



東北大学 電気通信研究所 研究活動報告

自己点検評価報告書

第22号(2015年度)

Annual Report 2015

Research Institute of Electrical Communication
Tohoku University



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>

研究活動報告 自己点検評価報告書

Vol.22

(二〇一五年版)

東北大学電気通信研究所



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) ナノフォトエレクトロニクス研究室	8
(2) 量子光情報工学研究室	10
(3) 固体電子工学研究室	12
(4) 誘電ナノデバイス研究室	14
(5) 物性機能設計研究室	16
2. ブロードバンド工学研究部門の目標と成果	18
(1) 超高速光通信研究室	20
(2) 応用量子光学研究室	22
(3) 先端ワイヤレス通信技術研究室	24
(4) 情報ストレージシステム研究室	26
(5) 超ブロードバンド信号処理研究室	28
3. 人間情報システム研究部門の目標と成果	30
(1) 生体電磁情報研究室	32
(2) 先端音情報システム研究室	34
(3) 高次視覚情報システム研究室	36
4. システム・ソフトウェア研究部門の目標と成果	38
(1) ソフトウェア構成研究室	40
(2) コンピューティング情報理論研究室	42
(3) コミュニケーションネットワーク研究室	44
(4) 情報コンテンツ研究室	46
5. ナノ・スピン実験施設の目標と成果	48
(1) ナノ集積デバイス・プロセス研究室	52
(2) 半導体スピントロニクス研究室	54
(3) ナノ分子デバイス研究室	56

6. ブレインウェア研究開発施設の目標と成果	58
(1) 認識・学習システム研究室	60
(2) 新概念VLSIシステム研究室	62
(3) 実世界コンピューティング研究室	64
7. 21世紀情報通信研究開発センターの目標と成果	66
(1) 研究開発部 モバイル分野	68
(2) 研究開発部 ストレージ分野	70
8. 安全衛生管理室	72
9. やわらかい情報システム研究センター	74
10. 研究基盤技術センター	76
11. 機動的研究グループ	78

第4章 独創的研究支援プログラム

1. Dirac 電子系の新奇な物性制御法の開拓	79
--------------------------	----

第5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	85
H25/A01 カルコゲナイドナノ構造の作製と物性探索、およびメモリー応用	89
H25/A02 InGaAs HEMT を用いた大電力テラヘルツ信号源の研究	92
H25/A03 IV族半導体-金属合金化反応制御による強磁性ナノドットの 高密度・自己組織化形成と磁気的特性	95
H25/A04 強磁性形状記憶合金をはじめとする機能性磁性材料の電子構造と物性発現機構の 解明	98
H25/A05 大規模超伝導量子検出器の実用化に関する研究	101
H25/A06 感性情報を高精度に伝達する音声情報通信システムの研	104
H25/A07 脳内の多チャネル色情報表現に関する研究	106
H25/A08 非線形時変特性を持つ聴覚情報表現による音声処理技術の開発	109
H25/A09 視覚モデル構築のための協調的環境に関する研究	112
H25/A11 ブレインウェアの情報原理とその応用の研究	114
H25/A12 不定な環境における適応能の階層横断的解明と工学的応用	117
H25/A13 人と空間と情報技術に関する研究	120
H26/A01 グラフェンを用いた光電子デバイスの研究	123
H26/A02 走査型非線形誘電率顕微法による層状構造圧電薄膜の極性評価	126
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	128
H26/A04 強誘電体障壁を有する Fe ₄ N 基トンネル接合素子の開発	131
H26/A05 磁性体／半導体ハイブリッド構造の形成とナノデバイスへの応用に関する研究	134
H26/A06 Ge ベース高度歪異種原子層配列IV族半導体形成とナノデバイスへの応用に関する 研究	136
H26/A07 2次元半導体薄膜の構造制御合成と物性解明	139
H26/A08 スピントルクオシレーターを用いた高感度磁気センサーの基礎検討	142

H26/A10	ディペンダブル・エア実現に向けた無線ネットワークアーキテクチャの開発	145
H26/A11	大脳神経回路の組織化に関する研究	148
H26/A12	ハイブリッド脳開発に向けた培養神経回路網の再構成	151
H26/A13	動的手がかりを考慮した音空間知覚に関する研究	154
H26/A14	ロングパスエコー下での伝送パラメータを用いない音声了解度推定	156
H26/A15	膜面法線磁場制御で発現する高機能薄膜デバイスの研究	159
H26/A16	ナノ構造体ハイブリッド太陽電池の開発	162
H26/A18	デザイン学の手法に基づく 3 次元インタラクティブ技術の医学教育への応用展開	165
H26/A19	情報の流れに着目した新世代情報処理基盤技術に関する研究	167
H26/A20	心的状況共有のための共感デバイス協調機構の研究	170
H26/A21	カメラ画像に基づく耳介の音響伝達関数の高精度推定	173
H26/A22	磁性半導体・酸化物の磁性とスピン輸送に関する研究	176
H26/A23	テラヘルツセンシングデバイスに関する日西国際共同研究	178
H26/A24	ダイレクトディジタル RF 変復調技術の研究	181
H26/A25	色名に関する文化差および個人差の研究	184
H26/A26	細かい手の操作の機械学習と HCI への応用	187
H27/A01	ナノ薄膜電解質を用いた固体酸化物形燃料電池の発電特性検証	189
H27/A02	プラズマナノバイオ・医療の基盤確立	192
H27/A03	原子層制御プラズマ CVD を駆使した IV 族半導体量子ヘテロ構造形成と電子物性制御	196
H27/A04	オペランド顕微分光を用いた次世代デバイス研究	199
H27/A05	量子情報通信のための革新的量子光源の開発	202
H27/A06	単一金属ナノ構造体の微細形状制御と光物性	204
H27/A07	THz デバイス応用に向けた半導体二次元電子系内プラズモンの シミュレーションによる研究	206
H27/A08	位相雑音特性に着目した共鳴トンネル THz 信号源の研究	209
H27/A09	フルコヒーレントアクセス方式を実現するための光-無線周波数変換方式に 関する研究	212
H27/A10	M2M 伝搬環境改善のためのメタマテリアルおよびリフレクトアレー応用に 関する研究	215
H27/A11	生理指標に基づく SDN 型ネットワークングシステムの実証的研究	218
H27/A12	自己身体情報が外部環境把握に与える影響に関する研究	221
H27/A13	モノラル音の知覚と頭部伝達関数の関係に関する研究	224
H27/A14	半導体微細加工と脂質二分子膜の融合に基づく高機能バイオ情報デバイスの創成	226
H27/A15	感覚刺激の処理速度による視聴覚間同期知覚の変容過程の解明	229
H27/A16	災害経験をかたりつぐ ICT に関する対話型・実践型研究	232
H27/A17	感覚情報間の同期性の判断がコンテンツの臨場感・迫真性に与える影響に 関する検討	235
H27/A18	話者映像が音声刺激の系列再生に及ぼす影響	237
H27/A19	ロングパスエコーを考慮できる音声了解度の物理評価指標の開発	239
H27/A20	光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究	241

H27/A21	脳型計算用ハードウェア技術	244
H27/A22	複数ディスプレイ環境における柔軟な 3 次元インタラクション	247
H27/A23	共生コンピューティングのためのマルチモーダル・エージェントフレームワークに関する研究	250
H27/A24	多様化する情報ネットワークのための知識獲得・活用に関する研究	253
H27/A25	スマートコミュニティ構築のためのシステムアーキテクチャと基盤技術の開発	256
H27/A26	ユビキタスシステムの実世界導入に向けた実証的研究	259
H27/A27	嗅覚を含むマルチモーダル情報処理過程に関する研究	262
H25/B01	非平衡スピン・ゆらぎの精緻な制御と観測による新規ナノデバイスの開拓研究	264
H25/B02	微粒子プラズマ物理に基づいた新規ナノ材料創成	267
H25/B03	次世代通信機器用磁性材料ならびに磁性デバイスに関する研究	270
H25/B04	磁性の電界制御の物理と応用	273
H25/B05	新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開	276
H25/B06	低炭素エネルギー社会を実現する電磁波技術に関する研究	279
H25/B07	物体の表面属性の視知覚に関わる脳内メカニズムの研究	282
H25/B09	マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの開発と民生応用	285
H25/B10	メタプログラムに対する論理的アプローチ	288
H26/B01	高性能圧電材料の開発と通信・計測デバイスへの応用	291
H26/B02	ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスに関する研究	294
H26/B03	ナノ半導体材料とそのデバイス・回路による電子システムに関する研究	297
H26/B05	ハイブリッドセミコンダクタ回路技術とその応用	300
H26/B06	マルチキャリア光波による先進通信・計測システムに関する研究	303
H26/B07	コトロジー創成：バイオミメティクスの新展開	306
H26/B08	多感覚統合への自己身体運動の寄与	309
H26/B09	ブレインウェア L S I 国際共同研究	312
H26/B10	高信頼・高スケーラビリティメニーコア並列計算基盤	315
H26/B11	人と移動体のセンシング・コミュニケーション技術に関する研究	318
H27/B01	プラズマ流中マルチスケール構造形成による新規反応場の開拓	321
H27/B02	炭化珪素系ヘテロ構造を用いた物質創成と応用展開	324
H27/B03	量子測定 of 物理と情報通信	327
H27/B04	固体中のスピン・ダイナミクス of 物理と応用	329
H27/B05	無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法に関する研究	331
H27/B06	科学の客観性と人間性との調和を目指す科学教育のあり方と実施方法 -現代科学の問題点と人類の未来のために-	334
H27/B07	脳内の並列情報処理	337
H27/B08	高次元ニューラルネットワークにおける情報表現の最適化	340
H27/B09	酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用	343
H27/B10	対人コミュニケーションにおける非言語行動ダイナミズムの解明	346
H27/B11	コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開	347
H27/B12	ネットワークダイナミクスに内在する非同期性の解析に関する予備検討	349

H27/B13	メディア技術の高機能化に関する研究	352
H27/B14	広域分散ストレージシステムの耐災害性・耐障害性の評価検証	355
H26/S1	未来のコヒーレント波科学技術基盤構築プロジェクト	358
H26/S2	スピントロニクス学術連携	361
H26/S3	ナノエレクトロニクスに関する連携研究	364
H27/S1	大規模データ処理に基づく対話的知識創発を通じた共感計算機構	367

第6章 国際会議・シンポジウム等

1. 通研国際シンポジウム

(1) 第23回 国際色覚学会

23rd Symposium of the International Colour Vision Society (ICVS 2015)	371
---	-----

(2) コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開

RIEC International Symposium on Computer Graphics and Interactive Techniques: New Horizon	372
--	-----

(3) 第13回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ

13 th RIEC International Workshop on Spintronics	373
--	-----

(4) 第四回 脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム

The 4th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer	374
--	-----

(5) 2016 年脳型 LSI に関する国際シンポジウム

2016 International Symposium on Brainware LSI	375
---	-----

(6) 第10回 バイオ・医療・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム

第7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 Joint Symposium of 10 th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, 7 th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics	376
--	-----

2. 国際会議等の開催状況

(1) 第8回 アジアにおけるコンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術に関する

国際会議 SIGGRAPH Asia 2015	377
-------------------------	-----

(2) 第9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&日本学術振興会研究

拠点形成事業ジョイントセミナー “高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成”	379
--	-----

3. 工学会研究会

(1) 伝送工学会	381
(2) 音響工学会	385
(3) 仙台 “プラズマフォーラム”	385
(4) EMC 仙台ゼミナール	386
(5) コンピュータサイエンス研究会	386
(6) システム制御研究会	387
(7) 情報バイオエレクトロニクス研究会	388

(8) スピニクス研究会	389
(9) ニューパラダイムコンピューティング研究会	390
(10) 超音波エレクトロニクス研究会	391
(11) ブレインウェア工学研究会	393
(12) 情報・数物研究会	394
(13) 生体・生命工学研究会	394
(14) ナノ・スピン工学研究会	395
(15) 先進的情報通信工学研究会	396

4. 通研講演会

(1) Chen Zhining 「An Antenna: A Simple Piece of Metal with A Highly Complex Task」	397
(2) 佐藤 源貞 「電波史に残る八木秀次博士の業績とその生涯」	397
(3) 水野 皓司 「東北大電気系におけるマイクロ波電子管の開発 —指導原理の大切さ—」	398
(4) 西口 正之 「オーディオコーデック技術開発と権利化、標準化、実用化」	399
(5) Ramachandra Achar 「Demystifying Signal Integrity in High-Speed Designs」	400
(6) 酒井 正夫 「クラウドストレージのセキュリティ技術」	401
(7) 小川 大祐 「植込み型補助人工心臓 EVAHEART 用コントローラの開発」	401
(8) 越田 信義 「Emerging Applications of Nanostructured Silicon」	402
(9) 横田 紘子 「六方晶 ErFeO_3 薄膜の誘電・磁気特性」	402
(10) SangBum Kim 「NVM Neuromorphic Core with 64k-cell (256-by-256) Phase Change Memory」	403
(11) 安田 宗樹 「確率的深層学習の基礎数理—深層ボルツマンマシンの真相に迫る—」	404
(12) 河邊 隆寛 「視覚質感認識の科学的解明と質感操作技術「変幻灯」への応用」	405
(13) 石田 亨 「多言語知識コミュニケーションを用いたベトナム農業支援」	406

第7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

(1) 省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター	407
(2) 電気通信研究機構	408
(3) 国際集積エレクトロニクス研究開発センター	409
(4) スピントロニクス連携推進室	410

2. 参画する事業・プログラム

(1) 博士課程教育リーディングプログラム	411
(2) イノベーション戦略推進本部 革新的イノベーション研究機構	412
(3) スピントロニクス国際共同大学院プログラム	413
(4) 学際研究重点プログラム	414

第8章 評価と分析

運営協議会報告	415
---------	-----

【資料編】

第1 人事	431
①教員 ②客員外国人教員 ③客員教員 ④非常勤研究員 ⑤各種研究員 ⑥客員外国人教員（外国人研究員） ⑦教育研究支援者 ⑧学振特別研究員 ⑨教員以外の研究員（ポスドク）の転出先 ⑩支援職員	
第2 予算	436
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	438
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	442
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（平成27年度研究代表者） ④競争的資金等状況 ⑤受章・受賞件数 ⑥受章・受賞者一覧 ⑦発表論文数	
第5 共同プロジェクト研究	451
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	458
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組織委員をつとめた最近の国際会議件数 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	472
①東北大学電気・情報東京フォーラム、仙台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	475
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	476
付 録 職員	477

第 1 章 はじめに

は じ め に

電気通信研究所は、八木・宇田アンテナや陽極分割型マグネトロンなどの先駆的研究を受けて 1935 年に設立されました。以来、情報通信の基盤となる多くの研究成果を世に先駆けて挙げ、世界をリードする活動を続けてきました。昨年は、創立 80 周年と延床面積 13.513 m²地上 6 階、地下 1 階の本館の竣工を記念して、記念式典と開所式を挙行了しました。その際、50 周年記念式典で当時の西澤潤一所長が「学問というものはまだ名前がつかないうちに始めるようではいけない、東北大学電気通信研究所および電気系全体として、これをもって精神の基礎となす」と挨拶されたことを紹介しました。本所はこの伝統の上に、人間性豊かなコミュニケーション実現のための科学技術を発展、進化させ、これからも世界を先導する活動を続けていく所存です。

大学、そして本所を取り巻く環境は時々刻々と変化しています。本年度は第 5 期科学技術基本計画の初年度ですが、そこでは超スマート社会へ向けイノベーション回路をまわしていく、そのために基盤技術となるサイバーセキュリティ、IoT、ビッグデータ、AI（人工知能）、デバイスを強化することが示されています。これらは言うまでもなく、本所がカバーし先導すべき研究領域です。一方で、本年度は国立大学法人の第 3 期中期目標・中期計画期間の初年度でもあります。わが国の財政事情を反映して、運営費交付金は減少してその内容も変化し、大学の姿も教育、研究、産学連携を柱に大きな変革が求められています。このような環境の中で、上記の基盤技術をはじめとするこれからの情報通信技術を創出していかなければなりません。

本研究所の体制は、平成 16 年度(2004 年度)から情報デバイス、ブロードバンド工学、人間情報システム、システム・ソフトウェアの 4 つの研究部門と、ナノ・スピン実験施設およ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の 1 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)の研究スパン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、情報科学研究科およ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ています。本年度は第 2 期の初年度です。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。

情報通信が不可欠の社会基盤となった今日、より高速・大容量の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、社会基盤には高い耐災害性も要求されることを東日本大震災の経験は改めて認識させました。さらに、最先端技術を基盤に、人と人との意思疎通に資する、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。本研究所は、これらの社会的な要請を受けとめ、大学附置の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。

本研究所では、研究、教育、及び社会貢献にわたる諸活動を広く社会に公開して点検し、研究活動等の改善と今後の発展に資するため、毎年ここにお届けする「研究活動報告」を発行しています。本編は各部門、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、工学会活動、通研講演会などに関する活動報告からなっています。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。

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。

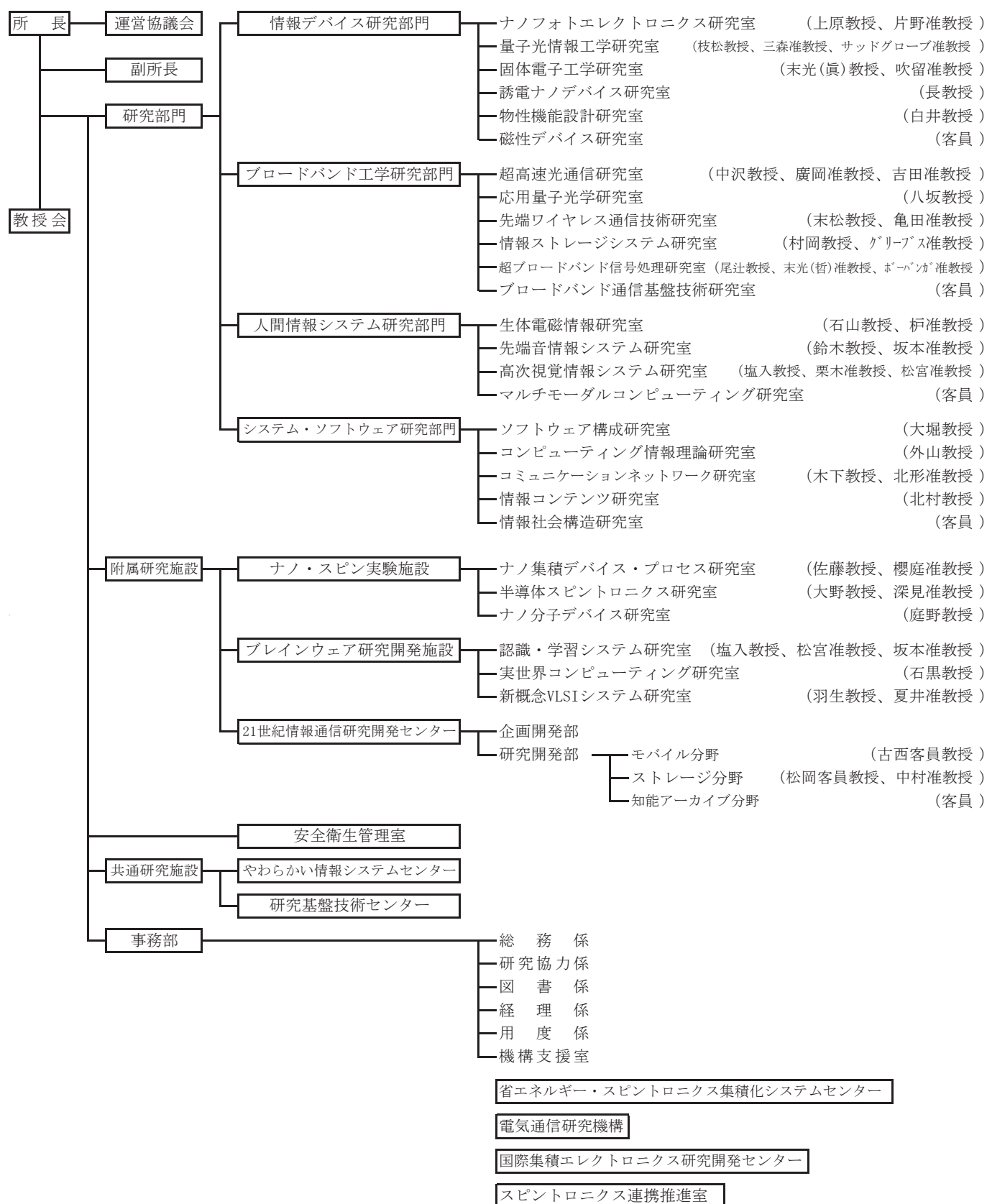
平成 28 年 5 月 1 日

電気通信研究所 所長

大 野 英 男

第 2 章 組織・運営

2. 1 組 織 図



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。

赤 木 正 人	(委 員)	北陸先端科学技術大学院大学	情報科学研究科	教授
伊 丹 俊 八	(〃)	国立研究開発法人	情報通信研究機構	理事
伊 藤 公 平	(〃)	慶應義塾大学	理工学部	教授
潮 田 資 勝	(〃)	国立研究開発法人	物質・材料研究機構	理事長
江 村 克 己	(〃)	日本電気株式会社	執行役員	
小野寺 正	(委員長)	KDDI 株式会社	代表取締役会長	
金 山 敏 彦	(委 員)	国立研究開発法人	産業技術総合研究所	副理事長
黒 田 徹	(〃)	日本放送協会	放送技術研究所	所長
小 畑 秀 文	(〃)	独立行政法人	国立高等専門学校機構	理事長
財 満 鎮 明	(〃)	名古屋大学	未来材料・システム研究所	材料創生部門 副総長・教授
柴 田 直	(〃)	公益社団法人	応用物理学会	物理系学術誌刊行センター 専任編集長 東京大学名誉教授
中小路 久美代	(〃)	京都大学	学際融合教育研究推進センター	特定教授 株式会社 SRA 先端技術研究所 所長
前 田 英 作	(〃)	日本電信電話株式会社	コミュニケーション科学基礎研究所	所長
松 島 裕 一	(〃)	早稲田大学	研究戦略センター	教授
渡 辺 美代子	(〃)	国立研究開発法人	科学技術振興機構	副理事
早 坂 忠 裕	(〃)	東北大学	大学院理学研究科長	
滝 澤 博 胤	(〃)	東北大学	大学院工学研究科長	
徳 山 豪	(〃)	東北大学	大学院情報科学研究科長	
高 梨 弘 毅	(〃)	東北大学	金属材料研究所長	
村 松 淳 司	(〃)	東北大学	多元物質科学研究所長	
小 林 広 明	(〃)	東北大学	サイバーサイエンスセンター長	
川 又 政 征	(〃)	東北大学	大学院工学研究科	教授

2. 3 共同研究組織

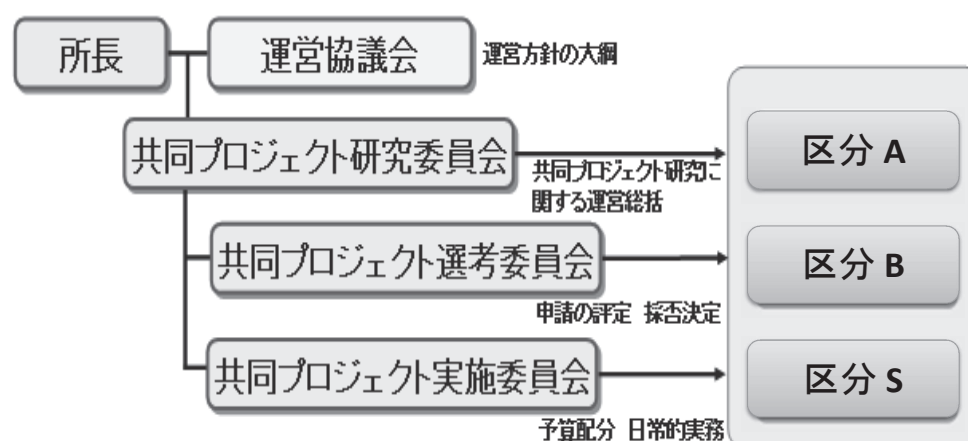
本研究所は平成6年に国立大学附属の共同利用研究所に改組され、全国唯一の情報通信に関する共同利用研究所となった。本研究所はこれまで半導体材料、デバイス、磁気記録、光通信、電磁波技術、超音波技術、音響通信、非線形物理工学、生体情報、情報システム、コンピュータソフトウェアなどの諸領域において数々の世界的業績を上げてきた。また、「超微細電子回路実験施設」は改組を機として「超高密度・高速知能システム実験施設」、さらに平成16年の改組に伴い、「ナノ・スピンの実験施設」と「ブレインウェア実験施設（平成26年4月に「ブレインウェア研究開発施設」に名称変更）」の2施設として設備を充実し発足した。実験施設ではこれ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ご意見を頂き、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で審議する。

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。

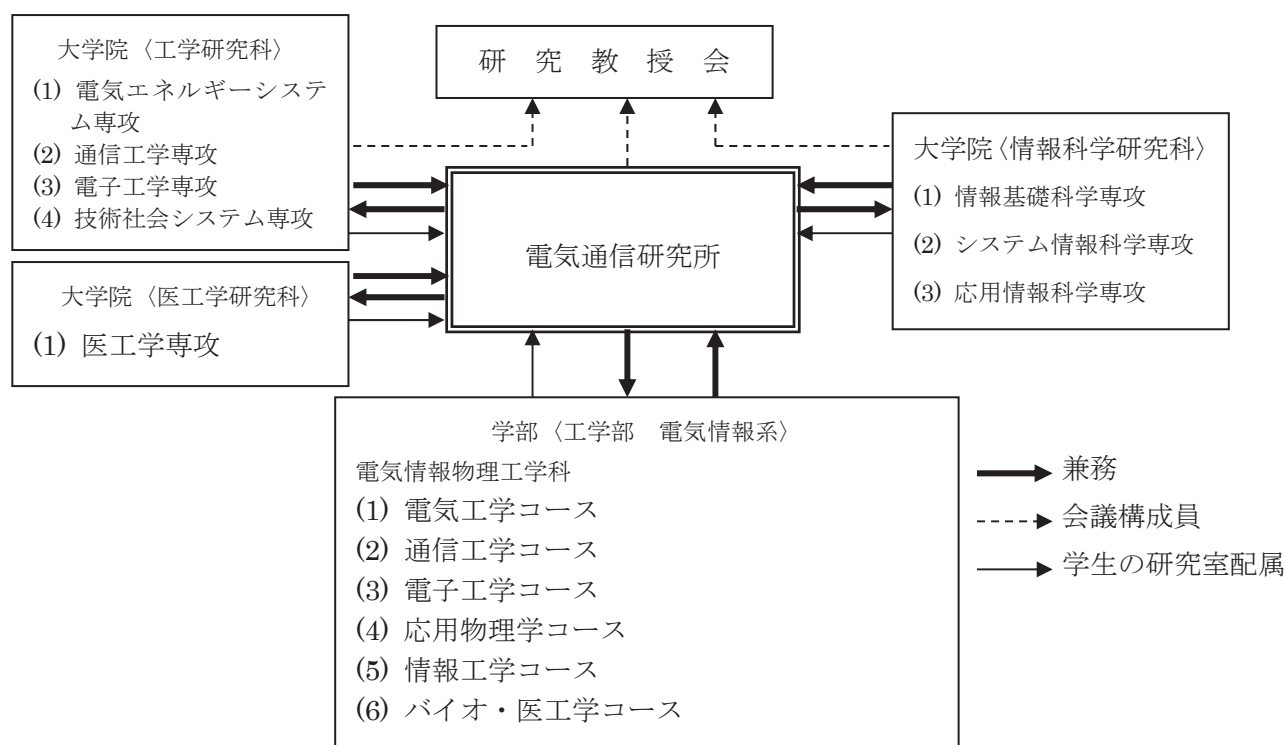
現在、通研と電気・情報系との間には下図に示す相互教育関係が維持されている。2004年、電気・情報系4学科は応用物理学科と合同の大学科、電気情報・物理工学科となった。2007年には情報知能システム総合学科と改称し、そのなかの6コースが電気・情報系と位置づけられている。2012年には、工学研究科の電気・通信工学専攻が電気エネルギーシステム専攻及び通信工学専攻に改められた。

2015年度には電気情報物理工学科と改称、通研の25研究室のうち2研究室が工学研究科電気エネルギーシステム専攻に、5研究室が通信工学専攻に、8研究室が電子工学専攻に、3研究室が情報科学研究科情報基礎科学専攻に、2研究室がシステム情報科学専攻に、2研究室が応用情報科学専攻に、2研究室が大学院医工学研究科医工学専攻に、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153名、一研究室当たり平均6名に達している。

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、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く。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工学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、次世代情報処理機能デバイス実現の基盤となる、ナノスケール光電変換機能、量子スピン機能制御などの新しい量子物性機能や構造機能の実現を図ると共に、これらの新しい機能を活用したフォトニックデバイス、再構成可能論理デバイス、誘電情報デバイス、電子・光相関効果電子デバイス、量子効果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6研究室を設置し、さらにナノ・スピン実験施設の1研究室であるナノ集積デバイス・プロセス研究室と有機的連携を保ちつつ研究を行っている。

1. ナノフォトエレクトロニクス研究室
2. 量子光情報工学研究室
3. 固体電子工学研究室
4. 誘電ナノデバイス研究室
5. 物性機能設計研究室
6. 磁性デバイス研究室 (客員研究室)

各分野の目標ならびに2015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。なおナノ集積デバイス・プロセス研究室の目標・成果については、後述のナノ・スピン実験施設の節で述べる。

ナノフォトエレクトロニクス研究室

ナノ構造物性の探索とデバイス応用

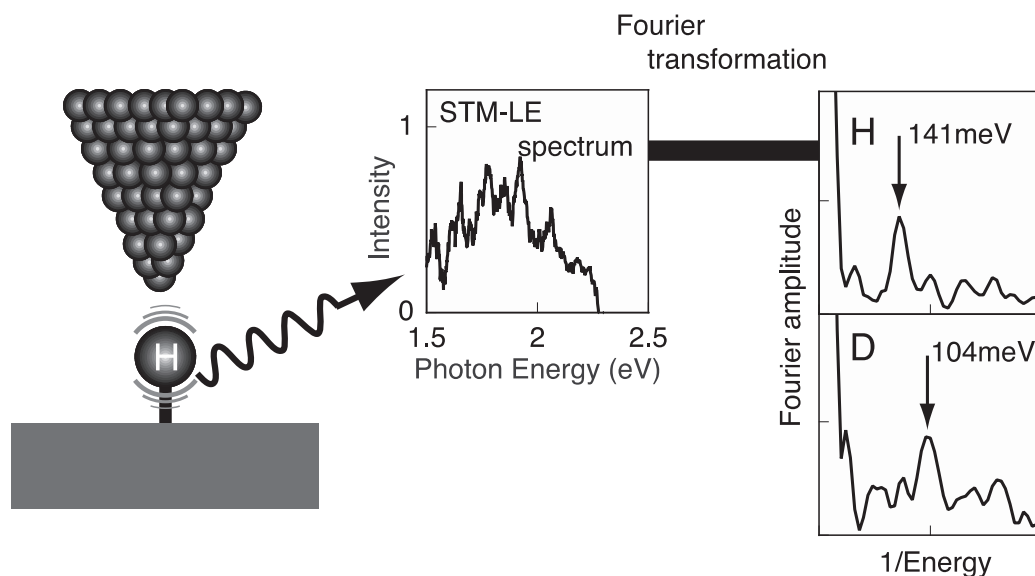


図1 STM発光分光による個々の吸着種の振動分光

ナノフォトエレクトロニクス研究分野 教授 上原 洋一
 ナノ光分子エレクトロニクス研究分野 准教授 片野 諭

<研究室の目標>

本分野の研究目標はナノメートル領域における新規な物理・化学現象の探索とナノフォトエレクトロニクス・デバイスへの応用にある。光と電子の作用場としてのナノ構造に着目し、そこで生起する新規な光・電子物性を探索発見し、次世代ナノ量子デバイスへ応用展開を目指す。走査プローブ顕微鏡を用いた局所分光（走査トンネル顕微鏡 (STM) 発光分光、走査トンネル分光 (STS)、探針増強ラマン分光、原子間力顕微鏡など）、レーザー分光、光電子分光などの測定手法と分子吸着や蒸着、レーザー・アブレーションなどの孤立ナノ構造作製手法を組み合わせ、個々の分子や孤立ナノ構造の有する物性を研究している。また、新規な物性探索のための新しい計測手法の開発も分野の研究目標に含まれる。図1は本分野で開発したSTM発光分光による個々の表面吸着種の振動分光の概略図である。

<2015年度の主な成果>

1. ポンプ-プローブSTM発光分光

我々が開発したポンプ-プローブSTM発光分光法を用いて、ピコ秒パルスにより誘起された材料物性の時間発展をSTMの位置分解能とピコ秒の時間分解能で計測した。試料が金の場合には、ポンプ光により生成されたdバンドホールが誘電関数に及ぼす影響の時間発展が決定された。Ni(110)上に吸着した原子水素の系では、通常のSTM発光分光（図1参照）では励起されない振動モードがポンプ光により励起され、その時間振る舞いが原子位置分解能で計測された。室温近傍で半導体-金属相転移を起こすことが知られているVO₂試料では、ポンプレーザー照射後25psで個々の半導体相のナノ構造が金属相に光相転移することを見いだした。また、THz域でのポンプ-プローブSTM発光分光の開発に着手した。可視域におけるピコ秒レーザー照射下でのSTM発光強度は、レーザー光強

度の増大に伴い低下することが判っている。しかし、THz域の Sb_2Te_3 のSTM発光では逆の傾向が見いだされた。前年度に実施した Sb_2Te_3 の「可視域でのポンプ-プローブSTM発光分光の結果」とつきあわせると、THz域のSTM発光強度の増大はレーザー光照射にともなう過渡的な(Sb_2Te_3 の)バンド構造の変化に起因すると結論された。

2. 酸化グラフェンのナノスケール電子構造の解明

酸化グラフェン(GO)の光電子物性は、導電性の sp^2 ドメインと酸化により形成された絶縁性の sp^3 ドメインのナノスケール構造によって支配される。我々は高い空間分解能を有するSTMを用いて、微細構造に起因したGOの電子構造を明らかにし、その電子状態を局所的に制御する研究を現在進めている。本年度、オクタンチオール/Au(111)上に固定化されたGOの局所電子構造をSTSにより明らかにする研究を行った。GO上にSTM探針を固定してSTS計測を行ったところ、GOの sp^2 ドメインに由来される π および π^* の電子状態を観測することができた。 π - π^* のエネルギーギャップの大きさは測定位置に強く依存し、これは不均一な空間サイズを有する sp^2 ドメインがGO内に混在するためであると考えられる。さらに、エネルギーギャップの中心位置が場所によって異なることがわかった。これは局所的な酸素官能基-グラフェン間の電子移動に起因すると考えられる。

3. 走査トンネル顕微鏡を用いた単一銀ナノ微粒子の発光計測

貴金属のナノ微粒子に光や電子を照射するとナノ微粒子に局在化した局在表面プラズモン(LSP)が励起され、著しく増強された電場が発生する。LSPの電場増強は粒子の大きさや近傍に位置する別の微粒子までの距離に強く依存し、それらを精密に制御することはナノ微粒子を電場増強の空間場として利用する上で必要不可欠である。我々は銀探針を用いた電界蒸発現象により、銀ナノ微粒子をSi(111)基板上の任意の位置に再現性よく作製できることを昨年度の研究で明らかにした。本年度、我々は微粒子の大きさおよび微粒子の形状に依存する光物性をSTM発光計測により明らかにする研究を行った。単一銀ナノ微粒子の直上に探針を固定し、発光スペクトル計測を行った。その結果、銀ナノ微粒子のサイズが大きくなると可視光領域の発光強度が大きくなり、発光エネルギーがシフトすることがわかった。このような微粒子の形状に依存した発光スペクトルは、銀ナノ微粒子のLSP共鳴で説明される。有限差分時間領域法による理論解析においても、適切な銀探針構造を指定することで銀ナノ微粒子の大きさに依存した発光スペクトル変化を再現できることがわかった。

<職員名>

教授 上原 洋一(2005年より)

准教授 片野 諭(2012年より)

<プロフィール>

上原 洋一 1979年3月 大阪府立大学工学部電子工学科卒業、1986年3月 同大学大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了(工学博士)。1986年4月 東北大学電気通信研究所助手。1992年4月 同助教授。2005年6月 同教授、現在に至る。電子ならびに光学的分光手法による表面ナノ物性の研究に従事。レーザー学会論文賞(1986年)、日本学術振興会 167 委員会・ナノプローブテクノロジー賞(2006年)。

片野 諭 2003年3月 東京工業大学大学院総合理工学研究科物質電子化学専攻博士後期課程修了。2003年4月 独立行政法人 理化学研究所中央研究所 博士研究員。2006年8月 東北大学電気通信研究所助手。2007年4月 同助教。2012年5月 同准教授、現在に至る。固体表面における吸着原子・分子の表面物理化学およびナノ光物性研究に従事。第23回応用物理学会講演奨励賞(2008年)。

<2015年度の主な発表論文等>

- [1] Y. Uehara, S. Katano, M. Kuwahara, and T. Suzuki, "Electromagnetic Properties of Scanning Tunneling Microscope Tip-sample Gap in the Terahertz Frequency Range", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **54**, 08LB06 (2015).
- [2] M. Kuwahara, H. Uratsuji, M. Abe, H. Sone, S. Hosaka, J. Sakai, Y. Uehara, R. Endo, and T. Tsuruoka, "Sb-Te alloy nanostructures produced on a graphite surface by a simple annealing process", *Appl. Surf. Sci.*, **346**, 366-371 (2015).
- [3] J. U. Ahamed, S. Katano, and Y. Uehara, "STM-Induced Light Emission from Vacuum-Evaporated Gold Film", *Bull. Mater. Sci.*, **38**, 1271-1276 (2015).
- [4] S. Katano, H. Fujita, T. Wei, and Y. Uehara, "Nanoscale Light Emission Spectroscopy of a Single Carbon Nanotube Adsorbed on Au(111)", *J. Vac. Soc. Jpn.*, **59**, 92-95 (2016).

電子と光子を用いた量子情報通信デバイスの開発

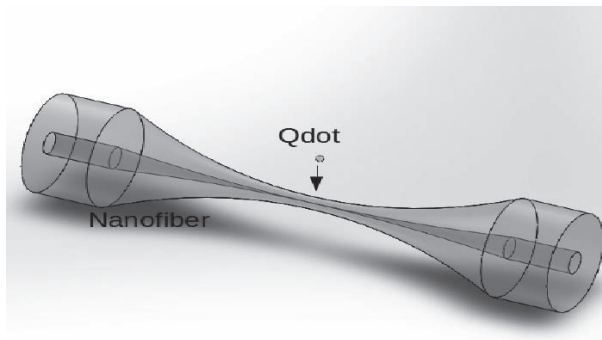


図1. ナノファイバと量子ドット（ナノ粒子）の模式図.

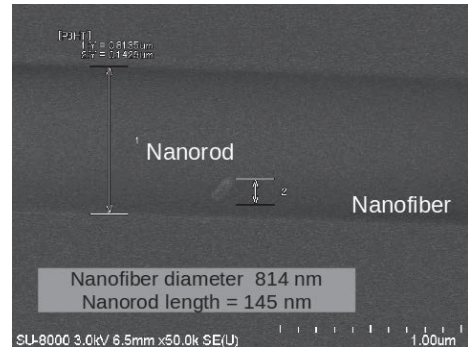


図2. ナノファイバ表面に結合した金ナノ粒子（ナノロッド）のSEM（走査型電子顕微鏡）写真

量子光情報工学研究分野 教 授 枝松 圭一
 量子レーザー分光工学研究分野 准教授 三森 康義
 量子ナノフォトンクス研究分野 准教授 Mark Sadgrove

<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ミ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。本研究分野は、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積極的に挑戦する。

<2015年度の主な成果>

(1) 量子測定における誤差と擾乱の不確定性関係の実験的検証

量子測定における、ある物理量の測定誤差と他の物理量の擾乱との間の不確定性関係は、量子論の本質的性質であるのみならず、量子計測、量子通信への応用上も重要な意味をもつ。本研究室では、光子の偏光の一般化測定における誤差・擾乱の不確定性関係を検証する実験研究を行い、ハイゼンベルクの誤差・擾乱の関係式が破れ、近年新たに提唱された関係式が成立していることを明らかにした。

(2) 半導体量子ドット、量子構造を用いた量子情報通信デバイスの開発

量子情報通信への応用を目指し、半導体量子ドット等の量子構造の光物性および量子光学的な性

質を研究している。本年度は半導体量子ドットにおいて局所電場効果に起因する位相回折格子の観測に成功するなどの成果を得た。また、半導体薄膜、微小共振器中の励起子分子においてその時間応答を測定することにより、励起子分子の発光過程にパーセル効果が強く関与していることを明らかにした。

(3) ナノ光ファイバを用いた単一光子光源の開発

ナノ光ファイバを用いた単一光子光源の開発、およびナノフォトニクスデバイスとナノ粒子および冷却原子の結合と制御を目指した研究を行っている。本年度はナノ光ファイバの作製条件の最適化を行うとともに、ナノ光ファイバに金ナノ粒子を付着した系において、ナノ粒子を介してファイバに導入される光の特異なキラル偏光特性を観測した。

<職員名>

教授 枝松圭一（2003 年より）

准教授 三森康義（2011 年より）

准教授 Mark Sadgrove（2015 年より）

助教 松本伸之（学際科学フロンティア研究所）

事務補佐員 長岡亜紀子、渋谷実加

<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

三森康義 1998 年東京工業大学大学院理工学研究科博士課程修了，日本学術振興会特別研究員，NTT 基礎研究所研究員，東京工業大学大学院非常勤講師，独立行政法人通信総合研究所専攻研究員，東北大学電気通信研究所助教，2011 年 7 月より現職

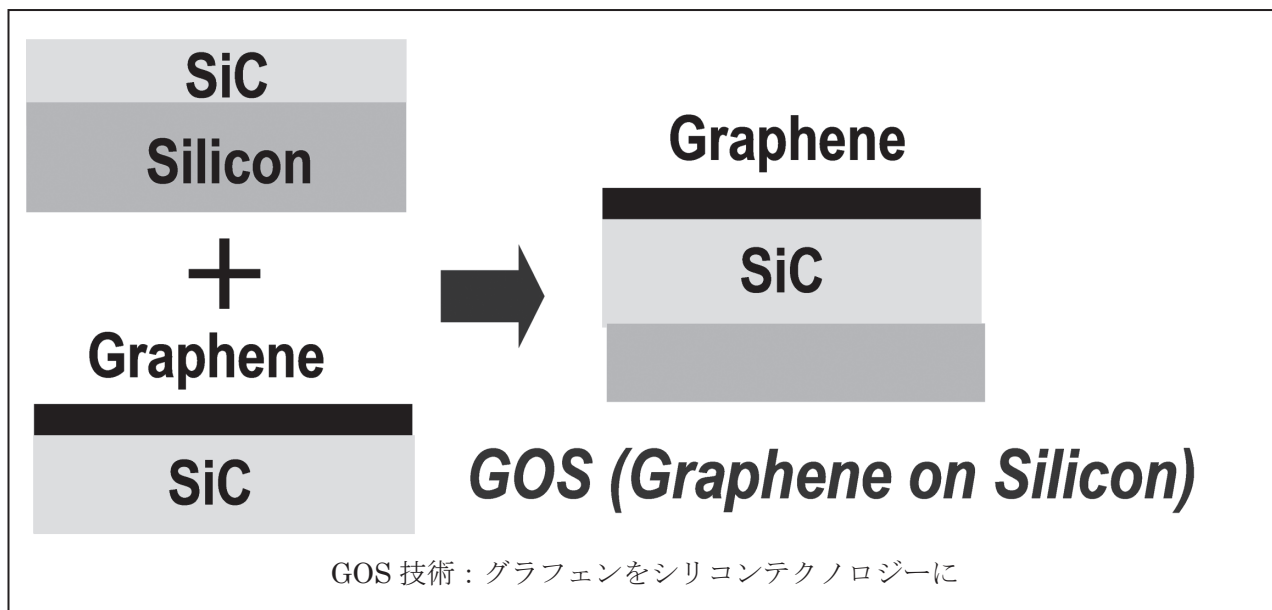
Mark Sadgrove 2006 年オークランド大学（ニュージーランド）Ph.D 修了，電気通信大学レーザー新世代研究センター博士研究員，学習院大学理学部博士研究員，電気通信大学フォトニクイノベーション研究センター特任助教，2015 年 4 月より現職

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] J. Keloth, M. Sadgrove, R. Yalla, and K. Hakuta, “Diameter measurement of optical nanofibers using a composite photonic crystal cavity,” Opt. Lett. **40**, 4122-4125 (2015)
- [2] N. Matsumoto, K. Komori, Y. Michimura, G. Hayase, Y. Aso, and K. Tsubono, “5-mg suspended mirror driven by measurement-induced backaction,” Phys. Rev. A **92**, 033825 (2015)
- [3] K. Edamatsu, “Quantum measurement and uncertainty relations in photon polarization,” Phys. Scr., in press.

固体電子工学研究室

炭化ケイ素、グラフェン、二次元物質をシリコン・テクノロジーに



固体電子工学研究分野 教授 末光 眞希

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、シリコンの百倍という速さで電子が走るグラフェンをシリコン基板の上に形成することに世界で初めて成功し、世界の注目を集めている。現在、このグラフェンを高周波トランジスタや光デバイスに応用する研究を進めている。

<2015 年度の主な成果>

1. SiC-C 面上グラフェンの高品質化

クラス 10 以下の高潔浄雰囲気下で SiC 上グラフェン化を行い、C 面 SiC 上のグラフェンのドメインサイズを、従来の数百 nm から数十 μm へと、二桁増大することに成功した。

2. SiC-C 面上エピタキシャルグラフェン電気特性の超高性能化

上記グラフェンが $100,000\text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の高移動度を示すこと、またこれを光励起することによってグラフェンキャリアの反転分布が発生することを明らかにした。

3. Si(111)基板上エピタキシャル 3C-SiC 薄膜の高品質化

成長ストイキオメトリ制御により 3C-SiC 表面に $\{-111\}$ ファセットを形成し、これにより (111) 面内に導入されるショックレー型部分転位によって応力緩和と SF 密度低減 ($<1200\text{ 本/cm}$) を実現した。

4. Si(110)基板上エピタキシャル炭化ケイ素の結晶方位回転成長機構を解明

Si(110)基板上に (111) 配向 SiC 単結晶薄膜が成長する回転成長が、SiC 成長前に形成するアモルファス状バッファ層を SiC 成長温度に昇温加熱する段階で回転エピ核が発生することによって生じる

ことを明らかにし、この知見に基づき高品質回転エピ膜の成長に成功した。

5. GaN-HEMT の電流コラプス現象のオペランド顕微 X 線分光観察に成功

高出力ミリ波通信トランジスタとして有望な GaN-HEMT が抱える動作不安定現象「電流コラプス現象」が、表面欠陥に起因するものであることをデバイス機能部位の動作下における高空間分解能（100nm 以下）観察が可能なオペランド顕微 X 線分光を用いて解明することに成功した。

<職員名>

教授 末光 眞希（2008 年より）

准教授 吹留 博一（2008 年より）

客員教授 長澤 弘幸（2013 年より）

技術補佐員 波入 久美

産学連携研究員 Sai Jiao

産学連携研究員 朴 君昊

産学連携研究員 Venugopal Gunasekaran

<プロフィール>

末光 眞希 1975 年 3 月 東北大学工学部電子工学科卒業。1980 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。1980 年 4 月 同大電気通信研究所助手。1990 年 4 月 同大電気通信研究所助教授。2003 年 4 月 同大学際科学国際高等研究センター教授、2008 年 4 月 同大電気通信研究所教授、現在に至る。半導体薄膜表面工学の研究開発に従事。第 30 回熊谷記念真空科学論文賞受賞（2005 年 11 月）。総長教育賞受賞（2010 年 3 月）。2009 年度 e-Journal of Surface Science and Nanotechnology, Paper of the Year 賞受賞。2011 年度表面科学会論文賞受賞（2011 年 12 月）。

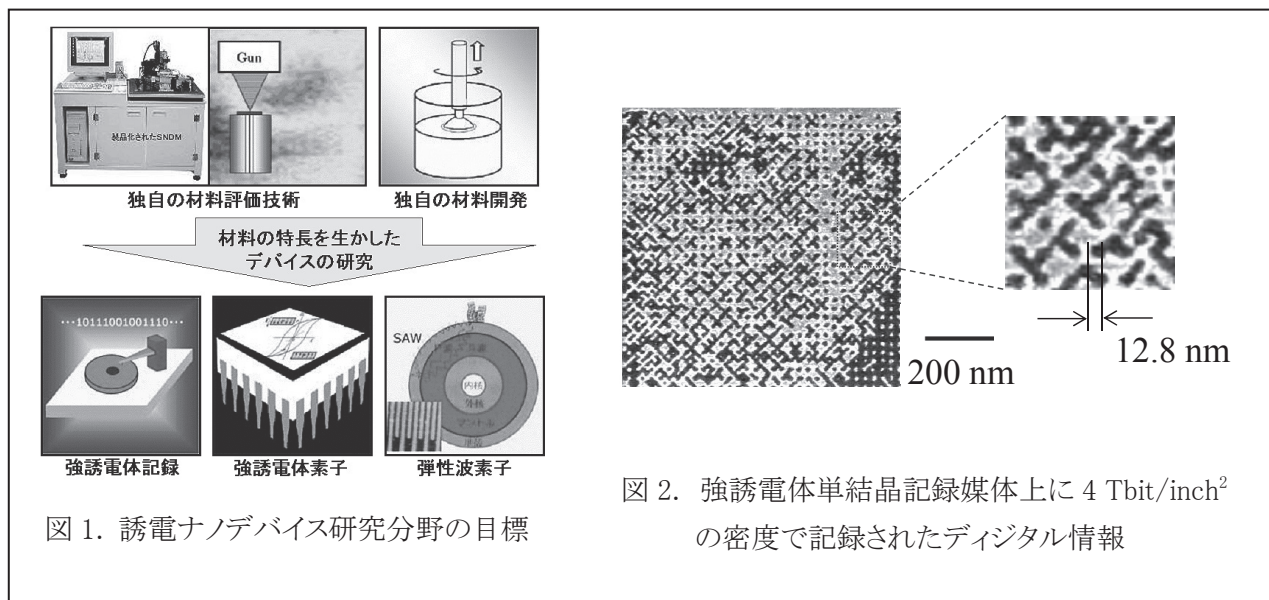
吹留 博一 1995 年 3 月 大阪大学基礎工学部合成化学学科卒業。2000 年 3 月 同大学院基礎工学研究科化学系専攻博士後期課程修了。米国ベル研究所、理化学研究所等を経て、2008 年 12 月 東北大学電気通信研究所助教。2012 年 4 月 同大電気通信研究所准教授。二次元 Dirac 電子系の結晶成長、MEMS、オペランド顕微分光及びデバイス応用の研究に従事。日本表面科学会論文賞受賞（2011 年）。

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] Kohei Yamasue, Hirokazu Fukidome, Kazutoshi Funakubo, Maki Suemitsu, and Yasuo Cho, “Interfacial Charge States in Graphene on SiC Studied by Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Potentiometry,” Physical Review Letters, Vol. 114, 226103-1-5, 2015.
- [2] Sai Jiao, Yuya Murakami, Hiroyoki Nagasawa, Hirokazu Fukidome, Isao Makabe, Yasunori Tateno, Takashi Nakabayashi, and Maki Suemitsu, “High quality graphene formation on 3C-SiC/4H-AlN/Si heterostructure,” Materials Science Forum, Vol. 806, No. , pp. 89-93, 2015.
- [3] Mika Hasegawa, Kenta Sugawara, Ryota Suto, Shota Sambonsuge, Yuden Teraoka, Akitaka Yoshigoe, Sergey Filimonov, Hirokazu Fukidome, Maki Suemitsu, “In Situ SR-XPS Observation of Ni-assisted Low-Temperature Formation of Epitaxial Graphene on 3C-SiC/Si,” Nanoscale Research Letters(Nano express), Vol. 10, No. , pp. 421-426, 2015.
- [4] Hiroyoki Nagasawa, Ramya Gurunathan, Maki Suemitsu, “Controlling Planar Defects in 3C-SiC: Ways to Wake it up as a Practical Semiconductor,” Materials Science Forum, Vol. 821-823, pp.108-114, 2015.
- [5] Shota Sambonsuge, Sai Jiao, Hiroyuki Nagasawa, Hirokazu Fukidome, Sergey N. Filimonov, Maki Suemitsu, “Formation of qualified epitaxial graphene on Si substrates using two-step heteroepitaxy of C-terminated 3C-SiC(-1-1-1) on Si(110),” Diamond & Related Materials, Vol. 67, pp. 51-53, 2016.
- [6] Maki Suemitsu, “Recent Progress in the Epitaxial Graphene Formation on 3C-SiC/Si Substrates (invited),” 2016 MRS Spring Meeting & Exhibit, Phoenix, US. March 31, 2016.

誘電ナノデバイス（長）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



誘電ナノデバイス研究分野 教授 長 康雄

<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 等に多用されている強誘電体単結晶や薄膜の分極分布や、様々な結晶の局所的異方性を高速かつ高分解能に観測できる非線形誘電率顕微鏡 (SNDM) の研究・開発を行っている。この顕微鏡は残留分極分布の計測や結晶性の評価を純電気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。

<2015 年度の主な成果>

1. NC-SNDM による原子レベル極性判別

走査型非線形誘電率ポテンシオメトリ (SNDP) 法を用いた 4H-SiC(0001) 上のグラフェンの原子スケール観察に成功した。また、SNDP を用いた表面自発分極の新たな測定法の提案を行った。

2. 超高次非線形誘電率計測による半導体デバイスの評価

超高次非線形誘電率顕微法 (SHO-SNDM) による SiO₂/SiC 界面評価手法の開発を行った。また半導体デバイスにおける新たな界面評価手法として、局所 DLTS 法を開発した。

3. 超高密度強誘電体記録デバイスの研究開発

イットリウム添加 HfO_2 薄膜におけるナノスケール分極反転およびその SNDM による極性判別が可能であることを明らかにした。

4. SNDM プローブを用いた線形誘電率ナノイメージング

SNDM プローブを用いた線形誘電率ナノイメージングに関する新たな手法の提案を行った。

<職員名>

教授 長 康雄（2001年より）

助教 平永 良臣 助教 山末 耕平

<プロフィール>

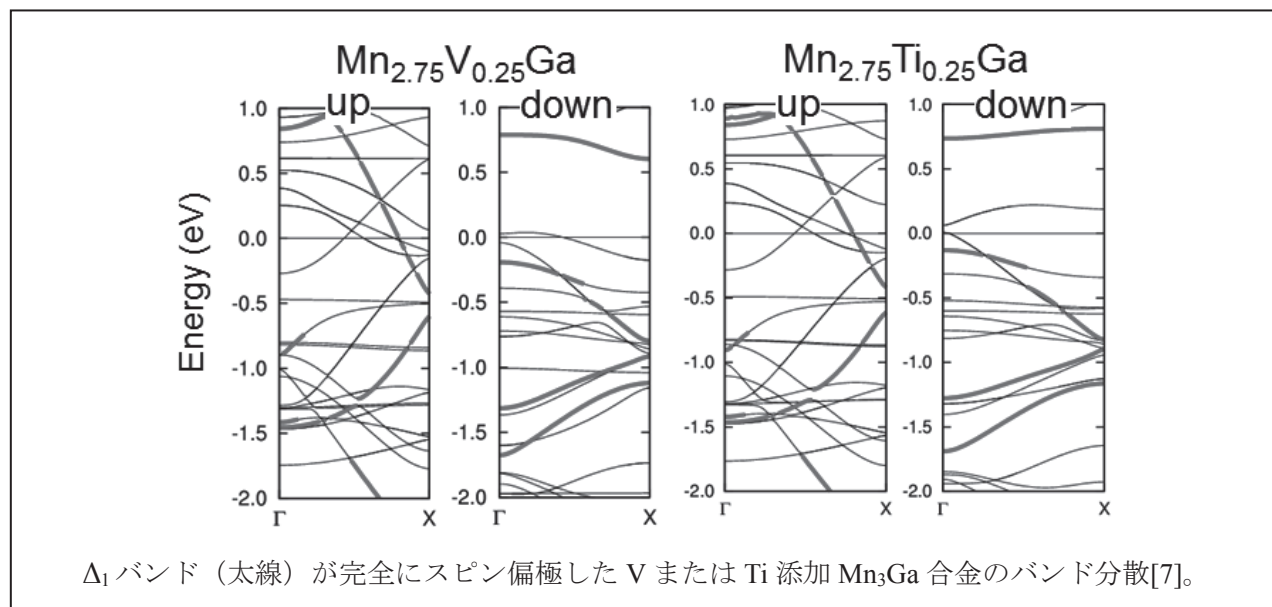
長 康雄 1980 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業。1986 年 3 月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1985 年 4 月 同大電気通信研究所助手。1990 年 3 月 山口大学工学部助教授。1997 10 月 東北大学電気通信研究所助教授 2001 年 7 月 同教授、現在に至る。走査型非線形誘電率顕微鏡及び超高密度強誘電体記録の研究開発に従事。市村学術賞功績賞受賞（2004 年）、藤尾フロンティア賞受賞（2005 年）、ドコモ・モバイル・サイエンス賞（2006 年）、ISIF² 2009 OUTSTANDING ACHIEVEMENT AWARD 受賞（2009 年）、服部報公賞（2014 年）、文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門）（2015 年）

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] R. Takahashi, I. Ohkubo, K. Yamauchi, M. Kitamura, Y. Sakurai, M. Oshima, T. Oguchi, Y. Cho, and M. Lippmaa, "A-site-driven ferroelectricity in strained ferromagnetic $\text{La}_2\text{NiMnO}_6$ thin films", *Physical Review B*, Vol. 91, p. 134107, 2015
- [2] T. Aoki, Y. Hiranaga, and Y. Cho, "Data Bit Recording with a Density Exceeding 1 Tbit/inch² Using an HDD-Type Ferroelectric Probe Data Storage Unit", 2015 JOINT ISAF-ISIF-PFM Conference, 2015
- [3] Y. Hiranaga, Y. T. Chen, and Y. Cho, "Effect of Ion Beam Irradiation on Recording Media of Ferroelectric Probe Data Storage", 2015 JOINT ISAF-ISIF-PFM Conference, 2015
- [4] K. Yamasue, H. Fukidome, K. Funakubo, M. Suemitsu and Y. Cho, "Interfacial Charge States in Graphene on SiC Studied by Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Potentiometry", *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 114, p. 226103, 2015
- [5] N. Chinone, Y. Cho, "Gate-bias dependent carrier distribution visualization in SiC power-MOSFET using super-higher-order SNDM", EMN CANCUN MEETING 2015, 2015
- [6] M. Suzuki, K. Yamasue, and Y. Cho, "Experimental study of electric dipoles on an oxygen-adsorbed Si(100)-2×1 surface by non-contact scanning nonlinear dielectric microscopy", *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 107, p. 031604, 2015
- [7] K. Hirose, N. Chinone, and Y. Cho, "Visualization and analysis of active dopant distribution in a p-i-n structured amorphous silicon solar cell using scanning nonlinear dielectric microscopy", *AIP Advances* Vol. 5, p. 097136, 2015
- [8] K. Yamasue and Y. Cho, "Scanning nonlinear dielectric potentiometry", *Rev. Sci. Instrum.*, Vol. 86, p. 093704, 2015
- [9] K. Hirose, N. Chinone, Y. Cho, "Visualization of polarization and two dimensional electron gas distribution in AlGaIn/GaN heterostructure using scanning nonlinear dielectric microscopy", ICSCRM 2015, 2015
- [10] N. Chinone, R. Kosugi, Y. Tanaka, S. Harada, H. Okumura, and Y. Cho, "Microscopic investigation of SiO_2/SiC interface using super-higher-order scanning nonlinear dielectric microscopy", ESREF 2015, 2015

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

<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やナノ構造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やナノ構造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を駆使した画期的な物性や機能の設計手法を確立することを目指している。

現在は、スピントロニクス研究の一環として、高スピン偏極材料を用いたデバイス構造におけるスピン依存電気伝導の理論解析と、垂直磁気材料の磁気異方性の電界制御を利用した超低消費電力デバイス創製を目指した理論研究に取り組んでいる。これからは超大型計算機を利用した大規模シミュレーション技術ならびにデータ駆動型の新物質・材料設計手法の研究を進める。

<2015 年度の主な成果>

1. 高スピン偏極・高磁気異方性材料の理論設計

近年、正方晶 Mn₃Ga 合金は高い強磁性転移温度と磁気異方性をもつことからスピントロニクス材料もしくは永久磁石材料として注目されている。この Mn₃Ga 合金に Ti、V、Cr 原子を添加することにより磁気特性が向上するか、第一原理計算により検討した。いずれの元素を添加しても磁化の増大が見られたが、正方晶歪の減少により一軸磁気異方性エネルギーがわずかに減少してしまう。特に Ti または V を添加した Mn₃Ga 合金では Δ₁ バンドが完全にスピン偏極率しており、MgO 障壁磁気トンネル接合の電極材料として有望である[7]。

2. 水素化合物の金属化、超伝導に関する研究

水素化合物は、圧力誘起金属化すると高い超伝導転移温度を示すと言われている。金属化圧を簡便に予測する手段としては Goldhammer-Herzfeld の基準があるが、これによると分極率の大きい分子ほど低密度で金属化しやすい。分極率が大きいことは、しばしば分子結合の弱さに関連する。そこで本研究では、常圧で極めて不安定な重元素水素化合物に着目し、その結果 Bi、Sb 水素化合物において、それぞれ 100、150 GPa 付近で金属化が起きるとの予測を得た[3]。いずれもバンド分散の大きい金属相であり、超伝導転移温度は 40~70 K 程度 (100~250 GPa 領域) と見積もっている。

3. メタ磁性形状記憶合金の構造相変態に伴う電子構造変化

メタ磁性形状記憶合金 Ni-Mn-In の電子構造をバルク敏感硬 X 線光電子分光と第一原理計算により明らかにした。この合金では構造相変態 (マルテンサイト変態) に伴ってフェルミ準位近傍の Ni 3d e_g 軌道の状態密度が著しく減少し、低温相において状態密度に擬ギャップを形成することを見出した。この擬ギャップの形成は、この合金で観測されている負の磁気抵抗の起源となっている。第一原理計算の結果、この合金の構造相変態は、通常的位置を占めた Mn 原子と In 位置を置換した Mn 原子の間にはたらく磁氣的相互作用の競合と密接に関連していることを明らかにした[2]。

<職員名>

教授 白井 正文 (2002 年より) 助 教 阿部 和多加、辻川 雅人

<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物理系専攻博士後期課程中退。1988 年 4 月 大阪大学基礎工学部技官 (教育職)。同助手・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。第一原理計算に基づくスピン機能材料の理論設計に関する研究に従事。

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] V. R. Singh, V. K. Verma, K. Ishigami, G. Shibata, A. Fujimori, T. Koide, Y. Miura, M. Shirai, T. Ishikawa, G.-f. Li, and M. Yamamoto, "Electronic and magnetic properties of off-stoichiometric $\text{Co}_2\text{Mn}_x\text{Si}/\text{MgO}$ interfaces studied by x-ray magnetic circular dichroism," J. Appl. Phys., Vol. 117, No. 20, Article No. 203901, pp. 1-6, 2015
- [2] S. Zhu, M. Ye, K. Shirai, M. Taniguchi, S. Ueda, Y. Miura, M. Shirai, R. Y. Umetsu, R. Kainuma, T. Kanomata, and A. Kimura, "Drastic change in density of states upon martensitic phase transition for metamagnetic shape memory alloy $\text{Ni}_2\text{Mn}_{1+x}\text{In}_{1-x}$," J. Phys.: Condens. Matter, Vol. 27, No. 36, Article No. 362201, pp. 1-6, 2015
- [3] K. Abe and N. W. Ashcroft, "Stabilization and highly metallic properties of heavy group-V hydrides at high pressures," Phys. Rev. B, Vol. 92, No. 22, Article No. 224109, pp. 1-5, 2015
- [4] M. Shirai, "Theoretical design of electrode materials for magnetic tunnel junctions with MgO barrier: Ferrimagnetic $D0_{22}$ -type Mn-based Heusler alloys" (Invited), York-Tohoku-Kaiserslautern Symposium on New-Concept Spintronics Devices, including Core-to-Core Kick-Off Meeting, Sir Martin Wood Prize Lecture and the 3rd HARFIR Open Workshop, York, UK (11-13 June, 2015)
- [5] M. Tsujikawa and M. Shirai, "The effect of light-element doping on magnetic anisotropy in $L1_0\text{-FeNi}$: A first-principles study," ESICMM-G8 Symposium on Next Generation Permanent Magnets, Tsukuba, Japan (18-19 June, 2015)
- [6] M. Shirai, "Electronic structure at interfaces between Heusler alloys and MgO" (Invited), Tohoku Forum of Creativity International Workshop: Spintronics, 13th RIEC International Workshop on Spintronics, Sendai, Japan (18-20 November, 2015)
- [7] M. Tsujikawa and M. Shirai, "Electronic structure and magnetic properties of Mn_3Ga doped with Ti, V, and Cr: A first-principles study," 2016 Joint Magnetism and Magnetic Materials/International Magnetism (MMM-Intermag) Conference, San Diego, California, USA (11-15 January, 2016)

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)先端ワイヤレス通信技術研究室

(目標) 高信頼な情報ネットワークである「ディペンダブル・エア」の実現を目指して、先端ワイヤレス通信技術に関する研究を、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで、一貫して研究・開発を行っている。

(成果) 急増する移動通信トラフィックを収容するため、異種無線ネットワークを融合し大容量通信を実現する無線通信システムが提案されている。その実現には無線 LAN を効果的に活用する必要があるが、高密度ユーザ・高トラフィック要求環境において・マルチセル環境においては通信効率が低下する問題があった。隠れ端末問題、さらされ端末問題という無線 LAN での課題を解決するため仮想セクタによる効率的な多重アクセス方式を提案した。また、無線通信端末の伝送速度高速化・小型化・低消費電力化を目指し、ミリ波帯無線通信端末用サンプルホールド回路や低消費電力化を実現する間欠動作低雑音増幅器を用いた受信機についての検討を 90nm および 65nm シリコン CMOS プロセスを用いて行った。サンプルホールド回路については Ka 帯(20GHz)動作を世界で初めて実現した。

(2)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) 単原子層炭素材料: グラフェンを利得媒質とする新原理電流注入型テラヘルツレーザートランジスタのデバイスプロセス技術の開発を進め、従来を1桁以上上回る電界効果移動度 $200,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ という極めて優れた輸送特性を実現した。また、InGaAs 系および GaN 系高電子移動度トランジスタ(HEMT)の高速化・高耐圧化技術の研究を進め、独自の傾斜フィールドプレート構造とその作製技術を開発し、GaN 系 HEMT 高速・高耐圧化への有効性を実証した。

(3)超高速光通信研究室

(目標) 光・量子エレクトロニクスならびに伝送工学をもとにして、超高速光通信の基盤となる光パルスの発生・伝送・受光技術、短パルスレーザ技術、ならびにデジタルコヒーレント光信号処理技術および高精度光ファイバ計測の研究を行い、グローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

(成果) ノンコヒーレントナイキストパルスを用いて単一チャネル 2.56 Tbit/s 信号の 500 km 伝送に世界で初めて成功した。さらに、コヒーレントナイキストパルスを用いて 64 QAM 方式により単一チャネル 1.92 Tbit/s 信号を生成し、 1 Tbit/s を上回る伝送速度でありながら 10.6 bit/s/Hz の高い周波数利用効率を達成した。また、量子雑音を利用したストリーム暗号に QAM を導入し、多ビットのデータを 2 次元に暗号化することにより、 40 Gbit/s - 480 km の高速長距離暗号伝送と秘匿性の大幅

な性能向上を実証した。

(4)応用量子光学研究室

(目標)高性能・高機能な半導体デバイス実現へ向け、超高速動作可能な光制御型半導体光源、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)外部共振器を付与し、光子共鳴効果を導入することで半導体レーザの応答速度の飛躍的向上を実現するために、半導体レーザの共振器損失を RF 信号で変調し、注入電流変調と同時に作用することで、レーザ応答特性を制御できることを数値解析で明らかにし、試作素子で動作を実証した。また、光負帰還法による半導体レーザの線幅低減実験で、数 GHz 程度の周波数までの位相ノイズを効果的に低減可能であることを実験的に実証した。さらに、高調波同時印加の手法を適用することで、LN マッハツェンダ変調器による平坦度 0.5dB 以下の 13ch コム発生に成功した。

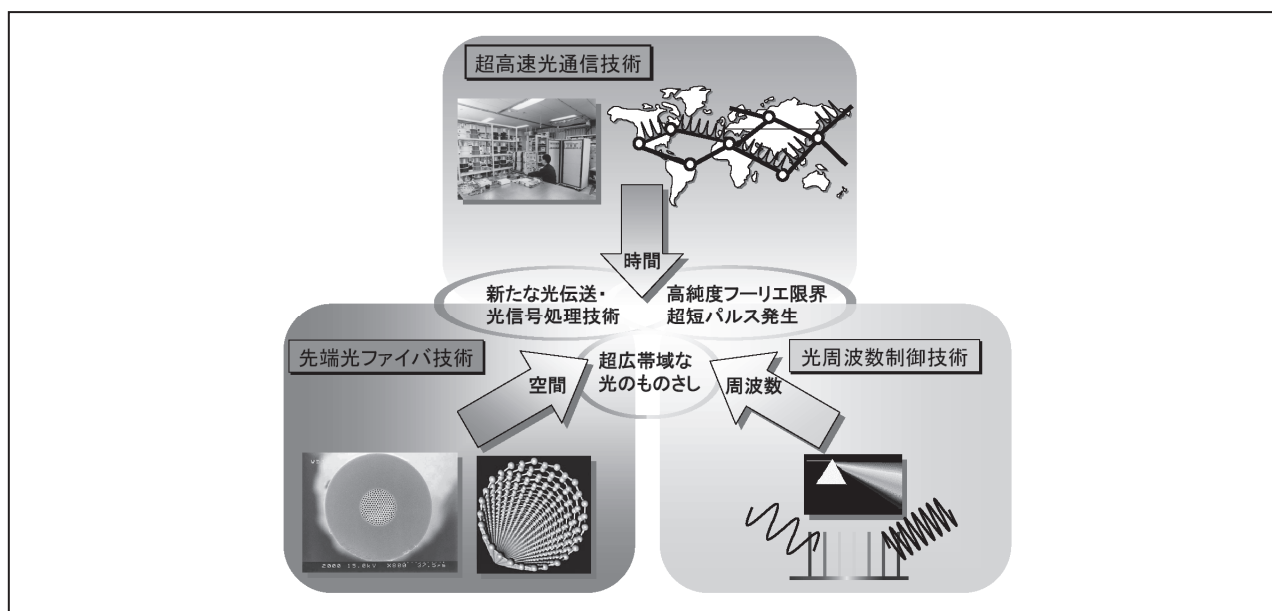
(5)情報ストレージシステム研究室

(目標)次世代型垂直磁気記録によるハードディスク装置の高速・密度化の実現と、大容量ストレージのシステム化技術の研究を行っている。

(成果)現在の 5 倍の高面密度に相当する 5Tbit/inch²(1 平方インチ当たり 5 兆ビット)の高密度ストレージが次世代型垂直磁気記録で可能になることを示してきた。更に高速のデータ転送性能と高面密度記録を実現するために、単一、又は、複数の再生ヘッドを用いてディスクの磁気情報を並列に読み出すことでデータ転送の倍速化を図った。また、このアレイヘッドを隣接トラック間のクロストークノイズを相殺するために用いることで再生信号の SN 比を改善できることをシミュレーションにより明らかにしている。

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



光伝送研究分野 教授 中沢 正隆

光信号処理研究分野 准教授 廣岡 俊彦 高精度光ファイバ計測研究分野 准教授 吉田 真人

<研究室の目標>

インターネットや携帯で扱われる情報が多彩になり、また利用者が広がるにつれ、快適なコミュニケーション環境を提供する大容量・超高速ネットワークの実現が大変重要になってきている。超高速光通信技術はそのネットワークを支える中核技術である。本研究分野では、光・量子エレクトロニクスと伝送工学を駆使して、超高速光通信の基盤となる超短光パルス発生・伝送技術、ソリトンを中心とする非線形波動技術、超高速レーザ技術、デジタルコヒーレント光信号処理技術の研究を行い、21世紀のグローバルな超高速光ネットワークの構築を目指している。

<2015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。2015年度は、ノンコヒーレントナイキストパルスを用いて単一チャネル 2.56 Tbit/s の超高速信号を生成し、その 500 km 伝送に世界で初めて成功した。さらに、コヒーレントナイキストパルスを用いて 64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)方式により単一チャネル 1.92 Tbit/s 信号を生成し、1 Tbit/s を上回る伝送速度でありながら 10.6 bit/s/Hz の高い周波数利用効率を達成した。

2. コヒーレント光 QAM 伝送技術に関する研究

本研究室では QAM 方式によるコヒーレント超多値光伝送技術に取り組んでいる。2015年度は、レーザ光の位相あるいは振幅雑音の中にデータを隠す量子雑音を利用したストリーム暗号 (QNSC: Quantum Noise Stream Cipher) に QAM を導入し、多ビットのデータを 2 次元に暗号化した QAM/QNSC

方式により 40 Gbit/s、480 km の高速長距離暗号伝送を実証した。本方式は従来の 1 次元の暗号と比べ、暗号化に用いる多値度を 2 乗倍高く設定できるため、QNSC の安全性を飛躍的に増大できる。

＜職員名＞

教授 中沢 正隆（2001 年より） 准教授 廣岡 俊彦（2007 年より）

准教授 吉田 真人（2011 年より） 助教（プロジェクト特任）葛西 恵介 秘書 篠崎 頼子

＜プロフィール＞

中沢 正隆 1980 年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了（工学博士）。同年日本電信電話公社入社、茨城電気通信研究所。1984～1985 年 MIT 客員研究員。2001 年 4 月より東北大学電気通信研究所教授。光ファイバ中の非線形光学効果、ソリトン通信、フェムト秒パルスレーザ、光ファイバ増幅器の研究に従事。IEEE Daniel E. Noble Award (2002 年)、OSA R. W. Wood Prize (2005 年)、Thomson Scientific Laureate (2006 年)、産学官連携功労者表彰内閣総理大臣賞(2009 年)、紫綬褒章(2010 年)、IEEE Quantum Electronics Award (2010 年)、日本学士院賞(2013 年)、OSA Charles Townes Award (2014 年)など受賞。IEEE、OSA、電子情報通信学会および応用物理学会フェロー。2008 年本学 Distinguished Professor、2010～2012 年本研究所所長、2012～2013 年国際高等研究教育機構長、2011～2015 年電気通信研究機構長。

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、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。

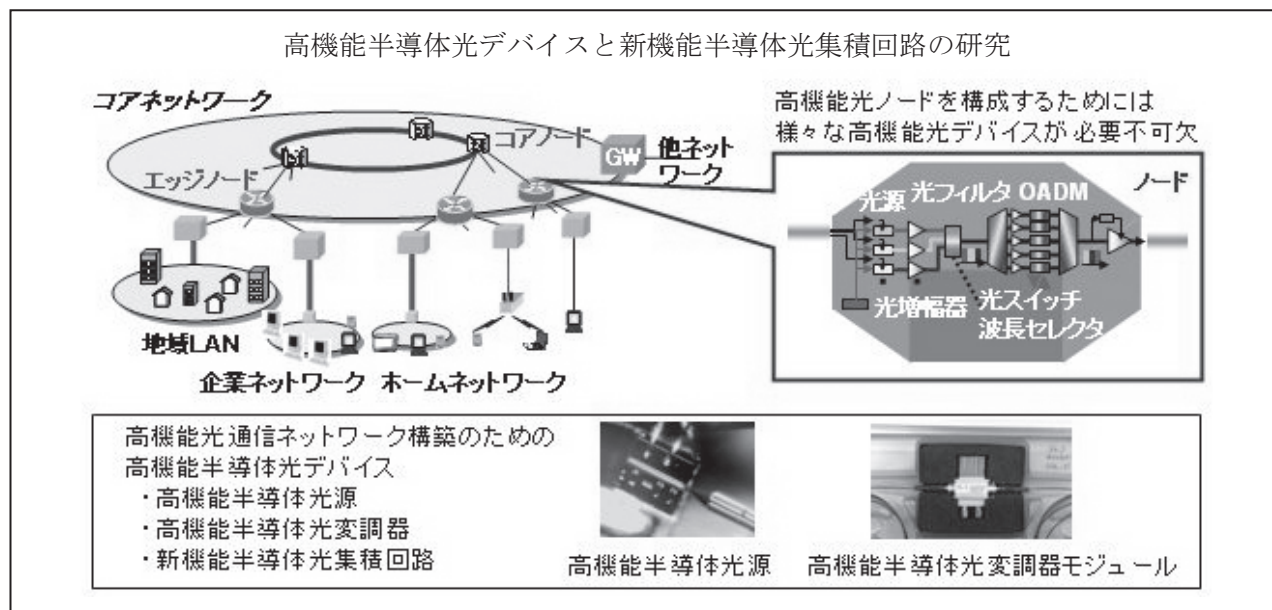
吉田 真人 2001 年 3 月東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年 4 月東北大電気通信研究所助手。2011 年 7 月同准教授、現在に至る。ファイバレーザ、コヒーレント光伝送の研究に従事。電子情報通信学会学術奨励賞、とやま賞、ELEX Best Paper Award、電子情報通信学会論文賞など受賞。

＜2015 年度の主な発表論文等＞

- [1] M. Yoshida, S. Beppu, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “1024 QAM, 7-core (60 Gbit/s x 7) fiber transmission over 55 km with an aggregate potential spectral efficiency of 109 bit/s/Hz,” Opt. Express, vol. 23, no. 16, pp. 20760-20766, 2015
- [2] T. Hirooka, D. Seya, K. Harako, D. Suzuki, and M. Nakazawa, “Ultrafast Nyquist OTDM demultiplexing using optical Nyquist pulse sampling in an all-optical nonlinear switch,” Opt. Express, vol. 23, no. 16, pp. 20858-20866, 2015
- [3] K. Kasai, Y. Wang, D. O. Otuya, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “448 Gbit/s, 32 Gbaud 128 QAM coherent transmission over 150 km with a potential spectral efficiency of 10.7 bit/s/Hz,” Opt. Express, vol. 23, no. 22, pp. 28423-28429, 2015
- [4] K. Kasai, Y. Wang, S. Beppu, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “80 Gbit/s, 256 QAM coherent transmission over 150 km with an injection-locked homodyne receiver,” Opt. Express, vol. 23, no. 22, pp. 29174-29183, 2015
- [5] K. Harako, D. Suzuki, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “2.56 Tbit/s/ch (640 Gbaud) polarization-multiplexed DQPSK non-coherent Nyquist pulse transmission over 525 km,” Opt. Express, vol. 23, no. 24, pp. 30801-30806, 2015
- [6] T. Hirooka and M. Nakazawa, “Q-factor analysis of nonlinear impairments in ultrahigh-speed Nyquist pulse transmission,” Opt. Express, vol. 23, no. 26, pp. 33484-33492, 2015
- [7] M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai, and M. Nakazawa, “Single-channel 40 Gbit/s digital coherent QAM quantum noise stream cipher transmission over 480 km,” Opt. Express, vol. 24, no. 1, pp. 652-661, 2016
- [8] D. O. Otuya, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, “Single-channel 1.92 Tbit/s, 64 QAM coherent Nyquist orthogonal TDM transmission with a spectral efficiency of 10.6 bit/s/Hz,” J. Lightwave Technol. vol. 34, no. 2, pp. 768-775, 2016
- [9] K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, “295 mW output, frequency-stabilized erbium silica fiber laser with a linewidth of 5 kHz and a RIN of -120 dB/Hz,” Opt. Express vol. 24, no. 3, pp. 2737-2748, 2016
- [10] M. Nakazawa and T. Hirooka, “Mode locking theory of the Nyquist laser,” Opt. Express vol. 24, no. 5, pp. 4981-4995, 2016

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



高機能フォトニクス研究分野 教授 八坂 洋

<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。

<2015 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、外部共振器を付与することで光子共鳴効果を導入したレーザ構造の研究を進めているが、RF 信号で共振器損失を直接制御可能な構成とすることで飛躍的な帯域拡大が期待できることを数値解析により明らかにした。本構造を有する半導体レーザ光源を実現するために、共振器損失変調型半導体レーザ光源を試作し、共振周波数以上の変調周波数領域でのレーザの変調感度劣化が抑制可能であることを実証した。また、レーザ共振器損失と注入電流量を同時に変調可能なレーザ構造を提案・試作し、半導体レーザ変調時の応答特性を制御可能であることを実証した。

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応用を目指し、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進めた。単一モード半導体レーザの片出力側に光フィルタを設置し、この光フィルタを周波数弁別回路として機能させ、光負帰還回路を構成することで小型狭線幅光源の実現可能性を明らかにした。原理検証実験で 1/1,000 にまでスペクトル線幅を低減した光源の位相雑音特性の評価を進め、数 GHz 程度のノイズ周波数領域までの位相雑音が低減できていることを確認した。

3. 光変調器を用いた平坦な光周波数コム発生光源

超平坦な光周波数コム発生光源は、チャンネルブロッカー一括切り替え機能を付与した次世代フォトニックネットワーク構築に不可欠な波長可変多波長光源への応用が期待できる。本光源実現へ向け、小型で低駆動電圧動作可能な半導体マッハツェンダ変調器を用いた超平坦な 9 チャンネル光周波数コムブロック発生の研究を進め、半導体材料のバンド端効果に起因した屈折率の非線形変化がコム平坦化に大きく寄与することを明らかにした。また、半導体材料の屈折率非線形変化を、LN 変調器への高調波同時印加で実現できることを明らかにし、検証実験を通して今まで実現されていなかった LN 変調器を用いた平坦度 0.5dB 以下での 13ch コム発生を実証した。

<職員名>

教授 八坂 洋 (2008 年より)

助教 横田 信英

<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。

<2015 年度の主な発表論文等>

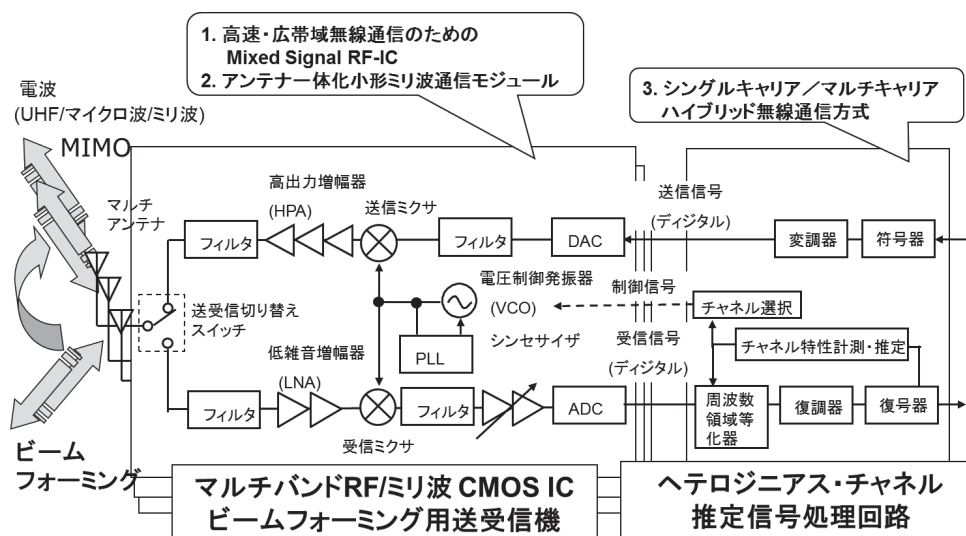
- [1] S. Mieda, S. Shiratori, N. Yokota, W. Kobayashi, and H. Yasaka, "Gently-sloped Small Signal Response by Intra-cavity Loss Modulation," The 20th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2015), JTuA.24, June, 2015.
- [2] N. Yokota, T. Miki, K. Abe, E. Yamada and H. Yasaka, "Numerical Analysis for Optical Frequency Comb Generated by Semiconductor Mach-Zehnder Modulator," The 20th OptoElectronics and Communications Conference (OECC 2015), JWeC.23, June, 2015.
- [3] S. Mieda, S. Shiratori, N. Yokota, W. Kobayashi, and H. Yasaka, "Intra-cavity Loss Modulation for Ultra-High-Speed Direct Modulation Lasers Based on Photon-Photon Resonance," Applied Physics Express, vol. 8, No. 8, 082701, July, 2015. - DOI:10.7567/APEX.8.082701
- [4] N. Yokota and H. Yasaka, "Flat Optical Frequency Comb Generated by Semiconductor Mach-Zehnder Modulator," 6th RIEC-RLE Meeting on Research Collaboration in Photonics, pp. 293-305, Oct., 2015.
- [5] N. Yokota, T. Miki, K. Abe, and H. Yasaka, "Nonlinearity of Semiconductor Mach-Zehnder Modulator for Flat Optical Frequency Comb," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 27, No. 21, pp. 2219-2221, Nov., 2015. - DOI 10.1109/LPT.2015.2457429
- [6] N. Yokota, K. Abe, S. Mieda, and H. Yasaka, "Harmonic superposition for tailored optical frequency comb generation by Mach-Zehnder modulator," Optics Letters, vol. 41, No. 5, pp. 1026-1029, Mar., 2016. - DOI 10.1364/OL.41.001026

先端ワイヤレス通信技術研究室

次世代無線通信ネットワークの実現へ向けて

広帯域ワイヤレス通信 1 チップ送受信機の研究

信号処理回路・デバイス・実装技術の研究として、シリコン CMOS 技術を用いた超高周波帯 RF パワーアンプ・シンセサイザ・ミキサなどの設計・開発、超小型アンテナモジュールの開発を行っている。そして、これらのシリコン RF デバイス、アンテナモジュールなどのワイヤレス通信端末に必要な回路の特性を、デジタル回路技術を用いて補償するデジタルアシステッド RF アナログ回路の研究・開発を行っている。



先端ワイヤレス通信技術研究分野

教授 末松 憲治

先端ワイヤレスネットワーク技術研究分野

准教授 亀田 卓

<研究室の目標>

人々の交流や情報のやりとりが世界規模に広がった昨今の高度情報化社会は、ユビキタス化・ブロードバンド化が進むネットワークの進化とともに発展してきた。このネットワークのさらなるユビキタス化・ブロードバンド化には無線通信技術がますます重要となる。無線通信技術の中でも、特に信号処理回路・デバイス・実装技術と変復調・ネットワーク技術はその実現に必要不可欠な両輪である。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、信号処理回路・デバイス・実装技術から変復調・ネットワーク技術に至るまで、一貫して研究・開発を行っている。

<2015 年度の主な成果>

1. 異種無線システムの位置情報を用いた干渉制御手法

急増する移動通信トラフィックを収容するため、異種無線ネットワークを融合し大容量通信を実現する無線通信システムが提案されている。その実現には無線 LAN を効果的に活用する必要があるが、高密度ユーザ・高トラフィック要求環境において・マルチセル環境においては通信効率が低下

する問題があった。隠れ端末問題、さらされ端末問題という無線 LAN での課題を解決するため仮想セクタによる効率的な多重アクセス方式を提案した。

2. 高速・広帯域無線通信のためのアナログ・RF-IC/モジュールの研究

無線通信端末の伝送速度高速化・小型化・低消費電力化を目指し、ミリ波帯無線通信端末用サンプルホールド回路や低消費電力化を実現する間欠動作低雑音増幅器を用いた受信機についての検討を 90nm および 65nm シリコン CMOS プロセスを用いて行った。サンプルホールド回路については Ku 帯(12.5GHz)、さらには Ka 帯(20GHz)動作を世界で初めて実現した。

<職員名>

教授 末松 憲治 (2010 年より)

准教授 亀田 卓 (2012 年より)

助教 本良 瑞樹 (2014 年より) 技術補佐員 富澤 幸恵

<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, 日本エレクトロニクス実装学会, IEEE 各会員。

亀田 卓 1997 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒業。2001 年 9 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程修了。博士 (工学)。2001 年 10 月同電気通信研究所助手, 2007 年 4 月同助教, 2012 年 4 月同准教授。2001 年第 16 回電気通信普及財団賞 (テレコムシステム技術学生賞), 2005 年 FPGA/PLD Design Conference ユーザプレゼンテーション審査員特別賞, 2008 年電子情報通信学会ソフトウェア無線研究会研究奨励賞, 2012 年同研究会技術特別賞各受賞。電子情報通信学会, IEEE 各会員。

<2015 年度の主な発表論文等>

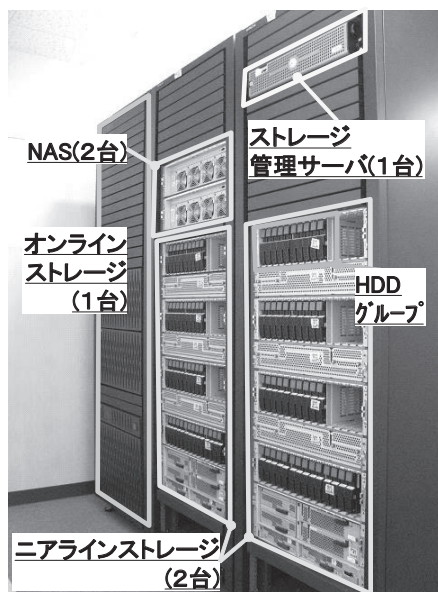
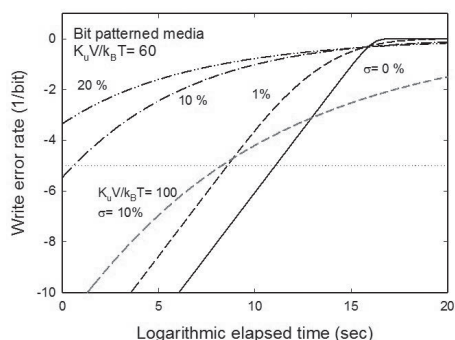
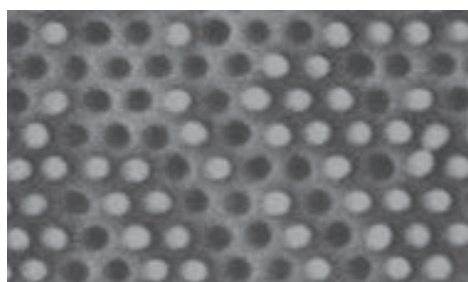
- [1] D. Banda, *et al.*, "1/2fs Direct RF Under Sampling Receiver for Multi-Channel Satellite Systems," IEICE Transaction, vol.E98-C, No.7, pp.669-676, July 2015.
- [2] H. Oguma, *et al.*, "Channel quality map construction scheme using location information for heterogeneous wireless network," Studies in Sci. and Tech., vol. 4(1), pp.83-90, July 2015.
- [3] T. T. Ta, *et al.*, "A Millimeter-Wave WPAN Adaptive Phased Array Control Method Using Low-Frequency Part of Signal for Self-Directed System," IEEE Trans, on Microwave Theory and Techniques, vol.63, No.8, Aug. 2015.
- [4] T. Koizumi, *et al.*, "A CMOS Series/Shunt Switching Type S/H IC for Ka-Band Direct RF Under Sampling Receive," 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Dec. 2015.
- [5] Qinhan Liu, *et al.*, "Traffic Navigation Using Positioning Information and Channel Quality Map for System-Wide Load Balancing," 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC), Dec. 2015.
- [6] T. Koizumi, *et al.*, "A Ku-band series/shunt switching type S/H IC for direct RF under sampling reception," Microwave Conference (EuMC), 2015 European, Nov. 2015.
- [7] N. Suematsu, *et al.*, "Direct RF undersampling receiver for high-SHF band digital beam forming," MTT-S International Microwave and RF Conference (IMaRC), 2015 IEEE, pp.133-135, Dec. 2015.
- [8] K. Akimoto, *et al.*, "Location-based virtual sector method for interference control in WLAN multicell environment," Information and Communication Technology Convergence (ICTC), 2015, pp.451-456, Oct. 2015.
- [9] N. Suematsu, *et al.*, "QZSS SS-CDMA Location and Short Message Communication System," The 18th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC'15), Dec. 2015.

情報ストレージシステム研究室

次世代型垂直磁気記録と 情報ストレージシステムの研究

大規模ストレージシステム研究分野 教授 村岡 裕明

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



(左上) ビットパターン媒体の磁気像 (左下) ビットパターン媒体において時間経過とともに記録誤りが増加する計算結果 (右) 並列 HDD を装備する大容量ストレージシステム

<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、その中心的な技術がハードディスク装置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して、高記録密度化による磁気ディスク装置の記録容量増加の努力が続けられており、本分野では 1 平方インチ当たり 5 兆ビット～10 兆ビットの超高密度を目指して研究を続けている。このためのコンピュータシミュレーションを含めた記録再生理論の検討と実ヘッドディスクを用いた高密度記録再生の実験を通して、今後の高速データ転送速度と高面密度記録を実現するための記録再生方式の確立に取り組んでいる。また、ハードディスク装置を応用した大容量高速ストレージシステムのシステム化技術の研究も行っている。

<2015 年度の主な成果>

1. 垂直磁気記録ハードディスクの記録再生理論の研究

1 平方インチ当たり 1 兆ビットの記録密度でのビット面積は $25.4 \text{ nm} \times 25.4 \text{ nm}$ に相当する。このような超微細ビットでは粒子ノイズの影響を避けるためこれを構成する磁性微粒子の体積は著し

く小さくなる。このために室温の熱エネルギーによる磁化擾乱による記録ビット減磁の影響が大きくなる。本研究室では、これを回避できるように記録層をリソグラフィで加工してビットを物理的に分離したビットパターン媒体による高密度化を検討してきている。昨年度は、ビットパターン媒体の記録されたビットの熱安定性について検討を加え、従来の記録媒体における記録磁化の減少ではなく記録ビットの誤りとなることを示した。これは磁性メモリ素子のビットに情報を保持する際に共通して成り立つ性質である。

2. コンピュータシミュレーションによる超高密度記録の研究

本研究室では、超高密度記録の実験に先行して検討を進めるために、磁気スピンの歳差運動を表現してナノ領域の磁化挙動を動的に解析でき、高密度記録に重要な熱擾乱現象をモデル化したマイクロマグネティックシミュレーションを用いた検討を進めている。これまでの熱補助記録の解析に加えて今年度は、高周波磁界を印加して磁化スピン反転での歳差運動をアシストする磁性体の磁化の振る舞いを正確に表現したシミュレーション手法を用いて上記の 5 Tbit/inch² を目指した高密度記録の記録理論の構築を行った。

3. 高速大容量ストレージシステムの高データ転送レート化の研究

インターネットの情報量の急速な拡大が続いており、ハードディスクには大規模データストレージとしての高速データ転送の重要性が増している。昨年度はそれまで検討した分散ファイルシステムを用いて実ネットワーク環境での HDD から並列にデータを送受することでのデータ転送の高速化を検討した。

<職員名>

教 授 村岡 裕明 (2000 年より)

准教授 サイモン グリーブス (2003 年より)

秘 書 渡辺 智絵

<プロフィール>

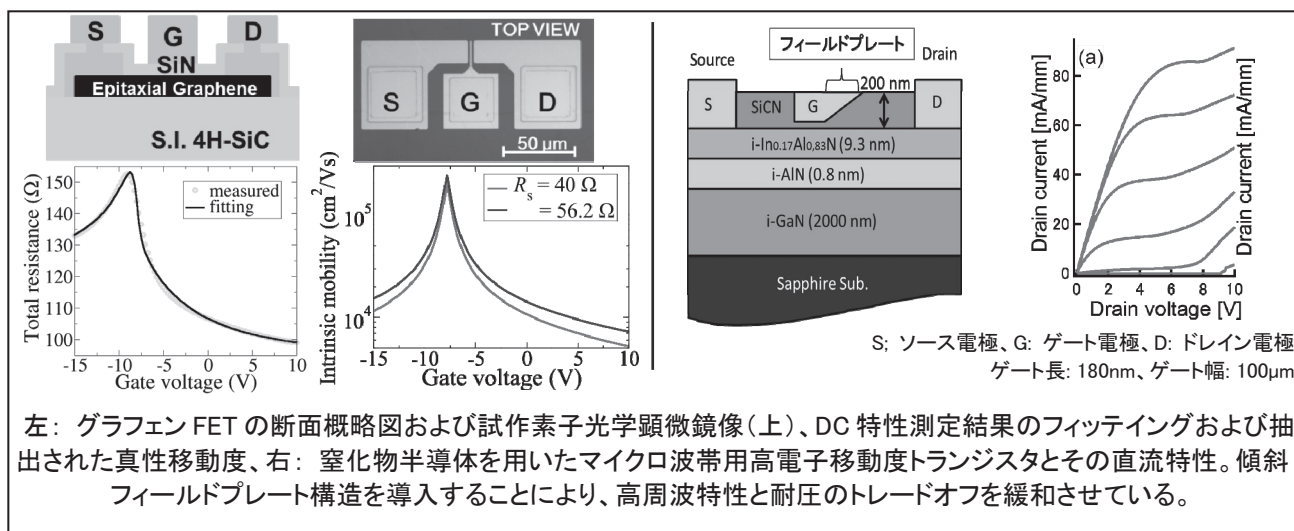
村岡 裕明 1981 年 東北大学大学院工学研究科電気及び通信工学専攻博士課程修了。同年松下通信工業 (株)、1991 年電気通信研究所助手、1993 年同助教授、2000 年同教授。高密度磁気記録理論、磁気記録デバイス及び記録方式、情報ストレージ方式、等の研究・開発に従事。電子情報通信学会業績賞 (2003 年)。IEEE Fellow (2008 年)。

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 年東北大学助教授。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。

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] Simon John Greaves, Yasushi Kanai, and Hiroaki Muraoka, "Microwave-Assisted Shingled Magnetic Recording," IEEE Trans. Magn., Vol. 51, No. 11, 3001204, Nov 2015.
- [2] Hiroaki Muraoka and Simon John Greaves, "Two-Track Reading With a Wide-Track Reader for Shingled Track Recording," IEEE Trans. Magn., Vol. 51, No. 11, 3002404, Nov 2015.
- [3] Takaki Nakamura, Shinya Matsumoto, Hiroaki Muraoka, "Discreet Method to Match Safe Site-Pairs in Short Computation Time for Risk-Aware Data Replication," Journal IEICE Trans. on Information and Systems, Vol.E98-D, No.8, pp.1493-1502, 2014EDP7439, 2015.

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
 極限高速デバイス研究分野 准教授 末光 哲也
 超ブロードバンドデバイス物理研究分野 准教授 ポーバンガトンベット ステファン

＜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。

＜2015 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、単原子層炭素材料:グラフェンを利得媒質とする新原理テラヘルツレーザ創出に向けた研究を継続推進し、SiC 基板上高品質グラフェンをチャネルとし、SiN ゲート絶縁膜を導入したグラフェン FET を試作し、独自構築のフィッティングモデルによって素子特性実測値から真性チャネル領域の電子・正孔の電界効果移動度を抽出した結果、いずれも従来データを 1 桁上回る 200,000 cm²/Vs 前後という極めて優れた輸送特性が得られた。

2. 極限高速電子デバイス研究分野

ミリ波からサブミリ波へ、電子デバイスの動作速度の極限を追求すると共に、それらの特性を活かした集積回路応用を目指した研究を推進している。電子移動度が高く高速・高周波特性に優れた InGaAs 系化合物半導体を用いて、トランジスタの極限高速性能を追求すると共に、ミリ波帯における高効率電力増幅器への応用を進めている。また、高耐圧・高出力動作が期待される GaN 系高電子移動度トランジスタにおいて、独自の傾斜フィールドプレート構造とその作製技術を開発し、高速・高耐圧化への有効性を実証した。

<職員名>

教授 尾辻 泰一	(2005 年より)	
准教授 末光 哲也	(2006 年より)	
准教授 ボーバンガトンベット ステファン	(2013 年より)	
助教 佐藤 昭	(2010 年より)	
客員教授 RYZHII Victor	(2012 年より)	
研究支援者 DOBLOIU Adrian	(2012 年より)	
研究支援者 渡辺 隆之	(2014 年より)	秘書 上野 佳代

<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。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。IEEE GaAs IC Symposium 最優秀論文賞受賞 (1998 年)。IEEE Fellow, OSA Senior Member, MRS, SPIE, 電子情報通信学会, 応用物理学会, 各会員。

末光哲也 1992 年 3 月 早稲田大学理工学部電気工学科卒業。1994 年 3 月 同大学院理工学研究科電気工学専攻修士課程修了。1994 年 4 月 日本電信電話(株)入社。2002 年 1 月～2003 年 1 月 MIT 客員研究員。2006 年 9 月 東北大学電気通信研究所助教授, 2007 年 4 月 同准教授, 現在に至る。化合物半導体超高速トランジスタの研究開発に従事。第 1 回応用物理学会講演奨励賞受賞 (1996 年)、電子通信学会論文賞受賞 (2003 年)。ELEX Best Paper Award 受賞 (2007 年)。応用物理学会, 日本物理学会, IEEE, APS 各会員。

ボーバンガトンベット ステファン 2003 年 8 月 ナリアン ヌアビ大学 (コンゴ共和国) 理学部物理学科卒業。2004 年 8 月 モンペリエ第二大学大学院 (仏) 理学研究科基礎物理学専攻修士課程修了。2005 年 8 月 同大学院固体物理学および凝縮系物理学専攻 Diploma コース修了。2008 年 11 月 同大学院同専攻博士課程修了。2009 年 12 月 東北大学電気通信研究所日本学術振興会外国人特別研究員。2011 年 1 月 同研究所教育研究支援者。2011 年 10 月 ルーアン大学 (仏) CNRS 物理材料グループ物理コンサルタント。2012 年 2 月 ロスアラモス国立研究所 (米) CINT ポスドク研究員。2013 年 6 月 東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。半導体ヘテロ構造二次元電子ガス・カーボンナノチューブ・グラフェンにおけるテラヘルツ帯プラズモンおよびテラヘルツ帯磁気光学的現象に関する研究に従事。

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Mitin, and M. S. Shur, "Resonant plasmonic terahertz detection in vertical graphene-base hot-electron transistors," J. Appl. Phys., vol. 118, pp. 204501-1-8, 2015.
- [2] V. Ryzhii, M. Ryzhii, V. Mitin, M.S. Shur, and T. Otsuji, "Negative terahertz conductivity in remotely doped graphene bilayer heterostructures," J. Appl. Phys., vol. 118, pp. 183105-1-8, 2015.
- [3] O.V. Polischuk, V.V. Popov, and T. Otsuji, "Superradiant amplification of terahertz radiation by plasmons in inverted graphene with a planar distributed Bragg resonator," Semicond., vol. 49, iss. 11, pp. 1468-1472, 2015.
- [4] T. Otsuji, "Trends in the Research of Modern Terahertz Detectors: Plasmon Detectors," IEEE Trans. Thrz. Sci. Technol., Vol. 5, No. 6, pp. 1110-1120, 2015.
- [5] T. Suemitsu, K. Kobayashi, S. Hatakeyama, N. Yasukawa, T. Yoshida, T. Otsuji, D. Piedra, and T. Palacios, "A new process approach for slant field plates in GaN-based high-electron-mobility transistors," Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 55, pp. 01AD02-1-6, 2015.
- [6] P. Faltermeier, P. Olbrich, W. Probst, L. Schell, T. Watanabe, S.A. Boubanga Tombet, T. Otsuji, and S.D. Ganichev, "Helicity sensitive terahertz radiation detection by dual-grating-gate high electron mobility transistors," J. Appl. Phys., Vol. 118, Iss. 8, pp. 084301-1-6, 2015.
- [7] V. Ya Aleshkin, A.A. Dubinov, M. Ryzhii, V. Ryzhii, and T. Otsuji, "Electron capture in van der Waals graphene-based heterostructures with WS₂ barrier layers," J. Phys. Soc. Jpn., Vol. 84, No. 9, pp. 094703-1-7, 2015.
- [8] T. Suemitsu, "InP and GaN high electron mobility transistors for millimeter-wave applications," IEICE Electron. Express, Vol. 12, No. 13, pp. 1-12, 2015.
- [9] V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Ya Aleshkin, A.A. Dubinov, V. Mitin, and M.S. Shur, "Vertical electron transport in van der Waals heterostructures with graphene layers," J. Appl. Phys., Vol. 117, Iss. 15, pp. 154504-1-9, 2015.
- [10] V. Ryzhii, T. Otsuji, M. Ryzhii, V. Ya Aleshkin, A.A. Dubinov, D. Svintsov, V. Mitin, and M.S. Shur, "Graphene vertical cascade interband terahertz and infrared photodetectors," 2D Materials, Vol. 2, No. 2, pp. 025002-1-10, 2015.

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目標としている。

この目標達成のため、本部門は次の3研究分野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。

2015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) 超高感度センシングシステムに関して、磁歪の逆効果を検出原理とする超高感度ひずみセンサの開発を行い、金属歪ゲージに比べて10000倍の感度を有するセンサを実現した。新機能磁性材料の開発においては、ナノ粒子の電気泳動と電析を組み合わせた新しい手法によりナノコンポジットと呼ばれる複合材料が実現できることを明らかにし、それを利用して高機能永久磁石薄膜材料が実現できることを見出した。またモータコアや変圧器等に用いられる高透磁率磁性材料の応力分布を利用した新しい損失低減手法を提案し、将来の製品化を目指して鉄鋼メーカーや他大学研究者とプレコンペティティブな共同研究を開始した。医療応用アクチュエータに関しては医療機器メーカーとの共同研究を開始し、血管内に設置可能な超小型血流補助ポンプの基礎検討を行った。

(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) 将来のマルチモーダル、マルチメディア通信システムの実現に重要な人間のマルチモーダル知覚情報処理過程を、特に、聴覚を含む複数の感覚情報の時空間統合の観点から明らかにする研究を強力に進めている。

本年度は、聴取者が直線上に移動している際の音空間知覚について検討し、提示される感覚情報同士の整合性が知覚される音空間の変容に作用することを示した。また聴取者の回転時の3次元音空間知覚についても検討し、回転速度が1度/sと極めて遅く自分が動いているという感覚が必ずしもない場合でも、静止状態に比較して音像定位精度がかなりの劣化を示すことを示した。これは、聴取者に運動を許すと音像定位精度が大きく改善するという従来からの知見と相反し、人間の音空間知覚過程の解明に向けて興味のある結果である。

また、これらの聴覚に関する知見とデジタル信号処理に基づいて3次元音空間制御手法の高度化研究を進めた。3次元音空間知覚の鍵となる頭部伝達関数(HRTF)に関して、仰角

方法の知覚手がかりと音色知覚の関連を明らかにするとともに、100ch以上の超多チャネル高次アンビソニックス(HOA)型聴覚ディスプレイを用いて複数の領域の音場を合成する信号処理法の研究を進めた。收音システムについては、我々が提案している超多チャネル球状マイクロホンアレイを用いた收音技術SENZIのシステム化と、そのロバスト性能向上に関して研究を行った。

(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）2015 年度は、以下の成果を得た。1) 身体運動に制約がない観察条件における、視覚認識への頭部と眼球は協調的運動がいかになされるかについて検討し、頭部運動と眼球運動の協調運動に基づき頭部運動を利用することによって視線位置推定モデルの精度を向上することに成功した。2) 定常的視覚誘発電位の振幅変化によりオブジェクト注意の効果を測定し、課題間連刺激の提示と独立な、定常的なオブジェクト注意効果の存在を明らかにした。これはオブジェクト注意が、注意移動の優先順位による動的機構ではなく、オブジェクト内に分布する静的機構に起因することを明らかにした重要な成果である。

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

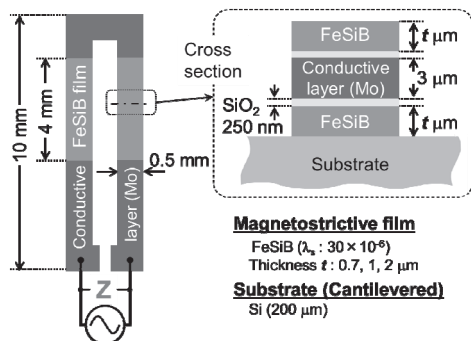


図 1 Si 基板上に形成した高感度振動センサの模式図

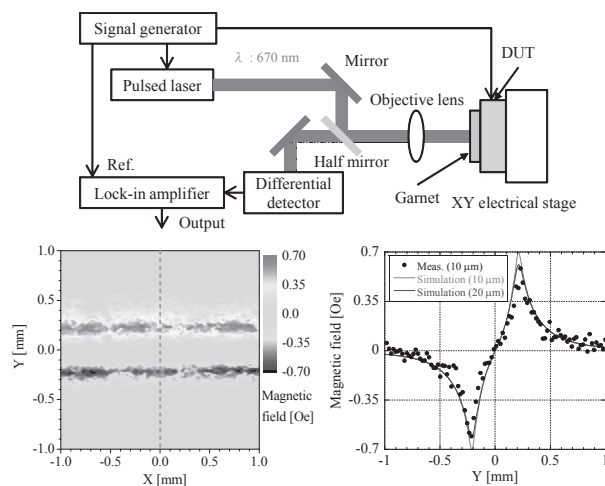


図 2 磁気光学結晶プローブとパルスレーザーを用いた高周波磁界分布計測システム

生体電磁情報研究分野 教授 石山 和志

生体電磁材料研究分野 准教授 栢 修一郎

＜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遂行する。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ならびに生体に対して働きかけを行う技術の確立を目指す。

＜2015 年度の主な成果＞

1. 高感度センサ素子開発に関する研究

磁界センサ素子の素子形状を様々に変化させ、素子に用いる磁性薄膜に付与される誘導磁気異方性の大きさとセンサ感度の関係について検討し、センサの高感度化に関わる誘導磁気異方性制御のための知見を得た^{[4][6]}。また半導体プロセスやMEMS技術との融合によるセンサ素子の実用化のため、Si 基板上で高性能な振動センサ素子の実現可能なことを示した。

2. ワイヤレス磁気モーションキャプチャシステムに関する研究

LC 共振を利用した小型ワイヤレス磁気マーカの三次元位置を検出するモーションキャプチャシステムにおいて、高速 AD コンバータと FPGA の導入により^[3]、最大で 15 個までの磁気マーカについて高速且つ同時検出可能なシステムを実現した^[7]。

3. ナノスケール複合磁性薄膜に関する研究

複数の電気化学的手法の組み合わせにより、磁性薄膜中に異種の金属磁性ナノ粒子を内包する複

合磁性薄膜の形成手法を確立した^[3]。

4. 電磁鋼板の低損失化に関する研究

モータコアや変圧器等に用いられる高透磁率磁性材料の応力分布を利用した新しい損失低減手法を提案し、実際の試験用サンプルにおいてその有効性を確認した。また、鋼板表面に溝を形成した電磁鋼板において、シミュレーションによりその効果の定量的な見積もりを行った^{[1][5]}。

<職員名>

教 授 石山 和志 (2007 年より)

准教授 栢 修一郎 (2010 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)。

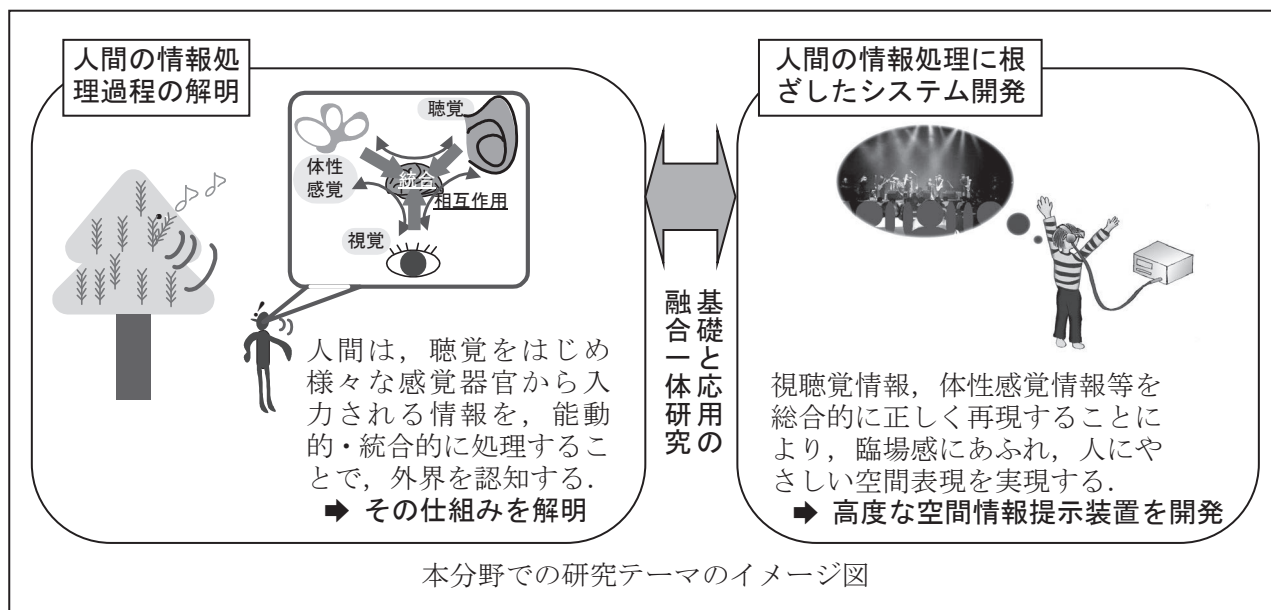
栢 修一郎 1990 年 3 月 琉球大学工学部電気工学科卒業。1992 年 3 月 同大学院工学研究科電気情報工学専攻修士課程修了。1992 年 4 月 本田技研工業(株)入社。1998 年 3 月 東北大学大学院工学研究科電気・通信工学専攻博士後期課程修了。1998 年 4 月 医薬品機構派遣研究員。2000 年 7 月 岐阜大学工学部助手。2007 年 4 月 同大工学部助教。2008 年 4 月 東北大学電気通信研究所助教。2010 年 6 月 同大電気通信研究所准教授、現在に至る。磁気計測および磁性材料に関する研究開発に従事。

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] K. Iwata, M. Imafuku, T. Suzuki, T. Shobu, H. Orihara, Y. Sakai, K. Akita, S. Ohya, K. Ishiyama, "Internal stress distribution for generating closure domains in laser-irradiated Fe-3%Si(110)steels," Journal of Applied Physics, Vol. 117, 17A910, March (2015).
- [2] Y. Hayashi, S. Hashi, H. Kura, T. Yanai, T. Ogawa, K. Ishiyama, M. Nakano, H. Fukunaga, "Electrochemical fabrication of nanocomposite films containing magnetic metal nanoparticles," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 54, p. 075201, June (2015).
- [3] S. Yabukami, K. Takahashi, T. Ozawa, O. Fujioka, T. Nagano, S. Hashi, H. Kanetaka, "Tracking system for magnetic wireless marker using field programmable gate array," Journal of the Magnetism Society of Japan, Vol. 39, No. 4, pp.156-160 (2015).
- [4] H. Kikuchi, S. Kamata, T. Nakai, S. Hashi, K. Ishiyama, "Influence of demagnetizing field on thin-film GMI magnetic sensor elements with uniaxial magnetic anisotropy," Sensors and Actuators A: Physical, Vol. 230, No. 7, July, pp. 142-149 (2015).
- [5] K. Iwata, M. Suzuki, M. Hashimoto, M. Ueda, Y. Matuoka, T. Yasue, T. Koshikawa, M. Kotsugi, T. Ohkochi, T. Kinoshita, Y. Watanabe, K. Ishiyama, "Temperature dependence of lancet domains in grain-oriented Fe-3%Si steels," IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 51, No. 11, 2002504, November (2015).
- [6] H. Kikuchi, S. Kamata, S. Oe, T. Nakai, S. Hashi, K. Ishiyama, "Improvement of Stepped Magnetoimpedance Properties by Controlling the Demagnetizing Effect," IEEE Transactions on Magnetism, Vol. 51, No. 1, November, 4004304 (2015).
- [7] J. Huang, T. Mori, K. Takashima, S. Hashi, Y. Kitamura, "IM6D: Magnetic Tracking System with 6-DOF Passive Markers for Dexterous 3D Interaction and Motion," ACM Transactions on Graphics, Vol. 34, No. 6, 217, November (2015).

