにあるのかと、そういうことを第三者的な視点で評価するというのをやるのがございます。そういうのを広げていって、先生方の研究の位置づけというものを明確にすれば、おっしゃるようなことに貢献できるかなというふうに考えています。以上です。
- ★ ありがとうございました。
ちょうど予定の時間になりましたので、運営協議会の議論はここで終わりにしたいと思います。委員の皆さん、非常に有意義なご意見をいただきまして、ありがとうございました。
それでは、戻します。
- ☆ 江村委員長、ご進行、大変ありがとうございました。また、委員の皆様方から長時間にわたりまして貴重なご意見をいただきまして、ありがとうございます。
それでは、閉会のご挨拶として、所長の羽生より御礼のご挨拶を申し上げます。
- ☆ 長時間にわたりまして、本当に貴重なご意見をいただきました。この動画は録画しておりますので、後でしっかり、ちょっと聞き逃したところも含めて復習をして、次回に向けてしっかり取り組んでまいりたいと思います。また引き続きこういった場で、来年はもうちょっと環境がよくなってというか、皆さん免疫をしっかり持った形になっていけば対面で、通常ですと本当は懇親会を含めて、ここではなかなか言いにくかったことをもうちょっとざっくばらんに言えるようなこともできるかと思えます。
以上、本日は長時間にわたりましてありがとうございました。また来年もどうぞよろしくお願いいたします。
- ☆ 大変お疲れさまでございました。本日はこれで運営協議会を閉じさせていただきます。皆様ありがとうございました。

資料編

第1 人 事

1. 教員

(人)

区分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
教授	21(0)【1】	23(0)【1】	23(0)【1】	22(0)【1】	21(1)【1】
准教授	22(3)【1】	21(2)【1】	23(2)【1】	19(2)【2】	21(2)【2】
講師	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】
助教	24(3)【2】	21(3)【3】	20(3)【4】	19(3)【4】	16(2)【3】
特任教授	1(0)【0】	2(0)【0】	2(0)【0】	2(0)【0】	2(0)【0】
特任准教授	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	0(0)【0】	1(1)【0】
特任助教	1(1)【0】	3(3)【0】	1(1)【0】	4(4)【1】	3(1)【1】

※()は外国人、【 】は女性で内数

2. 客員外国人教員

(人)

区分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
客員教授	6【2】	8【0】	0【0】	0【0】	2【0】
客員准教授	3【0】	2【1】	0【0】	0【0】	1【0】
計	9【2】	10【1】	0【0】	0【0】	3【0】

※【 】は女性で内数

3. 客員教員

(人)

区分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
客員教授	13(6)【2】	13(8)【0】	6(1)【0】	7(0)【0】	11(2)【0】
客員准教授	4(3)【0】	3(3)【1】	2(0)【0】	4(0)【0】	4(1)【0】
計	17(9)【2】	16(11)【1】	8(1)【0】	11(0)【0】	15(3)【0】

※上記 2 の客員外国人教員を含む()は外国人、【 】は女性で内数

4. 特任研究員・学術研究員

(人)

区分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
特任研究員	—	—	—	0(0)【0】	5(1)【1】
学術研究員	11(3)【1】	11(5)【0】	8(3)【1】	5(1)【0】	4(0)【1】
計	11(3)【1】	11(5)【0】	8(3)【1】	5(1)【0】	9(1)【2】

※雇用契約による研究員、()は外国人、【 】は女性で内数
 ※令和3年度より特任研究員制度が新設された。

5. 各種研究員

(人)

区分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
客員研究員	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】
受託研究員	6 (1)【0】	4 (2)【0】	3 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】
受託研修員	1 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】
民間等との 共同研究員	11 (0)【0】	10 (0)【0】	10 (0)【0】	10 (0)【0】	9 (0)【0】
日本学術振興会 特別研究員	10 (4)【1】	10 (3)【0】	10 (2)【1】	8 (3)【2】	6 (1)【2】
内訳 PD	2 (2)【1】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	1 (1)【0】	0 (0)【0】
DC	8 (2)【0】	10 (3)【0】	10 (2)【1】	7 (2)【2】	6 (1)【2】
日本学術振興会 外国人特別研究員	0 (0)【0】	1 (1)【0】	2 (2)【0】	2 (2)【0】	3 (3)【0】
日本学術振興会 外国人招へい研究者	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	1 (1)【1】
計	28 (5)【1】	26 (6)【0】	26 (4)【1】	22 (5)【2】	21 (5)【3】

※()は外国人、【 】は女性で内数

6. 客員外国人教員(外国人研究員) ※令和4年度実績

氏 名	任用期間	研究内容
MANETH, Sebastian	R4.8.22～ R4.9.21	双方向変換言語のための計算モデルとプログラミング言語への応用
HERMAN, Pawel Andrzej	R4.10.31～ R4.12.15	スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤
ANDERSEN, Søren Krogh	R4.11.1～ R4.11.30	定常的視覚誘発電位を用いた注意計測

7. 学術研究員 ※令和4年度実績

氏名	任用期間	研究内容
井上 順一郎	R4.4.1～ R5.3.31	戦略的創造研究推進事業(CREST) 「計算科学を用いた磁気抵抗スイッチ素子基盤材料の創出」
小原 紀子	R4.4.1～ R5.3.31	戦略的創造研究推進事業(CREST) 「スピンエッジコンピューティング向け材料デバイス技術」
玉越 晃	R4.4.1～ R5.3.31	・戦略的創造研究推進事業(CREST) 「スピンエッジコンピューティング向け革新的アーキテクチャ」 ・革新的パワーエレクトロニクス創出基盤技術研究開発事業 「脱炭素社会実現に向けた集積化パワーエレクトロニクスの研究開発」 ・次世代 X-nics 半導体創生拠点形成事業 「スピントロニクス融合半導体創出拠点」
RYZHII VICTOR	R4.4.1～ R4.12.28	科学研究費助成事業 基盤研究(A) 「グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性操作とそのテラヘルツレーザへの応用」
西野 有	R5.3.1～ R5.3.31	NICT 委託研究事業 「Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け未利用周波数帯活用型の無線通信技術の研究開発」

8. 学振特別研究員

氏名	任用期間	研究内容
大西 悠貴	R2.4.1～ R5.3.31	知的生産作業の支援を促す動的壁面型デバイスによる視覚・聴覚情報伝達制御手法の探索
YOON JU YOUNG	R3.4.1～ R6.3.31	反強磁性ワイルセミメタル薄膜のスピン物性と機能性に関する研究
住 拓磨	R3.10.1～ R6.3.31	神経回路網における損傷修復性の in vitro 解析とそのモデル化
服部 祥英	R4.4.1～ R7.3.31	筋筋膜経線の視座から切り拓く四脚ロボットの超効率的全身自由度協調運動の実現
井上 理哲人	R4.4.1～ R7.3.31	複数台ドローンを用いた屋外移動体の多次元情報計測システムの開発
佐藤 まどか	R4.4.1～ R6.3.31	膜内電界制御と機械学習の融合に基づく人工細胞膜機能評価システムの創出

9. 教員以外の研究員(ポスドク)の転出先

(人)

転出先	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
企業	1	1	0	1	1
通研・教員	2	4	0	3	0
他部局・教員	0	0	1	0	0
他部局・産学官 連携研究員、 COE フェロー (令和元年度～:他部 局・学術研究員)	1	0	1	1	0
他大学・高専教員	0	0	0	0	0
他大学ポスドク	0	1	0	0	0
国外大学・企業	0	0	2	3	0
帰国	0	0	0	0	0
その他	3	1	1	1	2
転出者計	7	7	5	9	3
在職者数	4	4	9	3	7

※在職者:特任研究員・学術研究員及び日本学術振興会特別研究員(PD)

10. 支援職員

(人)

転出先		平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
専任職員	技術職員	16【6】	15【5】	14【5】	15【6】	14【5】
	事務職員	26【16】	27【19】	28【20】	28【20】	28【19】
	再雇用職員	1【0】	2【1】	2【1】	2【1】	2【1】
	計	43【22】	44【25】	44【26】	45【27】	44【25】
非常勤職員	技術職員	14【10】	17【10】	18【12】	20【10】	24【8】
	事務職員	20【18】	25【22】	26【22】	23【20】	21【18】
	計	34【28】	42【32】	44【34】	43【30】	45【26】

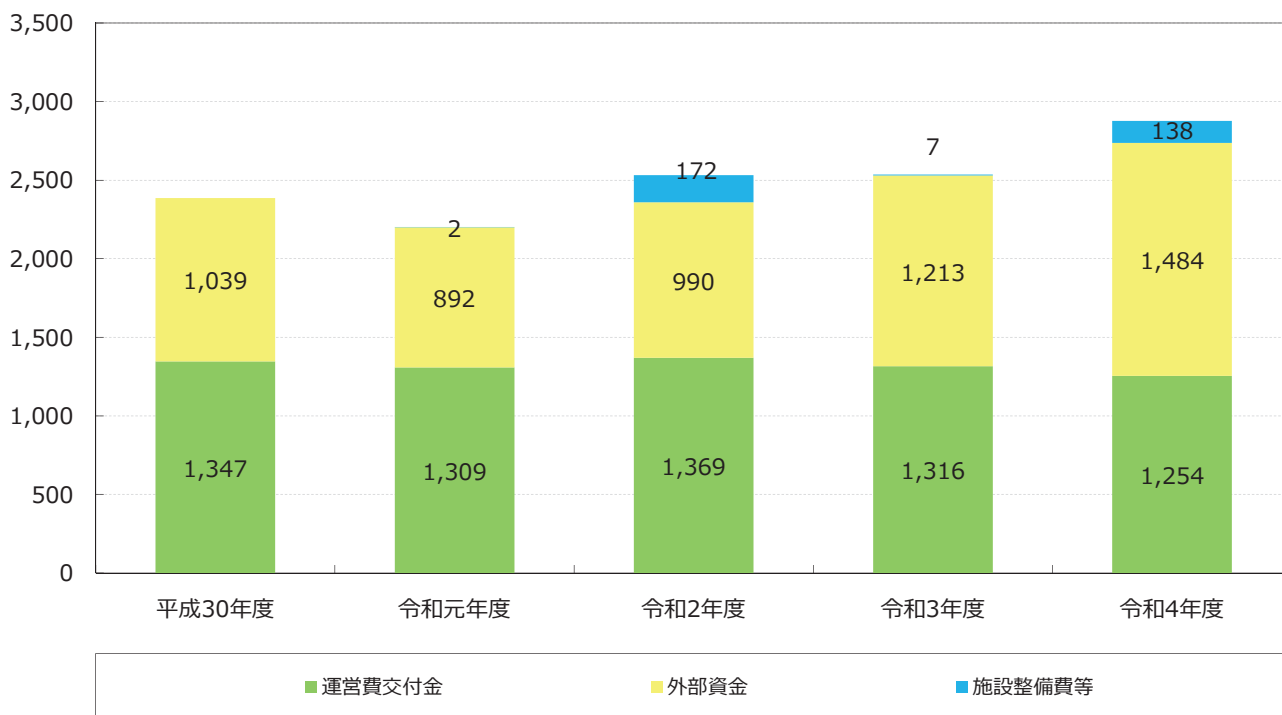
※【 】は女性で内数

※平成 30 年度より採用された限定正職員は「専任職員」に含む。

第2 予 算

1. 電気通信研究所における予算の推移

単位：百万円

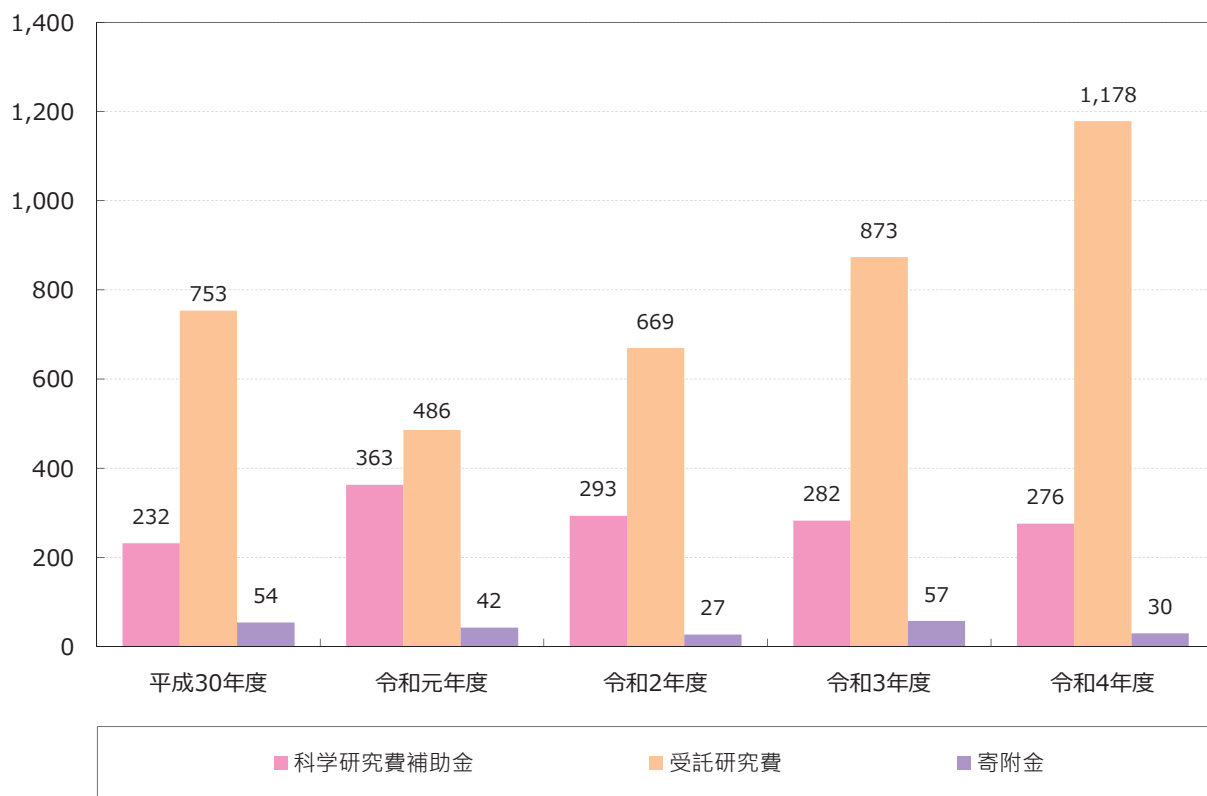


(千円)

予算額内訳		平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
運営費 交付金	人件費	790,118	742,128	801,695	744,591	699,851
	物件費	556,937	566,533	567,249	571,737	553,851
運営費交付金 計		1,347,055	1,308,661	1,368,944	1,316,328	1,253,702
外部資金	科学研究費補助金	231,643	363,325	293,404	282,400	276,146
	受託研究費	753,391	486,053	669,454	873,456	1,178,325
	寄附金	54,344	42,436	27,200	57,422	29,604
	(再掲)間接経費	134,311	155,852	172,874	234,487	315,346
外部資金 計		1,039,378	891,814	990,058	1,213,278	1,484,075
施設整備 費等	災害復旧経費	0	1,936	172,477	6,732	20,472
	移転事業経費	0	0	0	0	0
	施設整備費	0	0	0	0	117,997
施設整備費等 計		0	1,936	172,477	6,732	138,469
合計		2,386,433	2,202,411	2,531,479	2,536,338	2,876,246

2. 外部資金受入状況

単位：百万円



(千円)

外部資金内訳	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
科学研究費補助金	231,643	363,325	293,404	282,400	276,146
受託研究費	753,391	486,053	669,454	873,456	1,178,325
寄附金	54,344	42,436	27,200	57,422	29,604
合計	1,039,378	891,814	990,058	1,213,278	1,484,075

第3 教 育

1. 学部学生・大学院生

(人)

区分	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
学部(4年)	57(3)[7]	49(1)[5]	53(1)[6]	60(0)[6]	56(1)[3]
大学院前期課程	132(17)[8]	132(16)[7]	141(17)[9]	146(14)[14]	146(13)[12]
工学研究科	73(6)[0]	85(8)[1]	92(11)[4]	96(9)[9]	98(4)[7]
医工学研究科	8(0)[1]	5(0)[1]	9(0)[1]	8(0)[1]	2(0)[0]
情報科学研究科	51(11)[7]	42(8)[5]	40(6)[4]	42(5)[4]	46(9)[5]
大学院後期課程	32(11)[1]	30(8)[1]	29(10)[2]	26(12)[4]	28(15)[5]
工学研究科	21(6)[1]	19(4)[0]	17(6)[0]	12(6)[1]	13(10)[1]
医工学研究科	1(0)[0]	1(0)[0]	2(0)[0]	4(0)[0]	5(0)[1]
情報科学研究科	10(5)[0]	10(4)[1]	10(4)[2]	10(6)[3]	10(5)[3]
計	221(31)[16]	211(25)[13]	223(28)[17]	232(26)[24]	230(29)[20]