先端音情報システム研究室

高次音響情報通信システムの実現を目指して



先端音情報システム研究分野 教授 鈴木 陽一

聴覚・複合感覚情報システム研究分野 准教授 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。

<2015年度の主な成果>

1. 聴覚および聴覚を含むマルチモーダル感覚情報処理過程の解明

人間は複数の感覚情報を統合並列処理することで外界をより安定・正確に認識している。本分野ではマルチモーダル感覚情報処理過程における聴覚情報の役割に着目して研究を進めている。2015年度は、自己運動中の音空間知覚に関する研究を精力的に進め、自己運動中の音空間知覚の変容が自己運動の様式の違いに依存せずに観測されるという興味深い知見を発見し、国際論文に投稿した[1]。このほかにも、頭部運動と音空間知覚に関する実験を進めて国際学会で発表するなど、数多くの知見が得られた。

2. 3次元音空間認識と制御・再現手法の研究

3次元音空間技術は、高臨場感など高次の感知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。本分野では、多チャネルマイクロホンを用いた音空間の高精度收音技術の開発や、多チャネルスピーカを用いた音空間再現手法に関する研究を精力的に行っている。2015年度は、本研究分野が開発した球状マイクロホンアレイを用いた音空間高精度收音・再

生技術 SENZI について構築したシステムの概要と性能評価について論文化[2]するとともに、アンビソニックス技術についても、複数人でとある音空間を共有するために必須となる、複数領域音場再現手法を開発し、国際論文に発表した[3].

3. 聴覚・マルチモーダル空間の感性評価

人間の様々な感覚情報を用いた外界空間知覚過程の解明は、「その場にいるような」「リアル」な空間をバーチャルに提示する次世代通信システム開発の基盤となる. 2015 年度は「その場にいるような感じ」を表す臨場感と「本物らしい」ことを表す迫真性の知覚様相の差異についてスポーツコンテンツを用いて明らかにする[4]とともに、振動情報を含むマルチモーダルコンテンツから受ける臨場感、迫真性の時間特性について検討を行った[5]. これらの指標を用いることで次世代通信システムを様々な側面から評価できることが示された.

<職員名>

教 授 鈴木 陽一 (1999 年より)

准教授 坂本 修一 (2011 年より)

助 教 崔 正烈, トレビーニョ ホルヘ

技術職員 齋藤 文孝 事務補佐員 小野寺 美紀

<プロフィール>

鈴木 陽一 1976 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業. 1981 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. 1981 年 4 月 同大電気通信研究所助手. 1987 年 4 月 同大大型計算機センター助教授. 1989 年 7 月 同大電気通信研究所助教授. 1999 年 8 月 同教授, 現在に至る. 音の大きさおよび音色, 騒音の評価, 3 次元音空間知覚と制御, 音信号のデジタル信号処理手法等, 人間の聴覚の解明とその工学応用の研究に一貫して従事. 日本音響学会佐藤論文賞受賞 (1992 年, 1994 年), (社) 日本音響学会会長 (2005 年 5 月から 2007 年 5 月まで). アメリカ音響学会フェロー.

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, 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) 受賞.

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] S. Sakamoto, W. Teramoto, Hideaki Terashima and Jiro Gyoba, "Effect of active self-motion on auditory space perception," Interdisciplinary Information Sciences Journal, 21(2), 167-172 (2015).
- [2] S. Sakamoto, S. Hongo, T. Okamoto, Y. Iwaya and Y. Suzuki, "Sound-space recording and binaural presentation system based on a 252ch microphone array," Acoustical Science and Technology, 36(6), 516-526 (2015).
- [3] T. Shimizu, J. Trevino, S. Sakamoto and Y. Suzuki, "A multi-zone approach to sound field reproduction based on spherical harmonic analysis," Acoustical Science and Technology, 36(5), 441-444 (2015).
- [4] A. Honda, T. Kanda, H. Shibata, S. Sakamoto, Y. Iwaya, J. Gyoba and Y. Suzuki, "Senses of presence and verisimilitude of audio-visual contents: Effects of sounds and playback speeds on sports video," Interdisciplinary Information Sciences Journal, 21(2), 143-149 (2015).
- [5] 柳生寛幸, 崔正烈, 坂本修一, 大谷智子, 鈴木陽一, 行場次朗, "多感覚情報の同期ずれが体験中の高次感性知覚に与える影響," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 20(3), 199-208 (2015).

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



ものの見え方は様々な要因で変化し、画像や環境のどこを見るかで視覚情報の効果は変わる。それらを予測するためには、視覚の特性を理解しモデルを構築する必要がある。それらの研究に基づき、真の視覚コミュニケーションが実現できる。

高次視覚情報システム研究分野 教授 塩入 諭

知覚脳機能研究分野 准教授 栗木 一郎

＜研究室の目標＞

人間の脳機能は、環境に柔軟に適應できるシステムによって實現されている。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。

＜2015 年度の主な成果＞

1. 視覚認識過程に基づく眼球-頭部協調運動制御

視覚の基礎研究においては、視線を固定した上で、注目する視機能について検討することが多いが、本研究では、身体運動に制約がない条件における、視覚認識への頭部と眼球は協調運動がいかなるかなされるかについて検討し、頭部運動と眼球運動の協調運動を定量的に評価することに成功した。頭部位置での眼球方向分布を定量化することで、頭部方向から視線を予測可能であることを示し、一回の頭部運動に対して2回、3回の視線移動が頻繁に生じることから、複数の視点からの情報収集を想定した頭部と眼球の協調運動があることを示した。視覚認識過程に基づく眼球頭部協調運動制御の存在を示唆する。

2. 頭部方向を考慮した視覚的注意モデル

視線位置の推定には、視覚情報から得られる誘目性を利用するモデルがよく知られている。しかし、このモデルは、視線推定の精度があまり高くないことが指摘されている。本研究では、頭部方向を考慮した視線推定方法を提案し、視線推定精度の向上に成功した。我々が提案するモデルでは、頭部方向に基づいて眼球位置分布が偏るという知見を利用して、この眼球位置分布特性を誘目性地

図に加えることを行った。本モデルは、視線推定において頭部方向情報の利用が有効であることを示している。

3. 定常的視覚誘発電位によるオブジェクト注意の計測

物体内部に制限される注意の広がり、オブジェクト注意と呼ばれている。本研究では、この注意がどのように実現されているのかを脳波の一種である定常的視覚誘発電位を測定することにより調べた。その結果、定常的視覚誘発電位の振幅変化によりオブジェクト注意の効果を確認し、テスト刺激以外の位置にランダムに呈示される妨害刺激により脳波の事象関連電位に変化は生じなかった。これより、オブジェクト注意は、優先順位によってスポットライトが移動する動的機構ではなく、静的な機構に起因することが示唆された。

<職員名>

教授 塩入 諭 (2005 年より)
 准教授 栗木 一郎 (2006 年より)
 准教授 (兼) 松宮 一道 (2014 年より)
 産学連携研究員 羽鳥康裕、秘書 今野 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。運動視、立体視、色覚を中心とした初期視覚処理と、眼球運動および注意による視覚情報の選択過程のメカニズムの解明とその応用を目的に、視覚現象の調査、視覚処理の諸特性を測定、それに基づく定量的モデルの構築などの研究に従事。1988.5 Fight for Sight 賞 (ARVO 1987 best poster) 受賞, 1993.3 応用物理学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 Society for Information Display (SID) International Symposium.

栗木 一郎 1996 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、東京工業大学理工学部情報工学研究施設助手、東京大学大学院 工学系研究科 計数工学専攻 助手、NTT コミュニケーション科学基礎研究所研究員を経て、2006 年 1 月より東北大学電気通信研究所助教授 (2007 年 4 月より同准教授)。知覚と脳活動の対応に着目した視覚情報処理のメカニズムに関する研究に従事。また 2010 年 4 月から 2012 年 3 月まで JST 研究開発戦略センターに勤務 (兼務) し、電子情報通信分野の俯瞰と研究開発戦略の立案に関与。1996 年 8 月照明学会論文賞, 2001 年 3 月応用物理学学会光学論文賞を受賞。

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] Fang Y, Nakashima R, Matsumiya K, Kuriki I, Shioiri S: Eye-head coordination for visual cognitive processing. PLoS ONE 10(3): e0121035. doi:10.1371/journal.pone.0121035, 2015.
- [2] Fang Y, Emoto M, Nakashima R, Matsumiya K, Kuriki I, Shioiri S: Eye-position distribution depending on head orientation when observing movies on ultrahigh-definition television. ITE Transactions on Media Technology and Applications 3(2), 149-154, 2015.
- [3] Nakashima R, Fang Y, Hatori Y, Hiratani A, Matsumiya K, Kuriki I, Shioiri S: Saliency-based gaze prediction based on head direction. Vision Research 117, 59-66, 2015.
- [4] Kuriki I, Omori N, Kashiwase Y, Matsumiya K, Tokunaga R, Shioiri S: Measurement of object-based attention using steady-state visual evoked potentials. Japanese Journal of Physiological Psychology and Psychophysiology (in press)
- [5] Kuriki I., Sun P., Ueno K., Tanaka K., and Cheng K. (2015) Hue selectivity of neurons in human visual cortex revealed by BOLD fMRI. Cerebral Cortex, 25, 4869-4884. doi: 10.1093/cercor/bhv198
- [6] Kuriki I. (2015) Effect of material perception on mode of color appearance. Journal of Vision, 15,8,4. doi: 10.1167/15.8.4.

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。そこで本部門は、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高信頼・高機能ソフトウェアの研究を行うソフトウェア構成研究室、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、共生コンピューティングの研究を行うコミュニケーションネットワーク研究室、インタラクティブコンテンツを実現するための技術の研究を行う情報コンテンツ研究室の4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2015年度の研究活動成果の概要を述べる。

（1）ソフトウェア構成研究室

高信頼プログラミング言語の基礎理論および実装技術の確立、さらに基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指し、理論と実践の両面から研究を行ってきた。理論研究では、高水準なキーバリューアクセスを実現するための型理論とコンパイル方式を構築し、ML系高信頼言語から低レベルキーバリューストア上に、レコードやリストなどのデータ構造が型安全に操作できる操作系が構築できることを示すなどの成果をあげた。実践面では、本研究分野で推進している次世代高信頼プログラミング言語 SML#の開発を進め、完全な並行 GC を完成させ、64ビット版ネイティブスレッドサポート機能の開発などを行った。

（2）コンピューティング情報理論研究分野

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る。本研究室では、書き換えシステムの基礎理論と定理自動証明、代数的仕様記述、関数・論理型言語などへの応用について研究を進めている。本年度の主な研究成果は以下のとおりである。(i) 項書き換えシステムに対する文脈移動変換法と文脈分割変換法を提案し、これらの変換法を書き換え帰納法と組み合わせた新しい定理自動証明システムを開発した。(ii) さまざまな証明手法に基づいて項書き換えシステムの合流性検証器 ACP の開発を進め、第4回合流性コンペティション (CoCo 2015) において第1位の成績を収めた。

（3）コミュニケーションネットワーク研究室

能動的情報資源の応用研究では、個人向き知識ベースの設計概念を新たに提案し、その基礎的検討を開始した。具体的には、人々の種々の活動に関わる情報・知識の獲得と構造化、及び、能動的情報資源として集積された記憶の活性・想起手法などについて検討した。知的ネットワークサービスの研究では、エージェントを活用したサンドボックス環境による安全なサービス個人化手法を提案し、プロトタイプを用いた実験により、その有効性を検証した。更に、エージェント型 IoT (AIoT) に関する研究

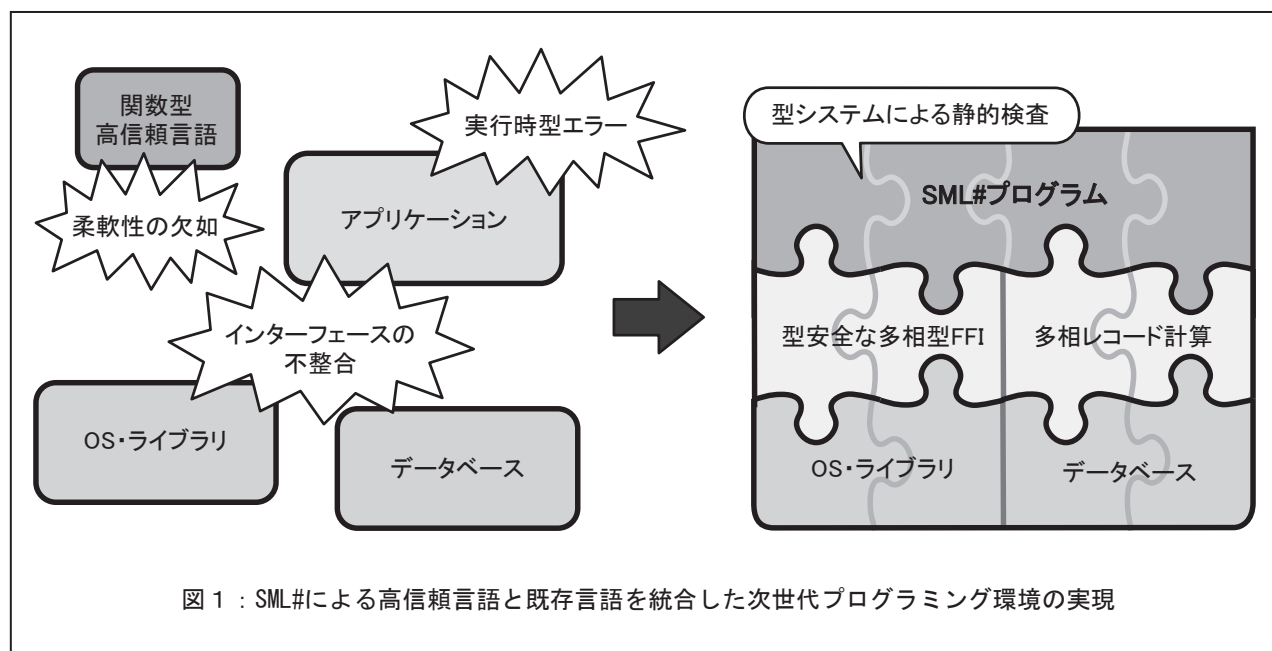
では、AIoT のシステム・コンセプトを新たに提案し、分散環境上の様々なデバイスにエージェント機能を装着して行われるデバイス知能化、AIoT デバイスの分散協調制御方式などを検討し、プロトタイプシステムの試作と実験により AIoT の効果を確認した。

（４）情報コンテンツ研究室

人との相互作用によって新たな価値を創造するインタラクティブなコンテンツに関して、それらを実現するさまざまな技術に関する研究に取り組んだ。まず、細かな手指の動きを用いたインタラクションに向けて、磁気式の 6 自由度 3D トラッキングシステムを開発した。また、「場」の状況を認識して快適なコミュニケーション空間を提供する研究では、状況に応じて形状や位置を変化させることができるロボティックデジタルテーブルや壁型ディスプレイを試作し、それらが人の活動に効果的に作用することを確認した。さらに、ロボットに対する人の心理的安心感のモデル化にも取り組んだ。

ソフトウェア構成研究室

次世代高信頼プログラミング言語の理論と実装



ソフトウェア構成研究分野 教授 大堀 淳

<研究室の目標>

今実現しつつある高度情報化社会が、従来通りの信頼性と安全性を確保しながら発展していくためには、高信頼ソフトを効率よく構築する技術の確立が必須である。高信頼プログラミング言語の開発は、その中核をなす重要な課題である。そこで、当研究室では、高信頼プログラミング言語の基礎理論および実装技術の研究、さらに、基礎研究成果を活かした次世代プログラミング言語の実現を目指している。具体的には、これまでに我々の基礎研究によって得られたレコード多相性などの先端機能を装備した次世代高信頼プログラミング言語 SML#の開発を進めるとともに、より堅牢で信頼性の高いソフトウェア構築原理の確立を目指し、コンパイルの論理的基礎の確立、低レベルコードの検証理論の構築、高信頼コンポーネントフレームワークのための型理論の構築などの基礎研究を進めている。

<2015 年度の主な成果>

1. SML#コンパイラの開発

SML#は、当研究室で設計・開発している高信頼プログラミング言語であり、以下の特徴を持つ。

- (1) 多相型レコード演算やランク 1 多相等の先端機能を初めて実現、
- (2) C などの既存言語やデータベースなどのシステムとの高い相互運用性、
- (3) Standard ML と上位互換性を持つ。

これらの特長および SML#コンパイラに含まれる諸機能は、我々の基礎研究成果によって可能とな

った最先端のものと評価されている。

本年度の主な開発項目は完全な並行 GC の開発である。次世代のソフトウェア開発の生産性と信頼性の向上に寄与すると期待される関数型言語の課題は、マルチコア上で動作するネイティブスレッドのサポートである。この最大の障害は、実用的な並列化技術が未熟なゴミ集め (GC) 方式にあった。本研究では、スレッドと完全に並行に動作する GC の理論と実装方式を開発し、SML#コンパイラに実装した。この GC は、従来困難であった、高信頼言語におけるマルチコア上のネイティブスレッドのサポートに道を拓くものである。3月に、この GC を含む SML#3.0.0 版をリリースした。

2. 高水準なキーバリューストアの型理論とコンパイル方式。

ストレージやクラウド基盤のインターフェイスとして広く使用され始めた従来のキーバリューストアは、プログラミング言語が提供するレコードや配列などの構造を持たない低レベルな機能に制限されていた。本研究では、名前に過ぎないキー集合を使って、高水準なデータ構造を表現するための型理論とそのコンパイル方式を構築し、キーバリューストアの型安全かつ高水準のアクセスを実現する方式を確立した。(論文[1])

3. 外部データ形式 JSON を高水準言語に統合する理論と実装方式の構築。

インターネット上でデータを送受信するフォーマットとして広く使用され始めた JSON を安全かつ高水準に操作する型理論と実装方式を開発し、高水準言語から JSON を安全にシームレスに操作する方式を確立した。この成果は、オブジェクト指向プログラミング言語の最高峰の国際会議である ECOOP2016 に採録され、2016 年 7 月に発表予定である。(論文[3])

<職員名>

教授 大堀 淳 (2005 年より)

助教 上野 雄大

<プロフィール>

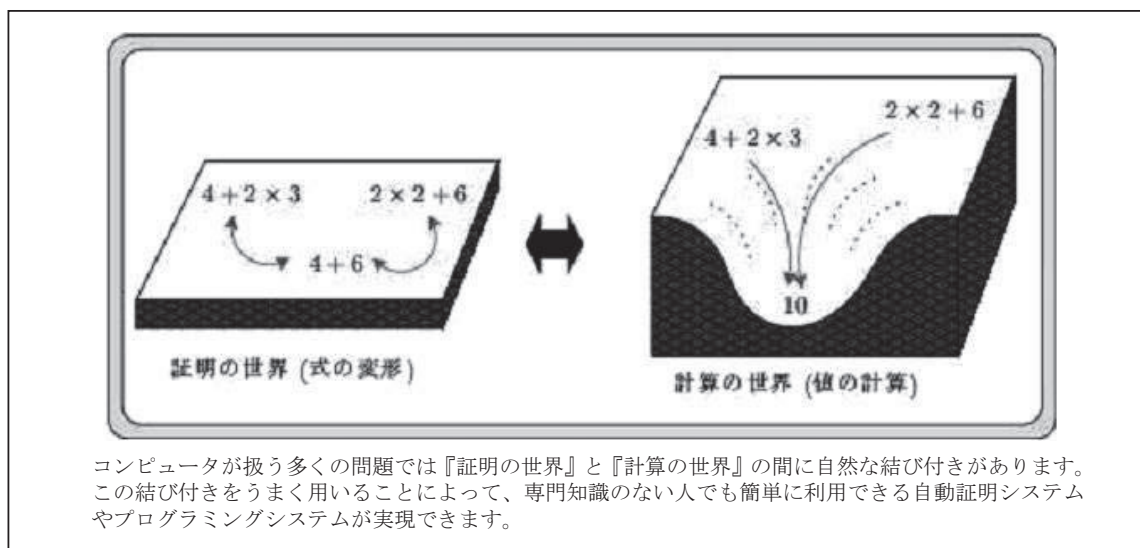
大堀 淳 1957年生。1981年東京大学文学部哲学科卒業。同年沖電気工業(株)入社。1989年ペンシルバニア大学大学院計算機・情報科学科博士課程修了。Ph.D. その後、英国王立協会特別研究員(グラスゴー大学)、沖電気工業(株)関西総合研究所特別研究室長、京都大学数理解析研究所助教授、北陸先端科学技術大学院大学教授を経て、2005年4月より東北大学電気通信研究所教授。プログラミング言語およびデータベースの基礎研究に従事。1996年第10回日本IBM科学賞受賞。

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] Katsuhiko Ueno, Atsushi Ohori. A Type Safe Access to Key-value Stores from Functional Languages. Journal of Information Processing, Vol. 24, No. 1, pp.141-151, 2016.
- [2] Katsuhiko Ueno, Atsushi Ohori: A foreign language interface from ML to shell. New Generation Computing, to appear.
- [3] Atsushi Ohori, Katsuhiko Ueno, Tomohiro Sasaki, Daisuke Kikuchi: A Calculus with Partially Dynamic Records for Typeful Manipulation of JSON Objects. In Proceedings of the 30th European Conference on Object Oriented Programming (ECOOP 2016), 24 pages, to appear.

コンピューティング情報理論研究室

計算と証明の融合によるソフトウェア構成原理



コンピューティング情報理論研究分野

教授 外山 芳人

＜研究室の目標＞

本研究室では、証明と計算を融合した新しいソフトウェアの構成原理について研究している。ソフトウェアの形式的開発や検証では、ソフトウェアの効率のみでなく、その論理的な正当性も問題となる。書き換えシステムを基礎とした計算・証明モデルは、証明の世界と計算の世界を統一的な枠組みで取り扱えるため、新しい構成原理に基づくソフトウェアの実現が可能である。我々は、書き換えシステムに基づく関数型言語を対象に、与えられたプログラムから効率的なプログラムへの自動変換、仕様からのプログラム自動合成などの基礎研究を行っている。さらに高階書き換えシステム、プログラムの帰納的性質の自動証明法、関数・論理型言語と定理自動証明システムの融合など、書き換えシステムに基づく計算・証明パラダイムの理論的および実験的研究を進めている。

研究テーマ

- | | |
|-------------------|----------------|
| (1) 書き換えシステムの基礎理論 | (3) 関数・論理融合型言語 |
| (2) プログラム検証・変換・合成 | (4) 定理自動証明システム |

＜2015 年度の主な成果＞

1. 合流性自動証明法の研究

項書き換えシステムの永続性と型情報を利用した新しい合流性証明法に基づいた新しい合流性自動証明手法を提案し、本研究室で開発している合流性自動証明システム ACP へ提案手法を組み込んだ。さらに、帰納的定理自動証明法に基づく基底合流性判定手法を提案し、実験をとおしてその有効性を確認した。

2. 検証のためのプログラム変換の研究

自動検証を目的としたプログラム変換法である文脈移動法が、項書き換えシステムの自動変換にも有効で

あることを明らかにするとともに、先行評価における文脈移動法の正当性を理論的に証明した。

3. 高階書き換えシステムの研究

束縛変数をもつ高階書き換えシステムである名目書き換えシステムの新しい形式化を行い、名目書き換えシステムの合流性を保証するための十分条件を危険対解析に基づいて明らかにするとともに、合流性自動証明手続きの実装と実験を行った。

＜職員名＞

教 授 外山 芳人（2000 年 4 月より）

助 教 菊池健太郎

秘 書 寒河江香子

＜プロフィール＞

外山 芳人 1952 年生。1977 年東北大学大学院工学研究科情報工学専攻修士課程修了。同年、日本電信電話公社（現 NTT）武蔵野電気通信研究所入所。1991 年 NTT コミュニケーション科学研究所 主幹研究員。1993 年北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授。2000 年より東北大学 電気通信研究所 教授。この間、プログラム理論、定理自動証明の基礎研究に従事。1997 年第 11 回日本 IBM 科学賞受賞。

＜2015 年度の主な発表論文等＞

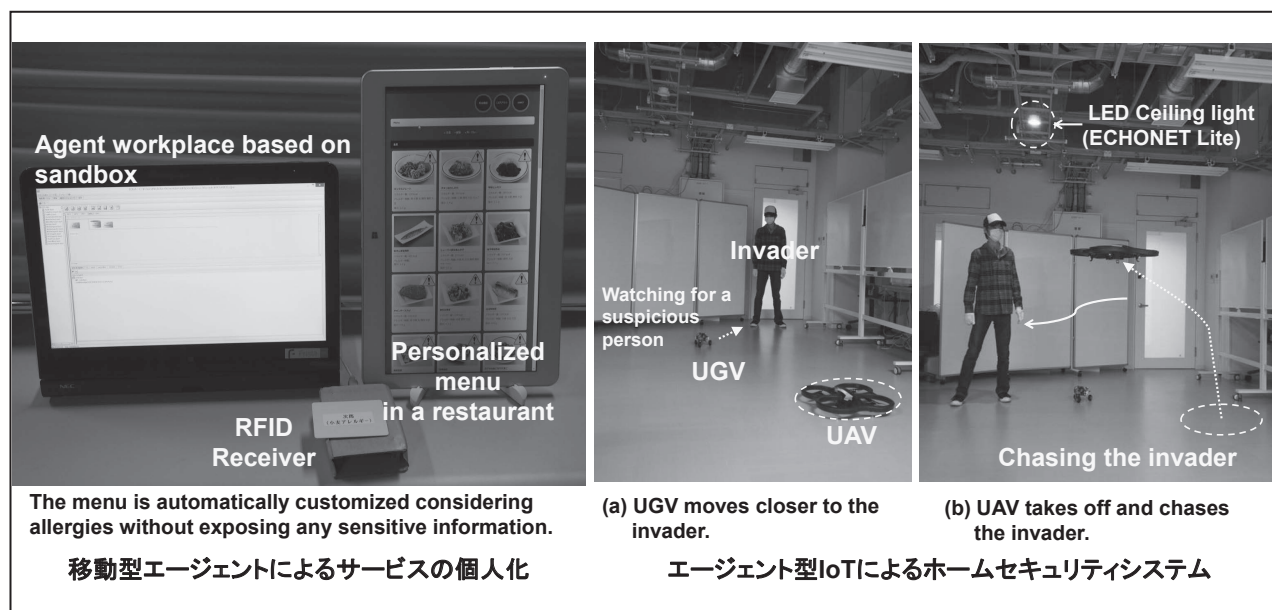
[1] Takaki Suzuki, Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Critical pair analysis in nominal rewriting, EPiC Series in Computing, Vol. 39, pp. 156-168, 2016.

[2] Koichi Sato, Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Correctness of context-moving transformations for term rewriting systems, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9527, pp. 331-345, 2015.

[3] Takaki Suzuki, Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama, Confluence of orthogonal nominal rewriting systems revisited, Leibniz International Proceedings in Informatics, Vol. 36, pp. 301-317, 2015.

コミュニケーションネットワーク研究室

人間とシステムの協働とコミュニケーションの支援



インテリジェントコミュニケーション研究分野 教授 木下 哲男

インテリジェントネットワーク研究分野 准教授 北形 元

<研究室の目標>

社会の隅々まで浸透してきた様々な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。

<2015 年度の主な成果>

1. 能動的情報資源による個人向け知識ベース環境の基礎的検討

人々の様々な活動で利活用される情報・知識を能動的情報資源として獲得し、利用者個人の創造活動を支援する知識ベースを構築する手法を提案した。今年度は、メタ情報の自動抽出機構、直接的／間接的な情報提示によって人間の想起を支援する手法などの基礎的検討を行った。

2. サンドボックス環境を用いた移動型エージェントによる安全なサービス個人化手法の提案

サンドボックス型エージェントワークプレイスを開発し、移動型エージェントに利用者の個人情報局所的に参照させることで、個人情報がネットワークを介して外部に持ち出されることなくサービスを個人化する手法を提案し、試作システムを用いた実験により、その有効性を確認した。

3. エージェント型 IoT におけるデバイス知能化と分散協調制御方式の提案

分散環境上の家電、センサ、ロボットなどの Internet of Things (IoT) デバイス群にエージェント技

術を適用したエージェント型 IoT(AIoT)のシステム・コンセプトを提案し、これに基づくデバイス
 知能化、プラン知識を用いた自律的な協調・連携動作制御、行動ポリシー切り替えを伴う動作制御
 などの処理方式を開発し、試作システムを用いた実験により有効性を確認した。

＜職員名＞

教 授 木下 哲男 (2010 年より)
 准教授 北形 元 (2012 年より)
 助 教 高橋 秀幸 (2011 年より)、笹井 一人 (2012 年より)
 事務補佐員 今野 亜未

＜プロフィール＞

木下 哲男 1979 年 3 月 東北大学大学院工学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。同年 4 月 沖電気
 工業 (株) 入社。1996 年 8 月 東北大学電気通信研究所助教授。2001 年 4 月 同大情報シナジーセンタ
 ー教授。2010 年 4 月 電気通信研究所教授。現在に至る。工博 (1993 年 3 月・東北大学)。知識工学、
 エージェント工学、知識応用システム・エージェント応用システムなどの研究開発に従事。情報処理学
 会平成元年度研究賞 (1989 年)および平成 8 年度論文賞 (1997 年)、電子情報通信学会平成 13 年度業績賞
 (2001 年)、東北総合通信局長表彰 (2004 年)、INTELEC2009 Outstanding Paper Award (2009 年)など受賞。
 電子情報通信学会および情報処理学会フェロー。

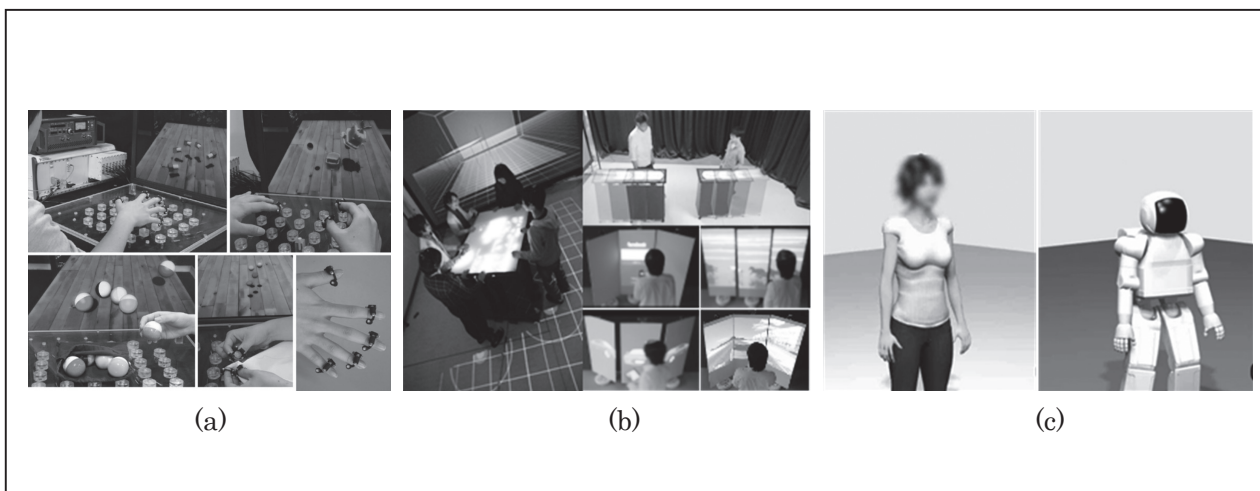
北形 元 2002 年 3 月 東北大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年 4 月、東北大学電気通
 信研究所助手。2007 年 5 月 同准教授。現在に至る。博士 (情報科学)。エージェント指向コンピューテ
 イング、やわらかい情報システム、インテリジェントネットワークの研究に従事。平成 13 年度電子情
 報通信学会学術奨励賞。平成 18 年度 情報処理学会山下記念研究賞。

＜2015 年度の主な発表論文等＞

- [1] T. Kinoshita, "Basic Characteristics of a Macroscopic Measure for Detecting Abnormal Changes in a Multiagent System," Sensors, Vol. 15, No. 4, pp.9112-9135, Apr. 2015.
- [2] K. Kalegele, K. Sasai, H. Takahashi, G. Kitagata, T. Kinoshita, "Four Decades of Data Mining in Network and Systems Management," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.27, No.10, pp.2700-2716, Oct. 2015.
- [3] T. Uchiya, M. Shibakawa, I. Takumi, T. Kinoshita, "Multiagent-based distributed backup system for individuals," Proc. of 2005 IEEE/ACIS 14th International Conference on Computer and Information Science (ICIS), pp.361-366, June 2015.
- [4] T. Kato, R. Chiba, H. Takahashi, T. Kinoshita, "Agent-Oriented Cooperation of IoT Devices towards Advanced Logistics," CDS 2015: 3rd IEEE International Workshop on Consumer Devices and Systems held in conjunction with the 39th Annual International Computers, Software & Applications Conference (COMPSAC2015), pp.223-227, July 2015.
- [5] M. Hibino, T. Uchiya, I. Takumi, T. Kinoshita, "Development Tool of Q-Nash Learning Agent for Intelligent System," Proc. of the 18th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2015), pp.582-585, Sep. 2015.
- [6] Z. Peng, T. Kato, H. Takahashi, T. Kinoshita, "Intelligent Home Security System Using Agent-based IoT Devices," Proc. of the 4th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2015), pp.313-314, Oct. 2015.
- [7] M. Hibino, T. Uchiya, I. Takumi, T. Kinoshita, "Development Support of Nash-Q Learning Agent on Agent Framework DASH," Proc. of the 4th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2015), pp.296-297, Oct. 2015.
- [8] K. Sasai, Y.-P. Gunji, T. Kinoshita, "Extremely Local Interaction in the Market Model," Proc. of The Twenty-First International Symposium on Artificial Life and Robotics 2016 (AROB 21st 2016), pp.625-630, Jan. 2016.

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

<研究室の目標>

コンテンツは、私たちの生活を豊かにしてくれる。その中でも、人とのやりとりによって提供されるインタラクティブコンテンツは、利便性や快適性だけではなく、感動や幸せな気持ちや喜びなど、さまざまなポジティブな要因を与えてくれるため、最近、さまざまな場面で利用される機会が増えてきている。さらに、コンテンツは必ずしも1人で利用するものではなく、複数の人との作業で利用したり、皆で一緒に楽しんだりする事も多くある。またその質は、空間的要素によっても影響を受ける。そこで、人、コンピュータ上のコンテンツ、入出力装置やインタラクションに加えて、それらを取り巻く空間までも考慮して、インタラクティブコンテンツに関する研究を進めている。

<2015年度の主な成果>

1. ディスプレイと3次元インタラクション

手指の細かな動きの理解やそれを用いた3次元インタラクションを実現するために、新たな磁気式3次元トラッキングシステムを開発した(図(a))。これは、6自由度の高精度計測が可能であり、遮蔽に強いという新たな特徴を持つ[2]。また、HMD(Head-mounted Display)装着時に効率的に空間上のオブジェクトを選択できる新たな3次元ユーザインタフェースを開発した[5]。

2. 人と空間とコンテンツに関する研究

人と空間とコンテンツの関係性を調べるため、様々なセンサデバイス、壁面や床ディスプレイ、自律移動ディスプレイ等によって構成される空間を試作している。本年度は、複数の自律移動デジタルテーブル[4]、自律変形型デジタルテーブル[7]、および自立移動・変形壁型ディスプレイ[1]を開発し、動的な空間形成技術について取り組んだ(図(b))。

3. インタラクションデザインと評価

モバイル環境などの限られたスクリーン領域で大きなコンテンツを扱うためには直観的かつ低負荷なポインティング・スクロールインタフェースが必要である。本年度は、モバイルの周囲の指位置をトラッキングすることにより、スクリーン外へ指の移動領域を広げ、よりクラッチが少

なく低負荷なスクロールインタフェースを提案した[6].

4. ロボットの行動モデル

ロボットとの関わりかたと人間の well-being に関する研究に取り組み, 今年度は, 社会心理学的アプローチによりヒューマノイドロボットの設計・制御のための安心モデルを構築した (図(c)) [3].

<職員名>

教 授 北村 喜文

助 教 高嶋 和毅

助 教 上出 寛子

<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情報システム研究所, 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助教授, 2002 年同大学大学院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 年日本バーチャルリアリティ学会論文賞, 2008 年情報処理学会インタラクショナル ベストペーパー賞などを受賞. 国際会議 ACM SIGGRAPH Asia, VRST, ITS, IEEE 3DUI, JVRC, ICAT, EGVE など Conference/Symposium Chair, Program Chair, Steering Committee などを務めている. IFIP TC-13 日本代表, ACM SIGCHI Conference Management Committee, Asian Development Committee, ACM SIGGRAPH SACAG などの委員. 日本バーチャルリアリティ学会フェロー.

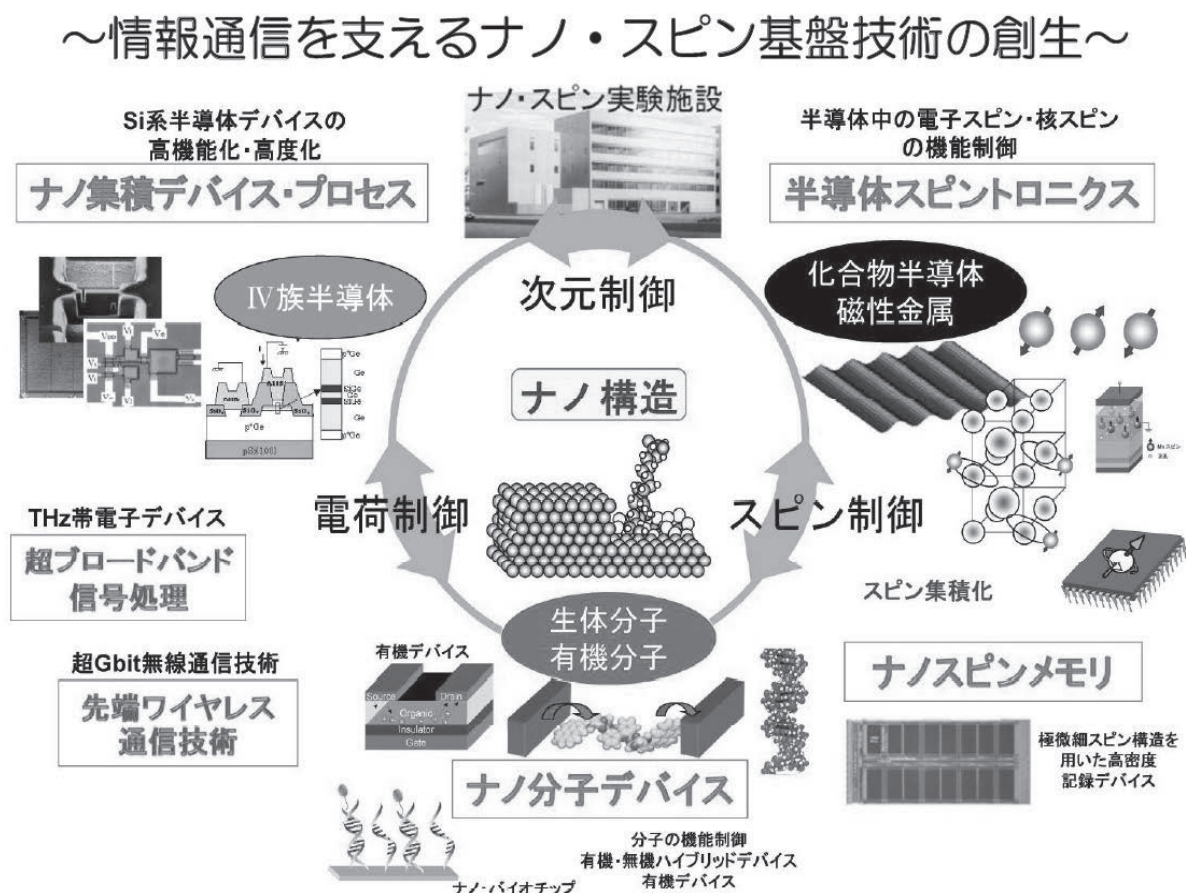
<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] 大山 貴史, 浅利 勇佑, 高嶋 和毅, エフッド シャーリン, グリーンバーグ ソール, 北村 喜文, 自律移動・変形する壁型ディスプレイの設計と評価, インタラクショナル 2016 論文集, pp. 62-71, 2016 年 3 月.
- [2] Jiawei Huang, Tsuyoshi Mori, Kazuki Takashima, Shuichiro Hashi, and Yoshifumi Kitamura, IM6D: magnetic tracking system with 6-DOF passive markers for dexterous 3D interaction and motion, ACM Transactions on Graphics (TOG) - Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia 2015, Volume 34, Issue 6, pp. 217:1-217:10, November 2015.
- [3] Hiroko Kamide, Koji Kawabe, Satoshi Shigemori, and Tatsyi Arai, Anshin as a concept of subjective well-being between humans and robots in Japan, Advanced Robotics, Vol. 29, Issue 24, pp. 1624-1636, November 2015.
- [4] Kazuki Takashima, Yusuke Asari, Hitomi Yokoyama, Ehud Sharlin, and Yoshifumi Kitamura, MovemenTable: The Design of Moving Interactive Tabletops, In Proceedings of Human-Computer Interaction - INTERACT 2015, pp. 296-314, September 2015.
- [5] Juan David Hincapié-Ramos, Kasim Ozacar, Pourang P. Irani, and Yoshifumi Kitamura, GyroWand: IMU-based Raycasting for Augmented Reality Head-Mounted Displays, Proceedings of ACM Symposium on Spatial User Interaction, pp. 89-98, August 2015. 【Best Paper Award 受賞】
- [6] Kazuki Takashima, Nana Shinshi, and Yoshifumi Kitamura, Exploring Boundless Scroll by Extending Motor Space, In Proceedings of MobileHCI 2015, pp. 557-566, August 2015.
- [7] 高嶋 和毅, 会田 直浩, 横山 ひとみ, 北村 喜文, TransformTable: 人の空間配置を動的に変化させる自律変形デジタルテーブル, 情報処理学会論文誌, Vol. 56, No. 4, pp. 1237-1247, 2015 年 4 月.

3. 5 ナノ・スピン実験施設の目標と成果

「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、半導体スピントロニクス、ナノ分子デバイスの各基盤技術を担当する施設研究室と施設共通部、及び超広帯域信号処理研究室が入居し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COEとなることを目標としている。



以下に、施設研究部と利用研究室の平成 27 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）

(1) 量子並列性を利用した計算アルゴリズムの開発を目的として、人工神経回路における計算手法を応用したニューロ様量子計算において、量子ビット間相関に比例してビット間結合を強化する量子ヘップ学習を導入し、その学習性能について評価を行った。簡単なブール関数の学習においてその有効性を確認した。

(2) 基板非加熱 ECR プラズマ CVD により Si(100)上に形成した Si/SiGe 混晶 (Ge 比率 60%) /Si(100)ヘテロ構造の電子物性評価について実験研究を進め、SiGe 混晶の歪緩和にともなう価電子帯構造の変化に加えて明瞭な赤外 PL 発光が生じることも見いだした。さらに、含有水素の熱脱離にともなって上記の赤外発光が観測されなくなることも明らかにした。

(3) 運動立体視による空間認識システムの構築を目的として、局所運動を統合することで平面の方位と衝突時間を検出する神経回路網モデルを LSI に実装した。膨大な神経配線をローカルなメモリに配置した結線テーブルとパケット通信を用いた仮想配線方式により実現し、一般的なデスクトップ CPU 上で実行した C++プログラムと比較して、同程度の処理速度で 100 分の 1 以下の消費電力となることを HDL シミュレーションにより確認した。

半導体スピントロニクス基盤技術関連

● 半導体スピントロニクス（大野英男、深見俊輔）

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への応用を目的として研究を行い、以下の成果を得た。(1) 強磁性半導体(Ga,Mn)As と白金からなる積層構造を用い、強磁性共鳴状態において逆スピンホール効果を介して生じる電気信号から、金属/半導体界面のスピンミキシングコンダクタンスを定量化した。(2) 強磁性半導体(Ga,Mn)As を用い、ダンピング定数の電界による制御に成功し、また磁気ダンピングの物理的起源を明らかにした。(3) ナノスケール CoFeB-MgO 磁気トンネル接合素子における磁化の大角発振を伴う非線形強磁性共鳴の評価をもとに、電界による磁気異方性の変調効率を決定した。(4) Ta/CoFeB/MgO 積層構造を用い、強磁性細線中で磁壁が行うクリープ運動の属する普遍性クラスが決まるメカニズムを明らかにした。(5) Li を共添加した強磁性半導体(Ga,Mn)As における磁気輸送特性を測定し、膜面内磁気異方性、異方性磁気抵抗効果、プレーナーホール効果の温度依存性を系統的に評価した。

・連携研究

1. 文部科学省「未来社会実現のための ICT 基盤技術の研究開発」の委託研究である「耐災害性に優れた安心・安全社会のためのスピントロニクス材料・デバイス基盤技術開発」プロジェクトにおいて、参画研究室と連携して以下の成果を得た。(1) Co/Ni 強磁性細線中に形成される磁壁の熱安定性の細線幅依存性を評価し、磁壁の熱安定性が決まるメカニズムを明らかにした。(2) ナノスケール Ta/CoFeB/MgO ドットにおけるスピン軌道トルク磁化反転を評価し、磁化反転の閾電流密度を決める物理的因子を明らかにした。(3) 反強磁性体/強磁性体積層構造におけるスピン軌道トルク磁化反転の評価を行い、当積層構造においては無磁場でのスピン軌道トルク磁化反転が可能であると同時に、ある構成においては人工知能応用に適したアナログ的な振る舞いを示すことを発見した。

2. 内閣府「無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現」の委託研究である「スピントロニクス集積回路を用いた分散型 IT システム」プロジェクトにおいて、参画研究室と連携して以下の成果を得た。(1) CoFeB-MgO 磁気トンネル接合におけるエネルギー障壁の温度依存性が接合サイズによって異なることを明らかにし、それが磁化反転モードの違いにより説明できることを示した。(2) ネットワークアナライザを用いた強磁性共鳴の測定から、単界面及び二重界面 CoFeB-MgO 積層膜のダンピング定数の膜厚依存性を評価した。(3) スピン軌道トルク磁化反転の第三の方式の動作実証に成功し、また本方式がスピン軌道トルク磁化反転の物理的機構を解明する上で有用であることを示した。

● 超ブロードバンド信号処理（尾辻泰一・末光哲也・ステファン ボーバングトンペット）

1. 超ブロードバンドデバイス・システム研究分野

ミリ波・テラヘルツ帯での動作が可能な新規電子デバイスおよびそのシステムを研究する。具体的には、半導体ヘテロ接合構造やグラフェンに発現する 2 次元プラズモン共鳴を利用した新しい動作原理のテラヘルツ帯レーザーや高速トランジスタの創出を目指す。さらに、これら世界最先端の超ブロードバンドデバイス・回路を応用して、超高速無線通信や安心・安全のための新たな計測技術の開発を進めている。

2. 極限高速電子デバイス研究分野

本研究分野では、キャリア輸送特性に優れた半導体材料に微細加工技術を駆使してトランジスタ性能の極限高速化を追求する。具体的には、ミリ波・テラヘルツ波帯動作のトランジスタ実現をめざして、高い電子移動度が実現できるインジウム砒化ガリウム (InGaAs) 系材料や、高い電子飽和速度が期待される窒化ガリウム (GaN) 系材料によるヘテロ接合型電界効果トランジスタおよびそれらを用いた集積回路の開発を推進している。

3. 超ブロードバンド・デバイス物理研究分野

III-V 化合物ヘテロ構造やグラフェンにおけるプラズモン関連現象の理論的・実験的研究を行い、将来の情報通信・計測システムへ応用可能なミリ波・テラヘルツ帯プラズモンデバイスの創出を目指す。

ナノ分子デバイス基盤技術関連

● ナノ分子デバイス（庭野道夫）

1. ペロブスカイト型太陽電池の開発

ペロブスカイト型太陽電池の性能向上のために、アニーリング処理によるペロブスカイト層の化学状態と結晶構造の変化を、赤外分光法と X 線回折法により詳細に調べた。ペロブスカイト層の構造変化が太陽電池の特性、特に、界面における電荷移動特性に大きく影響を与えることを明らかにした。(J. Mater. Chem. A, 3, 14195 (2015)に発表。本論文は同誌の 2015 年 Hot Article に選ばれた。)

2. p⁺-i-p⁺型有機薄膜トランジスタの開発

有機ポリマー P3HT 薄膜とその有機薄膜に分子ドーピングしてできる導電性薄膜よりなる全有機トランジスタの開発に成功した。P3HT 薄膜に正孔ドーパントである F₄-TCNQ を注入して導電性薄膜を形成し、その膜を電極とした p⁺-i-p⁺型有機薄膜トランジスタを作製し、その性能を調べた。トランジスタの作製のために有機薄膜のパターニング法を新しく開発した。作製したトランジスタは従来の金属電極の有機トランジスタと比べて移動度が優れていることを示した。(分子ドーピング機構については Jpn. J. Appl. Phys., 54, 091602, 2015.に、有機トラン

ジスタについては J. Appl. Phys. **119**, 154503 (2016) に発表した。)

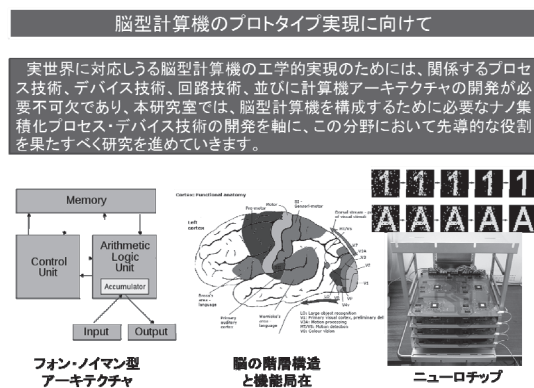
3. 人工神経回路網における信号伝達機構の解明のための計測技術の開発

細胞膜のもつ電氣的絶縁性を利用して、薬剤評価系などに用いられている神経活動計測法の感度を従来の約 6 倍に向上できることを実証した。チップ上にマイクロスケールの電極を配列させた多点電極デバイスは、神経細胞や脳切片標本における神経活動を高い時間分解能で非侵襲に計測できるため、基礎研究のみならず新薬評価系などとして使われている。しかしながら、細胞内の電位

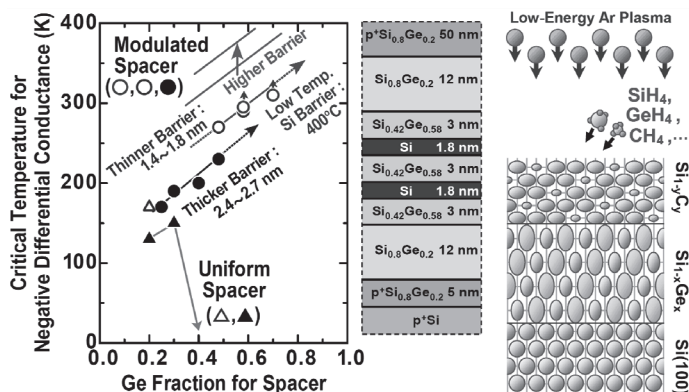
変化を細胞の外側に配置された電極で計測するため、計測感度を向上させることが喫緊の課題となっていた。本研究では、グリア細胞という中枢神経系の支持細胞をハイドロゲル膜の上にシート状に培養し、それをデバイス上の神経細胞の上に被せる、という簡便な方法で信号強度を増幅できることを示した。この方法によりこれまで計測できていなかった神経回路の特性や薬理応答を解明できると期待される。(Appl. Phys. Lett., **108**, 023701 2016 に発表)。

ナノ集積デバイス・プロセス研究室

従来技術の限界を打ち破るナノ集積化技術の研究



脳型計算機のプロトタイプ実現に向けて



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

<研究室の目標>

従来の高速性や大容量性に加え、低炭素社会実現へ向けた低消費電力性や災害時でも動作するロボラスト性など多様な要求に対応できる次世代情報通信基盤技術の開発に向けて、3次元ナノプロセス技術を駆使したシリコン系半導体デバイスの高機能・高性能化と、それらを用いた大規模集積回路の実現が重要な課題である。デバイスの高機能・高性能化においては、新材料や立体構造を導入した新トランジスタ素子・新メモリ素子の開発、量子効果など新しい原理によって動作する新原理動作デバイスの開発、これらに必要な3次元プロセス技術の開発を進める。併せて、3次元集積化実装技術の開発、アナ・デジ混在ディペンダブル大規模集積回路の実現、非ノイマンアーキテクチャの実現に取り組む。

現在の具体的な研究課題として、ナノ集積デバイス研究分野では、不揮発性メモリと乗算機能を有するシナプスデバイスの開発、自励機能などを有する高機能ニューロン回路の設計・製作、3次元実装されたトポロジー可変型ニューラルネットワークの開発、並びに脳型計算機プロトタイプ実現を当面の目標とする。併せてこれらの製作に必要な各種プロセス技術、各種デバイス技術の確立を図る。また、量子ヘテロ構造高集積化プロセス研究分野では、低損傷基板非加熱プラズマ CVD 表面反応などを駆使してナノメートルオーダー極薄領域における高度歪ヘテロ構造形成の原子精度制御を可能にするとともに、量子現象を含めた電荷の移動現象を学問的に体系化し、新規電子物性を探索する。同時に、IV族半導体量子ヘテロナノ構造において顕在化する量子現象を制御し、Si集積回路への大規模集積化が可能なIV族半導体の量子ヘテロ構造および高性能ナノ構造デバイスの実現を図る。

＜2015 年度の主な成果＞

1. ナノ集積デバイス

量子並列性を利用した計算アルゴリズムの開発を目的として、人工神経回路における計算手法を応用したニューロ様量子計算において、量子ビット間相関に比例してビット間結合を強化する量子ヘップ学習を導入し、その学習性能について評価を行った。簡単なブール関数の学習においてその有効性を確認した。また、運動立体視による空間認識システムの構築を目的として、局所運動を統合することで平面の方位と衝突時間を検出する神経回路網モデルを LSI に実装した。膨大な神経配線をローカルなメモリに配置した結線テーブルとパケット通信を用いた仮想配線方式により実現し、一般的なデスクトップ CPU 上で実行した C++ プログラムと比較して、同程度の処理速度で 100 分の 1 以下の消費電力となることを HDL シミュレーションにより確認した。

2. 量子ヘテロ構造高集積化プロセス

基板非加熱 ECR プラズマ CVD により Si(100) 上に形成した Si/SiGe 混晶 (Ge 比率 60%) / Si(100) ヘテロ構造の電子物性評価について実験研究を進め、SiGe 混晶の歪緩和にともなう価電子帯構造の変化に加えて明瞭な赤外 PL 発光が生じることも見いだした。さらに、含有水素の熱脱離にともなって上記の赤外発光が観測されなくなることも明らかにした。

＜職員名＞

教 授 佐藤 茂雄 (2012 年より)

准教授 櫻庭 政夫 (2002 年より)

助 教 秋間 学尚 (2013 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)。

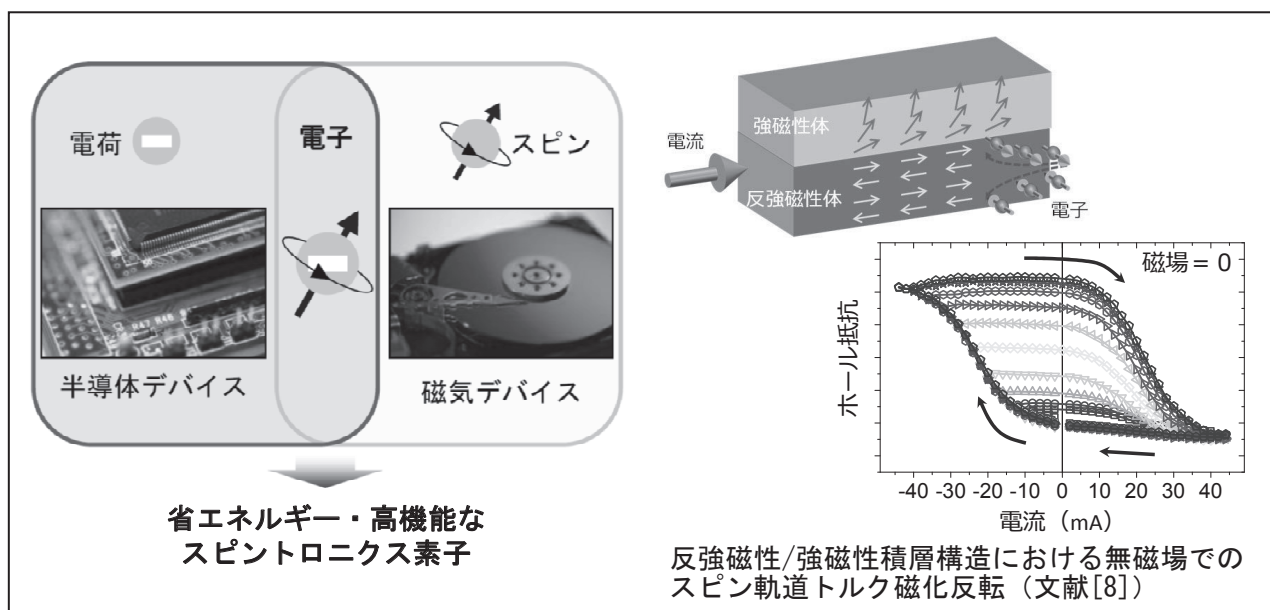
櫻庭 政夫 1990 年 3 月 東北大学工学部電気工学科卒業。1995 年 3 月 同大学院工学研究科電気及通信工学専攻博士後期課程修了。1995 年 4 月 同大電気通信研究所助手。2002 年 8 月 同大電気通信研究所助教授。2007 年 4 月 同准教授、現在に至る。IV 族半導体高度歪量子ヘテロ構造の高集積化プロセスの研究に従事。固体素子材料 (SSDM) 国際会議 Young Researcher Award 受賞 (1992 年)、第 12 回トーキン科学技術振興財団研究奨励賞受賞 (2002 年)。

＜2015 年度の主な発表論文等＞

- [1] A. A. Shklyayev, V. I. Vdovin, V. A. Volodin, D. V. Gulyaev, A. S. Kozhukhov, M. Sakuraba and J. Murota, "Structure and optical properties of Si and SiGe layers grown on SiO₂ by chemical vapor deposition", Thin Solid Films, vol. 579, pp. 131-135, 2015.
- [2] 秋間学尚, 佐藤茂雄, 「運動視により局所運動を検出する神経回路網モデルの LSI 化」, 日本神経回路学会誌, vol. 22, no. 4, pp. 152-161, 2015.
- [3] W. Li, S. Sato, H. Akima, M. Sakuraba, "Hydrogen Atom Desorption Induced by Electron Bombardment on Si Surface," ECS Trans., vol. 69, no. 31, pp. 35-38, 2015.
- [4] Y. Yamamoto, N. Ueno, M. Sakuraba, J. Murota, A. Mai and B. Tillack, "C and Si delta doping in Ge by CH₃SiH₃ using reduced pressure chemical vapor deposition", Thin Solid Films, vol. 602, pp. 24-28, 2016.

半導体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・高機能な素子の創生



スピントロニクス機能工学研究分野 教授 大野 英男

ナノスピントロニクス材料デバイス研究分野 准教授 深見 俊輔

<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への応用を目的として、半導体・金属磁性体におけるスピン現象、及びそれらを利用した新規スピントロニクス素子の創生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物性の評価と理解、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種々の集積回路応用に関する研究を進めている。

<2015年度の主な成果>

1. 磁氣的摩擦の電氣的な制御に成功

強磁性半導体(Ga,Mn)As を用い、磁氣的摩擦（ダンピング定数）の電界による制御に成功した。またこの手法を用いて磁氣的摩擦の物理的起源を調べ、電気抵抗とともに変化する磁氣的な乱雑さに関連していることを明らかにした（文献[4]）。

2. ミクロな磁気構造のゆっくりした変化に統一的理解

Ta/CoFeB/MgO 積層構造を用いて強磁性体中のミクロな磁気構造がゆっくりと変化する現象（磁壁のクリープ運動）を詳細に調べ、その普遍性クラスは材料の性質自体には依存せず、磁壁に働くトルクの対称性によって決まることを明らかにした（文献[7]）。

3. 反強磁性体を用いたスピントラックトルク磁化反転の実証

反強磁性体／強磁性体積層構造におけるスピン軌道トルク磁化反転の評価を行い、当積層構造においては無磁場でのスピン軌道トルク磁化反転が可能であると同時に、ある構成においては人工知能応用に適したアナログ的な振る舞いを示すことを発見した（文献[8]）。

＜職員名＞

教 授 大野 英男（1994 年より）

准教授 深見 俊輔（2016 年より）

助 教 金井 駿

研究員 張 曉文、Enobio Eli Christopher Inocencio

＜プロフィール＞

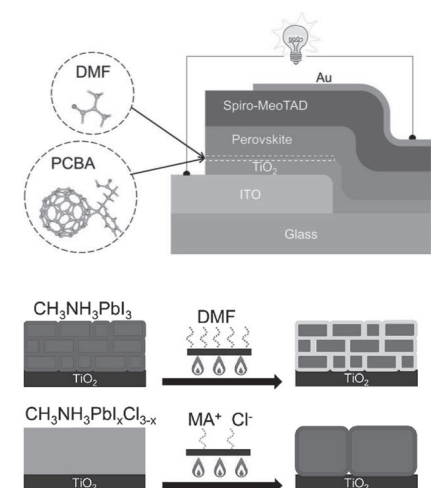
大野 英男 1982 年東京大学工学系研究科電子工学専攻修了。工学博士。1982 年北海道大学講師、1983 年北海道大学助教授、1988-1990 年 IBM T. J. Watson 研究所客員研究員、1994 年より東北大学教授。第 12 回日本 IBM 科学賞、2003 年度 The IUPAP Magnetism Prize、平成 17 年度日本学士院賞、東北大学総長特別賞、The 2005 Agilent Technologies Europhysics Prize、2011 年トムソン・ロイター引用栄誉賞、2012 年第 12 回応用物理学会業績賞(研究業績)、IEEE David Sarnoff Award 2012、2015 年第 5 回化合物半導体エレクトロニクス業績賞（赤崎勇賞）受賞。The Institute of Physics (IOP) Fellow。中国科学院半導体研究所名誉教授号。応用物理学会フェロー。米国物理学会フェロー。東北大学ディスティンディングイッシュトプロフェッサー。IEEE Magnetic Society, Distinguished Lecturer for 2009。応用物理学会、日本結晶成長学会、日本物理学会、電子情報通信学会、日本磁気学会、IEEE、AVS 会員。

深見 俊輔 2005 年名古屋大学工学研究科結晶材料工学専攻修了。工学博士。2005 年日本電気株式会社、2011 年東北大学助教、2015 年より東北大学准教授。2012 年応用物理学会論文賞、2013 年 RIEC Award 東北大学研究者賞、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、2015 年原田研究奨励賞受賞。応用物理学会、日本磁気学会会員。

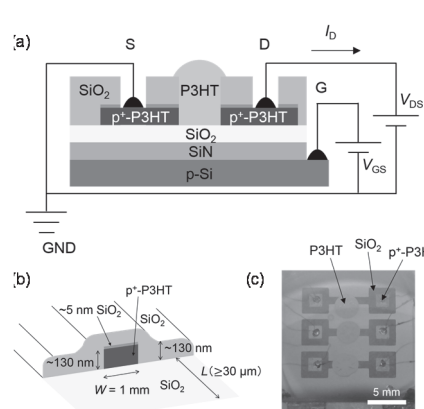
＜2015 年度の主な発表論文等＞

- [1] H. Nakayama, L. Chen, H. W. Chang, H. Ohno, and F. Matsukura, "Inverse spin Hall effect in Pt/(Ga,Mn)As", Appl. Phys. Lett. **106**, 222405 (2015).
- [2] S. Fukami, J. Ieda, and H. Ohno, "Thermal stability of a magnetic domain wall in nanowires," Phys. Rev. B **91**, 235401 (2015).
- [3] C. Zhang, S. Fukami, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Spin-orbit torque induced magnetization switching in nano-scale Ta/CoFeB/MgO," Appl. Phys. Lett. **107**, 012401 (2015).
- [4] L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-Field Modulation of Damping Constant in a Ferromagnetic Semiconductor (Ga,Mn)As," Phys. Rev. Lett. **115**, 057204 (2015).
- [5] E. Hirayama, S. Kanai, J. Ohe, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field induced nonlinear ferromagnetic resonance in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction," Appl. Phys. Lett. **107**, 132404 (2015).
- [6] Y. Takeuchi, H. Sato, S. Fukami, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependence of energy barrier in CoFeB-MgO magnetic tunnel junctions with perpendicular easy axis," Appl. Phys. Lett. **107**, 152405 (2015).
- [7] S. DuttaGupta, S. Fukami, C. Zhang, H. Sato, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Adiabatic spin-transfer-torque-induced domain wall creep in a magnetic metal," Nature Phys. **12**, 333 (2015).
- [8] S. Fukami, C. Zhang, S. DuttaGupta, A. Kurenkov, H. Ohno, "Magnetization switching by spin-orbit torque in an antiferromagnet-ferromagnet bilayer system," Nature Mater., doi:10.1038/nmat4566 (2016).
- [9] S. Fukami, T. Anekawa, C. Zhang, and H. Ohno, "A spin-orbit torque switching scheme with collinear magnetic easy axis and current configuration," Nature Nanotech., doi:10.1038/nnano2016.29 (2016).
- [10] S. Miyakozawa, L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Temperature dependence of in-plane magnetic anisotropy and anisotropic magnetoresistance in (Ga,Mn)As codoped with Li," Appl. Phys. Lett. **108**, 112404 (2016).

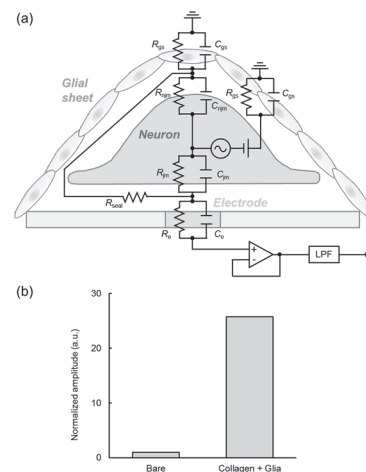
ナノ分子デバイス研究室

分子情報デバイスの表面・界面のナノスケール制御と
新機能デバイスの創製

ペロブスカイト型太陽電池の開発。太陽電池の界面構造の解析と制御。



全有機トランジスタの開発。有機薄膜の分子ドーピング技術の開発と p⁺-i-p⁺型有機薄膜トランジスタの作製と性能評価。



人工神経回路網における信号伝達機構の解明のための計測技術の開発。グリア細胞シートを用いた信号計測の高感度化。

ナノ分子デバイス研究分野 教授 庭野 道夫

＜研究室の目標＞

これまで、デバイスの小型化、高機能化等は、フォトリソグラフィ技術に代表される半導体微細加工技術に支えられてきた。また、近年のナノテクノロジーやバイオテクノロジーの進展は、従来の方法では困難であった、電気的・光学的特徴を有する生体分子や超分子およびナノ構造体の合成・利用を実現可能なものとしている。これらの技術や新規材料を融合することにより、高次情報処理を可能にするナノスケール、分子スケールの様々な電子デバイスの実現を目指す。

＜2015年度の主な成果＞

1. ペロブスカイト型太陽電池の開発

ペロブスカイト型太陽電池の性能向上のために、アニーリング処理によるペロブスカイト層の化学状態と結晶構造の変化を、赤外分光法と X 線回折法により詳細に調べた。ペロブスカイト層の構造変化が太陽電池の特性、特に、界面における電荷移動特性に大きく影響を与えることを明らかにした。(J. Mater. Chem. A, 3, 14195 (2015)に発表。本論文は同誌の 2015 年 Hot Article に選ばれた。)

2. p⁺-i-p⁺型有機薄膜トランジスタの開発

有機ポリマー P3HT 薄膜とその有機薄膜に分子ドーピングしてできる導電性薄膜よりなる全有機トランジスタの開発に成功した。P3HT 薄膜に正孔ドーパントである F₄-TCNQ を注入して導電性薄膜を形成し、その膜を電極とした p⁺-i-p⁺型有機薄膜トランジスタを作製し、その性能を調べた。トランジスタの作製のために有機薄膜のパターニング法を新しく開発した。作製したトランジスタは従来の金属電極の有機トランジスタと比べて移動度が優れていることを示した。(分子ドーピング機構については Jpn. J. Appl. Phys., 54, 091602, 2015.に、有機トランジスタについては J. Appl. Phys. 119,

154503 (2016)に発表した。)

3. 人工神経回路網における信号伝達機構の解明のための計測技術の開発

細胞膜のもつ電氣的絶縁性を利用して、薬剤評価系などに用いられている神経活動計測法の感度を従来の約6倍に向上できることを実証した。チップ上にマイクロスケールの電極を配列させた多点電極デバイスは、神経細胞や脳切片標本における神経活動を高い時間分解能で非侵襲に計測できるため、基礎研究のみならず新薬評価系などとして使われている。しかしながら、細胞内の電位変化を細胞の外側に配置された電極で計測するため、計測感度を向上させることが喫緊の課題となっていた。本研究では、グリア細胞という中枢神経系の支持細胞をハイドロゲル膜の上にシート状に培養し、それをデバイス上の神経細胞の上に被せる、という簡便な方法で信号強度を増幅できることを示した。この方法によりこれまで計測できていなかった神経回路の特性や薬理応答を解明できると期待される。(Appl. Phys. Lett., **108**, 023701 2016 に発表)。

<職員名>

教授 庭野 道夫 (1998 年より)

助教 馬 騰

<プロフィール>

庭野 道夫 1980 年 東北大学大学院理学研究科博士課程修了. 理学博士. 1980 年 宮城教育大学助手, 1986 年 東北大学電気通信研究所助手, 1988 年 同助教授, 1998 年 同教授, 現在に至る. これまで固体光物性, 半導体表面物性, 半導体材料工学, 表面化学の研究に従事. 最近の研究課題は, 赤外分光による表面物性の研究や分子デバイスの開発研究など. 所属学会は, 応用物理学会, 日本表面科学会, 日本物理学会, 電気情報通信学会, 電気学会.

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] Daisuke Tadaki, Teng Ma, Jinyu Zhang, Shohei Iino, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, Richard Rosenberg, and Michio Niwano, "Fabrication and characterization of p^+-i-p^+ type organic thin film transistors with electrodes of highly doped polymer." J. Appl. Phys. **119**, 154503 (2016).
- [2] Ayumi Hirano-Iwata, Ryosuke Matsumura, Teng Ma, Yasuo Kimura, Michio Niwano, and Kazuo Nishikawa, "Interaction of plasma-generated water cluster ions with chemically-modified Si surfaces investigated by infrared absorption spectroscopy." AIP Advances, **6**, 035017 2016.
- [3] Teng Ma, Daisuke Tadaki, Masao Sakuraba, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata and Michio Niwano, "Effects of interfacial chemical states on the performance of perovskite solar cells", J. Mater. Chem. A, **4**, 4392-4397, 2016.
- [4] Ryosuke Matsumura, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata, "An electrically resistive sheet of glial cells for amplifying signals of neuronal extracellular recordings." Appl. Phys. Lett., **108**, 023701 2016.
- [5] Hideaki Yamamoto, Takanori Demura, Kohei Sekine, Sho Kono, Michio Niwano, Ayumi Hirano-Iwata, Takashi Tani, "Photopatterning Proteins and Cells in Aqueous Environment Using TiO₂ Photocatalysis." Jove-Journal of Visualized Experiments, **104**, e53045, 2015.
- [6] 庭野 道夫, 平野 愛弓 赤外分光, "「その場」解析法によるバイオ計測", 分析化学, **64**, 793-800 2015.
- [7] Daisuke Tadaki, Teng Ma, Jinyu Zhang, Shohei Iino, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, and Michio Niwano, "Molecular doping of regioregular poly(3-hexylthiophene) (P3HT) layers by 2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane (F4-TCNQ) investigated by infrared spectroscopy and electrical measurements." Jpn. J. Appl. Phys., **54**, 091602, 2015.
- [8] Teng Ma, Matteo Cagnoni, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano "Annealing-induced chemical and structural changes in tri-iodide and mixed-halide organometal perovskite layers." J. Mater. Chem. A, **3**, 14195-14201 2015.
- [9] Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, "Micro- and nano-technologies for lipid bilayer-based ion-channel functional assays." Chem. Asian J., **10**, 1266-1274 2015.

3. 6 ブレインウェア研究開発施設の目標と成果

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、電腦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。

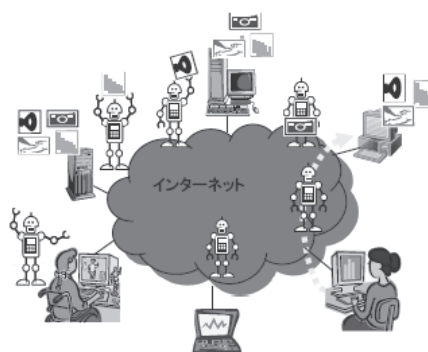
この施設は、適応的認知行動システム研究部（認識・学習システム研究室）、自律分散制御システム研究部（実世界コンピューティング研究室）、脳型LSIシステム研究部（新概念VLSIシステム研究室）の3研究部構成に加えて、ブレインアーキテクチャ研究部の整備が予定されており、関連各研究分野の協力の下に、研究及び施設の運営を行う。

身体性を持つ動的・適応的ハードウェア



・実世界・動的知能構成技術
(実世界コンピューティング)

・超現実空間構成技術
(ブレインアーキテクチャ)

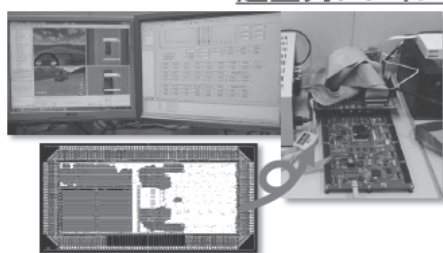


実世界と電腦世界のシームレスな融合 マルチモーダルコンピューティング

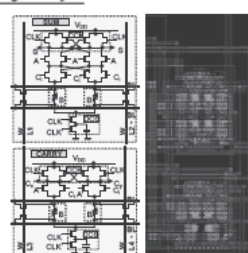


・高次多感覚ブレイン情報処理技術
(認識・学習システム)

超並列ブレインLSIによるハードウェア



・自律的ネットワークオンチップ設計技術
(新概念VLSIシステム)



・不揮発性ロジックとその応用技術
(新概念VLSIシステム)

<施設の目標>

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。

＜2015 年度の主な成果＞

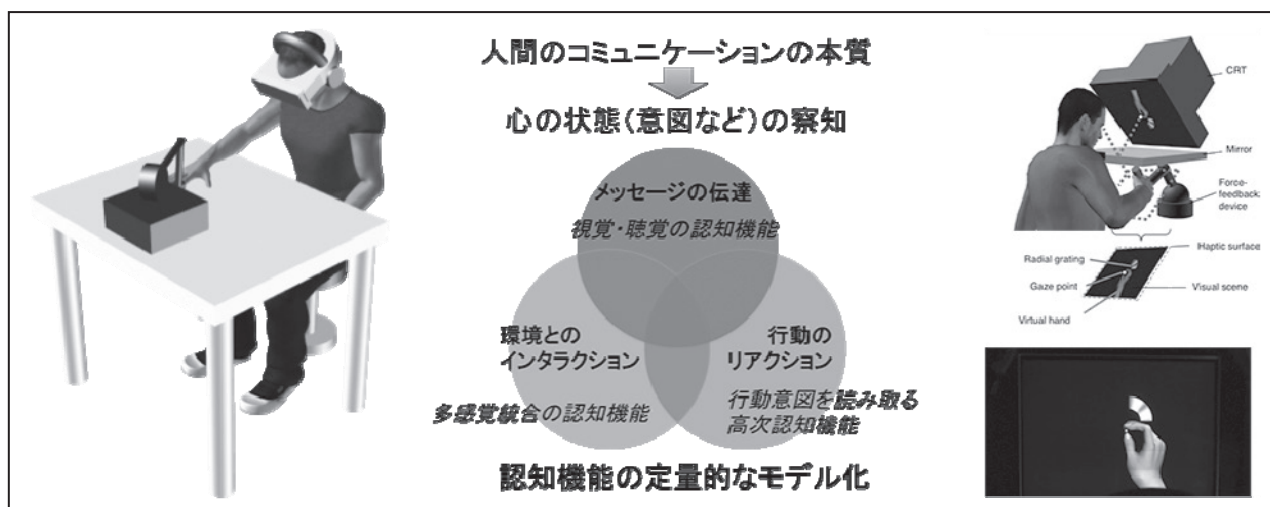
実世界コンピューティング研究室：2015 年度の主たる研究成果は以下の通りである：(1)ヘビは、地面の凸部を「足場」として活用しながら効果的に推進することが可能である。この振る舞いは、従来のロボットにとって推進の阻害要因である環境の非構造化性を逆に利用して推進しているという点で興味深い。本研究では、環境からの「手応え」に基づく自律分散制御則を提案し、それをヘビ型ロボットに実装して、上記ヘビの振る舞いを再現することに成功した。本成果は非構造環境下を自在に推進可能なロボットの実現に際しての基盤技術となることが期待される。(2)四脚動物は、移動速度や環境、さらには動物種に応じて多様な運動パターン（歩容）を示す。これまでの研究を通して、このような多様な歩容を再現する脚間協調モデルを提案し、ロボット実機を用いていくつかの歩容を再現することに成功した。本年度は特に高速領域への歩容遷移の実現を目指し、その背後に潜む力学構造の解明を試みた。(3)「手応え」という概念に基づくことで、二脚歩行ロボットの各関節の制御則を統一的に記述する方法を提案した。提案する手法は、これまでのアドホックな二脚歩行の CPG 制御の設計法とは一線を画する手法であり、高い環境適応性を示すことを確認した。

新概念 VLSI システム研究室：2015 年度の主な研究成果は以下の(1)と(2)の通りである：(1)従来の SRAM ベース Field-Programmable Gate Array (FPGA)における消費電力問題を解決する方法として、本研究グループでは、不揮発性記憶素子 (MTJ: Magnetic Tunnel Junction)を利用して、上述した FPGA における問題の解決を図っている。本年度、①ブロックレベルパワーゲーティング技術の考案、および②その実チップ試作による原理性能の実証を行った。FPGA の基本構成単位である Tile は4つの機能ブロックで構成されるが、各ブロックは Tile の動作モードによって未使用状態となる。ブロックレベルパワーゲーティング技術はこれらの点に着目したもので、動作モードによって適応的に未使用ブロックの電源供給を遮断することで各 Tile の待機電力消費を最小化可能である。さらに、提案の不揮発 FPGA ではロジックインメモリ構造の活用による回路コンポーネント共有化により、リーク電流自体の削減も可能となる。実際、提案の不揮発 FPGA では、従来の SRAM ベース FPGA で全体の 75%を占めていた待機電力が 97%削減され、その結果全体で 81%の消費電力削減を達成している。また、(2)脳の第一次視覚野の受容野の反応に近似できるガボールフィルタは、高い特徴抽出能力を持つことから様々なアプリケーションに用いられている。一方で、その演算処理に非線形演算であるガウス関数や正弦関数が必要であることから、ハードウェア量が膨大になってしまう問題があった。そこで、ガボールフィルタに必要な非線形演算をコンパクトにハードウェア実現する手法として、ストカスティック演算に基づく近似アルゴリズムを考案した。実際に提案アルゴリズムをハードウェア実現し性能評価を行った結果、0.13um CMOS プロセスにおいて従来方式と比較して、処理速度を同等に保ちつつ面積を 78%削減できることに成功した。また、脳型 LSI システム実現の例として、提案方式を FPGA 上に実装し、ガボールフィルタのリアルタイム処理を実現した。

認識・学習システム研究室：我々が開発した速い動きと遅い動きの処理機構を分離できる運動残効の実験テクニックを利用して、速い動きと遅い動きの処理機構の各々が追従眼球運動の駆動とどのような関係を示すかを調べた。その結果、運動知覚を生成する機構と追従眼球運動を駆動する機構は運動信号を共有していることが示された。手の能動的な動きに着目し、能動的に手が動く場合と受動的に手が動かされる場合で、触覚に特異的な動き表象が現れるかどうかを調べた。その結果、触覚に特異的な回転非依存表象は、能動的に手を動かしたときのみ現れ、受動的に手を動かされた場合は、その表象は消失した。これより、触覚に特異的な動き表象を生成するには、能動的な動きが必要であることが示された。

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)

適応的認知行動システム研究分野 准教授 松宮 一道

(聴覚・複合感覚情報システム研究分野 准教授 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。

<2015 年度の主な成果>

1. 知覚と行動の関係：運動知覚と追従眼球運動における視覚運動情報処理機構の共有

視覚対象が動いているとき、我々はその対象物を滑らかな眼球の動きで追跡することができる。この追従眼球運動は視覚対象の動きがあるときのみ生じ、その場合、運動知覚も同時に伴う。これまで多くの研究が運動知覚を生成する機構と追従眼球運動を駆動する機構は運動信号を共有しているかどうかを調べているが、未だにその問題は解決されていない。我々は、最近、運動知覚に関する処理機構において、速い動きを処理する機構と遅い動きを処理する機構が視覚系の中で分離していることを示した。しかし、運動知覚と追従眼球運動の関係を調査した過去の研究はすべて、速い動きと遅い動きの乖離を考慮せず実験を行っていた。そこで本研究では、我々が開発した速い動きと遅い動きの処理機構を分離できる運動残効の実験テクニックを利用して、速い動きと遅い動き

の処理機構の各々が追従眼球運動の駆動とどのような関係を示すかを調べた。その結果、速い動きと遅い動きの両方において、運動知覚と追従眼球運動は刺激変化に対して類似した効果が示された。この結果は、視覚系の分離されている速い動きの処理と遅い動きの処理の両方において、運動知覚を生成する機構と追従眼球運動を駆動する機構は運動信号を共有していることを示唆している。

2. 触運動の回転非依存表象は、能動的な手の動きによって誘発される

我々は、字を書いたり、絵を描くために手を動かす。このような状況では、我々の知覚システムは、視覚と触覚の両方から同時に感覚情報を受け取る。過去の研究は、視覚と触覚には共通の脳内表象が存在することを示唆しているが、これらの研究は物体表象に焦点を当てており、動きの表象についてはほとんど調べられていない。視覚処理においては、行動を制御する機構と物体を認識する機構は脳内で乖離していることが示唆されているため、動きの表象は物体表象と異なっている可能性がある。実際に、我々は心的回転課題と呼ばれる現象を利用して、動きの表象においては視覚と触覚で異なった表象を持つことを発見した。しかし、視覚と異なる触覚に特異的な動きの表象が、どのように生成されるのか、その発生機序は不明であった。そこで本研究では、手の能動的な動きに着目し、能動的に手が動く場合と受動的に手が動かされる場合で、触覚に特異的な動き表象が現れるかどうかを調べた。その結果、触覚に特異的な回転非依存表象は、能動的に手を動かしたときのみ現れ、受動的に手を動かされた場合は、その表象は消失した。これより、触覚に特異的な動き表象を生成するには、能動的な動きが必要であることが示された。

<職員名>

教授 (兼) 塩入 諭 (2005 年より)
 准教授 松宮 一道 (2014 年より)
 准教授 (兼) 坂本 修一 (2011 年より)

<プロフィール>

松宮 一道 2000 年 3 月 東京工業大学大学院総合理工学研究科物理情報工学専攻博士課程修了。同年 4 月 カナダ・ヨーク大学視覚研究所博士研究員。2002 年 1 月 東京工業大学大学院工学研究科像情報工学研究施設研究機関研究員。2004 年 1 月 ATR 人間情報科学研究所専任研究員。2005 年 4 月 東北大学電気通信研究所助手。2007 年 4 月 同助教。2014 年 7 月 同准教授、現在に至る。視知覚と行動の相互作用に関する心理物理学的研究に従事。Distinguished Contributed Paper Award of Society for Information Display (2010 年)。日本視覚学会・鵜飼論文賞受賞 (2012 年)。

<2015 年度の主な発表論文等>

- [1] Matsumiya K, Shioiri S: Smooth pursuit eye movements and motion perception share motion signals in slow and fast motion mechanisms. *Journal of Vision* 15(11):12, 1-15, 2015.
- [2] Matsumiya K, Takahashi M, Kuriki I, Shioiri S: Active movements generate rotation-independent representations for haptic movements. *Interdisciplinary Information Sciences* 21(2), 115-123, 2015.
- [3] Naoya Onizawa, Daisuke Katagiri, Kazumichi Matsumiya, Warren J. Gross, Takahiro Hanyu: "Frequency-Flexible Stochastic Gabor Filter", 2015 IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP), Singapore, July 21-24, 2015.
- [4] 松宮一道: "高次知覚過程における触覚と視覚の相互作用", 触覚認知研究ワークショップ, 東京都・東京女子大学, 2015 年 11 月 7 日 [招待講演].
- [5] 伊師華江, 松宮一道: "L 字型画面で呈示された映像に対する理解感及び視線停留", 電子情報通信学会技術研究報告 (ヒューマン情報処理), HIP2015-88, pp.1-4, 2015.

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

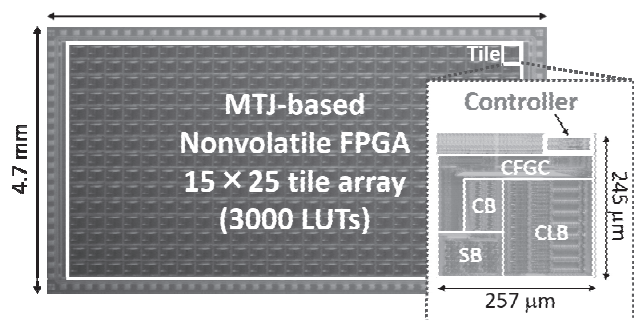


図1. ブロックレベルパワーゲティング機能を有するMTJベース不揮発FPGA: Tile毎にコントローラを設け、動作モードに応じてTile内部の非稼働ブロックの電源供給を停止することで、待機電力を最小化。従来SRAMベースFPGA（揮発）と比較して平均で81%の消費電力削減を達成。

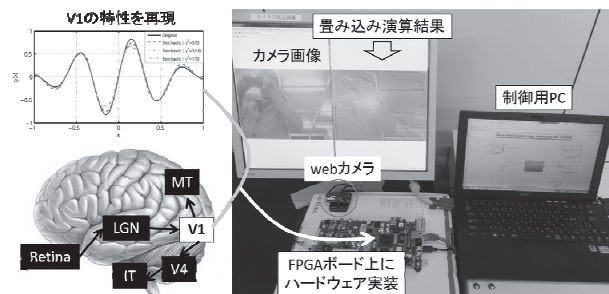


図2. 脳の第一次視覚野（V1）の受容野の反応を近似するガボールフィルタLSI: 確率的演算であるストカスティック演算を活用することで、ガボールフィルタ演算に必要な非線形演算をコンパクトにハードウェア実現できるアルゴリズムを考案した結果、約80%の面積削減を達成し、FPGAボード上でリアルタイム処理を実現。

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

<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。

<2015年度の主な成果>

1. ブロックレベルパワーゲティング機能を有するMTJベース不揮発FPGAの開発

従来のSRAMベースField-Programmable Gate Array（FPGA）では、極限的微細化に起因してリーク電流が増大し、その待機電力が深刻となっている。本研究グループでは、不揮発性記憶素子（MTJ: Magnetic Tunnel Junction）を利用して、上述したFPGAにおける問題の解決を図っている。平成27年度は、①ブロックレベルパワーゲティング技術の考案、および②その実チップ試作による原理性能の実証を行った。FPGAの基本構成単位であるTileは4つの機能ブロックで構成されるが、各ブロックはTileの動作モードによって未使用状態となる。ブロックレベルパワーゲティング技術はこれらの点に着目したもので、動作モードによって適応的に未使用ブロックの電源供給を遮断することで各Tileの待機電力消費を最小化可能である。さらに、提案の不揮発FPGAではロジックインメモリ構造の活用による回路コンポーネント共有化により、リーク電流自体の削減も可能となる。実際、提案の不揮発FPGAでは、従来のSRAMベースFPGAで全体の75%を占めていた待機電力が97%削減され、その結果全体で81%の消費電力削減を達成している。

2. 脳の視覚処理を模倣する高性能かつコンパクトなガボールフィルタ LSI の実現 (図 2)

脳の第一次視覚野の受容野の反応に近似できるガボールフィルタは、高い特徴抽出能力を持つことから様々なアプリケーションに用いられている。一方で、その演算処理に非線形演算であるガウス関数や正弦関数が必要であることから、ハードウェア量が膨大になってしまう問題があった。そこで、ガボールフィルタに必要な非線形演算をコンパクトにハードウェア実現する手法として、ストカスティック演算に基づく近似アルゴリズムを考案した。実際に提案アルゴリズムをハードウェア実現し性能評価を行った結果、0.13 μ m CMOS プロセスにおいて従来方式と比較して、処理速度を同等に保ちつつ面積を 80%程度削減出来ることに成功した。また、脳型 LSI システム実現の例として、提案方式を FPGA 上に実装をし、ガボールフィルタのリアルタイム処理を実現した。

<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)
助 教 鬼沢 直哉 (2013 年 12 月より) 助 教 鈴木 大輔 (2014 年 4 月より)

<プロフィール>

羽生 貴弘 1984 年 3 月東北大学工学部電子工学科卒。1989 年 3 月同大学院工学研究科電子工学専攻博士後期課程了。1989 年 3 月同大工学部助手。1993 年 2 月同大助教授。2002 年 4 月同大学電気通信研究所教授、現在に至る。不揮発性ロジック、電流モード非同期 NoC 技術とその応用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 2000 年 3 月東北大学工学部情報工学科卒。2005 年 3 月同大学院情報科学研究科基礎科学専攻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 月東北大学電気通信研究所准教授、現在に至る。自動回路設計、不揮発性ロジック、多値電流モード回路技術とその応用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), K. C. Smith Award (2012 年)などを受賞。IEEE Member.

<2015 年度の主な発表論文等>

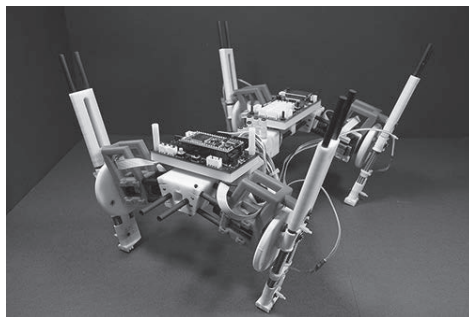
- [1] D. Suzuki, et al., "Fabrication of a 3000-6-Input-LUTs Embedded and Block-Level Power-Gated Nonvolatile FPGA Chip Using p-MTJ-Based Logic-in-Memory Structure," *Digest of Technical Papers, 2015 Symp. on VLSI Circuits*, pp.172-173, June 2015.
 - [2] H. Jarollahi, et al., "Algorithm and Architecture for a Low-Power Content-Addressable Memory Based on Sparse Clustered Networks," *IEEE Trans. VLSI Syst.*, vol. 23, no. 4, pp. 642-653, 2015.
 - [3] N. Onizawa, et al., "Gabor Filter Based on Stochastic Computation," *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 22, no. 9, pp. 1224-1228, 2015.
 - [4] N. Onizawa, et al., "Hardware Implementation of Associative Memories Based on Multiple-Valued Sparse Clustered Networks," *IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems*, Vol. 6, No.1, pp.13-24, 2016.
 - [5] N. Onizawa, et al., "Analog-to-Stochastic Converter Using Magnetic Tunnel Junction Devices for Vision Chips," *IEEE Trans. on Nanotechnology*, vol. x, pp. x-x, 2016. (to appear)
- (他 学術論文 4 編, 査読付国際学会論文等 18 編)

実世界コンピューティング研究室

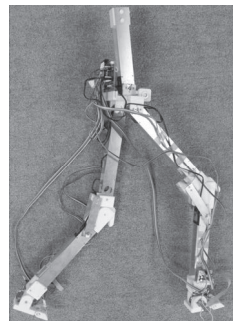
生き物のようにレジリエントな知能システムの創成



地面の凹凸を活用して推進可能なヘビ型ロボット。



四脚動物の様々な歩容を再現可能な四脚ロボット



柔軟な足部から得られる足底感覚情報を活用する二足歩行ロボット

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、コンティニューム」な知的人工物システムの創成を目指す。

<2015年度の主な成果>

1. 足場を活用して推進可能なヘビ型ロボットの自律分散制御則の構築

ヘビは、地面の凸部を「足場」として活用しながら効果的に推進することが可能である。この振る舞いは、従来のロボットにとって推進の阻害要因である環境の非構造性を逆に利用して推進しているという点で興味深い。本研究では、環境からの「手応え」に基づく自律分散制御則を提案し、それをヘビ型ロボットに実装して、上記ヘビの振る舞いを再現することに成功した。本成果は非構造環境下を自在に推進可能なロボットの実現に際しての基盤技術となることが期待される。

2. 四脚動物が示す多様な歩容を再現する四脚ロボット

四脚動物は、移動速度や環境、さらには動物種に応じて多様な運動パターン（歩容）を示す。本

研究では、このような多様な歩容を再現する脚間協調モデルを提案し、ロボット実機を用いて多くの歩容を再現することに成功してきた。特に本年度は、高速領域への歩容遷移に成功し、その背後に潜む力学構造の解明に迫った。本研究の成果は、既存技術では達成し得ないような高い適応性を有するロボットの実現に際しての基盤技術となることが期待される。

3. 足底感覚情報を用いた二脚歩行の CPG 制御

2 脚歩行においては足部の可変形性と面接地が鍵となる。本研究では、柔らかい足部と環境との相互作用から生み出される力覚情報を活用した新奇的な CPG 制御法を提案した。本年度は、ロボット実機を製作し、提案制御則の実世界環境下での妥当性を検証した。さらに、「手応え」という概念に基づくことで、各関節の制御則を統一的に記述する方法を提案した。提案する手法は、これまでのアドホックな二脚歩行の CPG 制御の設計法とは一線を画する手法であり、高い環境適応性を示すことを確認した。

＜職員名＞

教 授 石黒 章夫 (2011 年より)
 助 教 大脇 大 (2011 年より)
 助 教 加納 剛史 (2011 年より)
 助 教 坂本 一寛 (1993 年より)
 秘 書 才田 昌子 (2011 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)。

＜2015 年度の主な発表論文等＞

- [1] D. Nakashima, T. Kano, and A. Ishiguro, How Snakes Move by Selectively Utilizing Reaction Force from Environment, 2015 JSMB-CJK Joint conference, P-25, 2015
- [2] D. Owaki and A. Ishiguro, " A Minimalist CPG Model for Interlimb Coordination in Quadruped Locomotion", ICRA2015 CPG workshop, *Invited talk*, 2015.
- [3] D. Owaki, S. Horikiri, J. Nishii, and A. Ishiguro, "Experimental Verification of Bipedal Walling Control Exploiting Plantar Sensory Feedback", AMAM2015, 2015.

2 1 世紀情報通信研究開発センターの目標と成果

産学官連携による実用化技術の研究開発 ～モバイルとストレージ～

<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。

<2015 年度の主な成果>

現在は、2 プロジェクト体制とし、センター専任としてモバイル分野・ストレージ分野を設置し、民間からプロジェクト担当教授を招聘した。平成 14 年度から平成 18 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平成 19 年度～平成 26 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」、平成 27 年度からはさらに「低炭素社会に貢献する情報通信用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平成 24 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」を実施している。各プロジェクトの概要と平成 27 年度の成果を以下に示す。

1. 低炭素社会に貢献する情報通信用高効率送信電力増幅モジュールの開発

平成 27 年度から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用高効率送信電力増幅モジュールの開発」を実施している。近年、携帯電話に加え、IoT や M2M と呼ばれる人間を介さない機器間通信も今後発展していくことが見込まれているため、無線通信機器における消費電力の削減は重要な課題である。本研究開発ではこの課題に貢献できる技術として、高調波注入による電力増幅器の高効率化、低歪化技術を無線通信用送信電力増幅モジュールに適用しその実用化を目指す。今年度は携帯端末用途として CMOS 送信電力モジュールのための要素回路の試作と評価を行い、高調波注入による高効率化、低歪化技術の確立のための基礎検討を行った。

2. 超高速大容量ストレージシステムの開発

本分野では、平成 24 年度より、大容量化したネットワークストレージサーバの耐災害性を向上させる新たなストレージプロジェクトとして「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」に取り組んでいる。本プロジェクトは東日本大震災に匹敵する広域大災害下において、多数のストレージ機器が被災した場合でも重要な情報を喪失することなくアクセスを続けることのできる技術の確立を目指している。半数の機器が損壊しても 90%の情報を保全できることが目標である。昨年度に小規模実証試験を行った被災リスクを考慮する高可用性ストレージシステムについて、今年度はシステムを学内ネットワーク上に実際に展開配置し、最終目標となる 100 万人クライアントの大規模実証試験のための開発を完了した。

<職員名>

センター長・教授 村岡 裕明

企画開発部

客員教授 古西 真

研究開発部

モバイル分野

教授 末松 憲治

准教授 亀田 卓

ストレージ分野

准教授 中村 隆喜

産学官連携研究員 原田 正親

運営委員

本研究所教授 村岡 裕明

長 康雄

末松 憲治

鈴木 陽一

外山 芳人

庭野 道夫

羽生 貴弘

大学院工学研究科教授

山田 博仁

川又 政征

大学院情報科学研究科教授

加藤 寧

本研究所事務長

伊藤 保春

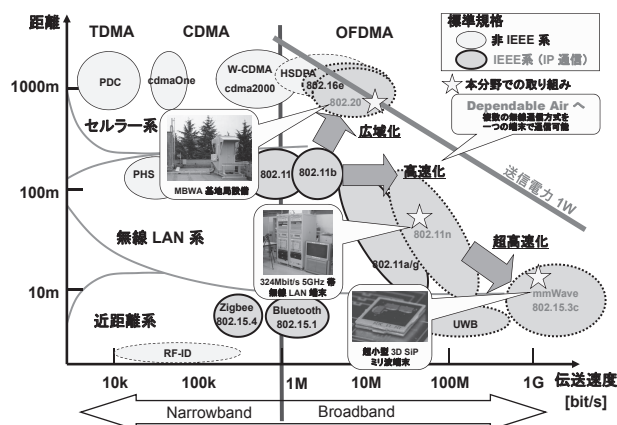
IT21 センター モバイル分野

ディペンダブル・エアの実現に向けて

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に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・伝送速度で通信を行うことができるような小型・低消費電力無線通信端末の実現を目指す。



教授（兼） 末松 憲治

准教授（兼） 亀田 卓

＜研究室の目標＞

無線通信技術は、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、IT 社会の根幹を支える情報基盤技術である。世界のリーダーシップを担うわが国の無線通信技術は、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、広い周波数帯域にわたるヘテロジニアス無線通信接続環境をユーザのために最適化することで、災害時でも必ずつながり、市民生活に革新をもたらす情報通信ネットワークとして、異種無線通信方式の統合による高信頼・高速無線ネットワークであるディペンダブル・エアの実現を目標としている。

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（三次元システム・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ー、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ーを成功させてきた。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」を行っている。さらに、わが国の移動通信技術の更なる飛躍を図るとともに、開発実用化技術による東北地区でのベンチャー企業設立などを目指し、地域振興にも貢献する。

＜2015 年度の主な成果＞

1. 無線通信端末用高効率 CMOS 送信電力増幅モジュールの開発

近年、年率 2 倍程度で急増する無線通信ネットワークのトラヒックの収容が課題となっている。加えて IoT や M2M と呼ばれる人間を介さない機器間通信も今後発展していくことが見込まれているため、無線通信機器における消費電力の削減は重要な課題である。本研究ではこの課題に貢献できる技術として、かねてより検討してきた高調波注入による電力増幅器の高効率化、低歪化技術を無線通信用送信電力増幅モジュールに適用しその実用化を目指す。本年度は携帯端末用途として CMOS 送信電力モジュールのための要素回路の試作と評価を行い、高調波注入による高効率化、低歪化技術の確立のための基礎検討を行った。具体的には、高調波注入回路として用いる 2 倍波端子付きバラン（基本回路）と CMOS 電力増幅器（基本回路）の設計・チップ試作を行った。また、試作したチップについて、オンウエハでの小信号特性評価などを行い、所望の特性が得られていることを確認した。

2. スマールセルシステム屋内→屋外伝搬環境における通信距離の評価

トラヒック急増の対策として、MBWA などのマクロセル中に複数の無線 LAN などのスマールセルを重畳配置するネットワークについて検討がなされている。スマールセル高密度配置の際に、通信回線終端装置等を利用した屋内置局の屋内・屋外兼用のスマールセルが増加すると考えているが、屋内から屋外に向けての電波伝搬についてはこれまであまり研究されていない。本研究では LTE-A（Long Term Evolution Advanced）で主にスマールセルに用いられると想定される 3.5 GHz 帯における屋内→屋外電波伝搬の実測評価を行った。大学構内や住宅地など、複数の環境・高さにおいて実測した信号強度を基に、電波伝搬の距離特性の評価を行った。さらに同時に実測した 2.5 GHz 帯信号との比較により、3.5 GHz 帯における屋内→屋外伝搬の特徴を明らかにした。

＜職員名＞

教授（兼） 末松 憲治

准教授（兼） 亀田 卓

＜2015 年度の主な発表論文等＞

- [1] 坪内 和夫, 亀田 卓, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, “ディペンダブルエア —異種無線融合ネットワークにおける高精度位置情報を用いたネットワーク選択手法とトラヒックナビゲーション—,” IEICE Fundamentals Review, vol.9, no.1, pp.37-46, July 2015.
- [2] T. T. Ta, S. Tanifuji, A. Taira, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “A millimeter-wave WPAN adaptive phased array control method using low-frequency part of signal for self-directed system,” IEEE Trans. Microw. Theory and Techn., vol.63, no.8, pp.2682-2691, August 2015.
- [3] 平 明德, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “災害に強い「頼りになる」無線通信ネットワーク,” 信学誌, vol.98, no.8, pp.745-752, August 2015.
- [4] 福留 秀基, 秋元 浩平, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “3.5GHz 帯スマールセル屋内→屋外伝搬環境における通信距離の実測評価,” 信学技報, SR2015-86, Jan. 2016.
- [5] 寺嶋 一真, 藤井 憲一, 高木 直, 坪内 和夫, 亀田 卓, 末松 憲治, “2 倍波分波機能を備えた 2GHz 帯超小型 CMOS オンチップバラン,” 信学総大, C-2-55, March 2016.

IT21 センター ストレージ分野

高可用性ストレージシステムの実現



高可用ストレージシステムと連動中の
電子お薬手帳スマホアプリ



高可用ストレージシステム実証実験の様子

准教授 中村 隆喜

客員教授 松岡 浩

<研究室の目標>

デジタルカメラで撮った写真のファイルや、チケット発券サービスのデータベース等の電子情報を記録するストレージは、情報サービスの要である。ストレージは、将来世代に情報を伝達する手段として、過去においても、未来においてもその重要性は変わらない。

IT21 センターストレージ分野では、ストレージ技術に関する研究開発を産学官連携で継続的に推進している。平成 14 年度から平成 18 年度までの 5 年間では、IT プログラム「超小型大容量ハードディスクの開発」を、平成 19 年度から平成 23 年度の 5 年間では、次世代 IT 基盤構築のための研究開発「超高速大容量ストレージシステム」をそれぞれ文科省の委託事業として推進し、大きな成果を上げてきた。

近年、社会システム、情報システムの複雑化に伴い、ストレージの研究分野はデバイス、ドライブに加えて、システムの研究がますます重要になっている。そのような背景のなか、本技術開発室では新たに、次世代 IT 基盤構築のための研究開発「高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発」を文科省の委託事業として、平成 24 年度より 5 年間の予定で推進する。ストレージシステム関連企業とも連携することで、IT21 センターのミッションである研究成果の 5 年以内の実用化を目指す。

＜2015 年度の主な成果＞

1. 高可用性ストレージシステムの高速リストア方式の基本設計

東日本大震災クラスの災害発生直後に、残存したストレージ装置から高速にデータを復旧可能な「マルチルートリストア」方式の検討を行った。マルチルートリストアでは、複数サブツリー、複数ファイル、あるファイルの複数データチャンクのレベルでの並列リストアを可能とする。このうち複数データチャンクレベルでの安定した並列リストアを実現するために、Erasure Coding という符号化方式を導入する。これらによりファイルサイズやファイル数に依存せず、高速なデータリストアが可能となる。今後、この基本設計をシステムとして実装し、リストア時間短縮の効果を確認する予定である。

2. 高可用性ストレージシステムと電子お薬手帳アプリによる第二次実証実験環境構築

「リスクアウェア複製」技術を適用した 108 台のストレージ装置からなる高可用性ストレージシステムを構築した。108 台のストレージ装置は、仙台市近郊の主要な医療機関にそれぞれ 1 台の装置を配備したシステム構成を模擬しており、より現実に近い構成での検証を可能とした。また、従来の小規模システムではデータの複製数は 1 に限られていたが、今回の大規模検証環境では平均複製数が 1.5 などの正の小数の平均複製数に対応した。今後、これまでに試作した電子お薬手帳アプリサーバと同高可用性ストレージシステムを連携して動作させ、100 万人規模のユーザからのアプリ動作を模擬する、第二次実証実験を実施する予定である。

＜職員名＞

准教授 中村 隆喜（2012 年より）

客員教授 松岡 浩（2014 年より）

産学官連携研究員 原田 正親（2012 年より）

＜プロフィール＞

中村 隆喜 1996 年 3 月 大阪大学工学部精密工学科卒業。1998 年 3 月 同大学大学院工学研究科精密科学専攻博士前期課程修了。同年 4 月 (株)日立製作所入社。中央研究所、システム開発研究所を経て、横浜研究所勤務。2012 年 11 月 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)。ストレージシステムの研究開発に従事。

＜2015 年度の主な発表論文等＞

- [1] Takaki Nakamura, Shinya Matsumoto, and Hiroaki Muraoka, “Discreet Method to Match Safe Site-Pairs in Short Computation Time for Risk-aware Data Replication,” IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E98-D, No. 8 (2015), pp. 1493-1502.
- [2] Shinya Matsumoto, Takaki Nakamura, and Hiroaki Muraoka, “Redundancy-based Iterative Method to Select Multiple Safe Replication Sites for Risk-aware Data Replication,” IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol. 11, No. 1 (2016), pp. 96-102.
- [3] Takaki Nakamura, Shinya Matsumoto, Masaru Tezuka, Satoru Izumi, and Hiroaki Muraoka, “Comparison of Distance Limiting Methods for Risk-aware Data Replication in Urban and Suburban Area,” Journal of Information Processing, Vol. 24, No. 2 (2016), pp. 381-389.
- [4] 亀井仁志、中村隆喜、「プリフェッチキャッシュによるプライマリファイルサーバ向け重複排除処理の高速化方式」、電気学会論文誌 C, Vol. 135, No. 6 (2015), pp. 619-628.
- [5] 亀井仁志、松本慎也、中村隆喜、村岡裕明、「大規模災害を想定した Erasure Coding リストア時間の評価」、電子情報通信学会磁気記録・情報ストレージ研究会 (愛媛大学 総合情報メディアセンター メディアホール)、12 月 10-11 日、(2015).