※()は外国人、【 】は女性で内数

2. 留学生

(人)

区分	平成30年度	令和元年度	令和2年度	令和3年度	令和4年度
学部4年	3	1	1	0	1
大学院前期	17	16	17	13	13
大学院後期	11	8	10	11	14
計	31	25	28	24	28
地域別内訳					
①アジア	27	21	22	22	24
②北米	1	1	1	0	1
③中南米	1	1	2	1	1
④ヨーロッパ	2	2	3	1	2
⑤オセアニア	0	0	0	0	0
⑥中東	0	0	0	0	0
⑦アフリカ	0	0	0	0	0

3. 研究所等研究生・特別訪問研修生

(人)

区分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
研究所等研究生	6(5)	9(8)	7(6)	4(4)	6(4)
特別訪問研修生	6(6)	5(5)	0(0)	0(0)	0(0)
計	12(11)	14(13)	7(6)	4(4)	6(4)

※()は外国人

4. 論文題目一覧

(修士論文)

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電気エネルギーシステム専攻	社交ダンスにおける力学的相互作用を活用した対人協調制御メカニズムに関する研究	秋元 凜太	石黒 章夫
	GaN on Si パワーデバイス駆動法と高周波トランスの最適設計による高効率で低ノイズな 2MHzDCDC コンバータに関する研究	小川 耕平	遠藤 哲郎
	電子機器の近傍磁界計測のための新たな同期手法に関する研究	苅田 健徳	石山 和志
	チスイコウモリの互惠的利他行動に学ぶサバイバビリティの高いシステムの設計論に関する研究	川村 松吉	石黒 章夫
	多脚歩行に内在する脚と胴体の協調制御則に関する研究	清野 源太	石黒 章夫
	異方性の不均一性を考慮したひずみセンサの高感度化に関する研究	豊田 恵伍	石山 和志
通信工学専攻	超 100 GHz CMOS 増幅器用回路素子モデリングに関する研究	青木 拓海	末松 憲治
	マルチホップ通信における Dual-CTS を適用したルーティング手法の研究	高山 彰悟	末松 憲治
	ミリ波オンチップアンテナの放射パターン測定系に関する研究	石森 晃	末松 憲治
	共通鍵暗号モジュールに対する深層学習を用いた高精度サイドチャンネル解析に関する研究	蝦名 克海	本間 尚文
	ストカスティック演算に基づく大規模組合せ最適化問題の高速求解に関する研究	勝木 康太	羽生 貴弘
	大容量分散ストレージシステムのデータアクセス性能に関する研究	川田 悠貴	田中 陽一郎
	組込みアクセラレータを備えた省エネルギー不揮発 CPU 向け命令セットの構成に関する研究	坂本 佳介	羽生 貴弘
	光・無線融合フルコヒーレント伝送に関する研究	佐藤 大晟	廣岡 俊彦
	耐量子計算機性暗号モジュールの安全性評価に関する研究	田中 裕太郎	本間 尚文

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
通信工学専攻	グラフェンチャネル FET のゲートスタックプロセス高度化とその高速・高感度テラヘルツ波検出への応用に関する研究	田村 紘一	尾辻 泰一
	確率的暗号化状態処理の実装に関する研究	田村 佑樹	本間 尚文
	InP 系光電子融合ダブルミキサトランジスタの高変換利得化に関する研究	中嶋 大	尾辻 泰一
	光注入同期の偏波無依存化に関する研究	長屋 輝	廣岡 俊彦
	メモリ暗号化スキームの CPU 実装に関する研究	羽田 大倫	本間 尚文
	多モードファイバにおける GAWBS 雑音特性に関する研究	平井 孝明	廣岡 俊彦
	無線 IoT センサノード検出用 Wi-Fi バックスキヤッタ受信機に関する研究	藤谷 雄紀	末松 憲治
電子工学専攻	レトロディレクティブアレーを用いたバックスキヤッタ通信タグに関する研究	本間 優作	末松 憲治
	混合変調半導体レーザの 100Gbit/s 動的単一モード動作の研究	内山 香	八坂 洋
	ノンコリニア反強磁性 Mn ₃ Sn 薄膜のスピン構造の電気・光学的検出に関する研究	内村 友宏	深見 俊輔
	原子拡散接合法による Cu/Ni 接合界面の原子拡散に関する研究	菊地 瞬	島津 武仁
	六方晶窒化ホウ素上へのグラフェンのヘテロ成長とデバイス化に関する研究	小濱 路生	佐藤 茂雄
	次世代通信デバイスのモノリシック集積化に向けた SiC 上グラフェンの電波送受信機能に関する研究	石田 智也	佐藤 茂雄
	ランダム構造探索法による新奇ホウ化物超伝導体の理論研究	上原 健也	白井 正文
	走査型非線形誘電率顕微鏡による Al ₂ O ₃ /ダイヤモンド界面の微視的評価に関する研究	尾形 結友	白井 正文
	重金属/強磁性ヘテロ構造におけるスピン軌道創発インダクタンスに関する実験的研究	菅野 之矩	深見 俊輔
	ノンコリニア反強磁性体におけるスピントルクの定量評価と磁気構造制御に関する研究	岸 桂輔	深見 俊輔
	Study of Quantum Measurement of Light Using Photon-Number-Resolving Detection (光子数識別検出を用いた光の量子計測の研究)	胡 正楠	枝松 圭一
	確率論的コンピューティング向け超常磁性磁気トンネル接合の外場応答と耐性に関する研究	小林 奎斗	深見 俊輔
	人工神経細胞回路の薬効評価系への応用に関する研究	酒井原 一守	平野 愛弓
	混合変調半導体レーザの変調帯域拡大に関する研究	島 卓未	八坂 洋
	超伝導デバイスを用いた光子数測定技術の研究	島田 涼介	枝松 圭一

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電子工学専攻	光負帰還による混合変調半導体レーザーの広帯域周波数雑音低減に関する研究	吸坂 直樹	八坂 洋
	酸化処理を施した非磁性/強磁性ヘテロ構造におけるスピン軌道トルク生成に関する研究	千葉 峻也	深見 俊輔
	強磁性体/絶縁体接合における交換相互作用の機械学習モデルに関する研究	中村 友哉	白井 正文
	感覚運動制御を担うレザバーニューラルネットワークの構造最適化に関する研究	藤本 ありさ	佐藤 茂雄
	FPGA を用いた半導体量子デバイス的高速測定・制御系の研究	藤原 義弘	大塚 朋廣
	機械学習による半導体量子ドット電荷状態推定手法の研究	武藤 由依	大塚 朋廣
	多次元物性情報の画像情報解析によるデバイス機能発現機構に関する研究	山本 うらん	佐藤 茂雄
	周回リング型量子メモリによる光子の保存と同期の研究	吉信 克樹	枝松 圭一
	Engineering of Position-Momentum Entanglement between Photon Pairs Generated by Parametric Down-Conversion (パラメトリック下方変換により発生した光子対の位置-運動量エンタングルメント制御)	李 文睿	枝松 圭一
	ジョセフソン伝送線路を用いた物理リザバーに関する基礎的研究	渡邊 紘基	佐藤 茂雄
	バイオハイブリッド二次元膜の構造と応用に関する研究	渡部 開登	平野 愛弓
	Ag 系薄膜を用いた大気中の原子拡散接合法の接合性能に関する研究	渡部 雄貴	島津 武仁
	Low-Loss Electro-optic Switching of Single-Photon Quantum Bits (単一光子量子ビットの低損失電気光学スイッチング)	王 鵬飛	枝松 圭一
情報基礎科学専攻	LPWA を用いた IoT 機器のための移動エージェントフレームワークに関する研究	坂本 和也	長谷川 剛
	定理証明支援系における型の相互変換を利用した柔軟な証明修復	芳賀 勇太	中野 圭介
	双方向変換プログラミング言語同士の記述力に基づく表現力比較	宮坂 優介	中野 圭介
システム情報科学専攻	VR 空間内のバーチャルアバタに対する身体所有感の身体性注意による計測	杉浦 崇	塩入 諭
	双方向散乱分布関数に基づくパスガイディング法による物理ベースレンダリングの効率化	飯塚 亮斗	北村 喜文
	インスタンス画像群の抽出表示による多クラス画像分類結果のインタラクティブな可視化手法	上関 啓斗	北村 喜文
	A Smartphone-based Network System for Estimating and Visualizing Human Voice Propagation in an Open-Plan Office (開放型オフィスにおける音声伝搬の推定・可視化のためのスマートフォンを用いたネットワークシステム)	王 鴻燃	北村 喜文

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
システム情報科学専攻	実空間内の音手掛かりを用いた VR 視聴覚リダイレクションに関する研究	小川 郡平	北村 喜文
	3次元音空間の印象を規定する物理要因に関する基礎的研究	沖田 歩	坂本 修一
	脳波計測および顔映像計測による学習時の注意状態の推定	加藤 遥	塩入 諭
	動的に伸縮する杖型デバイスを用いた VR における地面の起伏の提示に関する研究	上出 千隼	北村 喜文
	顔表情認識の異文化比較 ～日本人と台湾人の比較～	上之蘭 翔吾	塩入 諭
	背景情報との関連を考慮した聴覚オブジェクト認知過程の解明に関する基礎的研究	栗林 真幸	坂本 修一
	Investigation of Self-initiated Attention by EEG Measurements (脳波計測による自発的注意の研究)	侯 登哲	塩入 諭
	高自由度・高精度歯切削体験が可能な可搬型 VR 訓練システムに関する研究	高野 樹	北村 喜文
	球状アレイを用いた音源分離アルゴリズムの実装方法が分離性能に及ぼす影響	武元 航	坂本 修一
	顔表情および生体情報を用いた画像の好み判断推定手法の開発	長田 皓	塩入 諭
	光学式モーションセンサのための原カメラデータによるフレーム間モーション類似度評価を用いたバイラテラルフィルタに関する検討	東山 聖生	北村 喜文
	ルームスケール VR における開扉時の視触覚を用いた方向感覚操作手法に関する研究	星川 結海	北村 喜文
	自己運動の物理的および主観的規定因が頭部回転中の音空間知覚に及ぼす影響	守部 颯一郎	坂本 修一
	可笑しみのある音声の合成法に関する基礎的研究	渡邊 悠希	坂本 修一
応用情報科学専攻	物理的暗号技術による秘密計算の効率化に関する研究	五十鈴川 頼宗	菅沼 拓夫
	様々な速度の対象に対応可能な時空間情報に基づく移動物体検出手法	遠藤 広人	菅沼 拓夫
	教育現場における状況に応じた動的なアクセス制御に関する研究	佐々木 優	菅沼 拓夫
	デジタルツインの概念に基づくインテリアデザイン支援システムに関する研究	曾根 悠生	菅沼 拓夫
	プロジェクターから模様のある箇所へ投影した文字情報の視認性向上手法に関する研究	田原 智史	菅沼 拓夫
	カードベース暗号におけるシャッフル回数の削減に関する研究	中林 佳祐	菅沼 拓夫
	SDN を利用したマルチドメイン環境における災害発生直後のデータバックアップ手法の研究	野崎 亮也	菅沼 拓夫
	マルチエージェントに基づく学習データ流通基盤に関する研究	本田 光来	菅沼 拓夫
	入力系列の時間構造に対する時空間学習則のシナプス結合重み空間について	熊谷 太翼	堀尾 喜彦
	膜平行電圧の作用機構解明のための人工細胞膜観察系の構築に関する研究	陰山 弘典	平野 愛弓
医工学専攻			

(博士論文)

専攻	論文題目	学生氏名	指導教員名
電子工学専攻	下地酸化膜を利用した原子拡散接合法による高光透過率接合界面の形成と高光強度光学デバイスへの応用に関する研究	米澤 元	島津 武仁
情報基礎科学専攻	スマートフォンの表裏両面に対する垂直・剪断方向の力を入力可能な磁気式インタフェースに関する研究	土田 太一	北村 喜文
システム情報科学専攻	高次感性知覚における多感覚情報統合に関する研究	阿部 翔太	坂本 修一
システム情報科学専攻	Actuated Walls as Media Connecting and Dividing Physical/Virtual Spaces (物理/バーチャル空間の接続と分離を媒介する可動壁に関する研究)	大西 悠貴	北村 喜文
応用情報科学専攻	蝸牛に基づく無反射伝送線路モデルのニューラルネットワークリザバーを用いた雑音下音声認識へ応用	織間 健守	堀尾 喜彦
	A Study on Flexible Recognition Systems for Customer Activity in Retail Environments (小売店舗における消費者行動の柔軟な認識システムに関する研究)	温 佳昊	菅沼 拓夫

第4 研 究

1. 研究成果の掲載・公表件数

トピックス (新聞記事等)	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
	65	48	33	15	44

2. トピックス一覧

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
1	東北大、固体中の量子情報の保持時間を記述する法則を発見	R4.4.5	日本経済新聞	金井 駿
2	固体中の量子情報の保持時間を記述する法則を発見 ～誰でも短時間で量子ビット材料探索が可能に～	R4.4.5	Tii 技術情報	金井 駿
3	A mathematical shortcut for determining quantum information lifetimes	R4.4.6	Argonne National Laboratory, Press Release (US)	金井 駿
4	量子ビットの材料探索を大幅に加速する法則を発見 ＝東北大など	R4.4.6	ASCII.jp	金井 駿
5	A mathematical shortcut for determining the lifetime of quantum information	R4.4.6	NerdsWire	金井 駿
6	A mathematical shortcut for determining quantum information lifetimes	R4.4.6	PhysOrg	金井 駿
7	A mathematical shortcut for determining quantum information lifetimes	R4.4.6	Science Daily	金井 駿
8	Mathematical method for determining the lifetime of quantum information	R4.4.6	Short Saveall	金井 駿
9	A Mathematical Shortcut For Determining Quantum Information Lifetimes	R4.4.6	Verve Times	金井 駿
10	量子ビットの材料探索を大幅に加速する法則を発見 ＝東北大など	R4.4.6	MIT Technology Review	金井 駿
11	A Mathematical Shortcut To Determine The Amount	R4.4.7	Article Date	金井 駿
12	東北大など、固体中の量子ビットの「位相緩和時間」を記述する法則を発見	R4.4.7	Biglobe ニュース	金井 駿
13	Mathematical Shortcut Estimates Quantum Coherence Time	R4.4.7	COMMUNICATIONS of the ACM	金井 駿

	記事名	掲載年月日	出典	関係教員
14	A mathematical shortcut for determining quantum information lifetimes	R4.4.7	EurekAlert!	金井 駿
15	A mathematical shortcut for determining quantum information lifetimes	R4.4.7	FLIPBOARD	金井 駿
16	A mathematical shortcut for determining quantum information lifetimes	R4.4.7	HEAD TOPICS	金井 駿
17	東北大など、固体中の量子ビットの「位相緩和時間」を記述する法則を発見	R4.4.7	Mapion ニュース	金井 駿
18	A mathematical shortcut for determining quantum information lifetimes	R4.4.7	Opera News	金井 駿
19	東北大など、固体中の量子ビットの「位相緩和時間」を記述する法則を発見	R4.4.7	ニコニコニュース	金井 駿
20	東北大など、固体中の量子ビットの「位相緩和時間」を記述する法則を発見	R4.4.7	マイナビニュース	金井 駿
21	A mathematical shortcut for determining quantum information lifetimes A new, elegant equation allows scientists to easily compute the quantum information lifetime of 12,000 different materials.	R4.4.7	Technology org	金井 駿
22	New Mathematical Shortcut for Calculating an All-Important Feature of Quantum Devices	R4.4.7	AZO Quantum	金井 駿
23	“Spin Qubits” Science-Research, April 2022 — summary from DOE Pages and Astrophysics Data System	R4.4.7	Medium	金井 駿
24	東北大、IC設計データに紛れた不正機能を高速に検知する技術を開発	R4.4.13	日経クロステック	本間 尚文
25	東北大、ハードウェアに挿入された不正な機能を高速かつ漏れなく検知する技術を開発	R4.4.13	日本経済新聞	本間 尚文
26	東北大ら、スピンを利用したインダクタ原理を提案	R4.4.14	オプトロニクス オンライン	山根 結太 (FRIS・助教)
27	東北大など、スピントロニクス技術を用いた新たなインダクタ原理を提案	R4.4.16	マイナビニュース	山根 結太 (FRIS・助教)
28	ICチップの不正検証時間が200分の1になるスゴイ技術	R4.4.20	ニュースイッチ	本間 尚文
29	東北大など、ナノ材料と人工知能を利用した高精度の一酸化炭素センサを開発	R4.5.12	日本経済新聞	但木 大介 (助教)
30	東北大、ナノ材料と機械学習で一酸化炭素を検出	R4.5.13	ASCII.jp	但木 大介 (助教)
31	スマホ盗聴の脅威 半導体回路の改ざん、専門家が警鐘	R4.5.14	日本経済新聞	本間 尚文

	記事名	掲載年月日	出典	関係教員
32	京大・准教授ら研究支援1億円 稲盛財団選出	R4.5.22	朝日新聞	深見 俊輔
33	ナノ材料と人工知能を利用した高精度 の一酸化炭素センサを開発 ～ヒトの呼気による肺疾患の検査・早 期診断への応用が加速～	R4.5.31	Tii 技術情報	但木 大介 (助教)
34	東北発の技術立国	R4.6.29	日本経済新聞	故・西澤 潤一 (名誉教授)
35	総合力で半導体産業再興を CEATEC で産学官連携サミット	R4.10.24	電波新聞	遠藤 哲郎 (CIES)
36	仙台に半導体再興の芽 東北大発、世界に省電力品	R4.10.31	日本経済新聞	遠藤 哲郎 (CIES)
37	半導体の消費電力100分の1に 東北大、MRAM 研究加速	R4.12.7	日本経済新聞	遠藤 哲郎 (CIES)
38	新原理グラフェントランジスタによる高 速・高感度テラヘルツ波の検出に成功 ～次世代6G&7G超高速無線通信の 実現に明るい光～	R4.12.15	Tii 技術情報	尾辻 泰一 佐藤 昭
39	東北大ら、新原理グラフェントランジスタ でTHz検出	R4.12.15	OPTRONICS ONLINE	尾辻 泰一 佐藤 昭
40	東北大と理研、新原理グラフェントラン ジスタによる高速・高感度テラヘルツ波 の検出に成功	R4.12.15	日本経済新聞	尾辻 泰一 佐藤 昭
41	室温下の高速高感度テラヘルツ検出素 子実現にグラフェンが有用 東北大など	R4.12.16	マイナビニュース	尾辻 泰一 佐藤 昭
42	新原理グラフェントランジスタによる高 速・高感度テラヘルツ波の検出に成功	R4.12.16	アドコム・ メディア	尾辻 泰一 佐藤 昭
43	日本国際賞に光通信技術の中沢氏ら	R5.2.1	日本経済新聞	中沢 正隆 (名誉教授)
44	「ジャパン・プライズ」発表 光データ通信への貢献 評価	R5.2.17	電波新聞	中沢 正隆 (名誉教授)

3. 科学研究費助成事業採択一覧(令和4年度研究代表者)

研究種目	氏名	R4年度 交付額 (千円)	補助金 総額 (千円)	研究課題名	採択 年度	終了 年度
新学術領域 研究 公募研究	福原 洸	4,000	7,200	四脚動物の肩部ハンモック構造から切り拓く即時適応的な柔剛調節メカニズム	R3	R4
学術変革領 域研究 (B)総括班	加納 剛史	2,800	7,000	ヘテロ群知能:多様な細胞の集団動態から切り拓く群知能システムの革新的設計論	R3	R5
	山本 英明	3,500	8,400	脳神経マルチセルラバイオコンピューティングに関する総括	R3	R5
学術変革領 域研究 (B)計画研究	加納 剛史	10,300	33,600	ヘテロ群知能の構成論的理解から切り拓くハイアベレージなシステムの設計論	R3	R5
	山本 英明	6,300	24,500	マルチセルラコンピューティングシステムの実細胞再構成	R3	R5
基盤研究 (S)	深見 俊輔	23,400	155,500	ノンコリニアスピントロニクス	R1	R5
基盤研究 (A)	平野 愛弓	6,700	35,000	単一イオンチャンネル分子/バイオ二次元物質ハイブリッド膜の機能解析と応用	R1	R4
	堀尾 喜彦	6,400	34,300	ブレインモルフィックコンピューティングハードウェア基盤の構築	R2	R6
	尾辻 泰一	4,900	32,400	グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性操作とそのテラヘルツレーザへの応用	R3	R7
	吉田 真人	7,500	32,000	振幅・位相および時間情報を用いた3次元光秘匿通信技術の研究開発	R3	R6
	本間 尚文	4,200	31,600	セキュリティハードウェアの形式的設計・検証理論の深化と展開	R3	R7
	羽生 貴弘	5,300	32,400	IoT 応用向け高速かつ超低消費電力でダイ・ハードなロジック LSI 基盤技術の開発	R3	R6
	坂本 修一	7,200	31,860	人間の選択的情報処理に基づく聴空間共有型コミュニケーションプラットフォームの実現	R4	R7
	石黒 章夫	9,700	32,400	古生物運動制御学:絶滅動物の運動様式の革新的復元方法の創成	R4	R7
基盤研究 (B)	金井 駿	3,500	13,700	強磁性体ナノウィンドウによる色中心スピン対のもつれ制御	R2	R4
	田中 陽一郎	3,000	13,200	大規模神経構造可視化を実現するコンピューショナル・ストレージ技術の研究開発	R2	R5
	後藤 太一	1,500	13,400	位相干渉を用いた多入力スピン波電子融合回路チップの開発	R2	R6
	山末 耕平	2,100	13,500	走査型非線形誘電率顕微鏡による原子層材料・デバイスのナノ・原子スケール物性評価	R2	R5
	福原 洸	2,900	13,600	動物の前腕ロック機構から切り拓く四脚ロボットの四肢多自由度化	R3	R5
	佐藤 昭	2,000	13,700	半導体二次元プラズモンの三次元整流効果とその超高感度テラヘルツ電磁波検出への応用	R3	R6
	鬼沢 直哉	5,600	13,100	確率的デバイスモデルに基づく量子モンテカルロ計算ハードウェアプラットフォーム構築	R3	R6
	夏井 雅典	4,000	13,100	スピントロニクスベース高性能・省電力・高信頼 IoT センサノードの基盤研究開発	R3	R6
	高嶋 和毅	4,700	13,400	自律動作物理デバイス群による VR ユーザの身体支持と高精度インタラクション	R3	R5
	横田 信英	7,900	13,600	共振型スピン光インターフェースデバイスの創出	R4	R6
	佐藤 茂雄	6,500	13,500	エッジ応用に向けた超低消費電力スパイキングニューラルネットワークハードウェア	R4	R6
	金田 文寛	3,800	13,300	多モード多光子発生、検出と高速フーリエ変換による多次元量子計測	R4	R6

研究種目	氏名	R4 年度 交付額 (千円)	補助金 総額 (千円)	研究課題名	採択 年度	終了 年度
基盤研究 (C)	菊池 健太郎	900	2,800	先進的な高階書き換え理論に基づく遅延評価関数型プログラムの検証	R1	R4
	阿部 和多加	1,000	2,100	高密度水素・水素化合物における非調和格子振動の解析手法開発と構造探索への応用	R3	R5
	LLANDRO Justin	1,300	3,200	Emergent and topological properties of 3D chiral gyroid nanostructures	R3	R5
	中野 圭介	700	3,100	双方向変換言語のための計算モデルとプログラミング言語への応用	R3	R6
	藤田 和之	1,000	3,200	作業環境の物理的微小動作による姿勢誘導手法の確立	R3	R5
	羽鳥 康裕	1,300	3,200	循環調整を介する視触覚情報統合のメカニズム	R4	R6
挑戦的研究 (開拓)	平野 愛弓	3,900	19,900	Lateral bias に基づく革新的膜タンパク質機能解析場の構築	R2	R5
	堀尾 喜彦	5,700	19,800	「自分」を持つハードウェア:脳型自律ハードウェアのための動的原自己の実現	R3	R6
	井上 光輝	6,000	19,800	非線形位相シフトを用いたアクティブ位相制御スピンのロジック演算素子	R2	R4
挑戦的研究 (萌芽)	高嶋 和毅	1,300	4,900	視聴覚情報の伝搬を制御可能な動的ワークプレイス構築基盤	R2	R4
	平永 良臣	2,000	5,000	マイクロ波エンハンス電気化学歪み顕微鏡の原理解明とイオン伝導体等の評価への展開	R3	R5
	金田 文寛	2,700	5,000	単一光子の決定論的スイッチングを可能にする光ファイバー内群速度「不整合」カー効果	R3	R4
	横田 信英	2,100	4,900	外部変調器フリー直交振幅変調光源への挑戦	R4	R5
	佐藤 茂雄	1,600	4,800	ハイブリッド脳の構成と脳型計算機能の検証	R4	R6
若手研究	上野 嶺	1,200	2,300	物理複製困難ハードウェア ID に基づく高安全・高信頼な認証システムの開発	R2	R5
	小宮 麻希	500	3,100	新たな膜内電圧制御に基づくイオンチャネル解析プラットフォームの創生	R3	R5
	守谷 哲	1,200	2,100	報酬信号を考慮したスパイクニューロン用学習モデルの提案とそのハードウェア実装	R3	R4
	新屋 ひかり	1,400	3,500	有限温度における輸送伝導特性が計算可能な第一原理計算手法の開発	R4	R7
国際共同研究 強化(B)	加納 剛史	2,400	14,100	バクテリアのバイオフィーム形成現象から切り拓く超サバイバルシステムの革新的設計論	R1	R4
	藤田 和之	4,600	14,100	適応的な触覚提示による VR 体験の没入感向上と動作範囲の削減	R1	R4
	山本 英明	2,200	15,500	人工神経細胞回路を基盤とする神経変性疾患モデリング技術の開発	R4	R7

※基金分については 2022 年度請求金額を記載

4. 外部資金の受入状況

上段：件
下段：百万円

区 分		平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
民間等との 共同研究	件数	43	41	46	50	54
	金額	88	80	185	143	155
受託研究	件数	19	24	21	23	27
	金額	187	218	274	493	1,087
奨学寄付金	件数	36	19	16	30	22
	金額	54	42	27	57	30

5. 受賞・表彰件数

	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
叙勲・受賞・表彰	50	49	43	42	40

6. 受賞・表彰者一覧

	団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
1	文部科学省・ 令和 4 年度科学技術分野の文 部科学大臣表彰 「創意工夫功労者賞」	阿部 健人	研究基盤技術セ ンター・工作部	「汎用機械を用いた樹脂製反応 容器の製作方法の考案」	R4.4.8
2	IEEE SSCS Japan Chapter・ IEEE SSCS Japan Chapter Academic Research Award	坂本 佳介	新概念 VLSI シ ステム	「アクセラレータ制御命令を組み 込んだ RISC-V ベース省エネル ギー不揮発 CPU の構成」	R4.5.11
3	電子情報通信学会 通信ソサイエティ・ チュートリアル論文賞	廣岡 俊彦	超高速光通信	「Beyond 5G 時代のネットワー クビジョンー2030 年に向けたア ーキテクチャとブレイクスルー技術 の鳥瞰ー」	R4.5.11
4	一般財団法人 みやぎ産業科学振興基金・ 研究奨励賞	夏井 雅典	新概念 VLSI シ ステム	「スピントロニクスベース省エネル ギー・高性能・高信頼 LSI 設計 技術とその応用」	R4.5.21
5	IEEE Computer Society, Technical Community on Multi-Valued Logic・ Kenneth C. Smith Early Career Award in Microelectronics	伊東 燦	環境調和型 セキュア情報シ ステム	「A Formal Approach to Identifying Hardware Trojans in Cryptographic Hardware」	R4.5.21

	団体名・賞名	氏名	所属	業績	受賞日
6	一般社団法人情報処理学会・情報処理学会東北支部奨励賞	勝木 康太	新概念 VLSI システム	「Integral Stochastic 演算に基づく Simulated Annealing 法の高速度化」	R4.6.8
7	一般社団法人電子情報通信学会・第 59 回(2021 年度)電子情報通信学会業績賞	尾辻 泰一	超ブロードバンド信号処理	「二次元プラズモンの共鳴現象を用いたテラヘルツ光源・検出素子の先駆的研究」	R4.6.9
8	公益社団法人応用物理学会・2022 年応用物理学会春季学術講演会第 17 回英語講演奨励賞	内村 友宏	スピントロニクス	”Observation of non-collinear antiferromagnetic domain structure in epitaxial Mn ₃ Sn thin films”	R4.6.27
9	The 47th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves 2022・Swiss Terahertz Prize (The Best Poster Paper Award)	中嶋 大	超ブロードバンド信号処理	”UTC-PD-Integrated HEMT for Optical-to-MMW/THz Carrier Frequency Down-Conversion; Scaling Rule of Conversion Gain on UTC-PD Mesa Size”	R4.9.2
10	一般社団法人電子情報通信学会・第 30 回 2022 年総合大会エレクトロニクスソサイエティ学生奨励賞	中嶋 大	超ブロードバンド信号処理	受賞論文: 「光サブキャリア信号高強度化による UTC-PD 集積 HEMT の光ダブルミキシング変換利得向上」	R4.9.6
11	公益社団法人日本磁気学会・令和 4 年度日本磁気学会業績賞	深見 俊輔	スピントロニクス	受賞題目: 「新機能スピントロニクス素子の開発と革新的情報処理への展開」	R4.9.7
12	公益社団法人日本磁気学会・日本磁気学会フェロー	深見 俊輔	スピントロニクス	磁気の学理および応用に関する研究の発展に多大な功績のあった研究者を顕彰するため、フェローの称号を授与されたものです。	R4.9.7
13	公益社団法人計測自動制御学会・計測自動制御学会論文賞	石黒 章夫 加納 剛史	実世界コンピューティング	受賞論文: 「分散協調制御によるマルチモータシステムの一構成法」	R4.9.8
14	公益社団法人応用物理学会・第 20 回有機分子・バイオエレクトロニクス分科会論文賞	山本 英明	ナノ集積デバイス・プロセス	受賞論文: ”Impact of modular organization on dynamical richness in cortical networks”	R4.9.22
15	2022 IEEE 11th Global Conference on Consumer Electronics(GCCE 2022)・IEEE GCCE 2022 Excellent Poster Awards (Gold Prize)	横田 信英 八坂 洋	応用量子光学	発表題目: ”Detection and Manipulation of Laser Projection Pattern for Effective Evacuation Guidance”	R4.10.18
16	NPO 法人モバイル・コミュニケーション・ファンド・第 21 回(2022 年)ドコモ・モバイル・サイエンス賞 先端技術部門優秀賞	本間 尚文	環境調和型セキュア情報システム	「セキュリティハードウェア設計・検証理論の開拓とその応用」	R4.10.21
17	The 6th Symposium for The Core Research Cluster for Materials Science and Spintronics, and the 5th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science・Best Poster Award	内村 友宏	スピントロニクス	”Domain imaging of an antiferromagnetic Weyl semimetal Mn ₃ Sn thin films by magneto-optical Kerr effect”	R4.10.26

	団体名・賞名	氏名	所属	業績	受賞日
18	The 6th Symposium for The Core Research Cluster for Materials Science and Spintronics, and the 5th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science・Best Poster Award	大田 陸斗	スピントロニクス	"Insensitivity to the bias voltage in double-free-layer stochastic magnetic tunnel junction"	R4.10.26
19	The 6th Symposium for The Core Research Cluster for Materials Science and Spintronics, and the 5th Symposium on International Joint Graduate Program in Materials Science・Best Poster Award	佐藤 佑磨	スピントロニクス	"Size dependence of thermal stability factor in non-collinear antiferromagnetic Mn ₃ Sn nanodot"	R4.10.26
20	日本バーチャルリアリティ学会 IVRC 実行委員会・IVRC2022 ワクワク賞 (ゲスト審査員賞)	大岡 凌 板倉 晃平 米澤 晴 田中 雄大 木村 聡紀 松井 遼太郎	情報コンテンツ	VR 作品名:「手んぷら」 Interverse Virtual Reality Challenge では、1993 年より毎年学生を中心としたチームでインタラクティブ作品を企画・制作するチャレンジコンテストを開催し、このたび、LEAP STAGE においてゲスト審査員による「ワクワク賞」を受賞されました。	R4.11.5
21	The 13th International Conference on "Recent Progress in Graphene Research" (RPGR 2022)・The Best Student Paper Award	田村 絃一	超ブロードバンド信号処理	受賞論文: "Unipolar photothermoelectric THz detection assisted by Coulomb drift/diffusion of Dirac fermions in asymmetric dual-grating-gate graphene FETs"	R4.11.24 (メール受信日)
22	IEEE Magnetics Society・"Distinguished Lecturer for 2023" 称号授与	田中 陽一郎	情報ストレージシステム	垂直磁気記録を中心とする磁気データストレージテクノロジーに関する業績により、IEEE Magnetics Society から "Distinguished Lecturer for 2023" の称号が授与されました。これは磁性の科学技術に貢献をした研究者に与えられる称号です。	R4.11.24
23	ICETC 2022・Student Presentation Award	白幡 晃一	超高速光通信	受賞論文: "48 Gbit/s 256 QAM coherently-linked optical and wireless transmission at 61 GHz band using a small planar antenna for 6G" (K. Shirahata, T. Sato, K. Kasai, T. Hirooka, M. Yoshida, and M. Nakazawa)	R4.12.1
24	一般財団法人 石田實記念財団・2022 年度石田實記念財団研究奨励賞特別賞(石田實賞)	葛西 恵介	超高速光通信	研究テーマ: 「レーザの高精度周波数・位相制御技術とそのコヒーレント多値光伝送への応用に関する研究」	R4.12.2
25	一般財団法人 石田實記念財団・2022 年度石田實記念財団研究奨励賞	Tseng Chia-Huei	高次視覚情報システム	研究テーマ: 「行動同期/脳活動同期に基づく対人コミュニケーションに関する研究」	R4.12.2