安全衛生管理室

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



安全衛生講習会



応急手当講習会

＜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開催（参加者 272 名）
- 高圧ガス保安講習会の開催（参加者 96 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
- 応急手当講習会の開催（参加者 15 名）
- 管理者向け安全衛生講習会の開催（参加者 20 名）
- 危険物質総合管理システムの管理、および支援
- 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
- W e b ページによる関連情報の提供

＜職員名＞

室 長（教授）	塩入 諭
副 室 長（教授）	上原 洋一
助 教	佐藤 信之
技術職員	阿部 真帆
事務補佐員	菊田 恵子

やわらかい情報システムセンター

3. 9 やわらかい情報システムセンター

やわらかい情報システムの開発と所内情報システムの管理運用



図1 電気通信研究所ネットワークシステム



図2 情報セキュリティ講習会の様子

<センターの目標>

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、通研所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。

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

<2015年度の主な成果>

(1) 所内情報システムの管理・運用

やわらかい情報システムセンターでは、電気通信研究所における学術・研究の基盤となる情報通信ネットワークを管理運用している。

本年度の主な成果として、以下に挙げる取り組みを行った。

- ・「情報セキュリティ講習会」の開催
- ・所に関係するシンポジウム・講演会・講習会などの動画コンテンツ作成と公開
- ・上記イベントにおけるリアルタイム映像配信システムの試作、テスト運用

- ・計画停電時の予備電力によるシステム運用試験
- ・各研究室からのネットワーク使用に関する相談対応
- ・セキュリティインシデントへの対応

（２）グローバルネットワーク移行

グローバル IP(v4)アドレスの枯渇問題は本学においても大きな問題となりつつある。電気通信研究所では、セキュリティの観点から、ほとんどの研究室がファイアウォールによって保護されたプライベート IP アドレスを利用しており、グローバル IP アドレスを直接利用しているケースは多くない。そこで、やわらかい情報システムセンターでは、平成 26 年度に導入した新ネットワークへの移行に際して、グローバル IP アドレスをサブネット単位での割り当てから、アドレス単位の割り当てに変更した。これにより、おおよそ 3 分の 2 程度のアドレスを削減することができ、不要なグローバル IP アドレスを使用することでのセキュリティリスクを大きく軽減した。

（３）WEB、メール、DNS サーバの新システムへの移行

平成 26 年度に導入した新しい仮想サーバシステムへ主要なネットワークサービスを移行した。具体的には、WEB、メール、DNS 各サーバを、新システム上に新たに構築し、OS も含めて最新のバージョンに移行することができた。OS の移行について、従来のサーバは Solaris 10 で構築されていたが、近年の市場動向・コストなどから、新システムからは Linux ベースの Cent OS 7 に移行した。新システムへの移行により、安定性やレスポンスなどが向上し、ユーザにより快適にネットワークサービスを提供することが可能となった。

<職員名>

(1) 運営委員会

教授 木下 哲男 (2000 年より) 鈴木 陽一 (2000 年より) 外山 芳人 (2000 年より)
白井 正文 (2003 年より) 大堀 淳 (2007 年より) 菅沼 拓夫 (2011 年より)

(2) 実施委員会

教授 外山 芳人 (2007 年より) 菅沼 拓夫 (2010 年より, サイバーサイエンスセンター所属)
准教授 吉田 真人 (2012 年より) 北形 元 (2007 年より)
助教 秋間 学尚 大脇 大 上野 雄大 笹井 一人
技術職員 佐藤 正彦 太田 憲治
研究支援推進員 谷口 恵子 吉原 綾乃 (2015 年より)

(3) 常勤職員

准教授 北形 元 (2007 年より)
助教 笹井 一人
技術職員 佐藤 正彦 太田 憲治
研究支援推進員 谷口 恵子 吉原 綾乃 (2015 年より)

<プロフィール>

センター長・木下哲男教授のプロフィールは、インテリジェントコミュニケーション研究分野を参照。
実施委員長・外山芳人教授のプロフィールは、コンピューティング情報理論研究分野を参照。

3. 1 0 研究基盤技術センターの目標と成果

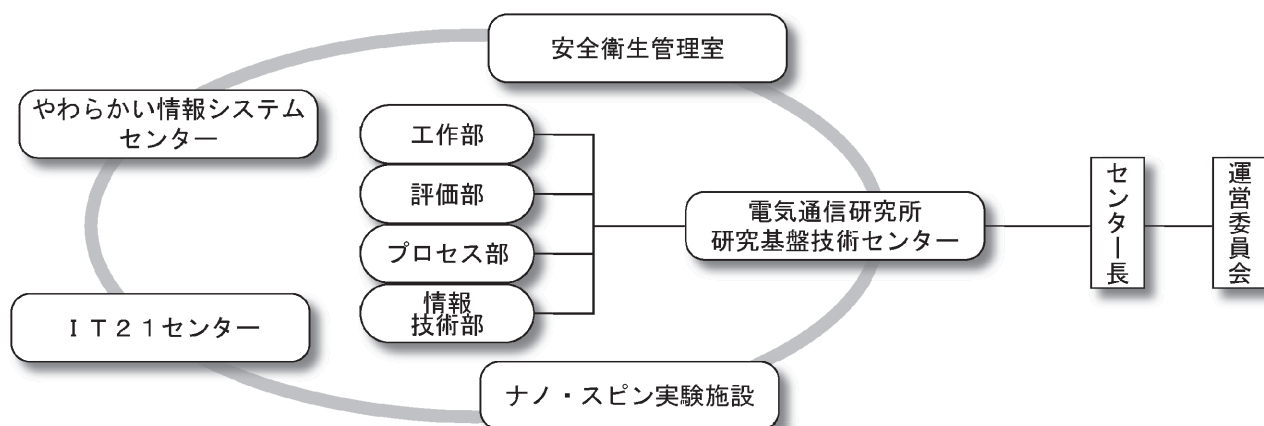


図 1 研究基盤技術センター 概略図

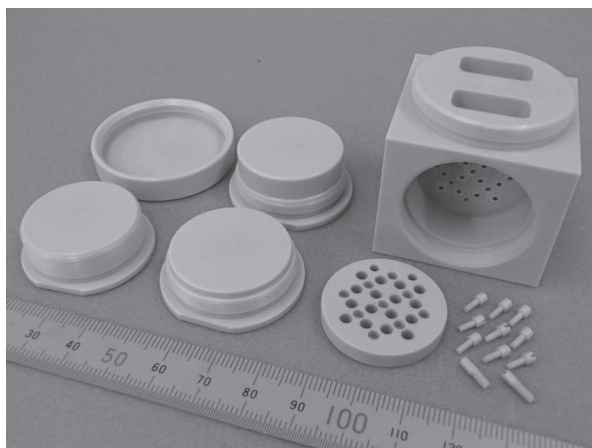


図 2 工作部の主な作製品（左：ピークアレイチャンバー、右：二次元検出器マウント 2 組）

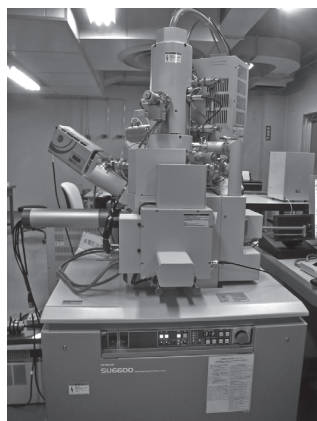


図 3 評価部保有の分析装置（左：X 線回折装置、右：電子ビーム蛍光 X 線元素分析装置）

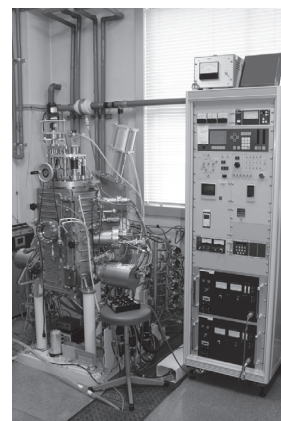


図 4 プロセス部保有の加工装置（電子ビーム蒸着装置）

＜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 部を通して、研究所内の様々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。なお、齋藤技術職員の活動は先端音情報システム研究分野に記載される。

＜2015 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、125 件の依頼工作を提供した。この中で約 30%は研究所外からの要求に応じたものである。図 2 は工作例である。

2. 評価部

評価部では共通計測機器とガラス工作技術の提供を行っている。図 3 は提供している計測機器の例である。20 の研究室が共通計測機器を利用（総使用時間は 4331 時間）し、加えて大学外からの利用もあった。また、6 件のガラス工作依頼に対応した。加えて、寒剤（液体ヘリウムと液体窒素）供給関連の業務も担っている。4,100 リッターの液体窒素を供給し、5 研究室が液体ヘリウムを利用した。

3. プロセス部

プロセス部は電子ビーム露光技術と光学薄膜作製技術を提供している。ナノスピン実験施設の共通部と協力して 279 件の電子ビーム露光サービスとマスク提供を行った。ナノスピン実験施設のクリーンルームの維持・管理を支援した。また、大学外からの 3 件の光学薄膜作製依頼に対応し、9 研究室がプロセス部管理の共通利用装置を利用した。図 4 は光学薄膜作製のための電子ビーム蒸着源である。

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。

＜職員名＞

センター長（教授）	上原 洋一
助 教	佐藤 信之
技術職員	庄子 康一、末永 保、阿部 健人、前田 泰明、阿部 真帆、 丹野 健徳、森田 伊織、小野 力摩、佐藤 正彦、丸山 由子、 太田 憲治、齋藤 文孝、寒河江 克巳、谷口 恵子、吉原 綾乃、 石川 登之子、猪岡 幸子

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。そのメカニズムの解明のために膨大な数の注意研究が行われているが、そ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。本研究では、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聴覚、触覚および複数感覚の注意へ展開するための実験手法について議論した。それに基づき研究計画を策定し、科研費への応募も試みた。

<次世代窒化物半導体電子デバイス研究グループ>

白色 LED によって照明の大幅な省電力化をもたらした窒化物半導体は、高速トランジスタやパワートランジスタとして高速通信システムのみならず自動車用インバーター等、種々の電子回路の省電力化をもたらす可能性を秘めている。これらを実現するために、金研で培ってきた窒化物半導体について革新的な材料・結晶成長技術と、本所の電子デバイスプロセス技術を融合させることによって、電力利用効率を高める新しい高速・高出力トランジスタの実現を目指す。具体的には、現在一般的に用いられている GaN をチャネル材料としたトランジスタと比較して特性上有利となる窒素極性 GaN をトランジスタに応用することを検討した。まずその結晶成長技術の検討を行い、窒素極性 GaN/AlGaN ヘテロ構造にて 2 次元電子ガスの形成を確認した。

<時間サロン：時間概念の解明に関する共同研究グループ>

時間は、人間が構築した最も基本的な概念の一つである。人間は、時間を構成することにより、空間的な存在や、身体、他者との関係などの認識を可能にしたと考えられる。本グループの究極の目的は、人間の原初的な時間構成の原理、さらに時間構成により可能となる認識や制御の枠組みを解明することである。この目的のために、哲学的洞察と最先端の脳神経学的な知見を基礎に、表象の処理の基礎としての時間構成の原理を考察し、それらを実証実験によって検証することを目指す。

本研究グループは、この問題意識の下平成 25 年 9 月から行なっている時間に関する研究会（時間サロン）を基に平成 27 年 4 月に発足した。平成 27 年度は、合計 12 回のサロンを開催し、時間に関する広範なディスカッションを行った。I. Kant の超越論的時間論から、認知科学的な知見、脳神経科学の結果などを幅広く検討し、時間構成によって成立する認識および制御に関する種々の洞察を得た。現在、それらを検証する科学的な実験の設計を含め、さらに研究を進めている。

第 4 章 独創的研究支援プログラム

研究成果（最終年度）報告

4. 1 Dirac 電子系の新奇な物性制御法の開拓

吹留 博一（固体電子物性工学研究分野）

〔1〕研究開始当初の背景

直線的なバンド分散を有する物質群は相対論的量子力学に従うことから、Dirac 電子系と呼ばれる。代表的な Dirac 電子系としてグラフェンが挙げられる。Dirac 電子系においては、電子はあたかも質量が 0 であるかのように振舞う。このことから、Dirac 電子系は優れた物性を有する。たとえば、グラフェン中の電子のキャリア移動度や飽和速度は全物質中で最高値を示すことから、グラフェンは実用的なゲート長：100nm で動作周波数 1THz を超え得る唯一のチャンネル材料である。このように、優れた物性をもつことから、Dirac 電子系は、有望な次世代電子・光デバイス材料である。そのため、Dirac 電子系、特に、グラフェンのデバイス応用が世界中で盛んに研究されている。例として、グラフェンを用いた THz トランジスタや、ギャップレスを利用した THz 光レーザーなどの開発が行われている。これらのデバイスの実現により、未踏の周波数帯：THz 帯で動作する電子・光デバイスが単一物質：グラフェンにより開拓されることとなる。

しかし、例えば、チャンネルの高移動度化の為の Si からグラフェンへの単なる置換は、既に技術の蓄積がある Si から Ge・GaAs に比して、不利である。そのため、他の物質には無い特徴を活かした Dirac 電子系の有効な活用法を開拓する必要がある。

〔2〕研究の目的

Dirac 電子系に固有な特徴「時空間対称性（積層構

造）に対する物性の高い敏感性」を活かした、Si 基板の微細加工の援用によるグラフェンの積層・物性のナノスケール制御を狙う（図 1）。このような研究は、同一物質グラフェンを活性層とする電子・光混載集積デバイス開発へ繋がるのが期待される。

〔3〕研究の方法

（試料作製）Si(100)基板上で、SiO₂ 薄膜マスクとして選択的アルカリエッチングを施すことにより、Si(111)微斜面及び Si(100)面からなる微細加工 Si(100)基板を作成した。

この微細加工 Si(100)基板上へ、モノメチルシラン (H₃Si-CH₃) を用いたガスソース MBE により、SiC 薄膜（～100 nm）を作製した

グラフェン化には二つの方法を採用した：

- a) 超高真空中で 1250℃で 30 分程度加熱
- b) 大気圧 Ar 雰囲気下で 1600℃加熱

a)は微細加工 Si 基板上 SiC 薄膜表面のグラフェン化、b)は SiC 基板表面のグラフェン化に用いた。

（評価）グラフェンの分子振動状態及びバンド構造を高い水平分解能（～1μm）で調べる為に、Raman 顕微鏡を用いた。グラフェンのバンド構造に関しては、通研及び高エネルギー加速器研究機構にて行った角度分解光電子分光によっても調べた。

グラフェン及びグラフェントランジスタの微視的な電子状態を調べる為に、SPRING-8 に設置されている一括投影型光電子顕微鏡（PEEM）及び走査型光電子顕微鏡（3D nano-ESCA）を用いた。

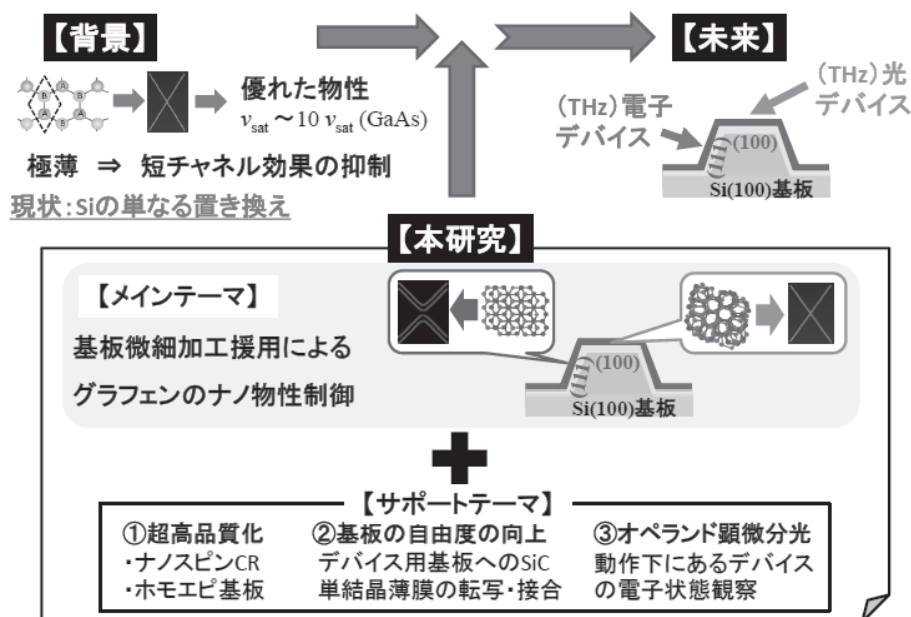


図1 本研究の基本構想

〔4〕研究成果

A. 基板微細加工によるグラフェンのナノ物性制御

申請者は、以前に下記のような研究成果を独自に得ていた (J. Mater. Chem. & APEX (2011)) ;

- ・ SiC(100)/Si(100)基板上に成長させたグラフェンの多層膜は Bernal 積層せず、単層グラフェンと同様の直線的なバンド構造を有する。
- ・ それに対して、SiC(111)/Si(111)基板上に成長させたグラフェンのベタ膜は Bernal 積層し、バンドが非直線的になり、バンドギャップが開く。

本研究では、この研究成果と基板微細加工技術を組合せることにより、ナノスケールのグラフェンの構造及び物性の制御を狙った。

図2に研究成果の概略を示す。微視的に Si(111)面と Si(100)が露出した Si(100)基板上に、SiC 薄膜を形成し、更に超高真空中で加熱することによりグラフェンを作製した。その積層構造と物性は下記のようになった (Sci. Rep. (2014)) ;

- ・ SiC(100)/Si(100)上 ⇒ 非 Bernal 積層
⇒ 直線的なバンド構造
バンドギャップ⇒0
- ・ SiC(111)/Si(111)上 ⇒ Bernal 積層
⇒ 非直線的なバンド
バンドギャップ≠0



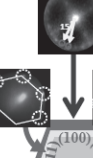
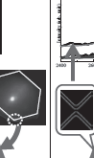
	【項目①】 MEMS技術を用いた基板 微細加工	【項目②】 微細加工Si へのSiC成膜	【項目③】 SiC薄膜/ 微細加工Siの 表面グラフェン化	【項目④】 グラフェンの バンド構造制御
研究 進捗 状況	済	済	済	済
概略				

図2 グラフェンのバンド分散のナノ制御

以上のようにして、基板微細加工援用によりバンド分散がナノスケール制御されたグラフェン (3D-GOS) の作製に世界に先駆けて成功した。この3D-GOSにおいて、(100)面上の直線的なバンド分散が保持されたグラフェンは光デバイス応用に適しており、一方、(111)面上のバンドギャップが開いたグラフェンは電子デバイス応用に適している。ゆえに、3D-GOS を用いて、グラフェン・ベースの電子・光集積回路を作製することが原理的には可能である。

しかし、3D-GOS を用いたデバイス応用に向け

ては幾つかの壁がある；

- ・ グラフェンの更なる高品質化
- ・ グラフェン成長用基板の自由度
- ・ ベタ膜の品質とデバイス特性の間のギャップ

以上三つの問題点を克服するために、下記三つの研究をサポート研究として追加で行った。

B-1. グラフェンの超高品質化

3D-GOS のグラフェン膜質は低いことが Raman 分光測定から明らかとなっており、キャリア移動度劣化の一因となっている。この低品質性の原因としては、「成膜プロセスにおける不純物の混入」及び「SiC 結晶欠陥」が挙げられる。本研究では、モデル基板として SiC バルク基板を用いて、上記二点に対する二つの解決策の有効性を検証した。

① クリーンルームの利用による超高品質化

SiC 基板の前洗浄、及び、グラフェン成長は、通研のナノスピニング実験施設のスーパークリーンルーム (クラス<10) において一貫して行った。デジタルな層数計測をナノスケールで行うことを可能にする低速電子顕微鏡 (LEEM) による評価から、スーパークリーンルームの清浄な雰囲気を用いれば、通常に比して同一層数のグレインサイズが二桁向上 (>50 μm) することが明らかとなった (図3)。

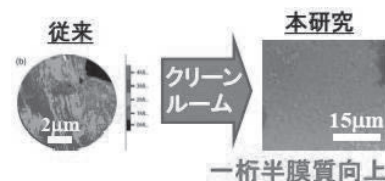


図3 グラフェンの超高品質化

② ホモエピ膜の利用によるグラフェンの高品質化

①において高品質化されたグラフェンにおいても、層数分布が完全には解消されてはいない。その理由として考えられるのが、SiC 中の結晶欠陥である。

ゆえに、SiC 膜をホモエピ成長させた SiC 基板上でのグラフェン化に着手した。このホモエピ SiC 基板では、表面欠陥密度が 0.5 個/cm² と大幅に低減されている。この基板をスーパークリーンルーム内にてグラフェン化することにより、グラフェンの完全単結晶を作製しようとしているところである。

B-2. 基板自由度の向上

これまで、基板として Si を用い、その表面に直接成長させた SiC 薄膜表面上でグラフェンを成長させる研究を行ってきた。この方法の問題点は、Si と SiC の大きな格子不整合差に起因して SiC 薄膜中に沢山の欠陥が生じることであった。この大きな SiC 薄膜中の欠陥密度はグラフェンの高品質化を妨げていた。

この課題の解決の為に、上述の SiC 薄膜に比して結晶欠陥密度が非常に低い SiC バルク基板からデバイス用基板 (poly-SiC、Si、サファイア等) へ転写・

接合させた高品質 SiC 単結晶薄膜を用いることにより、デバイス用基板に高品質グラフェンを成長させることを狙った。

モデル試料として、poly-SiC 基板上に転写・接合させた 4H-SiC 単結晶薄膜を用いた。この 4H-SiC 単結晶薄膜は欠陥が殆ど無いことを断面透過型電子顕微鏡観察により実際に確かめた。この表面のグラフェン化を Ar 雰囲気下 1600°Cで行った結果、Si 基板上 SiC 薄膜表面上グラフェンに比して、高品質なグラフェンが成長していることが低速電子回折・光電子分光・Raman 分光により実証された(図 4)。

このように、デバイス用基板上 SiC 単結晶薄膜上の高品質グラフェンを成長させることに初めて成功した。現在、他のデバイス基板 (Si やサファイア) 上での高品質グラフェン成長へ研究を展開している。本研究は、他のデバイスとグラフェン・デバイスの融合させるための根幹技術となるものである。

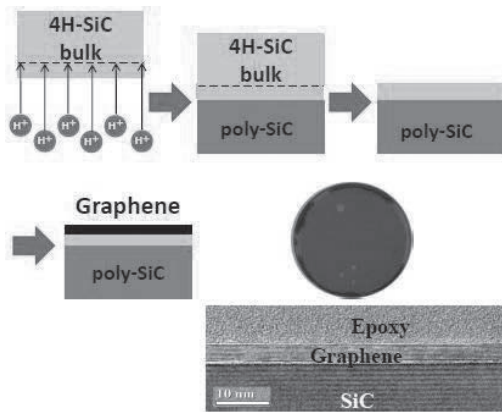


図 4 転写・接合された SiC 単結晶薄膜表面上での高品質グラフェン作製法。

B-3. オペランド顕微分光

上記の SiC 上グラフェンの高品質化に伴い、それを用いたトランジスタのキャリア移動度も、 $>4,000 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ にまで向上させることに成功した。しかし、簡単な回路解析結果から、ゲート電極直下のチャネル領域でのグラフェンの真性キャリア移動度は、実は数万 cm^2/Vs にも達していることが明らかとなった。このキャリア移動度の差異は、寄生抵抗 (アクセス領域抵抗・コンタクト抵抗) の存在に因る。このことは、たとえ更なる高品質化によりグラフェン自体のキャリア移動度が向上しても、寄生抵抗を制御出来なければデバイス全体としての性能は向上出来ないことを意味する。

よって、グラフェン・トランジスタ (GFET) の高性能化 (例：未踏の周波数帯：テラヘルツ帯での動作) の為には、寄生抵抗を生み出す界面がグラフェンの電子状態へどのような影響を及ぼすのかを明らかにする必要がある。

ゆえに、本研究では、界面電子状態のゲート電圧

印加下 (オペランド) ナノスケール観察を可能とするオペランド顕微分光の新規開拓を行い、以て、GFET の界面電子状態の制御を狙った。

GFET のオペランド顕微分光により、下記二点が解明された；

①：意図しないキャリア・ドーピング

Si 終端 SiC 基板上グラフェンをチャネルとして用いたトランジスタのオペランド顕微分光観察を行った (図 5)。これまでの電気特性評価やデバイス・シミュレーションでは考慮出来なかった、二つの意図しないキャリア・ドーピング (ゲート電極近傍及びコンタクト電極近傍) が起っていることが明らかとなった。ゲート電極近傍のドーピングはゲート電界の漏れによるものである。一方、コンタクト電極近傍のキャリア・ドーピングは、グラフェンとコンタクト金属との間の接触電位差に起因する。このキャリア・ドーピング領域の幅が広いのは、グラフェンの状態密度が、Dirac 点 (伝導帯底と価電子帯頂上が接している点) 近傍で 0 となることに由来する。

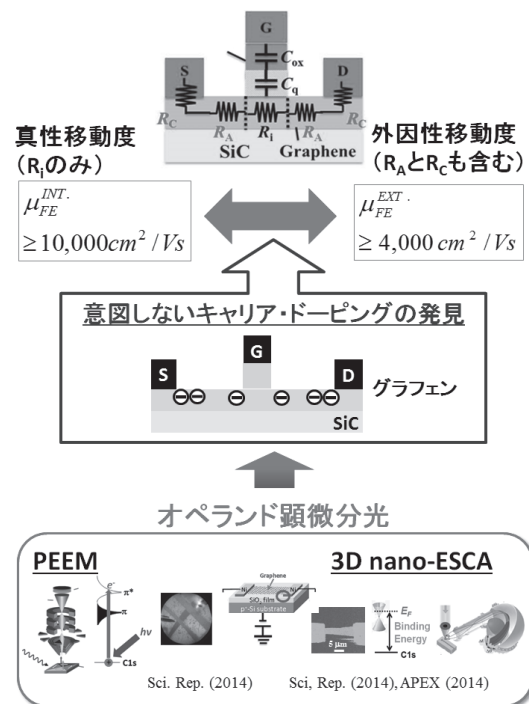


図 5 GFET のオペランド顕微分光観察の概略

②：基板相互作用

オペランド顕微分光観察を行った結果、下地の基板からの電荷移動が、コンタクト金属とグラフェンとの界面電子移動に対して大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。すなわち、下地として SiO_2 が・親水性 SiO_2 ：グラフェンへ正孔ドーピング・疎水性 SiO_2 ：キャリア・ドーピングが起らないということを分光学的的に初めて明らかにした。

以上の結果から、コンタクト金属の影響を抑制するには、①において基板として用いた Si 終端 SiC の代わりに、グラフェンへのキャリア・ドーピングを起こさない C 終端 SiC を基板として用いれば寄生抵抗が低減される結果、GFET の更なる高性能化が可能となることが示唆される。

本研究から、オペランド顕微分光は原子レベルの物性論に基づいた高性能デバイス開発にとって有用なツールであることが示された。今回得られたデータは、通常の空間的に平均化された電子状態を検出する光電子分光や通常の電気特性評価によっては決して得られない。現在、更に時間分解能（～50ps）を賦与した時空間オペランドX線分光の開拓に着手したところである。

[5] 波及効果と発展性

【大型プロジェクト】本研究で行った、「基板微細加工によるグラフェン物性の作り分け」「オペランド顕微分光」は、平成 27 年度 7 月から開始されたグラフェンに関する NEDO 産学連携プロジェクト（住友電工・東北大・東大・NICT）の研究項目としてそれぞれ採用され、研究が推進されている。

【新分野の開拓】本研究で新たに開拓されたオペランド顕微分光は、世界に先駆けたものである。その基礎的な重要性の認知は、物理学会・表面科学会・応用物理学会・日本化学会の主要学会から招待講演を受けたことから窺える。加えて、オペランド顕微分光を行う SPring-8 から、通常のユーザーに比して 10 倍ものビームタイムを与えられていることから、その認知度が分かる。また、応用的な重要性に関しても、上述の NEDO 産学プロジェクトに加えて、非公式に複数のデバイス・メーカーから共同研究の打診を受けたことから窺える。

【他分野への応用】

本研究では、次世代通信デバイス候補の一つとして GFET を取り扱った。次世代通信デバイスの他の有力候補としては、その高品質な二次元電子系を活かした GaN-HEMT が挙げられる（図 6）。この GaN-HEMT において、コラプス現象が実用化の大きな壁となっている。このコラプス現象においても、GFET と同様に界面での電子のやり取り（電子捕獲）が鍵を握っている（図 6）。ゆえに、GaN-HEMT に関しても、オペランド顕微分光による研究を住友電工と共同で開始したところである。この研究の推進により、衛星通信・車載レーダ用の 60GHz の大出力通信デバイスの実現を目指す。

【研究会の立ち上げ】オペランド顕微分光は基礎学問的な重要性に加えて、産業界からの大きな要請がある。ゆえに、私は、新たに平成 27 年度からオペ

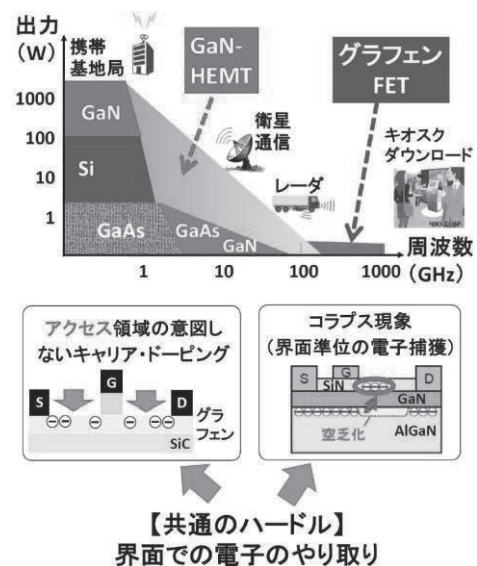


図 6 GFET・GaN-HEMT の共通のハードル

ランド顕微分光に関する通研共同プロジェクトを立ち上げた。この研究会には、大学・公的研究機関だけでなく、広く産業界からの多くの参加がある。

【産学連携】

（住友電工）ウェハースケール・グラフェンのテラヘルツ・トランジスタ及び GaN-HEMT 開発及びオペランド顕微分光に関して、住友電工と共同研究を進めている（サブテーマ B-2 関連）。

（信越化学）新規な高品質グラフェン成長の共同研究を推進している。現在、海外の有名メーカーへ売込交渉を企画中である（サブテーマ B-3 関連）。

【国際共同研究】

フリッツ・ハーバー研究所（ドイツ）の Horn 教授と、グラフェン-磁性金属界面の微視的な電子状態に関する研究を平成 24 年度から推進し、平成 26 年度に客員教授として通研にて共同研究を行った（サブテーマ B-1 関連）。

[6] 主な発表論文等

【雑誌論文】

1. **H. Fukidome**, et al., Appl. Phys. Lett. 101 (2012) 041605.
2. **吹留博一**, Electronic Journal Archives No. 438, 1-57 (2012).
3. T. Otsuji, **H. Fukidome**, et al., J. Phys. D 45 (2012) 303001-1-9.
4. T. Otsuji, **H. Fukidome** et al., MRS Bull., 37, 1235-1243 (2012).
5. **吹留博一**, 基板相互作用を援用したグラフェンのナノ構造・物性制御、表面科学 33 (2012) 546-551. (招待論文)
6. **H. Fukidome** et al., Proc. IEEE 101 (2013) 1557. (招待論文)

7. M.-H. Jung, **H. Fukidome**, et al., *Proc. IEEE* **101** (2013) 1557. (招待論文)
8. 吹留博一 他、表面科学 **34** (2013) 380.
9. 船窪一智、吹留博一 他、信学技報 ED2013-15 (2013) 59-62.
10. I. Katayama, **H. Fukidome** et al., *Phys. Rev. B* **88** (2013) 356506.
11. 船窪一智、吹留博一 他、信学技報 ED2013-15 (2013) 59-62.
12. Y. Inayoshi, **H. Fukidome** et al., *e-J. Surf. Sci.* **11** (2013) 47.
13. T. Someya, **H. Fukidome** et al., *Appl. Phys. Lett.* **104** (2014) 161103.
14. **H. Fukidome** et al., *Sci. Rep.* (Nature Publishing Group) **4** (2014) 03713.
15. N. Nagamura, **H. Fukidome** et al., *Appl. Phys. Lett.* **102** (2013) 241604.
16. M. Suemitsu, S. Jiao, **H. Fukidome** et al., *J. Phys. D* **47** (2014) 094016.
17. **H. Fukidome** et al., *Scientific Reports* (Nature Publishing Group) **4** (2014) 5173.
18. 吹留博一、レーザ研究 **42** (2014) 633-637. (招待論文)
19. **H. Fukidome** et al., *Appl. Phys. Express.* **7** (2014) 065101.
20. M. Suemitsu, **H. Fukidome** et al., *J. Phys. D* **47** (2014) 094016-1-094016-5.
21. 吹留博一、表面科学 **36** (2015) 303. (招待論文)

【著書】

1. 14) 吹留博一、GOS 技術によるトランジスタ形成、ナノカーボン技術大全、四章 (2012) .
2. 吹留博一 (分担)、講談社ブルーバックス『すごいぞ！身の回りの表面科学』(2015 年 6 月刊行予定)

【招待講演】

1. **H. Fukidome**, ISSP workshop, 2013.2.15、東京大学物性研究所.
2. 吹留博一、JST 推進シーズ 新技術説明会、東京、2013.3.11.
3. **H. Fukidome**, EMN SPring Meeting 2014, Las Vegas, USA, 2014.3.1.
4. **H. Fukidome** SPem2014, Oxford, UK, 2014.3.20.
5. 吹留博一, ISSP workshop, Tokyo, 2014.2.18
6. 吹留博一, SPring-8 Workshop、兵庫 2013.2.1.
7. 吹留博一, 顕微材料研究会、2013.12.27, 仙台.
8. 吹留博一、東京大学物性研短期研究会、東京大学柏キャンパス、2013.5.28. (査読無)
9. 吹留博一, ISSP workshop, Tokyo, 2014. 3.15.

10. 吹留博一、日本物理学会、中部大学、2014.9.7.
11. 吹留博一、応用物理学会、北海道大学、2014.8.18.
12. 吹留博一、ISSP workshop、東京大学柏キャンパス、2014.9.29.
13. 吹留博一、化学系学協会東北大会、山形大学米沢キャンパス、2014.9.20.
14. 吹留博一、日本表面科学会、くにびきメッセ (島根)、2014.11.8.
15. 吹留博一、ISSP ワークショップ、東京大学物性研究所、2014.9.30.
16. 吹留博一、ISSP ワークショップ、東京大学物性研究所、2015.3.5.
- 17.

【特許出願】

1. 吹留博一 他、基板・基板の製造方法及び電子装置、東北大学・住友電工、2013.6.13
2. 末光真希、吹留博一 他 基板・基板の製造方法及び、電子装置、東北大学・住友電工、2013.6.13
3. 鈴木泰範、吹留博一他 基板・基板の製造方法及び電子装置、東北大学・住友電工、2013.6.13

【報道】

1. 日本経済新聞、2012.8.7.
2. 化学工業日報、2012.8.7.
3. 日経産業新聞、2012.8.7.
4. 日刊工業新聞、2012.8.7.
5. 科学新聞、2012.8.27.
6. 日刊工業新聞、2013.6.27.
7. 日刊工業新聞、2013.5.31.
8. サイエンスポータル、2014.4.25.
9. 財経新聞、2014.4.28
10. 日経産業新聞、2014.5.13.
11. サイエンスポータル (JST) 2014.6.2.

[7] その他、本プログラムの特性を活かした研究活動、成果等

本プログラムの成果を基に以下の研究資金を得た；

- ・平成 24 年度村田学術振興財団研究助成金 (代表) (総額：150 万円)
- ・日本学術振興振興会・外国人特別研究員奨励費 (代表 (受入研究者)) (240 万円)
- ・基盤研究 (B) (平成 27～29 年度) (代表) (総額：1053 万円)
- ・挑戦的萌芽研究 (平成 27～28 年度) (代表)
- ・信越化学工業・受託研究費 (平成 25 年度～) (代表) (累計：1,000 万円)
- ・NEDO 産学連携マッチングファンド (分担) (総額：二億三千万円)

第 5 章 共同プロジェクト研究

5. 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の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く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6名、学内3名と学外4名の合計13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、平成27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

○平成27年度共同プロジェクト研究

平成27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次の100件(A:63件, B:33件, S:4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、63件のうち43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、33件のうち23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11件、区分Bの12件である。

さらに区分Sは情報通信分野において特に力点を置いて研究を推進すべき技術・システム上の課題について、本研究所が中心となりつつ、相乗効果や補完効果の期待できる他大学附置研究所等の研究組織とネットワークを構築し、研究を共同で推進する組織間連携プロジェクトである。

平成26年度からは、東北大学の掲げる「ワールドクラスへの飛躍」に合わせた拠点活動の一層の強化を目的として共同プロジェクト研究の見直しを行い、研究種別区分Aと区分Bに対して、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つの研究タイプを設け、若手研究者対象型、国際共同研究推進型について、重点的支援を行っている。

平成27年度共同プロジェクト研究採択一覧

H25/A01	カルコゲナイドナノ構造の作製と物性探索およびメモリ応用
H25/A02	InGaAs HEMT を用いた大電力テラヘルツ信号源の研究
H25/A03	IV族半導体-金属合金化反応制御による強磁性ナノドットの高密度・自己組織化形成と磁気的特性
H25/A04	強磁性形状記憶合金をはじめとする機能性磁性材料の電子構造と物性発現機構の解明
H25/A05	大規模超伝導量子検出器の実用化に関する研究
H25/A06	感性情報を高精度に伝達する音声情報通信システムの研究
H25/A07	脳内の多チャネル色情報表現に関する研究
H25/A08	非線形時変特性を持つ聴覚情報表現による音声処理技術の開発
H25/A09	視覚モデル構築のための協調的環境に関する研究
H25/A11	ブレインウェアの情報原理とその応用の研究
H25/A12	不定な環境における適応能の階層横断的解明と工学的応用
H25/A13	人と空間と情報技術に関する研究
H26/A01	グラフェンを用いた光電子デバイスの研究
H26/A02	走査型非線形誘電率顕微鏡法による層状構造圧電薄膜の極性評価
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
H26/A04	強誘電体障壁を有する Fe ₄ N 基トンネル接合素子の開発
H26/A05	磁性体/半導体ハイブリッド構造の形成とナノデバイスへの応用に関する研究
H26/A06	Ge ベース高度歪異種原子層配列IV族半導体形成とナノデバイスへの応用に関する研究
H26/A07	2次元半導体薄膜の構造制御合成と物性解明
H26/A08	スピントルクオシレーターを用いた高感度磁気センサーの基礎検討
H26/A10	ディペンダブル・エア実現に向けた無線ネットワークアーキテクチャの開発
H26/A11	大脳神経回路の組織化に関する研究
H26/A12	ハイブリッド脳開発に向けた培養神経回路網の再構成
H26/A13	動的手がかりを考慮した音空間知覚に関する研究
H26/A14	ロングパスエコー下での伝送パラメータを用いない音声了解度推定
H26/A15	膜面法線磁場制御で発現する高機能薄膜デバイスの研究
H26/A16	ナノ構造体ハイブリッド太陽電池の開発
H26/A18	デザイン学の手法に基づく3次元インタラクティブ技術の医学教育への応用展開
H26/A19	情報の流れに着目した新世代情報処理基盤技術に関する研究
H26/A20	心的状況共有のための共感デバイス協調機構の研究
H26/A21	カメラ画像に基づく耳介の音響伝達関数の高精度推定
H26/A22	磁性半導体・酸化物の磁性とスピン輸送に関する研究
H26/A23	テラヘルツセンシングデバイスに関する日西国際共同研究
H26/A24	ダイレクトデジタル RF 変復調技術の研究
H26/A25	色名に関する文化差および個人差の研究
H26/A26	細かい手の操作の機械学習と HCI への応用
H27/A01	ナノ薄膜電解質を用いた固体酸化物形燃料電池の発電特性検証
H27/A02	プラズマナノバイオ・医療の基盤確立
H27/A03	原子層制御プラズマ CVD を駆使したIV族半導体量子ヘテロ構造形成と電子物性制御
H27/A04	オペランド顕微分光を用いた次世代デバイス研究
H27/A05	量子情報通信のための革新的量子光源の開発
H27/A06	単一金属ナノ構造体の微細形状制御と光物性
H27/A07	THz デバイス応用に向けた半導体二次元電子系内プラズモンのシミュレーションによる研究
H27/A08	位相雑音特性に着目した共鳴トンネル THz 信号源の研究
H27/A09	フルコヒーレントアクセス方式を実現するための光-無線周波数変換方式に関する研究
H27/A10	M2M 伝搬環境改善のためのメタマテリアルおよびリフレクトアレー応用に関する研究
H27/A11	生理指標に基づく SDN 型ネットワークシステムの実証的研究
H27/A12	自己身体情報が外部環境把握に与える影響に関する研究
H27/A13	モノラル音の知覚と頭部伝達関数の関係に関する研究
H27/A14	半導体微細加工と脂質二分子膜の融合に基づく高機能バイオ情報デバイスの創成

H 2 7 / A 1 5	感覚刺激の処理速度による視聴覚間同期知覚の変容過程の解明
H 2 7 / A 1 6	災害経験をかたりつぐ ICT に関する対話型・実践型研究
H 2 7 / A 1 7	感覚情報間の同期性の判断がコンテンツの臨場感・迫真性に与える影響に関する検討
H 2 7 / A 1 8	話者映像が音声刺激の系列再生に及ぼす影響
H 2 7 / A 1 9	ロングパスエコーを考慮できる音声了解度の物理評価指標の開発
H 2 7 / A 2 0	光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究
H 2 7 / A 2 1	脳型計算用ハードウェア技術
H 2 7 / A 2 2	複数ディスプレイ環境における柔軟な 3 次元インタラクション
H 2 7 / A 2 3	共生コンピューティングのためのマルチモーダル・エージェントフレームワークに関する研究
H 2 7 / A 2 4	多様化する情報ネットワークのための知識獲得・活用に関する研究
H 2 7 / A 2 5	スマートコミュニティ構築のためのシステムアーキテクチャと基盤技術の開発
H 2 7 / A 2 6	ユビキタスシステムの実世界導入に向けた実証的研究
H 2 7 / A 2 7	嗅覚を含むマルチモーダル情報処理過程に関する研究
H 2 5 / B 0 1	非平衡スピン・ゆらぎの精緻な制御と観測による新規ナノデバイスの開拓研究
H 2 5 / B 0 2	微粒子プラズマ物理に基づいた新規ナノ材料創成
H 2 5 / B 0 3	次世代通信機器用磁性材料ならびに磁性デバイスに関する研究
H 2 5 / B 0 4	磁性の電界制御の物理と応用
H 2 5 / B 0 5	新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開
H 2 5 / B 0 6	低炭素エネルギー社会を実現する電磁波技術に関する研究
H 2 5 / B 0 7	物体の表面属性の視知覚に関わる脳内メカニズムの研究
H 2 5 / B 0 9	マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの開発と民生応用
H 2 5 / B 1 0	メタプログラムに対する論理的アプローチ
H 2 6 / B 0 1	高性能圧電材料の開発と通信・計測デバイスへの応用
H 2 6 / B 0 2	ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスに関する研究
H 2 6 / B 0 3	ナノ半導体材料とそのデバイス・回路による電子システムに関する研究
H 2 6 / B 0 5	ハイブリッドセミコンダクタ回路技術とその応用
H 2 6 / B 0 6	マルチキャリア光波による先進通信・計測システムに関する研究
H 2 6 / B 0 7	コトロジー創成：バイオミメティクスの新展開
H 2 6 / B 0 8	多感覚統合への自己身体運動の寄与
H 2 6 / B 0 9	ブレインウェア L S I 国際共同研究
H 2 6 / B 1 0	高信頼・高スケーラビリティメニーコア並列計算基盤
H 2 6 / B 1 1	人と移動体のセンシング・コミュニケーション技術に関する研究
H 2 7 / B 0 1	プラズマ流中マルチスケール構造形成による新規反応場の開拓
H 2 7 / B 0 2	炭化珪素系ヘテロ構造を用いた物質創成と応用展開
H 2 7 / B 0 3	量子測定の物理と情報通信
H 2 7 / B 0 4	固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用
H 2 7 / B 0 5	無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法に関する研究
H 2 7 / B 0 6	科学の客観性と人間性との調和を目指す科学教育のあり方と実施方法 -現代科学の問題点と人類の未来のために-
H 2 7 / B 0 7	脳内の並列情報処理
H 2 7 / B 0 8	高次元ニューラルネットワークにおける情報表現の最適化
H 2 7 / B 0 9	酸化物表面の新機能創成とナノ・デバイスへの応用
H 2 7 / B 1 0	対人コミュニケーションにおける非言語行動ダイナミズムの解明
H 2 7 / B 1 1	コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開
H 2 7 / B 1 2	ネットワークダイナミクスに内在する非同期性の解析に関する予備検討
H 2 7 / B 1 3	メディア技術の高機能化に関する研究
H 2 7 / B 1 4	広域分散ストレージシステムの耐災害性・耐障害性の評価検証
H 2 6 / S 1	未来のコヒーレント波科学技術基盤構築プロジェクト
H 2 6 / S 2	スピントロニクス学術連携
H 2 6 / S 3	ナノエレクトロニクスに関する連携研究
H 2 7 / S 1	大規模データ処理に基づく対話的知識創発を通じた共感計算機構

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。例年、研究の公募は、1月中旬に来年度の研究の公募要項の公開、2月25日前後が申請書の提案締切となっており、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月下旬頃に申請者の所属機関の長を通じて通知される。研究期間は、4月20日より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して頂くことになっている。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ので、申請にあたっては本研究所に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：

http://www.riec.tohoku.ac.jp/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

採択回数	1	2	3
(先端・国際)			

H25/A01

カルコゲナイドナノ構造の作製と物性探索、 およびメモリー応用

〔1〕組織

代表者：桑原 正史

(産業技術総合研究所)

対応者：上原 洋一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

佐野 陽之 (石川高等専門学校)

坂井 譲 (トゥール大学)

稲岡 毅 (琉球大学)

片野 諭 (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)

丹野 健徳 (東北大学電気通信研究所)

斉藤 央 (産業技術総合研究所)

保坂 純男 (群馬大学)

延べ参加人数：10人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 13 万 4 千円

国際特別支援費 30 万円，

〔2〕研究経過

カルコゲナイドは、光記録・相変化メモリーといったデバイスの記録材料として、実用化されている。結晶—アモルファスの異なる特性を利用して記録を行っている。この材料は、金属や半導体のカテゴリーではなく、半金属あるいは狭ギャップ半導体に分類される。我々は、このプロジェクトにおいて、この材料のナノ構造に注目した。金属や半導体において、ナノ構造作製やその特性評価については多くの研究例があり、デバイスの実用化に成功している。一方、半金属もしくは狭ギャップ半導体材料のナノ構造作製や評価の研究例は非常に少ない。本プロジェクトでは、この材料のナノ構造化を行い、その特性を明らかにしていくことを目標とした。記録材料のサイズは、年々縮小しているため、ナノ構造の特性を調べて把握しておくことは、今後のメモリー開発に必要不可欠である。また、カルコゲナイドは、昔から熱電変換材料として知られており、ナノ構造化によりより優れた熱電変換性能を持つと言われていいる。このような実用化を見据えた研究も、本プロ

ジェクト提案の動機である。

27 年度は、採択の 3 年目であるが、1、2 年目と同様にカルコゲナイドのナノ構造の作製に注力し、作製方法の確立を目指した。また本年度は、新たなカルコゲナイド材料のナノ構造の作製、ナノプローバーによるナノ構造の電気特性を調べることを実行した。

(独) 産業技術総合研究所において、ナノ構造の作製や電子顕微鏡(SEM)による形状観察を実行し、組成分析は東北大通研所有の組成分析法(EDS, Energy Dispersion X-ray Spectroscopy)を用いて、ナノスケールでの分析を行った。代表者は、数ヶ月に一度、東北大通研を訪問し、上原教授や他の研究分担者らと進捗報告、実験打ち合わせ、共同実験を行い、本プロジェクトを進めた。本年度は、国際特別支援費をいただき、フランス、トゥール大学の坂井博士との共同研究をスタートすることができた。坂井博士はパルスレーザーを用いた成膜方法や酸化物の基礎物性・応用展開を図っており、本研究や将来の展開のため、参画していただくことになった。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

本研究では、1、2 年目でナノ構造の作製方法をほぼ確立した。3 年目では、 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ (GST) のナノ構造を作製し、組成分析および電気特性を評価するということに注力した。

初年度で行った Sb_2Te_3 を用いたナノ構造作製では、ナノ微粒子(最高加熱温度 200°C) が生成されたが、GST の場合には、ナノ微粒子生成の再現が極端に悪く、大きな粒子やニードルが形成されてしまった。従って、本研究では、ナノニードルに焦点をあて測定を行った。図 1 は、GST のナノ構造作製結果である。基板は高配向熱分解黒鉛(HOPG)とシリコン基板である。HOPG とシリコンは、表面が非常にフラットなため、ナノ構造を見つけるのが容易であることから、基板として選んだ。また、シリコン基板は将来の電子メモリーデバイスや光通信用スイッチ素子の開発を考えた選択でもある。本基板に GST をスパッタで 2 nm の成膜を行い、その後、大

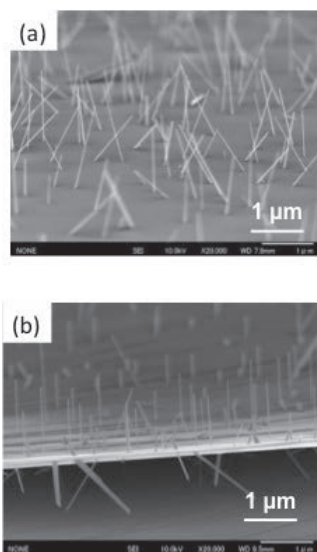


図1 GST 薄膜より形成されたナノニードル
(a)シリコン基板上 (b)HOPG 上

気中で加熱 (10°C/分で昇温、250°Cで2分間保持) をすると、図1のような非常に細いナノニードルが形成される。太さは、細いもので15 nm、太いもので150 nmである。長さは、1-3 μmが典型的であるが、5 μmに達するナノニードルも観察されている。

ナノニードルの組成に関して、組成分析をEDSを用いて行った。その結果を図2に示す。全て点分析で行っている。ナノニードルの先端、中央部、根本部を測定したところ、ほぼTeで構成されていることがわかった。他の元素のSbとGeは、基板に残留していることが考えられる。そこで、ナノニードルのない基板上を組成分析した結果が図3であ

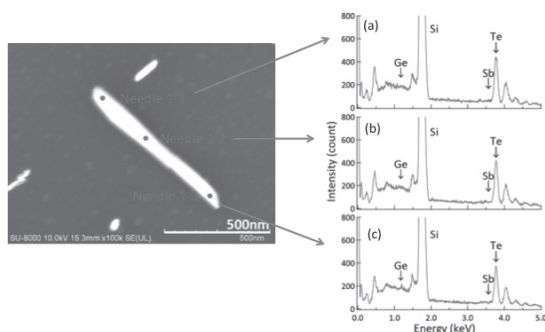


図2 ナノニードルのSEM像(左)と各部分のEDSスペクトル(右)

る。ナノニードル以外の場所では、よく観察すると、サイズが100-200 nmの構造物が認められる。これを組成分析した。図3では、3点の分析結果を示しているが、SbとTeの存在は認められるもののGeの存在が確認されない。実際、スペクトル中でGeのピーク(1.2 keV)が、全く認められない。そこで、面全体に対し組成分析を行った結果が、図4のグラ

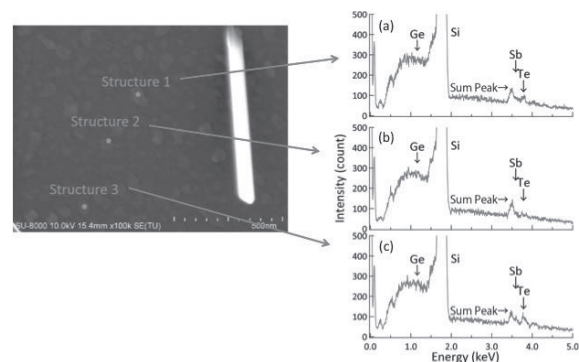


図3 基板上的構造物のSEM像(左)とそれらのEDSスペクトル(右)

フである。ここではGeのピークが確認できる。Geは面全体に広く薄く存在しているようである。融点は $\text{Ge}(938^\circ\text{C}) > \text{Sb}(630^\circ\text{C}) > \text{Te}(450^\circ\text{C})$ であることから、Geはほとんど移動せず、融点が高いTeが容易に移動し、ニードルを形成すると推察される。

融点がナノニードルの組成に深く関係しているとなると、Teとの化合物を形成する元素でかつGeや

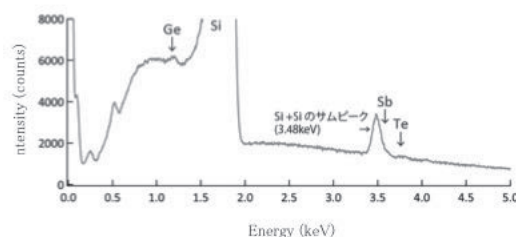


図4 試料表面全体からのEDSスペクトル

Sbより融点が高い元素で同様な実験を行う必要がある。そこで我々は Bi_2Te_3 を選び、薄い膜をシリコン基板上にスパッタで形成した後、加熱(200°C、10°C/分、2分間保持)し、ナノニードルの形成を試みた。 Bi_2Te_3 は熱電変換材料として典型的な物質であり、Biの融点は270°CとTeの融点よりも低い。組成分析の結果を図5に示す。GSTの分析と装置が異なるため、分解能や検出感度が異なるため、点分析ではなく、四角で囲った面を分析している。また、基板表面の影響をなくすため、基板を傾け、ナノニードルを突き抜けた電子線は基板に照射されない配置となっている。つまり、図5のSEM像は、基板に垂直に存在しているナノニードルを横から観察した像であり、ナノニードルの背景には、基板が存在していないことになる。図5のEDSスペクトルから、ナノニードルの組成には、BiとTeが含まれているおり、詳細な組成比まではわからないが、ほぼ同量となっている。やはり、ナノニードルの構成には、元素の融点が大きく関係しているようである。

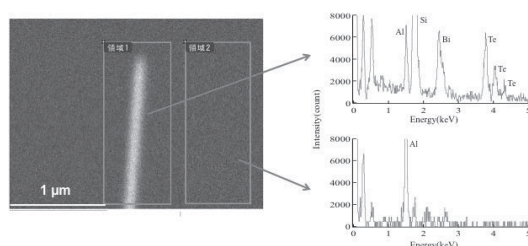


図5 Bi_2Te_3 の薄膜から作製したナノニードルの SEM 像 (左) と四角で囲った面での EDS スペクトル (右) Al のピークはホルダーからのものである。

最後に、GST から作製された Te のナノニードルの I-V 測定について述べる。個々のナノニードルの電気特性がどのようになっており、サイズにより特性が変化するかどうか大変興味深い。個々のナノニードルの電気毒性測定は、産総研所有のナノプローバ (日立ハイテクノロジーズ社製) を用いた。これは、探針を SEM 中で動かし、探針先端を目標物に接触させ、電圧を印加し、I-V 特性を測る装置である。探針はタングステン製、試料は常にアースとなる。図6に測定中の SEM 像 (上) と I-V 特性 (下) を示した。右は、Te の厚膜 (厚さ 200 nm) を試料として用いた結果である。この厚さではバルクとみなせ、かつ基板や探針の界面でショットキー障壁などが存在しないかどうかを調べるために本試料も用

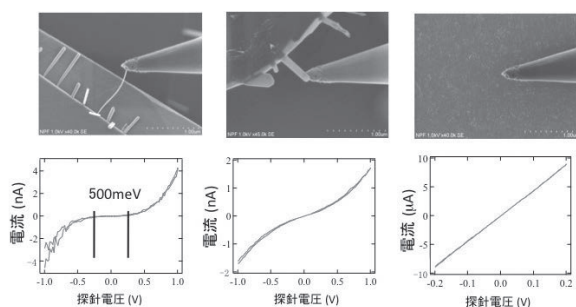


図6 ナノプローバーを用いた I-V 特性結果。左から太さ 24 nm、123 nm、厚膜である。上は測定時の SEM 像、下が I-V 特性である。

いた。ナノニードルとして 24 nm (左)、123 nm (中) を選んだ。図中下に表示されている I-V 特性をみると、24 nm の場合には、明確なギャップ (約 0.5 eV) が観察され、123 nm のものでは、ギャップはないものの半導体的、つまりオーミックではない特性を示した。厚膜の場合は、完全に線形となっており、金属的ということがわかる。基板は HOPG であるが、厚膜の結果から Te と HOPG の界面、またタングステン探針と Te はオーミックコンタクトである

と推測されるので、ナノニードルの電気特性は、ナノニードルそのものの性質を表しているといえる。なぜ、細くなるとギャップが生成され、半導体的になるのかについては、表面やサイズなどの影響を考慮しつつ、検討中である。

(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、採択されて3年が経過し3、今年度が最終年度となった。現在まで、ナノ構造の作製、形状観察、組成分析を主に行い、成果をあげた。本報告書には紙数の関係から、記載していないが、時間分解 STM 発光分光法による Sb_2Te_3 の電子構造の変化やテラヘルツ帯域の発光確認などの成果もある。ナノプローバーによるナノニードルの I-V 特性の測定では、原因が解明中ではあるものの、ユニークな特性が存在することがわかった。これらは今後の研究に対し、強いモチベーションとなる。また、特性を利用した電子メモリーデバイスや熱電変換素子開発といった応用展開が期待できる成果と考えている。

(特別支援 (国際) にかかわる研究成果)

本年度から、国際共同研究推進型として、これまでも協力してきたフランス、トゥール大学の坂井博士との共同研究を加速した。酸化物の相変化現象をナノスケールで観察、解明し電子デバイスに応用展開を図るという目的である。坂井博士には、本年度2回通研に招待し、共同で実験を行った。また、27年度共同プロジェクト研究発表会にて、坂井博士にこれまでの研究成果について講演をしていただいた。

[4] 成果資料

発表

1. 「 $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ 薄膜からの Te ナノニードル作製」, 桑原 正史, 阿部真帆, 曾根逸人, 保坂純男, 遠藤理恵, 上原洋一, 坂井穰, 鶴岡徹, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 名古屋, 2015/09/15
2. ポンププローブ STM 発光分光」上原洋一, 片野, 論, 桑原正史第76回応用物理学会秋季学術講演会, 名古屋国際会議場, 名古屋, 2015/9/15

論文

“Sb-Te alloy nanostructures produced on a graphite surface by a simple annealing process”, M. Kuwahara, H. Uratsuji, M. Abe, H. Sone, S. Hosaka, J. Sakai, Y. Uehara, R. Endo, and T. Tsuruoka, Appl. Surf. Sci. 346 (2015) 366-371.

採択回数	1	2	③
(萌芽)			

採択番号 H25/A02

InGaAs HEMT を用いた大電力テラヘルツ信号源の研究

[1] 組織

代表者：榎田 洋太郎

(東京理科大学理工学部)

対応者：末光 哲也

(東北大学電気通信研究所)

分担者：渡邊 邦彦 (東京理科大学大学院理工学研究科修士2年)

長澤 昂平 (東京理科大学大学院理工学研究科修士2年)

細谷 友崇 (東北大学学部4年)

延べ参加人数：5人

研究費：物件費13万7千円、旅費18万円
(予算)

[2] 研究経過

(1) 目的

テラヘルツ波とは、電波と光の中間領域に位置する電磁波であり、物質をよく透過する、物質固有の吸収スペクトルをもつ、X線と比較して波長が長く人体に安全である、半導体不純物への感度が高い、水と氷で吸収差がある等、他の周波数帯の電磁波にはない特徴をもつ。しかし、これまでテラヘルツ波は、十分な出力の信号源がなかったため、システムへの応用があまり進んでいない。テラヘルツ波のうち、1THz以上の比較的高い周波数については、量子カスケードレーザ等の光学的手法により発生することができるが、1THz以下の周波数では出力レベルが低下する。また、常温での信号発生が困難なため、大型で取り扱いが難しく、高価になる問題がある。一方、電子回路を用いれば、小型、簡易かつ低コストでテラヘルツ波を発生させることができる。しかし、テラヘルツ領域での電子回路による信号源は、集中定数設計ではトランジスタを小さくせざるを得ないため、大きな出力を発生することが難しい。特に、信号発生の単位となる発振器については、300GHz以上においては出力が1mW未満と小さく、実用的な信号処理に適しない問題があった。

本研究では、電子回路を用いた大電力テラヘルツ信号源の実現について検討を行う。常温で最も高速な

InGaAs系HEMTを用いて信号源を作製することにより、テラヘルツ領域での電氣的信号発生を可能とする。さらに、発振器に分布定数回路設計を導入することにより、テラヘルツ領域での信号源の出力電力を実用的なレベルにまで向上させることを目的とする。

(2) 概要

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。

本研究で検討するテラヘルツ領域とは、1THzを中心とした上下1桁の100GHz～10THzの領域である。テラヘルツ領域では、波長がミリメートル程度以下と小さいため、集中定数設計による電子回路では、伝搬による位相遅れによる特性劣化を避けるため、トランジスタを大きくすることができない。このため、テラヘルツ領域での発振器の出力電力は小さく、ミキシング等のアナログ信号処理を行うために十分でなかった。

そこで、本研究ではトランジスタとしてInGaAs系HEMTを用いることにより、テラヘルツ領域においても十分な出力電力を確保するとともに、発振器に分布定数構成を取り入れることにより、アナログ信号処理に十分な電力の電氣信号を発生させる。300GHz以上の周波数において、アナログ信号処理に適用可能な1mW以上の出力電力を、単一の発振器で出力することを目標とする。

上記の方針に従い、平成25年度は、損失を含まない理想的な集中定数インダクタを用いて分布定数増幅器および分布定数発振器を設計し、単位増幅器あたり同一のゲート幅を持つInGaAs系HEMTを用いたコルピッツ発振器よりも大きな出力電力が得られることを回路シミュレーションにより示した。平成26年度は、分布定数増幅器設計の最適化を系統的に行うための手法を検討した。その結果、増幅器の入出力インピーダンス、入出力信号伝播速度整合条件、およびカスコード接続されたトランジスタの出力容量の式を連立させることにより、解析的に分布定数増幅器を設計する手法を提案し、回路シミュレーションとの比較により最適化が実現できていることを確認した。

しかし、分布定数構成の段数を20段と多くしても、分布定数増幅器の電力利得が1以上となる周波数は150GHz以下にとどまる結果となった。この結果より、テラヘルツ帯の大電力の信号を分布定数増幅器または分布定数発振器で発生することは難しく、特に目標とする300GHz以上の周波数において1mW以上の出力電力を発生することは困難であることが明らかとなった。このため、分布定数構成を用いてテラヘルツ大電力信号源を構成する方針を変更し、ミリ波帯で発生した大電力信号を逓倍することによりテラヘルツ帯の大電力信号を発生することとした。また、発振器で大電力を直接する構成は簡素ではあるが、大きなトランジスタを用いて発振器を作製すると寄生発振が起きやすく、信号の位相雑音特性が劣化する可能性があるため、小信号で位相雑音の小さい信号をミリ波帯発振器で発生し、それを電力増幅器で増幅することにより、逓倍器に入力する大電力ミリ波帯信号を発生することとした。

上記の方針に従い、平成27年度はまず、ミリ波帯電力増幅器の高性能化の検討を行った。大電力化と高効率化が電力増幅器の重要な検討課題であるが、今年度は高効率化の検討を実施した。その結果、一段の電力増幅器では安定性の確保のため負帰還を適用すると利得を高く取ることができず、電力付加効率がよく出来ないことが判明した。これより、電力増幅器の多段化が必要であることがわかった。今後はミリ波帯電力増幅器の高効率化とともに大出力電力化の検討を行う予定である。

(3) 研究打合せの開催状況

本プロジェクト研究における平成26年度中の研究打合せの概要を下記に記す。

・第1回研究打合せ

日時：平成27年9月11日（金）16時30分～18時

場所：東北大学電気通信研究所

出席者：末光哲也（東北大学准教授） 榎田洋太郎（東京理科大学教授）

打合せ内容：

東京理科大学から、回路的アプローチに関し、逓倍器の導入による高周波化について提案を行った。また、プロセスに関しては、BCB層間膜の導入による配線交差容量の低減、フィールドプレートの導入による高耐圧化、高 f_{\max} 化、ツーステップリセスゲートプロセスの導入による高 f_t 、 f_{\max} 化について議論を行った。また、他研究機関が報告しているゲート周りの空洞化、FinFET化（ただし、CMOS）について意見交換を行った。

・第2回研究打合せ

日時：平成28年1月22日（金）13時～17時

出席者：末光哲也（東北大学准教授）、細谷 友崇（東北大学学部4年）、榎田洋太郎（東京理科大学教授）

打合せ内容：

東京理科大学から、逓倍器を用いたテラヘルツ信号発生手法に関し、InGaAs系HEMTを用いた60GHz帯電力増幅器の設計研究を行った結果について報告した。課題は安定化設計により利得が低下し電力付加効率が低下することであることを述べた。また、電力増幅器を多段化することにより利得を改善し電力付加効率を向上できる見通しであることを述べた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果が得られた。

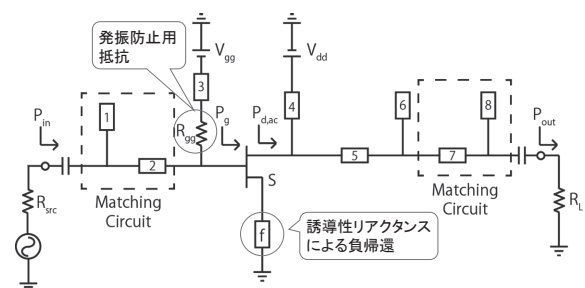


図1 60GHz帯リアクティブ負帰還F級電力増幅器の回路構成

表1 コプレーナ線路の諸元

基板の厚さh [μm]	620
比誘電率	12.4
比透磁率	1
導体の導電率 [S/m]	4.52×10^7 (Au)
導体の厚さT [nm]	340
導体幅W [μm]	60
ギャップG [μm]	39.8
tanδ	0

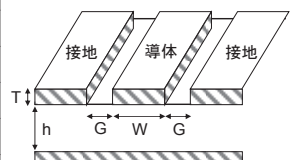


表2 InGaAs系HEMTの諸元

トランジスタ	InGaAs HEMT	C_{gs} [fF]	186
ゲート幅 W_g [μm]	250 (25 × 10)	C_{gd} [fF]	47.1
ゲート長 L_g [nm]	80	C_{ds} [fF]	46.1
ドレインバイアス V_{ds} [V]	0.7	C_{out} [fF]	86.5
ゲートバイアス V_{gs} [V]	-0.7	しきい値電圧 [V]	-0.95
相互コンダクタンス g_m [mS]	120.45		

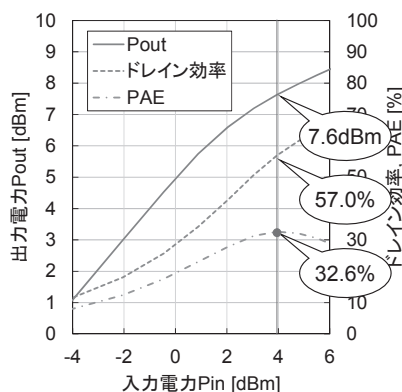


図2 60GHz帯リアクティブ負帰還F級電力増幅器の特性
(回路シミュレーション)

60GHz帯リアクティブ負帰還F級電力増幅器の回路構成を図1に示す。誘導性リアクタンスによる負帰還とゲートバイアスラインに挿入した抵抗により回路の安定化を図っている。この電力増幅器に用いるコプレーナ線路およびInGaAs系HEMTの諸元を表1および表2に示す。回路シミュレーションにより計算した電力増幅器の出力電力、ドレイン効率、および電力付加効率を図2に示す。電力付加効率は入力電力が3.9dBmで最大値32.6%、そのときの出力電力は7.6dBm、ドレイン効率は57.0%であった。電力付加効率がドレイン効率に比べ大幅に低下した理由は、利得が3.6dBと低いことによる。しかし、報告されている最高の電力付加効率は約30%であるため、この電力付加効率はトップレベルの値である。さらに、電力付加効率を高めるためには、ドレイン効率の向上および増幅器利得の向上が必要である。前者については、トランジスタ耐圧の向上が有効であるが、今後InGaAs系HEMTに傾斜フィールドプレートを導入することにより耐圧を高める予定である。また、後者については、増幅器の多段化により安定性の条件を緩和し利得を高めることにより、電力付加効率の改善を図る予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の予想される波及効果としては、テラヘルツ領域におけるアナログ信号処理が、電子回路により小型、簡易、かつ安価に実現できるようになる。これにより、テラヘルツ波を用いた多くの応用技術が実現可能となる。たとえば、集積回路の欠陥検査、郵便物中の危険物検査、皮膚がんの診断、空港やビルにおける爆弾・セラミックナイフなどの危険物検査、遮蔽空間内の高感度有毒ガス検出、壁内部の腐食や亀裂などの診断、医薬錠剤の多層コートなどの品質検査、病院で渡される包装屋久の誤成分チェッ

ク、薬品工場での異種錠剤混入検査、青果物の品質評価など、従来にない多くの分野への応用が期待できる。

一方、本プロジェクト研究ではInGaAs系HEMTの集積回路試作に必要な製造プロセスの開発、および設計CADシステムの構築を行っており、これらの作業は、現在、東北大学電気通信研究所と東京理科大学理工学部の間で行われている。これらが完成し、InGaAs系HEMTを用いた集積回路の試作の環境が整えば、多くの研究機関の回路設計研究者に本集積回路プロセスを用いた回路試作の希望を募り、本プロセスを用いた超高速、高効率回路の研究を大きく展開することができると考えている。さらに、本研究の当面の目標は電力増幅器の高効率化であるが、一度試作プロセスと設計用CADシステムが完成すれば、さらにInGaAs系HEMTの超高速性を生かしたテラヘルツ領域で動作する電子回路の研究を開始することができる。これにより、近い将来この方面でも本プロジェクトが多くの研究者を引き付け、これまであまり例のないテラヘルツ領域での電子回路応用という新たな研究領域を開拓できると期待している。

[4] 成果資料

(1) 渡邊邦彦, “InGaAs HEMTを用いた60GHz帯リアクティブ負帰還F級電力増幅器の設計,” 電子情報通信学会技術研究報告(マイクロ波研究会, 機械振興会館, 東京都港区), vol. 115, no. 4, 2015年4月。

(2) Kouhei Nagasawa, Shota Fujioka, Kazuaki Watanabe, Yohtaro Umeda, and Yusuke Kozawa, “Power-amplifier inserted transversal filter using high-order pass band,” 2015 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT), pp. 124-126, Sendai, Japan, Aug. 2015.

(3) 楳田洋太郎, “InGaAs HEMTを用いた60GHz帯リアクティブ負帰還F級電力増幅器の設計,” 平成27年度共同プロジェクト研究発表会(東北大学電気通信研究所本館, 宮城県仙台市), 2016年2月(ポスター発表)。

採択回数	1	2	3
(萌芽)			

採択番号 H25/A03

IV 族半導体-金属合金化反応制御による強磁性ナノドットの高密度・自己組織化形成と磁気的特性

[1] 組織

代表者：宮崎 誠一
(名古屋大学大学院工学研究科)

対応者：庭野 道夫
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

牧原 克典 (名古屋大学大学院工学研究科)

室田 淳一 (東北大学電気通信研究所)

櫻庭 政夫 (東北大学電気通信研究所)

張 海 (名古屋大学大学院工学研究科)

竹内 大智 (名古屋大学大学院工学研究科)

延べ参加人数：8人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 22 万 2 千円

[2] 研究経過

シリサイドやジャーマナイドのナノドットにおいて構造(サイズ、化学組成、結晶性、相構造)に依存して発現する固有の電子状態や物理現象を精密制御することを目的として、ナノドットの高密度形成技術の研究を行った。具体的には、既に申請者らが確立した極薄 Si 熱酸化膜上の金属ナノドットの形成技術を基盤として、磁性シリサイドナノドット形成手法の確立に展開した。さらに、バルク材料には見られない、ナノサイズにおいて固有に存在する組成、結晶構造のナノドットを実験的に探索し、電子状態を定量評価することで、従来の半導体量子ドットや金属ナノドットでは実現困難な新しい強磁性ナノ材料系の創生を目的として研究を推進した。

本プロジェクトは、本年度が最終年度であった。初年度は、シリコン熱酸化膜上の極薄 Fe/Si/Fe 積層構造を外部非加熱でリモート H₂ プラズマ(H₂-RP)処理することで、Fe 原子の表面マイグレーション・凝集とともに、Si との合金化反応が進行する結果、Fe シリサイドナノドットが高密度・一括形成できることを明らかにした。2 年目では、SiO₂ 上の Fe/Pt 積層膜への H₂-RP 処理により磁性合金ナノドットが高密度形成でき、初期膜厚を精密制御することでシリサイド相制御が可能であることを実証した。本プロジェクト最終年度では、極薄 SiO₂ 上に形成した Fe₃Si ナノドット (保磁力：~100e) において、外部磁場印加に伴う電子輸送特性の変化を磁性 AFM 探針を用いて評価した。

また、本共同プロジェクト研究を推進するために、東北大学にて実験打ち合わせを実施し、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・運営した 4 つの国際会議 The 9th International Conference on Silicon Epitaxy and Heterostructures (ICSI-9), (Montreal, Canada, May 17 - 22)、228th Meeting of The Electrochemical Society (Phenix, USA, Oct. 11-16)および JSPS Core-to-Core Program Workshop (Marseille, France, July 9-10, Sendai, Jan. 11-12)での意見・情報交換を通じて、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

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

リモート水素プラズマ支援による Fe シリサイドナノドットの高密度一括形成と磁化特性評価

p-Si(100)基板上に膜厚 $\sim 3.0\text{nm}$ の SiO_2 を形成後、 $\text{Fe}(\sim 2.0\text{nm})/\text{Si}(\sim 2.0\text{nm})/\text{Fe}(\sim 1.5\text{nm})$ 積層構造を電子線蒸着により連続堆積した。その後、60MHz 高周波電力の誘導結合により励起・生成した高密度水素プラズマを用いて、 $\text{Fe}/\text{Si}/\text{Fe}$ 積層膜表面に外部非加熱でリモートプラズマ処理を施し、 Fe_3Si ナノドット(平均ドット高さ： $\sim 8\text{nm}$ 、面密度： $5.0 \times 10^{11}\text{cm}^{-2}$)を形成した。Si 基板裏面には、Al 電極を蒸着形成した。 Fe_3Si ナノドットの局所電子輸送特性の評価は、磁性 CoPtCr コート Si 探針($H_c=220\text{Oe}$)を用い、外部磁場は、試料直下に磁石を配置することで印加した。

磁性 AFM 探針を用いて測定した外部磁場非印加時における局所電流-電圧特性(Fig. 1)は、Tip バイアス -3.5V 近傍で電流レベルの増大が僅かながら認められるのに対し、初期探針磁化方向と同方向に外部磁場 0.5kOe を印加した場合、 -0.3V で大幅な電流レベルの増大が確認された。また、 0.5kOe 以上の外部磁場強度では、しきい値電圧の顕著な変化は認められなかった。表面形状像では外部磁場の印加による顕著な変化は認められないことから、Fig. 1 の結果は探針の物理的接触の変化では説明できない。さらに、探針磁化方向と同方向に磁場印加した後、逆方向磁場 0.5kOe 印加した場合(Fig.2)では電流レベルが低減し、再度同一方向に外部磁場を印加した場合、大幅な電流レベルの増大が認められた。これらの結果は、ドットの保磁力より大きな外部磁場を印加した場合、磁性コート AFM 探針と Fe_3Si ナノドットの

磁化方向が揃うことで、抵抗が減少し、I-V 特性のしきい値電圧が低減したとして説明できる。外部磁場 1.5kOe 未満では探針の磁化方向は反転しないことが分かっており、逆方向に外部磁場 0.5kOe を印加した場合に観測された抵抗増加は Fe_3Si ナノドットの磁化が反転し、探針と反平行方向になったためと解釈できる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトでは、シリコンと金属の合金化反応の制御に関する基礎データや知見を蓄積し、鉄シリサイドのナノドット形成手法を確立するとともに、外部磁場が磁性ナノドットの局所電気伝導に及ぼす影響を評価した。今後、形成したナノドットの組成や結晶構造、電子状態を精査することで、機能的な材料としての応用可能性を実証し、ナノドットのサイズや組成と安定な結晶構造との関係を明らかにするとともに、形成したシリサイドナノドットの電子状態や電気伝導特性を詳細に分析することで、ナノドットにおいて固有の物性やキャリア輸送特性が発現することを実験的に検証する。これにより、シリサイドナノドットにおいて、バルク材料や薄膜では準安定である結晶相や相図にはない新たな結晶相を安定に形成することができれば、従来の薄膜材料と比べて物性が格段に優れた新しい材料系の創生が期待できる。

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。

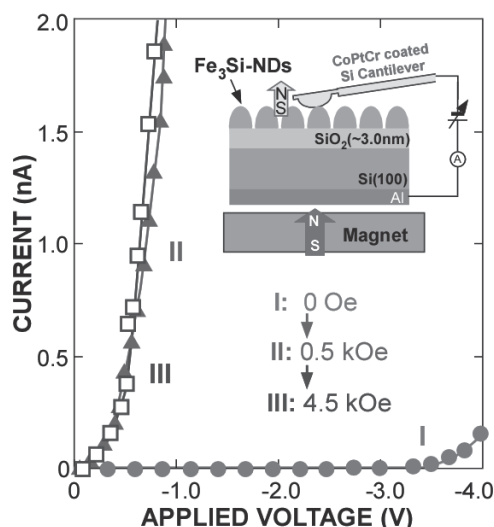


Fig. 1 I-V characteristics of the Fe_3Si -NDs with and without magnetic field (0.5 or 4.5 kOe) at room temperature. A schematic view of an experimental set up for local I-V measurements is shown in the inset.

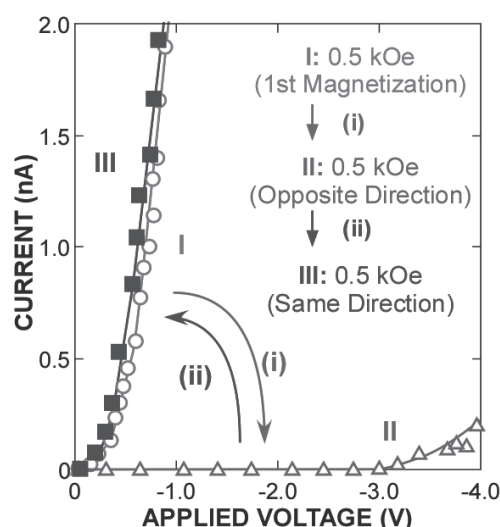


Fig. 2 Room temperature I-V characteristics of the Fe_3Si -NDs with a magnetic field of 0.5 kOe at different magnetic polarities in surface normal.

〔4〕 成果資料

- (1) H. Zhang, K. Makihara, A. Ohta, M. Ikeda and S. Miyazaki, “Formation and Characterization of High-density FeSi Nanodots on SiO₂ Induced by Remote H₂ Plasma”, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 55, 2016, 01AE20.
- (2) H. Zhang, A. Ohta, K. Makihara and S. Miyazaki, “High Density Formation of Fe-silicide Nanodots Induced by Remote H₂ Plasma and Characterization of Their Crystalline Structure and Magnetic Properties”, The 37th International Symposium on Dry Process (DPS2015), (Awaji Island, Nov., 5-6, 2015), E-1.
- (3) H. Zhang, A. Ohta, K. Makihara and S. Miyazaki, “High Density Formation of Fe₃Si-nanodots on Ultrathin SiO₂ Induced by Remote Hydrogen Plasma”, The 17th Annual Conference and 6th International Conference of the Chinese Society of Micro-Nano Technology (CSMNT2015), Shanghai, China Oct.,11-14, 2015), 96818.
- (4) H. Zhang, A. Ohta, K. Makihara and S. Miyazaki, “High Density Formation of Fe silicide-nanodots on SiO₂ Induced by Remote H₂-plasma”, The 21st Korea-Japan Workshop on Advanced Plasma Processes and Diagnostics & The Workshop for NU-SKKU Joint Institute for Plasma-Nano Materials (Korea, Oct., 3-5, 2015).
- (5) 張 海、牧原 克典、大田 晃生、壁谷 悠希、宮崎 誠一, 「リモート水素プラズマ支援による高密度形成した Fe シリサイドナノドットの構造および磁化特性評価」第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, (於 名古屋国際会議場), 16a-2R-2, 9 月 2015 年.
- (6) 張 海、満行 優介、牧原 克典、池田 弥央、大田 晃生、宮崎誠一, 「磁性 AFM 探針を用いた Fe₃Si ナノドットの電子輸送特性評価」第 63 回応用物理学会春季学術講演会, (於 東京工業大学), 21a-S223-8, 3 月 2016 年.

採択番号 H25/A04

強磁性形状記憶合金をはじめとする機能性磁性材料の 電子構造と物性発現機構の解明

[1] 組織

代表者：今田 真

(立命館大学 理工学部)

対応者：白井 正文

(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

鹿又 武 (東北学院大学工学総合研究所)

木村 昭夫 (広島大学 理学研究科)

朱 思源 (広島大学 理学研究科)

安達 義也 (山形大学 理工学研究科)

岡田 宏成 (東北学院大学 工学部)

梅津 理恵 (東北大学 金属材料研究所)

高橋 学 (群馬大学 工学部)

恒川 雅典 (滋賀大学 教育学部)

寺嶋 健成 (立命館大学 理工学部)

上田 茂典 (物質・材料研究機構)

門野 利治 (立命館大学 理工学部)

角田 一樹 (広島大学 理学研究科)

延べ参加人数：18人

研究費：物件費13万7千円，旅費21万9千円

[2] 研究経過

強磁性形状記憶合金とは，温度や応力を利用するだけではなく，磁場によっても形状記憶効果が発現する物質である。磁場によって変位を制御できることから，高速応答が可能な磁場駆動アクチュエータへの応用が期待されている。本プロジェクトでは，強磁性形状記憶合金やスピントロニクス材料の機能発現機構を，高エネルギー分光をはじめとした実験的手法と電子状態の第一原理計算を組合せて解明することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは，本年度が第3年度である。

以下，研究活動状況の概要を記す。

強磁性形状記憶合金をはじめとする機能性磁性材料の電子状態を，バルク敏感な硬X線光電子分光やX線吸収磁気円二色性といった高エネルギー分光を用いて解析した。得られた実験結果を第一原理計算

の結果と比較することにより，機能発現機構を考察した。年度末の平成28年1月30日に研究会を開催し，最新の研究成果について意見交換した。研究会の講演者と講演題目は以下のとおりである。

辻川 雅人 (東北大学) 「Co-Cr-Ga-Si ホイスラー合金の結晶構造と電子状態」

角田 一樹 「リエントラントマルテンサイト変態を示す $\text{Co}_2\text{Cr}(\text{Ga},\text{Si})$ 合金の電子状態」

許 晶 (東北大学) 「 $\text{Co}_2\text{V}(\text{Ga},\text{Ge})$ ホイスラー合金におけるリエントラント挙動を示すマルテンサイト変態」

梅津 理恵 「Mn 基ホイスラー合金の原子規則配列と電子状態」

上田 茂典 「MgO/Fe 界面の硬X線光電子分光」

安達 義也 「強磁性形状記憶合金 Ni_2MnGa のプレマルテンサイト変態温度の Cr, Fe 置換効果」

恒川 雅典 「 $\text{Co}_2\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Ga}$ の軟X線光電子分光」

今田 真 「MnGa および Mn_3Ga 単結晶薄膜における Mn 3d 電子状態の異方性」

[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。

ハーフメタル型電子状態，またはスピンギャップレス半導体型電子状態を有すると期待される Mn 基ホイスラー合金のうち， Mn_2VAl と Mn_2CoGa ホイスラー合金に着目し，規則配列と磁気的性質との関連性，および電子状態について研究を行った。 Mn_2VAl は $L2_1$ 相から $B2$ 相への規則—不規則相変態温度 T_i が 1075 K， $B2$ 相から $A2$ 相への T_i が約 1100 K であり，熱処理により規則度を制御することが可能である。その結果， $A2$ 相領域から急冷して得た試料は反強磁性的磁気特性を示し， $B2$ 相， $L2_1$ 相に規則化した場合，強磁性を示すことが分かった。特に， $L2_1$ 相の場合，理論計算値に近い磁気モーメントの値を示した。 Mn_2CoGa 合金は，理論計算より Hg_2CuTi 型規則配列を有するものと予測されていたが，高角散乱環状暗視野走査透過顕微鏡による電子像観察と，粉末中性子回折測定の結果より，Mn と Co が不規則

化し、対称性としては $L2_1$ 型構造と等価な $L2_{1b}$ 型構造の原子配列を有することが明らかになった。この場合の電子状態は、スピギャップレス型半導体型とは大きく異なるが、マイノリティバンドのフェルミ面近傍に擬ギャップは維持されており、比較的高いスピン分極率を有していることが判明した。

(梅津 理恵)

垂直磁化かつ高保磁力なため注目を集めている Mn_3Ge および $MnGa$ 薄膜について、磁気異方性の発現機構を電子状態から理解するために硬 X 線光電子分光を用いて研究を行っている。最近、希土類 $4f$ 電子状態の異方性を、内殻光電子スペクトルが偏光及び光電子放出角にどのように依存するかを実験的に調べることで明らかにする手法が開発されたので、本研究ではこれを遷移金属系に応用することを目指した。実験は SPring-8 の BL19LXU で行い、 $Mn\ 2p$ 内殻光電子スペクトルを観測した。 Mn_3Ge , $MnGa$ 薄膜ともに 638-640 eV でスペクトルの形状が顕著な偏光依存性を示した。この偏光依存性を解釈するために、結晶場中の原子についての電子状態及び内殻光電子スペクトルの理論計算を行なったところ、 $3d^5$ 電子配置の場合、結晶場が小さく高スピン状態の時と、結晶場が大きくスピンの減少している時とで偏光依存性が異なり、基底状態の対称性によっても偏光依存性が異なることが分かった。

(今田 真)

強磁性形状記憶合金の代表物質である Ni_2MnGa は、M 変態温度($T_M=202\text{ K}$)の少し高温の約 253 K にプレマルテンサイト (PreM) 変態温度(T_P)をもち、わずかな転移を示す。Maeda らはこの転移は結晶構造の変化であるとし、オーステナイト (A) 相 (高温) と M 相 (低温) の間の PreM 相に、X 相と I 相の 2 つの相が存在することを報告している。我々は、M 変態の機構を解明するために、PreM 変態に着目した。Mn 原子を Cr や Fe で置換した合金系 $Ni_2Mn_{1-x}T_xGa$ ($T = Cr, Fe$) の PreM 変態温度の組成依存性や圧力依存性の測定を行った。Cr 置換系 $Ni_2Mn_{1-x}Cr_xGa$ ではその置換量とともに、 T_C は下降、 T_M は上昇、 T_P は下降した。 T_P は $0 \leq x < 0.2$ の範囲で確認された。Fe 置換系 $Ni_2Mn_{1-x}Fe_xGa$ ではその置換量とともに、 T_C は上昇、 T_M は下降、 T_P は下降した。 T_P は $0 \leq x \leq 0.2$ の範囲で確認された。Cr 置換系 $Ni_2Mn_{0.9}Cr_{0.1}Ga$ ($x = 0.1$) において圧力効果を調べた。 $dT_P/dp = +17.3\text{ K/GPa}$, $dT_M/dp = +9.8\text{ K/GPa}$ となり、多結晶 Ni_2MnGa の結果と同程度であった。Cr, Fe 置換系 $Ni_2Mn_{1-x}T_xGa$ ($T = Cr, Fe$) の PreM 変態温度 (T_P) について組成依存性から Ni および Cu 置換に比べると少し広い組成範囲で T_P が確認され、Cr から Fe へ渡る温度-組成相図がえられた。 $Ni_2Mn_{0.9}Cr_{0.1}Ga$ ($T =$

Cr, $x = 0.1$) の圧力依存性から T_P の圧力微分値が多結晶 Ni_2MnGa のそれと同程度であることがわかった。X 相と I 相の相違は未確認である。(安達 義也)

強磁性体と非磁性体のヘテロ界面で垂直磁気異方性が誘起されることが知られている。この磁気異方性の起源を電子状態から明らかにするために、 $MgO(2\text{ nm})/Fe(2, 20\text{ nm})/MgO(001)$ を対象に、検出深度の深い硬 X 線光電子分光による価電子帯および Fe $2p$ 内殻のスペクトルの測定を行った。Fe $2p$ 内殻に対しては、円偏光励起による磁気円二色性測定も行った。価電子帯測定の結果、Fe(20 nm) 薄膜は、バルクの Fe とほぼ同じスペクトル形状が得られた。一方、Fe(2 nm) 薄膜では、MgO 層の影響によって Fe $3d$ バンド形状の変化が観測された。これは Fe(2 nm) 薄膜では、Fe/MgO 界面成分が強調されて観測された結果である。Fe $3d$ バンド形状の変化は、界面による異方性によって $3d$ バンドの縮退が解けたことに起因するものと考えられる。(上田茂典)

リエントラント・マルテンサイト変態を示す Co-Cr-Ga-Si 系合金に着目し、その変態機構を電子状態の観点から明らかにすることを目的に研究を行った。相変態に伴う電子状態の変化を捉えるため、バルク敏感性の高い硬 X 線光電子分光を使用した。実験の結果、マルテンサイト変態に伴ってフェルミ準位近傍の価電子帯で明確な電子状態の変化が観測された。このような変化は、Ni 基強磁性形状記憶合金で報告されている結果と類似しており、フェルミ準位近傍の高い状態密度が引き起こすバンドヤーンテラー効果に起因していると考えられる。また、第一原理計算の結果から、Co $3d$ および Cr $3d$ 軌道の多数スピン状態がフェルミ準位近傍の電子状態に主に寄与していることがわかり、特に硬 X 線光電子分光では Co $3d$ 軌道由来の変化を捉えていることが明らかとなった。(角田 一樹)

通常のマルテンサイト変態では高温の母相から冷却することでマルテンサイト相が得られる。しかし、 $Co_2Cr(Ga, Si)$ ホイスラー合金では、通常のマルテンサイト変態に加え、マルテンサイト相をさらに冷却することで母相が再び現れる、リエントラントマルテンサイト変態が出現する。この現象によって、同一合金で加熱でも冷却でも形状記憶効果を実現した。今年度の研究では、リエントラントマルテンサイト変態を理解するため、磁気相図の構築と相変態エントロピー変化の決定を行った。 $Co_xCr_{(78-x)}(Ga_{11}Si_{11})$ 断面の合金を作製し、磁気相図の決定を行った。その結果、 $x < 51\%$ では母相のキュリー温度のみ、 $x \geq 53\%$ では 700 K 前後で通常のマルテンサイト変態しか現れないのに対し、 $51\% \leq x < 53\%$ の領域においてリエントラントマルテンサイト変態が出

現することが分かった。熱分析と Clausius-Clapeyron の関係式を用いた手法で、マルテンサイト変態におけるエントロピー変化の温度依存性を決定した。その結果、高温では通常の形状記憶合金と同様に負のエントロピー変化を示すが、低温では正のエントロピー変化となり、エントロピー変化に符号の逆転が母相キュリー温度の直下付近で見られた。また、母相の磁気転移に関わる磁気エントロピーを見積もったところ、エントロピー変化の符号を逆転させるのに十分大きいことが判明し、母相の強磁性磁気状態がリエンラントマルテンサイト変態に大きく関わっていることが分かった。(許 晶)

室温でハーフメタル特性を示すホイスラー化合物 $\text{Co}_2(\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Ga}$ ($x=0.0, 0.4, 1.0$) の電子状態を解明するため、軟 X 線光電子分光 (SXPS) と X 線吸収分光 (XAS) を行った。SXPS スペクトルは、元素・軌道選択的な組成依存性ととも、顕著な励起光エネルギー依存性を示した。KKR-CPA によるバンド計算の結果と比較することで、価電子帯 SXPS スペクトルにおける Co, Cr, Fe 3d 電子状態の寄与を明らかにした。KKR-CPA によるバンド計算と比べると、SXPS によって観測された価電子帯バンド幅は狭く、電子相関の影響を示唆する結果と考えられる。XAS において、Co 3d 状態の局在的性質を反映すると考えられる構造が観測された。この構造は組成依存性を示しており、 $x=0.0 \rightarrow 1.0$ において次第に顕著になる。これは SXPS の結果を支持するものと考えられる。(恒川 雅典)

[4] 成果資料

- (1) K. Minakuchi, R.Y. Umetsu, K. Kobayashi, K. Ishida and R. Kainuma, "Phase equilibria and magnetic properties of Heusler-type ordered phases in the Co-Mn-Ga ternary system", *J. Alloys Compds.*, **645** (2015) 577.
- (2) R.Y. Umetsu and T. Kanomata "Spin stiffness constant of half-metallic ferrimagnet in Mn-based Heusler alloys", *Phys. Procedia*, **75** (2015) 890.
- (3) Y. Adachi, R. Kouta, M. Fujio, T. Kanomata, R.Y. Umetsu, X. Xu, R. Kainuma, "Magnetic Phase Diagram of Heusler Alloy System $\text{Ni}_2\text{Mn}_{1-x}\text{Cr}_x\text{Ga}$ ", *Phys. Procedia*, **75** (2015) 1187.
- (4) Y. Adachi, M. Kato, T. Kanomata, D. Kikuchi, X. Xu, R.Y. Umetsu, R. Kainuma, K.R.A. Ziebeck, "The effect of pressure on the magnetic and structural transition temperatures of the shape memory alloys $\text{Ni}_{50+x}(\text{Mn}_{0.5}\text{Fe}_{0.5})_{25}\text{Ga}_{25-x}$ ", *Physica B: Condens. Matter*, **464** (2015) 83.
- (5) M. Tsunekawa, Y. Hattori, A. Sekiyama, H. Fujiwara, S. Suga, T. Muro, T. Kanomata, S. Imada, "Soft X-ray photoemission study of $\text{Co}_2(\text{Cr}_{1-x}\text{Fe}_x)\text{Ga}$ Heusler compounds", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **54** (2015) 082401.
- (6) J. Wang, L. Liang, L. T. Zhang, M. Yano, K. Terashima, H. Kada, S. Kato, T. Kadono, S. Imada, T. Nakamura, S. Hirano, "Mixed-valence state of Ce and its individual atomic moments in $\text{Ce}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ studied by soft X-ray magnetic circular dichroism", *Intermetallics*, **69** (2016) 42.
- (7) S. Zhu, M. Ye, K. Shirai, M. Taniguchi, S. Ueda, Y. Miura, M. Shirai, R. Y. Umetsu, R. Kainuma, T. Kanomata, and A. Kimura, "Drastic change in density of states upon martensitic phase transition for magnetic shape memory alloy $\text{Ni}_2\text{Mn}_{1+x}\text{In}_{1-x}$ ", *J. Phys.: Condens. Mater.* **27** (2015) 362201.
- (8) K. Sumida, K. Shirai, S. Zhu, M. Taniguchi, S. Ueda, Y. Takeda, Y. Saitoh, I. R. Aseguinolaza, J. M. Barandiaran, V. A. Chernenko, and A. Kimura, "Spectroscopic evidence of band Jahn-Teller distortion upon martensitic phase transition in Heusler-type Ni-Fe(Co)-Ga ferromagnetic shape-memory alloy films", *Phys. Rev. B* **91** (2015) 134417.
- (9) X. Xu, M. Nagasako, M. Kataoka, R.Y. Umetsu, T. Omori, T. Kanomata, R. Kainuma, "Anomalous physical properties of Heusler-type $\text{Co}_2\text{Cr}(\text{Ga}, \text{Si})$ alloys and thermodynamic study on reentrant martensitic transformation" *Phys. Rev. B* **91** (2015) 104434.
- (10) X. Xu, T. Omori, M. Nagasako, T. Kanomata, R. Kainuma, "Sign reversal of transformation entropy change in $\text{Co}_2\text{Cr}(\text{Ga}, \text{Si})$ shape memory alloys" *Appl. Phys. Lett.* **107** (2015) 181904.

採択回数	1	2	3
(先端)			

H25/A05

大規模超伝導量子検出器の実用化に関する研究

[1] 組織

代表者：神代 暁

(産業技術総合研究所)

対応者：佐藤 茂雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

猪股 邦宏 (理化学研究所)

大野 雅史 (東京大学大学院工学系研究科)

伊豫本 直子 (九州大学大学院工学研究院)

日高 睦夫 (産業技術総合研究所)

唐津 謙一 (国立天文台)

竹井 洋 (宇宙航空研究開発機構)

水柿 義直 (電気通信大学情報理工学部)

前澤 正明 (産業技術総合研究所)

明連 広昭 (埼玉大学工学部)

吉川 信行 (横浜国立大学工学部)

藤巻 朗 (名古屋大学工学研究科)

小野美 武 (福岡工業大学工学部)

延べ参加人数：14人

研究費：物件費 13 万 8 千円，旅費 23 万 1 千円

[2] 研究経過

単 (少数) 画素動作として、半導体等の既存検出器に比べ優れた低雑音性・高速応答性・入出力特性の幅広い線形性等を数多く実証してきた超伝導検出器は、マイクロ波から可視・近赤外光、X 線、ガンマ線に至る幅広いエネルギー領域の光子検出器として、X 線天文学における衛星搭載用撮像素子、蛍光 X 線分析用エネルギー分散測定装置、放射性同位元素の同定、量子計算機を構成するための要素など、様々な分野に利用できるものとして期待されている。一方、計測時間短縮化、高計数率、高空間分解能イメージング等、検出システムへのユーザの要求に応えるためには、単画素と同等の性能を各画素が持つ多画素システムの開発が望まれる。例えば、ガンマ線分光器では、既存ゲルマニウム(Ge)検出器が約600 mm²の受光面積を持つのに対し、超伝導検出器1個の受光面積は約1 mm²に過ぎない。ミリ波・サブミリ波領域では、酸化物焦電検出器 (パイロメータ)、

酸化バナジウム(VO_x)ボロメータ、ガリウムヒ素 (GaAs) ショットキーダイオード等、10³-10⁵画素のイメージャが既に市販されている。

多画素化実現の研究課題には、まず、各画素間のパラメータと性能の均一性向上の技術開発がある。次に、画素化に伴い増大する、極低温-室温間の信号線数と信号線を介した室温から極低温への流入熱が、検出器システムの体積・消費電力・価格を支配する極低温冷却系の大型化・複雑化を招き、超伝導検出器の普及を妨げる問題への対策として、極低温下での信号多重回路 (Multiplexer) 開発が挙げられる。欧米では、このような二本柱に沿った超伝導検出器アレイの研究開発が盛んである。一方、日本の超伝導検出器の研究は、単一画素の性能では欧米並みの成果を挙げながら、多画素化で後れをとっているように見える。これは、多画素化研究には多くのマンパワー、資金、時間が必要とされるのに対し、国内機関によるこれまでの研究が、標記目的のため組織化されているとは言い難いことが1つの原因と考えられる。

以上の状況を鑑み、本プロジェクトでは、日本の超伝導検出器大規模アレイ化の研究活性化を目的とし、国内各機関の関係者の英知を集めた技術討論を活動の1つとしている。三年目にあたる2015年度は、10月8、9日の二日間にわたって、東北大学にて、電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会との共催研究会を開催した。

席上、トンネル接合検出器3(0)件、マイクロ波力学的インダクタンス検出器3(1)件、誘電体カロリメータ2(1)件、超伝導転移端検出器5(4)件、ナノストリップ検出器読出を含むデジタル回路3(3)件、国際会議報告1件の講演が行われた。なお、0内は読出回路を主体とする講演であり、その比重が高いことがわかる。研究会には約30名の参加があり、昨年度に比べ画素数増大が図られる等、進捗著しい成果の発表と活発な意見交換がなされ、有意義な研究会となった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究会のトピックスを以下に記述する。

超伝導トンネル接合素子 (Superconducting Tunneling Junction; STJ) では、産総研の藤井らが、招待講演にて3次元配線技術を基に500画素アレイの開発を述べた。以上への拡大時に問題となるチップ占有面積増大の抑制のため、配線を接合下部に埋め込み上層部を平坦化する作製工程を確立し、平坦化しない物と比べ遜色ない電流電圧特性の非線形性と低リーク電流を得た。埼玉大の田井野らは、基板に貫通穴を開け、裏側からコンタクトをとり3次元配線する手法を検討した。また、電気通信大の池谷らは、天文台と共同で、STJ ミキサの高周波化に必要な Nb/AlOx/Nb 接合素子の高電流密度化に関し、上部 Nb 電極形成時に生じる Nb の低級酸化物の抑性のため、Nb とトンネルバリア AlOx の間に Al 層を形成し、その効果を確認するとともに、5-10 nm が最適厚みであることを予測した。

マイクロ波力学的インダクタンス検出器 (Microwave Kinetic Inductance Detector; KID) では、理研の美馬らが、宇宙背景放射観測を目指した地上観測実験の概要を述べた。検出系は、コルゲートホーンアンテナの次段に、145 GHz 帯 55 画素×6 ウエハと 220 GHz 帯 112 画素×1 ウエハの計 442 画素が、約 20 cm 径、0.25 K の焦点面に敷き詰められた構造をとる。ウエハ上のプローブアンテナと検出インダクタの間に、コプレーナ線路とマイクロストリップ線路を併用したインピーダンス変換回路を配置し、その一部は、本観測で重要な不要直交偏波成分の除去機能を有する。岡山大の喜田らは、軽い暗黒物質が液体ヘリウムに衝突して発生する紫外線シンチレーション光の検出目的の 56 画素集中定数型 KID (LEKID) の設計・試作・評価を行い、55 画素が共振特性を示すとともに、多くが可視光レーザ照射に対する共振周波数の変化を確認した。岡山大の山田らは、標記 LEKID 読出用室温エレクトロニクスとして、ヘテロダイン法を用い約 2.5 μ s のパルス幅を持つ入射信号に追従できる読出システムを開発し、8 画素の同時読出を実証した。

誘電体カロリーメータでは、JAXA の菊地らが、X 線天文観測応用に期待される計数率 1 cps に必要なパルス速度から来る熱コンダクタンスの制約を明らかにするとともに、誘電体素子の損失を反映した共振 Q 値で決まるダイナミックレンジを越えないための素子の熱容量の制限を見積もった。また、JAXA の中山らが、理論的考察を基に素子の設計指針を検討し、最適な Q 値やエネルギー分解能を算出した。

超伝導転移端検出器 (Transition Edge Sensor; TES) では、産総研の田辺らが、近赤外あるいは可視光帯の TES と光ファイバとの再現性良い結合位置

精度確保のため、深堀エッチングにより加工したシリコンと光ファイバのアダプタを作製し、光強度を観測した。JAXA の前久らは、電子顕微鏡搭載型 64 画素並列読出型 X 線 TES アレイの開発において、既存技術活用と極低温-室温間信号線数低減を両立する手法として、8 画素の TES バイアスおよび SQUID バイアスを共通化した。そこでは、並列バイアスに比べクロストークが低減できる直列バイアスを探り、クロストーク値 0.1% @ 10 kHz を得るとともに、パルス波形歪を 0.6 eV @ 5.9 keV と見積もった。東大・カリフォルニア工科大の服部らは、宇宙マイクロ波背景放射偏光観測用 7,588 画素 TES を、4 MHz の帯域に 40 画素ずつ周波数多重 (Frequency Domain Multiplexing; FDM) する読出システムを開発しており、招待講演にて、主にフィルタの基礎特性評価を報告した。JAXA の酒井らは、衛星搭載型 X 線観測用 256 画素 TES 読出のため、昨年度開発した低消費電力型 DC-SQUID の FDM 読出実験を行った。単画素では約 10 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ に過ぎない読出雑音電流が、4 画素 FDM 時には約 160 pA/ $\sqrt{\text{Hz}}$ にも及び、TES のエネルギー分解能も約 3 倍悪くなったと報告した。酒井らはその原因を、画素間クロストークの可能性ありとした。なお、オランダ宇宙研究所からは、FDM 化に要する交流駆動 TES は、マイクロ波を照射されたジョセフソン素子同様、電流電圧特性上にキンクが生じ、安定動作に支障を来すことが報告されている。東大・産総研の入松川らは、直流バイアス駆動ガンマ線検出 TES 読出に適用可能な周波数多重読出法として、5 GHz の共振周波数を充当したマイクロ波 FDM 法を適用し、鋸歯状波変調磁束の印加により、パルス立下り時間に相当する 1 kHz 以下の周波数および 5 倍の磁束量子の強度の信号にまで、入出力特性の線形化に成功した。

ナノストリップ検出器の読出では、名大の藤巻らが、1000 画素のリニアアレイを想定した上で、直列接続した各画素検出器間にインダクタンスと抵抗から成るローパスフィルタを挿入し、パラメータ最適化により、他の画素に影響を及ぼすことなく単一磁束量子回路による読出が可能であることを示した。また、検出器読出をはじめとし、低消費電力型ディジタル計算器への応用に期待される断熱型磁束量子パラメトロン回路に関し、横国大の竹内らが、熱雑音が回路の消費エネルギーに与える影響を調べ、有限温度に対するエネルギー遅延積 EDP を $10^{-20} \text{ J} \times \text{ps}$ と算出した。また、横国大の Ayala らが、論理素子のタイミングを検討し、4 相クロックにより約 30 ps の時間マージン増大に寄与することを予測した。

超伝導検出器関係の国際ワークショップ報告を産

総研の神代が行った。

(3-2) 波及効果と発展性など

昨年度に比べ、扱う画素数が増大するとともに、読出回路の比重が大きくなった。本プロジェクトの遂行により、大規模光子検出システムの実現による電波天文や材料物性、医療分野におけるイメージング技術の格段の向上、コヒーレント光通信限界を超える光波量子受信器の開発などが期待される。また本課題の成果を、東北大が有するサブミリ波・テラヘルツ波発生技術と統合することにより、情報通信分野における新しい知見・技術の獲得が可能と考えられる。

[4] 成果資料

- [1] K. Sakai, R. Yamamoto, Y. Takei, K. Mitsuda, N. Yamazaki, M. Hidaka, S. Nagasawa, S. Kohjiro, T. Miyazaki, "Development of Frequency-Division Multiplexing Readout System for Large-Format TES X-ray Microcalorimeter Arrays," *J. Low Temp Phys.* (2016), DOI: 10.1007/s10909-016-1564-2.
- [2] K. Karatsu, A. Dominjon, T. Fujino, T. Funaki, M. Hazumi, F. Irie, H. Ishino, Y. Kida, T. Matsumura, K. Mizukami, M. Naruse, T. Nitta, T. Noguchi, N. Oka, S. Sekiguchi, Y. Sekimoto, M. Sekine, S. Shu, Y. Yamada, T. Yamashita, "Radiation Tolerance of Aluminum Microwave Kinetic Inductance Detector", *J. Low Temp. Phys.* (2016), DOI: 10.1007/s10909-016-1523-y
- [3] (Invited) K. Karatsu, S. Mima, S. Oguri, J. Choi, R.M.T. Damayanthi, A. Dominjon, N. Furukawa, H. Ishino, H. Ishitsuka, A. Kibayashi, Y. Kibe, H. Kiuchi, K. Koga, M. Naruse, T. Nitta, T. Noguchi, T. Okada, C. Otani, S. Sekiguchi, Y. Sekimoto, M. Sekine, S. Shu, O. Tajima, K. Takahashi, N. Tomita, H. Watanabe, and M. Yoshida "Development of Microwave Kinetic Inductance Detector for Cosmological Observations", *IEICE Trans.*, **E98-C**, 207 (2015).
- [4] S. Sekiguchi, T. Nitta, K. Karatsu, Y. Sekimoto, N. Okada, T. Tsuzuki, S. Kashima, M. Sekine, T. Okada, S. Shu, M. Naruse, A. Dominjon, T. Noguchi, and H. Matsuo, "Development of a Compact Cold Optics for Millimeter and Submillimeter Wave Observations", *IEEE Trans. on Terahertz Science and Technology*, **5**, 1, 49-56 (2015)
- [5] T. Watanabe, Y. Urai, H. Shimada, and Y. Mizugaki, "Pulse response of mutually-coupled dc-to-SFQ converter investigated using an on-chip pulse generator," *IEICE Trans.*, **E98-C**, 238 (2015).
- [6] (Invited) H. Yamamori, F. Hirayama, S. Kohjiro, A. Sato, T. Irimatsugawa, D. Fukuda, S. Nagasawa, M. Hidaka, H. Ishino, "Fabrication and Characterization of Nb and NbN Microwave Resonators for Multiplexed Readout of Superconducting Detector Arrays," 28th Int. Symp. Supercond. (ISS 2015), Tokyo, Nov. 16-18, 2015.
- [7] (依頼講演) 神代暁, 超伝導検出器多画素読み出しのためのマルチプレクシング技術とマイクロ波多重読み出し法に関する展望, 日本学術振興会第186(放射線科学)委員会研究会, 東京, 2015/07/28
- [8] (Invited) F. Hirayama, A. Sato, T. Irimatsugawa, H. Yamamori, D. Fukuda, S. Nagasawa, M. Hidaka, S. Kohjiro, "Low Temperature Characterization of NbN Resonators for Microwave SQUID Multiplexers," 15th Int. Supercond. Elect. Conf. (ISEC 2015), Nagoya, July 6-9, 2015.
- [9] (Invited) K. Inomata, Z. Lin, K. Koshino, J. Tsai, T. Yamamoto, and Y. Nakamura, "Itinerant microwave photon detection in driven circuit QED," 15th Int. Supercond. Elect. Conf. (ISEC 2015), Nagoya, July 7, 2015.
- [10] (Invited) K. Koshino, K. Inomata, Z. Lin, T. Yamamoto, and Y. Nakamura, "Theory of deterministic switching of a superconducting qubit induced by single microwave photons," 15th Int. Supercond. Elect. Conf. (ISEC 2015), Nagoya, July 9, 2015.
- [11] (招待講演) 猪股邦宏, Lin Zhirong, 越野和樹, 山本剛, 中村泰信, 人工 Λ 型原子を用いたマイクロ波単一光子検出, 第63回応用物理学会春季学術講演会, 2016/3/22, 東京.

採択回数	1	2	3
(若手)			

採択番号 H25/A06

感性情報を高精度に伝達する 音声情報通信システムの研究

〔1〕組織

代表者：田中 章浩
(東京女子大学現代教養学部)
対応者：坂本 修一
(東北大学電気通信研究所)
分担者：なし
延べ参加人数：5人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 14 万 5 千円
特別支援費（若手）20 万円

〔2〕研究経過

音声情報通信システムにおいて、情報の発信と受容の担い手は人間であり、人間の音声知覚の特性を十分に考慮したシステムの構築が望まれる。例えば、発話速度やポーズの長さといった要因が音声の聞き取りに大きく影響することが知られている。

また近年は、高次臨場感通信など感性情報の伝達の重要性が非常に高まってきている。「何を言っているか」のみならず、「どのように言っているか」すなわち話し手の情動や印象などの感性情報の伝送を実現する上では、音声の言語情報のみならず、パラ言語情報も併用することが必要不可欠であると考えられる。しかし、パラ言語情報の音響特徴量がどのような要件を満たせば感性情報を効果的に伝送できるのかは明らかでない。

そこで本研究では、感性情報を高精度に伝送可能な音声情報通信システムを構築するための基礎的検討として、人間の音声知覚能力を検討して、高感性音声情報通信システムが満たすべき要件を同定することを目的とする。

本プロジェクトは、平成 22～24 年度に共同プロジェクトとして採択された「人間の知覚特性を考慮したマルチモーダル音声情報処理システムに関する研究」の延長として位置づけられる。前回の共同プロジェクトの成果をもとに、マルチモーダル情報に限定せず、音声に含まれる感性情報の知覚特性について包括的に検証することで、自然で豊かな感性情報通信を実現すべく発展させることを目標とする。

最終年度にあたる本年度は、音声伝達する感性情報の一つである感情、アニマシー（生物らしさ）、および緊急性の知覚プロセスについて検討した。本年度は電子メールや他箇所開催学会会場等において研究打ち合わせを随時実施したため、東北大学での打ち合わせは1回のみ実施した（2016年2月）。打ち合わせでは、音声による感情知覚の発達比較実験、音によるアニマシー知覚実験、および音の緊急性知覚が認知課題の遂行に及ぼす影響に関する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

（3-1）研究成果

1) 感情知覚

人間は音声のパラ言語情報から感情を知覚することができる。また、顔の表情を加味したマルチモーダル情報を用いることで、より迅速かつ高精度に微妙なニュアンスも含めた感情情報を知覚することができる。本研究では顔と声を併用したマルチモーダルな感情知覚の発達過程について検討した。実験では顔の表情（喜び・怒り）と音声（喜び・怒り）が表す感情が一致するまたは不一致な動画を呈示し、実験参加者に知覚される感情を回答させた。実験の結果、5～6 歳児では約 90% のケースで顔の表情が表す感情が知覚されていた。この顔優位性は児童期に徐々に低下していき、日本人参加者の場合、成人になると顔を選択するケースと声を選択するケースがほぼ半数ずつとなった。一方でヨーロッパの参加者（オランダ人）では成人になっても顔優位性が持続した。こうした発達段階や文化差を解明することで、年齢および文化に応じてカスタマイズ可能な感性情報通信技術の設計指針が得られたといえる。

2) アニマシー知覚

人間は実際の生物の姿を見なくても、影や音から生きものらしさ（アニマシー）を知覚することができる。どのような音響的特徴がアニマシーを伝えるのかを明らかにすることで、迫真性の高い音情報通信技術の設計指針を得ることができる。音によるアニマシー知覚の研究はほとんどないが、視覚における先行研究からは、対象の運動エネルギーが増加するとアニマシーが増加することが明らかになっている（ニュートン違反仮説）。一方で、対象の疲労によってエネルギーが減少したときにもアニマシーが増加する可能性も考えられる（疲労仮説）。そこで断続音を用いて、聴覚におけるアニマシーの規定因について検討した。純音および実際の生物の音声から作成した擬生物音を刺激として用いた。実験1では断続音の呈示間隔を操作した。実験の結果、呈示間隔が徐々に縮小するときアニマシーが増加し、ニュートン違反仮説が支持された。実験2では音圧を操作した。実験の結果、呈示音圧が徐々に増加するときアニマシーが増加し、疲労仮説が支持された。したがって、音の異なる属性ごとに異なる仮説を支持する結果が得られた。

3) 緊急性知覚

災害時などの緊急場面では、緊急性を確実かつ迅速に伝達し、適切な行動を促進するための情報呈示技術が求められる。本研究では、どのような警告音が人々の適切な判断や行動を促進するのかを検証するために、音によって知覚される緊急性を操作し、難度の高い認知課題の遂行に与える影響を明らかにする実験を実施した。同一の刺激に対して異なる反応が求められるような場面を想定し、課題遂行中に呈示される音刺激を合図に課題を切り替えるストループ様サイモン課題を用いた。実験の結果、緊急性が低い音と比べて緊急性が高い音の呈示後に難度が高い課題に切り替えたとき、反応時間およびエラー率が急激に増加した。一方、課題難度が低い課題に切り替える際には反応時間およびエラー率に変化は見られなかった。緊急性の高い音の知覚処理に多くの注意資源を消費されてしまったため、難度の高い課題遂行に必要な注意資源が枯渇し、その後の課題遂行に干渉した可能性が考えられる。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

心理物理実験を通して人間の知覚プロセスを明らかにすることで、従来の手法以上に効果的かつ自然で豊かな音声情報を伝送可能な条件を見出し、「何を言っているか」と「どのように言っているか」の2

つの側面のバランスのとれた音声情報通信システムの構築へとつながることが期待される。

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。また、本プロジェクトをきっかけに、代表者は日本認知科学会で新たな分野に関するワークショップを企画・開催した（2015年11月）。これらのプロジェクトやワークショップ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。また、上記3の研究成果は日本音響学会聴覚研究会ビギナーズセッションにおいて研究奨励賞を受賞した。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、日本語者を対象とした実験結果を活かして国際比較研究をおこなうことで、感性音声情報処理に言語や文化が与える影響の解明という新しい研究領域の開拓に結びつくことが期待される。

なお、本年度は若手研究者対象の特別支援を受けた。特別支援分の研究費により、実験で用いる機器の購入を進めることができ、研究が大きく進展した。

〔4〕成果資料

学会発表等

（1）井口望・田中章浩 "音の緊急性知覚が認知課題の切り替えに及ぼす影響" 日本音響学会聴覚研究会（2015年11月）【研究奨励賞受賞】

（2）河原美彩子・Disa Sauter・田中章浩 "多感覚な情動認知における文化差の発達過程" 日本認知科学会 知覚と行動モデリング研究分科会（2016年3月）

（3）澤田佳子・田中章浩 "音から感じるアニマシー - 音の間隔と音圧がアニマシーに及ぼす影響 - " 日本認知科学会 知覚と行動モデリング研究分科会（2016年3月）

国際会議、シンポジウム等への発展

（1）日本認知科学会・知覚と行動モデリング（P&P）研究分科会ワークショップ（東京）（2015年11月）

採択回数	1	2	3
(先端・萌芽)			

採択番号：H25/A07

脳内の多チャネル色情報表現に関する研究

[1] 代表者：栗木 一郎

(東北大学)

対応者：栗木 一郎

(東北大学電気通信研究所)

分担者（50音順）：

佐藤 智治（豊橋技術科学大学）

中内 茂樹（豊橋技術科学大学）

永井 岳大（山形大学）

延べ参加人数：4人

研究費：物件費13万7千円，旅費1万2千円

[2] 研究経過

人間の脳内における色情報処理メカニズムを心理物理学的に調べる。色彩は人間の視覚情報の中で強い影響力を持っている。カラー画像は白黒画像よりはるかに多くの情報を持っており、例えば、物を探す時に対象物と妨害物が色で区別できる場合には、探索効率が劇的に向上（ポップアウト）する。インターネットや放送などの情報通信網を通して映像情報を提示する場合には色の情報は大きな役割を担うため、色情報処理の基礎メカニズムの解明は重要な課題である。近年の複数の研究により、人間の脳内で色情報を表現する仕組みが、従来考えられていた赤／緑と青／黄の成分の組み合わせではない事が示されているが、詳細はまだ明らかではない。本共同研究では、主に心理物理実験を通してその特性の解明を試みた。

本研究における代表者・共同研究者はこの問題にすでに個々のアプローチを試みており、これらの研究者が共同する事により、新たな成果に結びつく可能性は極めて高い。他の視覚・感覚モダリティとの相互作用などの高次の視覚情報処理を必要とする心理物理学的な課題において、従来考えられていた色情報の表現形式では説明できない効果を見出すことにより、多チャネル色メカニズムの特性の解明に繋がることが期待される。その結果を学会発表や学術論文として対外的に発表し、将来的に科研費などの研究助成を将来的に共同申請するためのスター

トアップとして本共同研究を実施した。

第3年度は、第2年度までに得られた研究成果の補強実験や国際会議や論文誌での発表などを中心に活動を行い、そのための打ち合わせ等を行った。

[2. 1] 打ち合わせおよび研究概要

2015年7月に東北大学さくらホールにて開催された色覚に関する国際会議 23rd Symposium of International Colour Vision Society (ICVS 2015；通研国際シンポジウム共催)における発表に合わせて、平成27年度の打ち合わせを行い、心理物理実験の結果に関する成果発表および追加実験／解析に関する検討を行った。特に、国際会議発表とその内容を原著論文として投稿する準備、ならびに査読対応について行った。

網膜において存在する3種類の錐体 (L, M, S) の信号の線形結合 (L-M, S-(L+M)) によって網膜で初期の色覚情報が形成される事が知られており、この情報の形態は外側膝状体 (LGN) まで維持されている事が知られている。

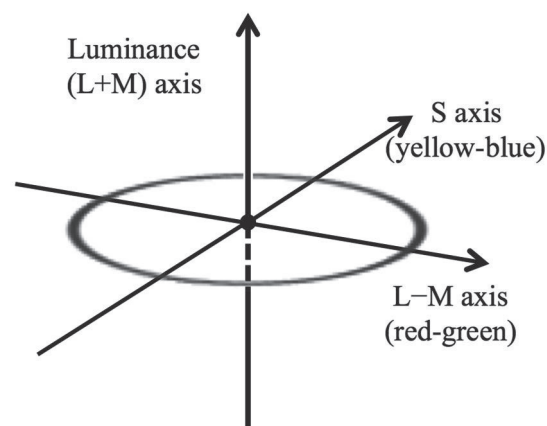


図1. 錐体拮抗型反対色空間. L, M, S は長・中・短波長に最大感度を持つ光受容器（錐体）の応答を示す. L-M は主に赤・緑, S-(L+M) は青・黄, L+M は輝度軸を構成する. この色表現形式は脳の直前まで保持されている。

一方, Hanazawa et al. (2000) および Wachtler et al. (2003) のマカクサルにおける電気生理学的研究

において、第一次視覚野 (V1) のニューロンは L-M および S-(L+M) の座標軸以外の方向に選択性を持つニューロンの存在を報告している。これらのニューロンは単なる L-M, S-(L+M) の線形結合ではない狭帯域の色相選択性を示すものが存在していた。一方、心理物理学的研究において、Webster and Mollon (1994), Goda and Fujii (2001), Hansen and Gegenfurtner (2005) は同様に中間的な色相に選択性を持つシステムの存在を報告している。しかし、これらの心理物理学的研究の多くは色の見え方そのものに依存しない色の弁別・検出といった特性に関する報告か、色の見えに関する研究であってもテストされる色相方向が限定され、中間的な色相の選択性を持つシステムの数 (バリエティ) に言及していない。Kuriki (2007) は、コントラスト順応を行った後の色の見え方の変化特性を計算モデルによりフィッティングすることでシステム数の推定を試みている。最近では、色の弁別とカテゴリー化に関する課題を行う時の刺激呈示時間を操作 (50 ms, 500 ms) すると抽出される色相選択的メカニズムが狭帯域から広帯域に変化する、という心理物理学的研究報告が存在する (Cropper et al., 2013)。しかし、中間的な色相に選択的なメカニズムの様相に関する結論は得られていない。

一方で、色の見えのメカニズムは色検出・弁別メカニズムと共通であるとする発表 (Hillis and Brainard, 2005) も存在する。しかし、非白色に順応したときの最大感度は順応色と一致するものの、色の見えの中立点 (無彩色点) は順応色と必ずしも一致しないことは、色恒常性研究における不完全順応の報告 (Fairchild and Renniff, 1995; Kuriki and Uchikawa, 1998) および経験的な観察からも明らかであり、この現象について非白色の順応環境での検証が必要であると考えられる。無彩色点特性は色の見えメカニズム (多チャネル色情報表現) を反映している可能性が高く、色弁別特性は低次の視覚システムの特性を反映している可能性が高い。

以上の論点整理の結果、非白色順応条件下における色の見えのシフトと色弁別最大感度の関係について、心理物理学的手法および計算モデルを用いて調べる実験をおこなった。

[3] 研究成果

まず、佐藤・永井が中心に行った心理物理学的研究の成果発表について報告する。また栗木が進めている関連研究として、脳内の色相選択的メカニズムのバリエーションを脳活動計測 (fMRI) により調べた研究についても、その成果を報告する。

[3. 1] 心理物理実験による研究

昨年度までの心理物理実験では、微妙な色の違いを見分ける (弁別) 能力と、色の見え方の違い (色差) を量的に評価する能力を評価する実験を行ない、赤背景に順応した時には両者の能力の中立点が異なる事を示す結果を得た。白色順応時は中立点が順応色とほぼ一致していた。色弁別の研究は主に、少数メカニズムの出力の組み合わせで実験結果が表現できると主張しているが、それだけでは色の見え方は説明できない事を示した。

色差の評価データは、等輝度色平面において赤と緑を結ぶ 1 直線上から 2 色のペアをランダムに抽出し、被験者にペア間で感じた色差の大小を評価するよう指示して得たものである。その結果を MLDS (maximum-likelihood differential scaling) という解析方法で整理し、横軸に色度、縦軸に緑から赤色までの色差を積算した曲線を得る。この積算曲線では、色の差に対する感度が高いところでは色差が大きく評価され、曲線の傾きはより急峻になる。従ってこの曲線を横軸 (色度) 方向に微分することにより感度軸に変換する事が可能となる。弁別感度データは、弁別に必要な色差の閾値が縦軸の値であるため、その逆数をとれば感度曲線を得る事ができる。このような方法で導出された、異なる視覚評価実験の感度曲線の比較を行なった。

赤色順応下と白色順応下での 2 つの感度曲線の一致度/不一致度は白色/赤色順応下で高くなる傾向が見られ、これまでの結果を支持している。

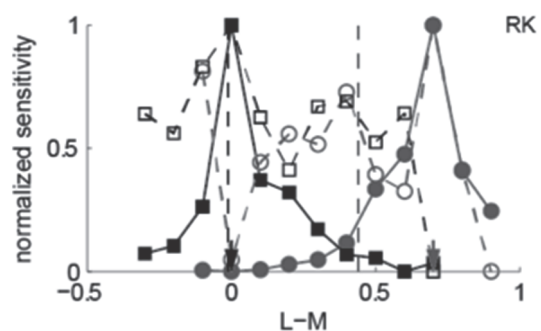


図: 感度表現にした複数メカニズムの特性の比較 (文献[2]より部分を拡大)。横軸は緑-赤方向の色度、縦軸は正規化された感度を示す。四角形 (■/□) が白色順応、円形 (●/○) が赤順応、実線は弁別、破線は色差の結果を示す。

図の赤順応の色差感度において、ピークが複数見られること、大きい方が背景色 (横軸上の \downarrow) ではなく無彩色点 (垂直の破線) に対応している事の 2 点がわかる。この結果から、色差と弁別のメカニズムが異なる事、色差メカニズムが 3 つ以上複数存在する事の 2 点が明らかになった。

これらの研究成果は、東北大学さくらホールにて開催した国際会議 International Colour Vision Society 2015 にて発表し[1], その内容を原著論文として投稿した. その結果, Journal of the Optical Society of America A に採録された[2]. また共同プロジェクト発表会においてもポスター発表[3]を行った.

[3. 2] 脳活動計測による研究

脳活動計測 (fMRI) を用いて色相選択的な色メカニズムの存在を検証する研究を理化学研究所と共同で行った. この研究では, 色相が時間的に徐々に変化する視覚刺激を呈示し, MRI 画素 (voxel) ごとの脳活動 (BOLD) 信号の時間変化を推定した. いわゆる位相エンコーディングによる視野マッピングと同じ手法だが, 各 voxel の色相に対する選択性をマッピングする事が特徴である.

さらに色情報を表現する 2 軸の中間方向 (45, 135, 225, 315 deg) に選択的な順応の有無について実験及び評価を行った. もし中間的な色相に対する応答が, 低次の視覚神経系 (網膜など) において支配的に存在する軸性メカニズム (+L-M, -L+M, +S-(L+M), and -S+(L+M)) の組み合わせでできていれば, 少なくとも隣方向 (+/- 90 deg 方向) の色に対する反応は半減するはずである. 具体的には, 45 deg 方向の色に対する応答が, 0 deg 方向の軸性メカニズム (+L-M) と 90 deg 方向の軸性メカニズム (+S-(L+M)) の組み合わせでできていれば, 45 deg の色に対する順応ではその 2 つの軸性メカニズムも刺激を受け, 順応が生じるはずである. 135 deg と 315 deg 方向の色に対する反応は, 0 deg あるいは 90 deg の軸性メカニズムを 45 deg の色と共有するはずである. 従って, 45 deg の色に対する順応では, 135 deg, 315 deg の刺激に対する応答も半減すると予想される. 結果は, 順応色にのみ選択的な BOLD 信号応答の低下が見られ, +/- 90 deg 方向の信号低下はほとんど見られなかった. むしろ, 第 4 次視覚野 (V4) では顕著な信号上昇が見られた.

我々が発見した中間色相に選択的な BOLD 信号応答は, 既に存在を知られている軸性メカニズムの応答の組み合わせではなく, 独自の色選択性を持つ神経系の存在を示唆する直接的な証拠である.

本研究により赤/緑, 青/黄の 4 つの反対色以外の中間色にも選択性を持つ神経細胞の直接的な応答が得られた事が, 人間が色を知覚するメカニズムの解明に向けた大きな一歩であると考えられる. 本研究成果については, 国際的に著名な脳科学研究の論文誌 Cerebral Cortex (IF = 8.67) に原著論文[4]が掲載された. また本論文に関する英文・和文プレスリリースに対し, EurekAlert!, ScienceDaily, 大学ジャーナルなどの科学系オンラインニュースサイトで取り上

げられた.

[3. 3] まとめ

錐体反対色型の色情報表現と, カテゴリー的な高次の色情報表現の間に, 中間的な色相に選択性を持つ多チャネルの色情報表現がある事は脳活動計測の研究から明らかにする事ができた. しかしながら心理物理学的・知覚的に顕著に多チャネル色情報表現を示す研究事例が少なく, 我々の色差に関する実験でもその片鱗が確認できたにすぎない. チャネルの具体的な数やバンド幅について言及するには心理物理学的なアプローチでは限界が存在する. 脳機能計測との組み合わせによる, さらに新しい研究アプローチを開発する必要がある事を改めて認識した.

今回の共同研究で得られた知見をさらに深く掘り下げて行くためにも, 科研費などの外部資金による共同研究に発展させて行く予定である.

[4] 成果資料 (関連する研究発表など)

- 1) [Sato T, Nagai T, Kuriki I, and Nakauchi S.](#) (2015) Dissociation of neutral chromatic points for color discrimination and color appearance under incomplete chromatic adaptation. *23rd Symposium of International Colour Vision Society*, Sendai, Japan, Jul, 2015.
- 2) [Sato T, Nagai T, Kuriki I, and Nakauchi S.](#) (2016) Dissociation of Equilibrium Point for Color-Discrimination and Color-Appearance Mechanisms Under Incomplete Chromatic Adaptation. *Journal of the Optical Society of America A*, 33(3), A150-A163. doi: 10.1364/JOSAA.33.00A150
- 3) 佐藤智治, 永井岳大, 栗木一郎, 中内茂樹「脳内の多チャネル色情報処理に関する研究」平成 27 年度共同プロジェクト研究発表会.
- 4) [Kuriki I, Sun P, Ueno K., Tanaka K., and Cheng K.](#) (2015) Hue selectivity of neurons in human visual cortex revealed by BOLD fMRI. *Cerebral Cortex*, 25, 4869-4884. doi: 10.1093/cercor/bhv198

採択回数	1	2	3
(若手)			

採択番号 H25/A08

非線形時変特性を持つ聴覚情報表現による 音声処理技術の開発

〔1〕組織

代表者：森勢 将雅
(山梨大学大学院総合研究部)

対応者：坂本 修一
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
鈴木 陽一 (東北大学電気通信研究所)
小澤 賢司 (山梨大学大学院総合研究部)
横森 文哉 (山梨大学大学院総合教育部)
延べ参加人数：5 人

研究費：物件費 13 万 7 千円、旅費 18 万 5 千円
若手特別支援費 20 万円、

〔2〕研究経過

発話音声から知覚した好感度に対応する音響特徴量を策定するための検討を実施した。本年度が 3 年目である本研究プロジェクトでは、これまで人間の聴覚特性に立脚した音声処理技術を提案し、音声を構成するパラメータ(基本周波数、スペクトル包絡、非周期性指標)を世界最高峰の精度で推定する方法を提案してきた。また、既存の音声データベースを用いた主観評価により、音声から知覚する好感度には共通性があることを示した。

本年度では、まず音声の好感度には男女差があるという先行研究の知見に基づき、女性発話を対象として好感度の男女差の有無に関する大規模な主観評価を実施した。評価結果から、先行研究通り男女差が存在することを示した。次いで、男女差を引き起こす原因となる音響特徴量を明らかにするため、いくつかの代表的な音響特徴量と主観評価結果との相関関係を確認した。分析の結果、有意な相関が認められる特徴量が性別により異なること、また、特定の音響特徴量は、性別により逆の相関傾向を示すことが明らかとなった。

これらの内容について、平成 27 年 8 月に東北大学電気通信研究所(以下通研と呼称する)を訪れ、通研対応教員、研究分担者による集中的なディス

カッションを実施した。平成 28 年 2 月には、通研で開催された共同プロジェクト研究発表会で成果報告を行い、他研究者との意見交換も行った。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

本年度の研究により、音声から知覚する好感度には男女差が存在すること、女性被験者については、複数の音響特徴量と主観評価結果との相関が認められたが、男性は女性と比較して相対的に有意な相関が認められた音響特徴量が少ないことが明らかとなった。さらに、男女差が、主に音声のスペクトル包絡から求められる傾斜に起因することも確認された。以下では、主観評価と音響特徴量との対応付けについて個別に説明する。

(1) 女性発話を対象とした好感度評価実験

昨年度の検討では、感情豊かな自由会話音声を収録した UUDB と呼ばれる音声データベースを対象に実験を行った。一方、音響特徴量の統計的な解析を行うためには、複数の発話者が、同一でなおかつ文章から特定の感情を想起させないテキストを用いることが重要となる。そこで、本研究では、まず女性大学生 21 名を対象に、架空の動物を説明するというシナリオでテキストを読み上げさせ、実験刺激音声を収録した。発話テキストは、その中の 1 つである「濃い黄色の体と頭に生えた 5 センチメートルの大きな毒針が特徴。鼻と足は薄紅色」を選択した。音声のサンプリングは 44.1 kHz/16 bit とし、収録は防音室で実施した。発話速度は指定せず、話し方に不自然さが残らないように、言い間違いなどは録り直しさせた。

主観評価実験では、収録した音声をランダムに再生し、被験者には以下に示す 5 つの項目について回答させた。

1. この人と友達になりたいですか
2. この人は親しみやすいですか
3. この人は好きですか
4. この人の声は好きですか

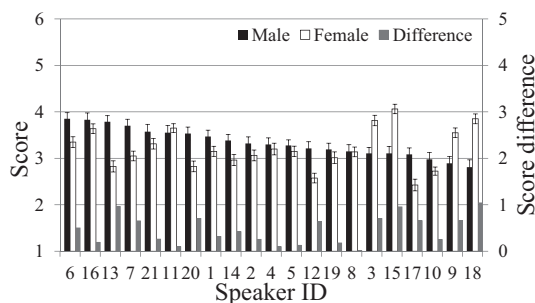


図1：主観評価結果。横軸は発話者のID、縦軸はスコアを示す。男性被験者（黒棒）の降順にソートして表示している。灰色の棒は男女差を示し、右側の数値を参照する。

5. この人は男性からモテると思いますか

それぞれの音声について6件法により1が全くそう思わない、6がとてもそう思うとして評価させた。被験者数は男性47名、女性80名であり、全員が大学生である。音声の長さは被験者によってまちまちであるが、概ね8秒程度であり、回答時間は12秒程度（1セット20秒）に設定した。

実験結果を図1に示す。図の横軸は発話者のID、縦軸はスコアの平均を男女毎に示している。灰色のバーは男女差の絶対値であり、右側の数値を参照する。図1では、男性のスコアの降順にソートしている。図から明らかに、性別により評価が大きく異なる話者（例えばID 13, 15, 18）の存在が確認できる。一方、男女ともに評価が高いID 16のような発話者も存在する。以下では、この主観評価のスコアと音響特徴量との対応付けを行い、スコアと相関が認められる音響特徴量について検討する。

(2) 音響特徴量との対応付け

代表的な音響特徴量として、発話全体の対数基本周波数（F0）の平均、標準偏差、各母音のフォルマント周波数、倍音構造のパワー差（F0 Hzのパワーと2F0や3F0 Hzのパワーとの差分）、スペクトル重心、スペクトル傾斜を対象に分析を実施した。ただし、本資料では、その中でも特徴的な傾向が認められたものについて限定して報告することとする。

はじめに、対数F0の平均と女性被験者の質問5との相関を図2に示す。図の横軸は対数F0、縦軸はスコアであり、各点が話者に対応する。対数F0は他の質問、および男性被験者では有意な相関が認められていない。この結果は、「女性は、男性は声の高い女性を好むと考えている一方、男性は高さで好感度を判断していない」という可能性を示唆する。

次いで、フォルマントの分析結果から、最も相関が高かった結果の散布図を図3に示す。横軸は第一フォルマントであり縦軸はスコアである。フォルマントに関しては、女性の/a/, /u/, /o/を対象に有意な相

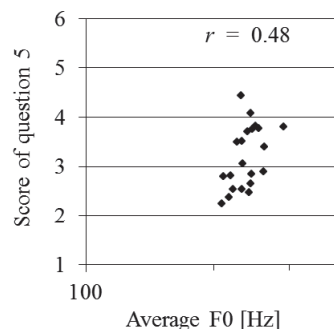


図2：対数F0の平均と好感度スコアとの関係。 r は相関値を示す。

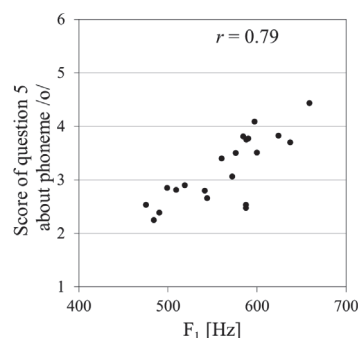


図3：第一フォルマントと女性被験者の好感度スコアとの関係。

関と認められる結果が得られた。一方、男性被験者については、全母音、全質問において相関が認められなかった。この結果は、女性は第一フォルマント、主に舌の位置や開口度が好感度と対応する可能性を示唆する。

最後に、スペクトル傾斜の結果を図4に示す。スペクトル傾斜は、負の傾きが大きいほど低域にパワーが集中しており、傾斜が0に近いほど高域までパワーを含むことを示す音響特徴量である。スペクトル傾斜については、被験者の性別により異なる傾向が得られた。女性被験者は、スペクトル傾斜が急であるほど好感度が高く、男性は逆の傾向であることを示している。なお、有意差は、特定の母音と質問により得られた場合と得られなかった場合があるが、女性被験者が負の相関、男性被験者が正の相関であった。スペクトル傾斜については、特定の心理量と明確に対応するという知見は無いが、本実験の結果からは、男女で好感度の違いの主因はスペクトル傾斜の違いであることを示唆する。

以上の結果は、女性発話を対象に行われたものであり、主に女性被験者の結果については多くの音響特徴量と相関が認められたことを示す。男性話者の発話についての評価は実施していないので、同様の実験を男性話者についても同様に行うことが重要である。また、これらの結果を音声合成に活用し、好感度を改善する音声処理を実現することは大切な検

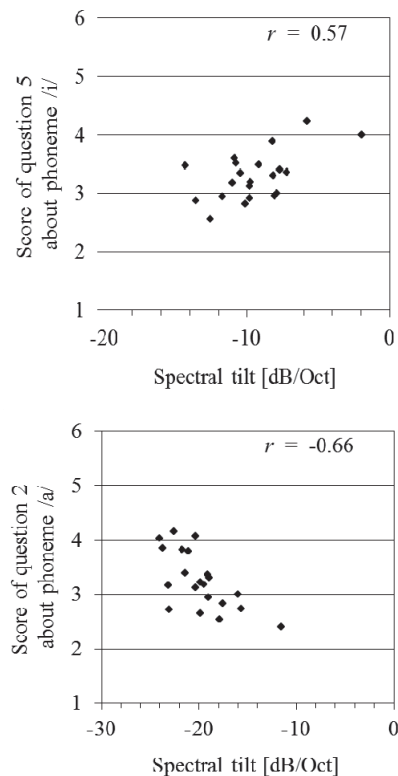


図4：スペクトル傾斜と好感度スコアとの関係。
男性被験者は正の相関（上段）、女性の被験者は
負の相関（下段）が認められる。

討項目である。本研究プロジェクトにより、上記検討を進めるための基盤が完成している。また、（3－2）で示す通り、本研究プロジェクトを通じて文部科学省の概算要求に採択された新たなプロジェクトがスタートするため、本研究プロジェクトは極めて高い価値と発展性があったといえる。

（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により、音声の中の好感度という心理量と対応する音響特徴量の存在が示唆され、被験者の性別により逆の傾向を示す特徴量が存在することも確認された。その他音声分析を行うアルゴリズムも開発しており、現在世界中の研究機関で利用されるようになりつつある。

本報告書の提出段階で学術論文を2本投稿中であり、さらに1本の学術論文として投稿するための準備をしている。研究成果を積極的に発表することで、本プロジェクトの成果を幅広い研究者に周知することを目指す。

（大型プロジェクトに繋がった事例などの研究分野への貢献）

本研究内を発展させ、特に非線形時変特性を持つ聴覚情報表現を計算機上に高精度に構築し、音声処

理を人間の脳に準拠した形で行うためのプロジェクトが立ち上がった。本概算要求は、本プロジェクト単独ではなく、山梨大学が「脳科学のパラダイムシフトに向けた医工融合研究」について申請し採択された事業である。本プロジェクトは、大学を代表する3大プロジェクトの1つと位置付けられる。

- ・脳機能準拠型インタフェースの構築とその応用
- ・平成28年度概算要求事業
- ・山梨大学
- ・平成28年度（平成30年度までを予定）

（特別支援（若手）にかかる研究成果）

特別支援（若手）に関する研究費の上乗せは、実験にかかる機材を充実させることに繋がり、主観評価や計算機シミュレーションを円滑に進めることを可能にした。それにより、前年度より多くの研究成果を達成し学会発表件数も例年より多く実施することとなった。

〔4〕成果資料

（1）M. Morise and K. Ozawa: Speaker identification framework by peripheral and central auditory models, *Acoust. Sci. & Tech.*, vol. 36, no. 4, pp. 340-343, 2015.

（2）M. Morise: Error evaluation of an F0-adaptive spectral envelope estimator in robustness against the additive noise and F0 error, *IEICE transactions on information and systems*, vol. E98-D, no. 7, pp. 1405-1408, 2015.

（3）横森文哉，大柴まりや，森勢将雅，小澤賢司：スペクトル包絡情報を入力とした Deep Neural Network に基づく歌声のための声質評価，情報処理学会音楽情報科学研究会，vol. 2015-MUS-107, no. 61, pp. 1-6, 2015.

（4）森勢将雅：帯域毎の非周期性指標推定法とその誤差評価，" 電子情報通信学会技術研究報告，vol. 115, no. 99, pp. 13-18, 2015.

（5）横森文哉，二宮大和，森勢将雅，田中章浩，小澤賢司：女性発話を対象とした好感度評価の男女差の検討，日本音響学会聴覚研究会，vol. 45, no. 8, pp. 631-636, 2015.

（6）森勢将雅：目指せ音声分析合成マスター！～「よくわからない」から「ちょっとわかる」へのチュートリアル～，日本音響学会聴覚研究会，vol. 45, no. 8, pp. 697-702, 2015. **〔招待講演〕**

（7）横森文哉，二宮大和，森勢将雅，田中章浩，小澤賢司：好感度の男女差に着目した女性発話のスペクトル分析，日本音響学会 2016 年春季研究発表会，pp. 281-284, 2016.

採択番号 H25/A09

視覚モデル構築のための協調的環境に関する研究

代表者：酒井 宏

(筑波大学)

対応者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

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 (順天堂大学)

河原純一郎 (北海道大学)

西田真也 (NTT)

一川 誠 (千葉大学)

石井雅博 (札幌市立大学)

大澤五住 (大阪大学)

行場次朗 (東北大学)

北岡明佳 (立命館大学)

佐藤俊治 (電気通信大学)

栗木一郎 (東北大学)

松宮一道 (東北大学)

丸谷和史 (NTT)

細川研知 (東京大学)

他東北大研究員、学生 10 名

電気通信大学学生 1 名

延べ参加人数：29 人

研究費：物件費 13 万 7 千円、旅費 14 万 4 千円

[2] 研究経過

人間生活にとって、感覚、知覚、認識機能は生物学的意味でも、社会学的意味でももっとも重要なもののひとつである。現在、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、特に研究が進んでいて、また学際化においても広がりを持つ視覚機能に着目し、その理解を促進するためのモデル研究の協力システムのあり方について検討する。視覚のモデルとしては、色覚、時空間特性、運動視特性、立体視特性など初期処理についての定量的なものが提案されているし、注意や物体表象などの高次処理

については多くの抽象的なものが提案されている。

それらは一般に共通の環境に依存しないため、相互関連を検討することには困難が伴う。本研究は、平成 20 年度から 22 年度に進めた「視覚認識機能のモデル実現のための協調的システムの研究」での検討結果に基づき、共通環境実質化をめざして研究を行った。

今年度は、視覚の協調的モデル構築のために、佐藤らの進めている OpenRTM-aist を利用した環境の共有化について、普及に関する問題点などについて検討した。以下に、研究活動状況の概要を記す。

7 月 10 日-12 日開催の 2015 年アジア太平洋視覚会議において、代表者酒井、塩入の企画したシンポジウムなどの研究発表を中心に、参画者らが、視覚モデルの利用について情報交換した。

2 月 23 日 代表者酒井、分担者佐藤、細川らによるモデル構築プラットフォームの利用方法について打合せを企画し、OpenRTM-aist の応用展開、問題点の確認、各種視覚モデルへの展開などの議論を行った。本プロジェクトの検討項目をまとめ、今後の展開についても議論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

以下に研究会において議論した各テーマについて、その概要を記す。

2 月 23 日の所内での研究打合せにおいては、佐藤の OpenRTM を利用した協調的視覚モデル構築環境 (Hi-Brain) の応用的展開、モデル対象として視覚情報のボーダー所有処理モデル、視線予測に関する頭部方向利用と誘目性地図との協調モデル、細川らの開発した視覚刺激呈示環境、Psychlops の各種モバイル機器への展開に関する議論を行った。

以下協調的視覚モデルについての本プロジェクト全体についてまとめる。

1. 視覚数値モデル開発に OpenRTM を用いた Hi-Brain が利用可能である。
2. Hi-Brain の利用には、OpenRTM 用の OS 環境が必要であり、また通常のパイプライン的な

画像処理とは異なる発想のシステムとなる点普及に問題もある。

3. 広く利用可能な環境として、フリーの画像処理ソフト Gimp のプラグインを利用した簡易的視覚モデル環境の検討も必要である。
4. Web 上でのモデル構築環境の実現が理想であるが、現状では困難が多い。
5. 視覚実験構築環境である Psychlops との連携については、データ形式の共通化から始めることは可能である。また、Psychlops の iPad 対応や web 経由の利用への展開が予定されていて、モデル構築の広がりとしても期待できる。
6. モデル利用の方向性として、眼球光学系、網膜、視覚 1 次野を中心に、各視覚処理階層の初期の標準モデルを提供する方針を確認した。
7. より詳細なモデルとして、周辺視特性や皮質拡大係数、心理物理実験の判断などに関するモデルかも含める方向で検討する。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

協調的に視覚モデルを構築利用することで、視覚研究の発展が期待されるのみならず、画像工学的な展開が期待できる。本研究の成果に基づき、フリーソフトを利用した、視覚モデル構築を実現するための方略が確立しつつあり、今後のプロジェクトにおいて頒布を検討する。

本プロジェクトと目的を共有する Visiome プラットフォーム(RIKEN BSI Neuroinformatics Japan Center)の継続開発・公開運用とコンテンツ収集・登録を通して、参画者間の連携によって他機関の共同研究および開発企画と協調的な展開を継続して進めた。

・Visiome プラットフォーム(PF)の継続開発・公開運用とコンテンツ収集・登録

- ・共同研究
- ・理化学研究所

・平成 26 年 4 月 1 日から平成 28 年 3 月 31 日まで

また、本プロジェクトの議論から、アジア太平洋視覚会議 2015 年年次大会において、視覚科学において、今後重要となる研究領域として、視覚的注意モデルに関する研究、行動制御に関わる視覚処理に関する研究、視覚認識を想定した機械学習に関する研究をテーマとした以下の 3 件のシンポジウムを企画した。

- ・Visual attention from cutting-edge decoding of brain activity
- ・Vision for action --- Data-driven understanding of vision-dependent action

・Vision and machine learning --- Data-driven understanding of visual computation and cortical representation

- ・日時 2015 年 7 月 11,12 日
- ・開催場所 南洋理工大学(シンガポール)
- ・参加人数 300 人

[4] 成果資料

(1) Hatori Y, Mashita T and Sakai K. (2016) Sparse coding generates curvature selectivity in V4 neurons. JOSA, A (in press).

(2) Sakai K, Matsuoka S, Kurematsu K, and Hatori Y (2015) Perceptual representation and effectiveness of local figure-ground cues in natural contours. Front. Psychol., 6:1685. doi:10.3389/fpsyg.2015.01685

(3) M Hasuie¹, S Ueno, D Minowa¹, Y Yamane, H Tamura, and K Sakai (2015), Figure-Ground Segregation by a Population of V4 Cells --- A Computational Analysis on Distributed Representation. LNCS 9490, pp. 617-622. DOI: 10.1007/978-3-319-26535-3_70

(3) Shioiri, S., Honjyo, H., Kashiwase, Y., Matsumiya, K. and Kuriki, I. (2015) Different spatial tunings of visual attention with different EEG measures, Asia-Pacific Conference on Vision (APCV), Nanyang Technological University, Singapore, July 10-12, 2015.

(4) Hatori Y, Kuriki I, Matsumiya K, Shioiri S, (2015) Study on image statistics when color attracts human attention", Association Internationale de la Couleur (AIC2015), Tokyo, Japan, May 19-22

(5) Hatori Y, Fang Y, Matsumiya K, Kuriki I, Shioiri S (2015) Estimation of gaze shifts based on head orientation during watching a movie sequence, Asia-Pacific Conference on Vision (APCV), Nanyang Technological University, Singapore, July 10-12

(6) Fang, Y., Nakashima, R., Matsumiya, K., Kuriki, I., Shioiri, S. (2015) Eye-head coordination for visual cognitive processing, PLoS ONE 10(3): e0121035.doi:10.1371/journal.pone.0121035, 2015.

(7) Nakashima, R., Fang, Y., Hiratani, A., Matsumiya, K., Kuriki, I., Shioiri, S. (2015) Saliency-based gaze prediction based on head direction, Vision Research Vol.117, 59-66, 2015.

採択回数	1	2	③
(先端)			

採択番号 H25/A11

ブレインウェアの情報原理とその応用の研究

〔1〕組織

代表者：加納 敏行（日本電気株式会社）

対応者：羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）

分担者：大野英男，大堀淳，中島康治，塩入論，鈴木陽一，佐藤茂雄，石黒章夫，北村喜文，矢野雅文，川上進，坂本修一，松宮一道，坂本一寛，秋間学尚，加納剛史（以上，東北大学電気通信研究所），亀山充隆，中尾光之，徳山豪，片山統裕（以上，東北大学大学院情報科学研究科），虫明明（東北大学大学院医学系研究科），佐藤直行（はこだて未来大学）河野 崇（東京大学），奥野弘嗣（大阪大学），浅井哲也（北海道大学），瀧山 健（玉川大学），野口正一（仙台応用情報学研究振興財団），牧野悌也，菅原研，松尾行雄（以上，東北学院大学），堀尾喜彦（東京電機大学），山口真美（中央大学）多田順次（東京デザインテクノロジーセンター専門学校），高橋恒一（理化学研究所），中嶋宏，田崎博（以上オムロン(株)），影山昌広，古賀昌史（以上，(株)日立製作所）木下淳宏（(株)東芝），濱本将樹，足立佳久（以上シャープ(株)），小野田邦広，光本直樹（以上 (株) デンソー），武理一郎，榊井昇一（以上，(株)富士通研究所），山川宏（ドワンゴ）小川雅嗣，松田雄馬，若山永哉，西原康介，田谷紀彦（以上，日本電気株式会社）

延べ参加人数：82 人，研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 27 万円，

〔2〕研究経過

現在の情報社会は Web に代表されるように，インターネット技術とそれを支えるハードウェアの驚異的な進歩によってもたらされて来た。1970 年代のコンピュータのシステム開発は 1990 年代の高速・大容量による高性能化に向かい，大規模な需要に対応可能な小型で安価な PC を作り出し，個人への急速な普及が可能になった。それと同時にそれらを結ぶネットワークの構築はコミュニケーションツールとしての役割を果たすことになる。このインターネット Web のプラットフォーム化によって，コンテンツ市場がオープン化して，流通するトラフィックも爆発的に増大している。インターネットのシステム資源を効率的に運用する方法として，クラウドコンピューティング，オープンフロー，SDN などが開発されている。ここで問題になっているのは，システムが大規模になってくると，予測できない変化や，故障など不測の事態が生じやすくなるが，それ

に即時的に対応することは原理的に不可能なのである。つまり，現代の科学技術はまだ大規模で非線形の複雑システムのロバストな制御方法は持っていないのである。つまり，これまでの方法論は実世界問題といわれる，無限定な環境，無限定な未来に対する認識・制御の方法論は持っていなかったのである。それを解決すべく，現在はいわゆる人工知能（AI）の研究が盛んになってきている。一つはグーグルの猫に代表されるディープラーニングであるが，この方法論は表現学習に留まっており，同じ Google 傘下の囲碁ソフト Alpha Go が世界のトッププロに圧勝したが，実世界の本質的無限定問題ではなく，確率的無限定問題において勝利しただけなので，この方法論の持つ限界を示している。つまり，これまでの AI と同様，課題であるフレーム問題は依然として解けないのである。

これに対して，本共同プロジェクト研究では，実世界問題を解決するために，生命システムのもつ多面的，階層的な情報原理を明らかにし，柔軟に情報処理が出来るブレインウェアシステムの創成を目指してきた。この目的を達成するため，国内の研究者を招いて講演をして貰ったり，ブレインウェアのアーキテクチャについての議論を行ったりしてきた。ブレインウェアのアーキテクチャとしては大きく分けて二つあり，一つは認識に関するアーキテクチャであり，もう一つは制御に関するアーキテクチャである。

1. 認識機能に関しては，入力される情報は予めシグナルであるのかノイズであるのかが知られていない。つまり，図と地が分離していない実世界におけるパターンの分節化とその記号表現と状況理解の文脈を取り入れた意味的な処理形式の研究が求められている。その上で，実世界とどのような調和的關係を築くのが問題となる。ここで，情報を創る問題に直面する。現在の環境と現在の自己から，調和的關係を仮設するための自己言及による情報生成のメカニズムの解明。
2. 制御機能に関しては，予測不可能に変化する実環境に適応的に目的（調和的關係）を達成する制御機構の研究。完全な予測制御で過去の学習は必要としない非ウィナー型の即興的リアルタイム制御機能の解明。

この二つを明らかにすることで，最適化問題，問題

解決機能、従来の記号処理を行う検索エンジンと情報ベースに代わる、ブレインウェアの意味とコンテキストを扱う情報データベースの開拓に繋がっている。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究会開催実績：

●第1回平成 27 年 4 月 28 日「シリコン網膜と SpiNNaker を用いたハードウェア初期視覚エミュレータ」(大阪大学大学院工学研究科 奥野弘嗣)、「機械学習のデジタル実装と応用」(北海道大学情報科学研究科 浅井哲也) 出席者 15 名(企業 7 名、大学 8 名) ●第2回平成 27 年 6 月 30 日「計算幾何学と画像処理アルゴリズム」(東北大学大学院情報科学研究科 徳山豪)、「シリコン神経ネットワークの実装と情報処理」(東京大学 生産技術研究所 河野崇) 出席者 13 名(企業 6 名、大学 7 名) ●第3回平成 27 年 8 月 25 日「運動学習の統一理論 - 「誤差の予測」の重要性-」(玉川大学脳科学研究所 瀧山 健)、「脳の意識・無意識過程にヒントを得た高次元ダイナミクスによる情報処理装置—複雑工学システムとしての設計—」(東京電機大学工学部 堀尾喜彦) 出席者 12 名(企業 3 名、大学 9 名) ●第4回平成 27 年 10 月 27 日「腕を切断してもへこたれない生物「クモヒトデ」に学ぶレジリエントなシステムの設計論」(東北大学・電気通信研究所 加納剛史)、「大脳視覚情報処理に基づく神経振動と曲率表現を用いた物体認識システム」—脳研究に計算機科学を変えることはできるのか— (NEC クラウドシステム研究所 松田雄馬) 出席者 12 名(企業 5 名、大学 7 名) ●第5回平成 27 年 12 月 22 日、「エピソード記憶の計算論：実験と理論に基づく脳内コードの探求」(公立はこだて未来大学 佐藤直行)、「マルチモーダル聴空間知覚に基づく高感性コミュニケーション技術の確立に向けて」(東北大学電気通信研究所 坂本修一) 出席者 16 名(企業 8 名、大学 8 名) ●第6回平成 28 年 2 月 23 日、「乳児の視覚世界の不思議を探る」(中央大学文学部心理学研究室 山口真美)、「ブレインストーミング 「ブレインウェア研究と AI 研究に関する討論」 (全員参加の討論会、話題提供 矢野雅文) 出席者 14 名(企業 2 名、大学 12 名)

[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。

ブレインウェアシステムは、リアルタイム性を必要とするために、現在のチューリングマシンを基盤としたノイマン型情報処理とは全く異なる。この情報処理機構による新しい情報システムを創出するための基本的研究を行った。これまでの人工知能研究

は第三の波と言われるブームになっている。人工知能の研究の流れは大きく分けて 2 つあって、一つは知識や推論を論理で表現し、アルゴリズムを用いて機能を実現する論理計算型人工知能であり、現在のエキスパートシステムや機械学習の研究に繋がっている。もう一つは入力データを経験として訓練し、ルールを学習することで問題解決を図るシミュレーション型人工知能がある。前者の流れをくむのが直近に話題になった Google 傘下のディープマインド社の囲碁ソフト AlphaGo であり、後者が Google の猫で知られるディープラーニングが相当する。もっとも前者はシミュレーション型との複合形態を取っており、厳密には区別出来ない。

● ディープラーニングはシステム全体のポテンシャル関数が存在する時、ローカルミニマムにトラップされるのを避けるために、たたみ込みとプーリングという方法を巧みに設計して成功したが、その設計論の理論的裏付けはない。最初のパターンの特徴を人間が設計することなくシステムが多数のデータから、特徴を統計的に取り出し、分類することに成功した点は評価出来る。しかしあくまでも表現学習に留まっている。

● 囲碁ソフト AlphaGo が世界のトップクラスのプロ棋士に圧勝したことが、世界に衝撃を与えた。これにより人工知能は人間を上回る機能を獲得したと言われているが、ここで取り入れているモンテカルロ法を繰り返し行い、確率的な無限定空間の全探索を行う代わりに強化学習を取り入れたことで、究極的に最強手が得られることを示したに過ぎない。

● 視覚認識における空間視や形態視を生理学的知見に基づいて構築して実際にハードウェア (LSI) で実現する研究を行った。膨大なアナログ回路である神経回路網でなされる脳の情報処理を LSI で実現するには、細胞アドレスをバスに送出して特定の細胞を駆動するアドレス駆動方式を用い、新たにリアルタイムで動く方法を研究した。

● 制約条件の自己生成・自己充足法はサイズフリーでリアルタイムが担保されるので、耐故障性や補償作用が自律的に行われる。予測不可能に変化する無限定環境下において、大自由度の複雑システムをリアルタイムかつ自律的に制御する方法としてウィナーのサイバネテックスの制御法を超える制御論であり、幾つかの実証実験で有効性が確認された。
・平成 27 年度東北大学電気通信研究所ブレインウェア研究会報告書 (平成 28 年 3 月刊行)

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同プロジェクト研究を推進することではじめて、人間のような意味論を扱える人間に倣った人工知能が実現出来る。

[4] 成果資料

1. D. Owaki, S. Horikiri, J. Nishii, and A. Ishiguro, "Experimental Verification of Bipedal Walking Control Exploiting Plantar Sensory Feedback", The 7th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2015), page not shown, 2015.
2. 中島大樹, 佐竹冬彦, 伊達央, 加納剛史, 石黒章夫, ヘビが示す多様なロコモーション様式の再現を目指した自律分散型ロボット, 日本ロボット学会誌, (2016 Accepted)
3. Kano T., Chiba H., Umedachi T., and Ishiguro A., Decentralized control of 1D crawling locomotion by exploiting 'TEGOTAE' from environment, The 1st International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (Swarm 2015), pp. 279-282 (2015)
4. Kano T., Owaki D., Fukuhara A., Kobayashi R., and Ishiguro A., New hypothesis for the mechanism of quadruped gait transition, The 1st international symposium on swarm behavior and bio-Inspired robotics (Swarm 2015), pp. 275-278 (2015)
75. Matsumiya K, Takahashi M, Kuriki I, Shioiri S: Active movements generate rotation-independent representations for haptic movements. *Interdisciplinary Information Sciences*, 21(2), 115-123, 2015.
6. Matsumiya K, Shioiri S: Smooth pursuit eye movements and motion perception share motion signals in slow and fast motion mechanisms. *Journal of Vision* 15(11):12, 1-15, 2015.
7. Zhengfan Xia, Masanori Hariyama, Michitaka Kameyama, "Asynchronous Domino Logic Pipeline Design Based on Constructed Critical Data Path", *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 23, 4, pp. 619-630 (2015). (DOI: 10.1109/TVLSI.2014.2314685)
8. Michitaka Kameyama, "Prospects of Computing Platform for Real-World Intelligent Systems", The International Conference on Information and Digital Technologies (2015). (CD ROM) (Invited Lecture).
9. Martin Lukac, Kamila Abdiyeva, Yoshichika Fujioka and Michitaka Kameyama, "Algorithm Selection Platform in Real-World Intelligent Systems", 28th International Conference on Computer Applications in Industry and Engineering, pp. 227-234 (2015).
10. L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field modulation of damping constant in a ferromagnetic semiconductor (Ga,Mn)As," *Physical Review Letters*, vol. 115, pp. 057204(1)-057204(5), 2015
11. S. DuttaGupta, S. Fukami, C. Zhang, H. Sato, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Adiabatic spin-transfer-torque-induced domain wall creep in a magnetic metal," *Nature Physics*, pp. 3593(1)-(5), 2015
12. S. Fukami, C. Zhang, S. DuttaGupta, A. Kurenkov, and H. Ohno, "Magnetization switching by spin-orbit torque in an antiferromagnet-ferromagnet bilayer system," *Nature Materials*, pp. 4457(1)-(8), 2016
13. 柳生寛幸, 崔正烈, 坂本修一, 大谷智子, 鈴木陽一, 行場次朗, "多感覚情報の同期ずれが体験中の高次感性知覚に与える影響", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 20(3), 199-208, 2015
14. S. Sakamoto, W. Teramoto, H. Terashima and J. Gyoba, "Effect of active self-motion on auditory space perception," *Interdisciplinary Information Sciences Journal*, 21(2), 167-172, 2015
15. A. Honda, T. Kanda, H. Shibata, S. Sakamoto, Y. Iwaya, J. Gyoba and Y. Suzuki, "Senses of presence and verisimilitude of audio-visual contents: Effects of sounds and playback speeds on sports video," *Interdisciplinary Information Sciences Journal*, 21(2), 143-149, 2015
16. Masaki Hamamoto, Hideki Etoh, Tomoyuki Miyake, "Thorax unit driven by unidirectional USM for under 17-gram flapping MAV platform", *Proceedings of 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2015)* pp. 2142-2147, 2015.
18. 佐藤直行, 海馬から大脳へ: 記憶の計算モデル、2015 年度日本人工知能学会 全国大会予稿集 演題番号 3F4-OS-19b-5、2015 (招待講演) .
19. Naoyuki Sato, Predictability of subsequent retrieval after natural reading of literature: A scalp electroencephalogram study. *Neuroscience Meeting Planner*. Chicago: Society for Neuroscience, 2015.
20. Naoyuki Sato, Memory formation during the natural reading of literature: an EEG study. 21st Annual Meeting of the Organization for Human Brain Mapping (OHBM), Honolulu, US, 2015.
21. Hiroshi Nakajima, Toshikazu Shiga, "Toward Quantification of Mind Activity for Lifestyle Modification and Vital Control," 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology (EMBC 2015), August 25-29, 2015, Milan Italy.
22. S. Izumi; K. Yamashita; M. Nakano; S. Yoshimoto; T. Nakagawa; Y. Nakai; H. Kawaguchi; H. Kimura; K. Marumoto; T. Fuchikami; Y. Fujimori; H. Nakajima; T. Shiga; M. Yoshimoto "Normally Off ECG SoC With Non-Volatile MCU and Noise Tolerant Heartbeat Detector," *IEEE Transaction on Biomedical Circuits and Systems*, Vol. 9, No. 5, pp. 641-651, 2015.
23. 秋間 学尚, 佐藤 茂雄, "運動視により局所運動を検出する神経回路網モデルのLSI化", 日本神経回路学会誌 Vol. 22, No. 4, pp. 152-161, 2015.

採択回数	1	2	3
------	---	---	---

(若手)

H25/A12

不定な環境における適応能の階層横断的解明と工学的応用

[1] 組織

代表者：高橋 達二

(東京電機大学理工学部)

対応者：笹井 一人

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

浦上 大輔 (東京工科大学)

太田 宏之 (防衛医科大学校)

大用 庫智 (関西学院大学)

西川 麻樹 (東京大学)

上浦 基 (東京電機大学)

澤 宏司 (日本女子大学附高)

脇坂 崇平 (理化学研究所)

白川 智弘 (防衛大学校)

園田 耕平 (滋賀大学)

西山 雄大 (新潟大学)

新里 高行 (筑波大学)

延べ参加人数：16人 (以上13名+学生参加者3名)

研究費： 物件費13万8千円、旅費24万8千円、
特別支援(若手) 20万円

[2] 研究経過

ネットワークの環境化を始めとした情報技術の社会への全面的な浸透やロボティクスなどの必要から、人間との調和の必要な情報システムにも、人間が活動する不定な世界への適応能力を与えることが必要であり、これが本プロジェクトの目的である。

本プロジェクトでは、人間とより深くかかわる情報システムにとって重要である、環境の不定性をもとにした適応能の解明とその工学的応用を目的とする。具体的には、人間思考・推論・意思決定傾向の解明(グループA)、さらに情報システム間・人間間の協調的なインタラクション原理の解明(B)と情報システムと人間の認知的融合を可能とするインターフェイスの構築(C)から、情報システムへの適応能の付与(D)を目指して研究を推進している。本プロジェクトは、本年度が最終年度であり、これまでの研究のまとめを行った。

不定性は、リスク(確率分布が既知)や不確実性(確率分布が未知だが起こりうる事象と世界=普遍

集合は確定している)と区別され、何を事象と捉えるかといった事象の単位や、エージェントの想定する世界の不完全性を含んだより現実的かつ深刻なものである。本年度は不定性に関し、特に非マルコフ性としてのモデリングを行った。特に、工学的応用を視野に入れ、非マルコフ的環境・エージェント能力の下での効率的な探索・行動方法の研究を行った。また、階層横断性は、最も基礎的な場合として、二つの階層を考えつつそれらの相互作用を考えざるを得ない状況としてモデリングした。

本年度の研究活動状況としては、当プロジェクトの研究会として次の2件を行った。

- H25/A12 キックオフ研究会 2015年7月4日(土) 13:30~17:20 於 日本大学生産工学部津田沼キャンパス 数理情報工学科 23号館 307 (参加者3名+学生3名)
- H25/A12 共同プロジェクト研究会 2015年8月3日(月) 13:30~17:20 於 東北大学電気通信研究所本館6F 小会議室(M603) (参加者6名)

また、大部分のメンバーが参加した共催研究会として次を行った。

- 第10回内部観測研究会・第27回計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会(共同開催) 2016年2月27日(土)~2月28日(日) 於 東北大学電気通信研究所 本館 1階 オープンセミナー室(発表19件、参加者約30名)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

これまでの階層横断性と不定性に関する基礎研究を受けて、今年度は以下の内容の発展的研究を行った。個々の研究は全体のコンセプトに沿って行われているものの、内容が多岐にわたるため、グループ毎に述べる。

グループ A：人間思考・推論・意思決定傾向の解明 (グループ A) [1-5]

「認知的満足化」のモデリング：

1950年代から、人間の実際の意志決定は全ての選択肢の中から最高のものを選ぶ最適化ではなく、ある基準（たとえば企業の存続のための、損益分岐点）以上の選択肢が見つければ良しとする満足化であるということが知られている。この満足化については、妥当な概念として認められながらも、モデリングについては行動の方針の切り替えによる（強化学習で言うポリシーレベルでの）素朴なものしか存在せず、理論的興味を引くこともなかった。これに対し、高橋らは人間の因果認知のモデルとして考案された LS モデル（篠原ら、人工知能学会論文誌、2007）の研究を通じて、（強化学習で言う行動価値関数レベルでありながら実効的には自律的に振る舞いをコントロールする）「認知的満足化」の提案を行った [1-4]。ここで「認知的」とは、行動経済学のプロスペクト理論で扱われる、通常は認知バイアス（系統的な偏り）と見なされる、損と得に関する非対称（かつ鏡像的）な知覚のことで、1000 円の得よりも 1000 円の損の方が絶対値が大きいと感じるといった傾向を実装したという意味である。このような傾向は、試行回数を考慮した価値関数においては合理的な楽観性や悲観性として理解できる。このような性質を非常に単純に実装した RS モデル [5] は、 n 本腕バンディット問題や単純な強化学習の枠組みにおけるロボットの非線形制御においても優れたパフォーマンスを示した。同時に、人間が持つ認知バイアスの適応的な説明を与えている可能性があり、今後はこれを実験的に検証でき、グループ B と C の研究テーマにも含意がありうる。

情報システム間・人間間の協調的なインタラクション原理の解明 (B) [6]

Sand-sifter 機構に基づく多腕バンディットアルゴリズムに関する研究：

多腕バンディット問題(multi-armed bandit problems)は、確率的な報酬をもたらす複数のスロットマシンの中から最も期待報酬の高いマシンを選び出すことを目的とする、強化学習課題のひとつである。UCB アルゴリズムは多腕バンディット問題を解くためによく用いられるアルゴリズムであり、探索と収穫のバランスを取ることで対数オーダーの regret を達成するものである。UCB アルゴリズム以来、多腕バンディット問題において期待報酬の大きさを「楽

観的に（真の値よりも大きめに）」見積もる価値関数が有用であることは経験的に知られていた。ここで「楽観的」という語は、報酬の標本平均よりも価値関数の値が大きいということを意味する。UCB アルゴリズムの最初の定義は、regret の最適化に焦点を当てたものであり、直接的に価値関数の楽観性に基づいたものではない。我々は、楽観性が多腕バンディット問題において良い成績をもたらす理由を考える必要がある。

- 本研究で我々は、Overtake 法と呼ぶ新たな多腕バンディットアルゴリズムを提案した[6]。提案法の価値関数は、期待報酬の推定量に関する信頼区間の上限に基づいたものであり、期待報酬へ漸近するよう定義される。もしその価値関数が真の期待報酬よりも大きい値を取るなら、その学習エージェントは最適な腕を発見することができる。
- この構造を、我々は sand-sifter 機構と呼ぶが、これは最適でない腕に関する価値関数の再成長を持たないものである。すなわち、学習エージェントは各タイムステップにおいてその時点での最善の腕をプレイする。この結果、提案法は高い正解率と低い regret を達成し、提案法に基づいて適切に定義された学習エージェントは、UCB アルゴリズムのそれを平均的に上回る性能を示す。本研究の結果は、確率的な報酬環境における学習エージェントが「楽観的」であることの優位性を示唆する。

情報システムへの適応能の付与 (D) [7, 8]

ロボット運動学習：

ヒトの認知特性の1つである対称性バイアスを模倣して強化学習に応用する新奇な手法、「LS-Q」を提案し、鉄棒ロボットの運動獲得を例として、LS-Q の学習能力をシミュレーションと実ロボットによる実験の両面から検証している。特に本年度は、シミュレーションによる学習によって得られた行動の系列を実ロボットに移植する実験をおこない、LS-Q の実環境における有効性を確認することに成功した [7, 8]。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの研究成果は、学術論文の他、第 10 回内部観測研究会・第 27 回計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会（共同開催）としても一般に発信された。本プロジェクトの研究は本年度分だけでも計 3 件の学会賞 [3, 9, 10] を受賞してお

り、若手研究者の育成として一定の成果を挙げたものと考えている。

(特別支援(若手)にかかる研究成果)

本年度の特別支援研究費により、GPUによる並列計算を可能にするグラフィックカードを購入することができた。これにより、[1-4]の強化学習モデルの実装試験を高速に行うことができ、大きな成果を上げることができた。もし特別支援経費がなかった場合は、通常のCPUによる演算のみしか利用できないため、実験の効率が格段に悪くなっていたと考えられる。

[4] 成果資料

1. Kohno, Y., Takahashi, T., A cognitive satisficing strategy for bandit problems, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. (published online on Sep. 2, 2015)
2. Oyo, K., Takahashi, T., Efficacy of a causal value function in game tree search, International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. (published online on August 10th, 2015)
3. 甲野 佑, 高橋 達二, 認知特性を実装した価値関数による非定常環境への適応, IPSJ 2016. (情報処理学会第 78 回全国大会学生奨励賞受賞)
4. Taniguchi H., Shirakawa T. and *Takahashi T., Implementation of Human Cognitive Bias on Naive Bayes, Proceeding of 9th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies, EAI, electronic publication (7 pages in total), 2015.
5. 高橋 達二, 甲野 佑, 認知的満足化, 人工知能学会論文誌. (修正中)
6. Kento Ochi, Moto Kamiura, Overtaking method based on sand-sifter mechanism: Why do optimistic value functions find optimal solutions in multi-armed bandit problems? BioSystems 135 (2015) 55–65.
7. Uragami, D., Takahashi, T., Kohno, Y., Robotic Action Acquisition with Cognitive Biases in Coarse-grained State Space. (submitted to BioSystems)
8. 水戸亜友美, 牛田有哉, 朝倉勇護, 甲野佑, 横須賀聡, 浦上大輔, 高橋 達二, 限定合理性に触発された強化学習法によるロボット運動学習, 2015 年度人工知能学会全国大会 2L1-4in, 2015, 5, 31.
9. 丸山 大地, 甲野 佑, 高橋 達二, 正負の走化性を実装した真性粘菌変形体のセルオートマトンモデル IPSJ 2016. (情報処理学会第 78 回全国大会学生奨励賞受賞)
10. 坂本 佑樹, 高橋 達二, スケールフリー相関から見た群れモデルの再構築, IPSJ 2016. (情報処理学会第 78 回全国大会学生奨励賞受賞)

採択回数	1	2	3
(先端・国際)			

採択番号 H25A13

「人と空間と情報技術に関する研究」

〔1〕組織

代表者：大坊 郁夫
(東京未来大学)
対応者：北村喜文
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

大坊 郁夫 (東京未来大学)
大森 慈子 (仁愛大学)
市野 順子 (香川大学)
伊藤 雄一 (大阪大学)
月田 有香 (Numenia LLC)
藤原 健 (大阪経済大学)
横山 ひとみ (東京農工大学)
上岡玲子 (九州大学)
Aditiya Shekhar Nittala
(University of Calgary)
Ehud Sharlin (University of Calgary)
高嶋 和毅 (東北大学 電気通信研究所)

延べ参加人数：13 人

研究費：物件費 13 万 7 千円、旅費 22 万 2 千円
国際特別支援分 30 万円

〔2〕研究経過

東北大学電気通信研究所で試作しているメディアスペースの実験環境を活用して、様々な情報コンテンツの提示やそれらの変化が対人コミュニケーションに与える影響を、情報科学、社会心理学、空間デザイン学の分野の研究者、さらに実社会で活躍しているコミュニケーショントレーナー等の皆さんの協力により調査しようというのが、本研究会の目的である。具体的には、複数人が場を共有する作業空間をセンシングし、その状態を理解する。また、それによって、様々な機器や方法を活用して、その作業空間をより快適でかつ効率的なものとするという先端的内容が本共同プロジェクトの目的である。

本プロジェクトは、23 年度から共同プロジェクト（タイプ B）スタートしたものであり、一昨年度からは（タイプ A）へ発展させ、これまでの議

論や成果をもとに、研究を実施している。今年度は、これまでの共同プロジェクトのタイトル「場と対人コミュニケーション」から、「人と空間と情報技術に関する研究」と研究の対象を広げ、より実践的で多角的な議論をできる共同プロジェクトとした。

社会心理学者をはじめ、情報科学技術者、建築学者、アーティスト、ワークスペースの変革や空間ユーザインタフェースなどを進める企業のエンジニアや研究者、空間デザインを専門とする什器メーカーの専門家などが集まり、と空間と情報技術に関して議論する。本年度では、具体的に、以下の二点の成果をあげる。

1. 27 年度共同プロジェクトの成果発表

昨年度の共同プロジェクトにて議論を進めた関連する研究成果をまとめ、査読付き国際会議 INTERACT 2015 および、査読付き国内会議インタラクシオン 2016 にて成果発表した。

2. ワークスペース・空間デザインに関する研究会

2016 年 2 月 22-23 日に「人と空間と情報技術」研究会を開催し、産業界、建築、アートなど、様々な分野のエンジニアや研究者が集まり、意見交換をした。これらは昨年から続いて開催しているものであり、1 の成果発表や、北村研究室にて開発しているメディアスペースの実験環境の設計及び実装に活用してきた。また、スウェーデン・Chalmers University of Technology の Morten Fjeld 教授にもご参加・講演いただいた。

〔3〕成果

（3-1）

1. 27 年度共同プロジェクトの成果発表のまとめ

人の行動と連動する動的な空間作りに関する研究成果として、「自律移動型デジタルテーブルの開発と評価」について、国際会議 INTERACT にて口頭発表した。またこれに関連して、「自律移動・変形する壁型ディスプレイ」についての研究成果を国内最大規模の査読付き国内会議にて口頭発表

した。さらに、この研究成果は、国際会議 ACM Conference on Designing Interactive System 2016 に査読を経て採択された。2016 年 6 月に発表予定である。

これらは、本研究の分担者でもあるカナダ・University of Calgary の Ehud Sharlin 准教授との国際共著論文であり、その成果の一部は、本共同プロジェクトの国際枠支援によるものである。

2. ワークスペース、空間デザインに関する研究会 「人と空間と情報技術の研究会」

2 月 22、23 日の二日間、「人と空間と情報技術の研究会」というタイトルで、通研にて研究会を開催した。ここでは、ロボット、建築、什器、スマートオフィス、情報技術、そしてコミュニケーショントレーニングに関する研究者やエンジニアが集まり、人間性豊かなコミュニケーションを実現するための、人、空間、そして情報技術の可能性について議論した。本年度の研究会では、2014 年 4 月より北村研究室と共同研究を実施しており、本共同プロジェクトに深く関わりを持つ（株）富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ（富士通 SSL）の方々に幹事および事務局をしていただいた。富士通 SSL は、ICT で社会を豊かにする商品提供をスピード感をもって行なうため外の知見・技術を取り込む“オープンイノベーション”を進めており、本研究会をイノベーションハブとして持続的かつ発展的に進める役割を担っていただいた。その結果、以下に示すように、企業からの多くの発表、二件の Keynote（1 件は英語）を含むなど、大学関係者だけでは作れない充実したプログラムを組むことができた。

発表者 16 名、参加総人数 40 名

■ 2 月 22 日(月)

「オープニング」

北村喜文（東北大学 電気通信研究所）

【Keynote】

「動物の生き生きとした振る舞いに内在する制御原理を探る」

石黒 章夫（東北大学 電気通信研究所）

「産学連携とオープンイノベーション」

米澤 一造

（株式会社富士通ソーシャルサイエンスラボラトリイノベーション戦略本部）

「ヒューマノイドロボットに対する心理評価」

上出 寛子（東北大学 電気通信研究所）

「コミュニケーションの機能論」

大坊 郁夫

（東京未来大学 モチベーション行動科学部）

「人に寄り添うメディア技術」

上岡 玲子（九州大学 大学院芸術工学研究院）

「髪の毛で音を感じる新しいユーザインタフェース装置「ONTENNA」」

本多 達也

（富士通株式会社グローバルマーケティング本部）

「道具としての集積回路技術とインタラクションへの応用」

秋田 純一（金沢大学 自然科学研究科）

「インタラクティブコンテンツ研究室見学」

北村研究室構成員（東北大学 電気通信研究所）

■ 2 月 23 日(火)

【Keynote】

“Multi-Device Analysis around Tabletops”

Morten Fjeld

（Chalmers University of Technology）

「遠隔介護支援システムにおける人と空間と情報技術」

大園 忠親

（名古屋工業大学 大学院情報工学専攻）

「知的音響空間を実現するエリア收音技術」

山口 徳郎（沖電気工業株式会社研究開発センタ）

「企業のワークスタイル変革と ICT ワークショップ」

西山 聡一（富士通株式会社 サービス&システムビジネス推進本部）

「Office Vision 2020—近未来の社会情勢予測から逆引きするオフィス像—」

西野哲生、藤田和之

（株式会社イトーキ 先端技術研究所）

「空間 UI に向けたセンサとロボット型ディスプレイ」

高嶋 和毅（東北大学 電気通信研究所）

「空間 UI が創る、人と ICT の新しい関係」

武 理一郎（株式会社富士通研究所）

「多面的な情報展示壁面のデザイン」

本江 正茂

（東北大学 大学院工学研究科 都市・建築学）



研究会の様子

(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、共同プロジェクト（タイプ B）から引き続く 5 年目のものであり、過去の成果を順に更新しつつけているものである。一昨年はタイプ A とし、実際に研究を実施する方向で進めてきた。本年度では、共同プロジェクトタイトルも変え、より研究の範囲を広げ、産業界も含めて、人と空間と情報について多角的に議論することができた。

昨年度から本年度にかけての成果として特筆すべき点は、本研究会がイノベーションハブとなりつつあることである。例えば、本研究会幹事・事務局を担当した(株)富士通 SSL ではセンシングの重要なキーポイントとして人と人と空間のかかわりに注目し、これまでの本共同プロジェクト研究会にも参加してきた。それを通して、東北大北村研究室との共同研究を継続し、2015 年度からは産学共同研究(大阪大学)、またはその準備作業(大阪経済大学)へと発展している。本年度はその成功を踏まえ、さらに発展させるために富士通 SSL のみでなく、富士通グループ関係者、また富士通 SSL と産学共同研究中の他大学研究者との間でも共同研究の発展を期待し、多くの

富士通 SSL 関係者を共同プロジェクト研究会へ参加させることができた。また、知見共有のため、各発表情報を、動画収録し参加できなかった関係者にも臨場感をもって伝達する形態を試行する。この活動によって、今回の知見・技術が、富士通関連部門と融合することでイノベティブ活動の加速と発展が期待できる。

会議開催が年度末であったため 2015 年度内にはその他の波及効果についての具体的成果には至っていないが、現時点で参加各位から共同研究プロジェクトで得た知見を踏まえたチャレンジを検討している等の情報を得ており、来年度に具体的な活動になる見込みである。

本研究会の構成員は、年齢層やその専門分野が様々（情報、心理学等）であり、分野をまたいだ交流をさらに充実させることができた。今年度は特に、複数の企業の研究者やエンジニアも交えることができたため、実問題を意識した実践的研究について議論することができた。また、研究会の副産物として、学生と企業の接点を増やすことができ、相互の理解が深まることで、大学から企業へのインターンシップや将来の就職に発展する可能性なども見えた。

本共同プロジェクトは、来年度も継続し、研究会 B（企業が参加するタイプ）として議論主体とし、より実用を考慮した技術開発に向け、大学研究者、企業とともに、大型予算プロジェクト獲得に向けた検討をしてゆく予定である。

〔4〕 成果資料

（共同研究プロジェクトに対する謝辞あり）

大山貴史, 浅利勇佑, 高嶋和毅, Ehud Sharlin, Saul Greenberg, 北村喜文: 自律移動・変形する壁型ディスプレイの設計と評価, 情報処理学会シンポジウム, インタラクション 2016, pp. 62 – 71. (査読付き国内会議)

Kazuki Takashima, Yusuke Asari, Hitomi Yokoyama, Ehud Sharlin, and Yoshifumi Kitamura, MovemenTable: The Design of Moving Interactive Tabletops, In *Proceedings of Human-Computer Interaction - INTERACT 2015*, pp. 296-314, September 2015.

（査読付き国際会議）

採択回数	1	2	3
(先端・萌芽)			

採択番号 H26/A01

グラフェンを用いた光電子デバイスの研究

〔1〕 組織

代表者：内野 俊

(東北工業大学工学部知能エレクトロニクス学科)

対応者：尾辻 泰一

(東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：7 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 0 円

〔2〕 研究経過

グラフェンは代表的なカーボンナノ材料で、シリコンの約 100 倍の高移動度、銅の約 1000 倍の高電流密度耐性、透明で柔軟性があることなどからフラットパネルディスプレイや高周波デバイスへの応用が期待され、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グラフェン特有の光学的特性および電気的特性を利用したナノ情報デバイスを創成することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度はグラフェンを電子デバイスに応用する上で重要な課題になっている金属/グラフェン間の接触抵抗を低減する技術を開発し、接触抵抗のグラフェン電界効果トランジスタ (FET) へ影響を系統的に調べた。そこで本年度は、前年度の成果をもとにグラフェン横型トンネルデバイスを試作し、その電気的特性を評価した。以下に、研究活動状況の概要を記す。

試料の作製は、東北大学電気通信研究所および東北工業大学のクリーンルームで行なった。作製した試料の電気的測定を尾辻研究室、デバイスの構造解析を東北工業大学において実施した。実験および解析は、平成 27 年 4 月から平成 28 年 3 月にかけて 3 回/月の頻度で行い、研究成果を応用物理学会、共同研究プロジェクト研究発表会等で発表した。

〔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。

まず第1に、グラフェン横型トンネルデバイスを

作製し、その動作確認を行った結果、MIM トンネルダイオード特性を示すことがわかった。第2に、グラフェン MIM トンネルダイオードは、1 V 以下の低電圧で急峻なスイッチング特性を示すことがわかった。

図1にグラフェン横型トンネルデバイスの作製プロセスを示す。接触抵抗の低減を目的として、グラフェン表面を Al_2O_3 膜で保護し、更にフォトレジストの残渣の影響を取り除くため Pd 電極形成直前に酸素プラズマ処理を行った (図1a)。トンネル領域は、電子線描画装置を用いて形成した (図1c)。ゲート絶縁膜として Al_2O_3 とプラズマ Si_3N_4 膜の積層膜を用いた。 Al_2O_3 膜は、Al 薄膜を自然酸化して形成した。次に、Ti/Au 積層膜でトップゲート電極を形成した (図1d)。図2に作製したグラフェン横型トンネルデバイスの光学顕微鏡写真とその断面概念図を示す。デバイス特性をバックゲート配置で評価できるように、シリコン基板にも Al 電極を形成した。

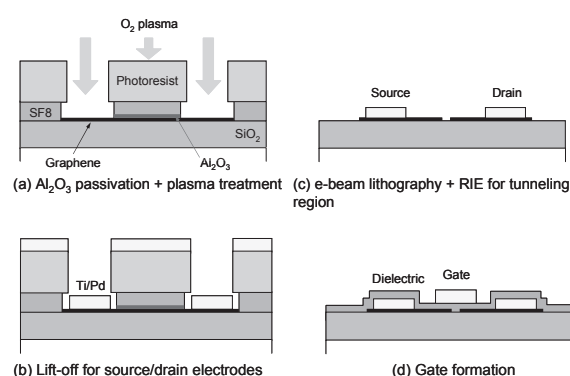


Fig. 1 Outline of the device fabrication process.

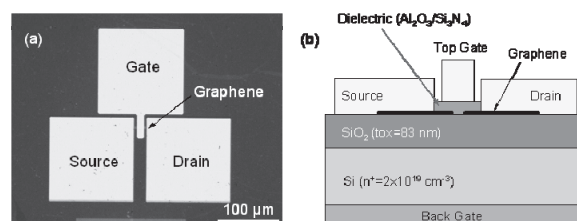


Fig. 2 (a) Optical microscope image of a fabricated device. (b) Schematic cross-sectional view of the lateral tunneling FET.

図3に接触抵抗をTLM法を用いて評価した結果を示す。今回、金属電極の接着性向上のために膜厚0.5 nmのTi層をPd電極下に形成した。その結果、以前の仕様と比較して接触抵抗が若干増加したが $R_c < 10^{-6} \Omega \text{ cm}^2$ を達成し、シート抵抗は接着性が向上した結果、約50%低減することができた。

図4にトンネル領域の抵抗とチャネル長の関係を示す。チャネル長に比例して抵抗が単調に増加していることから、トンネル構造が形成されているのが確認できた。今回、電子線描画を用いてトンネル領域を形成した結果、最小チャネル長60 nmを実現することができた。しかし、加工ばらつきが大きかった。SEMでチャネル領域を観察したところ、パターンが直線的でなく蛇行しているのが観測された。以上から、加工ばらつきが原因と考えられる。

図5、6に従来型のグラフェンFETのトップゲート配置とバックゲート配置のI-V特性をそれぞれ示す。両配置ともにグラフェンFET特有のアンバイポーラ特性を示した。本デバイスでは、トップゲート配置の方がゲート耐圧が高かった。これは、バックゲートの酸化膜の厚さを80 nmに薄層化したためと考えられる。

図7にグラフェン横型トンネルデバイスのI-V特性を示す。ドレイン電流がゲート電圧の増加と共に減少した。また、ドレイン電流がドレイン電圧を増加しても飽和することなく、増加していた。従来型のグラフェンFETとは異なるI-V特性を示したことから、本デバイスはFETでなくダイオードの特性を持つと考え、I-V特性をドレイン電圧 $-1 < V_d < 1 \text{ V}$ で測定した(図8)。その結果、明らかにダイオード特性を示すことがわかった。

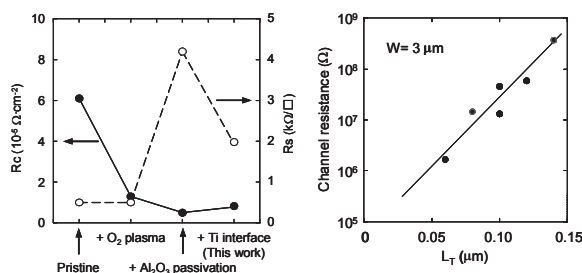


Fig. 3 Device fabrication process dependence of the contact resistance (R_c) and the sheet resistance (R_s).

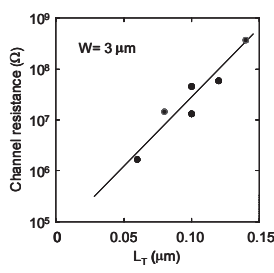


Fig. 4 Tunneling channel resistance as a function of the channel length (L_r).

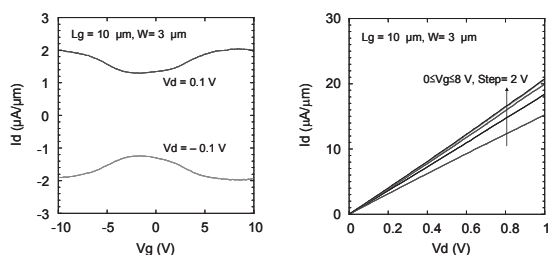


Fig. 5 I-V characteristics of the conventional graphene FET (top gate configuration).

図9に本デバイスのバンドダイアグラムを示す。ドレイン電圧を印加すると、ゲート絶縁膜のバンドが傾斜し、さらにゲート電圧を下げることでトンネルバリアが低減し、電子が絶縁膜をトンネルして反対側の電極に到達すると考えると、本デバイスのI-V特性を理解できることがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

MIM トンネルダイオードは、作製プロセスが比較的容易で、かつ低消費電力・高速デバイスなので近年、見直されているデバイスである。本プロジェクトで開発したグラフェン横型トンネルダイオードは、ダイオード特性をゲート電圧で制御することが可能になるので、幅広い応用が期待できる。また、グラフェンを用いているので、電流密度耐性に優れているという利点がある。他に、ゲート絶縁膜を多層にすることで、高利得を持つグラフェンFETの実現が期待できる。

本研究では、市販のグラフェン基板を用いたが、今後は独自に開発したエピタキシャル・グラフェンを用いてデバイスの高性能化を図る予定である。

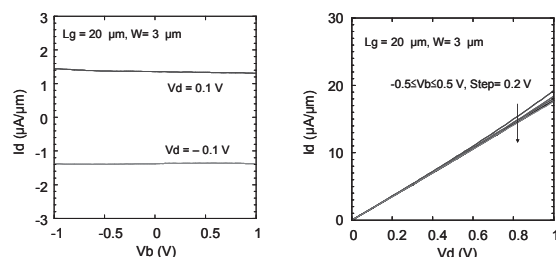


Fig. 6 I-V characteristics of the conventional graphene FET (back gate configuration).

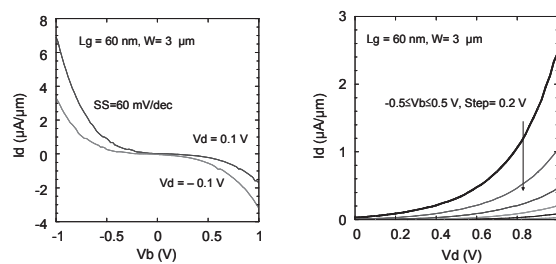


Fig. 7 I-V characteristics of the tunneling graphene device (back gate configuration).

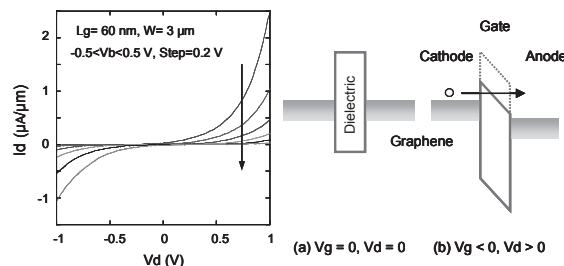


Fig. 8 I-V characteristics of the tunneling graphene MIM diode.

Fig. 9 Schematic band diagram of the tunneling graphene MIM diode.

[4] 成果資料

(1) T. Koiwa *et al*, JSAP-OSA Joint Symposia 2015 (Nagoya Congress Center, Nagoya, 2015), 平成 27 年 9 月 14 日.

(2) T. Uchino *et al*, 2015 MRS Fall Meeting (Boston, USA, 2015), 平成 27 年 12 月 1 日.

(3) 小岩 匡 他, 応用物理学会第 63 回春季講演会 (東工大, 東京, 2016), 平成 28 年 3 月 22 日.

(4) 内野 俊, ケミカルエンジニアリング, 60 巻, 10 号 (2015) pp. 24–28.

H26/A02

走査型非線形誘電率顕微法による 層状構造圧電薄膜の極性評価

〔1〕 組織

代表者：小田川 裕之
(熊本高等専門学校)
対応者：長 康雄
(東北大学電気通信研究所)
延べ参加人数：2 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 11 万 7 千円

〔2〕 研究経過

圧電体や強誘電体は、超音波デバイス、アクチュエータ、焦電デバイス、光デバイス、記録デバイス等に広く用いられている。これらのデバイスでは、材料開発の他に、極性（分極）を意図的に反転させた構造を用いることが高性能化への一手段となる。

早稲田大の柳谷らは ZnO や AlN 等の圧電薄膜をスパッタリングで成膜する際、条件を制御することで極性を変える技術を開発し、研究を進めている。この技術が確立すれば、積層型の微細な極性反転構造が作製可能となり、また、マイクロ・ナノマシン（MEMS）技術との融合も可能であるため、次世代の圧電デバイスの開発に大きく貢献するものと期待される。これらの研究を推進するために、SNDM を応用して、層状構造の極性反転層を非破壊で評価する技術を確認するのが本研究の目的である。

一般に、誘電体試料に接触した探針下の電界分布は、試料と探針との接触点部分に集中することが知られているが、SNDM では更にその電界の 2 乗に比例して信号が得られるため、特に接触点からの距離が非常に狭い領域のみの情報を観察することになる。このため、SNDM は面内で非常に高分解能に分極の観察が可能である。また、測定の深さについても、電界が表面付近に集中しているため、試料の表面付近の情報のみを測定している。この電界分布は、試料の誘電率と探針半径に依存し、探針半径が小さい程、また、誘電率が大きいほど探針直下に集中する。

この特性を用いると、探針半径を適切に変えて SNDM の測定を行うことで、分極分極反転層の面

内からの深さを推定することが可能であると考えられる。即ち、極性によって SNDM 信号の符号が反転するので、探針半径が層の厚さに対して十分に大きければ、基板の内部まで電界が生じ、表面の反転層よりも基板内部の分極を反映した信号が出力されることになり、逆に層の厚さに対して探針半径が小さければ、層の部分の極性のみを反映した信号が出力されることになる。更に、反転層の深さと電界分布が同程度の範囲となる探針半径である場合には、信号強度や符号はその層の厚さに応じて敏感に変化することが予想される。

昨年度までにシミュレーションと基礎実験を行い、その有効性を確認している。図 1 は、探針半径で規格化した反転層厚と信号強度の関係である。横軸が探針半径で規格化した反転層厚であり、縦軸は SNDM の出力を最大値で規格化した値である。この図は比誘電率が 30 の例である。本年度は、定量計測の定式化を行った。

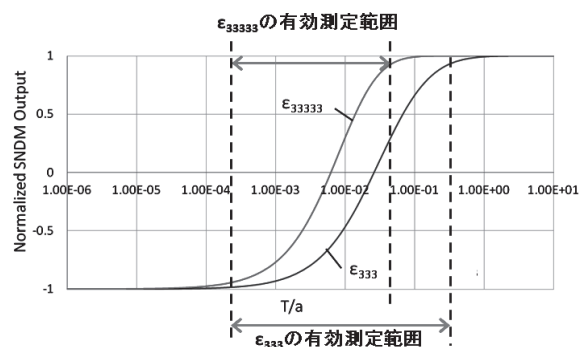


図 1 探針半径で規格化した反転層厚と信号強度のシミュレーション結果（比誘電率 30 の場合）

〔3〕 成果

（3-1）研究成果

SNDM 信号は線形誘電率 ϵ_{33} や非線形誘電率 ϵ_{333} だけでなく、装置の浮遊容量 C_0 にも依存するが、実際には装置の浮遊容量 C_0 や試料の非線形誘電率 ϵ_{333} が未知の場合が多い。

測定試料の非線形誘電率 ϵ_{333} が未知の場合には、図 2 (a) のように試料の上層のみの SNDM 信号を

測定し、信号の校正をする必要がある。このキャリブレーションに用いる先端半径が十分に小さい探針を Tip1 とする。次に反転層厚の測定に適した先端半径の探針 Tip2 で測定を行う。このように先端半径の異なる二つの探針で測定を行うことによって、非線形誘電率 ϵ_{333} が未知の場合でも規格化 SNDM 信号を観測することができる。しかしながら、Tip1 を用いた場合と Tip2 を用いた場合では探針の先端半径が異なるため、全体の浮遊容量 C_0 が異なる。層状に極性が反転した測定試料に加えて、反転層のない標準試料においても測定を行うことで、浮遊容量 C_0 が未知の場合でも規格化 SNDM 信号を得ることができる。

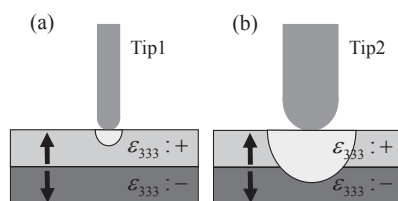


図2 探針先端半径の大きさと測定範囲

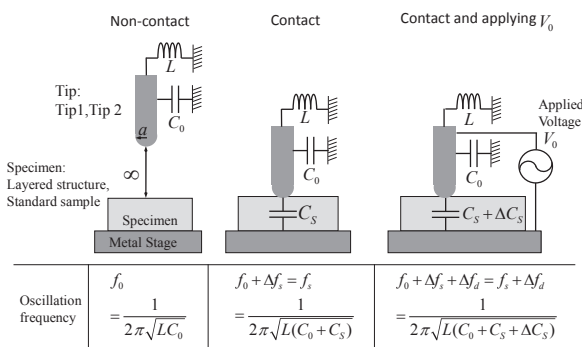


図3 層厚の定量測定概念図

図3はSNDMの定量測定概念図である。ここで、 Δf_0 は探針が試料表面から十分に離れている場合のプローブの発振周波数である。また、探針を試料表面に接触させた場合、試料の容量 C_s により、周波数は Δf_s だけ変化し f_s となったとする。更に、交番電圧 V_0 をステージに印加すると、非線形応答により容量の交番的变化分 ΔC_s が生じ、周波数偏移 Δf_d が生じたとする。なお、 L と C_0 はそれぞれ発振器のインダクタンス、試料による容量を除いた装置全体の浮遊容量である。

説明のために Tip1、Tip2 を用いた測定をそれぞれ添字“1”、“2”を付けて表し、標準試料、測定試料における測定をそれぞれ添字“st”、“ui”を付けて表す。

これらを用いると、規格化 SNDM 信号は次式で表される。

$$\frac{\Delta C_{s2}}{\Delta C_{s1}} = \frac{f_{s2}^{st} \Delta f_{d1}^{st} f_{s1}^{ui} \Delta f_{d2}^{ui}}{f_{s1}^{st} \Delta f_{d2}^{st} f_{s2}^{ui} \Delta f_{d1}^{ui}}$$

定量測定ではこの8つの周波数および周波数偏移を測定して反転層の厚さを推定することができる。今回は反転層が1層だけの構造について検討したが、探針の先端半径を幾つか変えて測定することで、多層構造の解析も可能であると考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の成果は、分極反転構造を利用したデバイス研究の進展に寄与するものであり、将来、MEMS技術と融合して移動通信用の高周波フィルタ、センサ、アクチュエータ、医療用のトランスジューサ等へ応用されることが期待される。

また、今年度の結果は反転層が1層だけの場合を評価するものであるが、多層状構造になっている試料にも応用が可能である。そのために、探針の押し込み量や探針半径を変えて測定するなど、来年度以降も研究を継続する予定である。

[4] 成果資料

- (1) H. Odagawa, K. Terada, H. Nishikawa, T. Yanagitani and Y. Cho, "Method for Measuring Polarity-Inverted Layered Structure in Dielectric Thin Films Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", *Ferroelectrics* (in press).
- (2) K. Terada, H. Nishikawa, Y. Tanaka, H. Odagawa, T. Yanagitani and Y. Cho, "Quantitative Thickness Measurement in Layered Polarity-Inverted Piezoelectric Thin Films Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", *The 3rd International Conference of Global Network for Innovative Technology (IGNITE2016)*, (Jan 27-29, 2016, Penang, Malaysia), Abstract Book, p. 28-29.
- (3) H. Odagawa, K. Terada, H. Nishikawa, T. Yanagitani and Y. Cho, "Method for Measuring Polarity-Inverted Layered Structure in Dielectric Thin Films Using Scanning Nonlinear Dielectric Microscopy", *13th European Meeting on Ferroelectricity (EMF2015)*, (June 28 - July 3, 2015, Porto, Portugal) P2_18.

採択番号 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

[1] 組織

代表者：岡本 浩

(弘前大学大学院理工学研究科)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

庭野 道夫 (東北大学電気通信研究所)

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)

小野 俊郎 (弘前大学大学院理工学研究科)

豊田 宏 (広島工業大学工学部)

福田 幸夫 (諏訪東京理科大学工学部)

王谷 洋平 (諏訪東京理科大学工学部)

延べ参加人数：10 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 20 万 6 千円

[2] 研究経過

集積度の限界に差しかかっている Si-MOS デバイスの限界を突破するため、high-k 絶縁膜の導入に続き高移動度チャネル層の導入が必要とされている。チャネル層の候補としては Si より電子と正孔両方の移動度が大きい Ge が最有力候補の 1 つであるが、従来の Si-SiO₂-MOS 構造に対し、良好な界面を得ることが難しいという問題がある。近年、GeO₂ や GeN_x 界面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、提案者らも ECR (Electron Cyclotron Resonance) プラズマ法やリモートプラズマ源を用いた ALD 法 (PA-ALD 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。ここで興味深い点は、後者の PA-ALD 法によって形成が可能な Al ジャーマネイト絶縁層は、Ge に対して D_{it} フリーの界面を形成できる可能性があることが理論的に予測されていることである[1]。

本プロジェクトは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」) の成果である、上記の手法による低密度界面準位 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り、今回は新たに各種 high-k 絶縁膜/Ge 構造の作製と評価に取り組んでいる。

本プロジェクトの研究活動は前記薄膜プロセスによる Ge-MIS 構造の作製並びに成膜プロセスにおける物理の解明、Ge-MIS 界面並びに界面近傍の特性評価手法の検討、同特性のプロセス条件依存性評価を軸としたものである。メンバー間の通常の打合せは e メールによる紙上会議にて実行し、今年度の最終打合せを東北大学電気通信研究所にて実施した (H28.2 月)。

研究成果は国際会議等による発表で一定の評価を得るとともに、本プロジェクトの目的である高品質な high-k-Ge-MIS 構造の作製方法並びにその評価手法の確立に向けて確かな可能性を見いだした。特に前回プロジェクトから取り組んでいる PA-ALD 法による high-k 膜においては前記 Al ジャーマネイト形成のメカニズムの一端が明らかとなった他、電気的特性の評価が進展するなどの成果が得られている。この材料系は新たな可能性を有するものと考えており、引き続き ECR プラズマ法による high-k 膜とともに検討を進めていく予定である。

[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。

まず第 1 に、PA-ALD 法によって作成した Al ジャーマネイト絶縁膜を有する Ge-MIS 構造において、界面準位密度や電気的特性のアニールプロセス依存性の評価を行い、その特徴を明らかにした。この構造は Ge 基板上に Al₂O₃ 絶縁膜を形成する際に自発的に界面近傍に Al ジャーマネイト層が生成することによって形成されることを昨年度までの検討で明

らかにしている[2]。

第2には、PA-ALD法を用いた第二の構造である、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{Ge}$ ゲートスタックを作成して基本特性評価を進めるとともに、前記同様、アニールプロセス依存性を調べ、アニールによる大幅な特性向上を確認した。この構造はPA-ALD装置内においてGe基板表面をプラズマ酸化して GeO_2 界面層を形成した後に Al_2O_3 層を形成したものであり、国内外で広く研究されているhigh-k/ GeO_2/Ge ゲートスタック構造の一種である。

以下、順に実験結果をもとに説明する。

図1に $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ ジャーマネイト/Ge 試料のC-V特性を示す。評価した試料は3種類であり、熱処理なし(As deposited)のものと、 N_2 雰囲気中熱処理、 $\text{N}_2+4\%\text{H}_2$ 雰囲気中熱処理を加えたものである。この実験においては電極形成前熱処理(PDA)を 400°C 30分間行っている。ここで $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ ジャーマネイト/Ge 試料のC-V特性におけるヒステリシスはAs depositedの状態でも小さいため、PDAの効果は顕著には見られない。

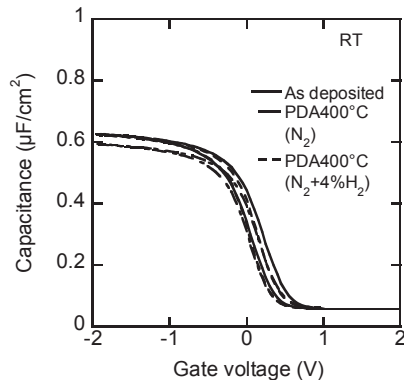


図1. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ ジャーマネイト/Ge 試料のC-V特性

図2に低温コンダクタンス法評価から得られた各試料の界面準位密度(D_{it})のエネルギー分布を示す。PDAを加えることで D_{it} の低減が確認され、さらに N_2 雰囲気と $\text{N}_2+4\%\text{H}_2$ 雰囲気において D_{it} の低減効果には差異がないことが明らかとなった。

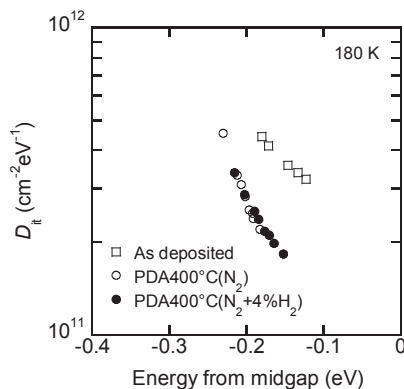


図2. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ ジャーマネイト/Ge 試料の D_{it} 分布

図3に第二の構造である、 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{Ge}$ ゲートスタック試料のC-V特性を示す。この実験においては前述のPDAの他、電極形成後熱処理(PMA)を加えた試料の評価を行っている。アニール条件は $\text{N}_2+10\%\text{H}_2$ 中、 400°C 30分間である。この構造においてはアニールによるヒステリシスの大幅な減少と絶縁膜容量の増大が認められ、後者についてはPMAの効果がPDAより大きいことがわかる。

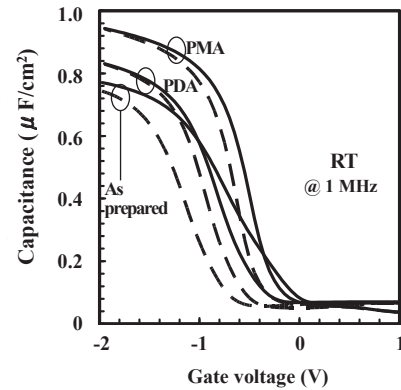


図3. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{Ge}$ 試料のC-V特性

上記の試料について、図4はヒステリシスの大きさを、図5は絶縁膜容量と室温コンダクタンス法によって求めた D_{it} の値をまとめたグラフである。図4からはヒステリシスの低減に関してはPDAとPMAの効果が同等であること、図5からは D_{it} の低減に関してはPMAの効果が顕著であることがわかる。PMAの効果が大きいことの原因は現時点で不明であるが、1つの可能性としてはAlが GeO_2 中間層にまで拡散し、界面準位の原因となるGeのサブオキシドを変化させるようなメカニズムが考えられる。今後各種の分析手法を用いて界面の状況を調べていく予定である。

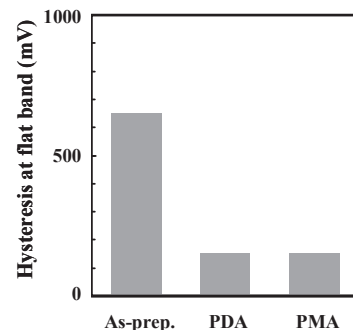


図4. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{Ge}$ 試料におけるC-Vヒステリシスのアニール依存性

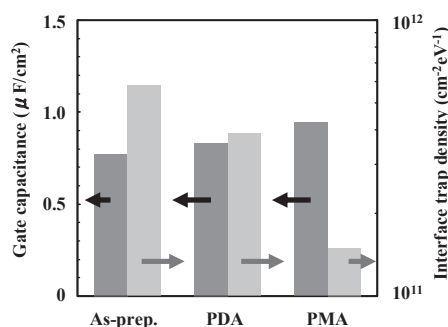


図5. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{Ge}$ 試料における絶縁膜容量と D_{it} のアニール依存性

(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、多方面からのアプローチが可能であることが強みとなっている。次世代の高性能CMOSデバイスの実現に向け、作成、評価技術、並びに Ge 界面とその近傍の物理の解明に向けた発展が期待される。

[4] 成果資料

- (1) T. Iwasaki, T. Ono, Y. Otani, Y. Fukuda, and H. Okamoto, "Interface State Density Evaluation of p-Type and n-Type Ge/GeN_x Structures by Conductance Technique", *Electronics and Communications in Japan*, Vol. 98, No. 6, (2015).
- (2) T. Yokohira, K. Yanachi, D. Yamada, C. Yamamoto, B. Yoo, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, H. Okamoto, and Y. Fukuda, "Role of low-energy ion irradiation in the formation of aluminum germanate layer on germanium substrate by radical-enhanced atomic layer deposition," the 13th International Symposium on Sputtering and Plasma Process, Proc. pp. 90-93 (2015).
- (3) 成田英史、山田大地、福田幸夫、鹿糠洋介、岡本浩、「Radical-Enhanced ALD 法によって形成した Al ジャーマネイト/Ge 界面とその近傍の欠陥評価」；電子情報通信学会技術研究報告 vol. 115, no. 179, CPM2015-44, pp. 67-70, (2015 年 8 月, 弘前大学)。

(4) 成田英史、山田大地、福田幸夫、鹿糠洋介、岡本浩；「Radical-enhanced ALD 法による Ge-MIS 構造の欠陥評価」、第 76 回応用物理学会秋季学術講演会 13p-PA5-3 (2015 年 9 月, 名古屋国際会議場)

- (5) Y. Fukuda, D. Yamada, T. Yokohira, K. Yanachi, C. Yamamoto, B. Yoo, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, and H. Okamoto, "Role of low-energy ion irradiation in the formation of an aluminum germanate layer on a germanium substrate by radical-enhanced atomic layer deposition", *Journal of Vacuum Science & Technology A* 34(2), 02D101 (2016).
- (6) H. Okamoto, D. Yamada, H. Narita, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, and Y. Fukuda, "Effects of postdeposition treatments on the electrical properties of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2$ gate stack grown on Ge substrate by radical-enhanced atomic layer deposition", 9th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics, I-04 (Invited), (Sendai, Japan, Jan, 2016).
- (7) 成田英史、山田大地、福田幸夫、岡本浩；「Radical-enhanced ALD 法による Ge-MIS 構造の欠陥評価(2);熱処理効果」、第 63 回応用物理学会春季学術講演会 19p-P3-2 (2016 年 3 月, 東京工業大学)

引用文献

- [1] M. Houssa, G. Pourtois, M. Caymax, M. Meuris, and M. M. Heyns, "First-principles study of the structural and electronic properties of (100)Ge/Ge(M)O₂ interfaces (M=Al, La, or Hf)", *Appl. Phys. Lett.* vol. 92, 242101 (2008).
- [2] Y. Fukuda, H. Ishizaki, Y. Otani, C. Yamamoto, J. Yamanaka, T. Sato, T. Takamatsu, H. Okamoto, and H. Narita; "Spontaneous formation of aluminum germanate on Ge(100) by atomic layer deposition with trimethylaluminum and microwave-generated atomic oxygen", *Appl. Phys. Lett.* vol 102, pp. 132904-1-132904-3 (2013).

採択回数	1	2	3
(先端)			

採択番号 H26/A04

強誘電体障壁を有する Fe_4N 基トンネル接合素子の開発

〔1〕組織

代表者：

角田 匡清（東北大学大学院工学研究科）

対応者：

白井 正文（東北大学電気通信研究所）

分担者：

浅野 秀文（名古屋大学工学研究科）

末益 崇（筑波大学数理物質科学研究科）

古門 聡士（静岡大学工学研究科）

磯上 慎二（福島工業高等専門学校）

永沼 博（東北大学工学研究科）

辻川 雅人（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：17人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 21 万 0 千円

〔2〕研究経過

大きな自発分極を有する強誘電体を絶縁障壁層とする Fe_4N 基強磁性トンネル接合素子を開発し、電界効果が及ぼす Fe_4N 薄膜の界面磁性の変調をトンネル磁気抵抗効果ならびに電流誘起磁化反転現象を通じて明らかにすることを目的として、本研究プロジェクトを組織した。 Fe_4N の特異な電子構造は、電子数の増減によって大きな磁性変調（垂直フェリ磁性～強磁性～ハーフメタル）をもたらすことが期待できる。本研究を通じて金属強磁性体への電界効果のメカニズムを明らかにすると同時に、強誘電体障壁層の残留分極の電氣的制御法を確立し、出力たるトンネル磁気抵抗効果が変化するプログラマブル磁気抵抗素子など、室温動作可能な新奇スピントロニクス固体デバイスの提案を行う。

具体的には、ペロブスカイト型酸化物強誘電体薄膜の高品質成膜プロセスの開発を行うことを当初の目標とした。一般に酸化物薄膜を結晶性良く成長させるためには、基板温度を高温（ $>400^\circ\text{C}$ ）とする必要があるが、界面拡散の無い Fe_4N /ペロブスカイト型障壁層のヘテロ接合を実現するためには、より低温（ $<400^\circ\text{C}$ ）でのエピタキシャル成長技術を確立することが求められる。形成したペロブスカイト薄膜

は、トンネル障壁としての用途を鑑み、強誘電特性、表面平坦性、結晶配向性、結晶歪みなどの観点から物性評価を行う。開発した薄膜形成技術を用いて、 Fe_4N /ペロブスカイト酸化物/Co-Fe の構造を有する強磁性トンネル接合（MTJ）を主にスパッタリング法を用いて形成する。形成したペロブスカイト障壁層には、 MgO 障壁層の結晶性改善効果に実績のある in-situ 赤外線加熱を施し、高品質障壁層の形成を図る。また、第一原理計算によるペロブスカイト障壁 MTJ の電子状態およびスピン依存トンネル伝導の予測を行い、障壁材料ならびに対向電極材料が TMR 効果に及ぼす影響を明確化し、MTJ の材料設計にフィードバックする。

プロジェクト研究2年目の本年度も、高品質 Fe_4N 類型材料薄膜の作製とその物性評価を中心に行った。東北大学においては試料成膜と微細加工を主に行った。筑波大学においては成膜手法を分子線エピタキシー法とした試料作製を行い、東北大学試料との比較検討を行った。伝導理論研究を静岡大学で、また MTJ の伝導計算は東北大学電気通信研究所において行った。さらに、研究分担者を一堂に会して下記の研究会を開催し、研究成果に関する討論を行い、これまでの研究知見・手法などの研究資源の整理と共有化を図った。

○第2回研究会

日時：平成 28 年 2 月 22 日（月）

場所：東北大電気通信研究所本館 M331 セミナー室
プログラム：『MBE 法で作製した強磁性窒化物薄膜の磁気特性』
（筑波大 伊藤啓太、具志俊希、

東小菌創真、高田郁弥、末益崇）

『異方性磁気抵抗効果を用いた Fe_4N および Mn_4N 薄膜の格子歪の検証』

（東北大 鹿原和樹、角田匡清）

『強磁性体の異方性磁気抵抗効果とスピン分極率に関する理論的研究』

（静岡大 古門聡士）

『ペロブスカイトハーフメタル/窒化物反強磁性体ヘテロ構造の磁気伝導特性』

（名古屋大 ソジョンミン、安藤弘紀、

黒木庸次、羽尻哲也、植田研二、浅野秀文
『逆ペロブスカイト型遷移金属磁性窒化物/強誘電体接合における電気磁気およびスピン依存伝導特性』

(東北大 辻川雅人、隈田 壮、白井正文)
『電気磁気材料Cr₂O₃薄膜を用いた磁化の電界制御の現状』

(東北大 野崎友大、S. P. Pati、M. Al-Mahdawi、
葉術軍、塩川陽平、佐橋政司)

〔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。

(a) 擬単結晶 Fe₄N 薄膜の異方性磁気抵抗効果の低温異常

Fe₄N 薄膜の異方性磁気抵抗 (AMR) 効果においては、特徴的な負の AMR 比が報告され、Fe₄N における少数スピン電子伝導の証拠であると考えられている。同 AMR 効果は、50 K 以下の低温で図 1 に見られるような異常 (電流方向を含む面内での磁化回転に対する抵抗変化の 2 回対称成分 (C_2) の急激な増大と 4 回対称成分 (C_4) の出現) を示すことが報告されており、その起源について興味を持たれている。スピン軌道相互作用だけを取り入れた不純物による電子散乱理論では、d 軌道の変形はスピン方向に対して一軸的に生じるため、 C_4 の 50K 以下での出現を説明することができない。そこで我々はスピン軌道相互作用と正方対称結晶場効果を取り入れた電子散乱理論を構築した。同理論によれば、フェルミ準位における d 軌道が、スピン軌道相互作用による球対称からの変形のみならず、結晶場による各軌道の分裂によって更に変形するために、前述した s-d 散乱過程のスピン方向依存性が影響を受け AMR 効果に変調が生じる。

図 2 には、d 軌道の変形の例として、少数スピン電子の $d_{3z^2-r^2}$ 軌道 (波動関数の方位成分) のスピン

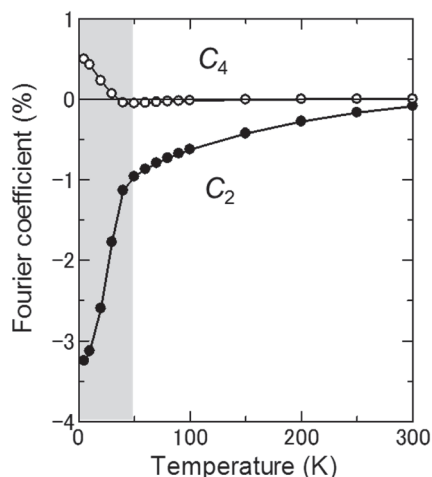


図 1. 擬単結晶 Fe₄N 薄膜の AMR 曲線の $\cos 2\phi$ 成分 (C_2) と $\cos 4\phi$ 成分 (C_4) の温度依存性

の方向 (ϕ) に対する変化の様子を示した。変形を顕著に見るためにスピン軌道相互作用 (λ) を大きめに設定している。xy 平面方向に伸びた軌道が z 軸対称から変形して小判型になっており、矢印で示したスピンの方向の変化に伴ってその長軸が xy 平面内でスピンと逆方向に回転してゆく様子が見てとれる。すなわち、x 軸方向の波動関数の確率振幅が $\cos 2\phi$ に比例して変調する成分を含むことが判る。電流が x 軸方向に流れている場合の s-d 散乱による抵抗率は d 軌道の x 軸方向への広がりによって決まる。図 2 に例示した $d_{3z^2-r^2}$ 軌道の場合、x 軸方向の波動関数に $\cos 2\phi$ に比例して変調する成分が含まれているため、電気抵抗のスピン方向依存性には 2 回対称成分のみならず 4 回対称成分が含まれることになり、結果 C_4 の原因となる。電流が [100] 方向に流れる場合の C_2 は e_g (d_{xy}) 軌道と t_{2g} (d_{xz}) 軌道のフェルミ準位での状態密度の差に、また C_4 は分裂した t_{2g} 軌道のフェルミ準位での状態密度の差に比例する。すなわち本研究のような薄膜試料の場合に想定される、測定温度低下に伴う膜厚方向の結晶格子の収縮は、立方晶から正方晶への結晶対称場の変化を誘起すると考えられ、それに伴って AMR 効果 (C_2 , C_4) の

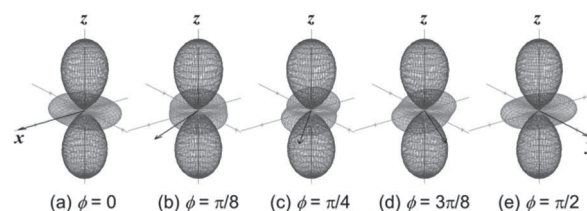


図 2. $d_{3z^2-r^2}$ 軌道のスピン方向依存性

温度変化が生じたものと考えられる。

上述した 50K 以下の温度での Fe₄N 格子の立方晶 → 正方晶転移は、transverse-AMR 効果 (以下 Tr-AMR 効果) の測定により検証することができる。Tr-AMR 効果は通常の AMR 効果と異なり、電流ベクトル (x 方向) に垂直な面 (yz 面) 内で磁化を回転させた場合の電気抵抗率の変化である。

結晶対称性の議論から導かれる現象論的な Tr-AMR 効果の表式は、 θ を z 軸から測った yz 面内の磁化の方向として、電気抵抗率が下記の様になる。

$$\rho(\theta) = \rho_0^{tr} + \rho_2^{tr} \cos 2\theta + \rho_4^{tr} \cos 4\theta + \dots$$

上式の ρ_2^{tr} , ρ_4^{tr} の各係数は、文献 (J. Phys.: Cond. Mat. **22** (2010) 146006) の記号を用いて、立方晶の場合、

$$\begin{aligned} \rho_2^{tr} &= 0, \\ \rho_4^{tr} &= \frac{1}{8}(2a_{111122} - a_{112233}) \end{aligned}$$

正方晶の場合、

$$\begin{aligned} \rho_2^{tr} &= \frac{1}{2}(-a_{1122} + a_{3311} - a_{111122} + a_{333311}), \\ \rho_4^{tr} &= \frac{1}{8}(a_{111122} + a_{333311} - 6a_{223311}) \end{aligned}$$

となる。すなわち、温度低下に伴い立方晶 → 正方晶転移が生じれば Tr-AMR 曲線に $\cos 2\theta$ 成分が出現することになる。

図3には各温度で印加磁界 80 kOe 下で測定した Fe₄N 薄膜の Tr-AMR 曲線をフーリエ解析して求めた $\cos 2\theta$ 成分 (C_2^{tr}) ならびに $\cos 4\theta$ 成分 (C_4^{tr}) の測定温度依存性を示す。300K~50K の範囲では小さな正の値であった C_2^{tr} が、50K 以下の温度から急激に負に増大しており、同温度で立方晶→正方晶転移が生じていることが示唆される。

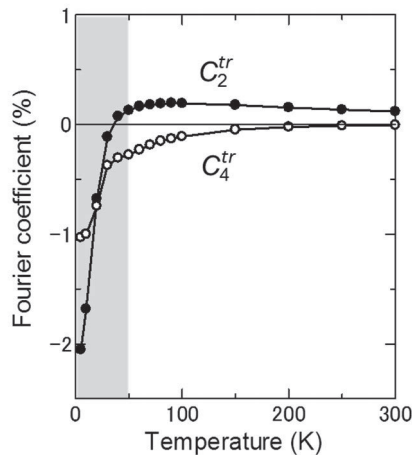


図3. 擬単結晶 Fe₄N 薄膜の Tr-AMR 曲線の $\cos 2\phi$ 成分 (C_2) と $\cos 4\phi$ 成分 (C_4) の温度依存性

(b) 擬単結晶 Fe₄N 薄膜の異常ホール効果

上述した AMR 効果の起源はスピン軌道相互作用であり、同作用ならびに結晶場効果によって生じる磁化方向変化に対する波動関数の変調が伝導電子の散乱 (s-d 散乱) に影響を与える結果 AMR 効果が生じている。AMR 効果と同様な電流磁気効果の一つである異常ホール効果についてもその起源はスピン軌道相互作用であり、Fe₄N 薄膜で観測された AMR 効果の低温異常が、異常ホール効果の測定結果にも何らかの形で表れることが期待される。

図4に、Fe₄N 薄膜のホール抵抗率 (ρ_{xy}) の印加磁界依存性 (ホール曲線) から決定した異常ホール抵抗率 (ρ_{AH}) と、同時測定した通常の電気抵抗率 (縦抵抗率: ρ_{xx}) から次式を用いて算出した異常ホール伝導度 (σ_{AH}) の測定温度依存性を示す。

$$\sigma_{AH} = \frac{\rho_{AH}}{\rho_{AH}^2 + \rho_{xx}^2}$$

σ_{AH} は 300K から 50K の範囲では温度低下に伴って直線的に増大するが、50K 以下の温度で急激に減少することが判る。このような変化は前述した AMR 効果の低温異常によく対応しており、AMR の低温異常の原因と考えられる正方晶転移によって異常ホール効果も影響を受けているものと推察される。すなわち正方晶転移に伴う e_g 軌道と t_{2g} 軌道それぞれの分裂によってフェルミ準位上での軌道角運動量が変化し、その結果スピン軌道相互作用に起因する異常ホール伝導度が変化したものと現在考えている。

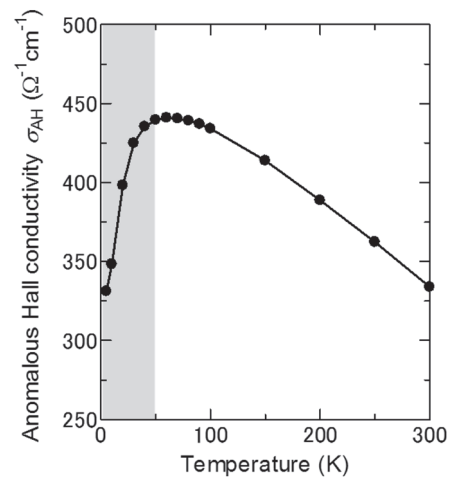


図5. 擬単結晶 Fe₄N 薄膜の異常ホール伝導度の温度依存性

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクト研究会は、材料開発、理論研究、応用研究ならびに解析技術研究の各分野から、Fe₄N ならびに同類型材料の応用に関する国内の第一線の研究者を集めたものであり、新たな研究コミュニティを確立することも目的の一つである。共著での学会発表や論文執筆、さらには、共同での科学研究費補助金申請など精力的な活動が行われており、独創的な高性能新材料の開発など、産業利用価値の高い大きな成果が生まれてくることが大いに期待される。

[4] 成果資料

- (1) S. Kokado and M. Tsunoda,
“Twofold and Fourfold Symmetric Anisotropic Magnetoresistance Effect in a Model with Crystal Field”,
J. Phys. Soc. Jpn., **84**, 094710 (2015).
- (2) K. Kabara, M. Tsunoda, and S. Kokado,
“Transverse anisotropic magnetoresistance effects in pseudo-single-crystal γ' -Fe₄N thin films”,
AIP Advances, **6**, 055818 (2016).
- (3) K. Kabara, M. Tsunoda, and S. Kokado,
“Anomalous Hall effects in pseudo-single-crystal γ' -Fe₄N thin films”,
AIP Advances, **6**, 055801 (2016).
- (4) K. Ito, Y. Yasutomi, K. Kabara, T. Gushi, S. Higashikozono, K. Toko, M. Tsunoda, and T. Suemasu,
“Perpendicular magnetic anisotropy in Co_xMn_{4-x}N (x = 0 and 0.2) epitaxial films and possibility of tetragonal Mn₄N phase”,
AIP Advances, **6**, 056201 (2016).

採択回数	1	②	3
(国際)			

採択番号 H26/A05

磁性体/半導体ハイブリッド構造の形成と ナノデバイスへの応用に関する研究

〔1〕組織

代表者：松倉 文礼

(東北大学原子分子材料科学高等研究機構)

対応者：白井 正文

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

廣畑 貴文 (ヨーク大学)

大野 英男 (東北大学電気通信研究所)

佐藤 英夫 (東北大学省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター)

金井 駿 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：11 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 5 万円
国際、特別支援費 30 万円

〔2〕研究経過

スピントロニクス・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、高品質な強磁性体/半導体ハイブリッド構造の成膜手法の確立、構造の基礎特性評価、デバイス試作を行うことで、新機能スピントロニクス・デバイス開発に必要な基盤技術を確立することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、昨年度が初年度であった。本年度は、良質な磁性体/半導体ハイブリッド構造の作製とそれを用いたスピン流の生成と検出に関する研究を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設において既存の分子線エピタキシ装置により化合物半導体単結晶・ヘテロ構造の結晶成長を大野・松倉と博士研究員 2 名、博士課程学生 1 名が担当した。その上に同実験施設のスパッタ装置を用いて非磁性金属及び磁性金属の成膜を佐藤が担当した。強磁性体/半導体の界面において生成されるスピン流の生成と検出は松倉と同研究員 2 名・金井が担当した。廣畑とは仙台で 2 回、研究方針に対する打ち合わせを行った。また、ヨーク大学の研究員が約 2 週間、通研に滞在し素子作製を行った。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

本年度は、昨年度の結果の考察を深め、以下の成果を原著論文としてまとめた。

強磁性半導体 (Ga, Mn) As と非磁性金属 Pt の良質なハイブリッド構造の作製とスピン流の生成・検出に成功した。半絶縁性 GaAs (001) 基板上に分子線エピタキシ法で (Ga, Mn) As を成膜し、その上に Pt をスパッタ装置で成膜した。スピンプンピングによる Pt/(Ga, Mn) As 界面のスピン流生成と逆スピン・ホール効果によるその電氣的検出を試みた。試料にマイクロ波 (9 GHz) を印加し (Ga, Mn) As が強磁性共鳴下にある時に Pt に発生する直流電圧の測定を行った。外

部磁界を掃引し (Ga, Mn)As の強磁性共鳴が満たされた際に、外部磁界に対して対称な形状を持つ直流電圧が Pt において観測された。このことは、(Ga, Mn)As 中の電流磁気効果(プレナー・ホール効果)による直流電圧もしくは Pt 中に生成されたスピン流が逆スピン・ホール効果によって直流電流に変換されたことによる直流電圧を測定できたことを示している。直流電圧信号強度の外部磁界印加角度依存性の解析から、プレナー・ホール効果と逆スピン・ホール効果による電圧を分離し、Pt/(Ga, Mn)As 界面ではすべて半導体で作られた (Ga, Mn)As/p-GaAs 界面より 10 倍程度大きな効率でスピン流を生成できることを明らかにした。

また、今年度からの研究として、トポロジカル絶縁体 (Bi, Sb)₂Te₃ の結晶成長に着手し、強磁性金属との接合を利用したトポロジカル絶縁体中のスピン流生成に関する研究を進めている。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

【特別支援費(国際)にかかる研究成果】

昨年度の以下の成果の考察を深め、原著論文としてまとめた。分子線エピタキシ法で成膜した ZnO 上に良質な強磁性金属 Py が成膜可能であることを示した。Py が強磁性共鳴下にある時に ZnO 上に形成された電極間に発生する直流電圧を計測したが、電流磁気効果による信号であるかスピン流生成による逆スピン・ホール効果による信号かの同定には至っていない。ZnO のようなスピン-軌道相互作用の小さな材料におけるスピン流の感度良い検出手法が課題である。

また、非磁性半導体中のスピン依存伝導特性を測定するために、東北大学附属ナノ・スピン実験施設においてヨーク大学の研究員が素子作製を行った。素子特性はヨーク大学において評価中である。

金属/半導体界面でのスピン流生成は両材料間に電気伝導率不整合があるため、困難であるとされてきた。金属/半導体界面での効率の良いスピン流生成は、新しい機能を持つスピントロニクス・デバイスの創生に向けた基盤技術となることが期待される。

通研の分担者である大野を日本側のコーディネータとした日本学術振興会の先端拠点形成事業(東北大学・英国ヨーク大学・独国カイザースラウテルン工科大学)が平成 28 年度から 5 年間の予定で採択された。より密接な共同研究体制の構築が可能となるので、研究の加速が期待される。

[4] 成果資料

(1) H. Nakayama, L. Chen, H. W. Chang, H. Ohno, and F. Matsukura, "Inverse spin Hall effect in Pt/(Ga, Mn)As," Appl. Phys. Lett. **106**, 222405 (2015).