	団体名・賞名	氏名	所属	業績	受賞日
26	第4回生体膜デザインコンファレンス・ポスター発表賞	野村 駿介	ナノ・バイオ融合分子デバイス	ポスター発表： 「膜平行電圧測定系の長寿命化とイオンチャネル機能評価への応用」	R4.12.5
27	一般財団法人 青葉工学振興会・第16回青葉工学振興会賞	鬼沢 直哉	新概念 VLSI システム	「確率的コンピューティングに基づく脳型情報処理」	R4.12.9
28	独立行政法人 日本学術振興会・第19回(令和(2022)4年度)日本学術振興会賞	深見 俊輔	スピントロニクス	研究業績： 「新機能スピントロニクス素子の研究開発と新概念コンピューティングへの展開」	R4.12.15 (受賞者決定通知日)
29	公益財団法人国際科学技術財団・2023年 Japan Prize (日本国際賞)	中沢 正隆	IRIDeS	半導体レーザー励起光増幅器の開発を中心とする光ファイバ網の長距離大容量化への顕著な貢献に対して授与されたものです。	R5.1.24
30	公益社団法人応用物理学会・第44回(2022年度)応用物理学会論文奨励賞	Juyoung YOON	スピントロニクス	受賞論文： "Crystal orientation and anomalous Hall effect of sputter-deposited non-collinear antiferromagnetic Mn ₃ Sn thin films"	R5.2.1 (HP 公開日)
31	東北大学・令和4年度第2回プロミネントリサーチフェロー	福原 洸	実世界コンピューティング	研究テーマ： 「包括的生物模倣ロボットによる動物の形態機能・運動制御原理の解明および古生物運動復元への展開」	R5.2.1
32	東北大学・令和4年度第2回プロミネントリサーチフェロー	藤田 和之	情報コンテンツ	研究テーマ： 「人とワークスペースとのインタラクションに関する研究」	R5.2.1
33	公益社団法人本田記念会・第44回本多記念研究奨励賞	金井 駿	スピントロニクス	受賞対象研究： 「金属磁性スピンダイナミクスの新概念素子応用」	R5.2.23 (HP 公開日)
34	一般社団法人日本音響学会・日本音響学会東北支部令和5年東北地区若手研究者研究発表会 若手研究者優秀論文賞	沖田 歩	先端音情報システム	発表論文： 「高次アンビソニクス音場再現における周波数帯域別の空間解像度が空間印象に及ぼす影響」	R5.3.8
35	一般社団法人電子情報通信学会・2022年(令和4年)度マイクロ波研究会学生研究優秀発表賞	藤谷 雄紀	先端ワイヤレス通信技術	受賞論文： 「シングルキャリア変調信号を用いたセンサノード検出用 Wi-Fi バックキャッタ受信機における通信距離に関する検討」	R5.3.10
36	一般社団法人電子情報通信学会・2022年(令和4年)度マイクロ波研究会学生研究優秀発表賞	本間 優作	先端ワイヤレス通信技術	受賞論文： 「積層ストリップ線路型位相共役回路を用いた5GHz帯反射型レトロディレクティブアレー」	R5.3.10
37	一般社団法人情報処理学会・第27回情報処理学会シンポジウム「インタラクション2023」 インタラクティブ発表賞(一般投票)	橘 優希 藤田 和之 高嶋 和毅 北村 喜文	情報コンテンツ	研究発表： 「スマートフォンのみによる視線トラッキング技術を用いた展示案内アプリケーション」 橘優希, 藤田和之, 高嶋和毅, 北村喜文. スマートフォンのみによる視線トラッキング技術を用いた展示案内アプリケーション. インタラクション2023 論文集, pp.981-986, 2023年3月.	R5.3.10
38	令和5年東北地区若手研究者研究発表会・優秀発表賞	武元 航	先端音情報システム	研究発表： 「実装時の計算領域が球状アレイを用いた音源分離アルゴリズムの分離特性に及ぼす影響」	R5.3.16

研 究

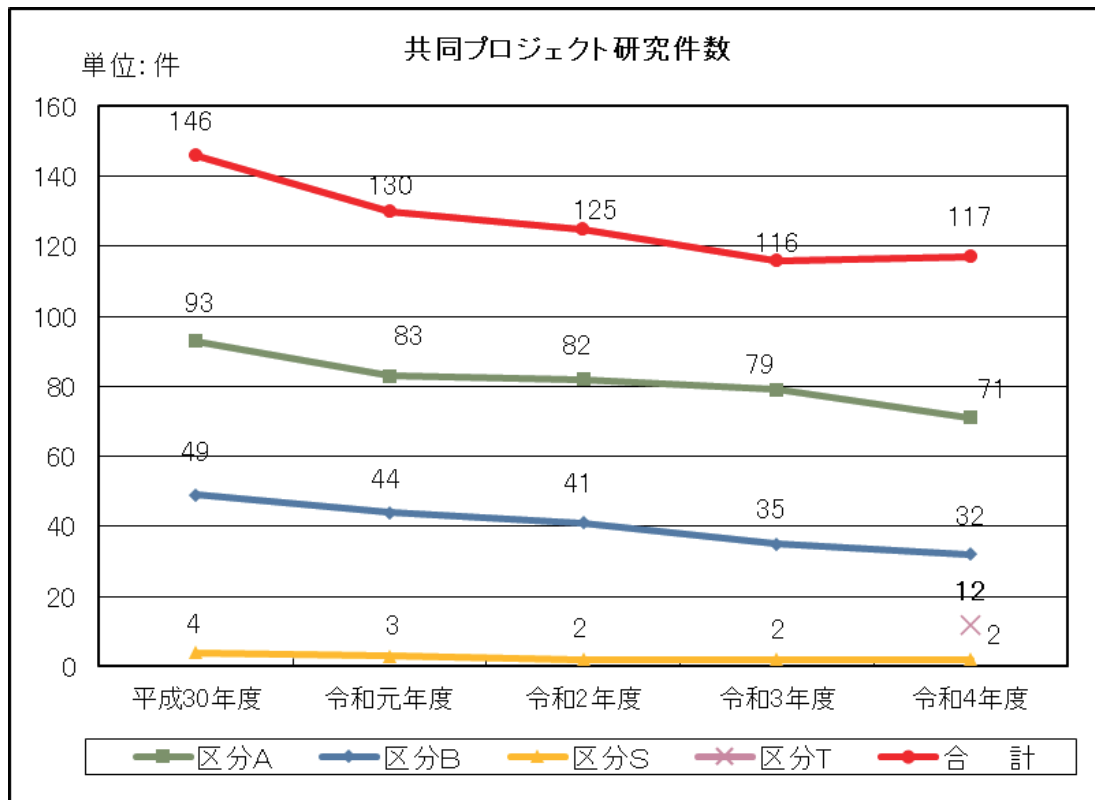
	団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
39	東北大学工学部・ 東北大学工学部長賞	久保 捺姫	先端音情報システム	本賞は、東北大学工学部の教育目標にかなない、卓越した学業成績を修めたものに対して工学部長から授与されました。	R5.3.23
40	一般社団法人情報処理学会・ フェロー称号付与	北村 喜文	情報コンテンツ	3次元ユーザインタフェースやバーチャルリアリティ等の研究で技術の発展と、数千人規模の2つの会議を含む多くの国際会議の誘致と運営に対して、分野の発展への貢献は多大であるとしてフェローの称号が授与されました。	R5.3.24

7. 発表論文数

区 分		平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
査読付学術論文	英文	112	129	157	120	105
	和文	12	5	17	8	9
	計	124	134	174	128	114
査読付国際会議		255	267	136	184	172
解説・総説		12	16	15	11	15
査読付国際会議、 査読なし国内研究会・ 講演会		327	314	298	329	303

第5 共同プロジェクト研究

1. 共同プロジェクト研究件数

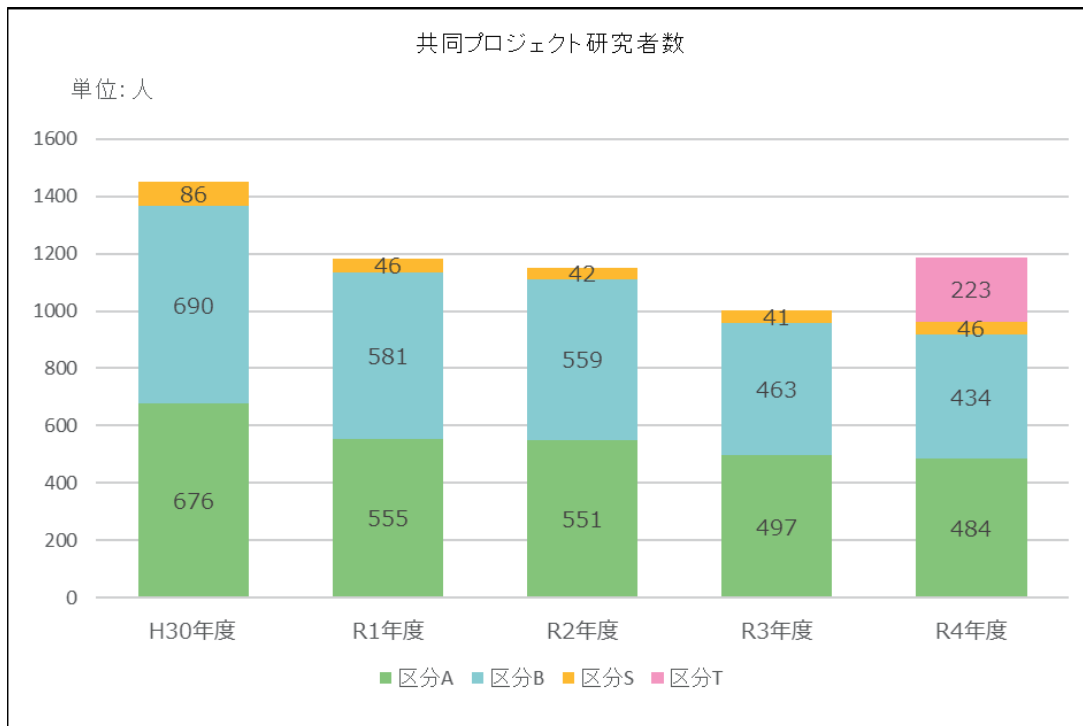


多様な共同プロジェクト研究のさらなる発展を推進すべく、研究区分に加え、以下6つの研究タイプを設けている。

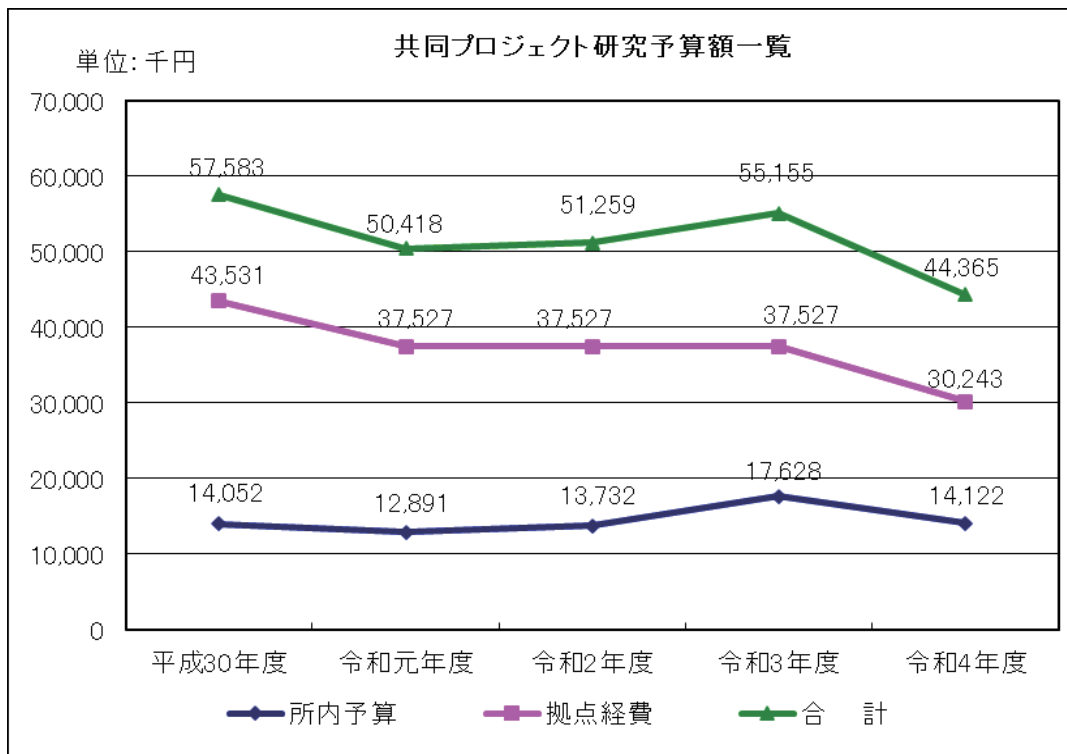
【令和4年度タイプ別採択件数】(タイプは複数選択可)

- 大型プロジェクト提案型: 3件
- 若手研究者対象型: 5件
- 萌芽的研究支援型: 43件
- 先端的研究推進型: 54件
- 国際共同研究推進型: 34件
- 産学共同研究推進型: 9件
- その他: 0件

2. 共同プロジェクト研究者数



3. 共同プロジェクト研究予算額



4. 共同プロジェクト研究から発展したプロジェクト

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
1. ヨッタインフォマティクス研究センター設置	国立大学法人機能強化促進費	H30-R4 年度 塩入諭,坂井信之, 大町真一郎 他 東北大学	共同プロジェクト研究「情報の質と価値を扱う科学技術の創造」(H28-H30)で進めた、情報の質と価値を取り扱うための研究組織「ヨッタインフォマティクス研究センター」を設置し、そのための文理融合プロジェクトを推進する。(H28/B14)
2. 高安全・高信頼な情報通信のためのトロイフリーLSIシステム設計・検証技術の開発	公益財団法人セコム 科学技術振興財団	H30-R4 年度 本間尚文,上野嶺 東北大学,神戸大学, 奈良先端科学技術大学院大学	本研究開発では、LSIシステムに挿入する悪意のあるハードウェア(ハードウェアトロイ)の検知手法を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「セキュリティハードウェアの電磁波解析に関する研究」(H29-30 年度)および「電磁情報セキュリティに関する研究」(H29-30 年度)から発展した。
3. スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST) チーム型研究	H30-R6 年度 佐藤茂雄,深見俊輔, 羽生貴弘 東北大学,弘前大学, 会津大学,群馬大学, 国立情報学研究所	Society5.0の実現に向けて、エッジコンピューティングシステムに求められる低消費電力性や常時学習機能などの要件を満たすために、不揮発アナログ記憶機能や豊富なダイナミクスを有するスピントロニクスデバイスと、それらを最大限に活用しうるアナログ CMOS 集積回路や最適化アーキテクチャを追究し、それらの原理実証により、社会実装に向けた道筋を明らかにする。(H29/B17,H30/A20)
4. 光子数識別量子ナノフォトニクスの創成	文部科学省 国家課題対応型研究開発推進事業(Q-LEAP)	H31-R9 年度 枝松圭一,福田大治 東北大学,産業技術総合研究所	光子状態が確定かつ高い量子干渉性を有する量子光源と、極めて高い精度・量子効率で光子数を識別し検出する光子数識別検出器を開発し、光子の量子性を駆使した量子計測を高度化。(H27/A05)
5. 耐量子計算機性秘匿計算に基づくセキュア情報処理基盤	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 (CREST) チーム型研究等	R1-R6 年度 本間尚文,上野嶺 東北大学,奈良先端科学技術大学院大学, 大阪大学	本研究開発では、サイバー攻撃・物理攻撃・量子計算機に耐性をもつ安全な情報処理基盤技術を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「先進的ハードウェアセキュリティ技術に関する研究」から発展した。(H29/B18)
6. 超低消費電力 TJ/CMOS Hybrid IoT デバイス基盤技術の研究開発	新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) SIP 第二期 戦略的イノベーション創造プログラム	H30-R4 年度 遠藤哲郎 東北大学	本提案では、スピントロニクス素子である磁気トンネル接合(MTJ)と CMOS 技術を融合させた MTJ/CMOS Hybrid 技術を用いて、あらゆる IoT デバイスに演算処理機能に加えて不揮発機能を融合させることで従来の消費電力と演算処理性能のジレンマを解消し、フィジカル空間に求められる飛躍的な低消費電力性能を有する IoT デバイスの基盤技術を構築する。本プロジェクトの内容は、H29 年度の共同研究プロジェクト(「高効率エネルギー利用に資する半導体デバイスとその集積システムに関する研究」及び「ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスとその新概念情報処理応用に関する研究」)における議論を通して提案されたものである。(H29/B03, H29/B05)
7. カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御	科学研究費助成事業挑戦的研究(萌芽)	R2-R4 年度 片野諭 物質・材料研究機構, 芝浦工業大学	本課題では、原子分解能を有する走査トンネル顕微鏡をベースとしたスペクトロスコーピー技術を駆使して、これまで未開拓であった酸化グラフェンのナノ光電子物性を解明する研究に取り組む。本研究は、共同プロジェクト研究「カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御」(H30-R2 年度)から発展した。(H30/A08)

共同プロジェクト研究

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
7. カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御	科学研究費助成事業挑戦的研究(萌芽)	R2-R4 年度 片野諭 物質・材料研究機構, 芝浦工業大学	本課題では、原子分解能を有する走査トンネル顕微鏡をベースとしたスペクトロスコピー技術を駆使して、これまで未開拓であった酸化グラフェンのナノ光電子物性を解明する研究に取り組む。本研究は、共同プロジェクト研究「カーボンナノマテリアルのナノスケール光計測と光電子物性の極限制御」(H30-R2年度)から発展した。(H30/A08)
8. 両耳間差による音の分離に腹話術効果が与える影響	科学研究費助成事業 若手研究	R2~R4 年度 森川大輔 富山県立大学	本研究では、両耳間差による音の分離に視覚情報が与える影響を明らかにする。本研究は、共同プロジェクト研究「単耳受聴と両耳受聴による音空間知覚の違いに関する研究」(H30-R1年度)から発展した。H30/A17
9. ネットワーク運用自動化に向けたネットワーク障害情報共有知の研究	科学研究費助成事業 基盤研究(B)	R1-R4 年度 北口善明 東京工業大学	ネットワークが複雑化するほどに障害を特定することが困難となる。エッジコンピューティング環境が広範に普及するほどにその度合いは顕著となる。本研究開発は障害特定に要する運用自動化を目的とした共有知の働きに着目した研究開発である。本研究は共同プロジェクト研究「エッジコンピューティング基盤の広域分散協調とその国際的展開」(H31-R2年度)から発展した。(H31/B10)
10. ブレインモルフィックコンピューティングハードウェア基盤の構築	科学研究費助成事業 基盤研究(A)	R2-R6 年度 堀尾喜彦, 池口徹, 藤原寛太郎, 島田裕, 加藤秀行 東北大学, 東京理科大学, 東京大学, 埼玉大学 大分大学	新たな計算の枠組みとしてブレインモルフィックコンピューティングを創生し、これを高効率・高性能なハードウェアとして実現するための基盤を構築する。このため、脳の生物物理学を、デバイス物理とダイナミクスを直接利用することによりボトムアップ的に再構成する。この際、脳の基本的な構造である階層的フィードバックを伴う双方向入れ子構造を脳型アーキテクチャとして構築し、脳に特異的な情報処理様式・機能を創発させる。さらに、ハードウェア試作により提案基盤の検証・解析を行い、新たな計算原理の探求に挑戦する。(H29/A21)
11. 制御レス高周波無線給電システムの実現に向けた研究開発	科学研究費助成事業 基盤研究(B)	R2-R4 年度 関屋大雄 千葉大学, 千葉工業大学, 東京理科大学, 福岡大学	本研究開発では、高周波ワイヤレス給電において、フィードバック制御を不要とする定電圧レギュレータを設計することを目的としている。本研究は、共同プロジェクト研究「高周波無線電力伝送システムの最適設計と高効率制御手法の確立」(H30年度)から発展した。(H30/B12)
12. 強誘電体キャパシタ型シナプスによる超小型・超低消費電力脳型システムの研究開発	人工知能研究振興財団研究助成	R2-R4 年度 中島時宜, 松田康彦 奈良先端科学技術大学, 龍谷大学	本研究では、「強誘電体キャパシタ型シナプスによる超小型・超低消費電力脳型システム」を研究する。本研究の一部は、共同プロジェクト研究「薄膜デバイスを用いた脳型集積システム」(H30年度)から発展したものである。H30/A28
13. 単原子長ゲートによる低環境負荷物質から成る高出力 THz 帯増幅器の創出	情報通信研究機構(NICT) Beyond 5G 研究開発促進事業	R4-R6 年度 吹留博一 他 東北大学, 産業技術総合研究所, 東京大学, 筑波大学, 広島大学	本研究開発では、ゲート長を単原子一個分の極限まで短縮化したトランジスタを創出する。これにより、低環境負荷物質のみを用いて、既存の THz 帯で動作する増幅器を凌駕するデバイスが実現される。(R03/A25)

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
14. 2D 材料・CMOS デバイス集積化技術の開発	科学技術振興機構 (JST) 未来社会創造事業	R4-R14 年度 吹留博一 他 東北大学, 産業技術総合研究所, 東京大学, 筑波大学, 広島大学	本研究開発では、二次元材料を用いたデバイスの創出のみならずそれらのデバイスの集積化技術を構築する。本技術は次々世代の論理集積回路に資するものとなる。なお、本事業において、吹留は主たる分担者を務めている。(R03/A25)
15. スピントロニクス確率論的コンピュータの大規模化に向けた材料・素子・回路・アルゴリズム融合研究	科学技術振興機構 (JST) 世界のトップ研究者ネットワーク参画のための国際研究協力プログラム	R5~R9 年度 深見俊輔 東北大学	神経変性疾患の多くは、神経回路網の機能異常としてその病態を理解する必要がある。研究代表者らはこれまでに、生体の脳神経系に近いネットワーク構造をもった神経細胞回路(「人工神経細胞回路」)を構築するための微細加工技術を開発し、神経回路網の基礎研究における有用性を示してきた。本計画では、培養細胞を用いた疾患モデリングで世界最高水準の技術を保有するバルセロナ大学 Jordi Soriano 准教授との国際共同研究を通じて、人工神経細胞回路の技術を神経変性疾患のモデリングそして機能動態解析へと展開する。(R02/A02)
16. 人工神経細胞回路を基盤とする神経変性疾患モデリング技術の開発	科学研究費助成事業 国際共同研究強化(B)	R4-R7 年度 山本英明, 佐藤茂雄 東北大学	神経変性疾患の多くは、神経回路網の機能異常としてその病態を理解する必要がある。研究代表者らはこれまでに、生体の脳神経系に近いネットワーク構造をもった神経細胞回路(「人工神経細胞回路」)を構築するための微細加工技術を開発し、神経回路網の基礎研究における有用性を示してきた。本計画では、培養細胞を用いた疾患モデリングで世界最高水準の技術を保有するバルセロナ大学 Jordi Soriano 准教授との国際共同研究を通じて、人工神経細胞回路の技術を神経変性疾患のモデリングそして機能動態解析へと展開する。(R02/A02)
17. Beyond 5G 宇宙ネットワーク向け未利用周波数帯活用型の無線通信技術の研究開発	情報通信研究機構 (NICT) 革新的情報通信技術 (Beyond 5G(6G)) 基金事業	R4-R8 年度 末松憲治 東北大学	本研究開発では、Q/V 帯を用いる衛星通信に対して、高機能なデジタルビームフォーミング送受信システムの実現をめざす。本研究は、共同プロジェクト研究「超 100GHz 帯光ファイバ給電ダイレクトデジタル RF 送受信機の研究」(R2-R3 年度)から発展した。(R02/A15)
18. グラフェンディラックプラズモンの時空間対称性操作とそのテラヘルツレーザへの応用	科学研究費助成事業 基盤研究 (A)	R3-R7 年度 尾辻泰一, 佐藤昭, 吹留博一 東北大学, 会津大学, 神奈川工業大学	本研究は、グラフェンディラックプラズモンのパリティ(空間幾何学的)対称性と時間反転対称性を能動的に制御することによって未踏 THz 周波数帯で室温動作する高強度・超高速変調型グラフェンレーザトランジスタの実現に挑む。共同プロジェクト研究(国際型)H31/A01 から発展した。
19. 動作ユニット AI による人の感情推定とキャラクターの感情豊かな動作生成による遠隔コミュニケーション環境の構築	新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 人工知能活用による革新的リモート技術開発/状態推定 AI システムの基盤技術開発	R3~R4 年度 北村喜文, Chia-Huei Tseng, 幸村琢 東北大学, 香港大学	多岐に及ぶ非言語情報の中で、多くの重要な潜在的情報を含むにも関わらず、学術的にも挑戦的な「人の身体動作」に注目し、感情に基づいてキャラクターの動作を自動生成するシステムの実現を将来の目標とした研究。(R02U02, H29A14)

共同プロジェクト研究

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
20. マルチセルラ神経ダイナミクスのデータ解析基盤と情報処理モデル	科学研究費助成事業 学術変革領域研究(B) A01 情報数理班	R3-R5 年度 香取勇一, 松井鉄平, 正水芳人 公立はこだて未来大学, 同志社大学	本研究では、多細胞ネットワークを物質的基盤として高度な情報処理を実現する作動原理を数理モデルとして記述する新たな学理体系の創成を目指す。本研究は、共同プロジェクト研究「ミニマルブレインの理解と再構築」(R02-R04 年度)(R02/A20)および「① 人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化」(R02-R04 年度)(R02/A02)から発展した。
21. バイオコンピューティングシステムの実細胞再構成	科学研究費助成事業学術変革領域研究(B)A02 生体工学班	R3-R5 年度 山本英明, 佐藤茂雄, 平野愛弓, Jordi Soriano, 香取勇一, 谷井孝至 東北大学, 早稲田大学	生物の脳が、多細胞ネットワークを物質的基盤として高度な情報処理を実現する作動原理を、トップダウン(モデル動物脳の直接計測)とボトムアップ(培養神経回路の操作型研究)の双方向から解析し、数理モデルとして記述する新たな学理体系を創成する。共同プロジェクト研究 A「人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化」(2020 年度)から発展した。(R02/A02)
22. 人間の選択的情報処理に基づく聴空間共有型コミュニケーションプラットフォームの実現	科学研究費助成事業 基盤研究(A)	R4-R7 年度 坂本修一, 大谷真 東北大学, 京都大学	本研究では、聴覚情報を対象として、先に述べた人間の選択的情報処理機構に基づいて、提示すべき前景情報と背景情報を適応的に操作・創出可能な聴空間共有型コミュニケーションプラットフォームを構築する。(R03/A28)
23. 機能性鉄合金の強制・減衰運動応答性の多面的解析による振動制御指針	科学研究費助成事業 基盤研究(C)	R4-R6 年度 鈴木茂 東北大学	強磁性鉄合金は、特異な磁気弾性等の異方性により外的振動に対して複雑な応答性を示すため、これらの合金の応答性については研究を行っている。(R03/A29)
24. 半導体量子ドットデバイスの放射線応答の調査と放射線検出器への利用	科学研究費助成事業 挑戦的研究(萌芽)	R4-R6 年度 吉田齊, 大塚朋廣, 岸本康宏 大阪大学, 東北大学	本研究では、半導体量子ドットの放射線応答について調査する。本研究は共同プロジェクト研究「R03/A06:量子デバイスの放射線応答に関する開発・研究」(2021~継続中)から発展した。(R03/A06)
25. プラズマ気液界面反応の時空間ダイナミクス解明が拓く革新的活性種制御合成技術	科学研究費助成事業 基盤研究(S)	R4-8 年度 金子俊郎, 高島圭介, 佐々木渉太 東北大学	本プロジェクトは、プラズマ-液体界面における、電荷・気流、液体形状変化が相互作用することによって起こる特異的な界面反応を解明する。本研究は、共同プロジェクト研究「気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成」(H30 年度-R2 年度)から発展した。(R03/A04)
26. プラズマイクログロミストによるウイルス等の空中浮遊物質の不活化についての研究開発	科学技術振興機構(JST) 研究成果最適展開支援プログラム(A-STEP) 産学共同(本格型)	R3-5 年度 金子俊郎, 佐々木渉太 東北大学	本プロジェクトは、プラズマを直接接触した微細液滴を用いたウイルス等の空中浮遊物質の不活化技術を開発する。本研究は、共同プロジェクト研究「気液界面プラズマを用いたバイオ・医療デバイスの創成」(H30 年度-R2 年度)から発展した。(R03/A04)
27. 脳の可塑性による注意機能の改善に関する基礎的研究	科学研究費助成事業 学術変革領域研究(A) 「生涯学」公募研究	R2-R4 年度 寺岡諒 熊本大学	高齢者の注意機能の改善を試みる研究。本研究は、共同プロジェクト研究「聴覚的注意の時空間特性に関する研究」から発展した。(R04/A16)

課題名	財源	研究期間、代表等	概要
28. 動的に変化する環境下での聴覚的注意効果	科学研究費助成事業 若手研究	R2-R4 年度 寺岡諒 熊本大学	音源と耳との相対的な位置関係が動的に変化する状況下での注意効果を解明する研究。本研究は、共同プロジェクト研究「聴覚的注意の時空間特性に関する研究」から発展した。(R04/A16)
29. 薄膜メモデバイスとスパイク計算を用いるニューロモーフィックシステム	科学技術振興機構(JST) 戦略的国際共同研究プログラム(SICORP) 日本-台湾研究交流「AIシステム構成に資するナノエレクトロニクス技術」	R4~R6 年度 木村睦 龍谷大学	AIシステムをエレクトロニクス技術で実現する脳型コンピュータについて、超コンパクト・超低消費電力のニューロモーフィックシステムの可能性確認を目的とする。具体的には、日本側チームは、積層集積構造が可能な薄膜メモリスタなどの薄膜メモデバイスのデバイス構造・製造プロセス・集積化技術・特性改善の研究を行い、台湾側チームは、エネルギー効率向上が可能なスパイク計算原理を再現できるニューロン・シナプス要素の薄膜演算回路のモデリング・設計・シミュレーション・開発を行う。(R03/A20)
30. トンネル磁気抵抗効果の新展開：軌道対称性効果の解明と新規量子デバイスの創出	科学研究費助成事業 基盤研究(S)	R4-R8 年度 三谷誠司, 柳原英人, 三浦良雄, 岡林潤 物質・材料研究機構, 筑波大学, 東京大学	本研究では、TMRの学術理解を根底から見直す。軌道磁気分光手法の開拓、軌道磁性体薄膜の創製、軌道ホール効果の観測等を通じて界面軌道物理というTMRの根幹に関わる学術領域の創成を行い、これを基軸とすることでTMRの新展開を果たす。理論が予測する数千%のTMR比の実現や、コヒーレント性を利用した新規量子スピndeデバイスの開発を狙う。(R03/B01)
31. 基地局端末間の協調による動的ネットワーク制御に関する研究開発 課題ア 高周波数帯IRSの制御技術(課題ア-②)	総務省 電波資源拡大のための研究開発	R3-R6 年度 今野佳祐 東北大学	本研究開発では、高周波数帯におけるIRSの設計を行う。本研究は、共同プロジェクト研究「次世代無線通信システム実現のための要素技術の研究」および「次世代無線技術の基盤を構築するためのアンテナ・電磁界解析技術の研究」から発展した。(H31/B03, R04/B05)
32. スマートアイランド推進実証調査	国土交通省	R4 年度 末田航 Sensefoil, 酒田市, NTT 東日本等	離島のDX等を推進するための本事業において、山形県酒田市飛島での帆走ドローンの技術供与、コンサルタントを行った。(R04/B08)

第 6 国際活動

1. 電気通信研究所国際シンポジウム

(2022 年度に開催された通研国際シンポジウム)

開催回	名称	開催日
第 118 回	2022 Spintronics Workshop on LSI	令和 4 年 6 月 13 日
第 119 回	11th International Conference on Reactive Plasmas / 75th Annual Gaseous Electronics Conference	令和 4 年 10 月 3 日-10 月 7 日
第 120 回	RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction 2023	令和 5 年 2 月 17 日-2 月 18 日
第 121 回	The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	令和 5 年 2 月 17 日-2 月 18 日
第 122 回	The 13th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics	令和 5 年 3 月 7 日-3 月 8 日
第 123 回	8th CIES Technology Forum	令和 5 年 3 月 27 日-3 月 28 日

2. 本研究所教員が編集委員をしている国際ジャーナル

1	IEEE Transactions on Circuits and Systems I
2	Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing
3	Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE
4	Frontiers in Physics
5	The Journal of Computer Animation and Virtual Worlds
6	Frontiers in Psychology
7	Frontiers in Neuroscience
8	Auditory Perception & Cognition