(2) S. D' Ambrosio, L. Chen, H. Nakayama, F. Matsukura, T. Dietl, and H. Ohno, "Ferromagnetic resonance of Py deposited on ZnO grown by molecular beam epitaxy," Jpn. J. Appl. Phys. **54**, 093001 (2015).

採択回数	1	2	3
(先端・萌芽・国際)			

H26/A06

Ge ベース高度歪異種原子層配列 IV 族半導体形成と ナノデバイスへの応用に関する研究

[1] 組織

代表者：櫻庭 政夫

(東北大学電気通信研究所)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

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)

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

末光 眞希 (東北大学電気通信研究所)

鷲尾 勝由 (東北大学大学院工学研究科)

川島 知之 (東北大学大学院工学研究科)

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)

高木 信一 (東京大学大学院工学研究科)

鳥海 明 (東京大学大学院工学研究科)

奥村 次徳 (首都大学東京理工学系)

伊藤 利道 (大阪大学大学院工学研究科)

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 (静岡大学電子工学研究所)

高橋 庸夫 (北海道大学大学院工学研究科)

堀口 誠二 (秋田大学大学院工学資源学研究科)

土屋 敏章 (島根大学総合理工学部)

宮尾 正信 (九州大学大学院システム情報科学研究科)

佐道 泰造 (九州大学大学院システム情報科学研究科)

宮崎 誠一 (名古屋大学大学院工学研究科)

須田 良幸 (東京農工大学総合メディアセンター)

中川 清和 (山梨大学医学工学総合研究部)

荻野 俊郎 (横浜国立大学大学院工学研究科)

塩島 謙次 (福井大学大学院工学研究科)

阿部 孝夫 (信越半導体 (株))

国井 泰夫 (日立国際電気 (株))

水島 一郎 ((株) 東芝セミコンダクター社)

平山 誠 (米国・ニューヨーク州立大学オルバニー校)

Bernd Tillack (ドイツ・IHP)

Matty Caymax (ベルギー・IMEC)

James Sturm (米国・プリンストン大学)

Judy Hoyt (米国・マサチューセッツ工科大学)

Eugene Fitzgerald (米国・マサチューセッツ工科大学)

Erich Kasper (ドイツ・シュトゥットガルト大学)

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)

Roger Loo (ベルギー・IMEC)

Dan Buca (ドイツ・ユーリッヒ研究センター)

延べ参加人数：41 人

研究費：物件費 13 万 8 千円，旅費 27 万円

国際特別支援費 30 万円

[2] 研究経過

[目的] 近年，大規模集積回路の高性能化及びその上への新機能デバイス搭載等のために，従来の Si ベース IV 族半導体プロセスに加えて，Ge ベース IV 族半導体プロセスの開発が極めて重要になってきている．研究代表者らは，大規模集積化対応の Si 系 IV 族半導体デバイスのナノ構造化に伴い誘起する歪により，半導体物性のみならず，半導体中の不純物の電気的活性度・固溶限界・表面反応定数等が大きく変化する

ることを見いだしてきた。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、ナノ構造化と異種原子層積層で誘起される歪が Ge ベース IV 族半導体の表面や界面の反応、不純物原子の電気的活性化、不純物拡散等のプロセスに与える影響を系統的に明らかにすることを目標とする。そして、歪制御と異種原子層配列制御の両面から、デバイス性能を決定づけるキャリアの超高移動度化と超高濃度化を可能にする Ge ベース高度歪異種原子層配列 IV 族半導体形成プロセスの開発を目指すものである。

〔概要〕本研究代表者らは、これまで構築してきた Si-Ge 系 IV 族半導体の原子層積層 CVD 技術により、IV 族半導体のキャリアの高移動度化と高濃度化が可能になることを示してきた。本研究では、その技術基盤を足場として、（１）Ge ベース IV 族半導体の CVD 反応制御と歪導入制御、並びに、（２）Ge ベース IV 族半導体への原子層ドーピング、（３）Ge ベース IV 族半導体の高度歪異種原子層配列制御の実験を進め、Ge ベース高度歪異種原子層配列 IV 族半導体形成プロセスを開発する。

本研究においては、実用性の極めて高い CVD による原子層積層実験が必要である。特に、実験研究を効率的に進めるために、現有の複数台の高清浄原子層制御対応 Hot Wall 型及び Cold Wall 型 CVD 装置を用いて並列に原子層積層の実験を行う。また、反応炉から低湿度大気雰囲気中で試料を分析装置（現有：角度分解 XPS, XPS, RHEED, AFM, FTIR）に搬送することにより、原子レベル精度での表面分析も可能とする。異種原子層配列構造の原子レベル評価に関しては、すでに確立した XPS と湿式エッチングによるサブナノメートル精度での組成・不純物濃度分布測定法を用いて実現する。高度な専門性が求められる SIMS や断面 TEM による評価は、海外共同研究者への協力依頼や外注で対応する。その他の電気的・光学的物性評価やナノ構造デバイス製作は、現有の研究環境・設備を駆使して進める。

〔研究集会等の開催状況〕後述するように、本研究プロジェクトが中心となり、３つの国際会議・国際ワークショップを開催した。また、本研究課題は国際共同研究推進型であり、国際共

同研究への発展を促進することを目的としていることから、後述の国際ワークショップへの海外共同研究者の招聘旅費の一部として特別支援費を使用した。

〔３〕成果

（３－１）研究成果

本年度は第２年度であり、大口径ウェハに対応可能な減圧 CVD 装置を用いた Ge エピタキシャル成長における C と Si の原子層ドーピングについて研究を進めた結果、以下のような研究成果を得た。

まず第１に、 CH_3SiH_3 の表面反応により形成された Ge(100)上の C と Si の原子層は、その後の Ge エピタキシャル薄膜下部に埋め込むことができ、表面偏析現象が極めて少ないことを明らかにした。

第２に、窒素雰囲気中で 550°C 熱処理を行った場合には、Ge(100)上の C と Si の原子層の原子面密度比は 1 : 1 に近くなることを確認した。一方で、水素雰囲気中で 550°C 熱処理を行うと、Si に比べて C の原子面密度が大幅に減少することから、 CH_3SiH_3 の表面反応においてはほとんどの C-Si 結合が切断することなく C と Si の原子層が形成されるが、 550°C で水素ガスが反応することによって C-Si 結合が切断され、C 原子を優先的に還元除去できることがわかった。

以上のように、Ge ベース高度歪異種原子層配列 IV 族半導体プロセスの開発のための重要な成果を得た。今後も、この分野の共同プロジェクトを推進することにより、IV 族半導体原子制御プロセスの学問分野が大きく発展すると期待できる。

（３－２）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

IV 族半導体の原子層制御技術に関して、外部研究機関分担者との共同研究の成果を国際会議論文及び学術誌論文（海外機関 5 件、国内機関 1 件）として発表した。また、本研究プロジェクトが中心となり、以下の３つの国際会議・国際ワークショップも開催した。

・第 9 回 Si エピタキシー&ヘテロ構造国際会議

(9th Int. Conf. on Silicon Epitaxy and

Heterostructures (ICSI-9)), 2015 年 5 月 17~22 日, Canada, 発表 110 件 (基調講演 3 件、招待講演 20 件、口頭発表 51 件、ポスター発表 36 件), Proceeding 特集号 (Thin Solid Films, Vol.602, 2016) を出版済.

- ・ 第 9 回 ULSI プロセスインテグレーション国際会議 (Symp. G04: ULSI Process Integration 9, 228th Meeting of the Electrochem. Soc.), 2015 年 10 月 11~16 日, USA, 発表 25 件 (基調講演 3 件、招待講演 12 件、口頭発表 10 件), Proceeding 特集号 (ECS Trans., Vol.69, No.10, 2015) を出版済.
- ・ 第 9 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 & JSPS 研究拠点形成事業ジョイントセミナー “高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成” (9th International WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar "Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration"), 仙台, 2016 年 1 月 11-12 日, 発表 34 件 (招待講演 8 件、一般講演 10 件、ポスター発表 16 件), 参加者 55 名.

これらの国際交流活動は, Ge ベース高度歪異種原子層配列 IV 族半導体における物理現象を踏まえたナノデバイス製作技術, 回路・システム化技術の構築と産学独連携体制構築を含む研究活動推進が産業発展のために重要であると考えられ, 世界規模での研究連携のきっかけとなることが期待される.

[4] 成果資料

1. Y. Yamamoto, R. Kurps, J. Murota and B. Tillack, “Arsenic Atomic Layer Doping in Si Using AsH₃”, Solid-State Electron., Vol.110 (2015) pp.29-34.
2. K. Minami, A. Moriya, K. Yuasa, K. Maeda, M. Yamada, Y. Kunii, M. Niwano and J. Murota, “Low-Temperature Reduction of Ge Oxide by Si and SiH₄ in Low-Pressure H₂ and Ar Environment”, Solid-State Electron., Vol.110, pp.40-43 (2015)
3. Y. Yamamoto, S. Lischke, L. Zimmermann, J. Murota and B. Tillack, “Advanced Germanium Epitaxy for Photonics Application” (**Invited Paper**), 2015 Int. Conf. on Semiconductor Technology for Ultra Large Scale Integrated Circuits and Thin Film Transistors (ULSIC vs. TFT 5), Lake Tahoe, California, USA, June 14-18, Session: New Devices Application: ECS Trans., Vol.67, No.1 (2015) pp.123-134.
4. J. Murota, Y. Yamamoto and B. Tillack, “Atomically Controlled Processing for Germanium-Based CVD Epitaxial Growth” (**Invited Paper**), 2015 Int. Conf. on Semiconductor Technology for Ultra Large Scale Integrated Circuits and Thin Film Transistors V (ULSIC vs. TFT 5), Lake Tahoe, California, USA, June 14-18, Session: Etching & Deposition Processes: ECS Trans., Vol.67, No.1 (2015) pp.135-144.
5. J. Murota, “Heavy Doping in Si_{1-x}Ge_x Epitaxial Growth by Chemical Vapor Deposition”, Chapter 4 in “Photonics and Electronics with Germanium”, ed. K. Wada and L. C. Kimerling, (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. Germany, 2015 July), pp.77-99.
6. A.A. Shklyayev, V.I. Vdovin, V.A. Volodin, D.V. Gulyaev, A.S. Kozhukhov, M. Sakuraba and J. Murota, “Structure and optical properties of Si and SiGe layers grown on SiO₂ by chemical vapor deposition”, Thin Solid Films, Vol.579 (2015) pp.131-135.
7. Y. Yamamoto, N. Ueno, M. Sakuraba, J. Murota, A. Mai and B. Tillack, “C and Si delta doping in Ge by CH₃SiH₃ using reduced pressure chemical vapor deposition”, Thin Solid Films, Vol.602 (2016) pp.24-28.
8. 櫻庭政夫, 秋間学尚, 佐藤茂雄, 室田淳一, “XPS によるIV族半導体材料における深さ方向組成分布の評価事例”, 表面分析研究懇談会 (2015 年 6 月 18~19 日, (株) 島津製作所秦野工場), 講演要旨集, pp.6-1 ~9, doi: 10.13140/RG.2.1.2125.3284 .

採択回数 (若手)	1	2	3
--------------	---	---	---

採択番号 H26/A07

2 次元半導体薄膜の構造制御合成と物性解明

[1] 組織

代表者：加藤 俊顕

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：片野 諭

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

小鍋 哲 (筑波大学数理工学系)

北浦 良 (名古屋大学大学院理学研究科)

千足 昇平 (東京大学大学院工学系研究科)

古閑 一憲 (九州大学大学院)

澁田 靖 (東京大学大学院工学系研究科)

劉 崢 (産業技術総合研究所)

延べ参加人数：70 人

研究費：物件費 1 3 万 7 千円，旅費 1 2 万 9 千円

若手、特別支援費 2 0 万円

[2] 研究経過

原子オーダーの厚みを有する 2 次元シート形状の物質は、優れた基礎物性を示すことから応用に向け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二次元シート薄膜に関する研究・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二次元半導体物質に関して、構造制御合成と新たな物性解明を目的として研究を行った。

プロジェクト 3 年計画の 2 年度目であった本年度は、原子層半導体物質であるグラフェンナノリボンの合成機構解明、及び遷移金属ダイカルコゲナイドの光物性解明に特化して研究を展開した。

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：平成 28 年 1 月 22-23 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 南講義棟 103 講義室

- 「プラズマ／触媒複合反応による低温メタン活性化」野崎 智洋，亀島 晟吾，田村 奎志朗 (東京工業大学 理工学研究科)
- 「機械・医療分野に貢献する大気圧プラズマ金

属窒化法の開発」市来 龍大 (大分大学大学院工学研究科)

- 「グラフェンの電子物性におけるナノスケールエッジ効果の理論」若林 克法 (関西学院大学 理工学部)
- 「プラズマ照射培地負荷に対する細胞応答の分子機構」足立 哲夫 (岐阜薬科大学 医療薬剤学大講座)
- 「大気圧プラズマ誘導 Ca^{2+} チャネルの活性機構と遺伝子・薬剤導入への応用」佐々木 渉太¹，保莉 雄太郎¹，神崎 展²，金子 俊郎¹ (¹東北大学 大学院工学研究科，²東北大学 大学院医学工学研究科)
- 「Effects of electrical stimulation on the growth and development of radish sprouts」Ming Chang Wu (College of Agriculture, National Pingtung University of Science and Technology (NPUST), Taiwan)
- 「Reduction of harvest period and increase in harvest yield of seed plants using plasmas」Masaharu Shiratani (Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University)
- 「Effects of reactive species in atmospheric pressure air plasma on plant defensive gene expression」Hideaki Konishi¹，Keisuke Shimada¹，Keisuke Takashima¹，Sugihiko Ando²，Hideki Takahashi²，and Toshiro Kaneko¹ (¹Dept. of Electronic Eng., Tohoku Univ., ²Dept. of Life Sci., Tohoku Univ.)
- 「Electromechanical and optical properties of graphene xylophone」Hakseong Kim and Sang Wook Lee (School of Physics, Konkuk University, Korea)
- 「Two-dimensional, layered-crystalline organic semiconductors for printed electronics」Tatsuo Hasegawa (Department of Applied Physics, The University of Tokyo)
- 「Fabrication of Schottky-type solar cell with atomically thin layered material」Toshiki Akama, Toshiaki Kato, and Toshiro Kaneko

(Department of Electronic 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「2次元半導体薄膜の構造制御合成と物性解明」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、ナノカーボンの理論、及び合成・制御と応用、バイオ応用プラズマプロセス、医療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

(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2次元薄膜物質であるグラフェンナノリボンや遷移金属ダイカルコゲナイド等の物質を対象として、構造制御合成、合成メカニズムの解明、光電子デバイス応用、及び光物性解明を目指した研究を展開している。本年度は以下に示す研究成果を得た。

I. プラズマ CVD における架橋グラフェンナノリボンの合成機構解明

グラフェンシートは優れた電気伝導特性、柔軟な機械的構造、高い光透過性を合わせ持つ次世代の電子材料として大きな注目を集めている新規ナノ物質である。一般にグラフェンシートは2次元シート構造をとっており、バンドギャップを持たない金属的振る舞いを示す。これに対しグラフェンシートがナノメートルオーダー幅の1次元リボン構造（グラフェンナノリボン）をとることで、グラフェンシートに有限のバンドギャップを発現させ得ることが近年明らかになった。これにより、グラフェンナノリボンは主に半導体デバイス分野において、世界中から大きな注目を集めている材料となっている。近年我々はこのグラフェンナノリボンをプラズマ CVD により、基板上の任意の場所に任意の方向へ集積化合成する手法の開発に成功した(図 1(a))。しかしながら、本手法におけるグラフェンナノリボン合成機構は不明のままであり、さらなる構造制御合成に向け、この合成機構解明が重要な課題となっていた。

前年度までは、プラズマ CVD 中の炭素供給によるニッケルナノバーの安定化が本手法におけるグラフェンナノリボン合成に必須の条件であることを明らかとした。今年度は、この安定な炭素含有ニッケルナノバーから冷却過程においてグラフェンナノリボンが析出する過程に着目し、ニッケル電極間を架橋したグラフェンナノリボン構造が形成される物理的機構の解明に特化して研究を行った。共同研究者との連携による材料工学に基づくフェーズダイアグ

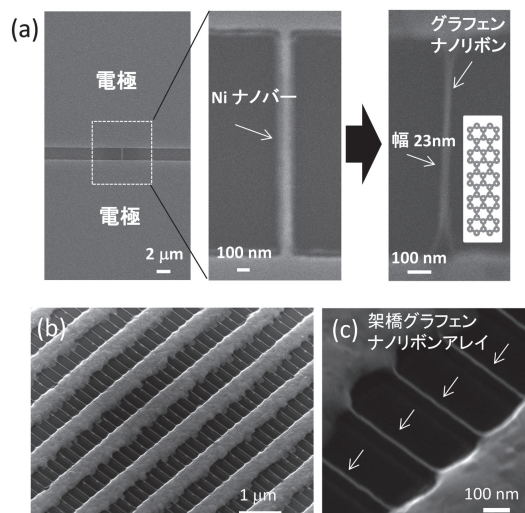


図 1: (a) 架橋グラフェンナノリボンの構造模式図、大面積架橋グラフェンナノリボンアレイの (b) 低倍率、及び(c)高倍率走査型電子顕微鏡像。

ラム解析、及び分子動力学シミュレーション計算により、本 CVD 中高温下でニッケルナノバーが液体状態をとることが判明した。また、グラフェンナノリボンの析出に伴いニッケル中の炭素濃度が低下することで、不安定な液体状態へと変化し、ニッケルナノバー構造が部分的に崩壊し、その後キャピラリーフォースで両端電極へとニッケル液滴が押し出されることが明らかとなった。これ等冷却中の一連の反応により、最終的にグラフェンナノリボンがニッケル電極間を架橋して合成されることが明らかとなった。さらにこの知見を活用して条件を最適化することで、ウェハースケールで架橋グラフェンナノリボンを集積化合成することに成功した(図 1(b,c))。本成果は、グラフェンナノリボンを用いた様々な半導体デバイス応用に向けて非常に大きな貢献が期待できるものである。

II. 遷移金属ダイカルコゲナイドを用いた高性能太陽電池の開発

原子オーダーの厚みを有する遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD) は明確なバンドギャップをもつ半導体として光電子デバイス応用に大きな注目を集めている。中でも、光透過性と機械的柔軟性を合わせ持つことから、数層 TMD は高効率な透明太陽電池応用に向けて大きな期待を寄せられている。実際、数層 TMD を用いた太陽電池に関しては、pn 接合型やヘテロ接合型などにより、既に多くの報告がなされている。一方で、これらの手法では複雑なデュアルゲート構造、あるいは局所的化学ドーピングが必須なため、実用上重要である大面積化に関しては、大きな障壁が残されている。これに対し、比較的簡

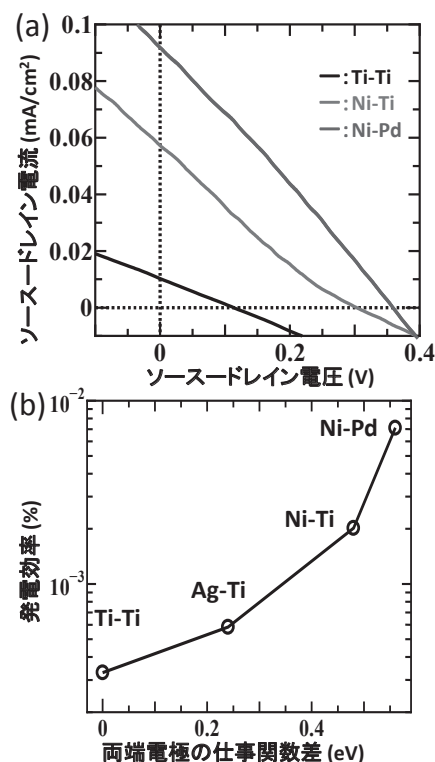


図 2: (a) 異種電極接合ショットキーデバイスの典型的な光照射時における電流電圧特性. (b) 両端電極対の仕事関数差に対する発電効率のプロット.

便に太陽電池の作製が可能な手法として知られているデバイス構造にショットキー型構造がある. この場合, 金属と半導体材料間のショットキー障壁を利用する発電であり, 半導体材料に適切な金属材料を接合させるだけで太陽電池としての動作が可能である. このため, スケールアップが容易であり, 上記の問題とされてきた大面積化に向けて非常に大きな可能性を秘めた手法と言える. しかしながら, 数層 TMD を用いたショットキー接合型の太陽電池はこれまで世界中でほとんど報告されておらず, 高効率発電にも至っていないのが現状である. そこで本研究では, 数層 TMD を用いたショットキー型太陽電池の実現と高効率化に向けた研究を行った.

高性能ショットキー太陽電池を作製するには, 片側でショットキー障壁を作り, 対向側ではオーミック接合をするデバイス構造が必要である. そこで, 様々な両端電極種の組み合わせを変化させ, 仕事関数差を制御し, 発電特性を測定した. その結果を図 2 に示す. 図 2 の結果から, 両端の仕事関数差に比例して発電効率が上昇し, Ni-Pd 電極の組み合わせを用いた場合に最大発電効率が得られることが分かった. また, 光電流マッピング測定により発電領域の特定を行ったところ, 電極と TMD との接合面でのみ明確な光電流が観測され, 本手法で作成した TMD 太陽電池がショットキー型デバイスであること

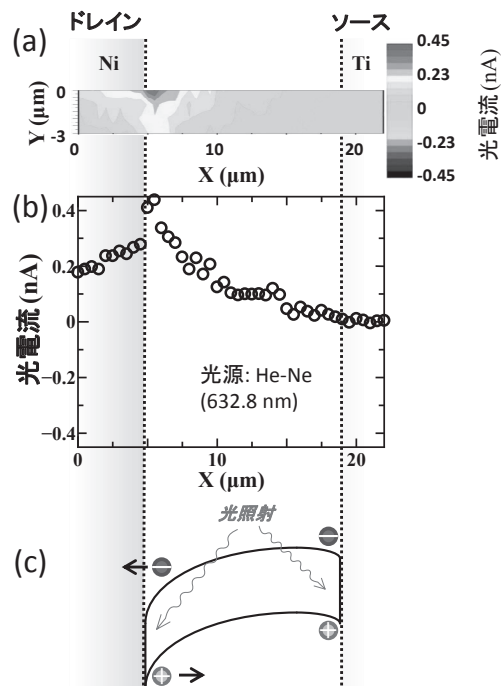


図 3: 異種電極 TMD ショットキー太陽電池における光電流マッピングの(a)空間分布と(b)1 ラインプロファイル. (c) 異種電極 TMD ショットキー太陽電池のバンド構造図と発電モデル.

が証明された(図 3).

本デバイスにおいて, 電極間距離, 及び基板からの不純物散乱の抑制などの最適化を行った結果, 発電効率を 0.75 % まで向上させることに成功した. この値は, 数層 TMD 太陽電池において, 現在報告されている中で, 最も高い発電効率である.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを通じ, 実験を行う我々研究グループと理論解析を行う学外の若手研究者との交流が飛躍的に活性化した. また, 本プロジェクトで実現したショットキー TMD 太陽電池では, 同種の材料を用いての世界最高性能を達成しており, 実用化に向け今後の発展が期待されている.

(特別支援 (若手) にかかる研究成果)

・タイプ: 若手研究者対象型

特別支援分の研究費により原子層物質関連で活躍する研究者を集めた研究会を開催した. 特にグラフェンを用いた最先端応用に関する意見交換, 及びグラフェンのエッジ状態を専門とする理論家とのディスカッションを通じ, グラフェンナノリボンアレイの応用に関する重要な知見を得た. これ等は, 次年度以降の具体的な応用展開に向け, 非常に重要な成果である.

採択回数	1	2	3
(若手)			

H26/A08

スピントルクオシレーターを用いた高感度磁気センサーの 基礎検討

〔1〕組織

代表者：塩川 陽平

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：片野 諭

(東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：4人

研究費：物件費13万7千円,

若手特別支援費20万円

〔2〕研究経過

高感度の磁気センサーのニーズは非常に高まっている。特に、これまでの工学的ニーズのみならず、脳磁や心磁などの生体情報を高感度に計測する超高感度磁気センサーは、今後の社会構造の変化からも非常に重要な課題となっている。本研究は、ナノスケールの自励発振器として開発されてきた Spin-Torque-Oscillator(STO)を、ピコテスラ程度の微弱な生体磁気情報を検出できる高感度磁気センサーに応用可能かどうか、その基礎検討を行う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。本研究は学生も含め延べ4人で行い、週に一度の研究打ち合わせを行った。また、類似研究を行っている東北大学大学院工学研究科応用物理学専攻の安藤研究室、及び産業総合研究所とも適宜、議論を行った。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

本研究では、STOによる高感度センサーを実現するために、STOに求められる研究開発事項を下記のように考え研究開発を行ってきた。

- ①十分な強度を満たす高出力(マイクロオーダーの出力)
- ②弱磁場センシングのための狭線幅
- ③高感度となる磁場に対する周波数の大きな変化

(大きな MHz/Oe)

④また、それを満たす最低な素子形状、膜構成

昨年度、本研究の特徴的な磁気抵抗素子である NCMR (Nano Contact Magnetoresistance)素子を用いて、発振層であるフリー層を 15nm とした vortex-NCMR-STO の開発を行った。NCMR は磁気抵抗素子を成す強磁性層/非磁性層/強磁性層の非磁性層に NOL(Nano Oxide Layer)という直径 2nm ほどの強磁性のホール(ナノコンタクト)を有する磁気抵抗素子となっており、理論的な高磁気抵抗、また局所的な高電流密度を実現できる STO となることが予想された。また、磁気センサーには高周波数は求められないことから、低周波数、高出力が多く報告されている vortex 発振モードを用いた。

本素子(素子構造：円形, 600nm φ)において、開発要求である①、②を満たす中心周波数 0.42GHz において、297nW の高出力、3.77MHz の狭線幅発振を得ることに成功している。

また、本 STO において素子形状、膜構成を変えることで最大 2.7MHz/Oe の周波数の変化を得ることに成功している。この時の素子構造はピン層構造がシンセティック型(ピン層/Ru/リファレンス層/NOL/フリー層)で、正方形の素子構造である。以上をもって、研究開発項目①、②は満たすことができたと考える。

本年度では、上記の研究開発を踏まえ、研究開発項目③、④を十分に満たす素子を開発することを優先事項と考え、その他の STO 素子構造での周波数の磁場依存性を調べることで、高感度磁気センサーに更に最適な素子構造が無いか調べた。本年度で新たに作製した素子構造は以下の通りである。

・Rh 下地層を用いた面直/面内 STO (Rh 50nm/FeCo 2nm/NOL 1nm/FeCo 2.5nm/IrMn 7nm)

・ピン層の無いダイポールカップリングを用いた Trilayer 型 STO (FeCo 5nm/NOL 1nm/FeCo 5nm)

まず、面直/面内 STO に関しては Rh という下地層を用いることによってその上層である FeCo を面

内に歪ませることで垂直磁化膜とさせることで垂直磁化フリー層を実現することに成功した。また FeCo の歪みによる垂直磁化膜は 10^7erg/cc と非常に大きな磁気異方性エネルギーを得ることができたことも特筆すべきことである。図 1 に本面直/面内 STO の発振スペクトルと磁場依存性を示す。重要となるゼロ磁場での発振を得ることに成功、またその磁場依存性から 2.6MHz/Oe の変化を得ることに成功したが、低磁場領域では非常にブロードな発振となっており、開発事項②を満たさないものとなった。これは、垂直磁化膜とするための大きな磁気異方性エネルギーが発振の不安定性をもたらしていることが理論計算より分かった。本面直/面内 STO 素子は磁気センサーには不向きと考えられる。

次にピン層の無いダイポールカップリングを用いた Trilayer 型 STO は、反強磁性体 IrMn によるピニング層を排除し、NOL を介した二つの強磁性層が静磁的なダイポールカップリングをすることで反平行状態を保ち、発振する際は両層がカップリングしながら発振する構造となっている。本素子では非常に大きな Q 値を有する、高周波数・超狭線幅の発振を得ることができた。そのスペクトラムを図 2 に示す。周波数が 23.24GHz 、線幅が 2.27MHz 、Q 値が 17000 を得ることができた。これはマイクロマグネティクスシミュレーションから上下の強磁性層が

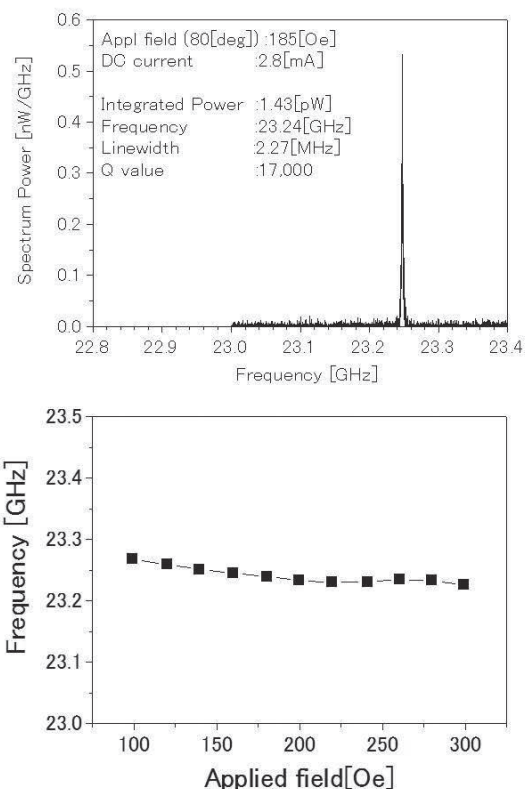


図2 Trilayer型STO素子のスペクトルと発振周波数の磁場依存性

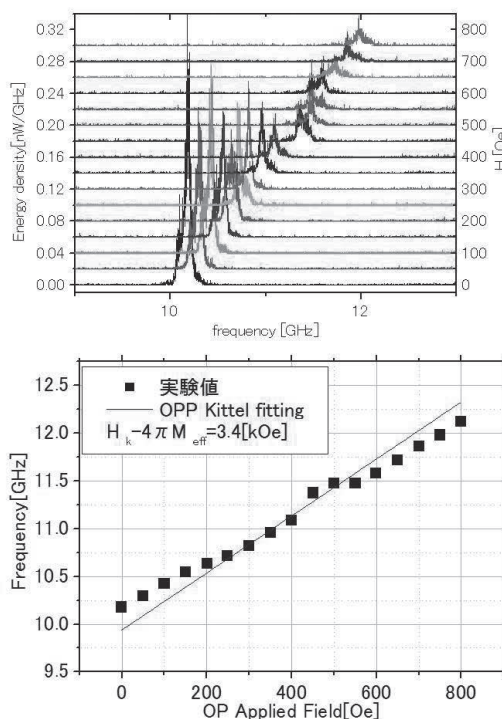


図1 面直/面内 STO の発振スペクトルと発振周波数の磁場依存性

カップリングしながら逆位相で動くオプティカルモードで歳差運動しているため、このような高周波数、かつカップリングによる共鳴効果で狭線幅、項 Q 値を得ることができた。しかし、周波数の磁場依存性からも分かるように発振周波数は磁場に対し鈍感で 0.2MHz/Oe と小さい値になっている。これはダイポールカップリングによる有効磁場が支配的なため外部磁場に鈍感であることがわかった。

以上より、多種多様な STO 素子による磁気センサーの検討を行ったが、vortex-NCMR-STO の四角形素子が最も優れていることがわかった。今後はこの vortex-NCMR-STO 素子にて回路検討を始める。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究はまだ基礎検討段階であるため、大きなプロジェクトには発展していないが、国内の磁気センサーメーカー数社が興味をいだいてくれている。本研究は、STO 単体の開発は大きなアドバンテージを持っているが、センサーとして商品化するにはシステム構築、回路等の検討ができないため、磁気セン

サーメーカーの参加を促したいと考えている。今後は産学連携して研究を加速させる。

また、本研究で得られた Trilayer 型 STO での Q 値 17000 は現在の半導体発振器に変わりうる特性を示している。センサーとしての利用のみならず、半導体発振器の代替発振器としても広がり期待できる。

(特別支援(若手)にかかる研究成果)

本研究は特別支援(若手)をいただいた。本研究は薄膜作製、微細加工、高周波測定と全てを一貫して行っているが、薄膜作製では金属ターゲット、微細加工では薬品、高周波測定ではプローブ等の高周波部品など、非常に高価な消耗品を必要とする。これら高価な消耗品の一部は、この特別支援で補うことができた。

[4] 成果資料

(関係論文)

- ・M. Al-Mahdawi, Y. Shiokawa, et al, Phys. Rev. B, 93 (2016), 024408
- ・他 2 件 投稿中

(国内・国際学会発表)

- ・Y. Shiokawa, et al, “High frequency oscillation above 10GHz in zero applied field with Rh/FeCo perpendicular free layer Spin-Torque-Oscillator”, 20th International Conference on Magnetism (ICM), Barcelona, Spain, 2015 年 7 月 6 日
- ・M. Al-Mahdawi, Y. Shiokawa, et al, “Narrow linewidth spin-torque oscillator driven by localized current in ferromagnetic nano-contacts”, 20th International Conference on Magnetism (ICM), Barcelona, Spain, 2015 年 7 月 6 日

採択回数	1	2	3
(大型・若手)			

採択番号 H26/A10

ディペンダブル・エア実現に向けた 無線ネットワークアーキテクチャの開発

[1] 組織

代表者：亀田 卓

(東北大学電気通信研究所)

対応者：亀田 卓

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

末松 憲治 (東北大学電気通信研究所)

平 明德 (三菱電機株式会社)

飯塚 昇 (鈴鹿工業高等専門学校)

小熊 博 (富山高等専門学校)

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)

本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：13人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 27 万円，
若手特別支援費 20 万円

[2] 研究経過

無線通信ネットワークにおけるディペンダビリティ向上のためには、地上系／衛星系を問わず、種々の異種無線通信システムを効率的・適応的に活用し、大規模災害時を含むような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、その品質を保証することが重要である。具体的には、通信距離、通信速度、電力などを最適制御し、通信回線の安定性・信頼性を確保する必要がある。このようなディペンダビリティが高い次世代の無線通信ネットワークを我々はディペンダブル・エアと呼んでいる。

本研究課題では、ディペンダブル・エアの実現に不可欠である無線ネットワークアーキテクチャの研究開発を行う。既に終了した文部科学省 IT プログラム (RR2002) 「次世代モバイルインターネット端末の開発」や JST CREST 「ディペンダブルワイヤレスシステム・デバイスの開発」などの成果を活用し、ディペンダブル・エアにおける異種無線融合ネットワーク構築技術の研究開発を行う。本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。

ディペンダブル・エアに関する研究議論を、通研を会場に開催した。以下に開催日を列挙する。なお、当日仙台に来訪できない分担者は skype などの遠隔会議システムを用いて参加した。

2015 年：4 月 9 日，5 月 7 日，6 月 3 日，7 月 8 日，
9 月 3 日，10 月 6 日，11 月 11 日，
12 月 3 日

2016 年：1 月 28 日，2 月 17 日，3 月 11 日

[3] 成果

(3-1) 研究成果

今年度は主に、異種無線融合システムにおける最適ネットワーク選択手法として、準天頂衛星システム (QZSS: Quasi-Zenith Satellite System) や GPS (Global Positioning System) などの高精度測位信号を用いたトラヒックナビゲーションを検討してきた。本方式はアプリケーションやトラヒックの性質を活用してレイヤ 1～2 を最適化するクロスレイヤ技術の一つである。

無線 LAN (WLAN) などのスモールセルネットワークの異種無線融合システムへの導入はシステム容量向上に欠かせない。一方で、カバレッジが場合によっては数 m 程度と極端に狭いためトラヒック発生時に端末が在圏する可能性が低く、スモールセルリソースが有効活用されない問題がある。

一方でユーザの利用アプリケーションには要求されるリアルタイム性に差がある。特にアプリケーションソフトウェアのアップデート、端末データのバックアップなどはリアルタイム要求が低いため、即時に処理を開始する必要がある。

これらの特徴を生かし、提案するトラヒックナビゲーションにおいては、周辺のネットワーク状況を把握可能とするマップ情報を用いて、即時処理が不要である程度の遅延が許されるトラヒックをスモールセルに誘導することで負荷分散を行う。

提案するトラヒックナビゲーションでは QZSS や

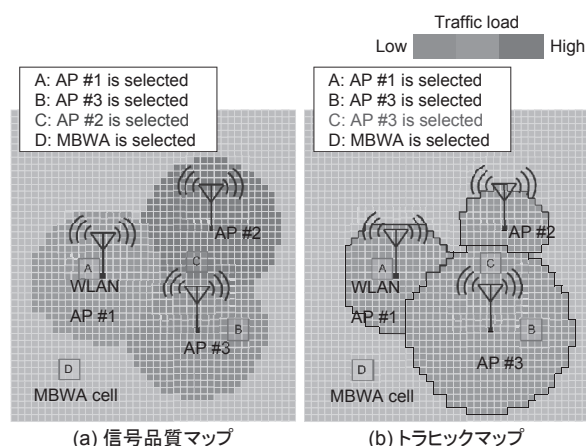


図 1: マップ情報

GPS などから得られる端末の高精度な現在位置をネットワーク選択基準として用いる。さらに周辺の基地局の通信品質を把握するため、信号品質マップとトラヒックマップを用いる。図 1 にマップ情報を示す。図 1(a)の信号品質マップは、各ネットワークの各位置における信号品質の平均値の情報である。信号品質マップを用いることにより、トラヒック発生時点に端末自身によるネットワーク検出および信号品質測定が不要となる。さらに一時的に報知信号の送信を停止している基地局の検出・選択が可能となり、従来よりも効率的にトラヒックのオフロードが実現できる。

実際のシステムでは、端末分布やトラヒック要求の変化により端末のスループットは時々刻々と変化する。そこで、提案手法ではさらに図 1(b)のトラヒックマップを併用する。トラヒックマップは周辺の基地局のトラヒック負荷情報を表したものである。信号品質マップが準静的なマップであるのに対し、トラヒックマップは動的なマップとなる。トラヒックマップの活用により、負荷情報に基づく端末毎の予測スループット基準でネットワークを選択するため、負荷状況に応じて実効的なセル径が変動する。

以上のように、2 種類のマップ情報を併用することで、異種無線融合システムにおいて高効率かつ最適なネットワーク選択が可能となる。

図 2 に提案するトラヒックナビゲーションの概要を示す。提案手法は、従来のようにトラヒック発生時に即時データパケットの伝送を要求するのではなく、利用アプリケーションのリアルタイム性、すなわち許容される遅延時間に基づき端末がデータパケット伝送を制御する。マップ情報を活用して、ユーザが将来的に通過することが予測される移動経路内の広範囲なネットワークの中から最適なものを選択し、該当ネットワークに到達した瞬間にデータパケットの伝送を行う。端末が発生したトラヒックを制御して伝送するネットワークのスケジューリング

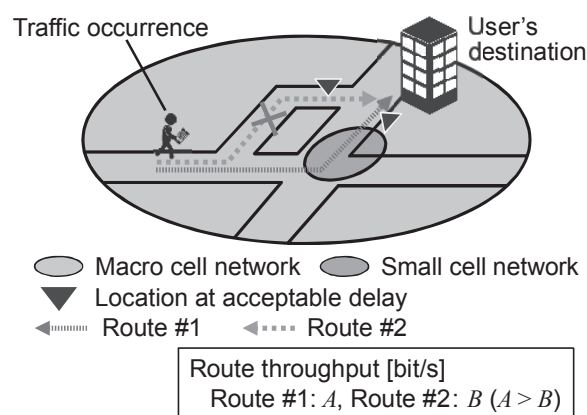


図 2: トラヒックナビゲーション

を行うことで、スモールセルネットワークにトラヒックを集中させることが可能である。

また、経路予測によるスケジューリングに加えて、複数の予測された経路の中からユーザや利用アプリケーションにとって最適な経路を端末が選択し、ユーザに指示・誘導することで、さらに効果的なスケジューリングが実現可能である。例えば図 2 の場合、2 つの移動経路 #1 と #2 が予測されるが、利用するアプリケーションが許容する遅延時間までに通過する区間（▼点までの区間）のスループットの積分値（経路スループット）が #1 の方が高くなると期待される。よって、端末はユーザに対して #1 の経路への誘導を行う。

以上、提案したトラヒックナビゲーションの基礎評価を計算機シミュレーションで行った。その結果、従来方式（即時通信のみ利用）の場合にくらべて、システム全体のスループットが最大で 2.3 倍程度向上できる可能性があることを示した。

(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は、様々な機器に対しネットワークインタフェースを装備し、それらを適切に制御することで、必ずつながるネットワークの実現を目指すものである。東日本大震災において、車両の走行軌跡データを吸い上げることにより、道路の通行可能状況をリアルタイムに把握することが可能になった事例に代表されるように、必ずつながるネットワークを構築すること、そのネットワークに接続される機器の種類・数を増やすことは、新たなユーザ価値をもたらす。これは従来の情報通信分野のみならず、物流、交通、医療、農林水産業、防災など、様々な分野への波及効果が期待でき、本プロジェクトの意義は非常に大きい。さらに本プロジェクトの研究成果を積極的に国内外の学会発表する事により、学外研究者との交流が飛躍的に活性化し、国内外の

大学、企業との関係が非常に強化されつつある。

また、今回配分頂いた若手研究者型の特別支援研究費は主に共同研究者の旅費として活用した。これにより、申請時の当初計画以上に打ち合わせを通研で開催することができ、本研究開発全体の議論を加速することができた。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移動体通信技術研究開発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) 三宅 裕士, 平 明德, 亀田 卓, 山形 文啓, 小熊 博, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信システムにおける時間・周波数精度を考慮した伝送特性,” 信学論, vol.J98-B, no.4, pp.397-405, April 2015.

(2) 小熊 博, 則島 景太, 末広 小夏, 三宅 裕士, 亀田 卓, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS 端末の GPS 補完と GPS 補強の実測評価,” 信学技報, RCS2015-9, 大分, April 2015.

(3) 三宅 裕士, 亀田 卓, 平 明德, 則島 景太, 小熊 博, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信における仰角マスクを考慮した時間同期精度の実験的検証,” 信学技報, RCS2015-10, 大分, April 2015.

(4) 秋元 浩平, 亀田 卓, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “WLAN マルチセル環境における位置情報を活用した干渉制御手法,” 信学技報, RCS2015-11, 大分, April 2015.

(5) H. Oguma, A. Koizumi, K. Norishima, J. Kuboniwa, Y. Miyake, S. Kameda, A. Taira, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Channel quality map construction scheme using location information for heterogeneous wireless network,” Studies in Sci. and Tech., vol.4, no.1, pp.83-90, June 2015.

(6) 小熊 博, 水本 巖, 亀田 卓, 末松 憲治, “(招待講演) 東日本大震災を教訓とした情報通信及び電力確保のための研究開発,” 信学技報, IN2015-17, 富山, June 2015.

(7) 劉 沁寒, 窪庭 純平, 亀田 卓, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “位置情報を用いた異種無線融合システムのネットワーク選択手法: 経路予測スケジューリングの評価,” 信学技報, RCS2015-61, 札幌, June 2015.

(8) 窪庭 純平, 三宅 裕士, 平 明德, 亀田 卓, 小熊 博, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “異種無線融合システムにおける位置情報を用いたネットワーク選択手法のユーザスループット特性,” 信学

論, vol.J98-B, no.7, pp.611-624, July 2015.

(9) 坪内 和夫, 亀田 卓, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, “ディペンダブルエア ---異種無線融合ネットワークにおける高精度位置情報を用いたネットワーク選択手法とトラヒックナビゲーション---,” IEICE Fundamentals Review, vol.9, no.1, pp.37-46, July 2015.

(10) 平 明德, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “災害に強い「頼りになる」無線通信ネットワーク,” 信学誌, vol.98, no.8, pp.745-752, August 2015.

(11) K. Akimoto, S. Kameda, A. Taira, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Location-based virtual sector method for interference control in WLAN multicell environment,” International Conference on ICT Convergence 2015 (ICTC 2015), IV-5.6, Jeju Island, Korea, Oct. 2015.

(12) H. Oguma, K. Norishima, K. Suehiro, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Measured evaluation of positioning accuracy on GNSS for heterogeneous wireless system,” International Conference on ICT Convergence 2015 (ICTC 2015), IV-5.4, Jeju Island, Korea, Oct. 2015.

(13) Q. Liu, J. Kuhoniwa, S. Kameda, A. Taira, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “Traffic navigation using location information and channel quality map for system-wide load balancing,” 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2015), Nanjing, Dec. 2015.

(14) H. Oguma, A. Koizumi, S. Matsuura, Y. Kawada, S. Kameda, and N. Suematsu, “Evacuee information system on lessons from the Great East Japan Earthquake,” 9th International Conference on Software, Knowledge, Information Management & Applications (SKIMA2015), pp. 392-396, Kathmandu, Nepal, Dec. 2015.

(15) 大屋 慶, 高橋 智英, 亀田 卓, 小熊 博, 平 明德, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “QZSS ショートメッセージ SS-CDMA 通信: 予告チャネルを用いたランダムアクセス制御手法における公平性の検討,” 信学技報, SR2015-85, 長崎, Jan. 2016.

(16) 福留 秀基, 秋元 浩平, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, “3.5GHz 帯スモールセル屋内→屋外伝搬環境における通信距離の実測評価,” 信学技報, SR2015-86, 長崎, Jan. 2016.

採択回数	1	2	3
(国際)			

採択番号 H26/A11

大脳神経回路の組織化に関する研究

[1] 組織

代表者：久保田 繁

(山形大学大学院理工学研究科)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

廣瀬文彦 (山形大学大学院理工学研究科)

佐藤茂雄 (東北大学電気通信研究所)

平野愛弓 (東北大学大学院医工学研究科)

秋間学尚 (東北大学電気通信研究所)

山本英明 (東北大学学際科学フロンティア
研究所)有馬ボシールアハンマド (山形大学大学院
理工学研究科)Theoden I. Netoff (ミネソタ大学
理工学部)

延べ参加人数：11人

研究費：物件費 13 万 7 千円、旅費 25 万 4 千円
国際特別支援費 30 万円

[2] 研究経過

ヒトを含む哺乳類の脳では、臨界期と呼ばれる生後の限られた時期に、外部刺激の影響を強く受けてシナプス回路が発達する。例えば、3歳くらいまでの幼児の片目に眼帯を施すと、以後の成長過程では修正が難しい弱視が生じる場合があるが、成人が眼帯を長時間当てても視力の低下は起こらない。このように、臨界期のシナプス回路形成の生理学的メカニズムの解明は、脳の発達過程を理解するためにも、弱視等の発達期の障害の治療を行う上でも大変重要である。本プロジェクトでは、神経回路の形成とそれに伴う機能的変化を理解するために、大脳皮質神経回路モデルを構築し、非線形力学系としての解析を行う。

平成 27 年度は採択の第 2 年目にあたる。第 1 年目は、GABA 抑制とシナプス可塑性の相互作用によって誘発されるネットワーク組織化に関する理論的検討を行ったが、第 2 年目はこの理論をさらに発展させて、ネットワーク構造と発火同期を含む大域的

ダイナミクスとの関係に着目して解析を行った。

[3] 成果

ネットワーク構造と機能の相関に関する過去の研究は、ニューロン数が多い ($>10^3$) ネットワークを中心に行われてきており、細胞の離散性が顕在化するような機能的最小スケール ($10^1 \sim 10^2$) のネットワークはあまり注目されてこなかった。そこで、本研究では、神経表現の基礎的単位として捉えることのできる、比較的小さいネットワークの幾何的構造が興奮パターンに及ぼす影響について解析した。

神経細胞の発火ダイナミクスを記述するために、Integrate-and-fire モデルを使用し、興奮性 (AMPA 型) シナプスによる神経結合を導入した。また、皮質錐体細胞で観察されるカルシウム依存性カリウム電流と自発的神経活動に相当する確率的ノイズを各細胞に加えた。脳で観察される非ランダムな複雑ネットワーク構造を再現するために、規則的なネットワークから一定の確率 p で神経結合の付け替えを行う方法により、スモールワールド型の回路を構築した。

図 1(a)~(c)に、ニューロン数 $N=400$ の場合について、規則的なネットワーク ($p=0$)、スモールワールドネットワーク ($p=0.5$)、ランダムネットワーク ($p=1$) での発火状態を表すラスタプロットを示す。規則的なネットワークでは、周期的な同期バーストが発生するのに対し、ネットワークのランダム性を増加させることで、同期発火が徐々に非周期的になり、発火頻度も減少することが観察された。さらに、異なる規模のネットワークにおいて、結合付け替え確率が興奮パターンにどう影響するかを調べた (図 2)。その結果、ネットワークの規模の増大と共に、同期発火が著しく増加すること、結合付け替え確率を大きくすることで、同期発火が抑制される傾向が明らかとなった。

これらの結果は、大域的な同期発火の起きやすさが、機能単位として振る舞う神経回路の規模と幾何的構造の双方に強く依存することを示唆しており、皮質の同期リズムや大脳基底核のバースト振動のメカニズムを理解する上でも大変重要である。

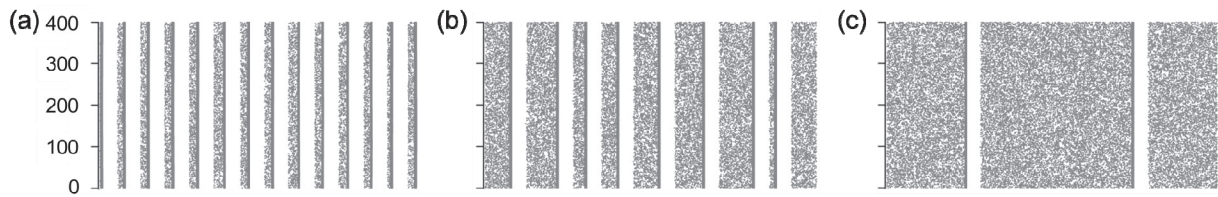


図1 複雑ネットワーク構造の違いによるラスタプロットの変化((a)規則的なネットワーク、(b)スモールワールドネットワーク、(c)ランダムネットワーク)

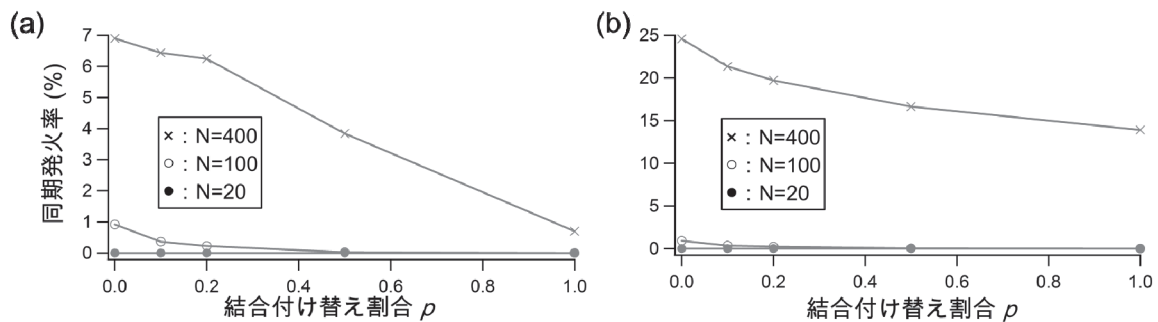


図2 結合付け替え確率に対する同期発火率の変化 (平均結合次数は(a) $k=\sqrt{N}$, (b) $k=0.1N$)

また、振動現象における位相変化のダイナミクスを単純化して表した蔵本振動子モデルを用いて、多様な複雑ネットワーク構造の解析を行った。図3に示すように、(a)ランダム、(b)スモールワールド、(c)スケールフリー、(d)ハブネットワークの4種類について、素子間の結合強度を変えて、オーダーパラメータを算出した結果、結合強度によらずにランダムネットワークが最も同期しやすいという結果が得られた。シミュレーションで得られたオーダーパラメータを、Synchrony alignment function を用いた理論値と比較した結果は、非常によく一致した(図4)。

さらに、サブネットワークを2個結合した Networks of Networks (NoN) のモデルを構築して、各サブネットワーク内の複雑ネットワーク構造と NoN の全体同期の関係も調べた結果、次数分布が二極化しているハブネットワークが最も同期しやすいことが分かった。これらの結果は、単一ネットワークと複数のネットワークモジュールが統合した NoN とでは、同期を誘発する回路メカニズムが異なることを意味しており興味深い。今後の研究では、多数のモジュールから構成された大規模神経回路のダイナミクスを理解するために、モジュール内及びモジュール間の結合構造の連関を解析する必要があるであろう。

特別支援(国際)にかかる成果としては、国際会議 the 4th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer (2016年2月、電気通信研究所)において、ミネソタ大学の Netoff 准教授と神経の複雑ネットワーク構造に関す

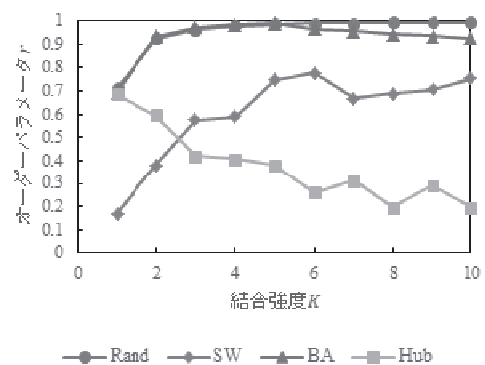


図3 4種類の複雑ネットワーク構造を用いて結合強度を変化させた時のオーダーパラメータの変化

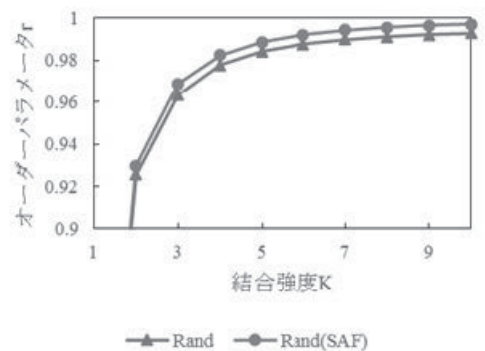


図4 シミュレーションで得られたオーダーパラメータと Synchrony alignment function による理論値を比較した結果

る広汎なディスカッションを行い、その議論を上記の神経回路モデルに反映した。

[4] 成果資料

- (1) 千田雄大, 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至, 久保田 繁, 庭野道夫, “積分発火モデルニューロンにおける同期的活動のネットワーク規模依存性”, 第 25 回日本神経回路学会全国大会, 2015 年 9 月 2 日, 電気通信大学, 調布.
- (2) 清水ファビオアキラ, 山本英明, 千田雄大, 平野愛弓, 久保田 繁, 庭野道夫, “位相振動子を用いた複数の複雑ネットワーク間の結合による同期状態の制御”, 第 25 回日本神経回路学会全国大会, 2015 年 9 月 2 日, 電気通信大学, 調布.
- (3) 千田雄大, 山本英明, 平野愛弓, 久保田 繁, 庭野道夫, “積分発火型ニューロン回路におけるスモールワールド構造と同期の関係”, 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング(NC)研究会, 2015 年 11 月 20 日, 東北大学, 仙台.
- (4) 清水ファビオアキラ, 山本英明, 千田雄大, 平野愛弓, 久保田 繁, 庭野道夫, “位相振動子がつくる複雑ネットワークにおける同期状態の解析”, 電子情報通信学会 ニューロコンピューティング(NC)研究会, 2015 年 11 月 20 日, 東北大学, 仙台.
- (5) Y. Chida, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, M. Niwano, Small world-like structure increases synchrony in computational models of cultured neuronal networks, Proceedings of the 4th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Tohoku University, Sendai, 23 Feb, 2016.
- (6) F. A. Shimizu, H. Yamamoto, Y. Chida, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, M. Niwano, Effect of network topology on synchronization in modular networks of Kuramoto oscillators, Proceedings of the 4th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, Tohoku University, Sendai, 23 Feb, 2016.

採択回数	1	2	3
(大型)			

H26/A12

ハイブリッド脳開発に向けた培養神経回路網の再構成

[1] 組織

代表者：神谷 温之
(北海道大学大学院医学研究科)

対応者：庭野 道夫
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

鈴木 江津子 (北海道大学大学院医学研究科)
谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院)
山本 英明 (東北大学学際科学
フロンティア研究所)
八木 哲也 (大阪大学工学研究科)
森江 隆 (九州工業大学生命体
工学研究科)
桂林 秀太郎 (福岡大学薬学部)
早川 吉弘 (仙台高等専門学校)
平野 愛弓 (東北大学大学院医工学研究科)
上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)
佐藤 茂雄 (東北大学電気通信研究所)
片野 論 (東北大学電気通信研究所)
木村 康男 (東京工科大学)

延べ参加人数：141 人 (シンポジウム参加者を含む)

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 22 万 2 千円

[2] 研究経過

生体の脳組織で実現されている情報伝達や記憶・認知・判断などの機能は、情報処理の観点からも興味深い。従来から脳研究に用いられている脳スライスを用いた神経生理学的手法や、計算論的アプローチに加えて、これらを横断、かつ融合するような実験モデル系が構築されれば、それぞれの研究アプローチに対する情報処理メカニズムの知見としてのみならず、神経素子の機能特性を考慮した集積回路などの設計指針に寄与できると考えられる。

本プロジェクト研究では、神経細胞から成る回路網と半導体素子で構築した回路網の融合によって構成されるハイブリッド脳の開発を目指し、その基礎検討として再構成系神経回路網を構築することを目的としている。研究課題としては、①培養神経細胞

を用いた、実際の脳に近い神経回路網の形成と最小機能単位ミニマルブレインの抽出 ②形成した再構成神経回路網における情報伝達機構の生理学的解析 ③神経回路理論に基づく神経回路の設計と、観測される情報伝達機構の解析 の3点とし、そのための検討項目として、①再構成神経回路形成のための表面・界面修飾技術の確立 ②動態評価指標の探索等の機能分析手法の構築 ③脳型モジュール機能ユニットを模す情報処理回路の設計 と実証を行う。これらを統合・集積化することにより、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や、脳神経回路の誤動作と捉えられるようになりつつある精神疾患などの脳機能紹介の解明のための学術的基盤を確立することを目標とした。

本年度は、人工回路網構築のための最重要な基盤技術となる表面パターンニング基板の構築と機能解析を進展させ、基板上に神経細胞を配置および極性を制御してパターン培養する試みにより完全設計型の神経回路を構築し、機能的シナプスの形成に成功した。これに際し、研究分担者間の共同研究も複数実施された。また、平成28年2月22-23日、平成28年3月1-3日には、ナノ分野とバイオ分野の研究者を集めて、共同プロジェクト研究会共催の国際シンポジウムを開催し、周辺領域の研究者との交流を行うとともに、勉強の場とした。以下にその概要を示す。

The 4th 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会

日時：平成28年2月22日(火) - 23日(水)

場所：東北大学電気通信研究所

ナノ・スピン実験施設

4階カンファレンスルーム

2月22日(火)

「MRI enabled activity mapping throughout the entire brain volume」M. Osanai (Tohoku Univ., Japan)

「Surface engineering technologies for constructing and

analyzing neuronal circuits」 A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

「Towards high-throughput acquisition of axonal-delay maps using high-density microelectrode arrays」 U. Frey (RIKEN, Japan)

「Modelling spike signalling in the hippocampal axons」 H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)

「Function follows form: Controlling signal propagation by patterning populations of neurons」 J. Albers (Jülich Research Center, Germany)

「Spontaneous activity patterns of small neuronal ensembles」 H. Yamamoto (Tohoku Univ., Japan)

2月23日(水)

「Neural circuit reorganization during epileptogenesis」 R. Koyama (Univ. Tokyo, Japan)

「Optimizing electrical stimulation for treatment of Parkinson's disease and epilepsy」 T. Netoff (Univ. Minnesota, USA)

「Numerical optimization of deep brain stimulation by direct search」 S. Kubota (Yamagata Univ., Japan)

「A modelling perspective of prefrontal cortex gamma-band activity in a multi-item working memory task」 P. Herman (Royal Inst. Technology, Sweden)

「On the action potential propagation: Established model and its limitations in myelinated axon」 J. Madrenas (Technical Univ. Catalunya, Spain)

「Brain inspired adiabatic quantum computing and learning」 S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

The Joint Symposium of 9th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 6th 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

CREST, JST

日時：平成28年3月1日(火)ー3日(木)

場所：東北大学電気通信研究所

ナノ・スピン実験施設

4階カンファレンスルーム

3月1日(月)

「Acoustic Holography by Two-Dimensional Ultrasound Array Synthesis」 O. A. Sapozhnikov (Moscow State Univ., Russia)

「Reconstruction of Ultrasound Pressure Field by Combination of Optical Phase Contrast Measurement and Acoustic Holography」 S. Yoshizawa (Tohoku Univ. Japan)

「Numerical Simulation for Development of Advanced

HIFU Therapy」 K. Okita (Nihon Univ., Japan)

「Image Guided Therapeutic Applications of High Intensity Focused Ultrasound」 N. T. Sanghvi, (SonaCare Medical, USA)

「Monitoring of High-intensity Focused Ultrasound Lesion Formation Using Decorrelation between High-speed Ultrasonic Images by Parallel Beamforming」 Ryo Takagi (Tohoku Univ., Japan)

「Plasma Agricultural Applications using Reactive Species Controlled by Atmospheric Pressure Air Discharge」 K. Takashima (Tohoku Univ., Japan)

3月2日(火)

「Self-organized TiO₂ nanotube arrays: Latest features and applications」 Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

「Emerging Applications of Nanostructured Silicon」 N. Koshida (Tokyo University of Agri.& Tech., Japan)

「Crystal growth and interfacial modification for highly efficient perovskite solar cells」 T. Ma (Tohoku Univ., Japan)

「Improved Process of Fabricating Silicon Chips with Micro-Apertures for Formation of Mechanically Stable Bilayer Lipid Membranes」 D. Tadaki (Tohoku Univ., Japan)

「Polymer-Stabilized Lipid Membranes: Enabling Platforms for Nanopore Sensors and Beyond」 C. A. Aspinwall (Department of Chemistry and Biochemistry, University of Arizona, USA)

「Observation of Supported Lipid Bilayer Membranes Incorporated with Membrane Proteins」 R. Tero (Toyohashi Univ. of Tech., Japan)

「Integration of human ion channels in bilayer lipid membranes formed in microfabricated apertures」 A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

「Pulse driven light-addressable potentiometric sensors for chemical imaging」 C. F. Werner (Tohoku Univ., Japan)

「Non-invasive measurement of blood glucose level based on mid-infrared spectroscopy using optical-fiber probe」 Y. Matsuura (Tohoku Univ., Japan)

3月3日(水)

「Molecular diagnostics with nanopore electronics」 Maurits de Planque (Univ. Southampton, UK)

「Sensor Arrays for Stochastic Detection from Neurotransmitters to Nanoparticles」 Bernhard Wolfrum (Technical University of Munich, Germany)

「Characterization of Exosomes using Atomic Force Microscopy and Scanning Electron Microscopy」 T. Ogino (Yokohama National University, Japan)

「Characteristics of single electron device fabricated by

repeated dispersion of gold nano particles」 M. Moriya (The Univ. of Electro-Comm, Japan)

「RT atomic layer deposition of TiO₂ and its application to nanoparticle coating」 F. Hirose (Science and Engineering, Yamagata University, Japan)

〔3〕 成果

（3－1） 研究成果

神経細胞は脳機能を発現するための主構成要素であり、神経細胞を人工的に培養した系は脳機能の理解のための簡略なモデル系として注目されている。培養神経細胞系は、脳スライスや *in vivo* 実験に比べて溶液組成の制御が容易で化学刺激を行いやすいという特長をもつ一方で、高次脳機能において中心的な役割を担うと考えられている長期可塑性の発現が困難である等、脳機能性には課題を抱えている。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。表面パターニングには、マイクロコンタクトプリンティング法を用い、細胞接着性のタンパク質の微細パターンを固体基板に転写することにより、細胞の配置や極性の制御および細胞間の配線を試みた。その結果、細胞接着部の形状を非対称にすることにより、軸索の伸長方向を高い確率で制御し、かつ機能的シナプスを形成させることに成功した。また、形成された2細胞神経回路について、細胞内電位記録法によってシナプス信号伝達を評価し、パターニングの設計通りの2細胞間の信号伝達を確認できた。これにより、所望の神経細胞回路を基板上に構築する要素技術を構築できたので、今後は、これらの技術を駆使して、神経細胞回路網の構築と機能評価を行い、最小機能単位構造の抽出へと発展させていきたいと考えている。この他、神経細胞の低侵襲型活動計測法である細胞外電位記録法について、グリア細胞シートによる被覆により、その電位信号を増幅することに成功した。

（3－2） 波及効果と発展性など

本プロジェクトが目指す、ナノテクノロジーに基づく再構成神経回路網の形成と制御法の開発は、神経生理学・神経生物学分野における従来の生化学・電気生理学的手法とは異なる新規解析手法の開発とともに、未知の神経生理メカニズムの発見へとつな

がると期待される。また、人工神経回路網の形成と実際の神経回路の動作原理実装は、脳型コンピュータ開発における情報処理回路の制御機構や情報の分散処理に適応しうる。このような神経回路網の基礎的知見、および、新規デバイスの創製は、電子工学や計算科学における萌芽的な学術研究分野を作り出すとともに、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、平成28年度科研費 新学術領域研究の申請へと発展している。

〔4〕 成果資料

- (1) Ryosuke Matsumura, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata. "An electrically resistive sheet of glial cells for amplifying signals of neuronal extracellular recordings." *Appl. Phys. Lett.*, 108, 023701 (2016).
- (2) Yamamoto, Hideaki, Demura, Takanori, Sekine, Kohei, Kono, Sho, Niwano, Michio, Hirano-Iwata, Ayumi, Tanii, Takashi, "Photopatterning Proteins and Cells in Aqueous Environment using TiO₂ Photocatalysis.", *Journal of Visualized Experiments*, 104, e53045, (2015).
- (3) 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至, 庭野道夫, "光触媒作用を用いた液中表面改質による培養神経細胞の操作", 表面科学, 印刷中.

採択回数	1	2	3
(先端・若手)			

H26/A13

動的手がかりを考慮した音空間知覚に関する研究

〔1〕組織

代表者：本多 明生

(山梨英和大学)

対応者：坂本 修一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：3人

研究費：物件費 13 万 7 千円

旅費：18 万円

若手特別支援費：20 万円

〔2〕研究経過

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は、システム内でユーザが示す様々な反応から得られる動的手がかりを情報システムに適切に反映させることが重要となる。本研究は、上述した視点に立脚し、東北大学電気通信研究所が所有している、身体運動対応型の音空間知覚実験システムを用いた心理実験を行うことを通じて、人間の音空間知覚における動的手がかりの処理特性を明らかにすることを目的にして開始した。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、東北大学電気通信研究所の無響室に設置されている音空間知覚実験システムを用いた心理物理実験を行った。その結果、(1) 受動回転時の聴取者の主観的正面の検知限が上昇すること、すわなち、主観的正面に対する音空間知覚精度が劣化すること（増見ら, 2014; Honda et al., 2014）、(2) 測定法を変更し、最小弁別角度を指標にした場合においても、同様に、受動回転時の聴取者の音空間知覚精度が劣

化する現象が確認された（増見ら, 2015）。

そこで、本年度は、同システムを利用して、これまで以上に、聴取者の身体回転速度を厳密に操作・制御することによって、聴取者の音源位置定位精度が身体回転速度によってどのように変動するのかを詳細に記録した。その結果、平成27年度の共同研究プロジェクトによって、聴取者が気づくことが困難なくらい遅い受動回転で実験を行った場合でも、聴取者の主観的正面の検知限が上昇することが確認された（Honda et al., 2015; 角掛ら, 2015）。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- (1) 2015 年 6 月 29 日：超低速受動回転に伴う音空間知覚実験に関する打ち合わせを行った。
- (2) 2015 年 10 月 5 日：超低速受動回転に伴う音空間知覚実験に関する打ち合わせを行った。
- (3) 2016 年 1 月 31 日～2 月 1 日：実験結果の学会発表と今後の研究計画に関する打ち合わせを行った。
- (4) 2016 年 2 月 25 日～2 月 26 日：共同研究プロジェクト発表会にて研究成果の発表と頭部回転中の音像定位実験に関する打ち合わせを行った。
- (5) 2016 年 3 月 13 日～3 月 14 日：本年度の共同研究プロジェクトの振り返りと今後の研究内容についての打ち合わせを行った。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

東北大学電気通信研究所の無響室に設置されている音空間知覚実験システムを用いた心理物理実験を行った。その結果、平成26年度の共同研究プロジェクトによって、(1) 受動回転時の聴取者の主観的正面の検知限が上昇すること、すわなち、主観的正面に対する音空間知覚精度が劣化すること（増見ら, 2014; Honda et al., 2014）、(2) 測定法を変更し、最小弁別角度を指標にした場合においても、同様に、

受動回転時の聴取者の音空間知覚精度が劣化する現象が確認された（増見ら，2015）。研究結果は，グラスゴーで開催された能動的聴取に関する国際ワークショップで発表したが，我が国からは申請者のみが研究成果の発表を許されたことから特筆すべき成果を残すことができた。

本年度は，同システムを利用して，これまで以上に，聴取者の身体回転速度を厳密に操作・制御することによって，聴取者の音源位置定位精度が身体回転速度によってどのように変動するのかを詳細に記録した。その結果，平成27年度の共同研究プロジェクトによって，聴取者が気づくことが困難なくらい遅い受動回転で実験を行った場合でも，聴取者の主観的正面の検知限が上昇することが確認された（Honda et al., 2015; 角掛ら，2015）。これは動的手がかりを考慮した音空間知覚過程を理解するうえで極めて重要な知見である。そして，共同研究プロジェクトの研究成果の一部は，ピサで開催された国際会議で発表され，国際的にアピールすることができたことから高い成果を上げることができた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

人間の音空間知覚における動的手がかりの処理特性に関しては知見が錯綜している。例えば，聴取者の動的手がかりと音空間知覚の関係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おり（Cooper et al., 2008），音空間知覚における動的手がかりの処理・統合過程に関しては未解明な部分が多いといえる。そのような状況のなかで，特別支援分の研究費によって，数多くの実験を実施することが可能になったことにより，極めて重要な知見を得ることができた。

具体的には，音が提示されたあとに頭部運動が実行された場合は定位精度が上昇する傾向があること（例えば Honda et al., 2013），その一方で，頭部運動が行われている最中に音が提示された場合は定位精度が低下する傾向があることを示唆する知見を得ることができた（例えば Honda et al., 2014, 2015）。この知見は，能動的な情報処理系として人間を理解する際に極めて示唆に富んだ知見である。したがって，本研究からは，我々が実世界から得られる動的手がかりをどのように統合しているのかを理解するうえで重要な知見が得られるといえるだろう。

また，本研究で利用する実験装置は，心理学，医学などをはじめとした人間の音空間知覚メカニズムを新しい視点から探求するための実験ツールとして用いることが可能であることから，学術的な成果が期待できる。さらに，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を実現すること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。

〔4〕 成果資料

(1) Honda, A., Kanda, T., Shibata, H., Sakamoto, S., Iwaya, Y., Gyoba, J., & Suzuki, Y. (2015). Sense of Presence and Verisimilitude of Audio-Visual Contents: Effects of Sounds and Playback Speeds on Sports Video. *Interdisciplinary Information Sciences*, Vol. 21(2), 143-149.

(2) 本多明生 (2016). マルチモーダル／クロスモーダル知覚. 日本音響学会（編集），音響キーワードブック（pp. 408-409），コロナ社。

(3) Honda, A., Masumi, Y., Suzuki, Y., & Sakamoto, S. (2015). Passive Horizontal Rotation Affects Sound Localization Acuity at the Subjective Front. 16th International Multisensory Research Forum, June 13-16, 2015, Pisa, Italy.

(4) 角掛沙也香・本多明生・鈴木陽一・坂本修一 (2015). 遅い頭部回転中の音像定位における主観的正面の検知限. 日本音響学会聴覚研究会 (2015年11月), 2015年11月13-14日，甲州市勝沼ぶどうの丘。

(5) Honda, A. (2016). Detection Threshold for Sound Localization at the Subjective Front during Passive Horizontal Slow Rotation. 東北大学電気通信研究所平成27年度共同プロジェクト研究発表会, 2016年2月25日，東北大学電気通信研究所。

(6) 角掛沙也香・本多明生・鈴木陽一・坂本修一 (2016). 聴取者受動回転時における音像定位精度の回転速度依存性の検討. 日本音響学会2016年春季研究発表会, 2016年3月9-11日，桐蔭横浜大学。

採択回数	1	2	3
(先端・萌芽)			

採択番号 H26/A14

ロングパスエコー下での 伝送パラメータを用いない音声了解度推定

〔1〕組織

代表者：小林 洋介

(都城工業高等専門学校)

対応者：坂本 修一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

近藤 和弘 (山形大学)

太田 健吾 (阿南工業高等専門学校)

平 和也 (山形大学)

延べ参加人数：8人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 19 万 1 千円

〔2〕研究経過

災害時における防災行政無線およびその屋外拡声系は重要な役割を担っている。全国の屋外行政無線の普及率は 76.3%と非常に高く、2011 年 3 月の東日本大震災でも多くの人が防災行政無線の屋外拡声系により情報を入手している。屋外拡声系は個々人が特別な装置を持つ必要がないため、有効な情報伝達手段だが、東日本大震災では屋外拡声器による災害情報音声が届き取れず、改善が求められている。このため、屋外における音響伝達特性の計測、スピーカアレイの利用やサイン音の検討など、これまでの音声・音響工学の知見を活かした取り組みが行われている。特に拡声された音声の聴き取りに直接関係する主観品質である音声了解度に関しては、文章を用いた主観評価法と評価環境のインパルス応答を利用して計算した STI (Speech Transmission Index) を 0.6 以上の値を取る環境では十分高い音声了解度が得られるとされている。

一方で、生活空間でのインパルス応答の取得は行政や市民の理解が必要であり、実験規模も小さく、突発的な外乱による測定値のバラつきが発生しやすいといった指摘がある。このため、インパルス応答の取得に用いる基準信号ではなく、通常の音声放送から了解度を推定できるようになれば非常に使い勝手の良い予測システムとなる。

以上の背景より、本研究では、インパルス応答を用いずに屋外拡声器の音声了解度を推定する方式を提案する。特に人間による了解度評価を「聴き取れた」と「聴き取れない」の 2 値とし、これらを機械学習による判別モデルで予測することで、擬似的な了解度評価を機械に行わせることを目指す。

本プロジェクトは、本年度が 2 年目である。今年度は代表の小林と分担者の太田が本プロジェクトの一部を構成する内容で国立高専機構の高専間連携プロジェクトに採択されたため、両名による打ち合わせも行った。以下に、研究活動状況の概要を記す。

- ・H27 年 7 月に阿南高専にて、小林と太田による打ち合わせを行った。本プロジェクト及び高専間連携プロジェクトの方針確認と、特に今年度から参加した太田が担当する音声認識部の設計方針について意見交換した。

- ・H27 年 8 月に電気通信研究所にて、小林、坂本、近藤が参加して昨年度末からの進捗報告、今年度の研究の進め方に関する打ち合わせを実施した。また、7 月の打ち合わせ内容及び外部資金申請計画などを打ち合わせた。

- ・H27 年 9 月に会津大学で開催された日本音響学会秋季研究発表会の際に、メンバー全員の顔合わせと研究の進捗状況について打ち合わせた。

- ・H28 年 1 月に阿南高専にて、小林と太田による打ち合わせを行った。提案法の音声認識部のプロトタイプ及び主観評価値の分析について討論した。

- ・H27 年 2 月に電気通信研究所で開催された共同研究プロジェクト研究発表会の際に、進捗を報告し、今年度進捗した予測モデルについて討論した。また、別途新しい簡易的な主観評価法とその推定法も検討した。同発表会で成果の一部を発表した。

- ・H27 年 3 月に桐蔭横浜大学で開催された音響学会春季研究発表会の際に、本年度の研究成果を総括し、同発表会で成果の一部を発表した。

その他の研究会、研究討論会、研究発表会、研究集会等は開催しなかった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

①屋外拡声系の評価モデルの再検討

昨年度までの検討より、屋外拡声器を模擬した主幹評価では、単一の劣化要因よりも複数の劣化要因が複雑に絡み合うことで了解度を低下させていることが明らかとなった。一方で、最も聴き取りにくくさせているとされているロングパスエコーについては、機器設計者サイドからも了解度評価を行うまでもなく悪いところは設計で改善していくという方向になってきた。本研究プロジェクトの最終的な了解度推定モデルは屋外拡声音声のあらゆる劣化に対応させることを想定してはいるが、昨年度の取り組みより、あまり相関の高い予測モデルは構築できそうにない。そこで、本年度はより基礎的な検討を行うため、「電話帯域への帯域制限」及び「単一の拡声器の伝送特性」の二つのみに絞った単語了解度評価値の推定モデルの構築と設定した。

新しく提案する了解度推定システムの処理フローを Fig. 1 に示す。この提案法は、学習用の主観評価を複数被験者に対して行い、その正答と誤答のレスポンスを模擬する判別器を被験者の数だけ作成し、主観評価と同様の平均処理によって予測値を得る。判別器は SVM(support vector machine)とし、ハイパーパラメータを学習データで最適化する。個々の判別器に用いるノンブラインド音響特徴量は、ITU-T P.563 勧告の内部特徴量 12 次元と拡声器のインパルス応答を適応した音声認識システムの尤度スコアの計 13 次元を用いる。本稿では被験者 22 名分の評価結果を学習し、判別器を 22 個構築し、その出力を推定了解度とする。

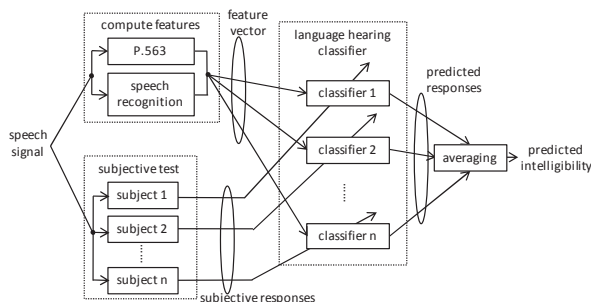


Fig. 1 Intelligibility prediction flow.

②主観評価値と音声認識結果

提案システムの評価音声は、親密度別単語了解度試験用音声データセット 2007(FW07)の高親密度語女性 1 話者分用いた。FW07 の音源に、東日本大震災後に仙台市若林区荒浜小学校周辺で収集されたスピーカによる TSP 信号を 10 地点分畳み込み評価音源を作成した。以後、各地点を p01～p10 とする。

また、実際の拡声音声システムでは、無線通信等で電話帯域に帯域制限されて伝送されているため、原音声を電話帯域に帯域制限した後に伝送系のインパルス応答を計算機上で畳み込んだのちに、音量のゲイン調整を行った。評価は予測モデルの作成用データとテスト用データに分けるため 2 セット行った。Set 1 は被験者 22 名分、Set 2 は Set 1 と異なる評価リストを用いた被験者 13 名分であり、被験者のほとんどは 10 代後半の高専生である。

音声認識は Julius を用い、ASJ-JIPDEC の音素バランス文にインパルス 10 地点分畳み込んだ音源を学習させて適応モデルを構築した。適応モデルの比較対象には Julius の標準設定をベースラインモデルとして比較する。構築した認識システムの基本的な性能として、FW07 の認識率を正答率 Corr. と挿入誤差を考慮した Acc. で評価する。

屋外拡声器への適応を行った音声認識システム (Adap.) と適応を行っていないベースライン (Base.) の評価結果と主観評価のセット別の平均了解度 (Intell.) を Table 1 に示す。結果より、Corr. は適応により下がっているが、より実態に近い認識率指標である Acc. は拡声器への適応で大幅に改善している。適応モデルの Acc. と主観評価による了解度の相関係数を求めると、0.41 と若干の相関はあるが、人間の了解度評価による知覚モデルとの差は未だ大きく、今後の改良が必要である。

Table.1 Speech intelligibility and recognition results.

	Intell.		Base.(%)		Adap.(%)	
	Set1	Set2	Corr.	Acc.	Corr.	Acc.
p01	0.92	0.91	48.8	-4.6	41.3	32.5
p02	0.79	0.74	44.0	0.6	38.1	27.8
p03	0.97	0.93	46.4	-13.4	38.7	31.1
p04	0.88	0.78	47.7	-5.3	39.4	28.6
p05	0.91	0.83	46.3	-6.9	37.9	29.7
p06	0.90	0.92	46.9	-14.4	37.8	26.4
p07	0.92	0.83	46.1	-11.9	36.4	28.4
p08	0.94	0.80	46.4	-10.6	36.5	25.7
p09	0.87	0.91	45.2	-8.1	37.8	29.4
p10	0.85	0.87	49.1	-4.5	37.7	28.0

③推定モデルの構築と精度検証

音声認識の出力結果の相関係数が 0.5 未満であり、現状の認識結果のみでは了解度の予測は困難であるため、音声認識計算に用いる対数尤度スコアを利用する。これは、認識率である Corr. と Acc. は正答のテキストが必要な指標であるため、観測された音声信号のみでは求められないためである。

Fig. 1 の判別器は SVM(support vector machine) とし、ハイパーパラメータを学習する set 1 の特徴

量と評価値で最適化する。個々の判別器に用いるノンブライント音響特徴量は、音声認識の対数尤度の他に、昨年度も用いたITU-T P.563 勧告の内部特徴量 12 次元も用いる。学習する被験者数が多い方が予測精度が高くなると予想し、被験者の多い set 1 の結果を学習データ、もう一方の set 2 をテストデータとした。性能評価指標には、予測値と主観評価値との相関係数と平均二乗誤差 RMSE を用いる。

予測結果を Table 2 に示す。学習したデータ（主観評価 Set 1 の予測）の結果を Train に、学習していないテストデータ（主観評価 Set 2 の予測）の結果を Test に示す。結果より、提案法はテストデータの相関が 0.724 と高く、RMSE も 3.5% と十分に小さい。Fig. 2 に提案法の主観値と予測値をインパルス応答ごとにプロットした。図より、学習したデータはほぼ対角線上にあり、テストデータが対角線にマップされており、本予測法のロバストさがわかる。

Table 2 Estimation results.

	RMSE	r
Train	0.040	0.940
Test	0.035	0.724

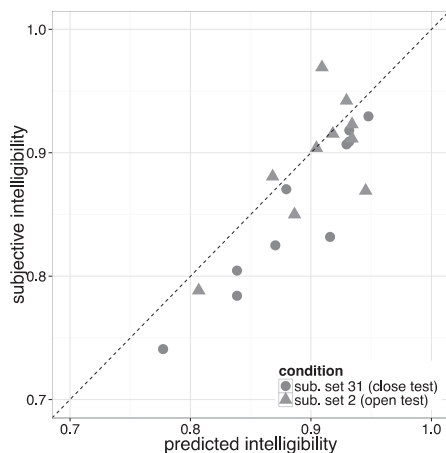


Fig. 3 Subjective vs. predicted intelligibility

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の予想される波及効果としては、屋外拡声器の了解度を予測する機器の開発が挙げられる。提案法を組み込んだ機器があれば、標準放送のみで了解度推定値が求まるため、システム開発時の品質評価の大幅改善が考えられる。

本プロジェクトは1年目の成果をもとに、一般財団法人カワイサウンド技術・音楽振興財団、一般財団法人人工知能研究振興財団の助成を受けた他、小林と太田の共同研究として国立高等専門学校機構平成 27 年度研究プロジェクト経費助成の助成も受け

た。また、平成 28 年度からは公益財団法人電気通信普及財団の助成が内定している。

この他に、代表の小林は本内容を発展させる形で科研費の若手研究(B)に申請しており、分担者の近藤は拡声器の実利用を想定した了解度評価に関して SCOPE 地域 ICT 振興型研究開発に申請した。

[4] 成果資料

(1) 近藤和弘, "Articulation Index Band Correlation を用いた二者択一音声了解度推定の検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 169, EA2015-23, pp. 65-70, 2015 年 8 月

(2) 平和也, 近藤和弘, "バイノーラル音声了解度の了解度の客観推定方法の基礎検討," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 169, EA2015-22, pp. 71-76, 2015 年 8 月

(3) 小林洋介, 近藤和弘, "スピーチマスキングシステムに用いるブートストラップ型マスキングの品質評価," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 169, EA2015-23, pp. 77-82, 2015 年 8 月

(4) Yosuke Kobayashi, Kazuhiro Kondo, "An Ambient Noise Clustering Method for Japanese Speech Intelligibility Estimation," Proc. 44th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering, abstract 984, USB memory proceedings, 9 pages, San Francisco, America, 2015.

(5) 小林洋介, "機械学習を用いた屋外拡声音声の単語了解度予測," 日本音響学会 2015 年秋季研究大会, pp.497-500, 2015 年 9 月

(6) 小林洋介, 近藤和弘, "判別器を用いた屋外拡声音声了解度の予測法," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 302, EA2015-26, pp. 13-18, 2015 年 11 月

(7) 小林洋介, 太田健吾, 近藤和弘, "機械学習と音声認識による拡声音声品質予測," 日本音響学会 2016 年春季研究大会講演論文集, pp.1593-1594, 2016 年 3 月

(8) 小林洋介, "雑音下での推定了解度を少数の音声サンプルから求める手法," 日本音響学会 2016 年春季研究大会講演論文集, pp.519-522, 2016 年 3 月

(9) 太田健吾, 小林洋介, "屋外拡声音声に特化した音声認識器の構築," 日本音響学会 2016 年春季研究大会講演論文集, pp.191-192, 2016 年 3 月

(10) 小林洋介, "雑音環境下での少数音声による推定了解度関数導出法," 日本音響学会誌研究速報, 掲載決定

採択回数 (萌芽)	1	2	3
--------------	---	---	---

採択番号 H26/A15

膜面法線磁場制御で発現する高機能薄膜デバイスの研究

[1] 組織

代表者：中居 倫夫
(宮城県産業技術総合センター)

対応者：石山 和志
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
荒井 賢一 (電磁材料研究所)
山口 正洋 (東北大学工学研究科)
松尾 哲司 (京都大学)
栢 修一郎 (東北大学電気通信研究所)
竹澤 昌晃 (九州工業大学)
藪上 信 (東北学院大学)
小澤 哲也 (東北学院大学)
菊池 弘昭 (岩手大学)

延べ参加人数：10 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 9 万 9 千円

[2] 研究経過

本研究では、素子形状と磁気異方性の方向を制御した薄膜磁性体素子において、膜面法線方向磁場を印加することで発現する機能性デバイスの検討を行っている。研究の視点は2点あり、一つは、磁気異方性の方向制御で発現する磁区構造転移現象に関する基礎的検討であり、二つ目は、強い磁場中でも感度を失わない高感度磁気センサの研究である。後者の検討は、リチウムイオン電池など微細な異物の混入が製品の安全性に問題となる製品における検査工程のIoT化や、磁性ナノ粒子を利用した生体情報検出への応用を想定している。これら2つの研究視点の最終目標は、新たな高機能磁気デバイスを提案して、人間と環境を調和させる情報技術に貢献することにある。

本プロジェクトは、2年目であり、以下に、研究活動状況の概要を記す。

平成 27 年度に注力した課題は、膜面法線方向磁場の制御による磁区転移の制御である。以下に、研究活動状況の概要を記す。

薄膜軟磁性体で形成された矩形状の素子に、短軸方向を基準として膜面内で傾斜した磁化容易軸を形成し、この方向を制御することで、所定の閾値磁場で磁区転移が発生する素子が構築できる。この磁区転移現象は、ストライプ状磁区構造と長手方向に磁気モーメントが揃った磁区構造との転移である。この素子は容易軸の方向制御で磁区転移のヒステリシスの制御ができ、容易軸方向を 70° 付近にした場合にエネルギー安定状態であるストライプ磁区の存在が予想されるにもかかわらず、素子の長手方向単磁区と反長手方向単磁区の2状態しか発現しない磁区転移となる。本年度の研究では、分布した法線磁場の印加で磁区の転移特性を制御して、ストライプ磁区を発現させる新規な現象を見出すことができた。

素子は、磁歪定数がほぼゼロの $\text{Co}_{85}\text{Zr}_{12}\text{Nb}_3$ アモルファス薄膜で形成された薄膜素子である。膜厚 $1\ \mu\text{m}\sim 2\ \mu\text{m}$ ，幅 $20\ \mu\text{m}$ ，長さ $2,000\ \mu\text{m}$ の矩形状薄膜素子に図1のような面内傾斜した磁化容易軸を形成して、その角度 θ を 70° とした場合、図2に示すような磁化特性を呈する。膜の異方性磁界 H_k は $7\ \text{Oe}$ 近辺である。この際、存在する磁区は、長手方向単磁区 (Longitudinal Single Domain (LSD)) の+方向と-方向 (図2の閉曲線)、そして、面内傾斜したランダウ・リフシッツ磁区 (Inclined-Landau-Lifshitz domain (ILLD) (図中央部の直線)) の2つの状態であるが、空間的に均一な磁場を任意に変化させた場合、前者の単磁区状態のみしか現れない。

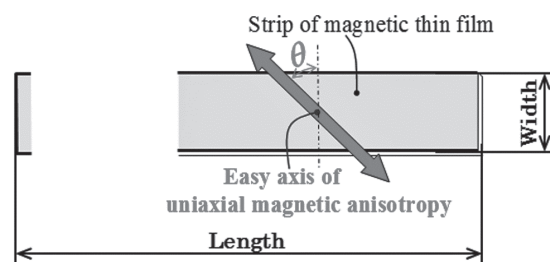
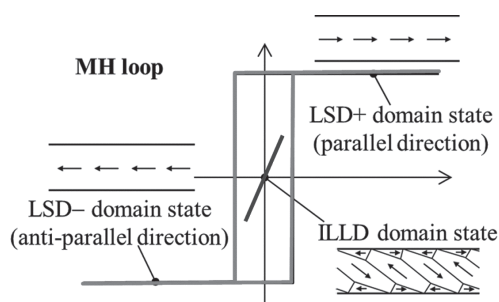


図1. 素子形状と磁化容易軸の模式図.

図2. 素子の磁化曲線 ($\theta \approx 70^\circ$).

本研究では、矩形状素子の長手方向（ここでは、X方向とする）の座標位置によってX方向磁場強度が変化する分布磁場を印加することで磁区転移を制御した。この磁場は、膜面法線方向磁場がX方向に傾斜し、この傾斜角度がXの位置に応じて変化する磁場構造で実現できる。磁場の模式図を図3に示す。ここでは、 $\angle B_x / \angle X$ が定数とみなせる条件とし、これをパラメータとした。

図4に実験装置であるKerr効果顕微鏡を示す。本実験装置は、磁区観察をするサンプル部に法線方向磁場を印加した上に、前段落で説明した分布磁場を制御する機能を付与した磁場発生機構を設計、作製して構築したものである。

図5は、法線磁場を印加しない条件で、X方向均一磁場を変化させた際の磁区変化である。この場合、長手方向単磁区と反長手方向単磁区の2状態間で磁区が転移している。なお、以下の図では、磁気モーメントの方向を矢印で図中に表示している。

同じ素子に、 $\angle B_x / \angle X = 0$ 、すなわち、X方向磁場の分布が無い状態で法線磁場 $B_z = 125$ G を印加した際の磁区転移を図6に示す。この場合も、図5の実験条件と同じように法線磁場ゼロと同じ長手方向単磁区と反長手方向単磁区の2状態間の転移となる。

図7に $B_z = 108$ G で $\angle B_x / \angle X = 4.9$ G/mm とした場合の磁区変化を示す。X方向の均一磁場をパラメータとして変化させた場合、ストライプ状磁区が発生することが確認された。X方向の均一磁場がゼロ付近でも、磁場の変化方向にかかわらずストライプ磁区が生じている。

本年度の研究では、膜面法線磁場に重畳される分布磁場 $\angle B_x / \angle X$ を制御することで、均一磁場の印加では発現しない、エネルギー安定状態のストライプ磁区を恣意的発生させる可能性が示された。この現象と制御方法は、情報の記憶とリセットを制御できる磁性デバイスに応用でき、センシングした情報を電力を使わずに記憶する記憶型センサとしてIoTシステムに応用できる可能性がある。今後は、分布磁場を除去した後に、ストライプ磁区が保持されることを確認する他に、分布磁場を制御するための小型

省電力な磁場発生機構を検討する予定である。

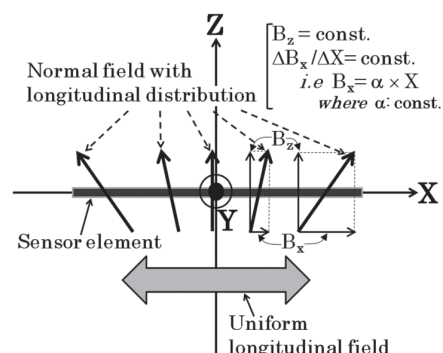


図3. 角度分布を有した法線磁場の説明図。



図4. 実験装置。

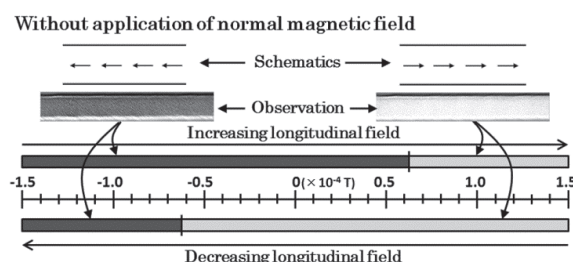
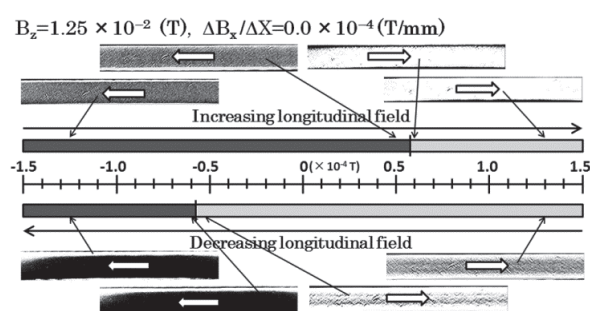
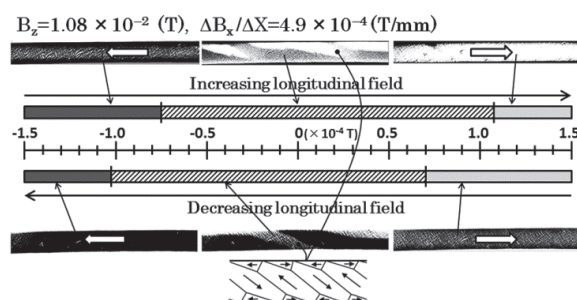


図5. 法線磁場ゼロの場合の磁区変化。

図6. 法線磁場 $B_z = 125$ G, $\Delta B_x / \Delta X = 0$ の場合の磁区変化。図7. 法線磁場 $B_z = 108$ G, $\Delta B_x / \Delta X = 4.9$ G/mm の場合の磁区変化。

〔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。

まず第1に、面内傾斜したストライプ磁区の磁区転移を素子面内方向の磁場分布で制御できることを明らかにした。

第2に、この制御方法は、法線方向磁場の大きさが10 mT から 60 mT の範囲で、この強度にかかわらず、分布磁場の大きさが主要な制御パラメータであることを明らかにした。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの実施により、全国の研究者間の交流が活性化し、磁区転移現象と磁区構造シミュレーションの融合による研究体制を実現できた。本プロ

ジェクトで明らかにした磁区構造の“隠れた安定状態”の存在とこれを外部磁場で制御して発現させる手法は、新しい研究領域の開拓（萌芽的現象の発見）となりつつあり、今後の発展が期待される。

〔4〕 成果資料

Tomoo Nakai, “Magnetic Domain Observation of Stepped Giant Magneto-Impedance Sensor with Subjecting to Normal Magnetic Field”, Proceedings of IEEE Sensors 2015, 1461-1464 (Invited), Busan Korea, Nov. 4th (2015).

採択回数	1	2	3
(若手)			

採択番号 H26/A16

ナノ構造体ハイブリッド太陽電池の開発

〔1〕組織

代表者：代表者：木村 康男
(東京工科大学コンピュータサイエンス学部)

対応者：馬 騰
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
廣瀬 文彦 (山形大学)
久保田 繁 (山形大学)
石橋 健一 (株半一)
林 靖彦 (山形大学)
中村 雅一 (奈良先端大)
今井 裕司 (仙台高等専門学校)
庭野 道夫 (東北大学電気通信研究所)
Frey Urs (理化学研究所)

延べ参加人数：10人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 19 万 8 千円
若手特別支援費 20 万円

〔2〕研究経過

ハイブリッド太陽電池の研究・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、ナノ構造を有するハイブリッド太陽電池を構築することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、「フレキシブル・プリンタブル製造有機ヘテロ接合太陽電池の研究」(H23/A09) 及び、「酸化物表面の機能化とナノ・デバイスへ

の応用」(H24/B07) の成果を融合しさらに発展させる。そこで、本年度は、これまでの成果を踏まえながら、ナノ構造体ハイブリッド太陽電池に関する研究を展開した。

本研究では、ナノ構造体構築技術を有する東京工科大学グループ、表面・界面計測、微細加工、有機デバイス、生体デバイスで十分な実績を有する東北大学グループ、及びヘテロ半導体デバイスの試作、評価、太陽電池評価技術を有する山形大研究グループの研究者相互の連携を図りながら研究を遂行した。ハイブリッドペロブスカイト太陽電池を構築し、温度制御及び添加剤導入によるペロブスカイト結晶の実現、表面不純物による欠陥評価及びその制御を行った。さらに、スパッタ TiO₂ 薄膜表面の欠陥準位による接触抵抗の増大や電荷運輸効率の低下を抑制するために、スパッタ TiO₂ 薄膜表面の修飾を行った。また、表面赤外吸収法を用いて修飾表面の化学状態を計測することにより、表面化学状態の解明及びその制御を行った。また、ペロブスカイトの結晶成長プロセスを観察し、ペロブスカイト結晶成長のメカニズムを解明するとともに、ハイブリッドペロブスカイト太陽電池を構築し、その特性を評価した。

また、第7回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウムを開催しており、海外研究者との交流も深めた。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

本年度は、①ペロブスカイト結晶の成長プロセスの解明、②ハイブリッドペロブスカイト太陽電池の有機/無機界面の修飾、③ペロブスカイト結晶性の向上の3項目について、研究を遂行した。

① ペロブスカイト結晶の成長プロセスの解明

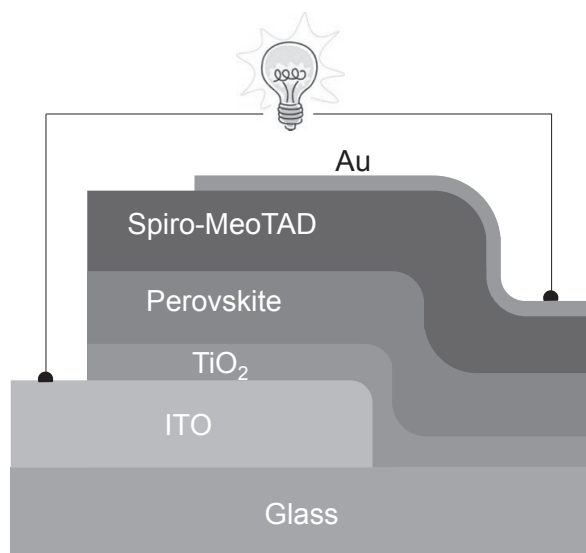
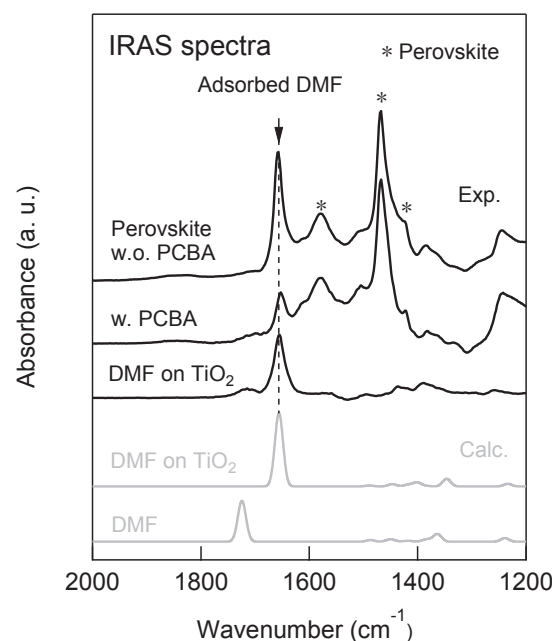


図1. 平面型ペロブスカイト太陽電池の構造図

図1に示すようなハイブリッドペロブスカイト太陽電池では、ペロブスカイト層が光を吸収するだけではなく、電荷の分離と輸送もペロブスカイト層中で行っている。そのため、光変換効率を向上するには、ペロブスカイト層の結晶性を確保しなければならない。そこで、我々は多重内部反射型赤外線吸収スペクトル法 (MIR-IRAS) と X 線回折装置 (XRD) を用いて、Tri-iodide (TI) と Mixed-halide (MH) 二種類のペロブスカイト材料の結晶の形成過程を観察した。MIR-IRAS の結果から、ペロブスカイト材料中の有機部分がアニール中蒸発することが分かった。XRD の結果から、TI ペロブスカイトの場合にはスピンコートされた直後に結晶化し、結晶の成長時間が短いため微小結晶しかできないことが分かった。一方、MH ペロブスカイトの場合には、有機材料が比較的多く含まれているため、回転塗布後はアモルファス状態であった。この状態にアニールを施すと、有機材料を蒸発し、小さいペロブスカイト結晶が層内ででき、その後に結晶が徐々に成長し、比較的大きい結晶が形成された。しかしながら、アニール時間を更に長くすると、ペロブスカイト層内有機原料が不足し、無機材料である PbI_2 になった。この無機材料の光吸収が弱くて、電荷の再結合中心となる。以上の実験結果から、十分な有機材料成分と適度の時間のアニール処理が結晶性の向上に重要であることが判明した。

② ハイブリッドペロブスカイト太陽電池の有機/無機界面の修飾

ペロブスカイト/ TiO_2 界面の溶剤分子の吸着と、PCBA 分子による表面修飾の二つの効果を調べた。図2に示す赤外吸収分光の結果から、回転塗布法で

図2. ペロブスカイト/ TiO_2 界面の溶剤分子の吸着と PCBA 分子による表面修飾

成膜したペロブスカイト/ TiO_2 界面に、ペロブスカイト溶剤 (DMF) が吸着し易いことが分かった。しかし、回転塗布する前に、 TiO_2 表面を PCBA 溶液処理すると、表面の溶剤吸着が大幅に抑制できた。そこで、無処理 TiO_2 表面、DMF 吸着 TiO_2 表面、PCBA 処理 TiO_2 表面の3種類の表面上にペロブスカイト太陽電池を作製し、電池の特性を評価した。DMF がペロブスカイト/ TiO_2 界面に存在すると、接触抵抗が大きくなった。しかしながら、PCBA 分子でペロブスカイト/ TiO_2 界面を修飾すると、接触抵抗が小さくなることが分かった。PCBA 分子は C_{60} 構造を有するため、電子親和力が高く、ペロブスカイト/ TiO_2 界面で電子の輸送が速くなり、抵抗の低減ができたと考えられる。

③ ペロブスカイト結晶性の向上

これまでペロブスカイト層の成膜方法について多くの研究者が研究してきた。しかし、基板上に単結晶のペロブスカイト層を作製する技術は確立されていない。我々は、新しい大結晶形成法を提案し、一様性が高く、かつ結晶性の良いペロブスカイト層を形成することに成功した。図3に示すように、我々の手法を用いると、従来法に比べ格段に大きい結晶のペロブスカイト層を形成できる。このペロブスカイト層を用いてフォトディテクターを試作し、光検出感度が従来法に比べ倍増した。この大結晶薄膜の太陽電池へ応用も今後検討する。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

ど

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、高品質のペロブスカイト層の作製法や表面・界面状態などについての重要な知見が得られ、高効率太陽電池の作製の成功へと繋がった。また、本プロジェクトで明らかになったペロブスカイトの結晶成長メカニズムや界面修飾法は、今後、ハイブリッドペロブスカイト太陽電池の更なる高効率化の実現に寄与すると期待される。

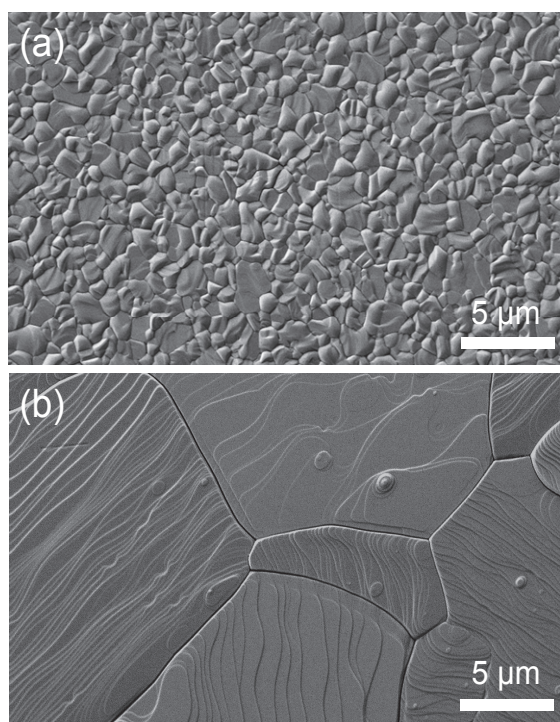


図3. これまでのペロブスカイト成膜方法(a)と本研究提案した成膜方法(b)の比較

(国際会議、シンポジウムへの発展)

- ・シンポジウム名：第7回ナノ構造とナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム
- ・日時：2016年3月1～3日
- ・開催場所：東北大学ナノスケール実験施設
- ・参加人数：50人

(特別支援（若手）にかかる研究成果)

- ・タイプ：若手研究者対象型

特別支援分の研究費により、学外研究者との交流が深めた。また、ペロブスカイト結晶成長のメカニズムを解明し、ペロブスカイト層の結晶性を更に向上することができた。また、ハイブリッド太陽電池の有機/無機界面の修飾により、太陽電池の特性を改善する工夫を示した。

[4] 成果資料

(1) Teng Ma, Matteo Cagnoni, Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata and Michio Niwano “Annealing-induced chemical and structural changes in tri-iodide and mixed-halide organometal perovskite layers.” *Journal of Materials Chemistry A*, **3**, (2015) 14195-14201. (selected as the “HOT Article” of 2015)

(2) Daisuke Tadaki, Teng Ma, Jinyu Zhang, Shohei Iino, Ayumi Hirano-Iwata, Yasuo Kimura, and Michio Niwano “Molecular doping of regioregular poly(3-hexylthiophene) layers by 2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane investigated by infrared spectroscopy and electrical measurements.” *Japanese Journal of Applied Physics*, **54**, (2015) 091602

(3) Teng Ma, Daisuke Tadaki, Masao Sakuraba, Shigeo Sato, Ayumi Hirano-Iwata and Michio Niwano “Effects of interfacial chemical states on the performance of perovskite solar cells.” *Journal of Materials Chemistry A*, **4**, (2016) 4392-4397.

採択回数	1	②	3
(先端・国際)			

採択番号 H26/A18

デザイン学の手法に基づく3次元インタラクティブ技術の 医学教育への応用展開

[1] 組織

代表者：北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

対応者：北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

分担者：

Ellen Yi-Luen Do

Weiquan Lu

Kelvin Cheng

Teong Leong Chuah

Linh Chi Nguyen

(National University of Singapore)

中小路 久美代（京都大学）

臼井 昭子（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）

延べ参加人数：40人

研究費：物件費13万7千円，旅費22万5千円

国際特別支援費30万円

[2] 研究経過

東北大学で培ってきた3次元インタラクティブ技術を、国立シンガポール大学が得意とするデザイン学に基づく手法を活用して、国際共同研究を通してさまざまな応用展開を図る。その目的のため、昨年度は次のような活動を行った。

- 2014年10月26日～29日には、双方の研究参加者が一堂に会して、それまでの検討事項を持ちより発表し合う会議をシンガポールで開催した。日本側から、多人数共有型立体ディスプレイの技術と、小型軽量磁気式3次元モーションセンサの技術を活用して設計した、複数人でインタラクティブに立体映像を共有しながら複雑なマルチタッチ操作をすることができる3次元協調インタラクティブシミュレーションの基盤装置に関して、設計内容の報告と試作の進捗状況した。シンガポール側からは、人体解剖シミュレータに関する国立シンガポール大学医学部における状況についての調査結果と問題点、さらに、それを解決するために人にどのような経験や体験をさせるかを検討した結果について報告され、そのために日本側研究代表者のグループの3次元インタ

クション技術をどのような形で導入するかの設計(デザイン)を行った結果について議論した。

- 2015年2月21日～24日には、シンガポール側の研究代表者である Ellen Do Yi-Luen 教授が東北大学 電気通信研究所を訪問し、平成26年度の研究の総括をするとともに、27年度の研究計画について確認する打ち合わせを行った。この期間中には、同教授には、本共同研究プロジェクトについて、共同プロジェクト研究発表会で一般に向けて講演してもらった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2015年6月23日～29日には、国立シンガポール大学から5名が来日し、東北大学電気通信研究所に滞在して、インタラクティブ人体解剖シミュレータの試作機の実装作業を共同で行った。東北大学側は、我々が独自に進めてきた「小型軽量磁気式3次元モーションセンサ」の技術と、「両手指を用いた3次元ナチュラルインタラクション」の技術の技術を活用して、インタラクティブに立体映像を共有しながら複雑なマルチタッチ操作をすることができる先端的な3次元ナチュラルインタラクティブシミュレーションの基盤装置を試作した。高嶋を中心にプロジェクトを組み、担当学生らのアイデアや意見を引き出しつつ、これらの基盤装置を利用して構築した。

2015年11月25日～29日には、東北大学電気通信研究所から北村喜文と高嶋和毅、そして学生8名の計10名が国立シンガポール大学に滞在し、インタラクティブ人体解剖シミュレータのシンガポール側での試作機を完成させた。またこの合間には、国立シンガポール大学 Computer Science Department で Human-Computer Interaction の研究を行っている Shengdong Zhao 教授やデザインの教育研究を進めている School of Design and Environment の Yen Ching-Chiuan 准教授らを訪問し、関連分野の調査と人脈形成にも努めた。

さらに、2015年12月1日～2016年1月30日には、国立シンガポール大学から Weiquan Lu が来日し、東北大学電気通信研究所に滞在して、フィールドテストの解析と3次元モーションセンサを用いた新たなナチュラージェスチャインタラクションの実験装置を試作し、実験を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本共同研究は、日本学術振興会の平成 26 年度 (2014 年度) 二国間交流事業オープンパートナーシップ共同研究とも連携して進めている。このプログラムは平成 28 年 6 月まで継続するが、その経費は本学のメンバーの活動費にのみ充てられるので、国立シンガポール大学のメンバーが来日して研究をする経費は、本共同プロジェクトで賄うことになる。

これらのプログラムを通して、国立シンガポール大学との連携をますます深めつつある。これはまた今後の幅広い共同研究展開に大きく役立つことになると思われる。

[4] 成果資料

- Juan David Hincapie-Ramos, Kasim Ozacar, Pourang P. Irani, and Yoshifumi Kitamura: GyroWand: IMU-based Raycasting for Augmented Reality Head-Mounted Displays, Proceedings of ACM Symposium on Spatial User Interaction (SUI), pp. 89-98, August 2015 【Best Paper Award】
- Jiawei Huang, Tsuyoshi Mori, Kazuki Takashima, Shuichiro Hashi, and Yoshifumi Kitamura: IM6D: magnetic tracking system with 6-DOF passive markers for dexterous 3D interaction and motion, ACM Transactions on Graphics (TOG), Volume 34, Issue 6, Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia, pp. 217:1-217:10, 2015.