3. 本研究所教員が組織委員をつとめた最近の国際会議

1	12th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics (IWNN-12)
2	IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2021)
3	30th International Workshop on Post-Binary ULSI Systems (ULSIWS 2021)
4	16th ACM/IEEE International Symposium on Nanoscale Architectures (NANOARCH 2021)
5	2021 IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL 2021)
6	The 9th Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE TeraTech-2021)
7	International Symposium on Future Trends of Terahertz Semiconductor Technologies 2022 (TST2022)
8	2021 Nonlinear Science Workshop (NLSW2021)
9	Magnetics and optics research International symposium
10	Soft Magnetic Materials (SMM)
11	ACM International Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST 2021)
12	ACM International Symposium on Interactive Surfaces and Spaces (ISS 2021)
13	The 46th International Conference on Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves (IRMMW-THz 2021)
14	The 11th International Conference on Metamaterials, Photonic Crystals and Plasmonics (META2021)
15	XXIV International Symposium on Nanophysics and Nanoelectronics
16	The 6th International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE 2021)
17	The International Conference on Micro- and Nanoelectronics 2021 (ICMNE 2021)
18	The 12th Recent Progress in Graphene and Two-Dimensional Materials Research Conference (RPGR 2021)
19	The 5th Graphene Flagship Japan-EU Workshop on Graphene and Related 2D Materials
20	SPIE Photonics West 2022 International Symposium, Conference 11975 on Advances in Terahertz Biomedical Imaging and Spectroscopy
21	XXVI International Symposium on Nanophysics and Nanoelectronics
22	SPIE Photonics Europe 2022 International Symposium
23	ACM International Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST) Steering Committee Chair
24	ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2021) General Chair

国際活動

4. 国際学会における招待講演数

	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
招待講演数	80	96	42	62	51

5. 国際共同研究の実施状況

	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
実施状況(件数)	101	118	98	74	69

6. 国際共同研究一覧

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
ドイツ	ケムニッツ工科大学 /Technical University of Chemnitz	Study and application of SiC and 2D materials	2011.10～	吹留研
イギリス	ヨーク大学/The University of York	計算科学を用いた磁気抵抗スイ ッチ素子基盤材料の創出	2017.10～	白井研
ポーランド	ポーランド科学アカデ ミー/Polisha Academy of Sciences	機能性磁性材料の電子構造と 物性に関する研究	1999.4～	深見研
スウェーデン	ヨーテボリ大学 /University of Gothenburg	スピントロニクス素子の発振現 象に関する研究	2016.11～	深見研
スイス	ETH Zurich	X 線顕微鏡を用いたスピン軌道 トルク磁化反転の観察	2016.11～	深見研
フランス	Université Paris-Sud	スピン軌道トルク磁化反転の時 間分解測定	2016.9～	深見研
シンガポール	シンガポール国立大 学/National University of Singapore(NUS)	スピントルクダイオードを用いた エナジーハーベスティングの検討	2017.9～	深見研
アメリカ	シカゴ大学 /University of Chicago	酸化物材料の量子情報応用	2018.3～	深見研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
アメリカ	パデュー大学 /Purdue University	低熱安定性磁気トンネル接合を用いた新概念情報処理に関する研究	2018.2～	深見研
フランス	Spintec	磁気トンネル接合における発振現象に関する研究	2018.1～	深見研
ドイツ	マインツ大学	反強磁性体の共鳴現象に関する研究	2018.11～	深見研
インド	Indian Institute of Science Education and Research Bhopal	Spin transport and magnetism in 2D van der Waals ferro and antiferromagnets.	2020.4～ 2023.3	深見研
アメリカ	UC サンタバーバラ	確率動作磁気トンネル接合素子とその計算機応用	2021.1～	深見研
フィリピン	ミンダナオ州立大学	Coplanar waveguide size and magnetization angle dependence of magnetization dynamics in CoFeB-MgO magnetic tunnel junction structure measured by spin rectification ferromagnetic resonance	2022.4～ 2025.3	深見研
オーストラリア	ニューサウスウェールズ大学	Creation, manipulation, and electrical control of chiral spin textures in non-collinear antiferromagnetic heterostructures	2022.5～	深見研
スペイン	カタルーニャ工科大学	脳型計算ハードウェアとエッジコンピューティングへの応用	2021.4～	佐藤研
スペイン	バルセロナ大学	人工神経回路網の機能表現の解析とモデル化	2021.4～	佐藤研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
ドイツ ベルギー アメリカ フランス スペイン 台湾	Innovations for High Performance Microelectronics (IHP), Tech. Univ. Berlin), imec, Princeton Univ., (MIT), Univ. Stuttgart, Aix-Marseille Univ., Univ. Vigo, Forschungszentrum Juelich, National Taiwan University	新 IV 族半導体材料と高集積デバイスプロセスに関する研究	2020.4～ 2023.3	佐藤研
ドイツ	Innovations for High Performance microelectronics (IHP), Technische Universität Berlin	原子層ドーピング	1995.10～	佐藤研
スペイン	バルセロナ大学	人工神経細胞回路を基盤とする神経変性疾患モデリング技術の開発	2022.10～	佐藤研
ドイツ	Ruhr-University Bochum	半導体微細デバイスに関する研究	2018.4～	大塚研
アメリカ	パデュー大学 /Purdue University	原子層物質と微細構造の研究	2019.10～	大塚研
カナダ	マックマスター大学 /McMaster University	コヒーレントナイキストパルス伝送における非線形波形歪みの解析とその補償技術の開発	2020.11～	廣岡研
イギリス	Imperial College London	超 100GHz 帯光ファイバ給電ダイレクトデジタル RF 送受信機の研究	2020.4～ 2023.3	末松研
ロシア	St.Petersburg Electrotechnical University	Beyond-5G の実現に向けた高周波技術の探索	2020.4～ 2023.3	末松研
シンガポール	シンガポール国立大学/National University of Singapore (NUS)	5G・IoT のためのエネルギーハーベストとメタサーフェス応用に関する研究	2021.4～	末松研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
アメリカ	マサチューセッツ工科大学 /Massachusetts Institute of Technology(MIT)	脳ニューロサイエンス向けイン・ストレージ/メモリ コンピューティング基盤の研究	2020.4～ 2023.3	田中研
スペイン	サマランカ大学	Development of graphene based devices for terahertz applications	2020.4～ 2023.3	尾辻研
ロシア	Institute for Physics of Microstructures, Russian Academy of Sciences	テラヘルツ放射利得・検出媒質としてのディラック分散則を有するナノ構造に関する研究	2020.4～ 2023.3	尾辻研
ロシア	Institute of ultra high frequency semiconductor electronics of Russian academy of sciences	Japan-Russia International collaborative research on boosting a performance of a large-area THz photoconductive emitter	2022.4～	尾辻研
アラブ首長国連邦	United Arab Emirates University	Study of magnetic, dielectric and optical properties of nanomaterials for Terahertz applications	2022.4～	尾辻研
アメリカ	University at Buffalo, SUNY	Japan-USA International Collaborative Research on the Theoretical and Experimental Investigation of Coulomb Drag Instability of Graphene Dirac Plasmons and its Application for THz Laser Transistors	2022.4～	尾辻研
アメリカ	マサチューセッツ工科大学 /Massachusetts Institute of Technology(MIT)	周波数無相関量子もつれ光子対光源に関する共同研究	2016.1～	枝松研
インド	Raman Research Institute	量子計測基本過程に関する共同研究	2016.1～	枝松研
インド	Bose Institute	量子計測過程に関する共同研究	2018.5～	枝松研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
アメリカ	ロチェスター工科大学 /Rochester Institute of Technology	Investigating cultural-background effect on auditory selective attention processes	2020.4～	坂本研
イギリス オーストラリア	ヨーク大学/York University, クイーンズランド大学 /The University of Queensland	3次元空間内の自己運動知覚と 多感覚統合	2020.4～	坂本研
オーストラリア	シドニー大学 /University of Sydney	バイノーラルキュー制限条件の音 空間知覚に関する研究	2021.4～	坂本研
イギリス オーストラリア	ヨーク大学/York University ニューサウスウェール ズ大学/University of New South Wales	3次元空間内の自己運動知覚と 多感覚統合	2020.4～	坂本研
イギリス	University College London	聴覚の空間的注意に関する研究	2021.10～	坂本研
韓国	韓国科学技術 /Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST)	多機能マルチメディア生成に関 する研究	2022.4～	坂本研
台湾	国立台湾大学	Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	2020.4～	塩入研
イギリス オランダ ドイツ 台湾	University College London KU Leuven, Centre for Integrative Neuroscience 国立台湾大学	社会行動の脳内機序解明にむ けたヒトの知覚・運動・認知・情 動特性の検討	2021.4～	塩入研
台湾	国立台湾大学	Modeling the Japanese-Taiwanese racial effect in facial expression recognition	2021.4～	塩入研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
台湾	国立台湾大学	学習支援のための迫体験システムの構築	2019.4～	塩入研
台湾	国立台湾大学	学習時の注意推定に関する研究	2022.4～	塩入研
台湾	国立成功大学 /National Cheng-Kung University, Taipei McKay Medical University	An Inter-personal Dimension of MA: Behavior, Physiology, and Engineering	2022.5～	塩入研
スウェーデン ノルウェー	チャルマース工科大 学/Chalmers University of Technology, ベルゲン大学 /University of Bergen	適応的な触覚提示による VR 体 験の没入感向上と動作範囲の 削減	2019.10～	北村研
イタリア	Palermo University	HyperCubeHarmonic: A Conceptual Complete and Consistent Model to Control Multiple Dimensional Information of Music	2020.4～ 2023.3	北村研
タイ	チュラロンコン大学 /Chulalongkorn University	Investigating cultural issues for the design of touch-based interactive D-FLIP photo management system	2020.4～ 2023.3	北村研
カナダ	トロント大学 /University of Tronto	人の行動理解・解析に基づく空 間型ユーザインタフェース	2020.4～ 2023.3	北村研
シンガポール	シンガポール国立大 学	音声によるカラスの行動制御手 法の自動化に向けた開発	2020.4～ 2023.3	北村研
オーストラリア	メルボルン大学/The University of Melbourne	Cognition-Aware-System s for Improving Human Performance	2020.4～ 2023.3	北村研
イギリス	マンチェスター・メトロ ポリタン大学 /Manchester Metropolitan University	Exploring and designing interactions for VR headsets using smartphone interfaces	2022.4～	北村研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
中国	中国医科大学 /China Medical University	Interpersonal coordination of motor, cognitive and neurophysiological processes in joint activities	2022.5～	北村研
シンガポール	Syngapore Managemetn University	これからの学術集会を考える	2022.4～	北村研
シンガポール	SenseFoil PTE.LTD.	持続的社會を実現する水上モビリティの要素技術に関する研究会	2022.4～	北村研
シンガポール	Singapore Management University	屋内マップのためのグラフコンテンツ可視化技術とナビゲーションインタフェース	2022.5～	北村研
スイス	Swiss Federal Institute of Technology in Lausanne (EPFL)	生物ロコモーションの制御原理の解明とロボット応用	2015.4～	石黒研
イギリス	マンチェスター大学 /The University of Manchester	古生物のロコモーションに内在する自律分散制御則に関する研究	2017.4～	石黒研
イギリス	ウォーリック大学 /The University of Warwick	バクテリアのバイオフィルム形成現象から切り拓く超サバイバルシステムの革新的設計論	2019.10～ 2024.3	石黒研
ドイツ アメリカ	エアランゲン大学 アルゴンヌ国立研究所	機能酸化物界面デバイスの創成とバイオデバイスへの新展開	2021.4～	平野研
台湾 中国 韓国	国立台湾大学, Old Dominion University Perter Bruggeman University of Petroleum, Advanced Institute of Science and Technology,	非平衡プラズマ活性種を活用したバイオ・医療デバイスの創成	2021.4～	平野研
アメリカ	マサチューセッツ工科大学 /Massachusetts Institute of Technology(MIT)	組合せ論理の特性に関する研究	2017.10～	中野研

相手国	研究機関名	研究課題名	期間	研究室
中国	北京大学	双方向変換の深化による自律分散ビッグデータの相互運用基盤に関する研究	2015.4～	中野研
カナダ	トロント大学 McGill 大学 ウォータールー大学	脳型 LSI とその関連技術国際共同研究	2020.4～ 2023.3	羽生研

7. 外国人研究者の招へい状況

(人)

区分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
文部科学省事業	67	63	6	6	9
日本学術振興会事業	10	9	4	6	5
当該法人による事業	84	26	11	8	42
その他	69	109	16	5	11
計	230	207	37	25	67
地域別内訳					
①アジア	74	82	23	15	33
②北米	34	22	4	3	7
③中南米	2	1	1	2	1
④ヨーロッパ	110	97	9	5	21
⑤オセアニア	7	3	0	0	4
⑥中東	2	2	0	0	0
⑦アフリカ	1	0	0	0	1
計	230	207	37	25	67
滞在期間別内訳					
1月以上滞在	36	41	34	21	24
1週間以上1月未満	48	41	2	2	17
1週間未満	146	125	1	2	26
計	230	207	37	25	67

8. 研究者の海外派遣状況

(人)

区分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
文部科学省事業	9	37	0	1	37
日本学術振興会事業	126	105	0	0	16
当該法人による事業	23	49	0	0	18
その他	126	86	0	8	48
計	284	277	0	9	119
地域別内訳					
①アジア	65	49	0	0	19
②北米	76	91	0	5	37
③中南米	1	1	0	0	1
④ヨーロッパ	136	121	0	4	59
⑤オセアニア	3	13	0	0	3
⑥中東	1	1	0	0	0
⑦アフリカ	2	1	0	0	0
計	284	277	0	9	119

9. 国際学術交流協定一覧

9-1. 部局間協定

締結時 代表者	協定校		協定締結 年月日	研究課題/目標	協定締結のねらい					更 新 状 況
	国名	研究機関名			共同研究の促進	学生・教職員交流	国際貢献	地域連携	その他	
教授 津屋 昇	ポーランド	ポーランド 科学アカデミー 物理研究所	1976.8.3	磁性体における磁性弾性 結合に関する研究	○	○				継 続
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー (IHP)	2001.1.22	IV族半導体極限ヘテロ構 造形成プロセスに関する 研究	○	○				継 続
教授 室田淳一	フランス	国立科学研究所 マルセイユナノサイエ ンス学際センター	2010.5.24	半導体表面・界面制御結 晶成長の基礎と応用の研 究	○	○				継 続
教授 大野英男	中国	中国科学院 半導体研究所	2007.4.12	半導体と半導体素子およ びスピントロニクスの中 心と応用の研究	○	○				継 続
教授 加藤修三	アメリカ	ラトガース大学 ワイヤレスネット ワーク研究所 (WINLAB)	2009.12.9	超高速屋内ブロードバン ド無線通信システムの研 究	○	○				継 続
教授 尾辻泰一	ロシア	バウマン・モスクワ国 立工科大学 フォト ニクス・赤外工学研 究教育センターおよ び無線電子工学・レ ーザー工学研究所	2014.6.26	新材料として注目されて いるグラフェンおよび化 合物半導体を中心とする 半導体ヘテロエピタキ シャル材料システムによ るテラヘルツ機能デバ イス応用の研究を大き く前進させる	○	○				継 続
教授 本間尚文	フランス	国立パリ高等情報通 信大学テレコムパリ (現：パリ工科大学テ レコムパリ)	2017.10.25	・ハードウェアセキュリ ティ分野において国際 共同研究を推進すること ・教員・研究員の交流 により国際化を促進す ること	○	○				継 続
教授 尾辻泰一	ロシア	モスクワ国立大学物 理学部	2018.6.8	共同研究の推進と高度 人材育成	○	○				継 続
教授 塩入諭	台湾	国立台湾大学人工 知能・先端ロボットセ ンター	2018.7.31	共同研究の推進と高度 人材育成	○	○				継 続
教授 尾辻泰一	ロシア	ロシア科学アカデミ ー超周波半導体電子工 学研究所およびロシア 科学アカデミー総合物 理学研究所	2020.9.25	テラヘルツ光電子工学、 半導体プラズモニクス、 テラヘルツイメージング 工学、テラヘルツ無線 通信工学などの理工学 分野における国際共同 研究の推進	○	○				継 続

9-2. 大学間協定

国名	協定校	協定締結年月日	協定締結のねらい					更新状況
			共同研究の促進	学生・教職員交流	国際貢献	地域連携	その他	
アメリカ	カリフォルニア大学 サンタバーバラ校	1990.3.15	○	○				継続
イギリス	ヨーク大学	2004.6.7	○	○	○			継続
ドイツ	ドレスデン工科大学	2006.6.26	○	○				継続
ドイツ	ベルリン工科大学	2009.8.26	○	○	○			継続
台湾	国立清華大学	2009.12.2	○	○				継続
アメリカ	ハーバード大学	2010.7.22	○	○				継続
ドイツ	カイザースラウテルン工科大学	2012.2.1	○	○				継続
ドイツ	ヨハネスグーテンベルグ大学マインツ	2012.2.6	○	○				継続
ドイツ	ケムニッツ工科大学	2013.10.31	○	○				継続
ドイツ	レーゲンスブルク大学	2017.3.16	○	○				継続
ドイツ	オルデンブルク大学	2017.7.13	○	○				継続
アメリカ	パーデュー大学	1997.9.23 通研は2017年より参画	○	○				継続
スペイン	サラマンカ大学	2018.5.20	○	○				継続
ロシア	サンクトペテルブルク電気工科大学	2019.11.22	○			○	○	継続
アメリカ	カリフォルニア大学(10校)	1990.3.15 サンタバーバラ校以外について 2020年より参画	○	○				継続
ドイツ	ミュンヘン工科大学	2010.8.3 通研は2020年より参画	○	○				継続
台湾	国立台湾大学	2000.11.18 通研は2020年より参画	○	○				継続
台湾	国立陽明交通大学	2005.12.15 通研は2020年より参画	○	○				継続
スイス	スイス連邦工科大学ローザンヌ校	2000.11.20 通研は2020年より参画	○	○				継続
シンガポール	シンガポール国立大学	2000.9.16 通研は2020年より参画	○	○				継続