東北大学電気通信研究所での国立シンガポール大学のメンバーとの打合せ
(2015年6月23～29日)



国立シンガポール大学 Weiquan Lu 研究員の東北大学電気通信研究所での講演
(2015年6月25日)



国立シンガポール大学での打合せ
(2015年11月25～29日)



国立シンガポール大学 Weiquan Lu 研究員との東北大学電気通信研究所での打合せ
(2015年12月1日～2016年1月30日)

採択回数	1	2	3
(先端)			

採択番号 H26/A19

情報の流れに着目した新世代情報処理基盤技術 に関する研究

〔1〕組織

代表者: 安本 慶一(奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科)

対応者: 北形 元(東北大学電気通信研究所)

分担者:

岡部 寿男(京都大学大学院情報学研究科)

加藤 由花(東京女子大学数理科学科)

河口 信夫(名古屋大学大学院工学研究科)

重野 寛(慶應義塾大学理工学部)

菅沼 拓夫(東北大学サイバーサイエンスセンター)

原 隆浩(大阪大学大学院情報科学研究科)

峰野 博史(静岡大学情報学部)

山口 弘純(大阪大学大学院情報科学研究科)

白石 陽(はこだて未来大学システム情報科学部)

研究費: 物件費 13 万 7 千円, 旅費 25 万 9 千円

延べ参加人数: 11 人

〔2〕研究経過

本プロジェクトは、人、車、機械、ビル等、あらゆる場所や物に埋設・付帯された多種多様なセンサにより時々刻々と生成される情報ストリーム(情報流)を、一か所に蓄積することなく流通させ、ある価値判断や必要性に応じて複数の情報流を選別し、リアルタイムに収集、融合、編纂、提示することを可能にする情報流処理基盤の構築を目的とする。本基盤を用いることで、従来の静的に蓄積されたデータの分析では得ることのできない、あちこちで湧出する多数かつ多様な情報流をリアルタイムに融合・編纂することによってのみ得ることが可能な新たな「知」を創出することを目指す。

本プロジェクトは、本年度は、研究開発領域を (A) 情報流を支える基盤技術、(B) 情報流に支えられる応用技術の2つに分け、分担者は各領域の中で個別テーマを設定して研究を進め、シンポジウムや研究会等の機会を捉えて意見交換を行った。

2015 年 5 月 30 日に、第 2 回情報流シンポジウムを開催した。上記(A)、(B)の領域に関する最新の成果・検討状況に関する講演 6 件と、「情報流の必要性と発展への期待」と題したセッションにおいて、大阪大学東野教授、慶應義塾大学徳田教授による招待講演が行われ、非常に活発な議論が繰り広げられた。

また、本年度のまとめとして、2015 年 11 月 27-28 日に東北大学電気通信研究所において、共同プロジェクト研究会を開催し、これまでの成果に加え、問題点や課題、今後の方向性について深く議論した。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

本年度は、情報流を支える基盤技術(A)、情報流に支えられる応用技術(B)に関して、次の成果を得た。

A 情報流を支える基盤技術

(1) 情報流処理基盤と応用(安本, 奈良先端大)

情報流をリアルタイムかつスケーラブルに処理できるようにするため、計測・計算・通信の基本機能を提供する「ニューロン」機能、デバイスに近い側(エッジ)での実時間分散処理を行う「地産地処」機能、複数の情報流を組合せて価値の高いコンテンツを生成する「キュレーション」機能の3つのレイヤで構成される情報流処理基盤 IFoT (Information Flow of Things)を設計した。また、地産地処機能の応用として、車載スマートフォンを用いた桜開花情報の自動収集・共有のための動画解析処理をエッジ側で処理するシステム「桜センサ」を、キュレーション機能の応用として、多数の CGM(一般ユーザが撮影した動画)から、適切な内容の映像を適切なタイミングで切り替えていくことで一つの価値の高い映像に編纂するシステムを構築した。

(2) 情報流技術を支えるエッジコンピューティングについての検討(岡部, 京大)

時空間に依存して連続的に生成され、それらが実世界にリアルタイムな価値を生み出し続けるような動的な情報である「情報流」の考え方を前提に、時空間毎に変動する情報の集合体として巨視的な観点から情報の変形や運動(移動)を論じる情報流のための基盤技術としての、エッジコンピューティングの可能性について検討した。シングルポイントに処理負荷やネットワークストリームが集中する旧来のクラウド集中型アーキテクチャは近い将来に性能的限界を迎えることが以前より指摘されている。大量の情報流を制御し水平流通させる情報流基盤において、端末の近くにエッジサーバを配置し、通信遅延や帯域に制約されることなく端末上では困難な高次処理を可能とするエッジコンピュ

ーティングが期待されている。さらに、水平分散的な情報流の流通を可能とする情報流ネットワーク基盤において、単に通信処理上の効率だけでなく、セキュリティ上・プライバシー保護上の要請からも、クラウドによる集中処理ではなく、エッジコンピューティングにより利用者やセンサデバイスの近くで行われることが望まれることを明らかにした。

(3) エージェント型情報流処理基盤アーキテクチャの検討(北形, 東北大)

既存のストリーム処理に対し、情報の発生源、加工処理、可視化等の各機能をエージェント化し、各エージェントの有用な組み合わせ方を知識として保持するキュレーションエージェントを導入することで、利用可能な情報源や計算資源を効率的に活用する、エージェント型情報流処理基盤アーキテクチャの検討を行った。キュレーションエージェントがこれらの組み合わせを利用者に提案することにより、どのような情報源に対しどのような処理を行えばよいのかという知識や経験が無い利用者でも、効率的に情報流を活用可能となることが期待される。

(4) 情報流の検索・プライバシー保護技術(原, 阪大)

情報流を扱うシステムでは、一般的に高頻度で生成されるストリームデータに対して、必要なデータのみを効率的に取得する技術が重要となる。そこで、ストリームデータに対して、データ更新を考慮したスカイライン検索や MaxRS 検索について研究開発を行った。情報流の応用の一つとして重要である位置情報サービスにおいて、ユーザの位置に関するプライバシーを保護しつつ、品質を落とさずにサービスを享受可能な位置曖昧化技術について研究を行った。

(5) D2D 型情報流制御に関する研究(菅沼, 東北大)

ユーザや物から実時間で連続的に生成された「情報流」を活用したネットワークサービスへの期待が高まっている。その一例として、ウェアラブルカメラや固定カメラから獲得した多数のライブ動画を「情報流」の概念に基づきリアルタイム配信するネットワーク基盤として、携帯端末間(Device to Device : D2D 型)で直接通信を行うアドホックネットワークに着目した。本研究では、限定された地理空間を対象とした多対多ライブ動画配信における快適かつ効率的なマルチストリーミングの実現を目指している。D2D 環境でマルチストリーミングを行うための従来のマルチキャストルーティングプロトコルは、高密度に存在する端末群に流通するストリーミングの増加への対処が不十分である。そこで本研究では、スタジアムでのスポーツイベントなど、同一の地理空間内で特定の嗜好を有したユーザ群(グループ)が偏在する環境を想定し、高効率なマルチストリーミングを行うための情報流ソリを構成するための、D2D 情報流制御プロトコルを提案した。

B 情報流に支えられる応用技術

(1) アクセス予測に基づいた広域冗長型安否システムの検討(峰野, 静岡大)

WEB システムを構成するサーバ群を世界規模で冗長化し、災害時のアクセス数を事前予測し適切なサーバ数にて負荷分散を行う広域冗長型安否システムを提案した。多地点および地理的に離れた広域拠点にシステムを分散配置し可用性を向上する広域冗長化機構と、災害規模に応じたアクセス数を事前予測し適切なサーバ数にて負荷分散を行うアクセス予測に基づくオートスケーリング機構を実装した。過去災害データを基にしたシミュレーション評価の結果、多地点での広域冗長化稼働とオートスケーリング機構を用いて年間費用を 32%削減できる見込みを得た。

(2) テレプレゼンスロボットのための遠隔ナビゲーション手法の提案(加藤, 東京女子大)

遠隔地に存在する簡易型移動ロボットをインターネット経由で操作するサービスを対象に、クラウド型の遠隔ナビゲーション手法の研究を進めてきた。今回、遠隔操作の対象となる実環境の忠実なモデルを事前に仮想空間として構築しておき、仮想空間と実空間のマッピングにより遠隔操作を実現する手法を提案した。本研究では、この手法を拡張し、ネットワーク遅延を考慮した制御モデルの構築を行った。具体的には、オペレータはネットワーク遅延が存在する環境であっても慣れにより遅延に順応していくことに着目し、事前に予測しておいた遅延モデルに従い、観測を遅らせ、制御を早める仕組みをモデルに組み込んだ。

(3) バス運行データの利活用に関する検討(白石, はこだて未来大)

本研究では、バス運行データの利活用に関する検討を進めた。ここでのバス運行データとは、バス停の実際のバス通過時刻や遅延時間などの運行実績データと、各バス停での乗車人数、降車人数などの乗降客数データを指す。具体的には、まず、バス運行実績データを活用して、ドライバーが走行予定経路上でバスに遭遇するかどうか、また、遭遇したバスの挙動(停車、右左折、車線変更)を予測する手法を提案した。さらに、より正確なバス遅延時間の予測に向けて、バス運行実績データおよび乗降客数データを用いてバスの遅延要因の分析を行った。

(4) コンテンツ指向型ネットワークにおける分散キャッシング手法の検討(重野, 慶大)

Named Data Networking (NDN) と総称されるコンテンツ指向ネットワークは、ルータによるキャッシングによるデータ配信の効率化に大きな特徴があり、キャッシュするコンテンツを選別するキャッシングポリシーは、その性能を左右する重要な要素である。NDN のキャッシングポリシーはスケーラビリティの観点から分散型が望

ましいが、キャッシュされたコンテンツの所在が互いに不明なため、他のルータのキャッシュを活用することが難しい。本研究では、ルータの周辺リンクの帯域を考慮してキャッシュ位置および経路を分散管理する BandCache を提案した。BandCache では、各ルータが自身を通過するトラフィック情報を用いて、他のルータへコンテンツのキャッシングを委託することで、キャッシュ利用効率の向上と帯域の輻輳の緩和を行う。シミュレーション評価により、コンテンツ取得率、ラフィック量、遅延の観点から本提案手法の有用性を示した。

(5) 屋内での3次元歩行軌跡推定手法(河口, 名大)

歩行センシングデータから高精度に3次元歩行軌跡を推定する手法を考案した。使用するセンサは加速度・角速度・気圧の3種類であり、詳細な建物構造情報を必要としない。装着型センサを用いた行動推定において、センサ信号の変化が少ない状態が継続している区間の検出は、センサ信号が短時間に大きく変化する区間を直接検出するよりも高い精度を期待できる。このような区間を安定センシング区間と定義し、そのコンセプトの適用例として、角速度センサを用いた安定歩行区間検出に基づく進行方向推定と、気圧センサを用いた安定フロア区間検出に基づくフロア間移動推定を行う。さらにそれら推定情報を統合して3次元歩行軌跡を求める。屋内歩行センシングコーパス HASC-IPSC を用いた評価実験の結果、進行方向推定、フロア間移動推定ともに、大きな変化量を直接推定する手法よりも高い精度を達成できた。

(6) 位置行動情報のストリーム処理とフィードバック技術の開発(山口, 阪大)

スマートフォンやウェアラブルセンサ、設置型センサを活用し、歩行者やその周辺状況、家屋居住者などの活動状況をセンシングしてリアルタイム処理し、その情報をフィードバックする技術の開発を実施している。スマートフォンに内蔵された各種モーションセンサーを用いた歩行者自律航法をスマートフォン間で組み合わせることで実時間でより正確に位置情報を取得する技術、同センサを用いた移動状態検出技術、設置型トラッキングセンサと電力メーターを用いた家庭内行動推定技術などを開発している。これらを活用し、利用者に適切な情報をフィードバックする応用技術を開発している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの成果を広く共有するための活動として、2015年5月には、第2回情報流シンポジウムを開催した。また、2016年3月には、電子情報通信学会総合大会のパネルセッション「5G/IoT に向けたエッジコンピューティングの技術動向」にて、本プロジェクトの最新の成果を広く周知した。本プロジェクトを国際的に広めるべく、Journal of Information Processing 2016年2月号にて、本プロジェクトで取り組んでいる IFoT を紹

介する英文招待論文を出版した。さらに、モバイル・ユビキタス分野の著名国際会議 Mobiquitous2016 の併設ワークショップとして情報流に関する国際ワークショップを企画・開催するための準備を進めている。

[4] 成果資料

1. Keiichi Yasumoto, Hirozumi Yamaguchi, Hiroshi Shigeno: [Invited Paper] Survey of Real-time Processing Technologies of IoT Data Streams, Journal of Information Processing, Vol.24, No.2, 195-202, 2016.
2. Shigeya Morishita, Daichi Nagata, Shogo Maenaka, Morihiko Tamai, Keiichi Yasumoto, Toshinobu Fukukura, Keita Sato: SakuraSensor: Quasi-Realtime Cherry-Lined Roads Detection through Participatory Video Sensing by Cars, Proc. UbiComp 2015, 695-705, 2015.
3. Naoki Tsujio, Yasuo Okabe, A Traceable and Pseudonymous P2P Information Distribution System, The 1st IEEE International Workshop on Middleware for Cyber Security, Cloud Computing and Internetworking (MidCCIS2015), in COMPSAC2015, pp.67-72, 2015.
4. Tomotaka Maeda, Hiroki Nakano, Naoyuki Morimoto, Kazumi Sakai, Yasuo Okabe, Design and Implementation of an On-demand Home Power Management System based on a Hierarchical Protocol, The 3rd IEEE International Workshop on Consumer Devices and Systems (CDS2015), in COMPSAC2015, pp.188-193, July 1-5, 2015.
5. 谷村 優介, 笹井 一人, 北形 元, 木下 哲男, “動的に変化するネットワークシステムのための知識型障害解決支援システム”, 第23回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2015)論文集, pp.156-163, Oct. 2015. (優秀論文賞)
6. 山田良介, 谷村優介, 笹井一人, 高橋秋典, 北形 元, 五十嵐隆治, 木下哲男, “エージェントに基づくネットワークデータ分析支援基盤”, 情報処理学会第78回全国大会講演論文集, pp.3-73 - 3-74, 2016.
7. D. Amagata, T. Hara: Monitoring MaxRS in Spatial Data Streams, Proc. Int'l Conf. on Extending Database Technology (EDBT 2016), 2016.
8. Takahiro Hara, Akiyoshi Suzuki, Mayu Iwata, Yuki Arase, Xing Xie: Dummy-based User Location Anonymization under Real-World Constraints, IEEE Access, to appear, 2016.
9. Takuma Oide, Toru Abe, and Takuo Suganuma, A Broker-less Participatory Sensing Scheme by User Matching Mechanism Based on Market Price Approach, Proc. the 3rd International Workshop on Crowd Assisted Sensing, Pervasive Systems and Communications (CASPer2016, PerCOM2016 Workshop), pp.233-238, 2016.
10. 安部充, 生出拓馬, 阿部亨, 菅沼拓夫, 多対多ライブ動画配信のためのグループの嗜好を考慮した D2D 情報流制御に関する一検討,” 第78回情報処理学会全国大会予稿集, 4T-02, 2016.
11. 荒木拓也, 峰野博史: 大学棟利用方法の見直しによる電力消費効率の向上に関する検討, 情報学ワークショップ 2015, 173-177, 2015.
12. 永田正樹, 阿部祐輔, 金原一聖, 福井美彩都, 峰野博史: アクセス予測に基づいた広域冗長型安全システムの提案と基礎評価, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム(CDS)(採択).
13. Yuka Kato: A Remote Navigation System for a Simple Tele-presence Robot with Virtual Reality, Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2015), pp.4524-4529, 2015.
14. 成田雅彦, 泉井透, 中川幸子, 土屋陽介, 松田栄信人, 加藤由花: ネットワークを活用したロボットサービスのための非専門家向け開発フレームワークの提案, 日本ロボット学会誌, 33(10): 808-817, 2015.
15. 花田智, 白石陽, バス運行データを用いたドライバーの走行に影響するバス挙動の予測, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2015)シンポジウム, pp.1359-1366, 2015.
16. 藤原 由美恵, 花田 智, 白石 陽, 道路データとバス運行データを用いたバスの遅延要因分析, 情報大全, No.3, pp.395-396, 2016.
17. T. Kamimoto, K. Mori, S. Umeda, Y. Ohata, H. Shigeno, Cache Protection Method Based on Prefix Hierarchy for Content-oriented Network, The 13th Annual IEEE Consumer Communications & Networking Conference (CCNC 2016), pp.424-429, 2016.
18. 森研太, 神本崇史, 重野寛, コンテンツ指向型ネットワークにおける帯域を考慮した分散キャッシング手法, 情報論誌 57(2): 611-619, 2016.
19. 梶谷彦, 河口信夫: 安定センシング区間検出に基づく3次元歩行軌跡推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.1, pp. 12-24, 2016.
20. Antonio Martinez, Kei Hiroi, Nobuo Kawaguchi, Design and implementation of algorithm for estimation of elevator travel distance using smartphone accelerometer, Proc. International workshop on human activity sensing corpus and its application (HASCA2015), 2015.
21. T. Higuchi, H. Yamaguchi, T. Higashino, Trajectory identification based on spatio-temporal proximity patterns between mobile phones, Wireless Networks (Springer), Vol. 22, No. 2, pp. 563-577, 2016.
22. Takamasa Higuchi, Hirozumi Yamaguchi and Teruo Higashino, Tracking Motion Context of Railway Passengers by Fusion of Low-Power Sensors in Mobile Devices, Proceedings of the 19th ACM International Symposium on Wearable Computers (ISWC2015), pp. 163-170, 2015.

採択回数	1	2	3
(先端・萌芽)			

採択番号 H26/A20

心的状況共有のための共感デバイス協調機構の研究

〔1〕組織

代代表者：山崎 達也

(新潟大学大学院自然科学研究科)

対応者：高橋 秀幸

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

中野 敬介 (新潟大学工学部情報工学科)

前田 義信 (新潟大学工学部福祉人間工学科)

笹井 一人 (東北大学電気通信研究所)

大野 稜平 (新潟大学工学部情報工学科)

延べ参加人数：6人

研究費：物件費13万7千円，旅費16万8千円

〔2〕研究経過

スマートフォン（スマホ）やタブレットPCなどの携帯形端末の普及が目覚ましく，ネットワーク上の情報へのアクセスや遠隔の相手との通信が非常に便利になった反面，物理的に近くにいる人への配慮が欠けたり，周囲の人とのコミュニケーションをうまく行えなくなったりという弊害が増えてきている。本プロジェクトでは，ユーザが自身の「嬉しい」や「困っている」というような心的状況を，ある程度物理的に近い距離にいる相手に伝えることで，送受信者間に共感的な雰囲気を作り上げるサービスと，それを実現するデバイス協調機構を構築することを目的として研究を推進してきた。初年度にあたる昨年度は，デバイス協調機構に必要とされる各モジュールの詳細設計と実装を行い，心的状況を相手に伝えるための端末間同期通信方式を提案した。

以下，本年度の研究活動状況の概要を記す。

まず，平成27年9月8日に新潟大学より2名が東北大学電気通信研究所を訪問し，打合せを行った。そこでは前年度の成果を踏まえ，端末間同期通信を行った端末のユーザ同士が実世界においてお互いの位置を把握する方式の実現を本年度の主たる目的とした。

上記の打合せの結果に基づき，提案サービスの実

現実に対する制約条件を明らかにし，その制約条件下にも対応できる方式の検討を行った。具体的には，複数のユーザがそれぞれの位置をGPS(Global Positioning System)で確認できるようなケースは想定せず，GPSが使用不可能な建物屋内や地下街を想定した上で，使用端末に搭載されている加速度センサやジャイロセンサ等のセンサ群を用いて相手の相対位置を特定するための方式を考案した。

考案方式の実装は新潟大学にて主に行い，まずは加速度センサを用いた歩行距離の計測の実現に着手した。実験を繰り返し，精度を向上させるためにアルゴリズムの変更を行い，さらにジャイロセンサを用いた端末の傾きによる誤差補正を加えたところ，誤差が6.4%から22.0%の間に収まるくらいに歩行距離計測を実現することができた。

上記の結果に，端末間のRSSI (Received Signal Strength Indicator)を指標とした電波強度の値と端末間距離の関係性を加え，2台の端末間の相対位置を測定する方式を提案した。提案方式は三角測量の原理に基づくもので，片方の端末は静止しているという前提の下，別の端末ユーザが端末を持ったまま移動し，静止している端末との距離と自身の移動距離より静止端末の位置を相対的に求めるものである。新潟大学の体育館を実験場所と用いて，提案方式の有効性を検証する実証実験を行った。その結果，最も良好な場合で端末間の距離と方向の測定値と正解値との誤差率が約20%という結果を得ることができた。これは実際の距離では約1.8mであり，実世界において複数の端末がお互いを知り合うためには十分な精度といえる。

平成28年2月19日に新潟大学より2名が東北大学電気通信研究所を訪問し，上記の方式及び実験結果について打合せを行った。さらに，得られた研究成果をまとめた上で，計測自動制御学会東北支部第300回研究集会において「三角測量を用いた屋内測位の検討」と題して発表を行った。また，最終的な成果を平成28年2月25日に東北大学で開催された，平成27年度共同プロジェクト研究発表会でポスター発表した。

[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。

まず第1に、三角測量に基づく実世界における端末間の相対位置関係を推定する方式を提案した。提案方式を図1に基づいて説明する。

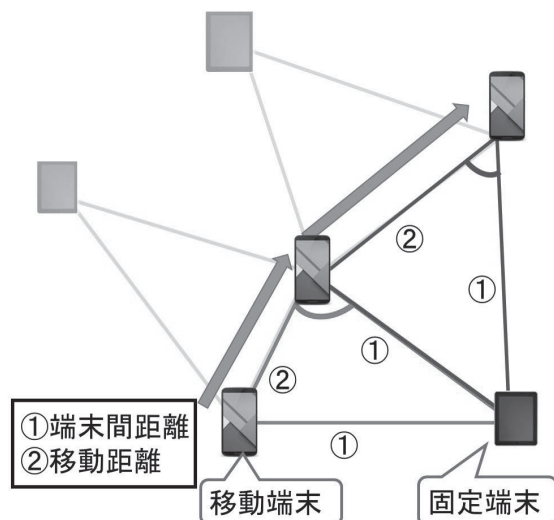


図1 三角測量に基づく提案方式の概念図

図1に示すように二台の端末間の相対位置を推定する場合を考える。一方の端末は静止している固定端末、もう一方は移動することができる移動端末とし、移動端末を使用するユーザが端末を把持したまま自分自身の位置を変えることによって固定端末の相対位置を推定する。まず始めに、移動端末が静止した状態で固定端末との端末間距離を電波強度によって測定する。次に任意の方向に一定の距離だけ移動端末を持つユーザが動き、その際の移動距離を加速度センサで取得した加速度を2回積分することで求める。最後に移動を終えた地点での端末間距離を端末間の電波強度を用いて測定する。その結果、図1に示す移動端末と固定端末との間に三角形（図1の赤い三角形）が形成でき、固定端末までの距離と方向が分かるという原理に基づいている。しかしながら、移動端末が動いた方向を軸として対称的な位置に別の三角形が形成される。固定端末の推定位置は二つ形成される三角形のどちらかの頂点となり、一意に定めることができないわけである。そこで提案方式では移動端末が二回目の移動を行うことで、再び固定端末との間に別の三角形を形成する（図1の青い三角形）。ここで再び、対称的な三角形が形成され、図1に示すように最初の対称対と合わせて四つの三角形が形成されるが、原理的にはその中で二つの三角形の頂点が重なる点が唯一求まり、その点が固定端末の真の位置となる。

第2に、加速度センサの値の補正をジャイロセン

サによる傾き検出を用いて行う手法の提案を行った。

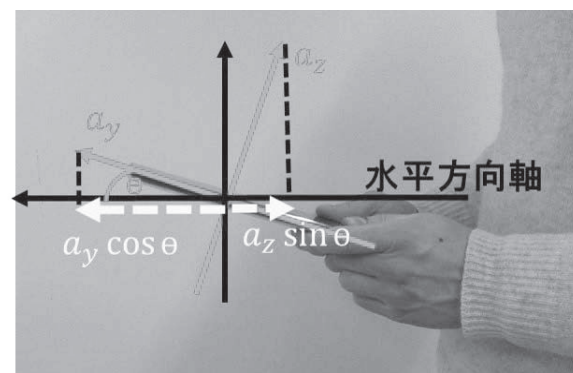


図2 水平方向軸に対して生じるずれの補正

加速度センサを用いた歩行距離測定時には、端末を地面に水平になるように把持することを前提としているが、実際には図2に示すように θ で表されるずれが生じる。 θ はジャイロセンサにより検出可能であり、この測定値を用いて式(1)により水平方向加速度 a_h を計算できることを示した。ここで a_y はy軸方向加速度を、 a_z はz軸方向加速度を表す。

$$a_h = a_y \cos \theta - a_z \sin \theta \quad (1)$$

最後に第3の成果として、約60 m×約35 mの障害物のない屋内環境において実験を行い、提案手法による相手との相対位置測定の精度を検証したことを挙げる。実験は11回行い、固定端末までの距離及び角度の推定値と真値との誤差率を求めた。最も低い誤差率は約20%であり、平均誤差率は固定端末までの距離は約41%、固定端末までの角度は30%であった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトにおいて、新潟大学と東北大学電気通信研究所の研究者が相互に情報交換し、連携することによって、単独では決して得られない成果へつながることができた。情報通信サービスを実現するにあたって、実世界のユーザの挙動が重要であることが共通の知見として得られ、討論の結果としてサービス品質を考慮する際にユーザが実際に体感する品質を評価基準とした研究開発の必要性が議論された。その結果、ユーザが体感する品質評価に応じた、実ネットワーク性能を変更するような新たな通信基盤を提案し、他の研究開発ファンドへ応募するという発展に至った。

[4] 成果資料

(1) 蜂谷 雄介, 高橋 秀幸, 笹井 一人, 北形 元, 木下 哲男, "能動的情報資源に基づく創造活動支援システム," 電子情報通信学会 2015 年ソサイエティ大会 通信講演論文集 2, S-3, Sep. 2015.

(2) 加藤 匠, ポン ジャオチン, 高橋 秀幸, 木下 哲男, "IoT 向けエージェントによる柔軟なホームセキュリティサービス構成法," 第 25 回 インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN 2015), pp.202-205, Sep. 2015.

(3) Zhaoqing Peng, Takumi Kato, Hideyuki Takahashi, Tetsuo Kinoshita, "Intelligent Home Security System Using Agent-based IoT Devices," Proc. of the 4th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2015), pp.313-314, Oct. 2015.

(4) 中野敬介, 宮北和之, "インフォメーションフローティングにおける移動体の行動変化と性能評価," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 422, CAS2015-74, pp. 73-78, Nov. 2015.

(5) 山本幸樹, 前田義信, 松本慎平, 加藤浩介, 山岸秀一, "人工学級シミュレーションを用いたスケープゴート現象に関する研究," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 315, CAS2015-56, pp.103-108, Nov. 2015.

(6) 小野寺駿, 伊藤尚, 前田義信, "マルチエージェントシミュレーションを用いた製品の寿命が市場に及ぼす影響の基礎的研究," 電子情報通信学会技術研究報告, vol. 115, no. 422, CAS2015-78, pp.95-99, Jan. 2016.

(7) 大野稜平, 山崎達也, "三角測量を用いた屋内測位の検討," 計測自動制御学会東北支部第 300 回研究集会, no. 300-2, Feb. 2016.

採択回数	1	2	3
		(萌芽・若手)	

採択番号 H26/A21

カメラ画像に基づく耳介の音響伝達関数の高精度推定

〔1〕組織

代表者：伊藤 仁（東北工業大学工学部）
 対応者：坂本 修一（東北大学電気通信研究所）
 分担者：佐藤 直行（はこだて未来大学）
 菅野 創史（東北工業大学工学部）
 桑原 潤（東北工業大学工学部）

延べ参加人数：5人

研究費：物件費 13 万 8 千円，旅費 11 万 7 千円
 若手特別支援費 20 万円

〔2〕研究経過

ダミーヘッドで収録した音響伝達特性（HRTF: Head Related Transfer Function）を用いて、臨場感の高い音場を再現するバイノーラル録音・再生は、次世代のオーディオ装置の基盤技術として期待されている。しかし正確な HRTF を得るためには、無響室等で長時間の測定が必要となるため、被験者に強い負荷が大きく、この技術を一般的なオーディオ装置へ展開する際の障害となっている。そこで本研究では、HRTF の個人差の中で主要な役割を果たす耳介形状に注目し、耳介を撮影した画像から HRTF を高精度で推定する手法の実現を目指している。

プロジェクト 1 年目にあたる平成 26 年度は、耳介形状の評価方法について検討し、生体の耳介そのものではなく石膏模型を作成することで被験者の負荷が軽減できること、また耳介形状の 3 次元 CAD データを取得する際に光学測定が有効であること、さらに光学計測においてデータ欠損が生じやすい耳介内部の形状を把握するために、石膏模型を作成する際に用いた雌型の形状を計測し、石膏模型のデータと統合することが有効であることなどを確認した（図 1）。

プロジェクト 2 年目の平成 27 年度は、耳介の形状と音響伝達特性の関係を調べるために、主に耳介の石膏模型の音響伝達特性を効率的に計測する手法について検討した。耳介の音響特性は音の入射角に応じて複雑に変化する。前年度までは、石膏模型を載せたターンテーブルと、位置変更可能なスピーカークの固定治具を用いて音の相対的な入射角を変更していたが、より効率的な計測を実現するために、音

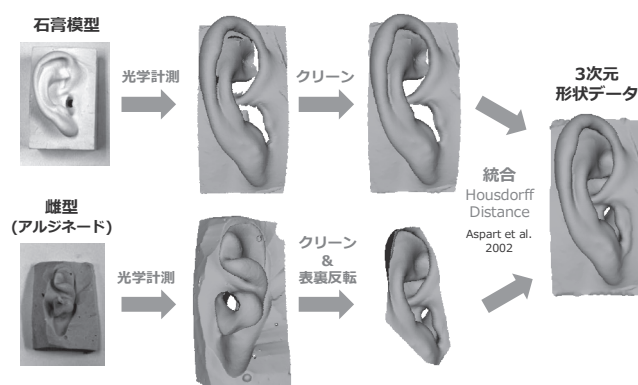


図 1. 耳介形状の 3 次元データ計測

響特性の自動計測装置を試作した。

また耳介形状の 3 次元 CAD データから、耳輪や耳甲介など解剖学的な部位を特定し、これらの部位に基づいて耳介全体の形状を表現できれば、耳介の形状と音響特性の関係を理解する上で有効であると考えられる。本年度は、この表現手法についても検討を行った。以下にこれらの詳細を報告する。

〔3〕成果

（3-1）研究成果

耳介を含む人間の頭部伝達関数の測定では、外耳道近傍にマイクロホンを設置し、被験者の周囲に複数のスピーカーを配置してインパルス応答を計測する手法が用いられる。本研究では、特に耳介の形状が頭部伝達関数に及ぼす影響を調べることを目的としているため、多数の耳介模型の音響伝達特性を効率的に計測することが重要となる。これを実現するために、音源ではなくマイクロホンの位置を変更する自動計測装置を試作した。

自動計測装置は、人間の頭部を模した直径 20 cm の球の両側面を切除した擬似頭部と、これを支えるスチール製の円柱、サーボモーターと制御用のマイクロコンピュータを搭載した基部で構成される（図 2）。擬似頭部の両側面には、被験者の耳介から作成した石膏模型が取り付けられるようになっており、左右の耳介模型の外耳道入り口にマイクロホン（ECM-88B）を挿入する。この石膏模型を含む擬似頭部の側面部分は、内部に搭載したサーボモータ

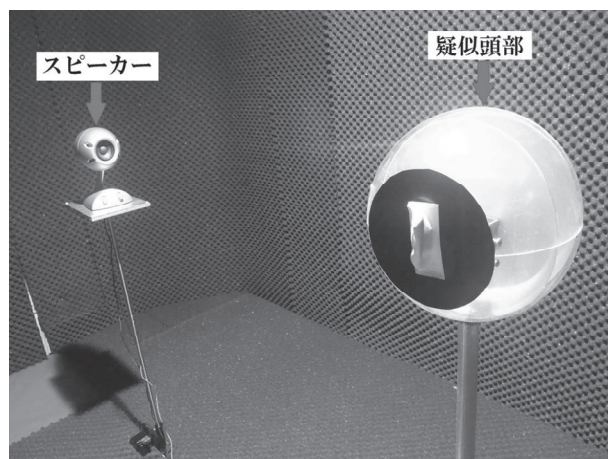
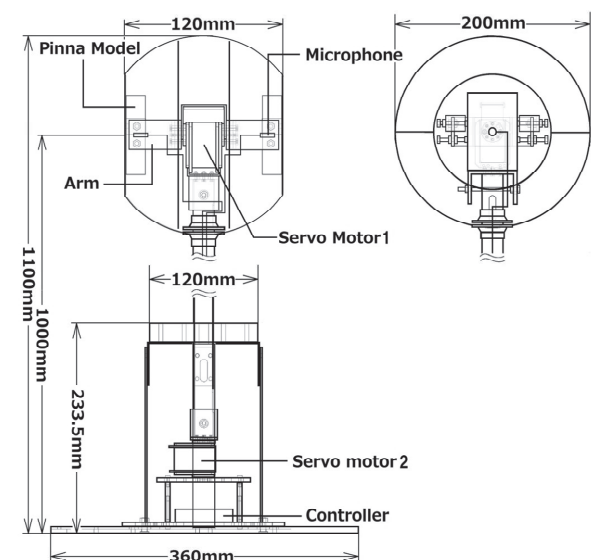


図2. 耳介模型の音響自動計測装置

ー (MX-28AT) により鉛直方位 ± 90 度の範囲で回転することができる。角度制御の精度は約 0.1 度である。また装置の基部に設置したもうひとつのサーボモーターにより、支持円柱を含む擬似頭部全体を水平方位各 ± 180 度の範囲で回転させることも可能である。

実際の計測では、まずサーボモーターを用いて擬似頭部の角度を決定し、擬似頭部正面 1 mに設置したスピーカー(Timedomain mini)からテスト音を出力する。この音を擬似頭部の左右のマイクロホンで受音し、音響伝達特性を計算する。音源ではなくマイクロホンの位置を移動させることにより、限られた空間で全周囲の音響伝達特性を計測することが可能となる。

図3に、この計測装置を用いて計測した音響特性の例を示す。上段の2枚のパネルは、石膏模型を用いずに測定した場合(左)と、成人男性の耳介模型を用いた場合(右)に対応する。模型を取り付けない状態では、マイクロホンがスピーカーの正面にあるとき($\theta = 90$ 度)のときゲインが最大となり、逆

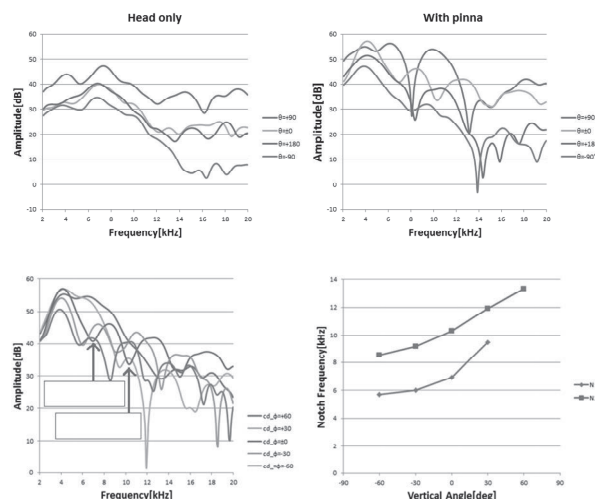


図3. 計測した音響特性の例 (左耳)

に背面にあるとき($\theta = 270$ 度)ゲインが最小になること、またこの水平角によるゲインの変化は音の回折効果により高周波数で顕著となることが確認できた。さらに耳介模型を用いた場合には、 $5 \sim 15$ kHzで特徴的なスペクトルのピークやディップが出現し、特にディップの周波数(ノッチ周波数)が、音の入射鉛直 ϕ に応じて単調に変化することが確認できた(図3下段)。これらは先行研究の知見と整合するものであり、本研究の自動計測装置の妥当性を支持する結果であると考えられる。

また本研究ではテスト音として、サンプリング周波数 48 kHz、 16 次のM系列雑音を使用し、これを 64 回同期加算することで音響特性を算出している。この場合1点あたりの計測時間は約 90 秒で、例えば水平角 $-180 \sim +150$ 度、鉛直角 $-90 \sim +90$ 度を 30 度刻みで 84 点計測すると、サーボモーターによる移動の時間も含めて、総計測時間は 2 時間 34 分となる。試作した自動計測装置を用いて、この様な計測が問題なく行えることが確認できた。

また本年度は、光学測定により得られた3次元CADデータから、耳介の解剖学的構造に基づく形状表現についても検討した。耳介の形状は個人差が大きいが、解剖学的な分類による主要な部位(凹凸)の相対的な位置関係には共通性が見られる。そこで、耳介の個人性を、この解剖学的な構造を用いて定量化し、この表現から耳介の3次元形状を可逆的に復元することで、耳介の形状と音響特性の関係を理解する際に必要となる枠組みを提供できる可能性がある。

本年度は、外耳道を原点とする極座標で、動径方向の切断面の輪郭を抽出し、原点からの道のりに対する1次元曲率で形状を表現する極座標曲率表現を提案した(図4)。この手法は、任意の耳介形状から

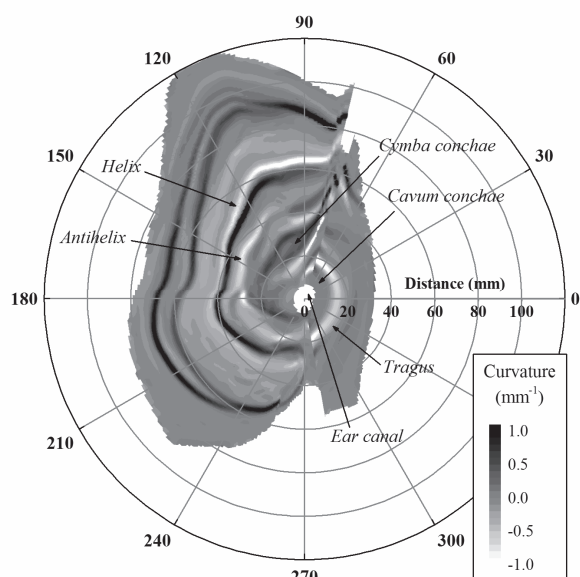


図 4. 耳介形状の極座標極率表現

一意に表現を計算できること、解剖学的構造の抽出が容易であることが分かったが、切断面の輪郭線が単一曲線とならない場合に、元の形状を正確に復元できないという問題があることが明らかになった。

この問題に対応するために、耳介の局所的な形状を 2 次元曲率で表現し、解剖学的構造に基づく Parametric Surface を用いて形状を表現する手法を検討した (図 5)。この手法を用いることで、極座標曲率表現における形状の復元性の問題は解決されたが、入力である 3 次元 CAD データから、この構造的な表現を自動抽出するアルゴリズムを完全に確立することはできなかった。

このアルゴリズムを構築するためには、多数の耳介形状データを用いた実験が必須であり、来年度の研究においてこの点を解決していきたい。

(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、バイノーラル録音・再生技術の普及を促進する要素技術の確立を目指すものであり、これを達成するために本年度は特に音響自動計測装置の開発に取り組んだ。本研究で提案する計測装置は、これまで大規模な設備が必要であった頭部伝達関数の入射方向依存性を、限られた空間と比較的安価な装置で計測できる点に特徴がある。

この様な手法が確立されたことで、今後この分野に興味を持った研究者の新規参加が容易となり、耳介の形状と音響特性の関係を明らかにする研究が加速すると期待できる。

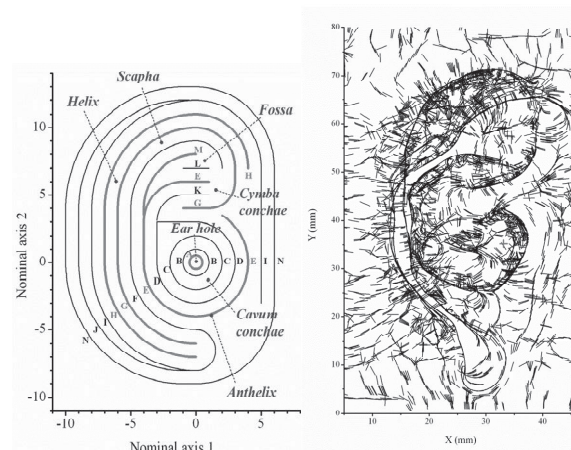


図 5. 2 次元極率を用いた耳介の構造的表現

(特別支援 (若手) にかかる研究成果)

本プロジェクトは若手研究者対象型の特別支援の支援を受けた。この支援により、音響自動計測装置を設置する防音室の遮音・吸音性能を著しく向上させることができた。防音室 (3100×1775×1940 mm) の内部全面に、厚さ 25 mm のグラスウールと、30 mm のウレタンボードを貼り付けることで、室内の吸音率は 0.05 から 0.525 まで向上した。また暗騒音レベルは 18.3 dBA となり、信頼性の高い計測が可能となったと考えられる。

[4] 成果資料

- (1) 伊藤 仁, 高野 勇氣, 千葉 拓, 千葉 遼一 “3 次元ディジタイザに基づく耳介形状の分析手法の検討,” 日本音響学会 2015 年秋季研究発表会講演論文集 pp.403-404, 2015.
- (2) 伊藤仁 “2 次元曲率に基づく耳介形状の構造的表現,” 日本音響学会 2016 年春季研究発表会講演論文集 pp.565-566, 2016.
- (3) 桑原潤, 菅野創史, 伊藤仁 “2 自由度サーボ機構による耳介模型の音響自動計測に関する検討,” 日本音響学会 2016 年春季研究発表会講演論文集 pp.567-568, 2016.
- (4) 菅野創史, 桑原潤, 伊藤仁 “耳介石膏模型の音響特性自動計測システム,” 平成 27 年度東北地区若手研究者研究発表会 pp.41-44, 2016.

採択回数	1	②	3
(国際)			

採択番号 H26/A22

磁性半導体・酸化物の磁性とスピン輸送に関する研究

〔1〕組織

代表者：松倉 文礼

(東北大学原子分子材料科学高等研究機構)

対応者：大野 英男

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

周 雄 (台湾国立中山大学)

孫 士傑 (台湾国立中山大学)

金井 駿 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：8人

研究費：物件費 13 万 7 千円

国際、特別支援費 30 万円

〔2〕研究経過

強磁性半導体・酸化物はスピントロニクス材料として有望視されている。代表的な強磁性半導体である (Ga, Mn)As は正孔誘起強磁性であり、その強磁性発現機構は p-d Zener モデルによって記述される。一方で、その他多くの強磁性半導体・酸化物の磁気的秩序の発現機構は必ずしも明らかになっている訳ではない。高品質な強磁性半導体・酸化物の詳細な磁気特性と磁気輸送特性の評価から、これらの材料の磁気的秩序とスピン依存伝導機構について明らかにすることを目的にする。

本プロジェクトは、昨年度が初年度であった。昨年度は、狭禁制帯強磁性半導体である (Ga, Mn)Sb 薄膜を対象に磁気輸送測定の評価を行い、代表的な強磁性半導体 (Ga, Mn)As の輸送特性との類似点、相違点を明らかにした。今年度はより狭い禁制帯を有するトポロジカル絶縁体をベースとした材料の作製と評価を中心に研究を進めた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設において既存の分子線エピタキシー装置により強磁性半導体及び磁性ドーブ・トポロジカル絶縁体の結晶成長を大野・松倉・中山大学の博士研究員・通研の博士課程学生が担当した。構造評価と磁気輸送特性測定は松倉・同研究員・同学生・金井が担当した。周と孫は電気通信研究所に約 1 ヶ月滞在し、研究に対する詳細な議論を行った。

〔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。

半絶縁性 GaAs (111)A もしくは Si (111) 基板上に磁性元素として数パーセントの Mn あるいは Cr をドーブしたトポロジカル絶縁体 Bi₂Se₃ 及び Sb₂Te₃ 薄膜を分子線エピタキシー法により成長した。結晶成長中の反射高速電子線回折と結晶成長後の X 線回折測定により、c 軸方向が成長方向に配向した単結晶磁性ドーブ・トポロジカル絶縁体を得られたことを確認した。このことは、原子間力顕微鏡で観測した表面における三角形のテラス構造からも確認された。

Mn ドープした Bi_2Se_3 はn型伝導、Cr ドープした Sb_2Te_3 はp型伝導を示し、組成を制御することにより伝導型を制御できる可能性がある。磁化の温度依存性とホール抵抗の外部磁界依存性を測定した。Mn ドープ Bi_2Se_3 とCr ドープ Sb_2Te_3 の両方において、温度の増加につれて減少する残留磁化を観測した。一方で、ホール抵抗の外部磁界依存性には、強磁性体に特徴的なヒステリシス曲線は観測されず、磁化測定において観測された温度依存する磁化成分は析出物による可能性がある。Cr ドープ Sb_2Te_3 においては、2 Kで測定したホール抵抗に0.1 T付近でヒステリシスを観測した。同様の振る舞いはCrをドープしたGaSbにおいて過去に観測されており、Cr ドープした Sb_2Te_3 は反強磁性体であることを示唆するものである。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

【特別支援費(国際)にかかる研究成果】

磁性半導体は通常の磁性体と同様に様々な磁気輸送特性を示す。磁性半導体の物性は有効ハミルトニアンを用いた計算が可能であるため、磁性半導体の磁気輸送特性を理解することが様々な材料の磁気輸送特性の理解に繋がるものと期待される。本年度はドナー元素としてLiをドープした(Ga, Mn)Asの磁気異方性と異方性磁気抵抗効果の温度依存性の評価を行った。Li ドープ(Ga, Mn)Asの面内磁気異方性は温度の関数であり、温度によりその符号が反転することを示した。それと同時に面内異方性磁気抵抗効果の符号も反転することを見いだした。一方で、異方性磁気抵抗効果の横成分と考えられているプレナー・ホール効果に符号の反転は見られない。この振る舞いは、既存の現象論的モデルからは説明することができない。この起源を明らかにすることが、磁性半導体における磁氣的性質と電氣的性質の相関を詳細に理解するための手がかりとなるものと期待される。

強磁性半導体はこれ迄に新規デバイスの動作実証に用いられてきたが、その動作範囲は低温に限られてきた。強磁性半導体のキュリー温度は200 K以下と低いためである。研究代表者らは、2000年に理論計算により酸化物などの広禁制帯材料において、強磁性半導体と同じ機構で強磁性秩序を発生させることができたなら、室温を超えるキュリー温度が実現可能であることを予測した。以降、世界各国で数多くの実験がなされているが、未だ統一的な見解は得られていない。様々な材料において、磁化測定だけによらない、例えば磁気伝導特性の評価から強磁性

発現機構を理解することが重要である。

通研対応教員である大野は台湾学術会議のパートナーシップ・プログラム“DRAGON”に平成23年度から参画し、分担者である周教授の指導する博士後期課程学生・博士研究員を通研に受け入れてきた。本共同プロジェクト研究の成果の一部は同学生により得られたものであり、この成果をまとめた学位論文に対して平成27年1月に中山大学から博士の学位が授与された。本プログラムは本年度が最終年度となった。

[4] 成果資料

(1) S. Miyakozawa, L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, “Temperature dependence of in-plane magnetic anisotropy and anisotropic magnetoresistance in (Ga, Mn)As codoped with Li,” *Appl. Phys. Lett.* **108**, 112404 (2016).

(2) S. Miyakozawa, L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, “Effect of Li codoping on in-plane uniaxial magnetic anisotropy in (Ga, Mn)As,” 17th International Conference on Modulated Semiconductor Structures, Sendai, Japan, July 26–31, 2015.

(3) S. Miyakozawa, L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, “Temperature dependence of in-plane anisotropic magnetoresistance in (Ga, Mn)As:Li,” 第76回応用物理学会秋期学術講演会(名古屋国際会議場、2015年9月13–16日).

(4) 都澤章平, 陳林, 松倉文礼, 大野英男, “(Ga, Mn)As:Liの面内異方性磁気抵抗効果の温度依存性,” 第20回半導体におけるスピン工学の基礎と応用(東北大学、2015年12月3, 4日).

採択回数	1	2	3
(国際)			

採択番号 H26/A23

テラヘルツセンシングデバイスに関する日西国際共同研究

Japan-Spain International Research Collaboration on Terahertz Sensing Devices

[1] 組織

代表者：Prof. MEZIANI Yahya Moubarak

(サラマンカ大学応用物理学専攻)

対応者：Prof. OTSUJI Taiichi

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

Prof. VELAZQUEZ J.E. (サラマンカ大学)

Mr. DELGADO J.A. (サラマンカ大学)

Assoc. Prof. BOUBANGA TOMBET S. (東北大)

Dr. WATANABE T. (東北大)

延べ参加人数：6人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 22 万 9 千円

国際特別支援費 30 万円

[2] 研究経過 (Summary)

The aim of this project is to pursue the investigation of terahertz detection by using two different types of transistors: Asymmetric double grating gates (ADGG) HEMTs from the group of Prof. T. Otsuji and strained silicon MODFET from the group of Prof. Y.M. Meziani. New graphene based FET was fabricated in Salamanca and characterized in RIEC toward new generation of terahertz detectors. Y. M. Meziani spent ten days (19/02 to 01/03, 2016) to conduct experiments in RIEC and presented their results in RIEC Nation-Wide Collaborative Research Project Workshop; February 25th in Sendai entitled “Recent advances in research on terahertz detectors in the frame work of the Japan-Spain collaboration”. J.A Delgado, a Ph.D student from Salamanca’s group performed different experiments in his two weeks stay (06-18 of December 2015).”

[3] 成果 (Results)

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

① InP-based ADGG HEMT

ADGG HEMTs were designed and fabricated using InAlAs/InGaAs/InP material systems (Fig. 1). The electron density in the channel is $2.5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ with the electron effective mass $m = 0.043m_0$ (m_0 is the free-electron mass) and the electron mobility $\mu = 11,000 \text{ cm}^2/\text{V.s}$ at 300K.

② Strained-Si MODFET and Graphene FET

The strained-Si MODFETs had a 9 or 12 nm tensile strained Si channel, sandwiched between two heavily doped SiGe electron supply layers to generate a high carrier density in the strained-Si quantum well. Different transistors with different gate lengths (50 nm and 250 nm) and different width (30 to 80 μm) were used in measurements. The gate width and the source-to-drain length were 30 μm and 1 μm , respectively (Fig. 2). Exfoliated monolayer graphene was deposited on top of Si/SiO₂ wafer. An integrated antenna was implemented on the source and drain contacts (Figs. 3, 4). The fabricated device was first characterized in RIEC for detection and emission of terahertz radiation (Fig. 5).

③ Room-temp. THz Detection

Detection of terahertz radiation has been performed for the ADGG HEMTs and the Si-strained MODFETs at room temperature using a UTC-PD source. The ADGG HEMT presented a good level of responsivity in

non-resonant detection even for high frequency up to 1 THz ($\sim 12\text{kV/W}$), whereas the Si MODFET demonstrate a peculiar high responsivity with enhancement by applying drain-to-source current increase below a specific threshold gate bias at 200~350 GHz (Fig. 6). The device was used as a sensor and terahertz imaging at 300 GHz was obtained (Fig. 7) demonstrating their use for terahertz technology.

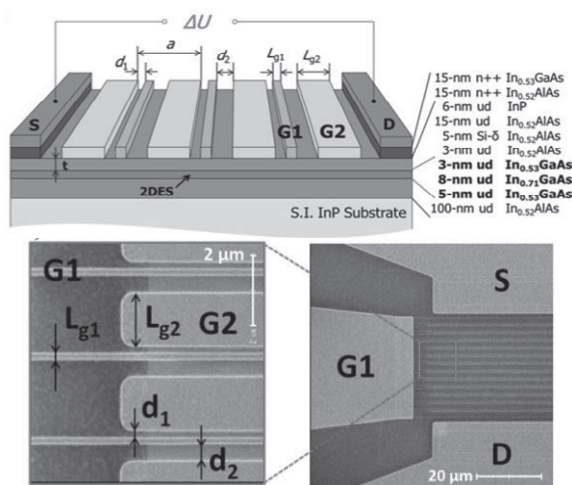


Fig. 1. ADGG HEMT structure.

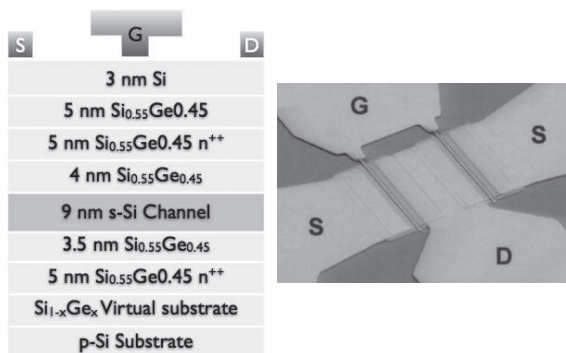


Fig. 2. Si-strained MODFET structure.

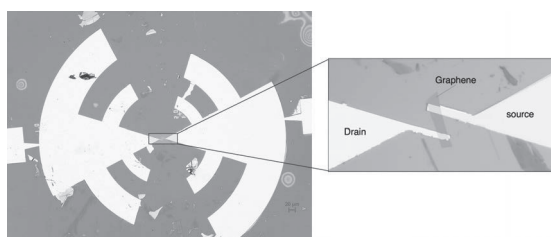


Fig. 3. Photo images for the Graphene FET with an integrated antenna.

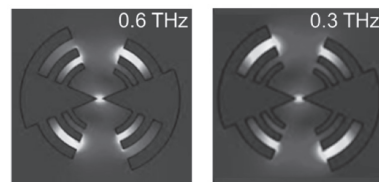


Fig. 4. Simulated radiation field patterns at 0.3 and 0.6 THz for the graphene FET with an integrated antenna.

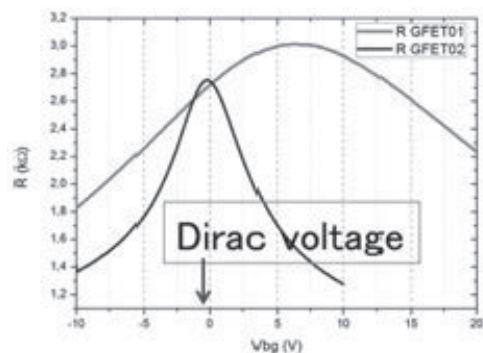


Fig. 5. Measured dc characteristics of a fabricated graphene FET.

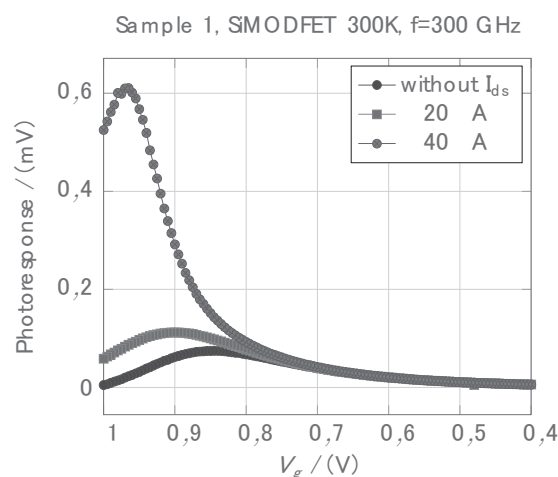


Fig. 6. Measured responsivity for a Si MODFET.

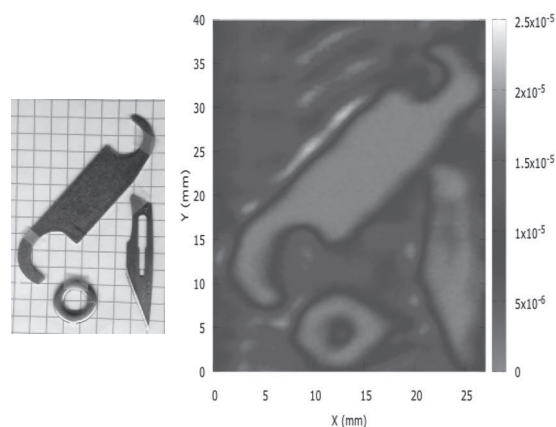


Fig. 7. Terahertz imaging using the strained Si MODFET as a sensor.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など (Impact of the results and future prospects)

The observed results are very encouraging and they showed good responsivities and NEPs. However, further investigations are needed on other devices first to confirm our present results and second to study the effect of the asymmetry of the ADGG on the photoresponse signal quantitatively. Experiments on graphene-based devices are still to be done and more structures like multilayer graphene FET are under fabrication.

(特別支援 (国際) にかかる研究成果)
(Achievements made by the special fund for the category of "international collaborative projects.")

J.A Delgado, a Ph.D student from Salamanca's group stayed two weeks (06-18 of December 2015) at RIEC and performed experiments for graphene FET detectors (Figs. 3-5). This financial support greatly helped accelerate a new field of the research study using a new material of graphene.

[4] 成果資料 (Publications)

- [1] Y.M. Meziani, S. Morozov, K. Maremyanin, J.E. Velázquez, K. Fobelets, "Enhancement of sub-terahertz detection by drain-to-source biasing on strained silicon MODFET devices", Oral at 19th Int. Conf. on Electron Dynamics in Semicond., Opto- electron. and Nanostructures EDISON 19, 29 June – 2 July 2015, Salamanca, Spain.
Journal of Physics: Conference series. 647, pp. 12007. 2015. ISSN 17426588
- [2] J.A. Delgado Notario, Y.M. Meziani, J.E. Velázquez "TCAD study of sub - THz photovoltaic response of strained - Si MODFET", Oral at 19th Int. Conf. on Electron Dynamics in Semicond., Opto- electron. and Nanostructures EDISON 19, 29 June – 2 July 2015, Salamanca, Spain.

Journal of Physics: Conference series. 647, pp. 12041. 2015. ISSN 17426588

- [3] J.A. Delgado-Notario, Y.M. Meziani, J.E. Velazquez-Perez, K. Fobelets, "Optimization of THz response of strained-Si MODFETs" accepted for Oral at the 2015 E-MRS Spring Meeting and Exhibit, May 11 to 15, 2015, Lille, France.
- [4] J.A. Delgado Notario, Y. M. Meziani, E. Javadi, K. Fobelets, Taiichi Otsuji, J.E. Velázquez "Experimental and TCAD studies of the Terahertz photoresponse enhancement in strained-Si MODFETs" 4th Annual Conference of COST Action MP1204 & SMMO2016 Conference, March 21-24, 2016, Lisboa, Portugal (<http://www.smmo.org/2016/index.php>)
- [5] E. Javadi, Y.M. Meziani, N. Masoumi, M. Shahabadi, J.A. Delgado Notario, J.E. Velázquez "Nonlinear Transmission-Line Model for Heterodyne Terahertz response of a FET at Arbitrary Gate Voltage" 4th Annual Conference of COST Action MP1204 & SMMO2016 Conference, March 21-24, 2016, Lisboa, Portugal (<http://www.smmo.org/2016/index.php>)
- [6] Y.M. Meziani, S. Morozov, J.A. Delgado Notario, K.Maremyanin, J.E. Velázquez, K. Fobelets "Plasma Waves Based Transistors for Room Temperature Detection of Explosives and CBRN" Turquia 2015 "NATO ARW on THz Diagnostics of CBRN effects and Detection of Explosives & CBRN" (<http://www.tera-mir.org/main/node/80>)
- [7] Y.M. Meziani, J.A. Delgado, E. Javadi, E. Diez, T. Otsuji, K. Fobelets, T. Otsuji " Strained Silicon FET sensor for terahertz imaging" Spain-Japan Bilateral Workshop on Terahertz technology, March 17-18, 2016, Madrid, Spain (Invited).
- [8] J.A. Delgado Notario, Y. M. Meziani, E. Javadi, K. Fobelets, Taiichi Otsuji, J.E. Velázquez "TCAD study of the Terahertz photoresponse enhancement in strained-SiMODFETs" accepted for presentation at the 14th IUVSTA School on Nano-Optics from Principles to Basic Research and Applications" Braga, Portugal, April 11-15, 2016 (<http://nanoopticsschool.org/>)

採択回数	1	2	3
(国際)			

採択番号 H26/A24

ダイレクトディジタル RF 変復調技術の研究

[1] 組織

代表者：末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

対応者：末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

Banda Daliso (ザンビア大学)

亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)

本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)

太郎丸 眞 (福岡大学)

谷藤 正一 (沖縄工業高等専門学校)

延べ参加人数：50 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 20 万 1 千円
国際、特別支援費 30 万円

[2] 研究経過

無線通信用マイクロ波・ミリ波帯送受信機の小型、低消費電力化を目指して、RF 信号を直接ベースバンドあるいは中間周波数(IF)のディジタル信号に変換するダイレクトディジタル RF 技術が注目されている。近年 1.5GHz 帯の GPS 受信機など限られた用途で実用化されるようになってきたが、より高い周波数帯、あるいはマルチチャネルシステムなどへの適用には、ブレークスルーが必要である。本研究では、ミリ波帯を含む、より高い周波数帯への適用、マルチチャネルシステムへの適用を可能とする次世代のダイレクトディジタル RF 技術を実現することを目指し、国内外の研究者を交えて、ダイレクトディジタル RF 方式の送受信サブシステム、送受信機構成、RFIC 技術の基礎的な研究を行った。

ダイレクトディジタル RF 受信機に関しては、H25 年度で終了した総務省の研究開発「災害時に有効な衛星通信ネットワークの研究開発」の中で、衛星通信小型地球局用に検討し、RFIC の要素回路試作を行った。地上系の無線通信システムでは、衛星通信と異なり、自システム以外の無線システムか

らの干渉波が存在する。また自システム内の帯域においても、基地局一端間距離の違いから、電力強度のことなる受信波が発生する。このため、衛星通信に比べて、極めて広いダイナミックレンジが必要とされ、ダイレクトディジタル RF 受信機の実現が困難となっている。また、ミリ波を中心に開拓されつつある次世代ブロードバンド通信においては、サンプリングクロックの高周波数化および低位相雑音化や、サンプル・ホールド (S/H) 回路の高速化、高ダイナミックレンジ化が必要となる。

これらを克服するための技術について、本プロジェクトの第 1 年度である 2014 年度は、S/H 回路の Ku 帯 (12GHz 帯) での動作について、その高周波時の問題点の抽出と対策の検討を行い、高ダイナミックレンジ化を実現する回路方式を提案した。その結果、QPSK 変調信号の復調が可能な SNR が得られることを確認した。第 2 年度である今年度は、前年度の検討結果を反映した Ku 帯 S/H IC の特性評価を実施し、その実現性上の課題について検討した。特に通信品質の指標となる EVM の評価を行うと共に、より高い周波数である Ka 帯 (20GHz 帯) での回路についても検討し目標であるミリ波帯 S/H 回路の実現可能性を示した。

今年度は複数回の研究打合せを実施した。以下、研究活動状況の概要を記す。

H27 年 4 月～7 月、H27 年 10 月～H28 年 2 月に毎月 1 回の打合せを行い、年間 9 回実施した。学外分担者については太郎丸(福岡大学) が 1 回、谷藤(沖縄工業高等専門学校) が 5 回、それぞれ打合せに直接参加し、それ以外については電話会議にて参加した。研究進捗についての報告およびディスカッションを行った。

[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。
まず第 1 に、Ku 帯でのダイレクトアンダーサンプリング受信機について、第 1 年度試作の Ku 帯 CMOS S/H IC の評価を行い、QPSK 変調信号を用

い復調実験を行った。第1年度においては回路の提案および試作を行い、QPSK 変調信号の復調が可能な SNR が得られることを確認したが、実際の変調信号を用いての評価は行っていなかった。そこで、Ku 帯 VSAT を想定し 4Mbps QPSK 信号により実際に受信動作が行えるかを確認した。ダイレクトアンダーサンプリング受信機の構成を図1に、Ku 帯 S/H IC の復調実験の結果を示す。VSAT 受信システム帯域内で EVM は 7.2%以下であった。

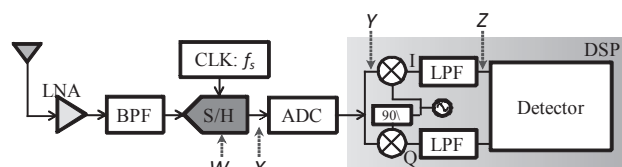


図1 提案する受信機構成

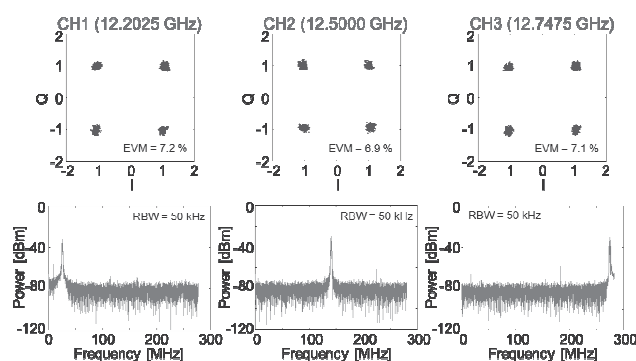


図2 Ku 帯 S/H IC の評価結果 (EVM, 受信スペクトル)

第2に、次世代 VSAT への提案システム適用を考え、Ka 帯 (20GHz 帯) においてもダイレクトアンダーサンプリングを実現する S/H IC について検討した。試作したサンプル・ホールド IC を図3に、評価結果を図4～図6にそれぞれ示す。19.4～20.2GHz の帯域にわたり、得られた SNR の実測値は、27.3dB 以上を達成し EVM は 7.5%以下であった。VSAT を想定した QPSK 信号で復調が行えることを確認した。EVM 劣化の原因として位相雑音に起因すると考えられる位相変動が主要因と考えられ、クロックジッターによる特性劣化などの知見を得た。

今回試作した Ka 帯 RF アンダーサンプリング受信機の動作周波数は、これまでの学会発表の中では、最も高い値であると考えられる。回路設計・評価に関わった当研究室の学生を中心に、この成果を世界3大マイクロ波会議の1つであるアジアパシフィックマイクロ波会議 (Asia Pacific Microwave Conference) に投稿し、Student Award を受賞した。

また、第1年度に投稿していた電子情報通信学会

誌の学術論文は、採録された。

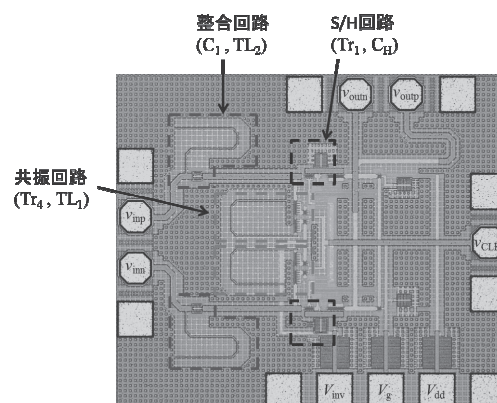


図3 試作した Ka 帯 S/H IC チップ写真

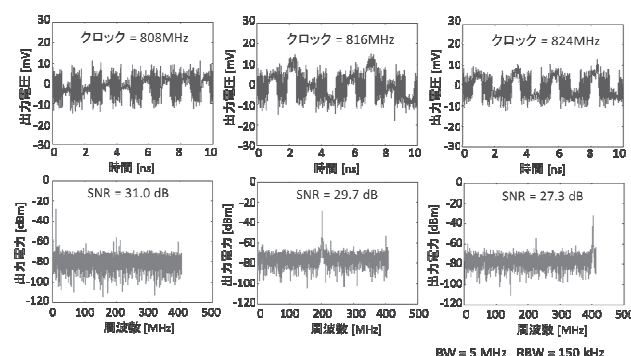


図4 Ka 帯 S/H IC 評価結果 (時間波形, 受信スペクトル)

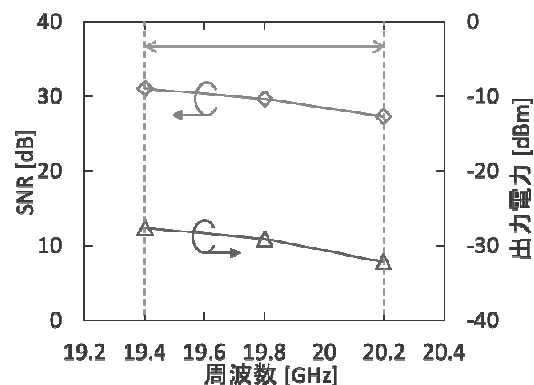


図5 Ka 帯 S/H IC 評価結果 (周波数特性)

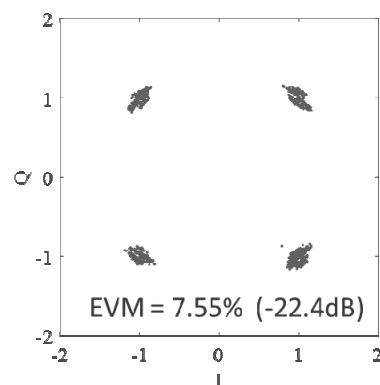


図6 Ka 帯 S/H IC 評価結果 (EVM)

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの研究により、Ku 帯および Ka 帯での VSAT への適用の可能性が見えてきた。次世代 VSAT では、ALL-IP 化モデムの採用とともに、低価格化、小形化が課題となっており、研究事例の一つとして、本研究成果が適用できると考えられる。近々の VSAT 製品への適用は、信頼性などを含めて課題が残っているものの、将来の方向性を示す上で、重要な知見が得られたものと考えられる。

さらに、高い周波数帯への適用、また、複数の受信系を連動させて運用するフェーズドアレーアンテナへの適用についても検討を行おうと考え、H27 年度の総務省 SCOPE に提案し、フェーズ II として採択されると共に、H28 年度の継続も提案中である。

(特別支援(国際)にかかると研究成果)

- ・タイプ：国際共同研究推進型
 - ・特別支援分の研究費により、ザンビア大学の Banda Daliso 氏を招聘する予定であったがスケジュールの都合により今年度は実現できなかった。そのため、今年度はメールおよび Skype により打合せを行った。本プロジェクトは次年度も継続を提案しており、同氏を招聘しより研究を進展させる予定である。
- 打合せにより得られた成果をもとに、当研究室の学生を中心に、Ku 帯 IC および受信機の評価および Ka 帯 IC および受信機的设计、試作を行い、実用的なレベルでの動作を確認した。

[4] 成果資料

学術誌論文(査読あり)

- [1] D. Banda, M. Motoyoshi, T. Koizumi, O. Wada, T. T. Ta, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, K. Tsubouchi, "1/2 fs Direct RF

Under Sampling Receiver for Multi Channel Satellite Systems," IEICE Transactions on Electronics, Vol. E98-C, No. 7, pp. 669-676, Jul., 2015.

国際学会(査読あり)

- [2] T. Koizumi, K. Norishima, M. Motoyoshi, D. Banda, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, K. Tsubouchi, "A CMOS Series/Shunt Switching Type S/H IC for Ka-Band Direct RF Under Sampling Receiver," in Proc. APMC2015, MO1H-p19, Dec., 2015.

大会・研究会

- [3] 小泉 友和, 本良 瑞樹, バンダ ダリソー, 和田 平, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, "Ku 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信信用サンプル・ホールド CMOS IC," 信学総大, C-2-6, Mar. 2015.
- [4] 小泉 友和, 本良 瑞樹, バンダ ダリソー, 和田 平, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, "ダイレクト RF アンダーサンプリング受信信用 Ku 帯直並列スイッチ形 S/H IC," 信学技報, Vol. 115, No. 142, MW2015-51, pp. 29-34, July 2015.
- [5] 則島 景太, 小泉 友和, 本良 瑞樹, バンダ ダリソー, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, "Ka 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信信用サンプル・ホールド CMOS IC," 信学ソ大, C-2-8, Sept. 2015.
- [6] 則島 景太, 小泉 友和, 本良 瑞樹, バンダ ダリソー, 亀田 卓, 末松 憲治, 高木 直, 坪内 和夫, "Ka 帯ダイレクト RF アンダーサンプリング受信信用サンプル・ホールド CMOS IC," 信学技報, Vol. 115, No. 314, MW2015-123, pp. 17-21, Nov. 2015.

採択回数	1	2	3
(国際)			

採択番号 H26A25

色名に関する文化差および個人差の研究

[1] 組織

代表者：内川恵二

(東京工業大学)

対応者：塩入 諭

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

福田一帆 (工学院大学)

徳永留美 (立命館大学)

栗木一郎 (東北大学)

松宮一道 (東北大学)

I-Ping Chen (国立交通大学)

Su-Ling Yeh (国立台湾大学)

Lindsey Delwin (オハイオ州立大学)

Angela Brown (オハイオ州立大学)

他 国立交通大学学生1名

延べ参加人数：11人

研究費：物件費 13万7千円，旅費 18万9千円
国際特別支援費 30万円

[2] 研究経過

色は言語の壁を越え、人類共通のコミュニケーション手段として利用可能な概念である。特に色名と対応した色の知覚、カテゴリ色は、Berlin & Kay 1969の研究によって示されたように、使用する言語によらずに共通のグループ化がなされる。そのグループは、白、黒、灰、赤、緑、青、黄、紫、オレンジ、茶、桃であり、基本色と呼ばれる。利用する色名の数は言語によって異なっても基本カテゴリの分類からはずれないため、文化や言語に依存しない色の概念分類として理解されている。

一方、近年の検討によると、日本語の水色のように基本カテゴリに近い特性を持つ色名の存在も指摘されている。また、同じ色に被験者全員が同一の色名を使うという一致は完全でないなど、単純な基本色の概念では説明しにくい知見も蓄積されている。特に興味深いことに、同一言語を利用する被験者における色カテゴリの個人差である。Lindsey & Brown

によると、その個人差は、言語間に共通ないくつかの様式（モチーフ）によって表現される可能性が指摘されている。言語差（文化差）と個人差を共通のモデルで説明することができれば、情報通信におけるカテゴリ色の利用の最適化などへの応用も期待できる。

本研究では、個人差に関する言語間の共通性を検討することを目的とする。そのために様々な色票を用いて、その色の名前を答えることから、色名と色の領域の関係を調べた Lindsey & Brown の実験手法を用いる。彼らが、英語を母国語とする被験者を用いて行った実験を、日本語と中国語に適用し、個人差と言語差の影響を統一的に理解するためのモデル構築を目指すものである。

本プロジェクトは本年度が2年目であり、英語、日本語、中国語に関する同一環境での実験データの収集、解析、比較に関して、以下のように議論を進めた。

平成27年5月15日-20日 開催の Vision Sciences Society 年次大会において、研究代表者内川、Lindsey、Brown、塩入が日本語データ解析に関する検討を行った。

平成27年7月3日-7日 開催の International Colour Vision Society シンポジウムにおいて、日本語データに関する栗木の発表に基づき、研究代表者内川、塩入、栗木が議論した。

平成27年7月10日-12日 開催の Asia Pacific Conference on Vision において、中国語データ収集に関して Yeh と塩入が情報交換した。平成27年8月に Chen のグループが、日本から貸与した色票セットを用い、色名呼称のデータ収集を行った。

平成28年2月25日 開催の電気通信研究所共同プロジェクト研究会における Lindsey のソマリア語に関する講演、および栗木の日本語に関する発表に関して、Lindsey、Brown、内川、塩入、栗木と徳永が議論した。Lindsey & Brown の k 平均法によるクラスタ分析を用いた解析手法の再現に関する技術的問題や、解析後に得られたクラスタ数およびクラスタの分布が持つ意味、クラスタ間の境界の安定性について主に意見交換をおこなった。

[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。

まず、東京工業大学と東北大学両研究室で実施した日本語の色カテゴリ評価実験の結果に関して解析を進めた。実験では、オハイオ州立大学の環境と合わせた色評価用実験ブース内(図1)で、57名(東北大学32名、東京工業大学25名)の被験者を対象として、330色のマンセル色票に対する単一語の色名を求めた。被験者の用いた色名は11色から50色の間に分布し、最頻値は16色、全被験者の用いた色名の、のべ合計数は833色名であった。



図1 実験環境

これらのデータに関して、利用された各色名が何人の被験者に利用されたかについて分析した結果を図2に示す。

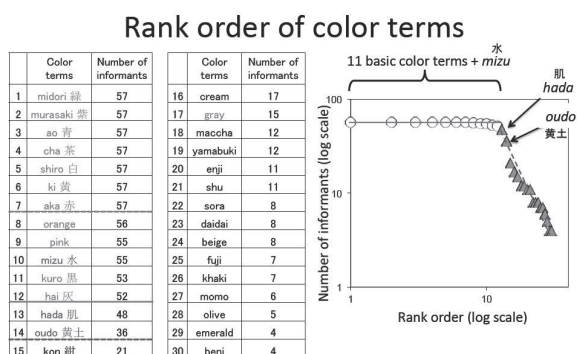


図2 利用された各日本語色名に対する利用者数

赤、緑、黄、青、紫、ピンク、オレンジ、茶色、白、黒、灰色の基本11色に水色を加えた12色は、ほとんどの被験者に利用され、肌色以降は、急激に利用者が減少することがわかる。また、全57被験者が利用した色は、基本11色の内、オレンジ、ピンク、黒、灰色を除いた7色であった。

このデータに対してクラスタリング分析を行った。クラスタ数をk=2からk=24の間で変化させ、各ク

ラスタの重心と要素の間の残渣距離を元にしたGap統計量による評価を行い、最適クラスタ数の推定を行った(図3)。

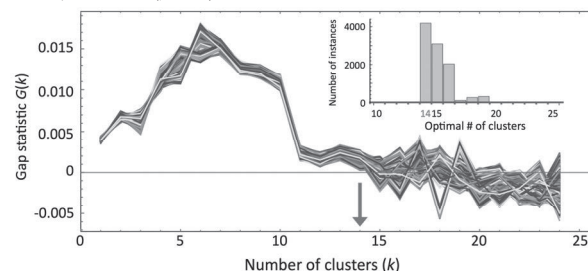


図3 Gap統計量による解析。

その結果、妥当なクラスタ数としてk=14を推定した。それらは基本色の赤、緑、黄、青、紫、ピンク、オレンジ、茶色に、水色、肌色、黄土色、紺色、抹茶色、臘脂色の6色を加えたものである(クラスタ解析の都合上、白、黒、灰色は含まない)。水色、肌色、黄土色は、被験者によらず安定した反応が得られる色名であり、それ以外の3色は被験者間の一致が低いものの高い頻度で利用される。

また、中国語に関しては、台湾交通大学に、英語、日本語の実験と共通のシステムを構築し、同様の手続きで41名の被験者のデータを収集した。今後、解析を進め、英語、日本語と比較する予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等

本プロジェクトは、色名に関する文化的相違に着目したもので、米国英語における結果と直接比較できる日本語の実験結果を取得した。さらに、中国語での実験を進めることができ、今後色名に関する詳細な国際比較が可能となる。信号の例を挙げるまでもなく、色は情報伝達に有効に利用できることから、その利用方法の国際化は重要な意義がある。そのような応用的視点も含めて今後の発展が期待される。

(特別支援(国際)にかかると研究成果)

平成28年2月25日開催の電気通信研究所共同プロジェクト研究会におけるLindseyの講演に合わせて、同氏を招へいし、打合せを行った。その際、共同研究者であるBrownも同行し議論に参画した。また、本プロジェクトを契機に、台湾国立大学の学生のインターシップの受入を行った。Yehの紹介により、平成27年8月1日-31日の1月間、台湾国立大学の学部学生が1名が塩入の研究室に滞在し、視覚実験を行った。その他、タイの研究者の訪問時には、本プロジェクトのタイ語・カンボジア語への展開の可能性についても議論した。

[4] 成果資料

- 1) Ichiro Kuriki, Yumiko Muto, Kazuho Fukuda, Rumi Tokunaga, Delwin T Lindsey, Angela M Brown, Keiji Uchikawa, Satoshi Shioiri, "Categorical color clusters of Japanese color lexicon", ICVS2015 (2015)
- 2) 栗木一郎, 武藤ゆみ子, 徳永留美, 福田一帆, Delwin T. Lindsey, Angela M Brown, 内川恵二, 塩入諭, "クラスタ分析による日本語自由色名の最適カテゴリ数の検討", 日本視覚学会 2015 年冬季大会 (2015)
- 3) 武藤ゆみ子, 福田一帆, 内川恵二, "カテゴリカルカラーネーミングにおける黄緑・薄紫・深緑の役割", 日本視覚学会 2015 年夏季大会 (2015)
- 4) Kazuho Fukuda, Yumiko Muto, Keiji Uchikawa, "Categorical color naming in Japanese without the constraint of monolexemic color terms", ICVS2015 (2015)

採択回数	1	②	3
(萌芽・先端・国際)			

採択番号 H26/A26

細かい手の操作の機械学習と HCI への応用

[1] 組織

代表者： 幸村 琢（英国・エジンバラ大学）
 対応者： 北村喜文（東北大学電気通信研究所）
 分担者：
 白鳥貴亮（Microsoft Research）
 高嶋和毅（東北大学電気通信研究所）
 延べ参加人数： 20 人
 研究費： 物件費 50,000 円，旅費 199,000 円
 国際特別支援費 300,000 円

[2] 研究経過

本研究では、東北大学電気通信研究所の北村研究室で開発中の磁気式モーションキャプチャーシステム IM3D の精度を、英国・エジンバラ大学との国際共同研究で、機械学習の手法を用いることにより高めることを目的として研究を行った。また機械学習の手法をさらに別のデバイス等から得られるデータにも応用し、モーションキャプチャーの精度を一般的に高めるのが本研究の目標である。本研究は二年目であり、一年目の実験により、選択された手法を用いて様々な実験を行った。以下、研究活動状況の概要を記す。

エジンバラ大学より幸村琢准教授が 11 月中旬に来日し、電気通信研究所に約一週間滞在し、東北大学の北村教授のグループと研究の経過について議論した。

[3] 成果

（3-1）研究成果

本年度は、以下に示すような萌芽的かつ先端的な研究成果を得た。

IM3D では小型のコイルを指に付着させ、それにより生成される磁界をセンサーにより感知し、非線形方程式を逐次法により解くことによってコイルの位置、方向を算出する。コイルがセンサーのある面と平行になっている場合には方程式の解が得られないため、そのようなコイルの姿勢に対応することが課題であった。この問題を解決するため、理論値で得られるセンサーの値と対応するコイルの三次元座標、回転の間の回帰を行う研究を行った。一年目で



図 1: 深層学習により学習した動作を用いて地面に描いた線と動作の回帰を行った結果

は Radial Basis Function (RBF) を用いたが、回帰関数から得られる値のエラーが大きく、実用的な結果を得ることができなかったため、回帰関数から得られる値のエラーが大きく、実用的な結果を得ることができなかった。これらの問題を解決するために三つのコイルを組み合わせ、信頼度の高いセンサーの値の平均値を用いて手の指先の位置、回転を計算する手法を開発した[1]。

また Random Forest というより大規模なデータに適用できる回帰手法を用いた結果、より正確に個別のコイルの姿勢を推定することができるようになったため、今後、この手法を手全体の姿勢推定に用いる予定である。

また、体の動作を学習するために深層学習（ディープラーニング）による手法を用いる実験を行った。本実験では Autoencoder により、大規模な動作データベースを学習し、マイクロソフト KINECT でキャプチャーした動作からノイズを除去したり、類似動作を大規模データベースから抽出したりすることに成功した[2]。また更に、Autoencoder で学習した動作多様体を用いて動作を生成する手法を確立した。本手法では高レベルで直感的なパラメータと Autoencoder で表現された動作の間の回帰を深層学習を用いて学習することを行った。本手法により、入力インターフェース等で地面に描いた曲線に沿ってキャラクターを動かしたり（上図参照）、手や足の座標の軌跡を入力としてキャラクターにパンチやキック動作を行わせることができるようになった[3]。

現在、深層学習のためにエジンバラ大学で開発し

たコードを北村研究室と共有し、新たな方向性を模索中である。一つ目として北村研究室の上出助教と協力して、ロボットの動作生成への応用を試みている。二つ目には深層学習の概念は体全体だけではなく、手などの動きにおいても同様に適用することができるため、来年度においてはIM3Dで獲得したデータに対して実験する予定である。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの深層学習を用いた動作の学習手法はロボット工学、キャラクターアニメーション、ヒューマンコンピュータインターフェースにおける重要な研究分野であり、この研究協力のもと行っている研究は将来飛躍的に発展すると思われるので、それに貢献できるように様々な手法の開発を行っている段階である。

〔4〕 成果資料

- [1] Jiawei Huang, Tsuyoshi Mori, Kazuki Takashima, Shuichiro Hashi, and Yoshifumi Kitamura: IM6D: magnetic tracking system with 6-DOF passive markers for dexterous 3D interaction and motion, ACM Transactions on Graphics (TOG), Volume 34, Issue 6, Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia, pp. 217:1-217:10, 2015.
- [2] Daniel Holden, Jun Saito, Taku Komura, Thomas Joyce: Learning motion manifolds with convolutional autoencoders, SIGGRAPH Asia 2015, Technical Briefs.
- [3] Daniel Holden, Jun Saito, Taku Komura: A deep learning framework for character motion synthesis and editing, ACM Transactions on Graphics (TOG), Proceedings of ACM SIGGRAPH 2016. (conditional acceptance)



図 2: 幸村准教授の東北大学電気通信研究所での講演の様子（2015 年 11 月 12 日）

採択回数	1	2	3
(萌芽・先端)			

採択番号 H27/A01

ナノ薄膜電解質を用いた固体酸化物形燃料電池の 発電特性検証

〔1〕組織

代表者：内山 潔
(鶴岡工業高等専門学校(鶴岡高専)
創造工学科電気・電子コース)

対応者：長 康雄
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
佐藤 智也 (鶴岡高専専攻科2年)
井上 貴明 (鶴岡高専専攻科1年)
熊谷 佳郎 (同上)
山口 雅人 (鶴岡高専
電気・電子工学科5年)
高橋 崇典 (同上)

延べ参加人数：7人

研究費：物件費13万7千円、旅費6万4千円

〔2〕研究経過

固体酸化物形燃料電池(Solid Oxide Fuel Cell, SOFC)はその高い発電効率(>60%)から次世代の新しい発電方式として注目されているが、従来のSOFCは動作温度が約1000℃と高く構成部材に高価な耐熱材料を多用しなければならないことから、デバイスコストの低減が難しく普及が遅れていた。申請者はこの問題を解決策として、電解質をナノ薄膜化することでSOFCの内部抵抗を低減し、低い動作温度(～400℃)でも発電可能な新しい構造のSOFCを提案している。

このSOFCの作動温度の低温化において鍵となるのが、高品位に成膜され、低温でも高い伝導度を有する電解質膜(酸化物薄膜)である。そこで本研究では、強誘電体ナノ薄膜(酸化物薄膜)の研究で実績のある長教授と共同で固体電解質ナノ膜の高品位化を図り、より高い伝導性の実現とその結果としてのSOFCの動作温度の低減を目指した。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。

今年度は研究の初年度ということで、成膜条件の最適化について検討を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本研究ではRFマグネトロンスパッタ法を用い、プロトン伝導性酸化物であるYドーピングしたSrZrO₃(SZYO)やYドーピングしたBaCeO₃(BCYO)の成膜条件の最適化を長教授のアドバイスをいただきながら行った。

その結果、Pt/SiO₂/Si基板(以下、Pt/Si基板)上に高度に(110)方位に配向した薄膜を得ることに成功した。またその伝導性を評価し、SOFCの電解質に使用可能であることを見出した。

さらに、高度に(110)配向した膜が得られたことから、ペロブスカイト薄膜の高品位成膜用のシード層としての応用についても提案した。次年度についてはこのシード層をデバイス作製に応用し、ナノ酸化物デバイスの高性能化実現のための指針を得ることを目指す。

〔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。

まず第1に、RFマグネトロンスパッタ法の成膜条件の最適化を行い、良好なSZYOやBCYO薄膜を500℃という低い成膜温度で実現することに成功した。

第2に、得られた薄膜の伝導度を湿潤と乾燥雰囲気中で測定した結果、SZYOはどちらの雰囲気中でも安定であったが、BCYOは湿潤雰囲気での測定後再度X線回折(XRD)を行った結果、化学的に分解していることが明らかとなった。一般にBCYOはSZYOに比べ伝導度は高いが科学的安定性に劣るとされており、本結果はそれを裏付けることとなった。

(図1)

したがってBCYOだけではSOFC用の電解質としては採用が困難であると考えられるが、BCYO表面をSZYOでコーティングすることにより、化学的安定性が確保されることを見出した。その結果、SZYO/BCYOハイブリット膜が本目的の電解質材料として適すると結論した。

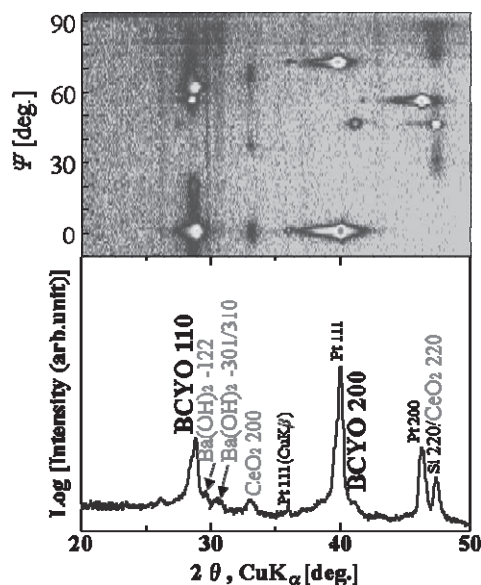


図1 湿潤 Ar 中で 12 時間アニールした BCYO 薄膜の SRD (アニール温度: 600°C)

第3に、得られた薄膜は Pt/Si 基板上に高度に(110)配向していることが X 線回折 (XRD) 結果から明らかになった。ペロブスカイトの(110)面が Pt/Si 基板上 (Pt は(111)配向している) に高度に配向するというこれはこれまで報告事例がなく、また結晶学的にもどのように格子整合しているのか興味深い結果となった。(図2)

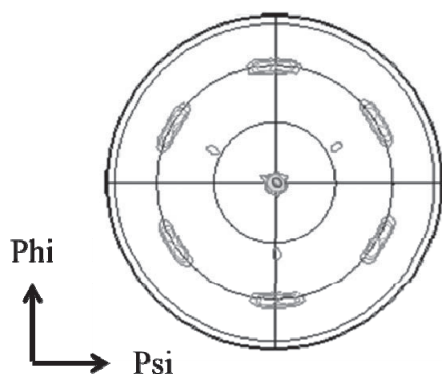


図2 (111)Pt/STO 基板上にエピ成膜した BCYO の極点図

そのため、(111)SrTiO₃ (STO) 基板上に(111)Pt をエピタキシャル成膜した基板を作製し、その上に BCYO を成膜したところ、(110)BCYO 薄膜がエピタキシャル成膜すること、および(110)面が互いに約 10° 傾いたツイン構造を形成すること等がわかった。本試料については、さらなる結晶学的知見を得るべく透過型電子顕微鏡 (TEM) 観察等を実施しているところである。

第4に、BCYO が(110)方位に高度に配向していることを利用して、これをペロブスカイト形成用のシード層として使用できる可能性が示唆された。実際、(110)配向した BCYO (格子定数 4.40 Å) 上に導電性ペロブスカイトである SrRuO₃ (SRO) (格子定数 3.93 Å) を成膜すると、良好な(110)配向 SRO が得られた。(図3)

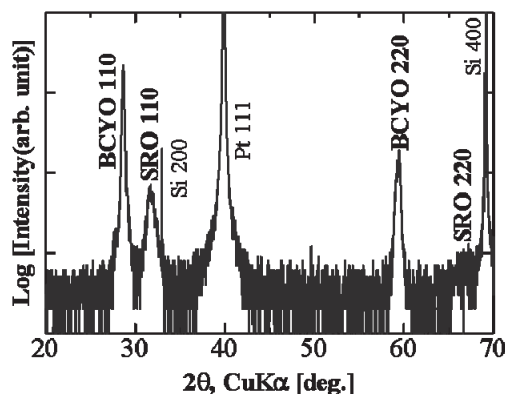


図3 (111)Pt/Si 基板上に成膜した SZYO/BCYO 薄膜の XRD 図形

本成果を用いれば今後大きな発展が期待されるナノ酸化物デバイス用のシード層として応用が可能であると考えられることから、来年度以降は本 BCYO をシード層とした酸化物薄膜形成とそのデバイス応用について、研究を進める予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトによりペロブスカイト薄膜の高品位成膜に大きな進展がみられたため、その成果を国内外の学会等で積極的に発表を行った。

本成果は国内外で高く評価され、ベストポスター賞や優秀発表賞を受賞した。また、本研究を主導した本校専攻科の佐藤智也は、日本高専学会の研究奨励賞や本校専攻科の優秀賞や電子情報通信学会賞を受賞し、学生の育成という面においても高い評価を得た。

また、本成果より、BCYO が高度に配向したペロブスカイト作製のためのシード層として有効であることが明らかになった。次年度は本成果をもとにナノ酸化物デバイス作製のためのエピ成膜応用に関する研究を行う予定である。

(国際会議発表)

1. 佐藤 智也, 井上 貴明, 舟窪 浩, 内山 潔,
Electric Measurement of Proton Conductive

- Perovskite Thin Films, EM-NANO2015, H27.6.17, 朱鷺メッセ (新潟)
2. 佐藤 智也, 一ノ瀬 大地, 舟窪 浩, 内山 潔, Fabrication of Highly Oriented Proton Conductive Oxide Thin Films, IUMRS-ICAM2015, H27.10.29, 済州国際コンベンションセンター (韓国済州島) (ベストポスター賞受賞)

(国内学会発表)

1. 佐藤 智也, 一ノ瀬 大地, 舟窪 浩, 内山 潔, RF マグネトロンスパッタリング法による {110} 高配向 Ba(Ce,Y)O₃ ペロブスカイト薄膜の作製, 第 76 回 応用物理学会秋季学術講演会, H27.9.15, 名古屋国際会議場 (名古屋)
2. 佐藤 智也, 一ノ瀬 大地, 舟窪 浩, 内山 潔, 高配向性プロトン伝導性酸化物薄膜の作製と化学的安定性評価, 日本セラミックス協会 東北北海道支部, H27.10.16, 山形県米沢市 (優秀学生発表賞受賞)
3. 佐藤 智也, 一ノ瀬 大地, 舟窪 浩, 内山 潔, スパッタ成膜したプロトン伝導性酸化物薄膜の化学的安定性評価, 第 25 回日本 MRS 年次大会, H27.12.9, 横浜情報文化センター/ホール (横浜)
4. 佐藤 智也, 木村 純一, 一ノ瀬 大地, 三村 和仙, 舟窪 浩, 内山 潔, {110} 一軸配向ペロブスカイト型酸化物薄膜の作製と結晶構造解析, 第 63 回 応用物理学会春季学術講演会, H28.3.21, 東京工業大学 大岡山キャンパス (目黒)

[4] 成果資料

(論文発表)

1. Tomoya Sato, Takaaki Inoue, Daichi Ichinose, Hiroshi Funakubo, and Kiyoshi Uchiyama, Fabrication of highly (110)-oriented barium cerate (BaCeO₃)-based proton conductive oxide thin films by RF magnetron sputtering method, Jpn. J. Appl. Phys., **55**, 02BC19_1-4 (2016).

他, 1 報を投稿中。

採択番号 H27/A02

プラズマナノバイオ・医療の基盤確立

〔1〕組織

代表者：金子 俊郎

(東北大学大学院工学研究科)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

Cheng-Che Hsu (National Taiwan University, Taiwan)

Meng-Jiy Wang (National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan)

Jong-Shinn Wu (National Chiao Tung University, Taiwan)

Ming Chang Wu (College of Agriculture, National Pingtung University of Science and Technology (NPUST), Taiwan)

Hakseong Kim and Sang Wook Lee (School of Physics, Konkuk University, 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)

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)

伊藤 公孝 (核融合科学研究所)

伊藤 篤史 (核融合科学研究所)

松本 和彦 (大阪大学産業科学研究所)

浜口 智志 (大阪大学工学研究科)

伊藤 早苗 (九州大学応用力学研究所)

白谷 正治 (九州大学大システム情報科学研究所)

佐藤 岳彦 (東北大学流体科学研究所)

野崎 智洋 (東京工業大学大学院理工学研究科)

市来 龍大 (大分大学大学院工学研究科)

若林 克法 (関西学院大学理工学部)

足立 哲夫 (岐阜薬科大学医療薬剤学大講座)

長谷川 達生 (東京大学大学院工学系研究科)

延べ参加人数：76人

研究費：物件費13万7千円，旅費22万2千円

国際特別支援費30万円

〔2〕研究経過

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台湾および韓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：平成28年1月22-23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 南講義棟 103 会議室

1. 「プラズマ／触媒複合反応による低温メタン活性化」野崎 智洋，亀島 晟吾，田村 奎志朗（東京工業大学大学院理工学研究科）
2. 「機械・医療分野に貢献する大気圧プラズマ金属窒化法の開発」市来 龍大（大分大学大学院工学研究科）
3. 「グラフェンの電子物性におけるナノスケールエッジ効果の理論」若林 克法（関西学院大学理工学部）
4. 「プラズマ照射培地負荷に対する細胞応答の分子機構」足立 哲夫（岐阜薬科大学医療薬剤学大講座）
5. 「大気圧プラズマ誘導Ca²⁺チャネルの活性機構と遺伝子・薬剤導入への応用」佐々木 渉太¹，保莉 雄太郎¹，神崎 展²，金子 俊郎¹（¹東北大学大学院工学研究科，²東北大学大学院医工学研究科）
6. 「Effects of electrical stimulation on the growth and

- development of radish sprouts」Ming Chang Wu (College of Agriculture, National Pingtung University of Science and Technology (NPUST), Taiwan)
7. 「Reduction of harvest period and increase in harvest yield of seed plants using plasmas」Masaharu Shiratani (Graduate School of Information Science and Electrical Engineering, Kyushu University)
 8. 「Effects of reactive species in atmospheric pressure air plasma on plant defensive gene expression」Hideaki Konishi¹, Keisuke Shimada¹, Keisuke Takashima¹, Sugihiro Ando², Hideki Takahashi², and Toshiro Kaneko¹ (¹Dept. of Electronic Eng., Tohoku Univ., ²Dept. of Life Sci., Tohoku Univ.)
 9. 「Electromechanical and optical properties of graphene xylophone」Hakseong Kim and Sang Wook Lee (School of Physics, Konkuk University, Korea)
 10. 「Two-dimensional, layered-crystalline organic semiconductors for printed electronics」Tatsuo Hasegawa (Department of Applied Physics, The University of Tokyo)
 11. 「Fabrication of Schottky-type solar cell with atomically thin layered material」Toshiki Akama, Toshiaki Kato, and Toshiro Kaneko (Department of Electronic 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「プラズマナノバイオ・医療の基盤確立」を主テーマに、プラズマとその応用、ナノカーボンの理論、及び合成・制御と応用、バイオ応用プラズマプロセス、医療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

(3-1) 研究成果

I. プラズマ照射による低侵襲遺伝子導入

遺伝子導入は先天性の遺伝子疾患のみならず、がん、エイズ、C型肝炎等の治療法として期待されており、さらには人工多能性幹細胞(iPS細胞)を作成する技術としても、盛んに研究が行われている。近年、細胞内へ遺伝子を導入する方法としてプラズマ照射の利用が報告されているが、導入効率が低く、導入機構も解明されていないため、実用化に至っていない。

これまで、プラズマを直接細胞へ照射し、電氣的刺激と化学的刺激を与えることで蛍光物質・遺伝子を細胞膜を通して細胞内に導入可能であることを示してきたが、その導入因子を同定できていない。そこで本研究では、遺伝子の導入すなわち細胞膜輸送

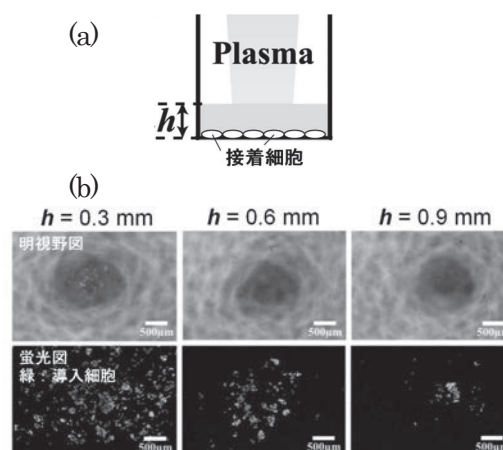


図1: (a) 実験系の概略図と (b) 各液厚みにおける、プラズマ照射後の遺伝子模擬分子導入細胞の空間分布図。

を促進する大気圧プラズマの主要因子を明らかにする実験を行った。

実験は、ヘリウムを原料ガスとしたプラズマジェット(周波数 $f = 8 \sim 10$ kHz, 電圧 $V_{pp} = 5 \sim 20$ kV, 照射時間 $t_i = 1$ s)を用いて行った。ディッシュ底面に接着している生細胞に対して、遺伝子を模擬した非膜透過性蛍光物質YOYO-1を混合した生理食塩水で満たし、プラズマを直接照射した。その際、生理食塩水の厚み(h)を制御しながら照射した。

図1に示すように、数100 μm 程度の液厚みの増加に伴って、YOYO-1が導入される細胞の範囲が縮小していることが分かる。したがって、細胞膜透過性を促進する大気圧プラズマの主要因子は液中で急激に失活する物質であることが示唆される。今後は、液中にて数100 μm 程度の拡散距離を持つ物質を特定する実験を行っていく予定である。

II. プラズマ殺菌による病害防除技術の開発

病原菌や害虫の侵入がない植物工場は、それらを防除・駆除するための農薬が不要であるといわれてきた。しかしながら実際には、僅かな菌の混入で爆発的に病害が拡大してしまうため、病原菌を防除する農薬を使用しているのが現状である。現在使用されている化学農薬は、残留性や薬剤耐性菌の出現などが問題となっている。農薬に代わる新しい病害防除法として、空気と水を原料とした大気圧非平衡プラズマにより生成される活性種を用いる手法が注目されており、プラズマ生成活性種による殺菌および植物体の病害抵抗性の誘導が期待されている。しかしながら、殺菌効果や病害抵抗性誘導をもたらす活性種およびメカニズムの全容が解明されておらず実用化には至っていない。そこで、本研究では実用的に活性種を生成できる空気と水を原料とする大気圧空気プラズマ装置を作製し、プラズマ中で生成された活性種を含む反応性ガス(プラズマ活性ガス)をイチゴ炭疽病菌分生

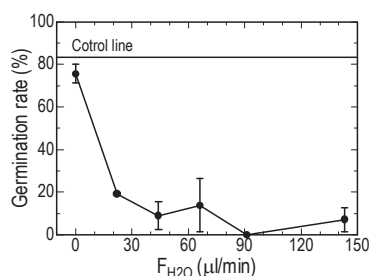


図2 分生子発芽率の水導入量依存性.

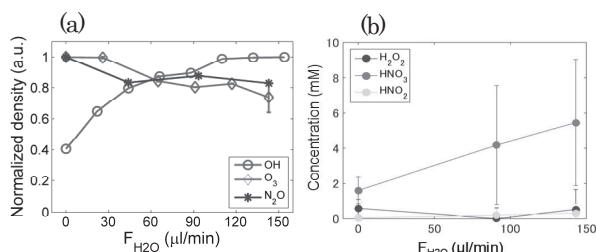


図3 (a) 気相中および(b) 液相中の活性種濃度の水導入量依存性.

子に噴霧し分生子発芽抑制効果を、イネ種子に噴霧しイネ防御関連遺伝子の誘導効果を調べた。

イチゴ炭疽病菌(*C.glo*)は世界 10 大植物病害菌の一つであり²⁾、植物体に付着した水滴中の分生子が発芽し、植物細胞に侵入することで感染が起こることが知られている。本研究では分生子懸濁液に対してプラズマ活性ガスの噴霧を行い、分生子発芽抑制効果を観測した。窒素プラズマに比べて空気プラズマの場合に顕著な発芽抑制効果が観測され、酸素由来の活性種が寄与していることが示唆された。さらにプラズマ中に導入する水流量を変化させたところ、図2に示すようにプラズマ中に導入する水流量が多いほど発芽抑制効果が高まることがわかった。

分生子発芽抑制の水導入量依存性について議論するために、活性種測定を行った(図3)。気相中の N_2O 密度は水導入量にほとんど依存せず、放電電力も一定であったことから、本研究の水導入量では放電への影響が少ないことを示している。計測されたオゾンの密度は水導入に対し若干減少し、水導入量に対して強まった発芽抑制効果(図2)と逆相関であった。一方で、気相中 OH 密度は発芽抑制効果と正の相関があり、さらに液相中 NO_3^- 濃度も正相関した。しかしながら、プラズマ活性ガス噴霧と同濃度の液相中 NO_3^- は発芽抑制効果がなく、液相中 NO_3^- と同様に気相中 OH の増加に伴い増加していると推測される HO_2 , $ONOO^-$ などの活性種が発芽抑制に寄与していると考えている。

イネ種子にプラズマ照射を行い、プラズマによる病害抵抗性誘導効果を実験的に調べた。芽出しして湿った状態のイネ種籾にプラズマ活性ガスを噴霧し、2日間育苗してサンプリングを行い、防御関連遺伝子(*OsPBZ1*, *OsPOX*)の発現変動(ユビキチン(UBQ)規格化発現度)を調べた。一定の生成条件(水導入量、空気流量など)で異なる活性種を生成する2種類の電極(Plasma A, Plasma B)を作製し、活性種組成と遺伝子発現の関係について

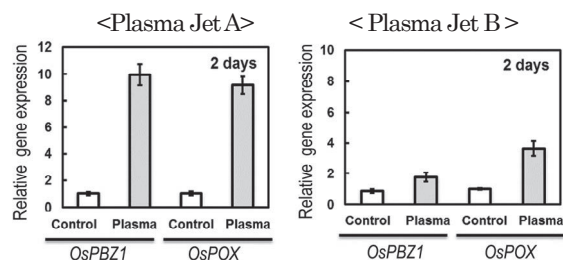
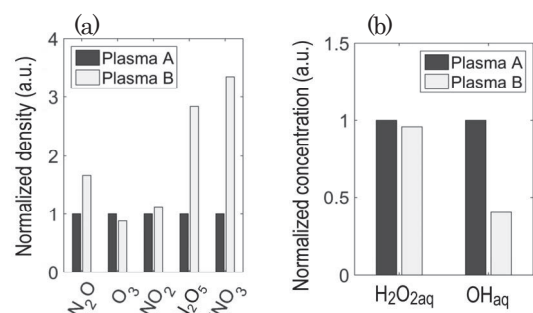
図4 イネ防御関連マーカー遺伝子(*OsPBZ1*, *OsPOX*)のUBQ規格化発現度.

図5 電極の違いによる(a) 気相中および(b)液相中の活性種組成変化.

調べた。図4より、プラズマにより防御関連遺伝子が誘導されている可能性が示唆された。特に、Plasma A の場合においてのみ、*OsPBZ1*, *OsPOX* ともに発現が顕著に増加した(図4)。赤外吸収分光法や紫外・可視吸収分光法より、電極の違いにより発生した活性種の組成が異なることが明らかとなり(図5)、この活性種組成の変化が遺伝子発現に影響を及ぼすことが示唆された。

今後活性種の計測を高度化することにより、殺菌および病害抵抗性誘導に有効な活性種を特定し、より高い発芽率抑制効果と病害抵抗性誘導を実現する空気と水を原料とするプラズマ装置の研究を展開する予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトを基盤に、東北大学を拠点として、東北地方の大学の研究者と台湾および韓国の大学の研究者間での研究交流を継続して進める。また、本プロジェクトで明らかになった生体に対するプラズマ中の活性種および荷電粒子の効果解明に関する成果は、プラズマのライフサイエンス(医療、農業)応用という新しい研究領域の開拓に結びつき、新しい医療機器や植物工場の開発等の今後の発展が期待されている。

今回の国際共同研究推進型の特別支援分の研究費により、台湾および韓国のプラズマライフ・ナノサイエンス研究者を招聘し、台湾とはプラズマ医療分野における国際交流拠点の形成、韓国とはプラズマ農業分野における今後の共同研究への発展を念頭に入れた継続的な交流を行う予定である。

[4] 成果資料

- (1) "Ion Scale Nonlinear Interaction Triggered by Disparate Scale Electron Temperature Gradient Mode", C. Moon, T. Kobayashi, K. Itoh, R. Hatakeyama, and T. Kaneko, Physics of Plasmas Vol. 22, No. 5, pp. 052301-1-6 (2015)
- (2) "Improvement of Cell Membrane Permeability Using a Cell-Solution Electrode for Generating Atmospheric-Pressure Plasma", T. Kaneko, S. Sasaki, Y. Hokari, S. Horiuchi, R. Honda, and M. Kanzaki, Biointerphases, Vol. 10, No.2, pp.029521-1-6 (2015)
- (3) "Kinetics of Energy Selective Cs Encapsulation in Single-walled Carbon Nanotubes for Damage-free and Position-selective Doping", T. Kato, E. Neyts, Y. Abiko, T. Akama, R. Hatakeyama, and T. Kaneko, The Journal of Physical Chemistry C, Vol. 119, No.21, pp.11903-11908 (2015)
- (4) "Apoptotic Effects on Cultured Cells of Atmospheric-Pressure Plasma Produced Using Various Gases", K. Tominami, H. Kanetaka, T. Kudo, S. Sasaki, and T. Kaneko, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 55, No.1S, pp.01AF03-1-6 (2015)

H27/A03

原子層制御プラズマ CVD を駆使した IV 族半導体量子ヘテロ構造形成と電子物性制御

[1] 組織

代表者：櫻庭 政夫

(東北大学電気通信研究所)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

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)

嶋脇 秀隆 (八戸工業大学工学部)

小林 信一 (東京工芸大学工学部電子機械学科)

中島 寛 (九州大学産学連携センター)

佐道 泰造 (九州大学大学院システム情報科学研究科)

近藤 博基 (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)

伊東 良太 (秋田県立大学システム科学技術学部)

延べ参加人数：10 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 19 万 6 千円

[2] 研究経過

〔目的〕量子効果デバイスやナノスケールトランジスタなどの次世代ナノデバイスの高集積化の実現において、ナノメートルオーダー厚さの歪 Si や歪 Ge などを含む量子ヘテロ構造形成やそこにおける高キャリア濃度化を可能にする IV 族半導体のエピタキシャル成長技術が極めて重要である。そこで本研究では、原子オーダーで平坦かつ急峻な表面・ヘテロ界面を有する Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造を高集積化するためのプラズマ化学気相成長(CVD)プロセスの開発を目標とする。特に、基板非加熱でのプラズマ CVD における量子ヘテロ構造へのイオン・ラジカル入射制御を駆使することにより、界面ミキシングや不純物（主に B や P

など）の偏析・クラスタリングを抑制し、組成や不純物濃度分布のサブナノオーダー制御や不純物の結合状態や電気的活性化の制御を可能とする Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ナノ構造の原子層制御プラズマ CVD プロセス基盤技術の構築を目指す。

〔概要〕基板非加熱プラズマ CVD におけるイオン・ラジカル入射制御を駆使し、Si 基板と格子整合した歪 Ge，歪 SiGe 混晶，歪 C ドープ Si などの Si-Ge-C 系エピタキシャル成長，並びに，それらへの高濃度 (10^{21} cm^{-3} 以上) での不純物 (B, C, N, P) ドーピング制御を，各種面方位の Si 基板やフォトリソグラフィと異方性エッチングにより微細加工した Si 基板上の立体構造側壁面でも可能とするための実験へと発展させ，Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造形成のための成膜・ドーピング条件を探索する。従来，申請者らが開発してきた高分解能 X 線光電子分光とウェットエッチングを組み合わせたサブナノメートル分解能での深さ方向組成分布評価も有効活用する。並行して，X 線回折やラマン散乱分光を駆使した格子歪量評価やフォトルミネッセンス測定等によるヘテロ界面バンド不連続量に関する評価分析も行い，その結果を速やかに成膜実験条件の検討にフィードバックさせることにより，実効的障壁高さの制御範囲を拡大するための高障壁用新材料導入の指針を着実かつ系統的に蓄積し，Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造の原子層制御プラズマ CVD プロセス基盤技術として確立していくことを目指す。さらに，Hall 効果素子などの試作により電気特性とそのウェハ面内均一性を評価し，高度歪やヘテロ界面での原子結合状態が Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造中の電子物性や量子力学的効果に与える影響を

明らかにしていく。特に、基板非加熱下での Si-Ge-C 系 IV 族半導体量子ヘテロ構造の原子層制御プラズマ CVD プロセスという未踏領域での成膜実験並びに評価分析が中心となることから、実験データ信頼性の確保のための再現実験と測定誤差の検証を繰り返していくことが必要となる。以上のような系統的な実験研究の知見をまとめて、高集積化対応ナノデバイスの新領域開拓を進めていく。

本研究は、主として東北大学電気通信研究所附属ナノ・スピン実験施設のクリーンルーム内で行った。ここでは、本研究に必須な原子層制御対応 ECR プラズマ CVD 装置複数台での並列実験と各種の薄膜の表面・界面の評価分析が専用で行える。そこにおいて、基板非加熱プラズマ CVD プロセスによる Si-Ge-C 系 IV 族半導体ナノ立体構造形成と不純物の高濃度ドーピング、並びに、その評価分析を同時進行させる実験研究に注力することが可能となっている。

本年度は、国際共同研究への発展の可能性を模索するため、本研究所で開催した国際ワークショップに海外関連研究者を招聘した。

[3] 成果

本年度は初年度であり、基板非加熱 ECR プラズマ CVD により Si(100)上に形成した Si/Si_{0.40}Ge_{0.60} 混晶/Si(100)ヘテロ構造の電子物性評価について実験研究を進めた結果、以下の研

究成果を得た。

まず第 1 に、X 線回折の結果から Si(100)上の Si_{0.40}Ge_{0.60} 混晶膜厚を厚くしていくとともに歪緩和が生じることを確認しているが、それとともに Si_{0.40}Ge_{0.60} 混晶と Si キャップ層の価電子帯構造が変化していく様子が X 線光電子分光により確認することができた。このことは、半導体中の自由電子やホールに対して量子束縛効果を与えるための量子ヘテロ構造の実現に有用な知見である。

第 2 に、Si/Si_{0.40}Ge_{0.60} 混晶/Si(100)ヘテロ構造からのフォトルミネセンススペクトルにおいて、Si_{0.40}Ge_{0.60} 混晶薄膜の歪緩和とともに、明瞭な赤外発光が生じることがわかった。この発光エネルギーは、Si 結晶からの発光エネルギーより小さいことから、Si 結晶よりもバンドギャップが狭いと予想される Si_{0.40}Ge_{0.60} 混晶からの発光であると考えられる。さらに、含有水素が 400°C 熱処理によって減少することによって上記の赤外発光が観測されなくなることから、歪緩和により生じた非発光性再結合中心となる結晶欠陥が水素終端されて不活性化されたことによって、上記の赤外発光が生じたことが考えられる。

以上の結果は、基板非加熱堆積法の最大の特徴である熱的非平衡性が顕在化した結果の一例であり、従来の熱 CVD 法では実現できないような新物性の発現や原子層オーダーで界面急

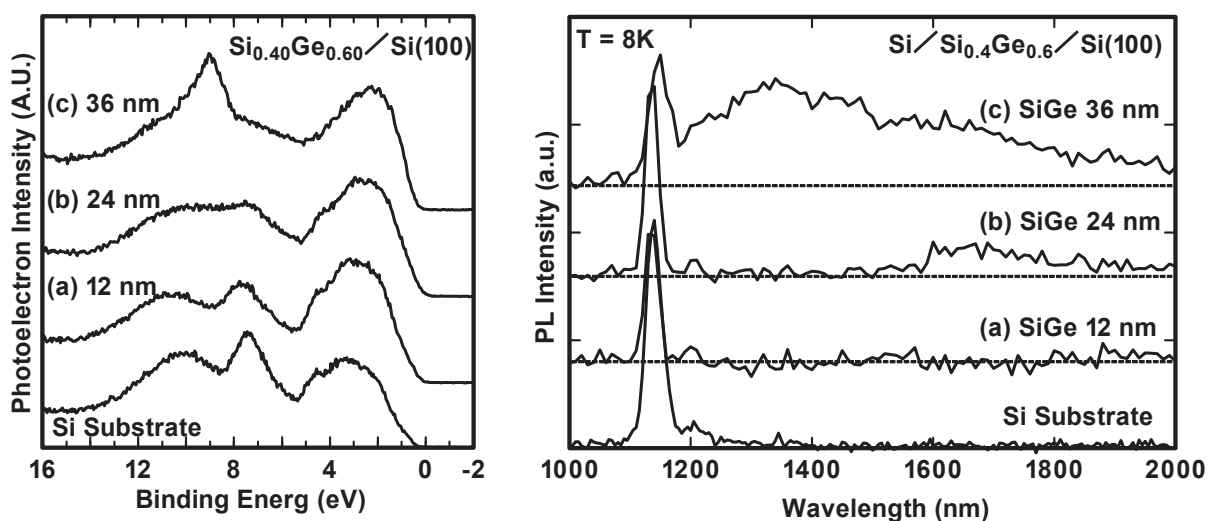


図 1 基板非加熱 ECR プラズマ CVD により形成した Si/Si_{0.40}Ge_{0.60} 混晶/Si(100)ヘテロ構造の (左) Si_{1-x}Ge_x 混晶の価電子帯に対応する光電子スペクトル (Si キャップ層除去後に測定したもの)、(右) フォトルミネセンススペクトル。Si_{0.40}Ge_{0.60} 混晶の厚さは (a) 12 nm, (b) 24 nm, (c) 36 nm。

峻性が高度に制御された IV 族半導体ヘテロ構造形成と量子効果デバイスの実現のために重要な成果である。これらの研究成果の一部はすでに、国際会議において発表済みである。その他、基板非加熱 ECR プラズマ CVD を用いた Si エピタキシャル成長における高濃度 B 及び C ドーピングの実験研究にも着手した。今後もさらに、これらの実験環境・成果の活用を念頭に置いて、各所でそれぞれ特徴ある実験研究を進めている関連分野研究者との間での相互研究連携の可能性を積極的に探索していくことにより、新規研究分野開拓を加速するための共同研究拠点としての役割も果たせるものと期待できる。

[4] 成果資料

1. M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Group-IV Quantum-Heterostructure Formation Based on Low-Energy Plasma CVD towards Electronic Device Application” **(Invited Paper)**, Abs. Energy Materials Nanotechnology (EMN) Hong Kong Meeting, Hong Kong, China, Dec. 9-12, 2015, Abs.No.D10.
2. N. Ueno, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Evaluation of Electronic Properties of Si/SiGe/Si(100) Heterostructures Formed by ECR Ar Plasma CVD”, Abs. 9th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar “Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration”, Jan. 11-12, 2016, Sendai, Japan, Abs.No.O-06, pp.27-28.
3. K. Motegi, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Characteristics of B Doping in Si Epitaxial Growth on Si(100) Using ECR Ar Plasma CVD”, Abs. 9th Int. WorkShop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar “Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration”, Jan. 11-12, 2016, Sendai, Japan, Abs.No.P-04, pp.43-44.
4. K. Motegi, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Depth Profile of B Concentration in Heavily B-Doped Si Epitaxial Film Grown on Si(100) Using ECR Ar Plasma CVD without

Substrate Heating”, Abs. Joint Symp. of 10th Int. Symp. on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 7th Int Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, March 1-3, 2016, Sendai, Japan, Abs.No.P-1, p.23.

5. N. Ueno, M. Sakuraba, H. Akima and S. Sato, “Characterization of Si and Si-Ge Alloy Heterostructures Formed on Si(100) by ECR Ar Plasma CVD without Substrate Heating”, Abs. Joint Symp. of 10th Int. Symp. on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 7th Int Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics, March 1-3, 2016, Sendai, Japan, Abs.No.P-2, pp.24.

採択番号 H27/A04

オペランド顕微分光を用いた次世代デバイス研究

〔1〕組織

代表者：吹留 博一

(東北大学電気通信研究所)

対応者：吹留 博一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

尾辻 泰一 (東北大学電気通信研究所)

遠田 義晴 (東北大学理工学研究科)

遠藤 哲郎 (東北大学電気通信研究所)

川合 真紀 (理化学研究所)

吉村 雅満 (豊田工業大学)

影島 博之 (NTT 物性科学基礎研究所)

白石 賢二 (筑波大学数理物質科学研究科)

斎藤 理一郎 (東北大学理学研究科)

北島 正弘 (防衛大学校)

末光 哲也 (東北大学電気通信研究所)

日比野 浩樹 (NTT 物性科学基礎研究所)

伊藤 隆 (東北大学学際センター)

安井 寛治 (長岡技科大工学研究科)

佐野 栄一 (北海道大学量子集積エレクトロニクス研究センター)

福山 敦彦 (宮崎大学工学部・材料物理工学科)

成田 克 (山形大学理工学研究科)

永瀬 雅夫 (NTT 物性科学基礎研究所)

松田 巖 (東京大学物性研究所)

田中 悟 (九州大学大学院工学府)

文 泌景 (東北大学大学院理学研究科)

小飼 真人 (高輝度光科学研究センター)

長汐 晃輔 (東京大学大学院工学研究科)

堀場 弘司 (東京大学大学院工学研究科)

中弘 周 (東芝/FIRST)

塚越 一仁 (物質・材料研究機構)

菅原 克明 (東北大学 WPI)

のべ参加人数：60 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 18 万円

〔2〕研究経過

【概要】高性能デバイス研究開発では、デバイス特性の実測値は物性値から予想されるデバイス特性の理論値を下回ること直面する。この物性値とデバイス特性のギャップを埋める為に、動作しているデバイスの電子状態をナノスケールで測定するという**オペランド顕微分光**を開拓し、以て、ナノスケールでの学理に基づいた次世代デバイス開発を狙う。

現状で、高性能化を企図したシリコン・デバイスの縮小化は 14 nm にまで達している。二世代先の 7nm 世代以降では、縮小化によるメリット (情報処理の高速化・記憶容量増大・低消費電力化) は、もはや享受出来なくなる。ゆえに、シリコンデバイスの機能を補完し得る次世代デバイス・材料の開発が急務となっている。このような次世代デバイス・材料として、例えば、グラフェン、スピントロニクス、及び、GaN の HEMT などが挙げられる。

これらの次世代デバイスの開発における壁として、デバイス作製技術の未成熟さに加えて、**ベタ膜の状態での材料物性と実際に構造を作り込んだデバイスの特性の間のギャップ**が挙げられる。このようなギャップが生まれる原因として、下記の二点が挙げられる；

- ・Si とは異なる物理が物性を支配している
- ・界面が電子物性を大きく変調する

例えば、グラフェンにおいては相対論的量子力学が電子物性を支配しており、キャリアの有効質量や後方散乱が、積層構造に依存して、0 になったり有限の値を持ったりするようになる。また、グラフェン・トランジスタのデバイス特性 (キャリア移動度や遮断周波数) が、コンタクト電極との界面やアクセス領域の存在により二桁程変化することが、代表者らのグループにより明らかにされている (Jung et al., Proc. IEEE (2013))。しかも、これらの界面による電子物性の変調の程度は、外場 (例：ゲート電圧) に依存することが、代表者らの研究により最近明らかにされた (Fukidome et al., Sci. Rep. (2014))。

この材料物性とデバイス特性のギャップを埋める

為には、実際に動作しているデバイスの電子状態を調べることが要求される。ゆえに、この要求を満たす、デバイスの活性層（例：チャネル）を動作条件下で（オペランド）の電子状態を微視的に観察する手法、すなわち、「オペランド顕微分光」（Fukidome et al., Sci. Rep. (2014) & APEX (2014)）を開拓することが次世代デバイス開発において重要となると考えられる。

以上のような理由から、本共同プロジェクト研究では、オペランド顕微分光の開拓を図る為に、産・学の垣根を超えた材料・デバイス・先端顕微分光の研究交流の場を提供する。そこから得られた研究のネタを具現化する試料を通研の実験施設にて作製する。このような試料のオペランド顕微分光をプロジェクト参加者間の緊密な連携の下に実施することにより、学理に基づいた次世代デバイス開発を行う。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。本年度は、まず、本プロジェクトの基礎となる、産学連携体制を整え、実際に二次元電子系デバイス（GaN-HEMT）のオペランド顕微分光観察を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- ・東大・松田巖准教授とのレーザーにより光励起されたエピタキシャルグラフェン膜のフェムト秒超高速時間分解光電子分光に関する研究打ち合わせ
- ・東大・松田巖准教授とのレーザーにより光励起されたエピタキシャルグラフェン膜のフェムト秒超高速時間分解光電子分光に関する共同研究
- ・高輝度放射光 SPring-8 を利用し軟 X 線をプローブ光として用いた二次元電子系デバイスのオペランド顕微分光の実施
- ・研究会の開催（平成 28 年 2 月）
発表者：松田巖（東大物性研）
尾辻泰一（東北大通研）
佐藤 昭（東北大通研）

[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。

まず第1に、グラフェンや GaN/AlGaIn 界面の二次元電子系をチャネルとした二次元電子系デバイスのオペランド顕微X線分光研究を行った。GaN/AlGaIn のヘテロ界面の二次元電子系をチャネルとした GaN-HEMT は高出力のミリ波通信トランジスタとして有望である。しかし、表面準位の電子捕獲に起因するコラプス現象の為に、動作が不安定となる。このコラプス現象を、<100nm 以下の高空間分解能で動作しているデバイス機能部位の観察が可能なオ

ペランド顕微X線分光を用いて解明することに成功した。具体的には、オフ状態における高電圧印加によりゲート電極近傍に発生する局所電界集中領域においてのみ、大きく負に帯電した Ga 原子の検出に世界で初めて成功した。この負に帯電した Ga 原子の出現領域はコラプス現象が起きていると考えられている領域と一致する。すなわち、この負に帯電した Ga 原子こそがコラプス現象を引き起こしているものと結論される（図1）。

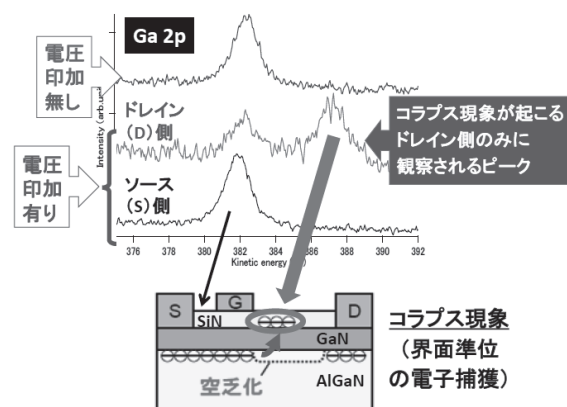


図1 GaN-HEMT の高電圧印加時の新たなピークの出現（コラプス現象の原因）

第2に、グラフェンのフェムト秒スケールの光励起緩和過程の解明を行った。グラフェンは、その優れた光学的特性から、THz 帯から可視光領域に亘る広帯域のレーザー発振用材料として期待されているが、未だに十分にレーザー発振に成功したとは言えない。そこで、東大物性研と協力してグラフェンのフェムト秒超高速光電子分光観察を行った。その結果、基板とグラフェンの界面構造によりレーザー発振の容易さが決まることを初めて明らかにした。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、学外研究者（東大物性研松田巖准教授グループ及び東大理物長谷川修司教授）との交流が飛躍的に活性化した。その結果、私のこれまでの研究においては、空間分解にのみ力点をおいていたが、時間分解（キャリアダイナミクス）の重要性にも目をつけるようになった。

このことを鑑み、空間分解だけでなく時間分解をも行う時空間オペランドX線分光の開拓へと研究が進展された。

このことに着眼して科研費・新学術領域研究（公募）として申請した研究が採択され、代表者が実際に研究を現在遂行中である。

(その他)

- ・常任幹事として参画している応用物理学会・薄膜表面分科会において、オペランド分光に関する基礎講座を提案し、下記のようなものを提案し、受理された。2016年11月に開催される予定である。

(企画案の概略)

第45回 薄膜・表面物理 基礎講座 (2016)

オペランド分光解析 ～動作環境下での解析技術の新展開～

既存のデバイスを大きく上回る特性を持つ次世代デバイスの実現には新たな材料・動作原理に基づいたデバイスの研究開発が急務となっています。これらの新しい電池や次世代電子デバイスなどの新規デバイスでは、従来の動作機構では説明出来ない現象を理解し、制御することが不可欠です。ゆえに、特性の鍵を握る活性層の状態を、実際のデバイス動作環境下のままで観

察する解析技術のニーズが高まっています。

本講座は、このようなニーズに応え得る動作環境下での（オペランド）分光や埋もれた界面の分光を用いた分析手法に関する研究開発を行っている第一線の講師を招き、これらの分光の基礎を多角的に学ぶと共に最新動向を知るためのものです。分光を専門とする研究者だけでなく、電子デバイス・電池関連の研究開発を行っている研究者や企業の方や、これらの分光を活用することを考えている初学者にも役立つ講座です。

[4] 成果資料

- (1) Gunazekaran Venugopal, Maki Suemitsu, and Hirokazu Fukidome, “OBSERVATION OF INSULATING AND METALLIC-TYPE BEHAVIOR IN Bi_2Se_3 TRANSISTOR AT ROOM TEMPERATURE”, *Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics* (2016), accepted for publication.

採択番号 H27/A05

量子情報通信のための革新的量子光源の開発

[1] 組織

代表者：枝松 圭一
 (東北大学電気通信研究所)
 対応者：枝松 圭一
 (東北大学電気通信研究所)
 分担者：
 福田 大治
 (産業技術総合研究所計測標準研究部門)
 沼田 孝之
 (産業技術総合研究所計測標準研究部門)
 渡部 謙一
 (産業技術総合研究所計測標準研究部門)
 延べ参加人数：7人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 10 万 9 千円

[2] 研究経過

光を用いた通信，計測等において，光の強度，周波数，位相などの安定度は，通信・計測の精度を決定する最も重要な性能である．近未来の光通信・光計測においては，光の量子性に伴う雑音（量子ゆらぎ）によってその通信容量あるいは計測精度が支配されることになる．古典的光源の限界を打破するためには，光の量子性を極限まで利用し尽くす全く新しい光源が必要となる．本研究計画では，量子統計性を極限まで制御した革新的光源の開発を目標とする．具体的には，光パルスの各々に対してその光子数などの量子情報を検出・付帯させ，その付帯情報を前方（受信者側）へ送信（フィードフォワード）して変調処理することで，新奇な量子状態を実現する光源，生成した量子もつれの種類と程度を制御した光源，等の全く新しい光源を実現する．

本プロジェクトは，本年度が初年度であり，大別して以下に示す2つの研究開発を行った．

- (1) TES を用いた光子統計計測に基づく自己強度相関関数の評価

- (2) 光ファイバ自己整合機能を有する高効率超伝導転移光子検出器の開発

ここでは，(1)についてその概要を記す．光子光源の量子的特性を評価する技術は，量子情報通信技術の実用化において必須の技術である．本研究では，超伝導転移端センサ光子数識別器（TES）を用いた光子統計の直接的観測により，群速度整合下のパラメトリック下方変換（SPDC）で生成された光子の光子数分布および自己強度相関関数 $g^{(2)}(\tau)$ を測定して，その時間-周波数モード特性の評価を行った．図 1 に実験系の概略を示す．PPKTP 結晶を用いた群速度整合下の SPDC を用いて周波数無相関な光子対（シグナルおよびアイドラ）を生成した．シグナル光子を偏光ビームスプリッタ(PBS)で分離し，TES を用いて検出した．TES の検出信号をデジタルオシロスコープで計測し，100 万パルス分の信号波形を取得後，波高値

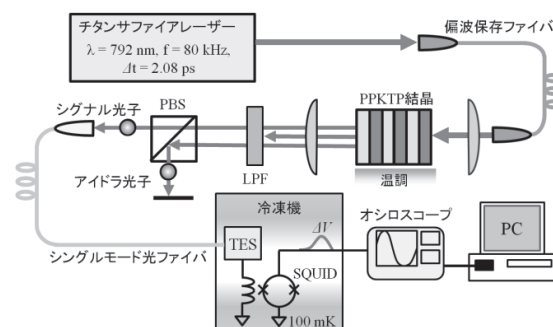


図 1. 実験系の概略.

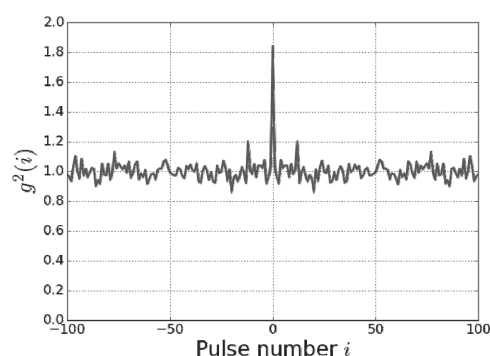


図 2. 自己強度相関関数の測定結果.

から各光パルス中の光子数を同定した。また、その結果から自己強度相関関数を導出した。図2はそうにして求めたシグナル光子の自己強度相関関数 $g^{(2)}(\tau)$ である。光子が単一の時間-周波数モードに放出される場合、理想的には $g^{(2)}(0)=2$ となることが知られているが、図2の実験結果からは $g^{(2)}(0)=1.84$ が得られる。この結果から、シグナル光子の有効モード数は $m=1.19$ と見積もられた。これらの結果は、同じ光源に対して行った2光子スペクトルの測定から導かれる結果（シュミットモード数 $m_K=1.06$ ）ともほぼ符合するものであり、用いた光源から放出される光子対がほぼ周波数相関をもたず、各々のシグナル光子がほぼ単一の周波数モードに放出されていることが確認された。

これらの結果は、TESによる光子統計性の直接観測が、量子光源の光子数分布と自己強度交換関数の評価に有効であることを示している。また、群速度整合 SPDC によって発生した光子が、高いスペクトル純度と量子干渉性を有する伝令付単一光子光源として機能することが改めて確認された。

[3] 成果

本研究の今年度の成果発表として、国内学会発表3件、国内学会誌報告1件を行った。また、査読付雑誌論文（英文）への投稿を準備中である。

本研究で開発する量子光源技術は、「量子情報通信技術」や「量子光標準」といった産業上重要な応用成果へと発展することが期待され、更なる大型の研

究プロジェクト申請による外部資金等の獲得を検討している。

[4] 成果資料

1. 藪野正裕, 布川裕真, 藤井剛, 田辺稔, 沼田孝之, 三森康義, 福田大治, 枝松圭一, 「TES を用いた光子統計計測に基づく自己強度相関関数の評価」, 第76回応用物理学会秋季学術講演会, 2015年9月15日, 名古屋国際会議場
2. 田辺稔, 藪野正裕, 沼田孝之, 中川久司, 吉澤明男, 枝松圭一, 福田大治, 「光ファイバ自己整合機能を有する高効率超伝導転移光子検出器の開発」, 電子情報通信学会超伝導エレクトロニクス研究会, 2015年10月9日, 東北大学
3. 田辺稔, 藪野正裕, 沼田孝之, 中川久司, 吉澤明男, 枝松圭一, 福田大治, 「光ファイバ自己整合機能を有する高効率超伝導転移光子検出器の開発」, 電子情報通信学会技術研究報告（信学技報）, 115巻, 242号, 81~84, 2015年
4. 藪野正裕, 布川裕真, 藤井剛, 田辺稔, 沼田孝之, 三森康義, 福田大治, 枝松圭一, 「TES を用いた光子統計計測に基づく自己強度相関関数の評価」, 日本物理学会第71回年次大会, 2016年3月21日, 東北学院大学

採択番号 H27/A06

単一金属ナノ構造体の微細形状制御と光物性

[1] 組織

代表者：片野 諭

(東北大学電気通信研究所)

対応者：片野 諭

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

Izabela Irena Rzeznicka (東北大学理学
研究科)

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：4人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 0 円

[2] 研究経過

(2-1) 研究目的

数～数十 nm 程度の径を有する金属ナノ構造は、バルクマテリアルにはみられない多様な物性を有し、特異な化学反応、光学応答を示す。とりわけ金・銀などの貴金属で構成される金属ナノ構造体は、可視光領域で光と直接相互作用することができ、局在表面プラズモン (LSP) が誘起される。ここで励起される LSP は、ナノ構造体から半径程度に広がった空間に非常に強い電場を形成し、個々の分子やナノ構造体を効率良く励起することができるため、高感度な計測が必要とされるバイオセンサーなどへの応用が期待されている。LSP の電場強度は、ナノ構造体の大きさや形状、近傍に位置する別のナノ構造体までの距離に強く依存し、それらを精密に制御することが金属ナノ構造体を電界増強の空間場として利用する上で必要不可欠である。しかしながら、個々のナノ構造体の形状を制御する手法の開発に関しては研究初期段階であり、従来のトップダウン手法にはない精密な空間制御が重要な課題となっている。

本研究プロジェクトでは、原子スケールで物質を可視化することができる走査トンネル顕微鏡 (STM) を用いて個々の金属ナノ構造体の構造を精密に制御する手法の開発と、ナノ構造体の形状に起因する特異な光物性の解明を目的とした研究を行った。このような、テラレーメイドによるナノ構造体の構造制御により、これまで報告にない高感度な単一分子センシングが可能になると期待される。

(2-2) 研究概要

本研究プロジェクトは、本年度が初年度であった。以下、研究活動状況の概要について記す。初年度においては、銀の STM 探針を用いて望みの位置に銀ナノ微粒子を再現性良く形成させる方法を開発した。銀ワイヤーを電解研磨することにより、原子スケールで鋭利な銀探針を作製した。また、作製した銀探針の先端形状、曲率半径、清浄度を走査電子顕微鏡 (SEM) を用いて確認した。作製した銀探針を超高真空装置内に導入して、Si(111)基板の STM 観察を行った。さらに、STM 探針を用いた電界蒸発により、シリコン基板上に銀ナノ微粒子を形成させ、その単一微粒子の光物性を STM 発光分光により検証した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、電界蒸発法を用いて Si(111)基板上に銀ナノ微粒子を再現性良く形成させることに注力し、以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、銀探針の作製と作製した探針の評価である。STM 探針は電解研磨法により作製した。直流電源を使用して電界研磨を行った。陽極として太さ 0.3 mm の銀線を、陰極として太さ 0.3 mm の金線をコイル状に束ねたリング電極 (リング径 2 cm) を用いた。電解液にはメタノールと過塩素酸を 4 対 1 の割合で混合したものを使用した。銀線一金リング間に直流電圧を印加すると銀線がエッチングされ、ワイヤー先端が先鋭化した。作製した Ag 探針の先端形状、曲率半径、および清浄度を SEM を用いて確認した。探針先端に不純物はほとんど確認されず、曲率半径百 nm 程度の鋭い銀探針が得られた。曲率半径の小さい探針を使用することで高い分解能で STM 測定が可能であることがわかった。また、先端が清浄な探針は STM 走査中や電圧印加時に探針から基板表面に不純物を落とす確率が極めて低いことが明らかとなった。

第2に、銀探針を用いた単一ナノ微粒子の作製である。図1に示すように、Si(111)表面に-6.0 V の電圧パルス印加すると探針直下に直径 5 nm 程度のナノ微粒子が再現性よく形成された。走査トンネル分光においてこれらのナノ微粒子は金属的な振る舞

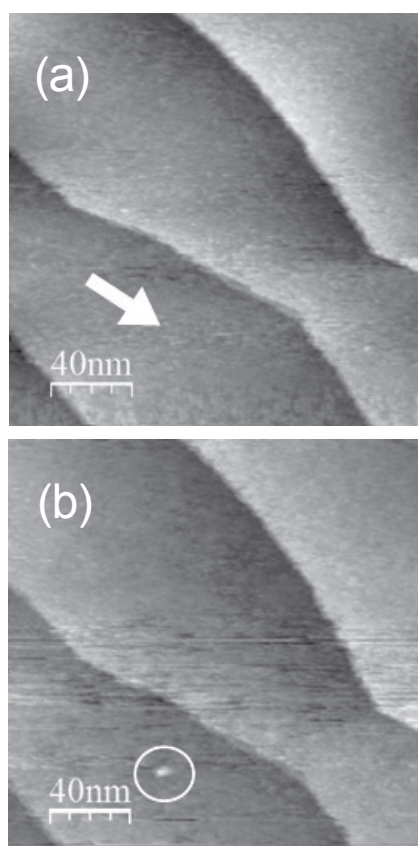


図1：Si(111)基板表面のSTM像。(a) 矢印の位置に-6 V の電圧パルスを印加 (b)電圧パルス印加後のSTM像。

いを示すことから、ここで観測されたナノ微粒子はAg 探針から形成されたと考えられる。銀ナノ粒子形成の電圧依存性を測定したところ、-6 V から-10 V の負電圧領域で銀ナノ微粒子が形成される確率が高いことがわかった。一方、-3 V から-5 V の負電圧領域および正電圧領域において、Si 原子の引き抜きによる穴形成が観測された。電流依存性の計測により、これらのナノ構造は電界蒸発により形成されることが明らかとなった。

第3に、単一の銀ナノ微粒子の光物性をSTM 発光分光により明らかにする研究を行った。電界蒸発により作製された銀ナノ微粒子のSTM 発光計測を行ったところ、可視光領域にブロードなピークを有する発光スペクトルが得られた。銀ナノ微粒子の発光スペクトルの強度は、Si 基板から得られた発光スペクトルと比較して1.5 倍程度であった。このような発光増強は銀微粒子の局在表面プラズモン励起に起因すると考えられる。ここで得られた強度比は、有限差分時間領域(FDTD)法による理論計算から見積もられる発光の強度比と良い一致を示した。

(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を通じ、学内外の研究者、特に若手研究者との研究交流ができた。また、本プロジェクトで明らかになった、電界蒸発による単一金属ナノ粒子の形成に関する成果は、ナノ光物性を単一金属微粒子で制御できるという新しい研究領域の開拓に結びつき、今後の発展が期待される。

[4] 成果資料

- (1) M. Hotsuki, S. Katano, and Y. Uehara, "STM Tip-induced Deformation of a Single Ag Nanoparticle Investigated by STM Light Emission Spectroscopy", *Joint Symposium of 10th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 7th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics*, RIEC, Tohoku University, Sendai, Japan, March 2-4 (2016).
- (2) S. Katano, M. Hotsuki, and Y. Uehara, "Size-controlled Deposition a Single Silver Nanoparticle on Semiconductor Surface Using Scanning Tunneling Microscope", *23rd International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM23)*, Hilton Niseko Village, Niseko, Japan, December 10-12 (2015).
- (3) S. Katano, M. Hotsuki, and Y. Uehara, "Fabrication and Shape Control of a Single Ag Nanoparticle Using Scanning Tunneling Microscopy", *31st European Conference on Surface Science (ECOSS31)*, International Convention Center of Barcelona, Barcelona, Spain, August 31-September 4 (2015).
- (4) M. Hotsuki, S. Katano, and Y. Uehara, "Nano-scale positioning of a Single Ag nanoparticle by Scanning Tunneling Microscope", *2nd 2015 Tohoku University – MIT Collaborative Research Symposium*, Tohoku University, Sendai, Japan, August 27-28 (2015).
- (5) 寶槻雅樹, 片野諭, and 上原洋一, "単一銀ナノ粒子の形状変化と走査トンネル顕微鏡発光分光", 第63回応用物理学会春季学術講演会, 東京工業大学大岡山キャンパス, 3月21日 (2016).

採択番号 H27/A07

THz デバイス応用に向けた半導体二次元電子系内 プラズモンのシミュレーションによる研究

〔1〕組織

代表者：檜原 浩一

(神奈川工科大学工学部電気電子情報工
学科)

対応者：佐藤 昭

(東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：2人

研究費：物件費13万7千円，旅費7万8千円

〔2〕研究経過

近年、半導体二次元電子系におけるテラヘルツ (THz) 帯周波数を持つプラズモンの流体非線形性 (非線形整流効果、ソリトン) や不安定性といった従来の電子デバイス・光デバイスとは異なる物理現象を動作原理とした THz デバイスが、室温動作・集積化可能な高出力光源・高感度検出器の候補として注目を集めている。

本研究では、化合物半導体ヘテロ構造二次元電子ガス中のプラズモン、および新規二次元材料であるグラフェン中のプラズモンを対象とし、これらをチャネル材料に用いたトランジスタ構造における非線形性・不安定性の解明、新規デバイス構造の提案、およびデバイス設計指針の構築を目的とし、シミュレーション基盤の構築を行なうことを目的とする。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。以下、研究活動状況の概要を記す。

当初計画は三項目からなっていた。第一は、化合物半導体ヘテロ構造二次元電子ガス中のプラズモンに関して、研究代表者が保有する流体力学方程式に基づくシミュレータを拡張し、周期格子ゲートを配するトランジスタ構造におけるプラズモン不安定性および非線形性の解析を行なうことである。第二

は、チャネルゲート間のリーク電流を考慮したモデルに基づくシミュレータを開発し、特に非線形整流電流がゲートにリークすることによる検出器性能

に及ぼす影響を解明することである。そして、第三は、グラフェン中プラズモンに関して、貴所対応教官と共同で流体力学方程式に基づくシミュレーションモデルの構築・シミュレータの開発を行ない、単ゲートトランジスタ構造、および周期格子ゲートを配するトランジスタ構造におけるプラズモン不安定性および非線形性の解析を行なうことである。初年度たる本年は第一項目について注力した。はじめに、貴所において対応教官との討議を行ない計画についてのコンセンサス形成を行い具体的な進め方を策定した。打ち合わせで確認した事項は次のようにまとめられる。研究代表者の開発ツールはショック捕獲法のひとつである Essentially Non-oscillatory (以下、ENO) スキームを用いた時間領域解析を行うものである。本プロジェクトの開始に先立って二次元電子系の大振幅プラズマ波に現れる非線形性の影響をこの開発ツールを用いて評価してきた。ツールの実践性をみるためには、解析的な特性把握のなされている現象を適正に表現することができるかが鍵となる。この現象を、ゲート金属を直近に備えた二次元電子系において期待される Dyakonov-Shur 不安定性とすることを確認した。そして、非線形性の発現によって結果得られるキャビティ共振がリミットサイクルとなるか、複数のプラズマ共振間での同期現象が期待できるかを明らかにすることを当面の課題とすることを確認した。Dyakonov-Shur 不安定性の動作原理は流体近似を用いた電子輸送方程式を線形化して説明されている。電子ドリフト速度のプラズマ速度についての比として定義されるマッハ数に対するプラズマ波振動の増幅率と周波数の依存性が与えられている。その定量的表現を具体的な設計ターゲットとした。解析規模は必ずしも大きくはないため研究代表者に閉じた検討を行い、結果について組織内で議論する形態をとった。

〔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。まず第1に、時間領域数値流体解析による Dyakonov-Shur 不安

定性的・定量的描写。第2に、同不安定性によるプラズマ波キャビティ共振における非線形効果、第三に単一ゲート系におけるプラズマ波キャビティ共振の数値的描写を挙げる。

図1には開発ツールによる Dyakonov-Shur 不安定性の様子を示した。分散効果を低減するために二次元電子系の上下ともにゲート金属を配する構造での結果である。図1(a)は定点で見た電子密度の時間変化の様子である。当初の定常値から有限振幅振動への変遷を見ることができる。図1(b)には振動2周期についての時空間プロファイルを示した。空間座標値0に電圧一定境界、同175 nmに電流一定境界を与えての結果であり、理論的予言に従う1/4波長共振が確認できる。本年度の最も重要な帰結を図2に示す。これは横軸に電子運動量の定常値をとって発振周波数(図2(a))と成長率(図2(b))の依存性を解析した結果である。両グラフとも■で線形理論の予言、●で数値解析結果を示した。発振周波数は振動振幅の増大にともなって線形理論との乖離が予想されるところであり定性的な合致にとどまる一方、成長率は定量的にもよく一致している。本年度の最も重要な課題である解析ツールの実践性を確認することができた。図3にはプラズマ振動振幅の増大に伴う波形変化を示した。図3(a)には振幅が小さい場合、図3(b)には振幅が大きい場合の典型的な空間波形を示した。図中の数字の昇順に時間発展する。時間差分は150 フェムト秒とした。

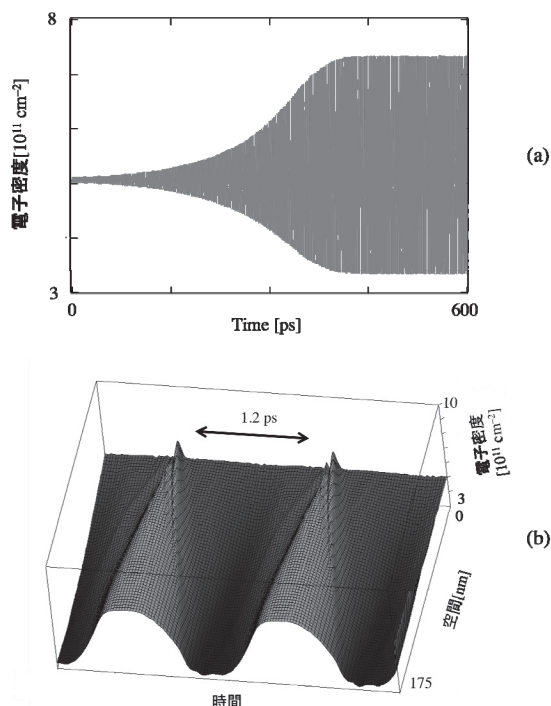


図1: Dyakonov-Shur 不安定性を呈するプラズマ波. (a) 定点での電子密度の経時変化, (b) 時空間プロフ

ファイル.

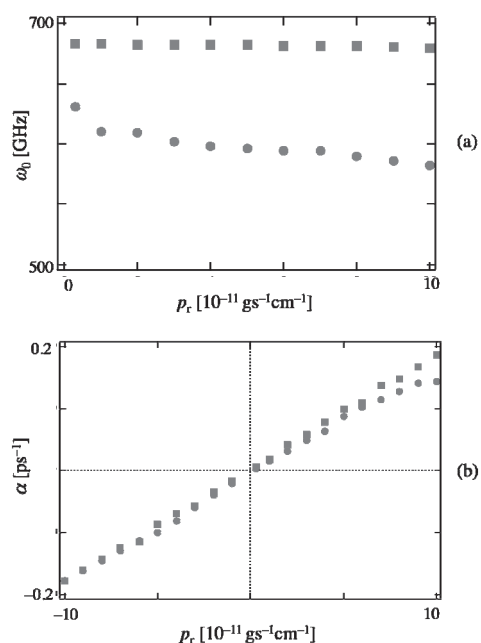


図2: Dyakonov-Shur 不安定性の定量解析. (a) 発振周波数, (b) 成長率.

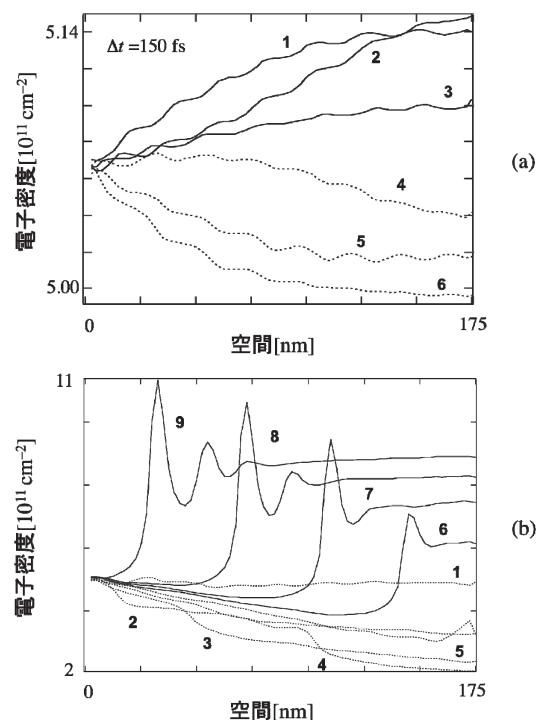


図3: キャビティ共振にみる非線形効果. (a) 小振幅振動, (b) 大振幅振動.

図3(b)には顕著なパルス波の励起をみることができる。振幅が大となると速度も大となるためショックが形成される。結果として短波長プラズマ波が顕在化するがその電気力線は二次元電子内に閉じる。これが分散効果を与えソリトンのようなパルス波が生じて

いる。原理的にはショックは任意に短い波長成分を有するため、二次元電子とゲート金属の間隔によらず分散効果を評価する必要がある。Poisson 方程式を自己無撞着に解く必要性がこうした側面からも要請されることがわかった。

実素子ではバックゲートを設けることは困難である。試みに単一ゲートを配した二次元電子系における Dyakonov-Shur 不安定性の解析を行った。単一ゲートでは二次元電子系に閉じた静電的相互作用を低減することは困難であることが改めてわかった。その結果として高次のキャビティ共振の成長をみることができた。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究によって半導体二次元電子系プラズモンを利用した THz デバイスのシミュレーション基盤が構築されれば、デバイス動作に直結するプラズモン流体非線形性および不安定性の物理が解明されると同時に、シミュレータを使った最適設計パラメータ抽出によってデバイスの開発が格段に加速されることが期待できる。これにより室温動作・集積化可能な高出力光源および高感度検出器の実現に繋がることを期待できる。

初年度たる本年には、このために最低限担保されなければならない要素的な判断材料の策定と肯定的判断を得ることができた。良好な滑り出しと考えている。

〔4〕 成果資料

採録された成果はなし。〔3〕項において説明の事項については以下のように論文として提出しているが、採否は未定である。

K. Narahara, A. Satou, "Numerical characterization of Dyakonov-Shur instability in gated two-dimensional electron systems," submitted to J. Phys. D.

採択回数 (先端)	1	2	3
--------------	---	---	---

採択番号 H27/A08

位相雑音特性に着目した共鳴トンネル THz 信号源の研究

Studies on resonant tunneling THz signal generators having low phase noise properties

[1] 組織

代表者：前澤 宏一

(富山大学大学院理工学研究部)

対応者：尾辻 泰一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

安藤 浩哉 (豊田高専情報工学科)

森 雅之 (富山大学大学院理工学研究部)

山田 悟史 (富山大学大学院理工学研究部)

中山 大周 (富山大学大学院理工学研究部)

中野 大輔 (富山大学大学院理工学研究部)

延べ参加人数：7 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 17 万 2 千円

[2] 研究経過

共鳴トンネル素子(RTD)は THz を超える高周波デバイスであり、最近 THz 領域の信号源として注目を集めている。すでに 1.5THz を越える発振も報告されており、コンパクトで低消費電力な THz 信号源の実現が期待される。しかし、これらの報告は、スロットアンテナや、パッチアンテナ自身を共振器として用い、発振と同時に信号放射を行っているため、外部の影響をうけやすいという問題点がある。また、通信など高度な応用を目指すには、信号の低位相雑音化が必須である。RTD は基板面に垂直な電流を用いており、表面の影響を受けにくいため、原理的には低位相雑音が可能と考えられる。しかし、これまで、RTD 発振器の位相雑音についてはほとんど報告がなく、低位相雑音信号源としての RTD の可能性は明らかではない。本研究では、RTD の低周波雑音特性や、ショットノイズ特性、また、発振回路構成と位相雑音の関係を明らかにし、低位相雑音で安定動作可能な THz 固体信号源の実現を目指す。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、RTD 発振器における位相雑音の要因についてシミュレーションにより研究を進めるとともに、低位相雑音 RTD 発振器の応用に関する研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

1) RTD 発振器の発振モードとインパルス雑音感度関数(Impulse Sensitivity Function, ISF)の検討

RTD は直流から THz 周波数領域まで負性抵抗を示し、共振器を接続することにより、容易に発振する。しかし、その発振には、調和発振と、弛緩発振の 2 つのモードがあり、位相雑音が生じるメカニズムが異なっている。この発振モードと位相雑音の関係を調べることを目的として研究を進めた。ここではまず、簡単な LC 共振器を用いた回路のシミュレーションを行い、発振モードがパラメータによりどのように移り変わるかを調べた。

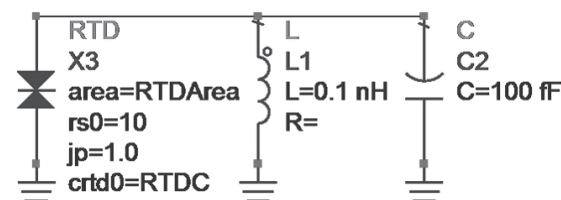


図1 シミュレーションに用いた RTD 発振器

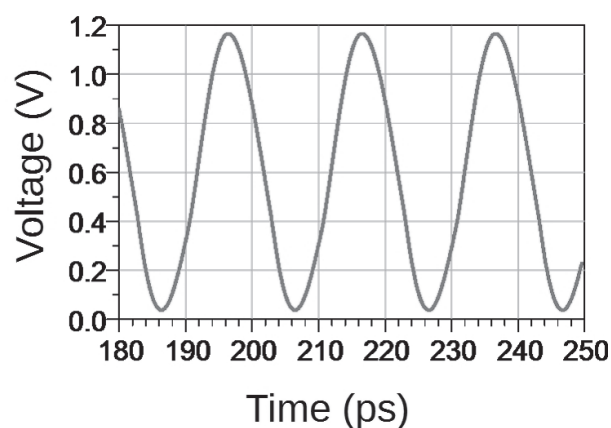


図2 発振波形 $L/C \approx (20 \text{ Ohm})^2$

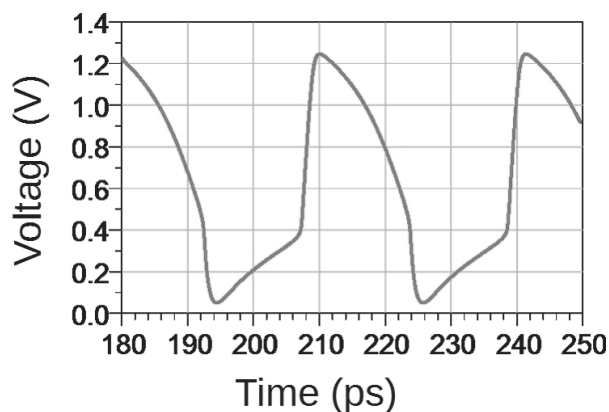
図3 発振波形 $L/C \simeq (160 \text{ Ohm})^2$

図1にシミュレーションに使用した回路を、図2、図3にそれぞれの発振モードにおける発振波形を示す。いわゆる LC 共振周波数が同じでも、 L/C が変わると波形が大きく変化することが分かる。 L/C が小さい時は、正弦波的な調和発振モードであり、一方、 L/C が大きくなると、発振波形は大きく歪み、弛緩発振モードとなる。また、その変化は連続的で、両者の中間的な動作も生じる。従って、RTD 発振器の位相雑音特性を明らかにするためには、モード変化における雑音の効果を統一的に扱う必要がある。

そのための重要なパラメータとなるのが、インパルス雑音感度関数(ISF)である。一般にアクティブ素子の雑音は周期のどの位相で生じるかによって位相雑音に対する効果が異なる。ISF とは、位相雑音に対する、インパルス雑音電流の効果を示すものであり、位相雑音解析の基礎となるものである。ここでは、RTD にインパルス電流源を接続したモデルを用いて実効 ISF を評価した。(実効 ISF とは ISF に位相依存の電流変化を考慮したものである。)

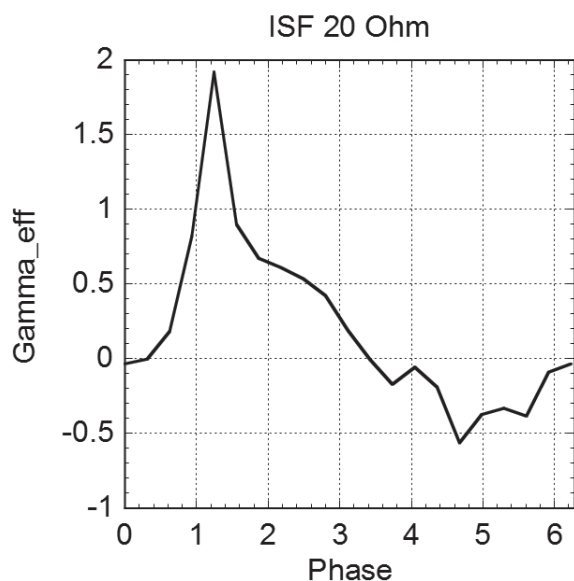
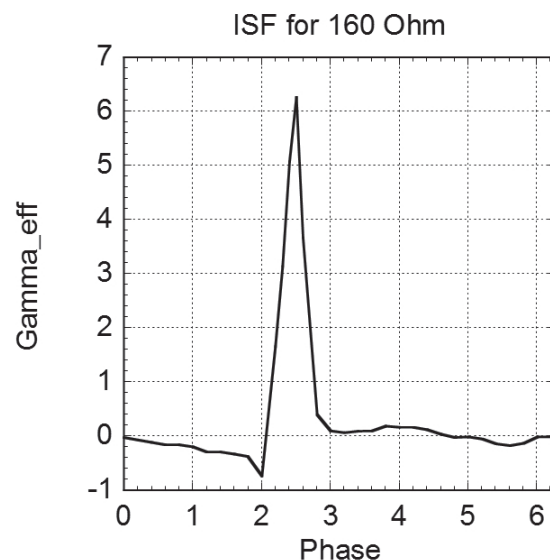
図4 実効 ISF $L/C \simeq (20 \text{ Ohm})^2$ 図5 実効 ISF $L/C \simeq (160 \text{ Ohm})^2$

図4、5に調和発振、弛緩発振、それぞれの発振モードにおける実効 ISF を位相の関数として示す。調和発振の場合の実効 ISF はゼロクロス点付近で大きく、ピークや谷で小さい。また、その絶対値も比較的小さい。一方、弛緩発振モードでは、波形が最も急激に変化するところで大きく、その値も調和発振モードよりかなり大きい。このことは、弛緩モードの位相雑音が調和振動子モードより大きいことを示唆している。今後、ISF を用いて位相雑音の評価、位相雑音低減が可能な回路構成を検討していく。

2) 低位相雑音 RTD 発振器の応用

位相雑音の小さな RTD 発振器が可能になれば様々な応用が可能となる。その中でも、我々は周波数 $\Delta \Sigma$ 変調方式を用いたデジタル出力センサへの応用を検討した。この方式は、高い周波数での発振がセンサの高ダイナミックレンジ、広帯域に直結しており、RTD 発振器の応用として有望である。

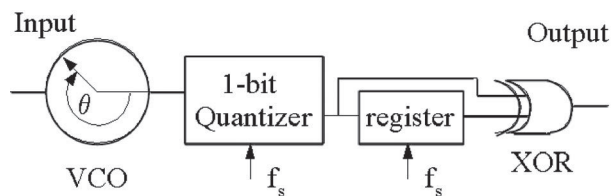


図6 FDSM の概念図

図6に FDSM の基本構造を示す。この方式は、アナログ信号を FM 信号に変換し、それをエッジ検出器に通すことにより、 $\Delta \Sigma$ 変調を行う。これは FM 信号の特徴を巧みに利用したもので、高周波動作に適している。何らかの物理量で発振周波数が変調されるようにすれば高性能デジタル出力センサとして

使用できる。

今年度は、周波数 $\Delta\Sigma$ 変調器に対する位相雑音の効果を理論的に検討した。位相雑音を周波数間隔 Δf で分布した多数の調和振動子でモデル化することにより、位相雑音が $\Delta\Sigma$ 変調信号に与える影響を定量的に求めることができた。これにより、位相雑音から、 $\Delta\Sigma$ 変調信号のノイズフロア、さらには、S/N比を予測することが出来る。図7は出力信号スペクトルのシミュレーション結果である。本研究により求めたノイズフロアを水平線で示してある。シミュレーション結果と、本モデルによる予想はよく一致しており、本モデルの有効性を示している。

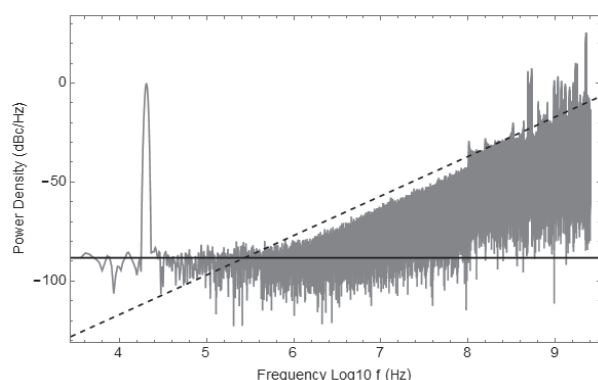


図7 周波数 $\Delta\Sigma$ 変調器の出力スペクトルと本モデルにより予測されるノイズフロア

[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。

① RTD 発振器の発振モードとインパルス雑音感度関数(Impulse Sensitivity Function, ISF)の検討

RTD 発振器の発振モードの解析を行った。さらに、モードが変わっても統一的に取り扱える雑音生成に関するパラメータである ISF について調べ、その評価方法を確立した。

② 低位相雑音 RTD 発振器の応用

低位相雑音 RTD 発振器の応用として周波数 $\Delta\Sigma$ 変調を用いたセンサを提案した。また、発振器の位相雑音が出力に及ぼす影響を定量的に明らかにした。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度は、研究の初年度として、RTD 発振器の発振モードの検討と、ISF 評価方法の確立を行った。また、低位相雑音発振器の有望な応用である周波数 $\Delta\Sigma$ 変調型センサへにおける位相雑音の効果を明らかにした。これらの結果は、THz 通信を始め、最近関心が高まっているセンサへの応用が有望であり、

今後 RTD 発振器の応用範囲を大きく拡大する可能性を秘めている。

[4] 成果資料

- [1] K. Maezawa, Y. Kakutani, T. Nakayama, T. Tajika, M. Mori, "A resonant tunneling delta-sigma modulator and its application to strain sensors," 2015 Workshop on Compound Semiconductor Devices and Integrated Circuits (WOCSDICE 2015) Smolenice, Slovakia, 8-10th June (2015).
- [2] Koichi Maezawa, " Ultrahigh frequency circuits and a novel integration technology for resonant tunneling diodes," The 6th International Conference on Integrated Circuits, Design, and Verification (ICDV 2015)/2015 Vietnam Japan MicroWave (VJMW 2015), Ho Chi Minh City, Vietnam, 10-11th August (2015).
- [3] 前澤宏一、角谷祐一郎、中山大周、田近拓巳、森雅之、「共鳴トンネル素子を用いた $\Delta\Sigma$ 型歪みセンサ」、電子情報通信学会電子デバイス研究会、金沢、7月25日、(2015).
- [4] 角谷祐一郎、森雅之、前澤宏一、「 $\Delta\Sigma$ 型歪みセンサのための RTD 装荷カンチレバーの検討」、2015 年電子情報通信学会ソサイエティ大会、東北大学、9月8-11日 (2015).
- [5] 前澤宏一、藤野舜也、山岡昂博、森雅之、「周波数 $\Delta\Sigma$ 変調方式センサに対する位相ノイズの効果」、電子情報通信学会総合大会 九大 3月15日 (2016).

採択番号 H27/A09

フルコヒーレントアクセス方式を実現するための 光-無線周波数変換方式に関する研究

[1] 組織

代表者：吉本 直人
(千歳科学技術大学理工学部)

対応者：尾辻 泰一
(東北大学電気通信研究所)

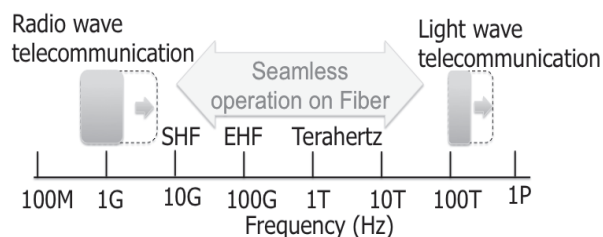
分担者：岩月 勝美
(東北大学電気通信機構)

延べ参加人数：4人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 16 万 8 千円

[2] 研究経過

本研究は、今後大容量化・多様化する無線アクセスネットワークにおいて、常時／災害時に係わらずネットワーク資源の柔軟な拡張・転用を可能とするために、光領域から無線領域まで電磁波としてのコヒーレンス状態を維持しつつ、キャリア周波数のみを変換することによって、自在に信号を伝達する全く新しい光無線融合型の通信方式（フルコヒーレントアクセス方式）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



て研究を行った（図1）。

図1 光・無線アクセスの周波数帯

本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。そこで、H27年度は、図2に示すような、常時／災害時に係わらず、様々なサービスを、あらゆるユーザに対して、多様なアクセス手段で提供可能とするアクセスネットワーク基盤の構築に向けて、フルコヒーレント技術の適用を前提とした光・無線融合アクセスネットワーク基盤の基本的アーキテクチャの提案を行った。

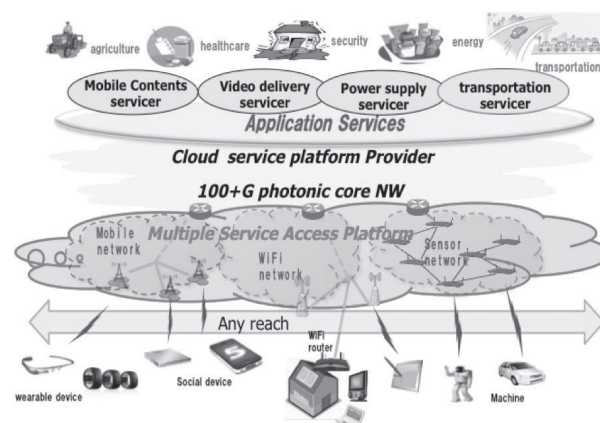


図2 光・無線融合マルチサービスアクセス基盤

以下、研究活動状況の概要を記す。

・8月27日

東北大学にて研究会合を実施。共同研究のスタートということで、目指すべき研究成果についての意識合わせを行った。また、今年度の研究目標とスケジュールについて議論し、合意形成を行った。

・2月25日

に研究成果を共同プロジェクト研究発表会にて、今年度の成果について、ポスター発表を行った。

・3月11日

に東北大学にて研究会合を実施。今年度の研究活動の振り返りと、来年度の取り組みについて、意見交換を行った。

[3] 成果

（3-1）研究成果

まず第1に、ネットワークの要求条件を以下のよう整理した。

1) ヒトがトラヒックの起点となる従来の mobile broadband に加え、モノに実装されたセンサーが起点となる IoT 時代の ubiquitous real-time data handling 等、多様なトラヒックにも対応できるネットワークであること。

2) 第5世代無線アクセスを含めて、様々なデータ速度とモビリティを有した無線インターフェースに

対応すること。

3) オンデマンドなネットワークリソースの運用に対応すること。特に、従来の物理的通信設備を有している通信事業者 (Physical Resource Provider: PRP) の他に、物理的通信設備を持たず、サービスに応じて多様な様態のアクセス手段を提供する仮想通信事業者 (Virtual Network Operator: VNO) が今後増えてくる状況を想定した場合、ユーザのエリア分布や需要の動向によって、短い時間サイクルでネットワークリソースを柔軟に貸借できるしくみを有すること。

4) 平時のみならず、災害時・緊急時においても、迅速にあらゆるネットワークリソースを最適に配分・追加することによって、ネットワークを復旧・維持すること。また、耐災害性への対応については、IoT 時代には、今まで以上に通信ネットワークが産業や社会生活に対して必要不可欠な存在になってくることが予想されるため、サービスを提供し続けるネットワークプラットフォームを有すること (図3)。

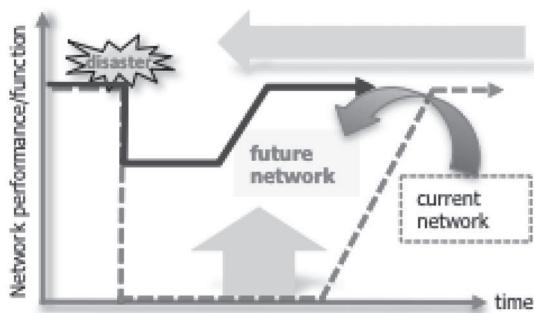


図3 リジリエント性を有したネットワーク

第2に、前述の要求条件を実現するネットワーク技術開発について、以下の2段階のステップの提案を行った。

1) 1st step:

Network infrastructure convergence

既存の光・無線アクセスネットワークとも互換性を維持しつつ、これまで構築してきた光ファイバケーブルなど膨大な通信設備の有効利用を図り、全体設備投資額の抑制する必要がある。したがって、従来のブロードバンド光アクセスネットワークで培った手法をベースにして、無線アクセスネットワークを支える光ネットワークを総合的にデザインすることの重要性をアピールした。また、設備投資効率化の観点から、既設の光ファイバ網や既存の光アクセス伝送技術を次世代モバイルネットワークに活用することによるネットワークリソースの共用化と全体最適化の実現を目指すことをポイントとした。上記の方針から、将来無線アクセスで採用が期待され

ている多層ユーザプレーン構成におけるモバイルフロントホール区間に波長可変機能を具備した WDM アクセス技術を適用することを提案した (図4)。

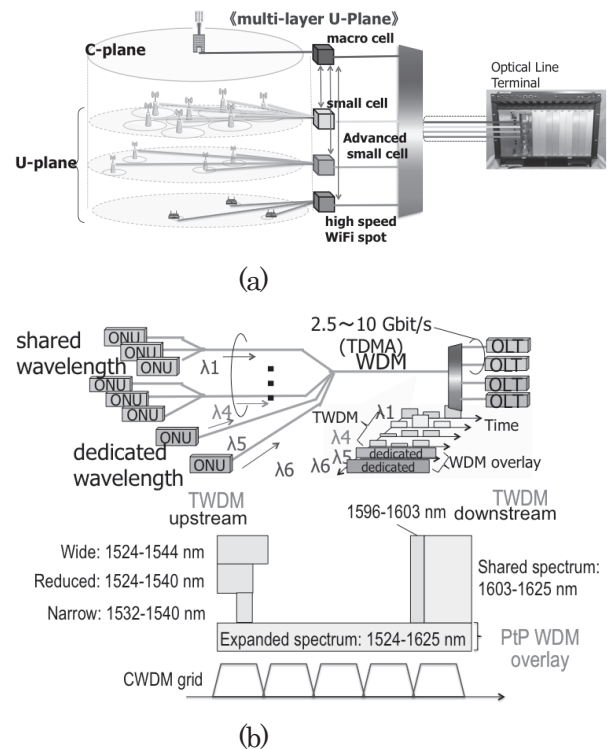


図4 (a)多層ユーザプレーン構造を有した将来無線アクセスネットワーク (b) WDM アクセスネットワークとその波長配置

2) 2nd step:

Network Virtualization through physical layer

運用効率向上の観点から、PRP と VNO の連携を促進するとともに、対災害性の強化の観点から、アクセスネットワークの仮想化の実現を目指すことの重要性をアピールした。特に、ネットワークの論理層のみならず、物理層 (伝送媒体) までも仮想化すること (伝送媒体無依存化) によって、光アクセスと無線アクセスの伝送方式の差異をなくすることによる究極の「アクセスネットワークの仮想化」の有用性を示した (図5)。

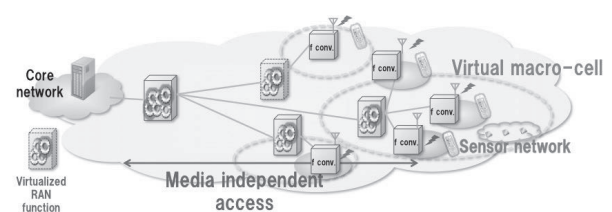


図5 伝送媒体に無依存な完全に仮想化されたアクセスネットワーク

この仮想化されたアクセスネットワークを実現する

一つ的手段として、図6に示すフルコヒーレント伝送方式に取り組んでいる。

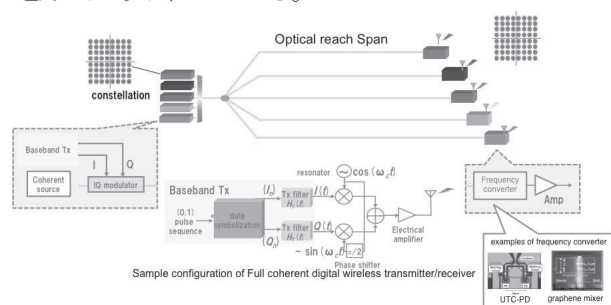


図6 フルコヒーレント伝送方式

この伝送方式をベースに、実現を目指すネットワークアーキテクチャの提案(図7)、ならびに、このアーキテクチャにおいて、重要な役割を果たすデバイス技術として、①位相同期多波長光源(光周波数コム光源)、②チューナブル光フィルタ、③広帯域周波数ミキサ等の要求条件を整理した。

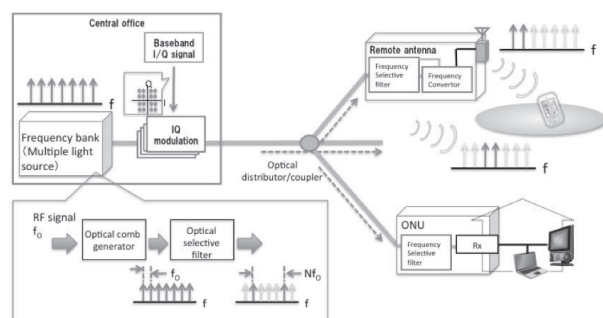


図7 フルコヒーレント伝送方式による光・無線アクセスネットワークアーキテクチャと構成デバイス

第3に、上記で提案したネットワークアーキテクチャを検証するシミュレーション環境を導入した。

1) 光伝送シミュレータである VPI Photonics GmbH 社の VPI transmission Maker Optical Systems を立ち上げた。それを用いて、各種変調方式やそれに対応した光コヒーレント光源や周波数選択フィルタへの性能要求条件を整理し、各々デバイスの設計パラメータの構築に繋げることを目指す。

2) NS-3 をベースとした PON システムシミュレータを立ち上げた。今後はそれを発展させ、無線システムが混在可能なシミュレーション環境の構築を目指す。これらのシミュレーション環境は今後の研究開発のプラットフォームとして活用する。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

本プロジェクトは、光アクセスネットワークと無線アクセスネットワークの融合領域を扱っている。また、そのネットワークの構成要素であるデバイスにおいても、光デバイスと電子デバイスの融合・集

積技術が必要とする。したがって、広範囲に渡る学際領域を対象としているため、光・無線アクセスが高度に融合した「仮想化アクセスネットワーク」と、光デバイスと超広帯域電子デバイス技術が融合した「光・電子集積高速デバイス」という新しい研究領域の開拓に結びつき、今後の発展が期待されている。また、国際会議等での発表を通じて、学外研究者との交流を通じて、本研究領域の浸透・発展が期待される。

■国際会議、シンポジウムへの発展

・16th Chitose International Forum on Photonics Science & Technology (CIF16)での特別招待講演

日時：2015年9月30日～10月1日

開催場所：千歳科学技術大学

参加人数：約80名

IoT 時代を支える新しいアクセスネットワークとして、伝送媒体に依存しない仮想化アクセスネットワークを提唱し、その実現方式であるフルコヒーレント伝送技術開発のポイントを示した。

・41st European Conference on Optical Communication (ECOC2015)での招待講演

日時：2015年9月27日～10月1日

開催場所：Valencia Spain

参加人数(聴講者数)：約200名

フルコヒーレント伝送方式のキーデバイスとして、グラフェンと InP のハイブリッド材料を用いて、テラヘルツ波までの広帯域性を有する周波数変換を実証した。

■研究者ネットワークの拡大として、電子情報通信学会(LQE 研究会：2015年8月27日、青森)にて、光デバイス研究者に対して、フルコヒーレント伝送方式の有用性を紹介することによって、専門分野の異なる研究者との人的ネットワークを築いた。

[4] 成果資料

(1) 吉本直人 “光・無線融合アクセスネットワークと光デバイスへの期待,” 信学技報, LQE2015-34, pp.17-22.

(2) N. Yoshimoto "Evolution of Optical Fiber Networks due to Convergence of Light and Radio Waves towards Future Internet of Things Era," Technical digest of 16th International Forum on Photonic Science and technology, 2-3, pp. 31-36.

(3) K. Sugawara et al., "Sub-THz Photonic Frequency Conversion Using Graphene and InP-Based Transistors for Future Fully Coherent Access Network," ECOC2015, Mo.3.4.2, Valencia, Spain, September 2105.

採択回数	1	2	3
(先端・萌芽)			

採択番号 H27/A10

M2M 伝搬環境改善のためのメタマテリアルおよびリフレクトアレー応用に関する研究

[1] 組織

代表者：丸山 珠美

(函館工業高等専門学校)

対応者：末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)

本良 瑞樹 (東北大学電気通信研究所)

陳 強 (東北大学大学院工学研究科)

延べ参加人数：9人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 12 万 3 千円

[2] 研究経過

M2M とビッグデータ解析はユビキタスの次の世界として注目されており[1]、その市場の広がりが期待されている。物と物が通信する M2M 通信技術では、家の壁と壁の間にある電力メータが電力使用量を報告するスマートメータなど、従来と異なる劣悪な伝搬環境が想定される (図 1)。

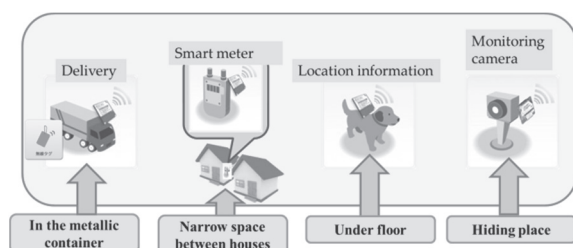


図1 M2Mで想定される伝搬環境

また、eHealth に代表されるような、体につけた血圧計、歩数計、などの結果をスマートフォンをゲートウェイとしてデータを集約し通信する場合は、機器間の干渉によってデータ通信の中断などが生じる[3]。また、大規模災害時においては、停電などにより無線基地局が動作しなくなるなどの理由によりネットワークが遮断され通信がしにくくなる。特に W-PAN など大規模な通信容量を確保するためミリ波などの高い周波数を用いる場合は、見通し外の通信が困難となり長い通信距離を確保するのが困難と

なる。本研究ではこれらを克服する手段としてリフレクトアレーやメタサーフェスおよびメタマテリアル[4][5]を応用し、アンテナの指向性を変化させ、干渉を除去することによる、伝搬環境の改善を目的として研究を行った。

本プロジェクトは本年度が初年度であり、システムに関しては亀田、リフレクトアレーについては陳と丸山、高周波部品、ハードについては末松と本良が中心となるように分担し研究を進めることとした。

M2M システムにリフレクトアレーを適用する場合、小型アンテナに近接して波長に比べてサイズの小さいリフレクトアレーを設置する必要がある点が課題となる。そこで、本研究では、リフレクトアレーの効果を発揮できる設定を重視し、ダイオードなどのアクティブ素子を装荷しリフレクトアレー構成にフレキシビリティを与え、機能を追加する方針を決定した。

以下、本研究活動における主な打合せ等の状況の概要を記す。

- (1) 2015 年 6 月第一回打合せ 於東北大学
研究方針、分担の決定
- (2) 2015 年 12 月第二回打合せ 於東北大学
研究経過および実験方法について
- (3) 2016 年 2 月第三回打合せ 於東北大学
研究成果投稿先および次年度研究方針について
- (4) 2016 年 2 月共同プロジェクト報告会
ポスター発表

[3] 成果

(3-1) 研究成果

(a) 小型アンテナのためのメタサーフェス応用

M2M 端末用アンテナは指向性がオムニに近い小型アンテナである。このため図 2 に示すように従来に比べてはるかに小さい反射板をアンテナに近接した状況で放射指向性を変化させる必要があるため、従来のリフレクトアレーの設計法を用いることができない。また、このようにオムニ指向性に近い一次放射を所望方向に反射させることによる効果は不明確であった。そこで、本研究ではメタサーフェス[4],[5]を応用し、ダイポールアンテナに対してメタ

マテリアルを応用したリフレクタレーを設置することによる放射指向性の変化について設計と解析を行った。その結果、放射指向性がオムニに近い小型アンテナに対し、メタマテリアルを応用したリフレクタレーを用いることによりビームを所望方向に向け利得を向上できることを明らかにした(図3)。本結果を電子情報通信学会 2016 総合大会、および本共同プロジェクト報告会におけるポスターセッションで発表した。また本年9月に行われる国際会議 IEEE AWPC2016 にて発表する予定である。

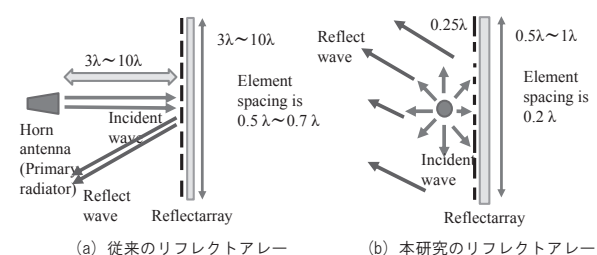


図2 従来のリフレクタレーとM2M用リフレクタレーの構成の違い

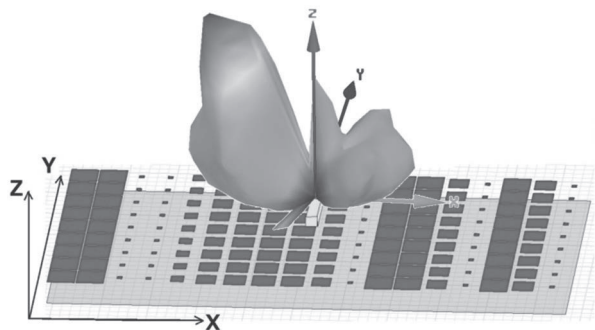


図3 メタサーフェスによる放射指向性の制御

(b) 遺伝的アルゴリズムを応用した二周波共用反射位相の自動設計

近年の端末のマルチバンド化に対応させるため、伝搬環境改善のためのリフレクタレーもまたマルチバンド化が必要である(図4)。しかし二周波共用リフレクタレーを同一偏波で実現することは、相互結合の影響を受けるため、一般に困難となる。そこで本研究では、遺伝的アルゴリズムを応用し、(1)二つの周波数において独立な反射位相を持つ素子をGAで求めこれをアレー化することによる二周波共用リフレクタレーと、(2)等位相面を所望方向に直交するように作る従来のリフレクタレーの設計法を用いず、リフレクタレー全体の形状そのものをGAで設計する二周波共用リフレクタレーについてそれぞれ解析、設計しこれを実現できることを明らかにし、本結果を高専シンポジウムおよび電子情報通信学会 METLAB 研究会にて発表した。

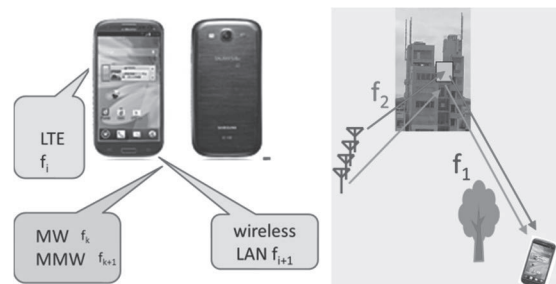
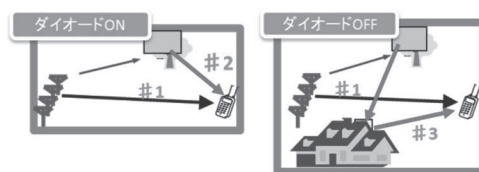


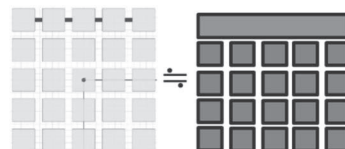
図4 端末のマルチバンド化とマルチバンドリフレクタレー

(c) アクティブ素子を応用した指向性可変リフレクタレーの設計

近年、リフレクタレーを用いて、マルチパス環境を作り見通し MIMO の容量を改善する方法が検討されている。しかし、パッシブなリフレクタレーでは改善効率に限界があるため、反射方向のビームを操作することが望ましい。そこで、本研究ではリフレクタレーを構成する素子にダイオードを装荷しこの ON と OFF により反射位相を変化させる方法について検討を行い、本結果を用いて指向性を可変にできるリフレクタレーを実現した(図5)。本結果を高専シンポジウムで報告した。



(a) ダイオードのOn/Off切り換えによる放射方向切り換え



(b) ダイオードをOnにしたところは金属板と等価(⇒形状可変)

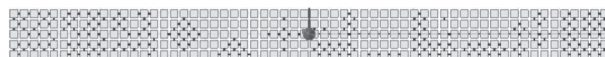


図5 ダイオード on/off による指向性切り換え

(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、ユビキタスの次の技術として着目されている M2M に関するものであり、将来、自販機やスマートメータあるいはペットなど全ての物と物が通信を行うことが想定されている。本研究は、従来とは異なる伝搬やトラヒック環境が想定される状況において、リフレクタレーを応用することによりシステムやアンテナ、あるいは街並みなどの伝搬環境を、個々に変更することなく、効率の良い通信を実現できるためその応用価値は高い。

特に、本研究は従来のアンテナと伝搬の概念を超えたアンテナと伝搬の中間領域をねらうものである。このため、アンテナの設計法でも伝搬の計算法でもない新たな手法を開発する必要がある。これは伝搬とアンテナの中間という新しい研究領域の開拓（萌芽的研究の発見）に結びつき、今後の発展が期待できるため、これを研究する意義は非常に大きい。

本研究成果は、今年度 2016 年 1 月に高専シンポジウムにて遺伝的アルゴリズムによるリフレクタレーの設計およびアクティブ素子装荷リフレクタレーについて報告し、2016 年 3 月に電子情報通信学会の総合大会および METLAB 研究会にてメタサーフェス応用および多周波共用リフレクタレーについて報告した。その結果国際会議 2016 年 9 月ケアンズにて開催される IEEE AWPC2016 における招待講演の依頼を受けアブストラクトを投稿した。発表後、公設試験研究機関の担当者からリフレクタレーに関する問い合わせを受けている。

参考文献

- [1] 島田淳一: “ユビキタスの次の世界へ～M2M とビッグデータ～”, 電子情報通信学会 通信ソサイエティマガジン, Vol. 8(2014), No. 1, pp. 1.
- [2] 電力中央研究所報告: “スマートメータ用無線通信回線における電波伝搬モデルの検討”, 情報通信, 報告書番号 R11031.
- [3] David Boswarthick, Omar Elloumi and Olivier Hersent: “M2M 基本技術書 ETSI 標準の理論と体系”, pp.63-67, リックテレコム, 2013.
- [4] Tamami Maruyama, T. Furuno, Y. Oda, J. Shen and T. Ohya: “Capacitance Value Control for Metamaterial Reflectarray Using Multi-layer Mushroom Structure with Parasitic Patches”, ACES Journal, vol. 27, no.1, pp.28-41, Jan. 2012.
- [5] 丸山珠美, 古野辰男, 上林真司: “電波の届かない領域をなくすための方向制御反射板の研究”, NTT DOCOMO テクニカル・ジャーナル, Vol.17, No.3, 2009.
- [6] D. M. Pozar, T. S. Targonsky and H. D. Syrigos: “Design of Millimeter Wave Microstrip Reflectarrays”, IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-45, no. 2, pp. 287-295, 1997.
- [7] N. Engheta and R. W. Ziolkowski: “Metamaterials”, IEEE Press, 2006.

[4] 成果資料

- (1) 遠藤俊, 宇野広祐, 檜山怜史, 布川和樹, 舟橋拳人, 丸山珠美: “メタマテリアル・リフレクタレーを応用した小型アンテナの放射方向制御”, 電子情報通信学会総合大会 2016, B-1-100.
- (2) T. Maruyama, S. Endo, Q. Chen, S. Kameda and N. Suematsu: “Reflectarray design for small antenna using metasurface”, IEEE AWPC 2016, Sept.
- (3) Tamami Maruyama: “Design of dual-band reflectarray using genetic algorithm”, 3rd IGNITE-2016, Advanced Materials for Innovative Technologies, 51 PEE08, Jan. 2016.
- (4) 丸山珠美: “GA を用いた二周波共用リフレクタレーの設計”, 信学技報告, WPT2015-95, pp. 101-103 (2016-03).
- (5) 檜山怜史, 宇野広祐, 遠藤俊, 舟橋拳人, 丸山珠美: “同一偏波二周波共用反射位相の GA による設計”, 高専シンポジウム in 香川, Pb-064, 2016, 1 月.
- (6) 宇野広祐, 檜山怜史, 布川和樹, 舟橋拳人, 丸山珠美: “二周波共用リフレクタレーの GA を用いた自動設計”, 高専シンポジウム in 香川, Pb-038, 2016, 1 月.
- (7) 舟橋拳人, 宇野広祐, 遠藤俊, 古田健太, 丸山珠美: “アクティブ素子を装荷した方向切り換え方リフレクタレーの設計と解析”, 高専シンポジウム in 香川, Pb-039, 2016, 1 月.

採択番号 H27／ A11

生理指標に基づく SDN 型ネットワークシステムの 実証的研究

〔1〕組織

代表者：小俣 昌樹

(山梨大学大学院総合研究部)

対応者：北形 元

(東北大学電気通信研究所)

分担者：菅沼 拓夫

(東北大学サイバーサイエンスセンター)

延べ参加人数：8人

研究費：物件費 13万7千円，旅費 12万8千円

〔2〕研究経過

本プロジェクトの目的は、山梨大学の小俣研究室で研究している「コンピュータユーザの生理指標と心理状態との関係のモデル」と、対応教員の北形准教授および研究分担者の菅沼教授が研究している「Software Defined Network」とを融合して、コンピュータユーザの心理状態に基づいてネットワークの設定を動的に制御するシステムを実装するためのフレームワークを確立することである。

本年度が初年度である。本プロジェクトでは、はじめに、コンピュータユーザとして e-ラーニング学習者を想定した。また、ユーザの状態として、e-ラーニング学習者の理解度および操作の有無による影響を想定した。このような状況を想定した理由は、e-ラーニング学習者がさまざまなコンピュータおよびネットワーク環境で学習に取り組むことが考えられること、および、遠隔の教員にとって学習者の状態を把握することが重要であると考えられることからである。このような状況において、脳波・脳血流・呼吸・皮膚電動・脈波などの生体信号からパワー値などの生理指標を算出し、この生理指標から学習者が e-ラーニングコンテンツを読んだり操作したりしている間の状態を推定するモデルを構築する。

このための基礎的な分析として、e-ラーニング学

習者がコンテンツを読んでいるときの理解度および対話的な操作をしているときの状態における生理指標の変化を分析した。以下、研究活動状況の概要を記す。

(1) e-ラーニング学習者の能動的操作の有無と生理指標の変化との関係の分析

文章・図・表で構成される学習コンテンツを学習者が閲覧しているときに、そのコンテンツの中の個々の文章や図表に対して「わかった」「わからなかった」をマウスクリックで回答してもらうタスクと、閲覧だけしてもらうタスクにおける学習者の生体信号を分析する。

(2) e-ラーニング学習者の理解度の違いと生理指標の関係の分析

(1)と同様のタスクをおこなってもらったあと、「わかった」「わからなかった」を回答した様子のビデオを視聴してもらいながら、「わかった」「わからなかった」の程度をそれぞれ3段階で回答してもらい、その程度と生理指標との関係を分析する。

(3) 研究会の開催

本プロジェクトの代表者・対応者・分担者らが集まり、以下に示す研究会を開催し、研究内容を発表・議論した。

- ・ 日時：2016年2月2日(火) 13:20～16:30
- ・ 会場：東北大学電気通信研究所通研本館 4階 M431 ゼミ室
- ・ 発表内容
 - 山梨大学小俣研究室
 - タブレットとスマートフォンとの連携インタフェースに関する研究, 相澤 聖也
 - 拡張現実感を伴う筋疲労の錯覚に関する研究, 山下 政人
 - 性格・ストレスとユーザビリティ評価結果との関係に関する研究, 大出 真也

- 香りと視覚効果との相互作用に関する研究, 村松 大
 - 生体信号インタフェースに関する研究
およびプロジェクトの今後について,
小俣 昌樹
 - 東北大学電気通信研究所およびサイバ
ーサイエンスセンター
 - 移動型エージェントによる安全なサー
ビスパーソナライズ, 北形 元
 - 菅沼・阿部研究室の研究紹介, 和泉 諭
- (4) ポスター発表

2016年2月25日に東北大学電気通信研究所
本館で開催された「電気通信研究所共同プロジ
ェクト研究発表会」において、ポスター発表を
おこなった。

題 目 : Experimental Verification of the
Relationship between Biological Signals and
the Subjective Interest

[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。

第1に、e-ラーニング学習者の能動的操作の有無
と生理指標の変化との関係の分析において、「操作あ
り」「操作なし」「安静時」の3水準の生理指標を分
散分析したところ ($p < 0.05$)、表1の結果となった。
表1は、被験者それぞれ (A~E) および被験者全員
のデータにおける有意差の有無を示し、*は有意差が
見られたことを、空欄は有意差が見られなかったこ
とを示す。

表1 「操作あり」「操作なし」「安静時」に
おける分散分析の結果

被験者	Alpha1	Alpha2	HEG	SC	HF	LF/HF
A			*	*		*
B			*	*	*	
C	*	*	*	*	*	
D	*	*	*	*	*	*
E			*		*	*
全員				*	*	

* $p < 0.05$

表2、表3、および表4は、それぞれ、表1の結果
に基づく、脈波の高周波成分 (HF)、脳血流の
HEG 率、および皮膚コンダクタンスの変動につい
て多重比較 ($p < 0.05$) をおこなった結果である。
それぞれの表における L, M, S は、その指標にお

ける差の大きさを表しており、L, M, S の順で差
が大きいことを示す。

表2 脈波の HF の多重比較結果

被験者	操作あり vs. 操作なし	操作あり vs. 安静時	操作なし vs. 安静時
A			
B	S		L
C	L	S	
D	S		L
E		L	S
全員		L	S

$p < 0.05$

表3 脳血流の HEG 率の多重比較結果

被験者	操作あり vs. 操作なし	操作あり vs. 安静時	操作なし vs. 安静時
A	S		L
B	S	L	
C	M	S	L
D		S	L
E		S	L
全員			

$p < 0.05$

表4 皮膚コンダクタンスの変動の多重比
較結果

被験者	操作あり vs. 操作なし	操作あり vs. 安静時	操作なし vs. 安静時
A	L	M	S
B	L	M	S
C	L	S	
D	S	L	M
E			
全員	S	L	

$p < 0.05$

これらの分析結果から、皮膚コンダクタンスは、
能動的操作の有無や安静時との違いにおける指標と
して有効であることがわかる。

第2に、e-ラーニング学習者の理解度の違いと生
理指標の関係の分析において、「わかった」の3段
階の回答と生理指標との関係、および「わからな
かった」の3段階の回答と生理指標との関係を被験者
ごとに重回帰分析によって検証した。その結果、「わ
かった」については、寄与率 0.30 程度であり、「わ
からなかった」については、寄与率 0.16~0.72 とな
った。このことから、今回分析した生理指標と理解

の程度ととの間の相関は低く、今回のタスクにおいて生体信号から理解の程度を推定することは困難であることがわかった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトで明らかになった能動的操作の有無と生理指標との関係は、e-ラーニングの学習者の能動性／受動性を客観的かつ継続的にモニタリングする方法として新しい研究領域の開拓に結びつき、e-ラーニングシステムまたは学習者の新たな評価方法として期待される。

さらに、このような生理指標は、コンピュータユーザの状態に合わせてコンピュータやネットワークのリソースを動的に制御するという本プロジェクトのフレームワークのためのひとつの制御パラメータになりうると考える。

[4] 成果資料

- (1) Masaki Omata, Shumma Hosokawa, “Experimental Verification of the Relationship between Physiological Indexes and the Presence or Absence of an Operation during E-learning,” Proceedings of 18th International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS 2016), pp. 405-409, 2016.
- (2) Masaki Omata and Shogo Tanabe, “Analysis of Relationships between Combinations of Biological Signals and Subjective Interest,” Proceedings of 2015 3rd International Conference on Biological and Medical Sciences (ICBMS 2015), pp.6-10, 2015.
- (3) 山下政人, 小俣昌樹, “拡張現実感と筋電位を利用する筋疲労軽減システムの設計と評価,” 情報科学技術フォーラム講演論文集 14(3), pp.335-338, 2015.
- (4) 山下政人, 小俣昌樹, “拡張現実感を利用した錯覚による腕部筋疲労の差異の検証,” 日本バーチャルリアリティ学会サイバースペースと仮想都市研究会シンポジウム, CSVC2015-32, Vol.20, No.CS-4, pp.11-14, 2015.
- (5) 北形元, 久保田恭守, 高橋秀幸, 笹井一人, 木下哲男, “移動型エージェントによる安全なサービス個人化手法,” 信学技報, vol. 115, no. 436, MoNA2015-39, pp. 13-17, 2016.

- (6) 久保田恭守, 北形元, 高橋秀幸, 笹井一人, 木下哲男, “[技術展示] 移動型エージェントを用いたセキュアな個人化電子メニューシステム,” 信学技報, vol. 115, no. 436, MoNA2015-41, pp. 25-27, 2016.
- (7) Satoru Izumi, Asato Edo, Toru Abe and Takuo Suganuma, “An Adaptive Multipath Routing Scheme based on SDN for Disaster-resistant Storage Systems,” Proc. of the 17th International Symposium on Multimedia Network Systems and Applications (MNSA2015, BWCCA2015 Workshop), pp.478-483, 2015.
- (8) 江戸麻人, 和泉諭, 阿部亨, 菅沼拓夫, “災害リスクを考慮したスマートルーティングの設計と実装,” マルチメディア, 分散, 協調とモバイル(DICOMO2015)シンポジウム, pp.1520-1524, 2015.
- (9) 和泉諭, 江戸麻人, 阿部亨, 菅沼拓夫, “高機能高可用性ストレージシステムのためのSDN型ストレージ間通信方式の設計と実装,” 第23回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ(DPSWS2015)論文集, Vol.2015, No.5, pp.172-177, 2015.

採択回数	1	2	3
(先端・萌芽)			

採択番号 H27/A12

自己身体情報が外部空間把握に与える影響に関する研究

〔1〕組織

代表者：寺本 渉

(熊本大学文学部)

対応者：坂本 修一

(東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：8人

研究費：物件費13万7千円、旅費15万4千円

〔2〕研究経過

情報通信システムにおいて、情報の発信と受容の担い手は人間であるため、人間の知覚認知特性を十分に考慮したシステムを設計する必要がある。通常、人間は眼や頭部、身体全体を動かしながら周囲の環境を認識している。しかし、従来のシステムの多くが情報提示の細部のリアリティのみを追求し、こうした情報の受け手の動きが提示情報の知覚や認知に与える影響を考慮してこなかった。近年では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への期待が高まっており、それを実現するためには、受け手の動きを十分に考慮した情報提示が必要不可欠である。そこで本研究では、自己身体運動によって、視覚や聴覚による空間知覚がどのように変容するかについて系統的に検討を行うことを目的とする。もし、受け手の動きを十分に考慮した情報提示が可能になれば、自然な人間の振る舞いにより近づくため、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を実現するための手法の提案へとつながることが期待できる。

本プロジェクトは、平成19～23年度に文部科学省科学研究費補助金特別推進研究「マルチモーダル感覚情報の時空間統合」、それに続く平成24年～26年度通研共同プロジェクト研究「前庭情報による音空間歪みに関する研究」の発展研究と位置づけられる。これまでのプロジェクトにおいては、直線加速度運動時には、真横に聞こえる音の位置が情報源にかかわらず真横に聞こえる音の位置がシフトすることのほか、自己運動の能動性／受動性は結果に大きな影響を及ぼさないことなどを明らかにした。また、自己運動知覚において非常に重要な役割を担っていると考えられている視覚的自己運動情報の影響も検

討し、視覚的自己運動情報によっても、系統的歪みが生じるものの、前庭刺激時とは異なる異方性を持っていることを明らかにした。これらの結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に掲載されている。

本研究では、前年度までのプロジェクトの成果をもとに自己運動に関する前庭情報と視覚情報および視覚対象や音源の位置を系統的に操作して実験を行い、自己身体運動時の空間知覚に関するマルチモーダル感覚情報処理の統合的理解を目指すものである。

以下、研究活動状況の概要を記す。

第1回研究打ち合わせ (2015年5月11日～12日)

自己運動時の音空間知覚と視空間知覚に関するこれまでの研究を整理し、今年度の研究計画を議論した。

第2回研究打ち合わせ (2015年8月28日)

自己運動時の音空間知覚に関する実験を行った。

第3回研究打ち合わせ (2015年10月8日)

自己運動時の音空間知覚に関する実験を行うとともに、自己運動時の視空間知覚に関する実験の実験方法について議論を行った。

第4回研究打ち合わせ (2016年2月24日)

本年度得られた自己運動時の音空間知覚に関する実験データと自己運動時の視空間知覚に関する実験データを突き合わせ、来年度の研究計画について議論を行った。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

視覚系においては、網膜上の光点の移動は、光点自体の移動と観察者の眼や頭部の移動のいずれかによって生じる。観察者の眼や頭部の移動によって生じる光点の移動を光点自体の移動としてとらえられることはほとんどなく、自己運動時には安定した視覚世界が得られている。これは、視覚系が網膜から得られる情報と観察者自身の頭部や身体の運動情報を統合し、適切な解を得ていることを示唆する。

事実、自己運動時の視覚運動知覚を調べた研究では、自己運動方向と網膜上の光点の運動方向が生態学的に一致する場合（通常、開眼状態で右方向へ自己運動する場合、網膜上の光点の移動方向は左方向

になるため、このような関係の場合を生態学的に一致と呼ぶ), 知覚される光点の移動速度は実際よりも小さくなると報告されている (Durgin et al., 2005; Pavard & Berthoz, 1977; Probst et al., 1986; Wallach et al., 1974)。また, 運動残効 (MAE: motion aftereffect) を指標として用いた研究では, 自己運動方向と網膜上の光点の運動方向が生態学的に一致する場合には, その後に生じる MAE 量が減少すると報告している (Crane, 2013; Harris et al., 1981; Wallach & Flaherty, 1976)。これらの研究は, 我々の脳には, 自己運動時に網膜上の光点の運動処理を抑制するメカニズムが存在することを示唆する。また, このメカニズムによって自己運動時の視覚世界の安定性が実現している可能性が高い (Wallach et al., 1987)。

自己運動に関する情報は主に前庭系と視覚系によって与えられる。従来, 自己運動時の視覚運動知覚について調べた研究は全て自己運動情報を前庭刺激によって与えていた。すなわち, 被験者を実際に動かしながら様々な視覚運動刺激を提示するという手法である。一方, 人間は視覚情報のみによっても自己運動を知覚することができる (ベクシオン, Fischer & Kornmuller, 1930)。前庭系は加速度に対して一過的に応答する特性を持つのに対して, 視覚系は持続的に応答が可能であり, 等速自己運動や自己運動方向の検出にとって非常に重要な役割を果たしている (Dichgans & Brandt, 1974)。そこで本研究では, ベクシオン生起時の視覚運動処理に関して, MAE を指標として検討を行った。もし, 上述のメカニズムが前庭情報だけではなく, 視覚的自己運動情報によっても駆動されるものであるなら, 強いベクシオンが生じる条件ほど, その後の MAE が小さくなると考えられた。従来, 強いベクシオンが生起するほど (実際には視覚運動刺激が提示されているにもかかわらず) 視覚世界が静止して見えやすいとの報告されており (Dichgans & Brandt, 1978), 上

述のメカニズムがベクシオン生起時にも作用している可能性が高い。

<方法>

視覚刺激提示装置にはヘッドマウントディスプレイ (Oculus Rift DK2) を用いた。ゲームエンジンである Unity を用いて半径 1.5 m × 高さ 3 m の円筒の中心軸と観察者の垂直軸が一致するように視覚刺激をシミュレートした (図 1(A))。円筒の壁は黒色とし, その壁には直径 2.5° の白色円形ドットを複数配置した。ドット密度は 15% または 40% であり, 円筒は時計回り方向に 30°/s で等速回転運動を行った。

すべての試行において, 最初の 3 秒間は赤色注視点のみを提示し, その後視覚運動刺激を 60 秒間提示した。運動刺激消失直後, 静止円筒刺激を 60 秒間提示した (図 1(B))。運動刺激提示中にはベクシオン生起・非生起を報告させ, 静止円筒刺激提示中には MAE の消失を報告させた。すべての刺激を消失させた後, ベクシオン強度をマグニチュード推定法によって報告させた (0: 「動いていない」, 100: 「実際に動いているのかわからない」)。運動刺激提示から最初にベクシオンが報告されるまでの時間をベクシオン潜時, 60 秒間にベクシオンが生起していた時間の合計をベクシオン生起時間とした。

実験条件には, 高刺激密度条件 (ドット密度: 40%) と低刺激密度条件 (ドット密度: 15%) を設けた。これは密度が高いほど強いベクシオンが生起すると報告されているためである (Brandt et al., 1975)。各条件を 5 試行ずつ交互に行った。実験 1 では MAE のための静止刺激として, 運動刺激提示時と同じ密度の視覚刺激を提示した。したがって, 高刺激密度条件と低刺激密度条件では異なっていた。それに対して実験 2 では, MAE のための静止刺激として両条件で中密度刺激 (ドット密度: 25%) を用いた。観察者数は実験 1 では 14 名, 実験 2 では 8 名であった。

<結果と考察>

実験 1 の結果, 高刺激密度条件と低刺激密度条件を比較すると, いずれの指標においても高刺激密度条件で有意に強いベクシオンが生起したことが示された (ベクシオン潜時: $t_{13} = 4.26, p < .001$; ベクシオン潜時: $t_{13} = 11.40, p < .001$; ベクシオン強度: $t_{13} = 11.41, p < .001$)。また, 高密度条件ほど MAE が有意に小さくなることも示された ($t_{13} = 2.91, p = .012$)。

実験 2 の結果を図 2 に示す。実験 1 と同様に, 高刺激密度条件と低刺激密度条件を比較すると, いずれの指標においても高刺激密度条件で有意に強いベクシオンが生起したことが示された (ベクシオン潜時: $t_7 = 7.28, p < .001$; ベクシオン潜時: $t_7 = 6.12,$

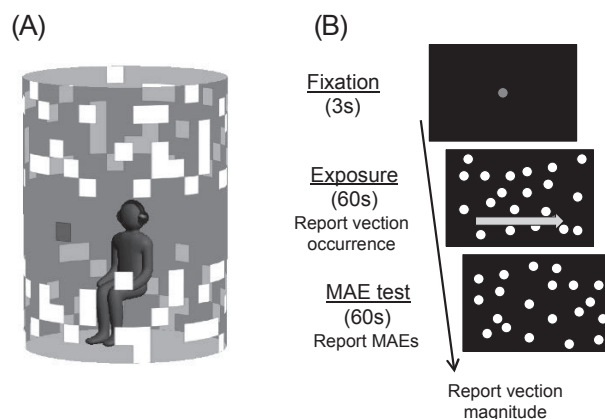


図 1. 実験刺激(A)および 1 試行の流れ(B)

$p < .001$; ベクシオン強度: $t = 8.23$, $p < .001$)。また、高密度条件ほど MAE が有意に小さくなることも示された ($t = 4.17$, $p = .004$)。さらに、ベクシオンの強さの各指標と MAE の個人間の相関関係を調べたところ(図 3(B)), 中程度以上の有意な相関が見られ(ベクシオン潜時×MAE: $r = .78$, $p < .001$; ベクシオン生起時間×MAE: $r = -.57$, $p = .022$; ベクシオン強度×MAE: $r = -.76$, $p < .001$)、強いベクシオンが生起した観察者ほど MAE も小さくなることが示された。

以上の結果から、強いベクシオンが生起するほど、MAE は小さくなることが示された。このことは、視覚刺激によって自己運動知覚が惹起される時であっても前庭刺激によって自己運動知覚が惹起される時と同様に、視覚運動処理を抑制するメカニズムが作用していることを示唆する。

従来、MAE には少なくとも 2 種類あることが知られている (Mather, 2008 for a review)。本実験のように MAE のテスト刺激として静止刺激を用い

る場合と運動方向が曖昧な動的刺激(主にフリッカ一運動刺激)を用いる場合で異なり、静止刺激を用いた場合には低次視覚運動処理(輝度分布の処理段階)の特性が反映されやすく、動的刺激を用いた場合には高次視覚運動処理(輝度よりも高次の属性の処理)の特性が反映されると考えられている。今後は動的 MAE を調べることによって、自己運動情報による抑制が及ぶ範囲を明らかにしていく。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトがきっかけとなって、東北大学電気通信研究所および熊本大学文学部の 2 大学による共同研究体制が発足した。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。また、前年度までのプロジェクトの工学的応用を目指した研究については、科学研究費補助金基盤研究(B)「人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立」(代表: 坂本修一, 分担: 寺本渉)として採択され、プロジェクトを進めている。さらに、前年度はシドニー大学の William L. Martens 先生を分担者と加え、議論を行った。これをステップとして、平成 28 年度以降は、国際共同研究、国際共著論文の執筆へと発展することが期待できる。

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。

[4] 成果資料

・ Sakamoto, S., Hanakago, K., Cui, Z., Teramoto, W., Suzuki, Y., & Gyoba, J. (2016) Effect of visual and vestibular information on auditory space perception. ASA2016 Spring.

・ 花籠慶史, 坂本修一, 寺本渉, 鈴木陽一, 行場次朗 (2015) 横方向への直線等加速度自己運動が音空間知覚に与える影響. 日本音響学会聴覚研究会資料, 45(8), 653-657.

・ Sakamoto, S., Teramoto, W., Terashima, H., & Gyoba, J. (2015) Effect of active self-motion on auditory space perception. Interdisciplinary Information Sciences Journal, 21(2), 167-172.

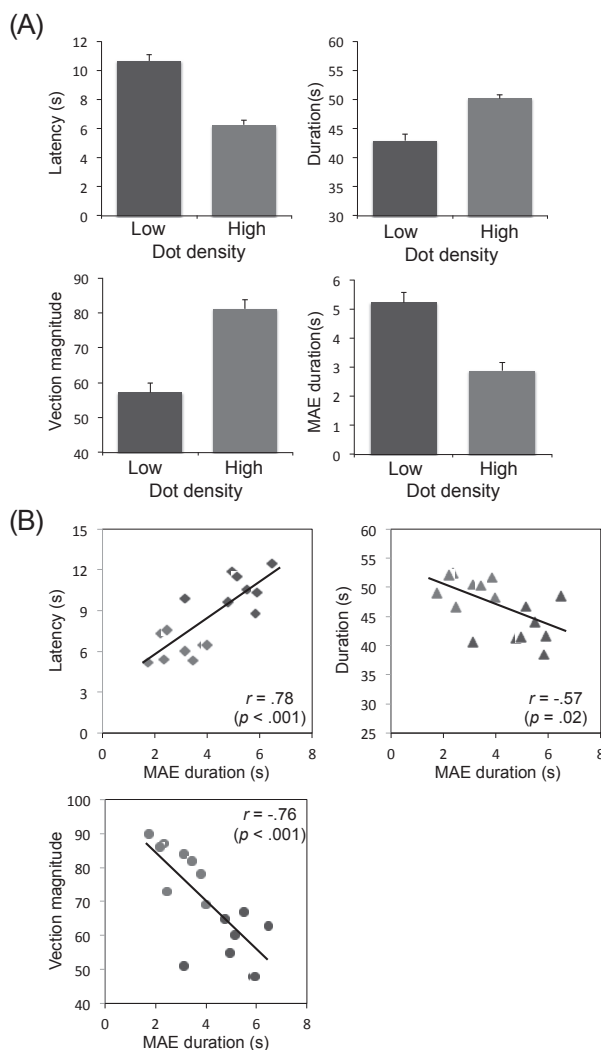


図 2. 実験 2 の結果

採択番号 H27/A13

モノラル音の知覚と頭部伝達関数の関係に関する研究

[1] 組織

代表者：森川 大輔

(北陸先端科学技術大学院大学)

対応者：坂本 修一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：平原 達也 (富山県立大学)

延べ参加人数：6 人

研究費：物件費 13 万 7 千円、旅費 18 万 9 千円

[2] 研究経過

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) や両耳に到達する音圧レベルの差 (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ピークやノッチ (Spectral cue: SC) と言われている。特に水平方向の知覚には、ITD と ILD が主に用いられていると言われている。一方、ITD、ILD、SC のうち単耳で知覚できるのは SC のみだが、近年の研究から、ヒトは単耳のみしか使えない状況であっても水平面方向の知覚が可能であることがわかってきた。この結果から、ITD と ILD が主体的であるためにこれまであまり議論されてこなかった水平面方向の知覚に、SC が大きく影響していることが予測される。また、単耳受聴である音源から一つの音を呈示した場合に、呈示する方向によっては音の像が二つに分離して知覚され、分離する呈示方向は受聴者によって異なることが発見された。SC のみではこのような分離知覚が生じる原因を説明できないため、この結果からヒトが ITD、ILD、SC だけではなく、単耳に到達する音の音圧レベルや、周波数ごとの位相差を利用していることが予測される。したがって、ヒトが単耳受聴でどのようにそれぞれの情報を利用しているか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重要な課題であるといえる。そこで、本研究では、単耳受聴に周波数ごとの位相差や音圧レベル、SC が与える影響

を統合的に明らかにすることを目的として、単耳受聴で音像が分離知覚される条件及び、単耳受聴時の音像の知覚と HRTF の関係について調査を行った。

本プロジェクトは、本年度が第 1 年度である。

以下、研究活動状況の概要を記す。

研究打ち合わせ、実験及び討論

平成 27 年 11 月 16 日～17 日

東北大学電気通信研究所において、研究打ち合わせを行い、実験を行うとともに、実験結果について議論した。

平成 28 年 2 月 25 日

共同プロジェクト研究発表会にてポスター発表し、得られた結果や今後の展開について議論した。

[3] 成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。

まず第 1 に、単耳受聴で音像の分離知覚が生じる条件を明らかにするために、ラウドスピーカを用いた実音源の聴取実験を無響室内で、HRTF を合成して作成した刺激音をヘッドホンから呈示する仮想音源の聴取実験を防音室内で行った。刺激音には、両耳に耳栓をした状態で聴取できない音圧 (40 dB 程度) の白色雑音を用い、片耳に耳栓をした状態で聴取した。その結果、実音源では無響室内であっても音像の分離知覚が生じるということが明らかになった。この結果から、実音源での音像の分離知覚の要因が壁や床からの反射でないことが明らかになった。また、分離知覚が生じる呈示角度は被験者によって異なるもののおおよそ正面から閉塞耳側に 25° ～ 45° の間で、音像は前後に分離して知覚された。一方、仮想音源では音像の分離知覚が生じなかった。

そこで、仮想音源での音像の定位がどの程度可能かを明らかにするために、水平面 12 方向の HRTF を合成した刺激音による単耳受聴時の音像定位実験を静止条件と被験者の頭部運動によって合成する HRTF の角度を変化させる条件で行った。左耳を閉塞して行った実験の結果を図 1, 2 に示す。横軸が呈示角度、縦軸が回答角度、円の大きさが回答回数を

示している。角度は正面を 0° として時計回りである。同図から仮想音源での単耳による音像定位では、どちらの条件でも全ての音像が $90^\circ \pm 30^\circ$ に定位、つまり解放耳側だけに定位された。この結果は、解放耳側はおおよそその定位が可能というこれまでの実音源の報告と傾向が異なる。これは、仮想音源では音像が全て側方に知覚されるために、実音源では前後に分離していた音像が同じ位置に知覚されるため、分離しなかったと考えられる。

第2に、単耳受聴時の音像の知覚と HRTF の関係を明らかにするために、受聴者の HRTF の計測と実音源での聴取結果との比較を行った。計測した1名の左耳側の HRTF を図3に示す。この受聴者で分離知覚を生じた 30° 周辺では、8 kHz と 10 kHz 周辺に大きなノッチがあるが、同程度の組み合わせのノッチは周辺の角度にも存在する。また、SC を再現している仮想音源の条件では分離知覚が生じていない。したがって、単耳受聴時にヒトは SC 以外の情報を利用していると考えられる。この成因を明らかにするため、現在ラウドスピーカで呈示した刺激音と、HRTF を合成して呈示した刺激音の違いについて検討を行っている。

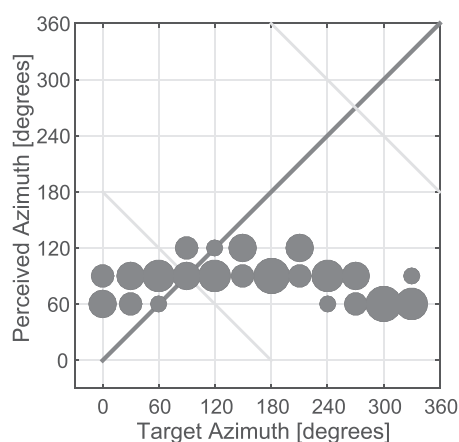


図1: 静止条件での定位結果

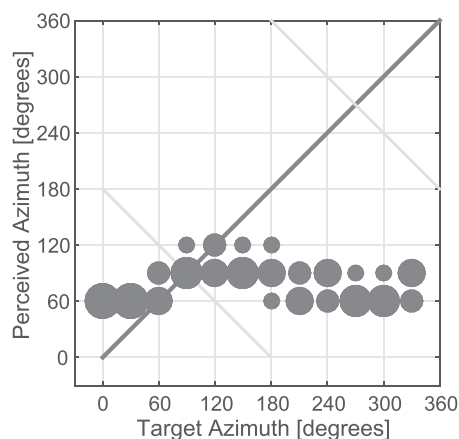


図2: 運動条件での定位結果

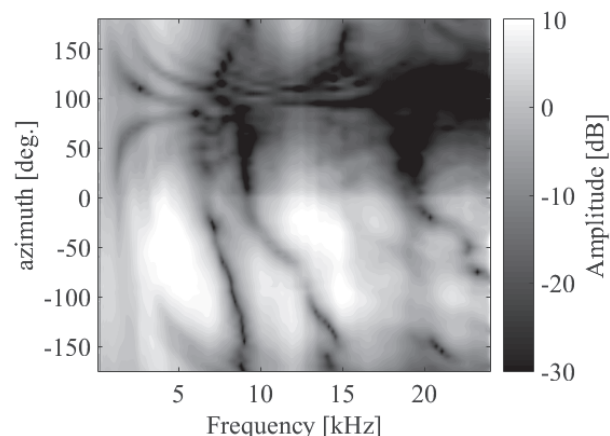


図3: 受聴者1名の左耳の HRTF

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトから得られた結果は、ヒトの聴覚メカニズムの解明につながるものであり、来年度以降も研究を継続する予定である。また、本プロジェクトは、東北大学と北陸先端科学技術大学院大学による共同研究の継続に貢献するとともに、2大学の若手研究者の交流・育成にもつながっている。さらに、本プロジェクトから得られた知見の一部は工学的にも役立つものであり、近年需要が拡大している補聴器等の設計指針への利用や、マイクロホン一本での音源方向推定システムへの応用が期待される。このうち、音源方向推定システムについては、下記のプロジェクトで来年度以降も研究を行う予定である。

- ・プロジェクト名
ヒトの聴覚能力に基づく汎用モノラル音源方向推定法の実現可能性
- ・資金制度、研究費名
電気通信普及財団 研究調査助成
- ・配分機関名
電気通信普及財団
- ・研究期間
平成28年4月1日～平成29年3月31日

[4] 成果資料

(1) Daisuke Morikawa, Masaru Ando, Masashi Unoki, “Feasibility of estimating direction of arrival based on monaural modulation spectrum,” The Eleventh International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Adelaide, Australia, 2015.9.

H27/A14

半導体微細加工と脂質二分子膜の融合に基づく高機能バイオ情報デバイスの創成

[1] 組織

代表者：平野 愛弓

(東北大学大学院医工学研究科)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

木村 康男 (東京工科大学コンピュータサイエンス学部)

廣瀬 文彦 (山形大学大学院理工学研究科)

手老 龍吾 (豊橋技術科学大学 環境・生命工学系/エレクトロニクス先端融合研究所)

谷井 孝至 (早稲田大学理工学術院)

井出 徹 (岡山大学大学院自然科学研究科)

星野 忠次 (千葉大学大学院薬学研究院)

菅原 正雄 (日本大学文理学部)

山本 英明 (東北大学学際科学フロンティア研究所)

馬 騰 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数 131 名 (シンポジウム参加者を含む)

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 22 万 2 千円

[2] 研究経過

バイオエレクトロニクスは 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テクノロジーの融合に基づく、バイオテクノロジー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。

本研究では、生体高分子の中でも、特に創薬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の融合により、新規なバイオ電子・イオンデバイスとしてのイオンチャネルチップやアレイの開発を目指している。具

体的には、微細加工により作製したシリコンチップ中に細胞膜構造を構築し、その膜中に生体イオンチャネルを包埋したイオンチャネルチップを開発する。この技術が開発されれば、イオンチャネルタンパク質に対する新規候補薬物の副作用誘発性についての高精度な解析が可能となり、バイオエレクトロニクスの分野の更なる発展にも貢献できる。半導体工学の研究者とチャネル研究の分野で活躍する研究者とが協力して、新しいバイオエレクトロニクスの分野を開拓すると期待される。

初年度の本年度は、これまでに研究代表者らが開発してきた安定化脂質二分子膜デバイスへの効率的なイオンチャネル包埋法と、その保持体となるシリコン基板の高効率作製プロセスの確立について検討した。これにより、ヒト由来の様々なイオンチャネルタンパク質の脂質二分子膜中への包埋と、チャネル電流の記録に成功している。平成 28 年 2 月 22－23 日、平成 28 年 3 月 1－3 日には、ナノ分野とバイオ分野の研究者を集めて、共同プロジェクト研究会共催の国際シンポジウムを開催し、周辺領域の研究者との交流を行うとともに、勉強の場とした。以下にその概要を示す。

The 4th 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会

日時：平成 28 年 2 月 22 日 (火)－23 日 (水)

場所：東北大学電気通信研究所

ナノ・スピン実験施設

4 階カンファレンスルーム

2 月 22 日 (火)

「MRI enabled activity mapping throughout the entire brain volume」M. Osanai (Tohoku Univ., Japan)

「Surface engineering technologies for constructing and analyzing neuronal circuits」A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

「Towards high-throughput acquisition of axonal-delay

maps using high-density microelectrode arrays」 U. Frey (RIKEN, Japan)

「Modelling spike signalling in the hippocampal axons」 H. Kamiya (Hokkaido Univ., Japan)

「Function follows form: Controlling signal propagation by patterning populations of neurons」 J. Albers (Jülich Research Center, Germany)

「Spontaneous activity patterns of small neuronal ensembles」 H. Yamamoto (Tohoku Univ., Japan)

2月23日(水)

「Neural circuit reorganization during epileptogenesis」 R. Koyama (Univ. Tokyo, Japan)

「Optimizing electrical stimulation for treatment of Parkinson's disease and epilepsy」 T. Netoff (Univ. Minnesota, USA)

「Numerical optimization of deep brain stimulation by direct search」 S. Kubota (Yamagata Univ., Japan)

「A modelling perspective of prefrontal cortex gamma-band activity in a multi-item working memory task」 P. Herman (Royal Inst. Technology, Sweden)

「On the action potential propagation: Established model and its limitations in myelinated axon」 J. Madrenas (Technical Univ. Catalunya, Spain)

「Brain inspired adiabatic quantum computing and learning」 S. Sato (Tohoku Univ., Japan)

The Joint Symposium of 9th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 6th 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
CREST, JST

日時：平成28年3月1日(火)－3日(木)

場所：東北大学電気通信研究所
ナノ・スピン実験施設
4階カンファレンスルーム

3月1日(月)

「Acoustic Holography by Two-Dimensional Ultrasound Array Synthesis」 O. A. Sapozhnikov (Moscow State Univ., Russia)

「Reconstruction of Ultrasound Pressure Field by Combination of Optical Phase Contrast Measurement and Acoustic Holography」 S. Yoshizawa (Tohoku Univ. Japan)

「Numerical Simulation for Development of Advanced HIFU Therapy」 K. Okita (Nihon Univ., Japan)

「Image Guided Therapeutic Applications of High Intensity Focused Ultrasound」 N. T. Sanghvi, (SonaCare Medical, USA)

「Monitoring of High-intensity Focused Ultrasound Lesion Formation Using Decorrelation between High-speed Ultrasonic Images by Parallel Beamforming」 Ryo Takagi (Tohoku Univ., Japan)

「Plasma Agricultural Applications using Reactive Species Controlled by Atmospheric Pressure Air Discharge」 K. Takashima (Tohoku Univ., Japan)

3月2日(火)

「Self-organized TiO₂ nanotube arrays: Latest features and applications」 Patrik Schmuki (University of Erlangen-Nuremberg, Germany)

「Emerging Applications of Nanostructured Silicon」 N. Koshida (Tokyo University of Agri. & Tech., Japan)

「Crystal growth and interfacial modification for highly efficient perovskite solar cells」 T. Ma (Tohoku Univ., Japan)

「Improved Process of Fabricating Silicon Chips with Micro-Apertures for Formation of Mechanically Stable Bilayer Lipid Membranes」 D. Tadaki (Tohoku Univ., Japan)

「Polymer-Stabilized Lipid Membranes: Enabling Platforms for Nanopore Sensors and Beyond」 C. A. Aspinwall (Department of Chemistry and Biochemistry, University of Arizona, USA)

「Observation of Supported Lipid Bilayer Membranes Incorporated with Membrane Proteins」 R. Tero (Toyohashi Univ. of Tech., Japan)

「Integration of human ion channels in bilayer lipid membranes formed in microfabricated apertures」 A. Hirano-Iwata (Tohoku Univ., Japan)

「Pulse driven light-addressable potentiometric sensors for chemical imaging」 C. F. Werner (Tohoku Univ., Japan)

「Non-invasive measurement of blood glucose level based on mid-infrared spectroscopy using optical-fiber probe」 Y. Matsuura (Tohoku Univ., Japan)

3月3日(水)

「Molecular diagnostics with nanopore electronics」 Maurits de Planque (Univ. Southampton, UK)

「Sensor Arrays for Stochastic Detection from Neurotransmitters to Nanoparticles」 Bernhard Wolfrum (Technical University of Munich, Germany)

「Characterization of Exosomes using Atomic Force Microscopy and Scanning Electron Microscopy」 T. Ogino (Yokohama National University, Japan)

「Characteristics of single electron device fabricated by repeated dispersion of gold nano particles」 M. Moriya (The Univ. of Electro-Comm, Japan)

「RT atomic layer deposition of TiO₂ and its application to nanoparticle coating」 F. Hirose (Science and Engineering, Yamagata University, Japan)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

初年度となる本年度は、以下に示す研究成果を得た。研究代表者らはこれまでに、ナノテーパー構造を縁部にもつ微細孔を作製したシリコンチップ中に脂質二分子膜を形成することにより、機械的強度の高い二分子膜系を構築できることを見出し (*Langmuir*, 26, 1949–1952 (2010).), このシリコンチップ中に、薬物副作用評価の観点から注目されているタンパク質 hERG チャンネルを包埋し、薬物副作用を記録することに成功している (*Anal. Chem.*, 85, 4363–4369 (2013).). しかし、チャンネルを膜中に組み込める確率が低く、high-throughput 化に向けての障害となっていた。そこで初年度の本年度は、このチャンネル包埋過程の高効率化に着手した。チャンネル包埋におけるキーププロセスとなるチャンネル含有プロテオリポソームと脂質二分子膜の膜融合過程に関して調査し、プロテオリポソームが脂質二分子膜へと近接していく過程が律速段階であるとする文献 (*Zimmerberg et al.*, *PNAS*. 94, 14423–14428 (1997).) に着目し、その過程を遠心力によって促進するアプローチについて検討した。その結果、上述の hERG チャンネルを含む様々な種類のイオンチャンネルに対し、高い確率で脂質二分子膜中に包埋できるようになり、約 70% の確率でチャンネル電流を記録できた (図)。この結果は、従来の記録確率 6% に比べて 10 倍以上も効率が上がったことを意味しており、本手法により、測定のスループットを飛躍的に向上させることに成功した。この他、脂質二分子膜の絶縁性と栄養透過性とを兼ね備えた性質を神経細胞の活動記録法に応用し、細胞外電位記録法にグリア細胞膜を結合することによりこの方法の課題であった微小信号を増幅することにも成功している。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

半導体微細加工とバイオ素子との融合を目指す研究は、近年、ますます盛んになっている。特に、イオンチャンネルタンパク質は、創薬における主要ターゲットであることや、hERG チャンネルに対する薬物副作用の問題から、イオンチャンネルに対する新規なアッセイ系の構築への需要が高まっている。成熟した半導体微細加工に基づく固体デバイスとタンパク質、特に膜タンパク質のイオンチャンネルタンパク質とを結合させようとする試みは、今大きな発展を迎える時期にあり、今後の研究の進展が大いに期待される。このような期待から、本プロジェクト研究およびその前身のプロジェクト研究「人工脂質二分子膜の形成とバイオ情報デバイスへの応用」H24/13 を基盤とした研究プロジェクトが、平成 26 年度の 科学技術振興機構 (JST) の CREST に採択されている。

研究課題名： 超絶縁性脂質二分子膜に基づくイオン・電子ナノチャンネルの創成

研究期間： 平成 26 年–平成 31 年

CREST 研究の方も初年度であり、本プロジェクト研究の成果に基づいて、要素技術を着実に積み重ねており、研究の発展と飛躍が期待される。

[4] 成果資料

- (1) Ryosuke Matsumura, Hideaki Yamamoto, Michio Niwano, and Ayumi Hirano-Iwata. “An electrically resistive sheet of glial cells for amplifying signals of neuronal extracellular recordings.” *Appl. Phys. Lett.*, 108, 023701 (2016).
- (2) Ayumi Hirano-Iwata, Yutaka Ishinari, Hideaki Yamamoto, and Michio Niwano. “Micro- and Nano-Technologies for Lipid Bilayer-Based Ion-Channel Functional Assays.” *Chem. Asian Journal*, 10, 1266–1274 (2015).