国名	協定校	協定締結 年月日	協定締結のねらい					更新 状況
			共同 研究 の 促進	学生 ・ 教 職 員 交 流	国 際 貢 献	地 域 連 携	そ の 他	
オーストラリア	メルボルン大学	2014.11.7 通研は2021年より参画	○	○				継続
ポーランド	ポーランド科学アカデミー	2021.7.23 通研は2021年より参画	○	○				継続
オーストラリア	シドニー大学	1993.1.8 通研は2022年より参画	○	○				新規
タイ	キングモンクット工科大学トンブリ校	2012.11.26 通研は2022年より参画	○	○				新規
フランス	ロレーヌ大学	2018.2.26 通研は2022年より参画	○	○				新規

第7 社会貢献

1. 東北大学 電気・情報 産学官フォーラム参加者数

(人)

区分	平成 30 年度 仙台	令和元年度 東京	令和 2 年度 (オンライン開催)	令和 3 年度 (オンライン開催)	令和 4 年度 (ハイブリッド開催)
技術セミナー	—	—	—	—	—
講演会	161	194	242	258	234
<外部>	105	121	150	153	158
<内部>	56	73	92	105	76
来場者数	161	194	242	258	234 (オンライン 192 /対面 42)

2. 通研一般公開参加者数

(人)

参加者数	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
	2,883	(開催中止)	オンライン開催	オンライン開催	1,591

※1 平成 29 年度は片平まつりと同時開催

※2 令和元年度は片平まつりと同時開催予定であったが、令和元年東日本台風
(台風19号)接近に伴う悪天候が予想されたため中止した。

※3 令和 2 年度はオンライン開催

通研公開 2020 特設サイトのアクセス数:約 6,300 回

研究紹介、公開実験、工作教室のビデオ視聴回数:約 1,600 回

工作キットの送付数:約 730 セット

※4 令和 3 年度はオンライン開催

通研公開 2021 特設サイトのアクセス数:約 4,100 回

研究紹介、公開実験、工作教室のビデオ視聴回数:約 2,500 回

工作キットの送付数:約 610 セット

3. 学会名誉会員及びフェローの状況

(人)

区 分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
国際学会 フェロー	4	2	2	2	2
国内学会 フェロー	6	6	8	8	8
計	10	8	10	10	10

4. 学会名誉会員及びフェロー一覧

国際学会

学 会 名	氏 名
IEEE	尾 辻 泰 一
OSA	尾 辻 泰 一

※ IEEE = The Institute of Electrical and Electronics Engineers

OSA = Optical Society of America

国内学会

学 会 名	氏 名
電子情報通信学会	堀 尾 喜 彦
電子情報通信学会	末 松 憲 治
応用物理学会	尾 辻 泰 一
応用物理学会	平 野 愛 弓
日本バーチャルリアリティ学会	北 村 喜 文
日本磁気学会	田 中 陽 一 郎
日本磁気学会	深 見 俊 輔
日本表面真空学会	平 野 愛 弓

5. 学会役員の様況

(人)

区 分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
国際学会役員	0	1	1	2	3
国内学会役員	13	12	12	11	8
計	13	13	13	13	11

※会長、理事、評議員等

6. 学会役員一覧

国際学会(2022)

学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
IEEE	Japan Council Chapter Operations Committee Chair	2021～現在	末松 憲治
IEEE	Solid-State Circuits Society Japan Chapter Chair	2021～現在	羽生 貴弘
IEEE	Additional Members appointed by the Council Committee	2022～現在	廣岡 俊彦

国内学会(2022)

学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
ヒューマンインタフェース学会	評議員	2007～現在	北村 喜文
日本ナノメディシン交流協会	理事	2017～現在	山本 英明
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2019～現在	北村 喜文
日本表面真空学会	理事	2020～現在	平野 愛弓
日本音響学会	理事	2021～現在	坂本 修一
映像情報メディア学会	副会長	2021～現在	塩 入 諭
日本神経回路学会	理事	2021～現在	山本 英明
日本脳科学関連学会連合	評議員	2022～現在	山本 英明

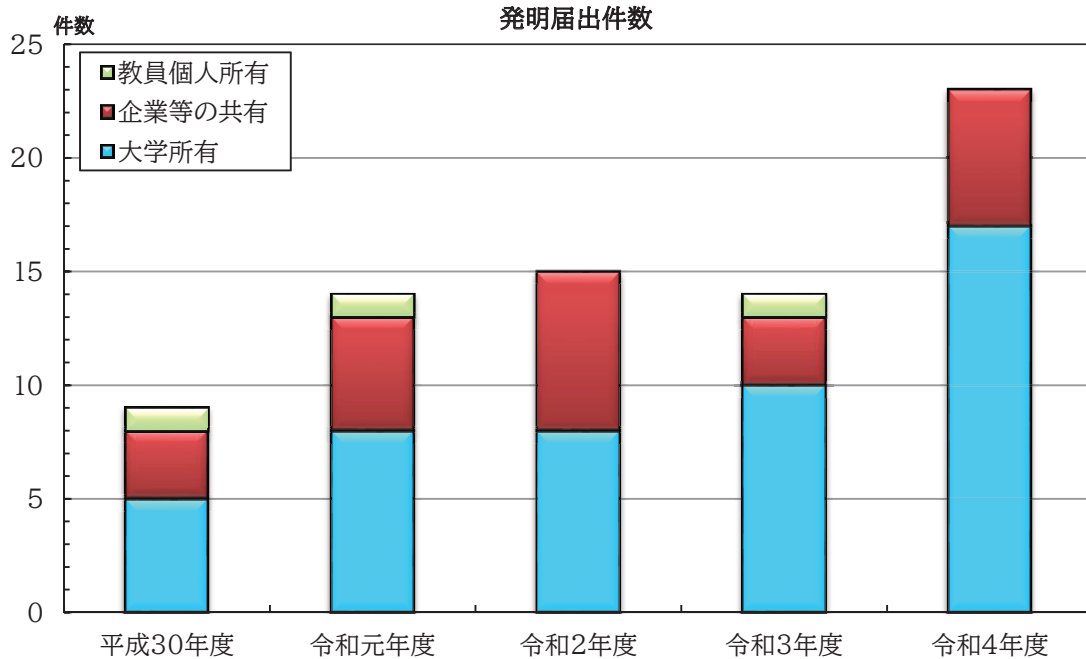
7. 各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献

(人)

区 分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
文部科学省関連	0	2	3	5	8
他省庁	15	13	14	16	18
地方公共団体	2	4	6	5	4
財団、学会	30	29	25	23	23
その他	86	106	80	85	108
計	133	154	128	134	161

第8 産学官連携

1. 発明届出件数、特許出願数、特許登録数



区 分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
発明届出件数	9	14	15	14	23
教員個人所有	1	1	0	1	0
企業等の共有	3	5	7	3	6
大学所有	5	8	8	10	17
国内出願数	18	16	14	18	18
国内登録数	20	17	24	13	10
外国出願数 (含む PCT 出願数)	23	16	22	16	17
外国登録数	9	13	19	12	14

2. 電気通信研究所における技術的相談、指導

(件)

区 分	平成 30 年度	令和元年度	令和 2 年度	令和 3 年度	令和 4 年度
技術的相談、指導	46	88	86	64	82

第9 広報活動と情報公開

開催行事

1	2022 Spintronics Workshop on LSI	2022年6月13日(月)
2	11th International Conference on Reactive Plasmas / 75th Annual Gaseous Electronics Conference	2022年10月3日(月)～10月7日(金)
3	RIEC International Symposium on Human-Computer Interaction 2023	2023年2月17日(金)～2月18日(土)
4	The 11th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	2023年2月17日(金)～2月18日(土)
5	The 13th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics	2023年3月7日(火)～3月8日(水)
6	8th CIES Technology Forum	2023年3月27日(月)～3月28日(火)
7	2nd Online RIEC International Workshop on Spintronics (19th RIEC International Workshop on Spintronics)	2023年3月14日(火)～4月6日(木)
8	東北大学 電気・情報 産学官フォーラム 2022【ハイブリッド開催】	2022年10月7日(金)
9	東北大学 電気通信研究所 通研公開 2022【現地開催】	2022年10月8日(土)～10月9日(日)
10	電気通信研究所 共同プロジェクト研究発表会【ハイブリッド開催】	2023年2月16日(木)

出版物

1	電気通信研究所要覧(和文・英文)	年1回発行
2	電気通信研究所研究活動報告(和文版・英文版)	電子版・HP掲載
3	東北大学電通談話会記録	年2回発行
4	ナノ・スピン実験施設研究報告書	年1回発行
5	電気通信研究所ニュースレター(RIEC NEWS)	1回発行(令和4年度)

その他

1	電気通信研究所ホームページ	公開中
2	電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中
3	RIEC Newsweb	公開中

職員

(令和4年5月1日)

所長 (併)／教授	Director, Professor	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu
-----------	---------------------	---------	----------------

研究部門 Research Divisions

情報デバイス研究部門 Information Devices Division

■ ナノフォトエレクトロニクス研究室 Nano-photoelectronics

教 授 (兼)	Professor*	藤 掛 英 夫	Hideo Fujikake
准教授 (兼)	Associate Professor*	石 鍋 隆 宏	Takahiro Ishinabe

■ 固体電子工学研究室 Solid State Electronics

教 授	Professor	(佐 藤 茂 雄)	(Shigeo Sato)
教 授 (兼)	Professor*	遠 藤 哲 郎	Tetsuo Endoh
教 授 (兼)	Professor*	日 暮 栄 治	Eiji Higurashi
准教授	Associate Professor	吹 留 博 一	Hirokazu Fukidome
准教授 (兼)	Associate Professor*	岡 田 健	Takeru Okada
助 教	Assistant Professor	馬 奕 涛	Yitao Ma

■ 誘電ナノデバイス研究室 Dielectric Nano-Devices

教 授	Professor	(白 井 正 文)	(Masafumi Shirai)
教 授 (兼)	Professor*	小 玉 哲 也	Tetsuya Kodama
教 授 (兼)	Professor*	吉 澤 晋	Shin Yoshizawa
准教授	Associate Professor	山 末 耕 平	Kohei Yamasue
准教授	Associate Professor	平 永 良 臣	Yoshiomi Hiranaga

■ 物性機能設計研究室 Materials Functionality Design

教 授	Professor	白 井 正 文	Masafumi Shirai
教 授 (兼)	Professor*	田 中 和 之	Kazuyuki Tanaka
教 授 (兼)	Professor*	安 藤 晃	Akira Ando
教 授 (兼)	Professor*	大 関 真 之	Masayuki Ohzeki
准教授	Associate Professor	阿 部 和多加	Kazutaka Abe
准教授 (兼)	Associate Professor*	高 橋 和 貴	Kazunori Takahashi
助 教	Assistant Professor	辻 川 雅 人	Masahito Tsujikawa
助 教	Assistant Professor	新 屋 ひかり	Hikari Shinya
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	Tufan Roy	Tufan Roy
学術研究員	Research Fellow	井 上 順一郎	Jun-ichiro Inoue

■ スピントロニクス研究室 Spintronics

教 授	Professor	深 見 俊 輔	Shunsuke Fukami
教 授 (兼)	Professor*	松 倉 文 礼	Fumihiro Matsukura
教 授 (兼)	Professor*	安 藤 康 夫	Yasuo Ando
教 授 (兼)	Professor*	島 津 武 仁	Takehito Simatsu
教 授 (兼)	Professor*	齊 藤 伸	Shin Saito
教 授 (兼)	Professor*	池 田 正 二	Shoji Ikeda
教 授 (兼)	Professor*	大 兼 幹 彦	Mikihiko Ogane
准教授 (兼)	Associate Professor*	角 田 匡 清	Masakiyo Tsunoda
准教授 (兼)	Associate Professor*	小 川 智 之	Tomoyuki Ogawa
助 教	Assistant Professor	金 井 駿	Shun Kanai
助 教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro
助 教 (兼)	Assistant Professor*	山 根 結 太	Yuta Yamane
学術研究員	Research Fellow	小 原 紀 子	Noriko Obara

■ ナノ集積デバイス・プロセス研究室 Nano-Integration Devices and Processing

教授	Professor	佐藤 茂雄	Shigeo Sato
教授(兼)	Professor*	張山 昌論	Masanori Hariyama
教授(兼)	Professor*	黒田 理人	Rihito Kuroda
准教授	Associate Professor	櫻庭 政夫	Masao Sakuraba
准教授	Associate Professor	山本 英明	Hideaki Yamamoto
准教授(兼)	Associate Professor*	Waidyasooriya Hasitha Muthumala	Waidyasooriya Hasitha Muthumala
助教	Assistant Professor	佐藤 信之	Nobuyuki Sato
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	守谷 哲	Satoshi Moriya

■ 量子デバイス研究室 Quantum Devices

准教授	Associate Professor	大塚 朋廣	Tomohiro Otsuka
-----	---------------------	-------	-----------------

■ 磁性デバイス研究室(客員) Magnetic Devices (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	弓仲 康史	Yasushi Yuminaka
------	--------------------	-------	------------------

ブロードバンド工学研究部門 Broadband Engineering Division

■ 超高速光通信研究室 Ultrahigh-speed Optical Communication

教授	Professor	廣岡 俊彦	Toshihiko Hirooka
教授(兼)	Professor*	山田 博仁	Hirohito Yamada
教授(兼)	Professor*	松浦 祐司	Yuji Matsuura
准教授	Associate Professor	葛西 恵介	Keisuke Kasai
准教授(兼)	Associate Professor*	松田 信幸	Nobuyuki Matsuda

■ 応用量子光学研究室 Applied Quantum Optics

教授	Professor	八坂 洋	Hiroshi Yasaka
准教授	Associate Professor	吉田 真人	Masato Yoshida
助教	Assistant Professor	横田 信英	Nobuhide Yokota

■ 先端ワイヤレス通信技術研究室 Advanced Wireless Information Technology

教授	Professor	末松 憲治	Noriharu Suematsu
教授(兼)	Professor*	陳 強	Qiang Chen
特任教授	Specially Appointed Professor	芝 隆司	Takashi Shiba
准教授(兼)	Associate Professor*	今野 佳祐	Keisuke Konno
助教	Assistant Professor	古市 朋之	Tomoyuki Furuichi

■ 情報ストレージシステム研究室 Information Storage Systems

教授	Professor	田中 陽一郎	Yoichiro Tanaka
教授(兼)	Professor*	周 暁	Xiao Zhou
教授(兼)	Professor*	伊藤 健洋	Takehiro Ito
准教授	Associate Professor	Simon John Greaves	Simon J. Greaves
准教授(兼)	Associate Professor*	鈴木 顕	Akira Suzuki

■ 超ブロードバンド信号処理研究室 Ultra-Broadband Signal Processing

教授	Professor	尾辻 泰一	Taiichi Otsuji
教授(兼)	Professor*	西山 大樹	Hiroki Nishiyama
教授(兼)	Professor*	末光 哲也	Tetsuya Suemitsu
准教授	Associate Professor	佐藤 昭	Akira Satou
助教	Assistant Professor	渡辺 隆之	Takayuki Watanabe
学術研究員	Research Fellow	Ryzhii Victor	Ryzhii Victor

職 員

■ 量子光情報工学研究室		Quantum-Optical Information Technology	
教 授	Professor	枝 松 圭 一	Keiichi Edamatsu
准教授	Associate Professor	金 田 文 寛	Fumihiro Kaneda
助 教	Assistant Professor	Soyoung Baek	Soyoung Baek

■ ブロードバンド通信基盤技術研究室 (客員)		Basic Technology for Broadband Communication (Visitor Section)	
客員教授	Visiting Professor	鈴 木 恭 宜	Yasunori Suzuki
客員教授	Visiting Professor	亀 田 卓	Suguru Kameda

人間情報システム研究部門 Human Information Systems Division

■ 生体電磁情報研究室		Electromagnetic Bioinformation Engineering	
教 授	Professor	石 山 和 志	Kazushi Ishiyama
教 授 (兼)	Professor*	津 田 理	Makoto Tsuda
教 授 (兼)	Professor*	渡 邊 高 志	Takashi Watanabe
教 授 (兼)	Professor*	中 村 健 二	Kenji Nakamura
教 授 (兼)	Professor*	藪 上 信	Shin Yabukami
教 授 (兼)	Professor*	遠 藤 恭	Yasushi Endo
准教授	Associate Professor	後 藤 太 一	Taichi Goto
准教授 (兼)	Associate Professor*	桑波田 晃 弘	Akihiro Kuwahata
准教授 (兼)	Associate Professor*	長 崎 陽	Yoh Nagasaki
講 師 (兼)	Lecturer*	青木(木嘉)英恵	Hanae Aoki (Kijima)

■ 先端音情報システム研究室		Advanced Acoustic Information Systems	
教 授	Professor	坂 本 修 一	Shuichi Sakamoto
教 授 (兼)	Professor*	金 井 浩	Hiroshi Kanai
教 授 (兼)	Professor*	伊 藤 彰 則	Akinori Ito
准教授 (兼)	Associate Professor*	能 勢 隆	Takashi Nose
准教授 (兼)	Associate Professor*	荒 川 元 孝	Mototaka Arakawa

■ 高次視覚情報システム研究室		Visual Cognition and Systems	
教 授	Professor	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
教 授 (兼)	Professor*	杉 田 典 大	Norihiro Sugita
准教授	Associate Professor	曾 加 蕙	Chia-Huei Tseng
准教授	Associate Professor	金 子 沙 永	Sae Kaneko
助 教	Assistant Professor	羽 鳥 康 裕	Yasuhiro Hatori
助 教 (兼)	Assistant Professor*	Sun Sai	Sun Sai
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	Wu Wei	Wu Wei

■ 情報コンテンツ研究室		Information Content	
教 授	Professor	北 村 喜 文	Yoshifumi Kitamura
教 授 (兼)	Professor*	加 藤 寧	Nei Kato
教 授 (兼)	Professor*	菅 沼 拓 夫	Takuo Sugauma
准教授	Associate Professor	高 嶋 和 毅	Kazuki Takashima
准教授 (兼)	Associate Professor*	阿 部 亨	Toru Abe
准教授 (兼)	Associate Professor*	川 本 雄 一	Yuichi Kawamoto
助 教	Assistant Professor	藤 田 和 之	Kazuyuki Fujita
助 教	Assistant Professor	池 松 香	Kaori Ikematsu
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	Cheng Miao	Cheng Miao

■ 実世界コンピューティング研究室	Real-World Computing
--------------------------	-----------------------------

教授	Professor	石黒章夫	Akio Ishiguro
准教授	Associate Professor	加納剛史	Takeshi Kano
助教	Assistant Professor	福原 洸	Akira Fukuhara
助教(兼)	Assistant Professor*	安井 浩太郎	Kotaro Yasui

■ ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室	Nano-Bio Hybrid Molecular Devices
----------------------------	--

教授	Professor	平野 愛弓	Ayumi Hirano
教授(兼)	Professor*	吉信達夫	Tatsuo Yoshinobu
教授(兼)	Professor*	木下賢吾	Kengo Kinoshita
教授(兼)	Professor*	金子俊郎	Toshiro Kaneko
教授(兼)	Professor*	神崎 展	Makoto Kanzaki
准教授(兼)	Associate Professor*	大林 武	Takeshi Obayashi
准教授(兼)	Associate Professor*	宮本 浩一郎	Koichiro Miyamoto
准教授(兼)	Associate Professor*	西 羽 美	Hafumi Nishi
准教授(兼)	Associate Professor*	加藤 俊 顕	Toshiaki Kato
助教	Assistant Professor	但木 大 介	Daisuke Tadaki
助教	Assistant Professor	小宮 麻 希	Maki Komiya
助教(兼)	Assistant Professor*	平本 薫	Kaoru Hiramoto

■ 多感覚情報統合認知システム研究室	Multimodal cognitive system
---------------------------	------------------------------------

教授(兼)	Professor*	坂井 信 之	Nobuyuki Sakai
助教	Assistant Professor	山本 浩 輔	Kosuke Yamamoto

■ マルチモーダルコンピューティング研究室 (客員)	Multimodal Computing (Visitor Section)
-----------------------------------	---

客員教授	Visiting Professor	下 條 信 輔	Shinsuke Shimojoh
客員教授	Visiting Professor	井上 光 輝	Mitsuteru Inoue
客員教授	Visiting Professor	幸村 琢	Taku Komura
客員准教授	Visiting Associate Professor	小山 翔 一	Shoichi Koyama
非常勤講師	Part-time Lecturer	藤原 健	Ken Fujiwara

システム・ソフトウェア研究部門	Systems & Software Division
------------------------	--

■ ソフトウェア構成研究室	Software Construction
----------------------	------------------------------

教授(兼)	Professor*	篠原 步	Ayumi Shinohara
教授(兼)	Professor*	住井 英二郎	Eijiro Sumii
准教授(兼)	Associate Professor*	松田 一 孝	Kazutaka Matsuda
准教授(兼)	Associate Professor*	吉 仲 亮	Ryo Yoshinaka

■ コンピューティング情報理論研究室	Computing Information Theory
---------------------------	-------------------------------------

教授	Professor	中野 圭 介	Keisuke Nakano
教授(兼)	Professor*	静谷 啓 樹	Hiroki Shizuya
教授(兼)	Professor*	大町 真一郎	Shinichiro Omachi
准教授(兼)	Associate Professor*	酒井 正 夫	Masao Sakai
准教授(兼)	Associate Professor*	磯 邊 秀 司	Shuji Isobe
助教	Assistant Professor	浅田 和 之	Kazuyuki Asada
助教	Assistant Professor	菊池 健太郎	Kentaro Kikuchi

職 員

■ コミュニケーションネットワーク研究室 Communication Network Systems

教 授	Professor	長谷川 剛	Go Hasegawa
教 授 (兼)	Professor*	斎 藤 浩 海	Hiroumi Saito
教 授 (兼)	Professor*	乾 健太郎	Kentaro Inui
教 授 (兼)	Professor*	鈴 木 潤	Jun Suzuki
准教授 (兼)	Associate Professor*	後 藤 英 昭	Hideaki Goto
准教授 (兼)	Associate Professor*	水 木 敬 明	Takaaki Mizuki

■ 環境調和型セキュア情報システム研究室 Environmentally Conscious Secure Information System

教 授	Professor	本 間 尚 文	Naofumi Homma
助 教	Assistant Professor	上 野 嶺	Rei Ueno

■ ソフトコンピューティング集積システム研究室 Soft Computing Integrated System

教 授	Professor	堀 尾 喜 彦	Yoshihiko Horio
-----	-----------	---------	-----------------

■ 新概念 VLSI システム研究室 New Paradigm VLSI System

教 授	Professor	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu
教 授 (兼)	Professor*	青 木 孝 文	Takafumi Aoki
准教授	Associate Professor	夏 井 雅 典	Masanori Natsui
准教授	Associate Professor	鬼 沢 直 哉	Naoya Onizawa
准教授 (兼)	Associate Professor*	伊 藤 康 一	Koichi Ito
学術研究員	Research Fellow	玉 越 晃	Akira Tamakoshi

■ 情報社会構造研究室 (客員) Information Social Structure (Visitor Section)

客員教授	Visiting Professor	松 岡 浩	Hiroshi Matsuoka
客員教授	Visiting Professor	米 田 友 洋	Tomohiro Yoneda
客員教授	Visiting Professor	今 井 雅	Masashi Imai

附属研究施設 Research Facilities

附属ナノ・スピントロニクス実験施設 Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics

施設長 (併) / 教授	Director, Professor	堀 尾 喜 彦	Yoshihiko Horio
--------------	---------------------	---------	-----------------

■ 共通部 Cooperation Section

技術専門職員 (兼)	Technical Staff*	森 田 伊 織	Iori Morita
技術一般職員 (兼)	Technical Staff*	小 野 力 摩	Rikima Ono
技術一般職員 (兼)	Technical Staff*	武 者 倫 正	Michimasa Musha

■ スピントロニクス研究室 Spintronics

教 授	Professor	深 見 俊 輔	Shunsuke Fukami
教 授 (兼)	Professor*	松 倉 文 礼	Fumihiko Matsukura
教 授 (兼)	Professor*	安 藤 康 夫	Yasuo Ando
教 授 (兼)	Professor*	島 津 武 仁	Takehito Simatsu
教 授 (兼)	Professor*	齊 藤 伸	Shin Saito
教 授 (兼)	Professor*	池 田 正 二	Shoji Ikeda
教 授 (兼)	Professor*	大 兼 幹 彦	Mikihiko Ogane
准教授 (兼)	Associate Professor*	角 田 匡 清	Masakiyo Tsunoda
准教授 (兼)	Associate Professor*	小 川 智 之	Tomoyuki Ogawa
助 教	Assistant Professor	金 井 駿	Shun Kanai
助 教	Assistant Professor	Justin Llandro	Justin Llandro
助 教 (兼)	Assistant Professor*	山 根 結 太	Yuta Yamane

■ ナノ・バイオ融合分子デバイス研究室	Nano-Bio Hybrid Molecular Devices
----------------------------	--

教授	Professor	平野 愛弓	Ayumi Hirano
教授 (兼)	Professor*	吉 信 達 夫	Tatsuo Yoshinobu
教授 (兼)	Professor*	木 下 賢 吾	Kengo Kinoshita
教授 (兼)	Professor*	金 子 俊 郎	Toshiro Kaneko
教授 (兼)	Professor*	神 崎 展	Makoto Kanzaki
准教授 (兼)	Associate Professor*	大 林 武	Takeshi Obayashi
准教授 (兼)	Associate Professor*	宮 本 浩 一 郎	Koichiro Miyamoto
准教授 (兼)	Associate Professor*	西 羽 美	Hafumi Nishi
准教授 (兼)	Associate Professor*	加 藤 俊 顕	Toshiaki Kato
助 教	Assistant Professor	但 木 大 介	Daisuke Tadaki
助 教	Assistant Professor	小 宮 麻 希	Maki Komiya
助 教 (兼)	Assistant Professor*	平 本 薫	Kaoru Hiramoto

■ ナノ集積デバイス・プロセス研究室	Nano-Integration Devices and Processing
---------------------------	--

教授	Professor	佐 藤 茂 雄	Shigeo Sato
教授 (兼)	Professor*	張 山 昌 論	Masanori Hariyama
教授 (兼)	Professor*	黒 田 理 人	Rihito Kuroda
准教授	Associate Professor	櫻 庭 政 夫	Masao Sakuraba
准教授	Associate Professor	山 本 英 明	Hideaki Yamamoto
准教授 (兼)	Associate Professor*	Waidyasooriya Hasitha Muthumala	Waidyasooriya Hasitha Muthumala
助 教	Assistant Professor	佐 藤 信 之	Nobuyuki Sato
特任助教	Specially Appointed Assistant Professor	守 谷 哲	Satoshi Moriya

附属ブレインウェア研究開発施設	Laboratory for Brainware Systems
------------------------	---

施設長 (併) / 教授	Director, Professor	石 黒 章 夫	Akio Ishiguro
--------------	---------------------	---------	---------------

■ 認識・学習システム研究室	Recognition and Learning Systems
-----------------------	---

教授	Professor	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
教授	Professor	坂 本 修 一	Shuichi Sakamoto

■ ソフトコンピューティング集積システム研究室	Soft Computing Integrated System
--------------------------------	---

教授	Professor	堀 尾 喜 彦	Yoshihiko Horio
----	-----------	---------	-----------------

■ 新概念 VLSI システム研究室	New Paradigm VLSI System
---------------------------	---------------------------------

教授	Professor	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu
教授 (兼)	Professor*	青 木 孝 文	Takafumi Aoki
准教授	Associate Professor	夏 井 雅 典	Masanori Natsui
准教授	Associate Professor	鬼 沢 直 哉	Naoya Onizawa
准教授 (兼)	Associate Professor*	伊 藤 康 一	Koichi Ito

■ 実世界コンピューティング研究室	Real-World Computing
--------------------------	-----------------------------

教授	Professor	石 黒 章 夫	Akio Ishiguro
准教授	Associate Professor	加 納 剛 史	Takeshi Kano
助 教	Assistant Professor	福 原 洸	Akira Fukuhara
助 教 (兼)	Assistant Professor*	安 井 浩 太 郎	Kotaro Yasui

附属21世紀情報通信研究開発センター	Research Center for 21st Century Information Technology
---------------------------	--

センター長 (併) / 教授	Director, Professor	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu
----------------	---------------------	---------	-------------------

■ 産学官研究開発部	Industry-Academia-Government-Collaboration Research and Development Division
-------------------	---

教授 (兼)	Professor*	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu
客員准教授	Visiting Associate Professor	前 嶋 貴	Takashi Maehata
客員准教授	Visiting Associate Professor	本 良 瑞 樹	Mizuki Motoyoshi

職 員

■ 学際連携研究部 Interdisciplinary Collaboration Research Division

教授 (兼)	Professor*	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
教授 (兼)	Professor*	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu

■ 萌芽研究部 Exploratory Research Division

教授 (兼)	Professor*	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
教授 (兼)	Professor*	北 村 喜 文	Yoshifumi Kitamura
教授 (兼)	Professor*	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu

高等研究機構新領域創成部 Division for the Establishment of Frontier Sciences

■ 多感覚情報統合認知システム研究室 Multimodal cognitive system

教授 (兼)	Professor*	坂 井 信 之	Nobuyuki Sakai
助教 (兼)	Assistant Professor*	山 本 浩 輔	Kosuke Yamamoto

■ スピントロニクス・CMOS 融合脳型集積システム研究室 Spintronics/CMOS Hybrid Brain-Inspired Integrated Systems

教授 (兼)	Professor*	遠 藤 哲 郎	Tetsuo Endoh
助教 (兼)	Assistant Professor*	馬 奕 涛	Yitao Ma

安全衛生管理室 Management Office for Safety and Health

室 長 (兼) / 教授	Manager, Professor*	佐 藤 茂 雄	Shigeo Sato
助教 (兼)	Assistant Professor*	佐 藤 信 之	Nobuyuki Sato

共通研究施設 Common Research Facilities

やわらかい情報システムセンター Flexible Information System Center

センター長 (兼) / 教授	Director, Professor*	長谷川 剛	Go Hasegawa
----------------	----------------------	-------	-------------

研究基盤技術センター Fundamental Technology Center

センター長 (兼) / 教授	Director, Professor*	佐 藤 茂 雄	Shigeo Sato
技術専門員 (技術長)	Technical Staff	末 永 保	Tamotsu Suenaga

■ 工作部 Machine Shop Division

技術一般職員 (グループ長)	Technical Staff	阿 部 健 人	Kento Abe
技術一般職員	Technical Staff	前 田 泰 明	Yasuaki Maeda
技術一般職員	Technical Staff	関 谷 佳 奈	Kana Sekiya

■ 評価部 Evaluation Division

技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	丹 野 健 徳	Takenori Tanno
技術専門職員	Technical Staff	阿 部 真 帆	Maho Abe
技術一般職員	Technical Staff	柳 生 寛 幸	Hiroyuki Yagyu

■ プロセス部 Process Division

技術一般職員 (グループ長)	Technical Staff	小 野 力 摩	Rikima Ono
技術専門職員	Technical Staff	森 田 伊 織	Iori Morita
技術一般職員	Technical Staff	武 者 倫 正	Michimasa Musha

■ 情報技術部 Information Technology Division

技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	太 田 憲 治	Kenji Ota
技術専門職員	Technical Staff	丸 山 由 子	Yuko Maruyama

国際化推進室		Office for the Promotion of International Relations	
特任教授	Specially Appointed Professor	五十嵐 大 和	Hirokazu Igarashi

産学官連携推進室		Cooperative Research and Development	
特任教授（兼）	Specially Appointed Professor*	荘 司 弘 樹	Hiroki Shoji

事務部		Administration Office	
事務長	General Manager	三 上 洋 一	Yoichi Mikami
事務長補佐	Deputy-General Manager	渡 部 学	Manabu Watanabe
専門職員	Associate Expert	下 山 真 樹	Masaki Shimoyama
専門職員	Associate Expert	鈴 木 至	Itaru Suzuki
総務係長	Chief of General Affairs Section	富 川 浩 行	Hiroyuki Tomikawa
研究協力係長	Chief of Research Cooperation Section	柴 田 圭 一	Keiichi Shibata
経理係長	Chief of Accounting Section	山 口 教 光	Norimitsu Yamaguchi
用度係長	Chief of Purchasing Section	佐 藤 寛 之	Hiroyuki Sato

東北大学電気通信研究所
研究活動報告 第29号

2023年11月発行

発 行 者 羽 生 貴 弘
編 集 者 東北大学電気通信研究所総務委員会
〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1番1号
T E L 022-217-5422
F A X 022-217-5426
U R L <http://www.riec.tohoku.ac.jp/>
印 刷 所 有限会社 明倫社
〒989-3124 仙台市青葉区上愛子平治1-36
TEL 022-796-8871 FAX 022-796-8712



東北大学電気通信研究所

Research Institute of Electrical Communication Tohoku University

〒980-8577 仙台市青葉区片平二丁目1-1
TEL: 022-217-5420 FAX: 022-217-5426
<http://www.riec.tohoku.ac.jp>