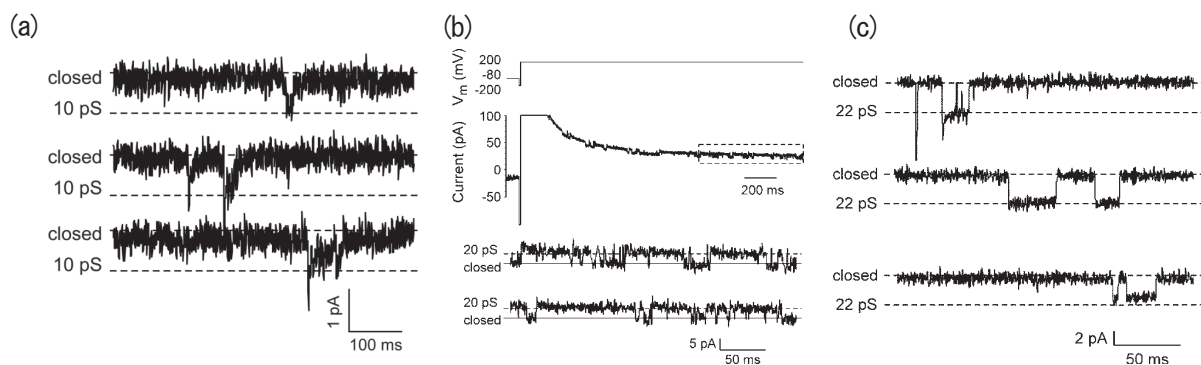


図. 本手法により記録したヒトチャンネル電流の例. (a) hERG チャンネル, (b) Nav1.5 チャンネル, (c) GABA_A 受容体.

採択回数 (若手)	1	2	3
--------------	---	---	---

採択番号 H27/A15

感覚刺激の処理速度による視聴覚間同期知覚の 変容過程の解明

〔1〕組織

代表者：竹島 康博

(文京学院大学人間学部)

対応者：Jorge Trevino

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

鈴木 陽一 (東北大学電気通信研究所)

行場 次朗 (東北大学大学院文学研究科)

延べ参加人数：4人

研究費：物件費 13 万 7 千円、旅費 14 万 5 千円
若手特別支援費 20 万円、

〔2〕研究経過

TV 通話のように、遠隔地との通信を映像と共に行う場合には、映像と音声との時間的同期が違和感のない通信のために必要となると考えられる。本プロジェクトでは、映像と音声の時間的同期に関わる要因として感覚刺激の処理速度に着目し、受け手が受け取りやすい情報伝達技術への知見を提供することを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であった。代表者のこれまでの研究の知見を基に、感覚刺激の処理速度が視聴覚刺激間の時間的同期判断に与える影響や、視聴覚相互作用に波及する過程、および時間的再校正過程へ与える影響を解明するための心理物理実験を実施した。

実験は、2015 年 8 月に 2 週にわたって実施した。1 週目に各実験参加者の視聴覚間の時間的同期の特性を調べた。我々は、視聴覚間の時間的同期に対して緩やかな時間窓をもっており、視覚刺激と聴覚刺激の提示タイミングが物理的に同期していなくても、ある程度のずれに対しては同期していると判断する。この特性について、各参加者が視覚刺激と聴覚刺激最も同期していると知覚する提示タイミングは、主

観的同期点 (PSS) という指標で表される。この指標を用いて、視覚刺激の複雑さを変えることによって処理速度を操作し、複雑さの程度による視覚刺激と聴覚刺激の時間的同期に対する特性を検討した。なお、複雑さの操作は先行研究で提唱されている同等集合サイズ (ESS) の概念を用い、同等集合サイズが 4 のパターンを単純な視覚刺激 (ESS4)、8 のパターンを複雑な視覚刺激 (ESS8) として使用した。

2 週目は、各実験参加者の PSS を刺激のパラメータに反映して、分裂錯覚と呼ばれる視聴覚統合によって生じる錯覚現象の生起頻度を、複雑さの異なる視覚刺激間で比較する実験を行った。分裂錯覚とは、1 回の短い視覚刺激の提示に、2 回の短い聴覚刺激の提示を同期させることで、視覚刺激の提示回数も 2 回に知覚されるという現象である。代表者のこれまでの研究から、1 回目の視覚刺激と聴覚刺激を同期して提示した場合には、複雑な視覚刺激では分裂錯覚が生じにくいことが示されている。また、このような視覚刺激の複雑さによる分裂錯覚の生起頻度の違いには、視覚刺激と聴覚刺激の同期知覚の変容が関連していることも示唆されている。そこで、実験参加者ごとに 1 週目に取得した単純な視覚刺激と複雑な視覚刺激の PSS の値に近似するように 1 回目の視覚刺激と聴覚刺激の提示タイミングを調整し、分裂錯覚の生起頻度が PSS の値の近似値と対応するのかが検討を行った。

合わせて、視聴覚間の時間的再校正過程を検討する実験を実施した。視覚と聴覚では、そもそも適応刺激である光波と音波の伝達速度が大きく異なっている。同時に、感覚皮質の反応潜時も視覚と聴覚の間で異なることが知られている。そのため、視覚刺激と聴覚刺激の時間的同期を判断する機構には、このような感覚間にある「ずれ」を補正するような仕組みが備わっている。具体的には、視覚刺激と聴覚刺激をある一定のずれを持ったタイミングで提示し続けることでその「ずれ」がある状態を「同時」と知覚するようになり、提示前と比較して PSS が変化

する。このような仕組みは、「時間的再校正」と呼ばれている。視覚刺激の複雑さによって視覚と聴覚の時間的同期知覚が変容することから、この時間的再校正の過程も、視覚刺激の複雑さによって異なる可能性がある。もし違いがあるとすれば、その違いを明らかにしていくことで複雑さが異なっても映像と音声を同時と知覚させる仕組みへの知見を提供できると考えられる。そこで、視覚刺激の複雑による時間的再校正過程を検討するための実験を実施した。

なお、代表者の所属の関係上、研究に関する打ち合わせは基本的にメール等で行った。ただし、実験実施のために出張した際には、実験内容の最終確認を含めて直接研究の打ち合わせを行い、方針等を確認した。

[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。

まず第1に、視覚刺激の複雑さによる視覚刺激と聴覚刺激の時間的同期知覚の特性が明らかとなった。複雑な視覚刺激は処理効率が低いため、処理速度が遅いことが報告されている。代表者のこれまでの研究では、高空間周波数のガボールパッチのように処理速度が遅い視覚刺激を使用した場合には、聴覚刺激よりも先行して視覚刺激を提示した時に最も提示タイミングが同期していると知覚されることが明らかとなっている。しかし、全実験参加者のPSSを平均したところ、今回の実験では単純な刺激と複雑な刺激の間でPSSの値に大きな違いは見られなかった(図1)。一方で、個々のPSSの値を見ていくとばらつきが非常に大きく、そのために平均した場合には視覚刺激間でPSSの値が変わらなかったと考えられる。ガボールパッチの空間周波数による処理速度の違いは、各空間周波数に反応する外側膝状体(LGN)の細胞チャンネルの潜時や、そこから視覚皮質へと信号を伝達する際の伝達速度の違いから生じている。

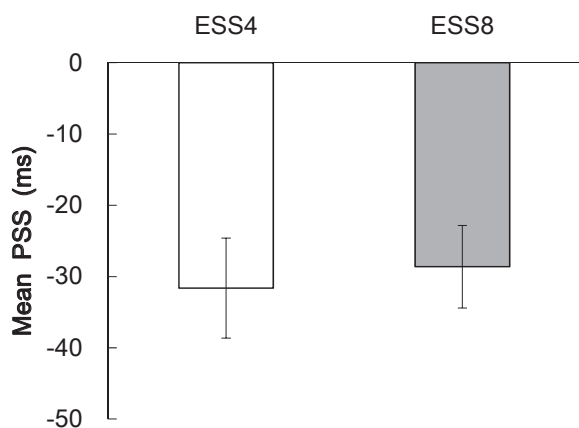


図1. 全実験参加者の主観的同期点の平均値。エラーバーは標準誤差を示す ($n = 21$)。

それに対して、視覚パターンの複雑さはパターンを見た際に脳内で行われる認知的な変換の負荷によって、処理速度の違いが生じている。したがって、視覚パターンの処理速度の違いは、ガボールパッチと比較してより高次の認知的な処理過程から生じているといえる。このことが、PSSの値のばらつきを生じさせる要因になったのではないかと推測される。

第2に、各実験参加者のPSSの値を基に視覚刺激と聴覚刺激の提示タイミングを調整した場合に、分裂錯覚の生起頻度にどのような影響を与えるのかを検討することができた。実験の結果は、単純な視覚刺激のPSSに合わせた場合も、複雑な視覚刺激のPSSに合わせた場合にも、複雑な視覚刺激の方が単純な視覚刺激と比べて分裂錯覚の生起頻度が低くなっていた(図2)。事前の予測では、複雑さに合わせた提示タイミングにすることで、単純な視覚刺激に合わせた場合には単純な視覚刺激が、複雑な視覚刺激に合わせた場合には複雑な視覚刺激が高い錯覚の生起率を示すと考えていた。しかし、前述したように実験参加者間でPSSの値のばらつきが非常に大きかったことから、視覚刺激と聴覚刺激の提示タイミングと分裂錯覚の生起頻度が理論通りには対応しなかったと推測される。

最後に、第3として単純な視覚刺激と複雑な視覚刺激では時間的再校正の過程が異なることが明らかとなった。今回の実験では、聴覚刺激が視覚刺激に先行して提示される状態と、後続して提示される状態にそれぞれ順応させ、その後のPSSの値の変化を調べた(図3)。その結果、単純な視覚刺激ではそれぞれ順応した(聴覚刺激が視覚刺激より先行もしくは後続して提示されている)状態を時間的に同期していると判断するようにPSSの値が変化していた。一方、複雑な視覚刺激では順応前後でPSSの値の変化は生じていなかった。同時に、視覚刺激と聴覚刺激の時間的同期知覚の丁度可知差異(JND)についても測定を行った(図4)。この指標は刺激間の同期判断のばらつきを表すもので、JNDの値が大きくなると視覚刺激と聴覚刺激の提示タイミングが大きすぎていても同時と判断されることを意味する。つまり、JNDの値の大きさは時間的同期の時間窓の広さを表す指標といえる。この指標についても単純な視覚刺激と複雑な視覚刺激で、順応の前後の値の比較を行った。その結果、単純な視覚刺激では順応の前後でJNDの値は変化していなかった。一方で、複雑な視覚刺激では順応後にJNDの値が大きくなっており、時間的同期知覚の時間窓が広がっていた。以上の結果をまとめると、単純な視覚刺激では時間的再校正が生じてPSSの値が変化したのに対して、複雑な視覚刺激では時間的再校正は生じなかったものの

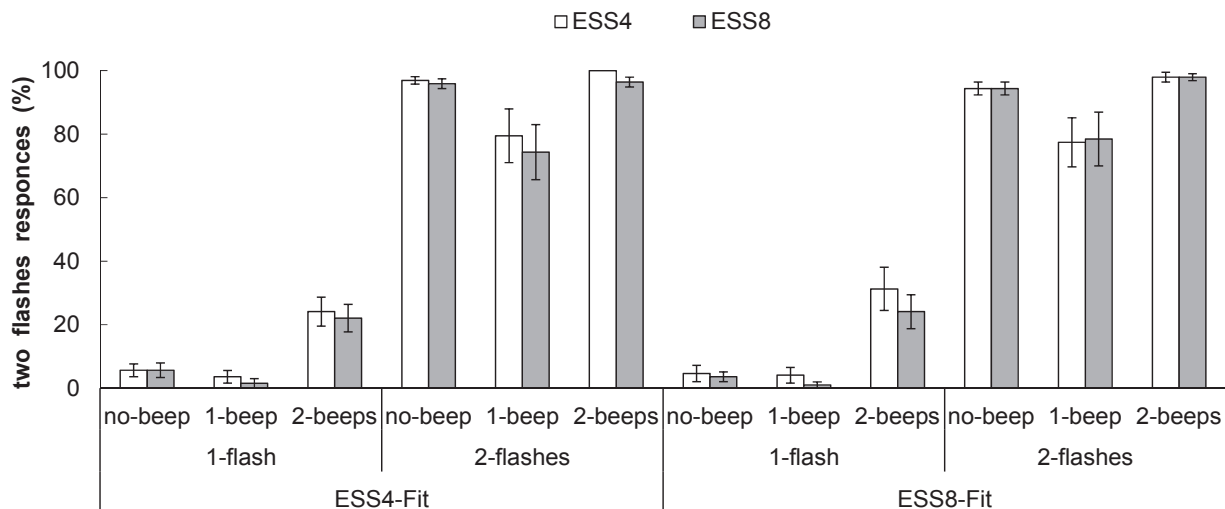


図 2. 視覚刺激と聴覚刺激の提示タイミングを調整した場合の分裂錯覚の生起頻度。エラーバーは標準誤差を示す ($n = 21$)。

同期知覚の時間窓が拡張していた。複雑な視覚刺激は処理速度が遅く、分裂錯覚のような視聴覚統合によって生じる錯覚の生起頻度が低くなる。そのため、順応によって時間窓が広くなるという結果は、処理速度の遅い複雑な視覚刺激でも聴覚刺激との同期知覚を柔軟に行うような仕組みが人間に備わっていることを示唆する結果であるといえる。

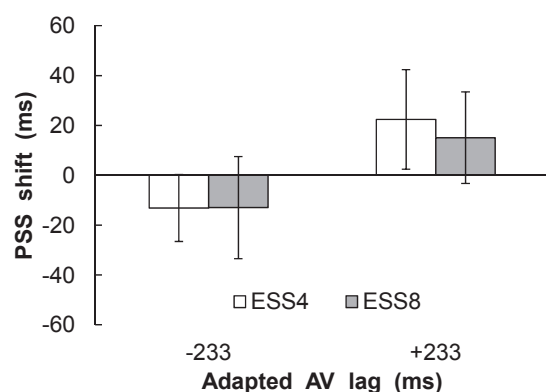


図 3. 順応の前後における PSS の変化量。エラーバーは 95%信頼区間を示す ($n = 21$)。

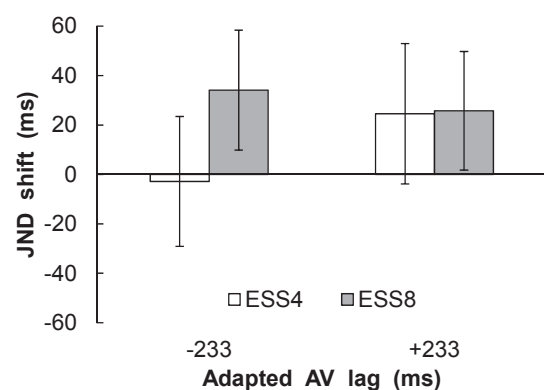


図 4. 順応の前後における JND の変化量。エラーバーは 95%信頼区間を示す ($n = 21$)。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの研究成果は、第7回多感覚研究会において発表を行った。この研究会では、多感覚情報処理の研究を行っている心理学分野の研究者だけでなく、工学など代表者とは異なる分野の研究者も参加している。そのような場で研究発表による報告を行うことで、本プロジェクトが目指していた感覚刺激の処理速度が時間的同期に与える影響のメカニズムの面での議論から、情報伝達技術への応用の面での議論まで行うことができ、今後の展望を検討する良い機会を得ることができた。これにより、今後同様の、または近接した内容の研究課題によるプロジェクトを進める上での土台作りを行うことができた。

また、本プロジェクトは若手研究者対象型の特別支援を受けることができた。これにより、充実した研究費によって資料や備品を揃えることができた。また、研究打ち合わせおよび実験実施のための出張費として使用することができた。これにより、既存の実験設備を使用することができたため、新たに実験環境を構築する手間が省け、研究を円滑に進めることができた。

[4] 成果資料
該当なし

採択番号 H27/A16

災害経験をかたりつぐ ICT に関する対話型・実践型研究

[1] 組織

代表者：佐藤 翔輔

(東北大学災害科学国際研究所)

対応者：Trevino Lopez Jorge Alberto

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

鈴木 陽一 (東北大学電気通信研究所)

今村 文彦 (東北大学災害科学国際研究所)

林勲男 (国立民族学博物館)

Maly Elizabeth (東北大学災害科学国際研究所)

山崎麻里子 (中越防災推進機構)

渡邊敬逸 (愛媛大学社会共創学部設置準備室)

井出明 (追手門学院大学経営学部)

大須武則 (石巻ビズターズ産業ネットワーク)

黒澤健一 (がんばろう！石巻の会)

中川政治 (公益社団法人みらいサポート石巻)

延べ参加人数：30 人

研究費：物件費 13 万 7 千円、旅費 19 万 4 千円、

若手特別支援費 20 万円

[2] 研究経過

2011 年に発生した東日本大震災は、近年発生した災害の規模の類を見ない。それに伴ってか、これまで発生した近年の災害以上に、「語り部」や「被災地案内（ガイド）」等の被災した地域で研修、修学旅行などを目的にした人々に発災当時や復興の過程を伝えようとする事業が多くの地域で実施されている。さらには、「語り部」や「被災地案内」において、また現地の展示施設等において、被災状況や復興状況をデジタル写真、インタビュー映像、電子地図、AR（拡張現実）技術、3D 撮影といったデジタルコンテンツを活用してタブレット端末等で災害の経験を伝えようとする ICT も開発・利用されており、ICT は災害伝承を効果的に行うツールとして高い期待が集まっている。その一方で、ICT ツールを活用した災害を伝承する事業は、一部の地域に限定されていたり、開発した ICT ツールが有効に活用されていないなどの課題がある。ICT ツールが災害の経験を伝え

るサポートを行う上で、どのような機能が求められ、どのような用途が効果的なのかは明らかにされていない。

本研究は、災害の経験を伝承する手段としての ICT の可能性に着目し、ICT に求められる要件を明らかにすることを目的とする。具体性や実現性の高い要件を明らかにするために、災害伝承を目的にした ICT ツールの開発者と、それを利用する側である語り部や被災地ガイド（ユーザー）の対話の場をつくり、ワークショップ形式によって、災害をかたりつぐ ICT に求められる要件を明らかにする。本研究の意義は、今後の災害を伝承するという、減災を目的にしたコミュニケーションをより効果的なものにするにある。

本プロジェクトは、本年度が第 1 年度であった。本年度は、石巻市、東松島市、名取市において ICT ツールを用いている団体と対話型ワークショップを行うとともに、ICT ツールに対する利用者の評価を質問紙調査によって明らかにした。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- 1) 石巻市ワークショップ：みらいサポート石巻、石巻市における語り部（2016 年 2 月 29 日）
- 2) 東松島市ワークショップ：東松島市図書館、東松島観光物産協会、東松島市語り部ガイド（2015 年 11 月 4 日、2016 年 2 月 5 日）
- 3) 名取市ワークショップ：名取市観光協会（2015 年 10 月 8 日）
- 4) 研究会（2016 年 2 月 24 日）

[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。

まず第 1 に、石巻市の語り部や現地団体とのワークショップ（石巻市ワークショップ）において、東日本大震災の発生から 5 年を迎えた語り部や被災地ガイドが抱える現状の課題を明らかにした。具体的には、語り部や被災地ガイドによる震災前の様子や震災発生当時の内容を伝えるだけでは、利用者の高

い満足度を得られない現状にあることが明らかになった。昨今の利用者は、中学生・高校生を中心とする修学旅行生が多く、修学旅行を計画する学校側は「地元に戻ったときに役立つ、具体的な防災」「語り部や被災地ガイドから学んだことの総括」に高い期待がある。現状の語り部や被災地ガイドのほかに、これに関連する新たなプログラムやそれを支援するICT ツールのニーズが明らかになった。継続申請においては、この新たなプログラムの研究・開発の支援・実践研究を行う。

第2に、東松島市では、東松島市図書館、東松島市観光物産協会、東松島市語り部ガイドとワークショップを行い（東松島市ワークショップ）、東松島市図書館が開発した「まちなか震災アーカイブ」の課題を明らかにした。東松島市の「まちなか震災アーカイブ」とは、市内にQRコードが掲示されており、そこから、震災発生当時のデジタル写真を閲覧できる仕組みである。同仕組みの課題は、現状、開発者側が主催するワークショップのみで使用されており、地元住民や来訪者の自発的な利用がなされていないことが明らかになった。継続申請においては、地元の小中高校生と連携して、地域の子どもが利用しやすいパッケージづくりを支援する実践的研究を行う。

第3に、名取市では、名取市観光協会とワークショップを行い（名取市ワークショップ）、名取市観光協会ほか関係者が開発した、AR スマートグラスの検証を行った。名取市のAR スマートグラスは、被災現場にて、実際の場所で震災発生当時の様子をグラス上に投影するものである。利用者への質問紙調査によって、リアリティを感じられるという傾向が明らかになったものの、ワークショップにおいてガイド側の操作不慣れやメンテナンスの困難性が課題となっていることが明らかになった。継続申請においては、代替方策による解決策や適切な運用方法を実践的研究によって明らかにしていく。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

（1）大型プロジェクトへの発展

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、日本学術振興会・課題設定による先導的人文学・社会科学研究推進事業・実社会対応プログラム「効果的・持続的な災害伝承を目的にした拠点構築手法のモデル化と実践的研究」プロジェクトに発展した。また、本プロジェクトで明らかになった以上の実践知に関する成果は、現場の実践知が生み出す効果的な震災伝承のICT ツールとその運用に関する研究という新しい研究領域の開拓（萌芽的研

究の発見）に結びつき、今後の発展が期待されている。

- ・プロジェクト名：効果的・持続的な災害伝承を目的にした拠点構築手法のモデル化と実践的研究
- ・資金制度、研究費名：日本学術振興会・実社会対応プログラム（公募型）
- ・配分機関名：東北大学（代表：佐藤翔輔）
- ・研究期間：2015年10月～2018年9月

（2）研究者と実務者の「対話の場」構築

東日本大震災の被災地で震災伝承を生業として実施されている大須武則氏（石巻ビジターズ産業ネットワーク）、黒澤健一氏（がんばろう！石巻の会）、中川政治氏（公益社団法人みらいサポート石巻）を招聘し、研究者と実務者の「対話の場」の構築が実現し、大きく研究が推進した。

（3）特別支援（若手）にかかる研究推進

特別支援（若手）により、外部有識者として、林勲男准教授（国立民族学博物館）、井出明准教授（追手門学院大学）、山崎麻里子研究員（中越防災推進機構）を招聘し、同プロジェクトに多大なる貢献をいただけた。

〔4〕 成果資料

【査読付き論文】

- 佐藤翔輔：発生から 50 年を迎えた「災害の記憶」の現状把握と災害・防災教育の試み—1964 年新潟地震をテーマにした小学生対象の出前事業から—, 自然災害科学, Vol. 35, No. 1, (印刷中)
- Miwa Kuri, Ikuko Miyahara, Shouske Sato, Mahito Watanabe, Kazuyuki Nakagawa: Think Geopark on Stricken Area: Disaster and Gift of Geo, Journal of Disaster Research, Vol.11 No.3 (印刷中)
- 佐藤翔輔, 永村美奈, 今村文彦：中小規模の災害対応組織の活動過程に対する体系的な記録手法の提案—東日本大震災における七ヶ浜町ボランティアセンターの災害対応を例にして—, 自然災害科学, Vol.34, No. 3, pp.225-241, 2015.11.

【口頭発表】

- 平川雄太, 佐藤翔輔, 鹿島七洋, 今村文彦：宮城県沿岸部の津波由来地名と 3.11 津波浸水域との対応関係, 平成 27 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, 2016.3.5
- 佐藤翔輔, 今村文彦：東日本大震災の経験を踏まえた「教訓」のオンライン発信—その 1：研究者の見解にもとづく教訓抽出・共有の試み—, 地域安全学会東日本大震災特別論文集, No.4, pp.75-78, 2015.10. (地域安全学会・東日本大震災特別委員会ワークショップ in 気仙沼)
- 佐藤翔輔, 平川雄太, 鹿島七洋, 奥村誠, 今村文彦：津波伝承知メディアが人的被害の軽減に及ぼす影響に関する一次的分析—津波碑と津波由来地名に着目した東日本大震災の事例検討—, 第 34 回日本自然災害学会年次学術講演会講演概要集, pp. 125-126, 2015.9.24-25

【講演】

- 佐藤翔輔：東日本大震災の特徴および交流ワークショップ, 大阪ジュニア・リーダー・東松島ジュニア・リーダー交流ワークショップ「ともに考える東日本大震災からの学び」, 東松島市, 2016.3.26
- 佐藤翔輔：震災伝承を災害科学からアプローチする, みやぎボイス 2016 (後半テーブル C「震災の伝承・風化・次の災害に向けて」), 2016.2.28
- 佐藤翔輔：「海と生きる～未来に向けた防災のあり方～」, 平成 27 年度「気仙沼市防災フォーラム」～津波防災研究の最前線～, 2016.1.28
- 佐藤翔輔：東日本大震災の教訓を活用するために—「伝承」の検証と「伝達」の取り組み—,

南海トラフ広域地震防災研究プロジェクト地域研究会・第 6 回関西地域研究会, 2016.1.27

- 佐藤翔輔：社会の減災を指向する災害アーカイブと災害伝承—「みちのく震録伝」と震災発生から 5 年目の災害科学的アプローチ, 平成 27 年度東日本大震災アーカイブ国際シンポジウム—地域の記録としての震災アーカイブ—, 2016.1.11
- 佐藤翔輔：防災・減災をまなぶポイント：「災害科学」の超入門, 石巻西高等学校, 東松島市市民開放講座, 2015.11.10
- 佐藤翔輔：語り手さんの体験談をふりかえる, 東松島市市民開放講座「東日本大震災を語り継ぐ～未来への伝言」, 2015.8.21
- 佐藤翔輔：防災・減災に活きる「災害科学」の超入門とその実践—災害・防災・減災ってなに？—, 宮城県多賀城高等学校, 2015.7.9
- 佐藤翔輔：防災ワークショップ・防災のポイント, 東松島市立大曲小学校, 東松島市図書館主催, 2015.6.10

【監修・協力, 一部執筆】

- 東松島市教育委員会 生涯学習課 東松島市図書館：東日本大震災の証言, 2016.3.31

採択回数	1	2	3
(萌芽・若手)			

採択番号 H27A17

感覚情報間の同期性の判断がコンテンツの臨場感・迫真性に与える影響に関する検討

[1] 組織

代表者：大谷 智子

(東京藝術大学芸術情報センター)

対応者：Jorge Trevino

(東北大学電気通信研究所)

分担者：鈴木 陽一 (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)

行場 次朗 (東北大学文学部)

延べ参加人数：9人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 18 万 1 千円

若手特別支援費 20 万円

[2] 研究経過

通信技術の発展に伴って大規模データを伝送することが可能となった今，データの質の向上が課題となってきた。複数の感覚情報が同時に提示されるコンテンツの評価指標として，現実感，自然性，没入感，臨場感，迫真性などがあげられている。このうち，臨場感と迫真性という感性に着目し検討を行ってきた。先行研究において，臨場感や迫真性の規定因や，感覚モダリティ間における各感性評価が異なることは明らかにされている。これまで我々は，振動情報に付与する情報が視覚情報か聴覚情報かによって，情報間の同期ずれに対する感性評価が異なる傾向を持つことを示した。この原因の一つとして，情報間の同期性に対する判断が，臨場感や迫真性の評価に影響を及ぼしている可能性が考えられた。そこで，本研究では，視覚－振動情報間の同期，聴覚－振動情報間の同期を操作した際の，情報間の同期性判断と臨場感や迫真性の評価を測定し，これらの情報間の同期性に対する主観的な判断が，感性評価に影響を及ぼしているどうか検討することを目的とした。

本プロジェクトは，本年度が第 1 年度であった。本年度は，データの採取および解析を重点的に行った。以下，研究活動状況の概要を記す。これら以外にも，学会・研究会場などで打合せを行った。

第 1 回研究打合せ 2016 年 2 月 3～5 日

電気通信研究所内の防音シールド室にて実験をおこなった。

第 2 回研究打合せ 2016 年 2 月 22～25 日

今後予定している調査や 7 月に予定されている国際学会のシンポジウムの登壇内容について検討した。また，東北大学にて開催された共同プロジェクト研究報告会に参加した。

第 3 回研究打合せ 2016 年 3 月 6～8 日

今年度の成果について総括し，次年度以降の研究計画について議論した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

まずは，本研究の共通する実験手続きを説明する。本研究では，情報間の同期性判断と臨場感や迫真性の評価を測定し，これらの情報間の同期性に対する主観的な判断が，感性評価に与える影響を検討した。実験刺激は，予備検討と同様に，被験者が線路脇に立っていることを想定し，電車の姿が視認されてから，電車が通過するまでの映像，音声，振動データが約 16 秒間収録された素材を用いた。映像刺激を，プロジェクタからスクリーンに投影した。音声刺激を，被験者が装着する密閉型ヘッドフォンを通じて提示した。振動刺激を，モーションプラットフォームを用いて，被験者に対して z 軸方向の全身振動となるように提示する。被験者は図 1 のようにモーションプラットフォームに上がり，ヘッドフォンを装着し，スクリーンに向かって立った。実験者は，被験者の視野中央に映像刺激の中心が提示されるように，映像刺激の提示位置を設定した。実験第 1 部では，被験者は，1 試行を終える毎に，臨場感と迫真性の感性評価をそれぞれ行った。感性評価は，「全くない (0)」から「非常にある (6)」の 7 件法とした。第 2 部は，実験刺激は第 1 部と同様であるが，被験者は，1 試行を終えるごとに，音声情報と振動情報，もしくは，視覚情報と振動情報が同期していたか否かを判定した。

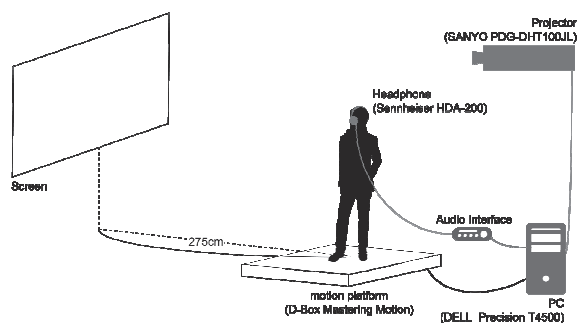


図1 実験環境

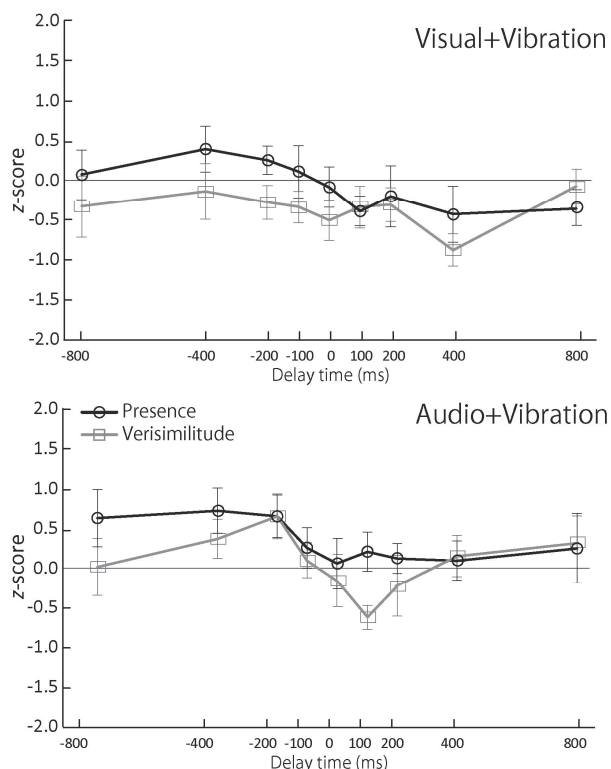


図2 振動情報をずらして提示した際の感性評価 (n=11)

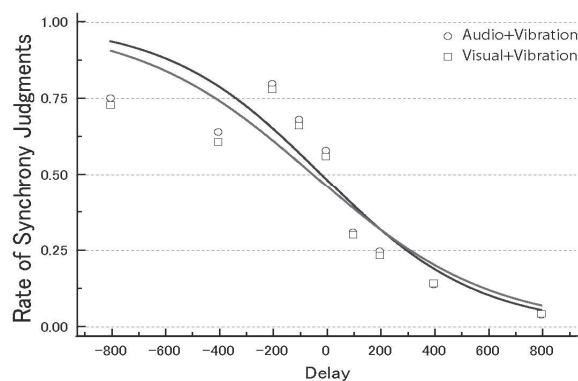


図3 音声—振動間および映像—振動間の同期性判断 (n=11)

時間ずれ要因における感性評価を図2に示した。音声提示条件のほうが映像提示条件よりも評価値が高い傾向であることがうかがえる。また、振動情報が400~200 ms 早く提示されるほうが、感性評価が高いことがわかる。図3の感覚情報間の主観的な同期判断の結果とあわせると、情報間の同期性に対する主観的な判断が、感性評価に影響を及ぼしているといえる。本実験での繰り返し回数は、同期性判断における主観的な等価値を求めるには不十分ではあるため、次年度以降はデータを追加してさらなる検討をしていく。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究によって、臨場感や迫真性が高評価となる最適な条件が心理実験を通じて明らかにすることにより、人間の感性情報処理の解明だけではなく、伝送に必要な情報と不要な情報を伝送するデータの質の向上という工学的な応用につながることを期待されている。

若手研究者対象型予算区分を使用して、電気通信研究所内の機材に対応した、本研究推進に必要なソフトウェアを導入することができた。これにより、測定がスムーズに進行することになった。

本プロジェクトは、2016年7月24~29日に開催される The 31st International Congress of Psychology 2016 (ICP2016)のテーマセッション「臨場感・迫真性」の口頭発表に選出された。

[4] 成果資料

(1) Tomoko OHTANI (accepted). Effect of vibration on the sense of presence and verisimilitude of audio-visual information, The 31st International Congress of Psychology 2016, (Contributed Symposium Symposiast).

採択回数	1	2	3
(萌芽・国際)			

採択番号 H27A18

話者映像が音声刺激の系列再生に及ぼす影響

〔1〕組織

代表者：大谷 智子

(東京藝術大学芸術情報センター)

対応者：坂本 修一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

鈴木 陽一 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：13 人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 26 万 6 千円

国際特別支援費 30 万円

〔2〕研究経過

人間は会話をする際、相手の音声を聞くのみではなく、相手の表現や目線、口元など多くの視覚情報を得て、円滑なコミュニケーションをとっている。従来研究において、話者映像と音声知覚は相互に影響しあうことが確認されている（例：読唇，マガー効果）。その後の映像情報の一時的な記憶に、映像とは無関連な音声情報が影響を及ぼすことが知られている（例：無関連言語音効果）。我々は、日常生活のコミュニケーション場面を想定し、無関連言語音効果の実験とは逆の、音声情報の一時的な記憶に及ぼす話者映像の影響について検討してきた。その結果、話者映像は了解度には貢献するが、記憶の保持には干渉する可能性が示唆された。しかし、これらの刺激にさらにスピーチノイズを重畳し、音声情報の一時的な記憶（系列再生）と音声情報の了解度について分析したところ、すると、了解度には統計的に有意な差が得られなかったにもかかわらず、スピーチノイズの大きさによって、記憶成績が変化することが明らかになった。この結果は、音声入力時の精度を保つだけでは、人間が音声情報を理解し反応することができない可能性を示唆したといえる。本プロジェクトでは、この現象が生じたメカニズムの解明を通して、マルチモーダル環境下における、音声知覚から記憶、反応に至る人間の情報処理過程を明らかにすることを目的として研究を行った。

1 年目にあたる本年度は、前年度までに採取したデータの解析および追加実験を行った。また、

以下、研究活動状況の概要を記す。これら以外にも、学会・研究会などで打合せを行った。

第1回研究打合せ 2016 年 2 月 3～5 日

研究進捗を報告し、3 月に予定している調査について検討した。また、今後の研究計画についても議論した。

第2回研究打合せ 2016 年 2 月 22～25 日

電気通信研究所内の防音室にて実験を行った。3 月に予定している調査について検討した。また、東北大学にて開催された共同プロジェクト研究報告会に参加した。

第3回研究打合せ 2016 年 3 月 6～8 日

次年度以降の研究計画について議論した。

〔3〕成果

（3-1）研究成果

本研究の実験手続きを説明する。実験刺激には、親密度別単語了解度試験用音声データセット 2007 (FW07) から選定した 4 モーラの単語および数字の音声と、話者がそれらを発声している映像 (図 1) を用いた。これらは東北大学電気通信研究所無響室内で話者映像と音声を収録した。了解度試験は、数字もしくは単語をランダムな順番で提示し、被験者には、音声提示されるたびに、直ちに回答用紙に聞き取った数字を記入して回答するよう指示した。系列再生課題では、数字または単語をランダムな順番で音声提示する。実験では、数字列を提示する際には、被験者が予測できないように同じ数字が複数回表示されるよう設定した。被験者には、9 個の数字がすべて音声提示された後、直ちに提示された順に回答用紙に記入して回答するよう求めた。

本年度にデータを収集した実験の条件について説明する。表 1 に示したように、4 つの条件で構成した。話者映像がなく課題音声である数字の音声のみ再生される Control 条件、話者映像がなく数字（課題音声）と妨害単語の音声再生される Sound only 条件、数字を話す話者映像と課題音声の再生中に妨害単語の音声再生される Digit-matched 条件、妨害単語を話す話者映像と課題音声の再生中に数字の

音声が生再生される Word-matched 条件である。実験条件はランダムとした。被験者は、各条件を終えるたびに約 5 分の休憩をとった。



図 1 実験で用いた話者映像

表 1 実験条件

Exp.	Control	Sound only	Digit-matched	Word-matched
Visual stimuli	(none)	(none)	Digits e.g. [ichi]	Words e.g. [yu-ku-su-e]
Audio stimuli	Target ¹ sound	Digits e.g. [ichi]	Digits e.g. [ichi]	Digits e.g. [ichi]
	Distractor ¹ sound	(none)	Words e.g. [yu-ku-su-e]	Words e.g. [yu-ku-su-e]

実験の結果、話者映像の有無や課題音声と内容が一致しているかどうかで、系列再生課題の成績に有意な差は認められなかった。しかし、図 2 に示されたように、Digit-matched 条件と Word-matched 条件の間に有意な差が認められなかった。これについて考察する。Digit-matched 条件は、話者の唇の動きと課題音声と一致しているため、妨害刺激から課題音声を分離しやすく、課題音声に対する処理を促進することが可能である。Word-matched 条件は、話者の唇の動きと妨害音声と一致しているため、妨害刺激を認識しやすくなったと考えられる。すなわち、妨害刺激の処理を抑制しやすくなったと考えられる。この課題音声の処理の促進と、妨害音声の処理の抑制にかかる処理容量が同程度だったために、Digit-matched 条件と Word-matched 条件の系列再生率に差が認められなかったと考えられた。この点について、共同研究者である Katholische Universitat Eichstatt-Ingolstadts の Juergen Hellbrueck 教授らと議論し、Digit-matched 条件と Word-matched 条件の成績に差が得られなかった理由について、追加実験が必要であると結論づけた。そのため、引き続き、被験者の記憶能力のばらつきによる影響を最小限にするため、さらに多くの被験者のデータを収集する。

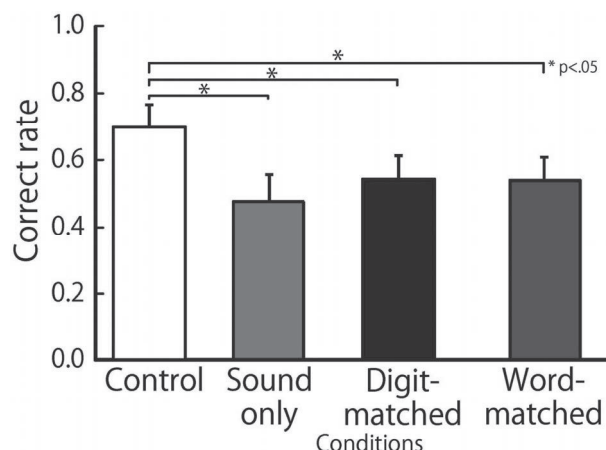


図 2 実験条件ごとの系列再生率

縦軸は系列再生率の平均値、横軸は実験条件である。エラーバーは標準誤差である。Control 条件とその他の条件間に有意な差が得られた ($F(3,33) = 12.68$, $p < .05$)。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究の推進によって、聴覚情報と視覚情報などのマルチモーダルな環境下における人間の情報処理過程を解明するだけではなく、快適なコミュニケーション環境を創出する技術開発の基礎的な知見となりうる。福祉工学の分野において、健常者と障がい者が、共に映画鑑賞をしたり、ミュージアム鑑賞をしたりすることができるためにデバイス開発が進められている。このような、視覚や聴覚に障がいを持った方々のコミュニケーションを支援する情報提示技術開発にもつながることが期待されている。

国際共同研究推進型予算区分を使用し、韓国から Prof. Hack-Yoon Kim (Department of Electronic Engineering, Cheongju University), Dr. Jae-Gap Suh (Div. Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science), ドイツから Dr. Anna Warzybok (Medical Physics and Cluster of Excellence Hearing4all Department of Medical Physics and Acoustics University of Oldenburg) らを招いた。滞在期間中は、深い議論をすることができた。

[4] 成果資料

(1) Tomoko Ohtani, Shun Trai, Shuichi Sakamoto, and Yōiti Suzuki (2015). "Effects of a movie of speaker's irrelevant speech utterance on recall task", 16th International Multisensory Research Forum, Pisa.

採択回数	1	2	3
(先端)			

採択番号 H27/A19

ロングパスエコーを考慮できる 音声了解度の物理評価指標の開発

〔1〕組織

代表者：佐藤 逸人

(神戸大学大学院工学研究科)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

森本 政之 (神戸大学)

坂本 修一 (東北大学電気通信研究所)

佐藤 洋 (産業技術総合研究所)

延べ参加人数：8人

研究費：物件費13万7千円，旅費18万4千円

〔2〕研究経過

地球環境に人間が住まう上で、自然災害による被災は不可避であるが、適切に災害情報を伝達することにより減災が可能である。一般に防災行政無線とよばれる屋外拡声システムは、早い段階で多くの自治体で整備された比較的古い技術であるが、情報の受け手が特別な装置を持つ必要が無く、不特定多数に向けて一斉に情報送信が可能というユニークな利点を持つことから、今後もその有用性は変わらないと考えられる。しかし、その情報伝達の確実性については、東日本大震災後の社会調査において、20%もの市民が防災行政無線の屋外拡声装置からの拡声音をよく聞き取れなかったことが明らかにされており、改善の余地が多い。

本プロジェクトでは、確実な情報伝達を実現する屋外拡声システムを設計するための根幹技術である音声了解度の評価指標の開発について、特に明瞭性を低下させる原因となるロングパスエコーの影響を考慮する方法に着目して研究を行なった。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。以下、研究活動状況の概要を記す。

研究打ち合わせを、2015年5月8日～9日と2015年7月6日～7日の合計2回実施し、研究の方向性を確認した。その後、2015年度後半に次項にまとめた研究を順次進めた。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

<研究方針>

既存の音声了解度の物理評価指標は主に屋内を対象として提案されたものであり、ロングパスエコーの影響を考慮できないとされている。ロングパスエコーの影響は、直接音からの遅れ時間だけでなく、直接音との到来方向の差に代表される空間特性によって大きく変わる。しかし、研究代表者らの先行研究において、防災行政無線で送信される音声の帯域幅の範囲では、受音点における両耳間差情報を用いれば、ロングパスエコーの影響を空間特性まで含めて評価できる可能性が示唆された。そこで、両耳に入力する信号に着目し、バイノーラル測定したインパルス応答の特性から、音声了解度の物理評価指標を求める方法の検討を行うこととした。

<既往の研究>

屋外拡声システムの音声了解度を評価するにあたり、背景雑音と反射音の影響の考慮は必須である。この両者を評価できる物理評価指標として、Speech transmission index (STI)[1]と Useful-detrimental ratio (U 値) [2]が挙げられる。このうち、STIについては、測定用の振幅変調雑音を、実頭ないしダミーヘッドを用いてバイノーラル測定して算出する Binaural STI[3]が提案されている。Binaural STIでは、以下の2つのモデルを、両耳で測定した2つの信号から単一指標を算出するために用いる。

(1) Better ear モデル

左右の耳入力信号からそれぞれ指標を算出し、いずれか高い方を採用する。

(2) Cross-correlation モデル

左右の耳入力信号の二乗時間波形の相互相関関数を短時間の窓をかけて連続的に算出することにより、任意の左右の時間差 τ における統合された二乗時間波形の包絡線を求め、これを基に指標を算出する。

Binaural STI では、500 Hz から 2 kHz の音声認

識に重要な帯域に(2)のモデルを用い、そのほかの帯域には(1)のモデルを用いるとされているが、(2)のモデルが重要な帯域で優先される理由については明記されていない。また、STI そのものの計算方法も複雑であることから、全体として非常に難解な方法となっている。

そこで、本研究では、計算が簡易なU値に上述の2つのモデルをそれぞれを適用して算出したBinaural U値を用いて、音声了解度が予測可能かを検討した。

<了解度と Binaural U 値の関係>

研究代表者らは、先行研究[4]において直接音とロングパスエコーの到来方向を様々に変えた音声了解度実験を行なった。本プロジェクトでは、この実験で用いられた音場において、まず、比較対象として、頭部中心相当の位置においてモノラル測定を行ない、U値を算出した。次に、ダミーヘッドによるバイノーラル測定を行ない、左右の外耳道入口におけるインパルス応答、音声の音圧レベル、背景騒音の音圧レベルをそれぞれ測定した。その結果から、500Hzから4kHzの4つのオクターブバンドについて、(a) Better ear モデル、(b) Cross-correlation モデルの2つを適用したBinaural U値を算出し、その平均値で音声了解度の予測を試みた。また、3つ目のモデルとして、(c) (a)と(b)の最大値を採用するモデルを提案し、これも同様に4つのオクターブバンドの平均値を算出した。以上の結果を図1と図2に示す。

モノラル測定におけるU値(図1)では、音の空間特性を考慮できないため、音声了解度との対応が悪い。一方、Binaural U値(図2)では、適用したモデルによらず音声了解度と高い相関が見られ、限定された音場の範囲ではあるが、音声了解度を高い精度で予測できる可能性が示された。

<結論>

ロングパスエコーを考慮できる音声了解度の物理評価指標の開発について、本年度は以下を明らかにした。

- (1) 模擬頭の外耳道入口で測定したインパルス応答から算出したBinaural U値を用いれば、ロングパスエコーの影響を空間特性まで含めて評価できる可能性がある。
- (2) Better ear モデルと Cross-correlation モデルのいずれを用いた場合でも、Binaural U値と音声了解度の相関は高い。
- (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音声了解度の物理評価指標に関する研究成果は、日本音響学会の「災害等非常時屋外拡声システムのあり方に関する技術

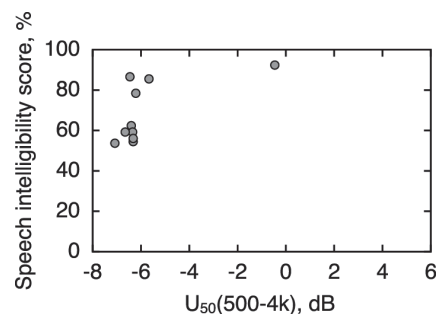


図1 音声了解度とU値(モノラル測定)の関係

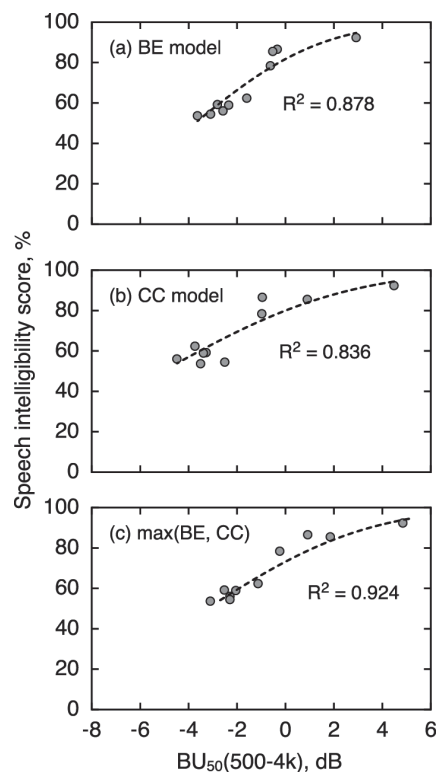


図2 音声了解度とBinaural U値の関係

調査研究委員会」が策定している「災害等非常時屋外拡声システム性能確保のための規準案」[5]の改訂に資するものであり、今後の発展が期待されている。

[4] 成果資料

研究成果の対外発表は2016年度以降に順次実施する。

文献

- [1] IEC-60268-16 (2011).
- [2] J. Audio Eng. Soc. 46, 396-405 (1998).
- [3] J. Acoust. Soc. Am. 123, 4514-4523 (2008).
- [4] 日本音響学会建築音響研究会資料 AA2015-21 (2015).
- [5] http://asj-disaster-prevention.acoustics.jp/wordpress/wp-content/uploads/2015/04/ASJ_屋外拡声規準案_本文解説20150331.pdf

採択回数 (先端)	1	2	3
--------------	---	---	---

H27/A20

光ファイバーネットワークを用いた地震・津波・地殻変動の計測技術に関する研究

[1] 組織

代表者：新谷 昌人

(東京大学地震研究所)

対応者：中沢 正隆

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

三ヶ田 均 (京都大学大学院工学研究科)

浅川 賢一 (海洋研究開発機構)

高橋 幸男 (海洋研究開発機構)

荒木 英一郎 (海洋研究開発機構)

小林 直樹 (宇宙航空研究開発機構)

高森 昭光 (東京大学地震研究所)

新藤 雄吾 (沖電気工業株式会社)

坂田 正治 (元防災科学技術研究所)

葛西 恵介 (東北大学電気通信研究所)

坪川 恒也 (真英計測)

田村 良明 (国立天文台水沢)

酒井 浩考 (東京大学地震研究所)

大里 優一郎 (東京都市大学)

渡邊 力夫 (東京都市大学)

延べ参加人数：16人

研究費：物件費 13 万 7 千円, 旅費 13 万 6 千円

[2] 研究経過

わが国は地殻活動が活発なプレート境界に位置し、しばしば地震や火山噴火による災害に見舞われており、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重要である。地震や火山噴火は本質的に地下深部で起こる現象であり、発生域で直接観測することは困難である。また、不均質な地殻で起こる破壊や流動現象であり、正確な発生場所を特定することも難しい。そのため、従来陸上においては地震計やGPSによる観測網、海域では複数の自己浮上式地震計やケーブル式地震計による観測など、地表・海底における多点観測が行われてきた。しかし、国土全体を稠密にカバーするのは困難であり、地殻活動が活発な地域においては観測点の密度は不十分で、地震・火山噴火の被害を契機に監視が強化され

るといった後手の対応になりがちである。

本研究では、光ファイバーネットワークの稠密性と光計測式センサーの精度・耐環境性の両者の特長を活かし、地殻活動を面的監視する計測技術に関する研究を行う。とくに、火山観測を行うための絶対重力計、地下深部観測のための地震計、津波計について、光ファイバーを用いた基礎実験を行い、ネットワーク化への展望を計る。それらのうち、本年度は絶対重力計に関する研究を実施した。

絶対重力計は測定点での重力加速度を9桁の精度で計測する装置であり、地盤の上下変動や地下の密度変動を検知することができる。とくに火山観測では、地下のマグマ移動を検知し火山活動の物理過程の理解や活動予測に役立てられることが期待されている。地震研究所ではこのような用途を想定した小型絶対重力計の開発を行っている。9桁の精度で重力加速度を検知するために、真空中で自由落下する鏡の変位を周波数安定化レーザーによる干渉計と原子時計に基づいたサンプリング周期で計測する（ともに9桁以上の精度）。周波数安定化レーザーとしてはヨウ素安定化 He-Ne レーザーが用いられてきたが、複数の観測装置の面的な展開とそれらのネットワーク化を見据え、2009年に電気通信研究所と共同で1.55 μm の通信波長帯の周波数安定化光源を用いた絶対重力計による試験的な観測を実施した。光ファイバーネットワークを利用した面的観測の利点として、その空間的な情報量とともに高精度計測に必要な安定化光源を各観測点に同時に配信できることが挙げられる。

本年度は、当時より可搬性が向上された絶対重力計 TAG-1 を用いて、装置固有の系統誤差の評価を行った。また、この装置と落体の投げ上げ装置を組み合わせ、火山帯での試験観測を実施した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

地震研究所では、マグマなど地下の流体移動を重力変化によって検知するための小型絶対重力計 TAG-1 を開発した (図1)。計測の誤差となる地面

振動を補正するための組み込み加速度計や計測に使用する落体の回転を抑えるサイレントドロップ法により、TAG-1 は市販の絶対重力計 FG-5 (Micro-g solutions 社、米国) の 70% 程度のサイズとなった。

2013 年 7 月に霧島観測所で試験観測を行った結果、既存の絶対重力計と同等の $1\mu\text{Gal}$ 以内の精度を確認した。一方、絶対値については過去の測定結果と比べて $20\mu\text{Gal}$ 程度小さい値であった。その間、GPS データによると地殻変動は顕著でなかったため、測定結果は装置の系統誤差による可能性があった。

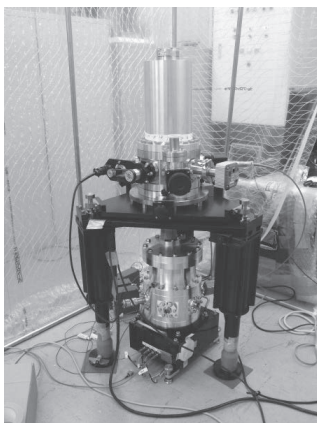


図1 小型絶対重力計 TAG-1

そこで、まず TAG-1 の系統誤差評価を行った。図2に示すように、本装置は真空中で自由落下する落体の位置を下部の参照鏡を基準にレーザー干渉計で計測し、その結果を解析処理し重力加速度の絶対値を算出する。その際の系統誤差として、

1. AD 変換器の特性および重力解析プログラムの計算に伴う誤差
 2. レーザー干渉計の干渉光強度を検出する光検出器の特性に起因する誤差
 3. 落体を解放した際の反作用による地面の揺れによる誤差
- が挙げられる (図2の各番号の付いた枠に対応)。

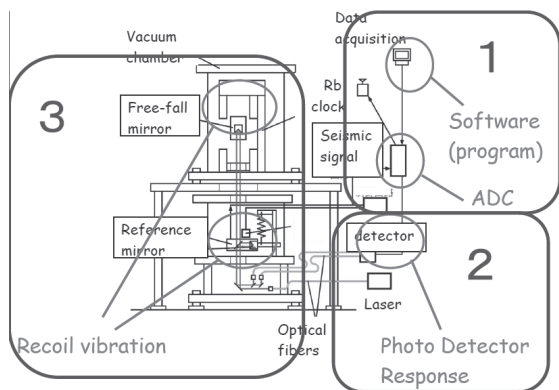


図2 TAG-1 のしくみと系統誤差の要因

1. については、発振器を用いた AD 変換器の特性の実測と、擬似データによる解析プログラムの計算誤差評価により、合わせて $2.5\mu\text{Gal}$ の補正が必要であることがわかった。また、2. については、光検出器の周波数特性を測定したところ、3次のフィルター特性と近いことがわかり、それによる系統誤差は $30.5\mu\text{Gal}$ の補正に相当する。

3. については、落体を落下させるために支持機構を解放した瞬間、支持機構にかかる荷重がステップ的に減少することに伴い、弾性的な振動が支持機構に発生し、筐体を通じて参照鏡を振動させることが原因である。従って、振動は第一次近似として調和振動子のステップ応答波形としてモデル化できる。これは落下毎に毎回同じパターンで生じるため、繰り返し平均に残る要素 (系統誤差) となる。落体解放の時刻を Start time のゼロとして、落体自由落下時の解析区間の開始時間を変化 (解析区間の幅 ΔT は 140ms で固定) させたときの計測加速度を点としてプロットしたものが図3である。

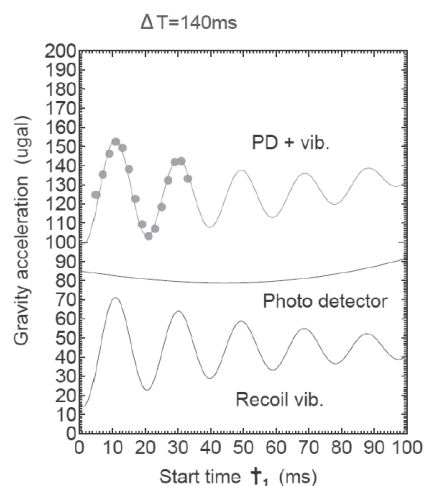


図3 落体自由落下時の解析区間の開始時間に対する計測加速度値の変化 (解析区間幅 $\Delta T=140\text{ms}$)

図中の反作用 (Recoil vib.) による加速度変動の曲線は減衰振動モデルから求めた予想値であり、前述 1. と 2. の計測系の系統誤差 (Photo detector) の予想曲線とあわせた理論線 (PD+vib.) と計測加速度はほぼ一致している。この予想値を計算したパラメータから反作用による系統誤差を見積もると、 $-19.0\mu\text{Gal}$ の補正に相当する。従って、1. ~ 3. 全体で、 $14.0\mu\text{Gal}$ の補正が必要であるとわかった。この結果を 2013 年 7 月の霧島での計測結果に適用すると、過去の測定結果と比べて $6\mu\text{Gal}$ 程度の重力低下となり、GPS で計測された地殻変動量に近づく方向に補正される。

つぎに、絶対重力計のさらなる小型化およびそれを用いた火山観測を見据え、落下装置を微小距離投

上げ装置に替え、桜島（有村観測坑局舎・国土交通省九州地方整備局大隅河川国道事務所、鹿児島県）において試験観測を実施した。微小距離投げ上げ装置は落体を約 3mm 投げ上げ、その往復運動を TAG-1 のレーザー干渉計で計測することにより重力加速度を求める。単純な一方向の落下方式に比べ、対称的な往復運動を計測することにより残留気体抵抗や光速度の有限性に伴う系統誤差を打ち消すことができる。一方、投げ上げ時の反作用によって生じる地面振動の系統誤差を避けるため、落体とともにカウンターバランスを同時に解放し反作用を打ち消す機構が組み込まれている（図4）。

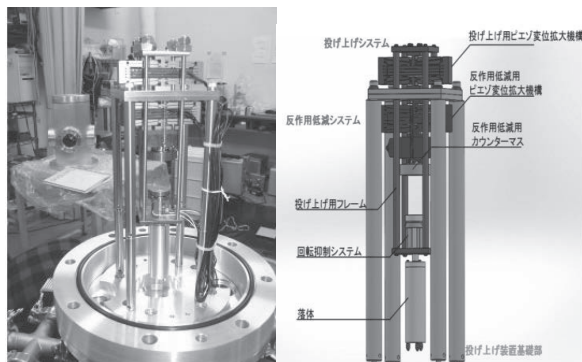


図4 微小距離投げ上げ装置

観測は2015年11月～12月にかけて行われ、その間桜島の火山活動は低調であったが、装置は安定に動作し、地球潮汐が検出できる精度であることが確認できた。分解能は $10\mu\text{Gal}$ 程度と見込まれる。また、いくつかの地震が TAG-1 の組み込み加速度計で検出され、所期の動作が確認できた（図5）。



図5 微小距離投げ上げ装置を組み込んだ TAG-1 による観測（桜島・有村観測坑局舎）

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献

現在、火山活動を観測する方法としては、地震、地殻変動、電磁気、熱、音響、火山ガスなど、地下のマグマの活動を地表付近に表れた複数の間接的な

情報を組み合わせて推測している。重力は遠隔力であり、マグマ移動に伴う密度変化の情報を直接観測できる。本年度は簡単のため、光源としてヨウ素安定化 He-Ne レーザーを用いたが、次の段階は電気通信研究所で開発された通信帯 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯のアセチレン安定化レーザー光源を接続し、9桁の精度での絶対重力観測を行い、地球潮汐や地殻変動を計測する。精度や長期安定動作が実証されれば、従来の重力観測や今後の火山観測を光ファイバーネットワークを用いて構成するための布石となる基礎データが得られ、喫緊の火山監視体制強化へ向けた具体的な検討につながると期待される。

〔4〕 成果資料

（1）V. D. Nagorny, S. Svitlov, and A. Araya, Improving absolute gravity estimates by the Lp-norm approximation of the ballistic trajectory, *Metrologia*, 53, 754-761, 2016.

（2）新谷昌人・篠原雅尚・山田知朗・石原丈実・金沢敏彦・藤本博己・月岡哲・大美賀忍・飯笹幸吉, 海底鉱床探査のための移動体搭載型重力偏差計の開発, *海洋調査技術*, 28, 1, 29-32, 2016.

（3）A. Araya, M. Shinohara, T. Kanazawa, H. Fujimoto, T. Yamada, T. Ishihara, K. Iizasa, and S. Tsukioka, Development and demonstration of a gravity gradiometer onboard an autonomous underwater vehicle for detecting massive seafloor deposits, *Ocean Engineering*, 105, 64-71, 2015.

（4）大里優一郎・新谷昌人・東尾奈々・渡邊力夫, 中性大気密度計測用6自由度加速度計の計測精度向上に関する研究, 第59回宇宙科学技術連合講演会講演集, 1L01, 1-6, 2015.

（5）新谷昌人, 共同プロジェクト研究「光ファイバーネットワークを利用した地震・津波・地殻変動の面的な計測技術に関する研究」, 東北大学電気通信研究所研究活動報告, 21, 252-254, 2015.

（6）M. Shinohara, T. Yamada, T. Ishihara, A. Araya, T. Kanazawa, H. Fujimoto, K. Uehira, S. Tsukioka, S. Omika, and K. Iizasa, Development of an underwater gravity measurement system using autonomous underwater vehicle for exploration of seafloor deposits, *OCEANS 2015 --- Genova*, 1, doi:10.1109/OCEANS-Genova.2015.727148-7, 2015.

H27/A21

脳型計算用ハードウェア技術

[1] 組織

代表者：佐藤 茂雄

(東北大学電気通信研究所)

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 (東北大学大学院情報科学研究科)

秋間 学尚 (東北大学電気通信研究所)

小山内 実 (東北大学大学院医学系研究科)

早川 美徳 (東北大学教育情報基盤センター)

丹野 航太 (東北大学金属材料研究所)

矢内 浩文 (茨城大学 工学部)

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)

堀尾 喜彦 (東京電機大学工学部)

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 (山口大学大学院医学系研究科(工学))

引原 隆士 (京都大学大学院工学研究科)

上田 哲史 (徳島大学情報センター)

西尾 芳文 (徳島大学工学部)

石田 文彦 (富山高等専門学校専攻科)

田中 敦 (山形大学大学院理工学研究科)

佐野 雅己 (東京大学大学院理学系研究科)

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 (京都産業大学コンピュータ理工学部)

Jordi Madrenas (カタルーニャ工科大学電子工学科)

延べ参加人数：44人

研究費：物件費13万8千円，旅費27万円，
国際特別支援費30万円

[2] 研究経過

次世代の情報処理システムの実現を目的として、脳型計算機を構築するために必要なハードウェア技術を追求することが本研究の狙いである。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テクノロジー以外には皆無であり、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。本研究では、これら技術開発を通じて、脳型計算機構築に必要なハードウェア基盤技術を構築することを目的とする。研究を成功させるためには、ハードウェア側からのボトムアップ的な方向性のみでは不十分であり、システム構築の観点からハードウェアに求められる機能を検証するトップダウン的な方向性も不可欠である。ゆえに、脳型計算ハードウェア、計算論的神経科学、神経生理学、非平衡非線形物理学、ロボット工学などの分野から、先導的研究者を結集し、分野横断的研究チームにより本課題に取り組むことを提案するのである。

研究は、(A)脳機能の研究、(B)モデルの研究、(C)脳型集積デバイス・回路の開発、そして(D)システム応用、に分類される。(A)には、脳の神経生理学的研究、脳の生体情報工学的研究が含まれる。(B)は脳の情報処理の基本要素であるニューロンとシナプスを抽象化して構成し、そしてそれらが複合したシステムを研究すると共に、そのハードウェア化へ向けた研究を行う。プロジェクトメンバーは高次ダイナミクスを導入したバースト発火ニューロンモデル、その基本性能の向上へ向けた新しい設計手法の提案等

の研究実績を蓄積しており更なる研究を進める。また、これら(A), (B)の研究成果を踏まえ、(C)の脳型集積デバイス・回路が有すべき必要な機能を検証する。(C)では、Siテクノロジーに親和する新たなシナプスデバイスの開発や、アドレスイベント表現プロトコル(AERプロトコル)をベースに、神経素子の莫大な通信を可能とするアナ・デジ混在通信方式の開発、カオスなどの非線形なダイナミクスを取り込んだダイナミックな情報処理機構など、生体を持つ圧倒的な高効率性や柔軟性を実現するためのデバイス・回路技術を探求する。(D)では現実的な実世界の問題で、かつ、現在のコンピューターでは不得意とする問題を扱う応用を探り、その最適なシステムの構築を目指す研究へと繋げる必要があり(A), (B), (C)も含めた広い検討・議論を行う必要がありそれらを実施する予定である。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、本プロジェクト研究と連動する形で、「第四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、2016年2月23, 24日に開催した。国内外研究者との意見交換を行い、今後の研究開発に向け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プログラム(口頭発表分)である。

1. MRI enabled activity mapping throughout the entire brain volume, S. Kikuta, Y. Nakamura, Y. Yamakura, N. Homma, Y. Yanagawa, H. Tamura, J. Kasahara, M. Osanai, Tohoku Univ., Japan
2. Surface engineering technologies for constructing and analyzing neuronal circuits, A. Hirano-Iwata, H. Yamamoto, M. Niwano, Tohoku Univ., Japan
3. Towards high-throughput acquisition of axonal-delay maps using high-density microelectrode arrays, U. Frey, T. Bullmann, X. Yuan, A. Hierlemann, RIKEN, Japan
4. Modelling spike signalling in the hippocampal axons, H. Kamiya, Hokkaido Univ., Japan
5. Function follows form: Controlling signal propagation by patterning populations of neurons, J. Albers, K. Zobel, A. Offenhäusser, Jülich Research Center, Germany
6. Spontaneous activity patterns of small neuronal ensembles, H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, S. Kubota, M. Niwano, Tohoku Univ., Japan
7. Neural circuit reorganization during epileptogenesis, R. Koyama, Univ. Tokyo, Japan
8. Optimizing electrical stimulation for treatment of Parkinson's disease and epilepsy, T. Netoff, V. Nagaraj, A. Holt, L. Grado, Univ. Minnesota, USA

9. Numerical optimization of deep brain stimulation by direct search, S. Kubota, J. Rubin, Yamagata Univ., Japan

10. A modelling perspective of prefrontal cortex gamma-band activity in a multi-item working memory task, P. Herman, Royal Inst. Technology, Sweden

11. On the action potential propagation: Established model and its limitations in myelinated axon, A. Martí, J. Madrenas, Technical Univ. Catalunya, Spain

12. Brain inspired adiabatic quantum computing and learning, Y. Osakabe, S. Sato, M. Kinjo, K. Nakajima, H. Akima, M. Sakuraba, Tohoku Univ., Japan

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の主要成果は次の通りである。ニューラルネットワークにおける情報表現の最適化の例として、川上等によって提案された局所運動を統合して移動平面を検出する神経網モデルを取り上げ、このモデルのLSI化を行った。膨大な神経配線を仮想配線方式で実現するにあたり、結線情報を保存したテーブルをローカルメモリに分散して配置することで、データ移動量の削減を図った。また、局所運動の情報をカプセル化したパケットをLSI内に複数配置した処理要素にブロードキャストして並列処理することで、スループット向上を図った。設計したLSIがクロック周波数100 MHzで動作することをHDLシミュレーションにより確認し、スループットと消費電力を見積もった。スループットはクロック周波数3.4 GHzで動作するCPU上で実行したC++プログラムと同程度であり、消費電力はCPUの100分の1以下であることを確認した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

既存のコンピューターは、そのままでは人間と同等の知的情報処理をするには不十分であることが明確になってきた。また、脳のモデルであるニューラルネットワークも、理論は徐々に発展しているものの決定的な技術には成熟していない。このプロジェクト研究では、神経生理学、非線形物理学、計算論的神経科学、集積回路工学の知見を総合的に取り入れた研究グループを構成することで、脳型計算機を開発し応用するための基礎概念や、ハードウェア構成法の具体化が進むと期待できる。その成果は、学術的あるいは技術的な大規模問題の情報処理に活用する方向と同時に、現コンピューターでは克服しき

れない知的処理の課題を補間する役割を果たし、我々が必要とする近未来の情報システムの基礎となると予想される。

また、国際共同研究推進型特別支援分の研究費により、本プロジェクトのメンバーであるカタルーニャ工科大学の Jordi Madrenas 氏を招聘し、移動平面を検出する神経モデルのLSI設計に関して共同研究を行った。その結果、特に、データ転送を高効率化することに成功した。

[4] 成果資料

1. 秋間 学尚, 佐藤 茂雄, 運動視により局所運動を検出する神経回路網モデルのLSI化, 日本神経回路学会誌, 22, 4, 152-161, 2015.
2. T. Tohara, H. Liang, H. Tanaka, M. Igarashi, S. Samukawa, K. Endo, Y. Takahashi, T. Morie, Silicon Nanodisk Array with a Fin Field-effect Transistor for Time-domain Weighted Sum Calculation toward Massively Parallel Spiking Neural Networks, Appl. Phys. Express, 9, 3, 034201, 2016.
3. S. Uenohara, D. Atuti, K. Matsuzaka, H. Tamukoh, T. Morie, K. Aihara, A CMOS Circuit for PWM-mode Nonlinear Transformation Robust to Device Mismatches to Implement Coupled Map Lattice Models, Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE, 6, 4, 570-581, 2015.
4. Madoka Kubota, Ryo Takahashi, and Takashi Hikihara, Active and Reactive Power in Stochastic Resonance for Energy Harvesting. IEICE Transactions, 98-A, 7, 1537-1539, 2015.
5. Shiu Mochiyama, Naoaki Fujii, Ryo Takahashi Takashi Hikihara, A Study on Trajectory Control of Manipulator Using Power Packet Dispatching, Proceedings of The 37th IEEE PEELS International Telecommunications Energy Conference (INTELEC 2015), Osaka, Japan, Oct. 18-22, 2015.
6. N. Onizawa, D. Katagiri, K. Matsumiya, W. J. Gross, T. Hanyu, Gabor Filter Based on Stochastic Computation, IEEE Signal Processing Letters, 22, 9, 1224-1228, 2015.
7. N. Onizawa, H. Jarollahi, T. Hanyu, W. J. Gross, Hardware Implementation of Associative Memories Based on Multiple-Valued Sparse Clustered Networks, IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS), 2016, (in press).
8. 矢内浩文, 林 健太, 漢字二字熟語の語彙判断に

おける概形の影響, 電子情報通信学会論文誌 D, J99-D, 1, 97-99, 2016.

9. Xiang CAO, Jingmin XIN, Yoshifumi NISHIO, Nanning ZHENG, Spatial Signature Estimation with an Uncalibrated Uniform Linear Array, Sensors, 15, 6, 13899-13915, 2015.
10. Chihiro IKUTA, Yoko UWATE, Yoshifumi NISHIO, Guoan YANG, Multi-Layer Perceptron with Pulse Glial Chain, IEICE Transactions on Fundamentals, E99-A, 3, 742-755, 2016.
11. Tran T. T. Huong, Y. Mizugaki, A single-electron hysteretic inverter designed for enhancement of stochastic resonance, IEICE Electronics Express, 12, 17, 20150527-1-12, 2015.
12. Toshikazu Samura, Yuji Ikegaya, Yasuomi D. Sato, A neural network model of reliably optimized spike transmission, Cognitive Neurodynamics, 9, 3, 265-277, 2015.
13. J. Moriyasu, T. Saito, A Cascade System of Dynamic Binary Neural Networks and Learning of Periodic Orbit, IEICE Trans. Information and Systems, E98-D, 9, 1622-1629, 2015.
14. K. Jin'no, R. Sano, T. Saito, Particle Swarm Optimization with Switched Topology, NOLTA, IEICE, 6, 2, 181-193, 2015.
15. Norihito Higa, Mitsunaga Kinjo, Study on Design of Quantum Fourier Transform Gate Emulator, Proceeding of International Conference on Intelligent Informatics and BioMedical Sciences 2015, T2A-20938, 2015.
16. 浅井 哲也, ニューロモルフィック工学・脳型機械学習ハードウェアの行方, 日本神経回路学会誌, 22, 4, 162-169, 2015.
17. El-Sankary K., Asai T., Kuroda T., Motomura M., Crosstalk rejection in 3D-stacked inter-chip communication with blind source separation, IEEE Transactions on Circuits and Systems II, 62, 8, 726-730, 2015.
18. Kikuta S, Nakamura Y, Yamamura Y, Tamura A, Homma N, Yanagawa Y, Tamura H, Kasahara J, Osanai M, Quantitative activation-induced manganese-enhanced MRI reveals severity of Parkinson's disease in mice. Scientific Reports 5: 12800, 2015.
19. Shinji Doi, Takahiro Kodama, Hiroki Oosaki, Importance of sufficient precision in stable dynamics for the numerical computation of canards in singularly perturbed systems, NOLTA, IEICE, 6, 4, 454-465, 2015.

採択回数	①	2	3
(萌芽・先端・国際)			

採択番号 H27/A22

複数ディスプレイ環境における柔軟な3次元インタラクション

[1] 組織

代表者：北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

対応者：北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

分担者：

Miguel Nacenta (University of St Andrews)

Sriram Subramanian

(University of Sussex)

Marianna Obrist (University of Sussex)

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：20人

研究費：物件費13万7千円，旅費22万2千円，

国際特別支援費30万円

[2] 研究経過

英国 University of St Andrews の Miguel Nacenta 先生、および University of Bristol の Sriram Subramanian 教授と本研究代表者は、2007年頃以降から3次元インタラクションに関する共同研究を開始した。これまでの研究成果は、Human-Computer Interaction の分野のトップコンファレンスである UIST (ACM Symposium on User Interface Software and Technology) 等に採択されている。その間、Subramanian 教授は、2011年に東北大学電気通信研究所に招へい教授として1か月間在籍した。2014年11月には、英国・エジンバラ大学で開催された JSPS UK/Japan Symposium on Computer Graphics and Virtual Reality に、本研究代表者がその日本側オーガナイザとして参加した際に両氏に会い、またその機会に英国 University of St Andrews の Nacenta 先生を訪問し、本研究プロジェクトについて打ち合わせを行った。そして、Sriram Subramanian 教授が University of Sussex に異動したこの機会に、Marianna Obrist 先生を新たに加えて、表題の国際共同研究を開始することになった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2015年10月に、University of Sussex の Sriram Subramanian 先生と Marianna Obrist 先生に、東北大学電気通信研究所に来ていただいた。その間、

両先生には講演をしてもらった。その概要は次のとおりである。

(1) 講演タイトル：Shape of Things to Come

講師：Sriram Subramanian

(Professor at School of Engineering & Informatics, University of Sussex, UK.)

概要：

One of the visions on my research is to deliver novel experiences to users without instrumenting them with wearable or head-mounted displays. My team has been exploring various technical solutions to creating systems that can deform and transform into new objects or shapes while still supporting the display of visual content. For example, we created shape-changing tablets that can show maps with topographical information and morphing mirrors that can enable new forms of augmentation. In this talk, I will present some of our recent projects on this topic and conclude with the use of acoustic radiation forces to create shape-shifting atoms.

略歴：

Sriram Subramanian is a Professor of Informatics at the University of Sussex where he leads a research group on novel interactive systems. Before joining Sussex, he was a Professor of Human-computer Interaction at the University of Bristol (till July 2015) and prior to this a senior scientist at Philips Research Netherlands. He holds an ERC Starting Grant and has received funding from the EU FET-open call. In 2014 he was one of 30 young scientists invited by the WEF to attend their Summer Davos. Subramanian is also the co-founder of Ultrahaptics a spin-out company that aims to commercialise the mid-air haptics enabled by his ERC grant. In 2015, Ultrahaptics won the CES 2015 top pick award for Best Enabling Technology. Prof. Subramanian's research has been featured in several news media outlets around the world including CNN, BBC and Fox-News.

(2) 講演タイトル: The Exploration of Touch, Taste, & Smell Experiences

講師: Marianna Obrist Reader at University of Sussex, UK

概要:

Despite the fact that interactive technologies have permeated our environment (e.g., mobile, ubiquitous, social computing) and have become an essential part of our everyday life (e.g., work, leisure, education, health, etc.), the way we interact with them is still limited. Interactive systems stimulate dominantly our senses of vision and hearing, partly our sense of touch (e.g., vibration in mobile phones), while our senses of taste and smell are widely neglected and under-exploited in Human-Computer Interaction (HCI) research. In this talk, Marianna Obrist will talk about her research on multisensory experiences for interactive technologies, especially her investigation of the sense of touch, taste and smell experiences to inform the design of future interactive systems.

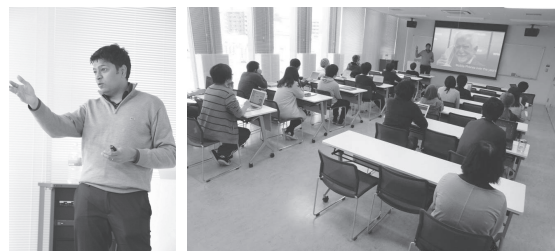
略歴:

Marianna Obrist is a Reader in Interaction Design at the University of Sussex, UK. She is leading the Sussex Computer Human Interaction integrated in the Creative Technology research group established within the School of Engineering and Informatics. Prior to joining Sussex, she was a Marie Curie Fellow at Culture Lab at the School of Computing Science in Newcastle University and before she worked as an Assistant Professor for Human-Computer Interaction at the Department of Computer Science at the University of Salzburg, Austria. Her current research focuses on the systematic exploration of touch, taste, and smell experiences as future interaction modalities.

また、英国 University of St Andrews の Miguel Nacenta 先生にも、2月8日から13日まで東北大学電気通信研究所に滞在してもらい、打ち合わせとし、講演もしていただいた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

試作している複数ディスプレイ環境における柔軟な3次元インタラクションシステムは、複数の各利用者の視点位置に対して正確にパースペクティブ変化した画像を提示する事ができ、しかも視線やジェスチャなどの自然なインタフェースで情報検索や操



Sriram Subramanian 先生のご講演の様子



Marianna Obrist 先生のご講演の様子



両先生とのディスカッションの様子



Miguel Nacenta 先生のご講演の様子

作ができるので、3次元ユーザインタフェースとして先端的で画期的なものである。また、Obrist先生の技術により、香りという新たな情報の提示も含む萌芽的なものに発展しつつある。

本研究プロジェクトに参加し、今回招へいた University of St Andrews の Nacenta 先生、University of Sussex の Subramanian 先生はいずれも Human-Computer Interaction の分野のスター研究者である。そのような研究者を東北大学電気通信研究所に招へいし、若手研究員や学生と共同研究を行うことは、大いなる刺激をもたらすと期待される。また彼らは、論文の書き方だけではなく着想・展開・実装・評価の全研究プロセスについて、研究をトップコンファレンスに採択させる術を身に付けており、東北大学の若手研究員や学生を直接指導してもらえたことは、何物にも代えがたい成果をもた

らしたと考える。

なお、英国 University of Sussex とは、国際化推進室を通して、部局間交流協定を締結する準備も進めている。

〔4〕 成果資料

Yoshifumi Kitamura, Dynamic Aware Interiors — Rethinking Interactive Displays, Proceedings of the International Display Workshops, Vol. 22, pp. 1-4, December 2015.

採択番号 H27/A23

共生コンピューティングのためのマルチモーダル・ エージェントフレームワークに関する研究

〔1〕組織

代表者：打矢 隆弘

(名古屋工業大学情報基盤センター)

対応者：木下 哲男

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

北形 元 (東北大学電気通信研究所)

高橋 秀幸 (東北大学電気通信研究所)

笹井 一人 (東北大学電気通信研究所)

菅沼 拓夫 (東北大学サイバーサイエンス
センター)

菅原 研次 (千葉工業大学情報科学部)

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)

延べ参加人数：17人

研究費：物件費13万7千円、旅費19万0千円

〔2〕研究経過

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）を進めている。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は、ソフトウェアの開発支援環境および運用支援環境の整備が必要不可欠である。これまでの研究では、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、開発面での支援は充実しつつある。一方で、多様性を有するエージェントの管理や運用に関しては、十分な支援がなされていない。本研究では、人間のように多様な性質を有するソフトウェアエージェントに対し、人間のように音声や振る舞いでインタラクションが可能なマルチモーダルインタフェースを開発し、開発運用の支援のさらなる充実と利便性の向上を図る。

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」などの性質をエージェントに付与することができる。つまり、ソフトウェア自体が、あたかも人間のように知的に動作が可能なフレームワークといえる。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。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。

本年度は学習性を備えたエージェントの開発・運用支援の強化、共生型アプリの開発を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。今年度は下記の通り、2回の研究発表会を行った。

第1回研究発表会：平成27年12月2日14:00～、電気通信研究所本館 5F M501 室（参加者：打矢、木下、菅原、藤田、北形、笹井、高橋）

第2回研究発表会：平成28年2月24日14:00～、電気通信研究所本館 5F M501 室（参加者：打矢、木下、菅原、北形、笹井、高橋、藤田、真部）

[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。

[学習性を備えたエージェントの開発・運用 1 : Nash-Q 学習エージェント設計支援]

Nash-Q 学習エージェントとは、2 体のエージェントが相手の行動を考慮し、エージェント同士干渉しない行動を学習機構(図 1)を用いて学習してゆく。本研究では、これまで本グループで開発した Nash-Q 学習エージェント開発支援機構を機能拡張した。具体的には、学習データの外部環境への出力機能や、学習パラメータの自動調整機能を付与し、学習エージェントの開発効率向上と応用システムの開発促進を実現した。

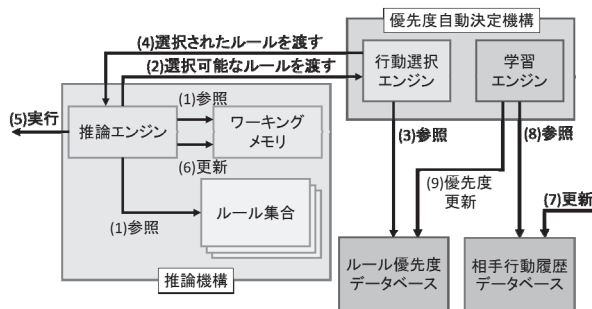


図 1 : 学習エージェントの内部構造

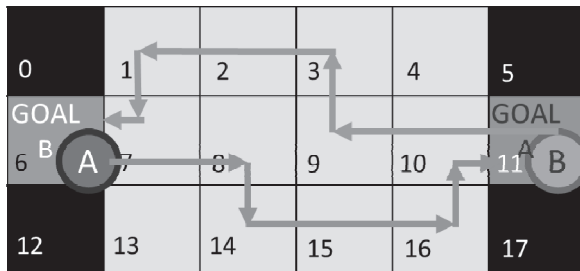


図 2 : すれ違い問題

Nash-Q 学習エージェントの学習効果を 2 体のエージェントのすれ違い問題(図 2)で確認したところ、従来の学習手法(Q 学習)と比較してエージェントの衝突回数が約 1/5 に減少したことから、その効果を確かできた。

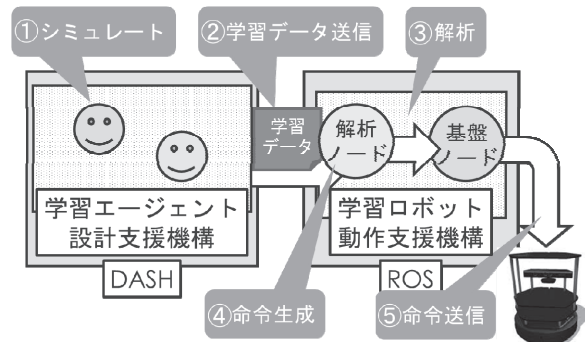


図 3 : 学習データのロボット制御への活用
さらに、本機構で生成した学習データをロボットブ

ラットフォームに投入し、協調行動ロボットの動作制御を行うフレームワークを開発した(図 3)。また、動作確認実験により、2 体の走行ロボット Turtlebot2 が衝突せずにゴールに辿り着けることを確認した。本成果は複数の学習ロボットから構成されるロボットシステムの開発促進に大いに貢献する。

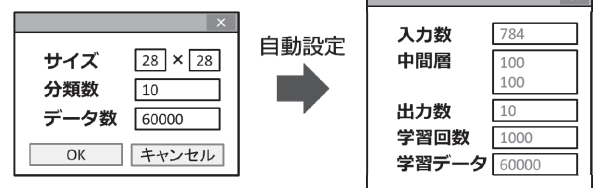
[学習性を備えたエージェントの開発・運用 2 : ディープラーニング学習エージェント設計支援]

画像認識や音声認識分野で特に有効な学習手法であるディープラーニング学習を、様々なエージェント応用システムで利用可能とすべく、ディープラーニング学習エージェントの設計支援機構を開発した。提案機構により下記の開発支援を行う。

- ・ディープラーニング機能の追加
- ・パラメータ設定機能の追加(図 4) : 詳細なパラメータ設定が不要な簡易設定が利用可能
- ・学習状況確認機能の追加(図 5) : 学習状況の確認や途中での学習打ち切りを行う

パラメータ簡易設定機能

最小限のパラメータを設定するのみで学習可能
画像認識のみ対応



パラメータ簡易設定画面

パラメータ設定画面

図 4 : パラメータ設定機能

学習打ち切り機能

一定の精度に達した時点で学習を終了
精度が伸びなくなった場合にも学習を終了

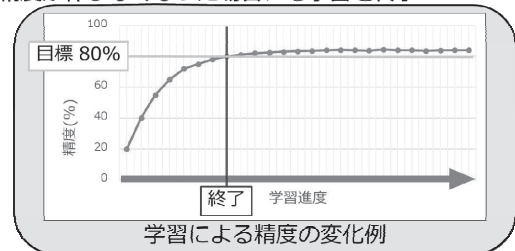


図 5 : 学習状況確認機能

動作確認による学習時間と識別率

打ち切り回数	打ち切り精度	学習時間	識別率
20回	0%	4時間20分22秒	87.18%
	1%	1時間45分28秒	83.72%
	2%	1時間17分38秒	82.00%
	3%	1時間13分47秒	81.17%
	5%	50分32秒	76.95%
学習打ち切りなし		12時間18分58秒	88.90%

識別率が5%程度低下するが学習時間を80%程度削減

図 6 : 学習打ち切りの効果

評価実験では、数字文字認識を対象として、ディープラーニング学習のアルゴリズムに基づき、学習エージェントが学習処理と識別処理を正常に行えることを確認した。また、ディープラーニング学習では学習時間の長さが大きな課題であるが、学習打ち切りの機能を効果的に使用することで、数字文字の認識識別率の低下を抑えつつ、学習時間を大幅に短縮可能であることが示せた。

この成果は、ディープラーニング学習エージェントを用いた応用システムの開発促進に繋がる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献等
本プロジェクトは3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([4](1)~(13))。

また本プロジェクトには多数の学部生・大学院生がコミットしており、若手研究者の育成への足掛りとなった。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] 成果資料

- (1) Tetsuo Kinoshita, "Basic Characteristics of a Macroscopic Measure for Detecting Abnormal Changes in a Multiagent System", *Sensors*, Vol. 15, No. 4, pp.9112-9135, 2015.
- (2) Moulin, C., Kaeri, Y., Sugawara, K., & Abel, M.-H., "Capitalization of remote collaborative brainstorming activities", *Computer Standards & Interfaces*, accepted.
- (3) 真部雄介, 松寄晃司, 菅原研次, "複数の歩行状態に対応した加速度センサに基づく人物識別", *日本知能情報ファジィ学会 知能と情報*, Vol.27, No.5, pp.711-722, 2015.
- (4) Takahiro Uchiya, Motohiro Shibakawa, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita, "Multiagent-based distributed backup system for individuals", *Proc. of 2005 IEEE/ACIS 14th International Conference on Computer and Information Science (ICIS)*, pp.361-366, 2015.
- (5) Masato Hibino, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita, "Development Tool of Q-Nash Learning Agent for Intelligent System", *Proc. of the 18th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS-2015)*, pp.582-585, 2015.
- (6) Masato Hibino, Takahiro Uchiya, Ichi Takumi, Tetsuo Kinoshita, "Development Support of Nash-Q Learning Agent on Agent Framework DASH", *Proc. of the 4th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2015)*, pp.296-297, 2015.
- (7) Claude Moulin, Kenji Sugawara, Yuki Kaeri, Marie-Hélène Abel, "Distributed Architecture for Supporting Collaboration", *OTM Workshops*, Oct, Rhodes, pp.391-400, 2015.
- (8) Yuki Kaeri, Kenji Sugawara, Yusuke Manabe, Claude Moulin, "A Support System for Remote Brainstorming Sessions", *Proc. of ICCI*CC*, pp.303-307, 2015.
- (9) Yuki Kaeri, Kenji Sugawara, Yusuke Manabe, Claude Moulin, "Prototyping a Meeting Support System using Ubiquitous Agents", *Proc. of the 2015 IEEE 19th International Conference on Computer Supported Cooperative Work in Design*, pp.18-23, 2015.
- (10) 宮原悠輔, 打矢隆弘, 内匠逸, 木下哲男, "公共利用向けのクラウド型エージェントフレームワークの試作", *マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム論文集*, pp.419-424, 2015.
- (11) 大野健, 打矢隆弘, 内匠逸, 木下哲男, "エージェントフレームワーク DASH におけるセキュリティ機構の開発", *マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム論文集*, pp.934-940, 2015.
- (12) 加藤義隆, 打矢隆弘, 内匠逸, 木下哲男, "広域分散エージェントリポジトリに対する管理運用機構の開発", *マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム論文集*, pp.1496-1501, 2015.
- (13) 石田大明, 打矢隆弘, 内匠逸, 木下哲男, "個人間分散バックアップにおける重複排除手法の導入", *マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウム論文集*, pp.1688-1693, 2015.

採択回数	1	2	3
(萌芽)			

採択番号 H27/A24

多様化する情報ネットワークのための 知識獲得・活用に関する研究

〔1〕組織

代表者：高橋 秋典
(秋田大学大学院工学資源学研究所)
対応者：木下 哲男
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

北形 元 (東北大学電気通信研究所)
笹井 一人 (東北大学電気通信研究所)
岩谷 幸雄 (東北学院大学)
久米原 栄 (群馬大学総合情報メディアセンター)
上田 浩 (京都大学学術情報メディアセンター)
奈須野 裕 (苫小牧工業高等専門学校)
五十嵐 隆治 (秋田大学大学院工学資源学研究所)
橋本 仁 (秋田大学大学院工学資源学研究所)
横山 洋之 (秋田大学情報統括センター)
藤原 克哉 (秋田大学大学院工学資源学研究所)
小原 仁 (秋田大学大学院工学資源学研究所)
今野 将 (千葉工業大学工学部)
矢入 聡 (仙台高等専門学校専攻科)
打矢 隆弘 (名古屋工業大学情報基盤センター)

延べ参加人数：27名

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 23 万 1 千円

2〕研究経過

現在の情報ネットワークは利便性が向上し，日常生活において必要不可欠な重要インフラとして一般世帯はもちろんのこと，中・小規模機関などに至るまで広く普及している。また，これまで有線中心だったインフラ整備も，有線・無線の区別ないシームレスなユビキタスネットワーク環境へ移行しており，パソコンや携帯端末のみならず，電化製品や様々なセンサー類などもネットワーク接続されるようになった。それに合わせて様々なサービスが提供され，疎通しているトラヒックも多様化してきている。さらに，新たなサイバー攻撃や情報漏洩，違法アップロードによる著作権侵害など，負の側面も多様化し

てきており，ネットワーク管理の重要性が増してきている。ネットワーク管理者は，常に進化するネットワークに対して，通り一辺倒な管理システムでは対応できなくなると推測される。つまり，ネットワーク上の情報資源から得られる分散的なデータを扱うためには，新たな知見に基づく知識を活用した知的管理が必要となってくる。そこで，本研究ではエージェントに基づく知識型ネットワーク管理支援基盤に，高度なデータ分析機能を組み込むことで，自律性の高い管理支援を実現する手法について検討を進めている。

管理支援のためのデータ分析機能に関しては，シグネチャのデータベースとのパターン認識による「不正検知」ではなく，パケットの動向に着目し，定常時からの外れた挙動を異常とする「異常検知」について検討を行っている。前述のように多様化する情報ネットワークにおいて，新たなネットワークサービスが提供される環境では，シグネチャでは検知困難な未知の攻撃への対応を重要視しなければならないと考えられる。我々は，定常時のトラヒック状態の定量化に対して，R/S Pox レッグライン特性や相転移モデルなど統計的手法の適用を検討し，トラヒック状態指標の研究を進めている。

ネットワーク管理には，一般的な情報通信および管理知識の他，そのネットワーク固有の特性や構成に関する知識が必要となる。また，問題が起こったときの原因追及に至っては，管理者の経験やノウハウも重要となる。しかし，全てのネットワークにおいて専門知識を有する管理者が運用しているとは限らず，小規模機関においては管理者すら存在しない場合も散見される。これは，情報通信に関する知識不足による情報セキュリティに対する無関心が要因と推測される。そこで本研究では，ネットワークトラヒックの利用状況を容易に把握できるように，得られた知識を理解しやすい表現方法に変換する技術についても検討を進めている。

東北大学電気通信研究所木下研究室を中心に，各研究者が随時訪問し，研究打合せを行っている。また，東北大学電気通信研究所工学研究会：先進的情

報通信工学研究会と共催で、研究発表会を平成 28 年 2 月 29 日に開催した。

【プログラム】

1. 突発的トラフィック量変化に対する R/S Pox Diagram の影響 に着目した長期的ポートスキャン検知法に関する研究：高橋俊彦，高橋秋典，五十嵐隆治（秋田大学），岩谷幸雄（東北学院大学），上田浩（京都大学），木下哲男（東北大学）
2. 相転移モデルに基づいた輻輳・非輻輳の評価指標の差を用いたネットワーク状態の相対的可視化：稲次優斗，岩谷幸雄（東北学院大学），五十嵐隆治，高橋秋典（秋田大学），木下哲男（東北大学）
3. 折れ線近似推定を用いた可用帯域のアクティブ測定法の提案：西沢英朗，加藤陽介，小原仁（秋田大学）
4. エージェントに基づくネットワークデータ処理基盤の提案：山田良介，笹井一人，北形元，木下哲男（東北大学）
5. 公開サーバにおける R/S Pox レッグライン特性の解析：高橋秋典，五十嵐隆治（秋田大学），笹井一人（東北大学），岩谷幸雄（東北学院大学），上田浩（京都大学），木下哲男（東北大学）
6. 学認連携 Moodle トラフィック/システムログ分析の試み：上田 浩(京都大学)

[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。

ネットワーク上で生成される膨大なデータを効果的に利用することで、高度なシステム・機能を実現しようという試みが多く行われているが、それらの方式は限定されたシステム・機能へ向けたものが多く、既存システムへ組み込むことが難しく、また非専門家が容易に扱えるものではない。そこで、東北大学では、エージェントに基づく知識型ネットワーク管理支援基盤に対し、高度なデータ分析に基づく管理支援を行う機能を組み込むことで、より高度かつ自律性の高いネットワーク管理を実現し、非専門家や初級管理者の管理負担軽減を可能とすることを明らかにしている。本年度は、主にシステム設計および簡易的な機能の評価を行った。

トラフィックデータ分析に関して、秋田大学では周期性を有する断続的なトラフィック攻撃に対して特徴的プロット分布を呈する R/S Pox レッグライン特性を用いた異常検知法を提案してきた。しかし、従来研究ではパケットの到着間隔を表す周期推定範囲が制限されており、範囲外となる長周期の場合、異常

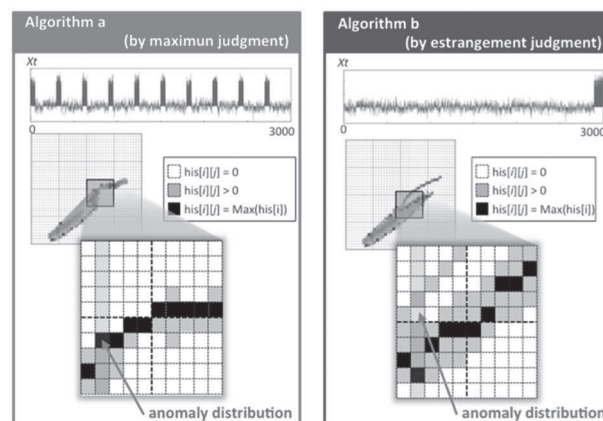


Fig. 1: Anomaly detection by the R/S pox diagram distribution pattern

を判別するのは困難であった。この問題点に対して、パケット時系列におけるレベルシフトのトラフィック量変化に対する R/S Pox Diagram 上部に集中するプロット分布および乖離状態となるプロットを定量化することで異常を検知する手法を提案した。それぞれの手法の概要を図 1 に示す。

また、東北学院大学ではネットワーク輻輳への転移時に長期依存性が現れるとする相転移モデルによるトラフィック状態判別手法を検討している。既知研究では、輻輳とするしきい値の設定によって観測結果が異なることから、非輻輳相の持続時間を用いて累積分布を求め輻輳相の累積分布と比較し、相転移モデルにおける適切なしきい値を設定するための検討を行った。

ネットワークの観測および観測結果の解釈については、高度な知識とノウハウが必要となる。秋田大学では、さまざまなレベルの管理者に対応するため、直感的にトラフィックの状態を提示できるシステムの開発を検討した。また、トラフィックの解析ではシミュレーション的にトラフィックを生成した実験のみならず、実トラフィック上での検証が必要となる。しかし、個々のネットワークでは通信の秘匿性を担保するためにプライバシーポリシーが設定されている場合が多く、トラフィックデータの研究的な取り扱いには十分に注意を払うべきである。以上の点を考慮

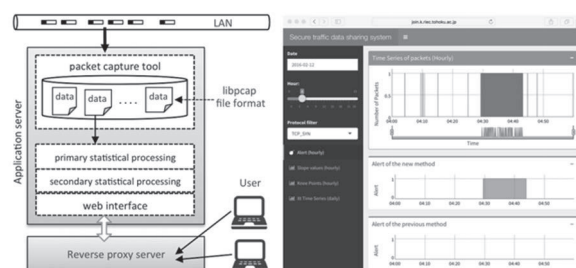


Fig. 2: Overview of secure traffic sharing system

したシステム構成として、管理者を介在せずに実測のトラフィックデータを統計データに変換しグラフ化したデータを提供する構成を検討した。システムに対するアクセスとしては Web インターフェースで実現することで、知識の乏しい管理者に対する利便性を向上させた。本システムの概要および Web インターフェースを図 2 に示す。

(3-2) 波及効果と発展性など

本プロジェクトは、多様化する情報ネットワークに対して様々な方向性からの知識獲得や活用方法などの提案が重要となるが、分担者の多くが各大学でのネットワーク管理に携わっているため、多くの知見が得られやすいと考えている。また、本プロジェクトでは複数の研究機関からのメンバーが参加するため、機関依存のネットワーク特性および研究室レベルから大学組織といったスケーラブルのある検討も期待できる。

[4] 成果資料

- (1) 山田良介, 谷村優介, 笹井一人, 高橋秋典, 北形元, 五十嵐隆治, 木下哲男, "エージェントに基づくネットワークデータ分析支援基盤," 情報処理学会第 78 回全国大会予稿集, Mar. 2016.
- (2) 稲次優斗, 相澤勇斗, 永野翔, 岩谷幸雄, 五十嵐隆治, 高橋秋典, 木下哲男, "非輻輳相を考慮した相転移モデルの挙動," 平成 28 年東北地区若手研究者研究発表会, Mar. 2016.
- (3) 稲次優斗, 岩谷幸雄, 高橋秋典, 五十嵐隆治, 木下哲男, 上田浩, "相転移モデルに基づくパケットフロー監視に関する研究," 電子情報通信学会総合大会, B-7-21, Mar. 2016.
- (4) 高橋俊彦, 高橋秋典, 五十嵐隆治, 上田浩, 岩谷幸雄, 木下哲男, "突発的トラフィック量変化に対する R/S Pox Diagram の影響に着目した長期的ポートスキャン検知法に関する研究," 平成 27 年度第 1 回情報処理学会東北支部研究会予稿集, Dec. 2015.
- (5) 高橋俊彦, 高橋秋典, 五十嵐隆治, 上田浩, 岩谷幸雄, 木下哲男, "R/S Pox Diagram のプロット度数分布に着目した異常検知手法に関する検討," インターネットコンファレンス 2015, Oct. 2015.
- (6) 谷村 優介, 笹井 一人, 北形 元, 木下 哲男, "動的に変化するネットワークシステムのための知識型障害解決支援システム," 第 23 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2015) 論文集, pp.156-163, Oct. 2015. (優秀論文賞)
- (7) 西沢英朗, 加藤陽介, 小原仁, "プローブロスの影響を最小とするプローブペアを用いた可用帯域推定方式の検討," 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会予稿集, 1G04, Aug. 2015.
- (8) 高橋俊彦, 高橋秋典, 五十嵐隆治, 上田浩, 岩谷幸雄, 木下哲男, "R/S Pox Diagram のプロット度数分布に着目した異常検知手法に関する検討," 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会予稿集, 2H06, Aug. 2015.
- (9) 稲次優斗, 岩谷幸雄, 高橋秋典, 五十嵐隆治, 木下哲男, "非輻輳相の持続時間を用いた相転移モデルの挙動," 平成 27 年度電気関係学会東北支部連合大会予稿集, 2H09, Aug. 2015.
- (10) 西沢英朗, 加藤陽介, 小原仁, "プローブトレインペアを用いた可用帯域測定方式の改良," 計測自動制御学会東北支部第 296 回研究集会, No.296-1, Jul. 2015
- (11) 高橋秋典, 高橋俊彦, 五十嵐隆治, 上田浩, 岩谷幸雄, 木下哲男, "情報セキュリティポリシーを考慮したネットワークトラフィック統計データ提供システムに関する検討," 情報処理学会第 77 回全国大会予稿集, 5E-04, Mar. 2015.
- (12) 上田浩, 石井良和, 外村孝一郎, 植木徹, "ネットブートのキャッシュの有効性に着目した教育用端末トラフィックの評価," 情報処理学会インターネットと運用技術研究報告, Vol.2015-IOT-28, No.27, pp.1-9, Feb. 2015.

採択番号 H27/A25

スマートコミュニティ構築のための システムアーキテクチャと基盤技術の開発

[1] 組織

代表者：福田 晃

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

対応者：木下 哲男

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

岡田 謙一 (慶應義塾大学理工学部)

石川 博 (静岡大学情報学部)

石原 進 (静岡大学工学部)

小花 貞夫 (電気通信大学電気通信学部)

片岡 信弘 (東海大学電子情報学部)

小泉 寿男 (東京電機大学理工学部)

佐藤 文明 (東邦大学理学部)

白石 陽 (ほこだて未来大学システム情報科学部)

白鳥 則郎 (早稲田大学大学院国際情報通信研究科)

高橋 修 (ほこだて未来大学システム情報科学部)

滝沢 誠 (法政大学理工学部)

塚本 昌彦 (神戸大学工学部)

富樫 敦 (宮城大学事業構想学部)

桧垣 博章 (東京電機大学理工学部)

東野 輝夫 (大阪大学大学院情報科学研究科)

水野 忠則 (愛知工業大学情報科学部)

宮西 洋太郎 ((株)アイエスイーエム)

宗森 純 (和歌山大学)

村山 優子 (岩手県立大学ソフトウェア情報学部)

由井 隆也 (北陸先端科学技術大学院大学知識科学研究科)

渡辺 尚 (大阪大学大学院情報科学研究科)

延べ参加人数：23人

研究費：物件費 13 万 7 千円，旅費 27 万円

[2] 研究経過

自治体の行政や防災，教育などの効率化や利便性の向上を目的としたスマートコミュニティのプロジェクトが各地で推進されている。スマートコミュニティは ICT 導入による各種のインフラサービスの効率化と考えることができる。例えば，物流や交通，農業，医療，行政サービスなどのインフラの ICT による高度化，高機能化を意味する。従来のインフラの ICT による高度化では，情報利用が対象となるインフラの内部に留まっていたが，スマートコミュニティでは様々なインフラの情報を横断的に利用する点が新しい視点である。しかし，そのためには異なるインフラ間でデータの取り扱いの容易化，円滑化が必要となっている。

異なるインフラ間でデータを横断的に利用可能と

するためには，異なるインフラで生成された情報を融合し，加工して提供する様々なサービスが必要となる。また，これらの情報にはプライバシーに関わる情報が含まれており，これらを適切に匿名化するサービスが必要である。例えば，スマートメータで取得された各家庭の消費電力は，家庭内の生活の様子を表すプライバシーを含む情報と言える。大量のデータを蓄積し，そこから意味のある情報を取り出すためには，クラウドやデータセンタによる蓄積とマイニングサービスが必要である。また，リアルタイムに処理されるべきデータでは，クラウドに蓄積すると遅延が大きく制御に間に合わないため，データの発生源に近いサイトで処理するサービスが必要である。

本研究では，これらのスマートコミュニティ構築の課題に対応するための，システムアーキテクチャとその基盤技術を研究開発することが目的である。本研究の特徴は，従来のインフラごとに整備されてきた各種の情報をクラウドに集約し，相互運用可能とすることである。そのためには，(1) 従来以上の高効率な通信技術，(2) セキュアな情報伝送と高度で柔軟なプライバシー管理技術，(3) インフラ横断的なデータマイニング技術・環境制御技術，(4) 集約された情報に基づくシステムの開発技術，(5) 分野横断的な情報を用いた農業，ヘルスケア，交通・観光，エネルギー，エンターテインメントなどの応用技術を開発する必要がある。

以下，研究活動状況を記す。

研究推進会議を 1 回開催し，最新の研究成果を持ち寄り，議論を重ねた。開催日程および概要は以下の通りである。

<研究推進会議>

日時：平成 27 年 11 月 27 日～11 月 28 日

場所：東北大学電気通信研究所 6 階大会議室

参加者数：27 名(プロジェクトメンバ 12, 他 15)

A. 研究報告

(1) 「センサ型ヘルスケアシステム」水野忠則 (愛知工業大学)

(2) 「ウェアラブルコンピューティングのスポーツ応用」塚本昌彦 (神戸大学)

(3) 「IoT ベースシステムのフォーマルモデリングとテスト」東野輝夫 (大阪大学)

(4) 「持続可能な情報基盤プラットフォームプロジェクト」福田 晃 (九州大学)

- (5)「洪水防災のための協調分散 M2M アーキテクチャに関する研究」北上眞二（早大／三菱電機ビルテクノサービス）、白鳥則郎（早稲田大学）
- (6)「情報システムの安全性評価（試案）」宮西洋太郎（（株）アイエスイーエム）、白鳥則郎（早稲田大学）
- (7)「地域の安全度を考慮した位置情報匿名化」佐藤文明（東邦大学）
- (8)「無線資源の極限利用—現状と課題—」渡辺尚（大阪大学）
- (9)「安心とトラストの研究フィールドとしての災害情報処理」村山優子（岩手県立大学）
- (10)「協同の一般階層モデル」岡田謙一（慶応大学）
- (11)「モバイルコンピューティングのためのセキュリティ」高橋修（はこだて未来大学）

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度に得られた成果の一部を以下に述べる。

i) 路側設置マイクロフォンを用いた車両カウントシステムの研究（成果論文（1））

日本では、国土交通省によって交通量調査が概ね 5 年ごとに実施され、交通量データが取得されている。得られた交通量データは道路渋滞による損失時間や環境負荷などの定量的な評価に用いられ、現状の課題・実態の把握や今後の道路計画の策定に関わる重要なデータとなる。現在、交通量調査は人手による観測が中心であり、コスト削減が重要な課題となっている。道路交通センサスのコスト削減に向け機械式調査の導入が進められているが、設置やメンテナンスコストが高く、また二輪車を観測できないという問題点があった。

これに対し、本研究では音響センシングを用いた車両カウントシステムを提案している。可聴音は回折する特性があり、広範囲でのデータの取得が可能であるため設置場所の制約が弱く、道路側部の低い位置での設置などにより低コストで設置・運用することができる。また、可聴音を発する全ての車両が観測対象となるため二輪車の観測も可能となる。

本研究では従来のサウンドマップを用いた交通モニタリングに関する研究を拡張し、車両の通過を自動的に検出するシステムを実現する。具体的には、道路の側部に設置した 2 つのマイクロフォンで車両のタイヤが発する走行音を収集してサウンドマップを生成し、サウンドマップから車の台数を自動的にカウントするシステムを実装・評価した。九州大学伊都キャンパス内の片側一車線、合計二車線の道路において車両の走行音を取得し、交通量計測を行った。その結果、走行車両 176 台中 150 台が正しくカウントされ、F 値で 0.92 という高い精度でカウントできることを確認した。

ii) エッジコンピューティングのビジョンと課題について（成果文献（2））

近年 IoT ベースのシステムが注目され、盛んに開発されようとしている。IoT ベースのシステムでは、多数のセンサやモバイル端末がセンサ情報をクラウドなどのサーバにアップロードし、その情報に基づいてアクチュエータを制御する。しかし、クラウドを用いた情報のアップロードや制御には応答時間がかかるため素早い制御が難しい。

この論文では、センサデータの発生源に近い位置にデータの蓄積や処理を行うためのエッジサーバを配置して、素早いフィードバックを可能とするエッジコンピューティングというコンセプトを提案している。エッジコンピューティングでは、データの発生源であるスマートフォンや小さなセンサにおいて処理を分散することで、通信遅延を削減しリアルタイムの応答を可能とする。また、地理的に近いデータの自律的な収集と応答を行うとともに、グローバルなデータ処理についてはクラウドサーバと協調することで、レンテンシとスケーラビリティの問題を解決する。

また、エッジコンピューティングを実現するための課題として、a) クラウドセンシングに代表されるような人間主導のデータ分析システムの設計技術開発、b) エッジサーバとデータセンタとに分散するアプリケーションを開発するためのソフトウェアアーキテクチャやミドルウェアの開発、c) エッジサーバでプライバシーを保護しつつデータ処理するための柔軟で安全な暗号化技術や認証技術の開発、d) 多数のモバイル端末で動作できるためのスケーラブルな通信とデータ処理技術の開発が挙げられる。本論文では、これらの課題の整理と、エッジコンピューティングを実現していくシナリオとして、パーソナルな利用、ソーシャルスペースでの利用、公共スペースでの利用に分けて議論した。

iii) 地域の安全度を考慮した位置情報匿名化方式（成果文献（3））

GPS 等の位置情報取得技術の発達に伴い、位置情報の利活用が進展している。一方で、プライバシー侵害に結びつきやすい位置情報の利用の際には、個人の特定に繋がらぬよう曖昧化するなどの保護をかける必要がある。しかし、その保護の度合いによっては元のデータが持つ情報が失われて価値が低下してしまう問題があった。しかし、位置情報の精度と保護の度合いには、トレードオフの関係があり、同時に改善することは難しい。

この研究では、“位置安全性”という新たな評価尺度を導入し、保護の必要性の高い地域と低い地域を区別して保護することで位置情報の価値の低下を

回避して安全性が維持できる保護方式を提案した。

シミュレーションによって、提案方式によれば従来方式と同等の位置安全性を維持したまま位置情報の誤差を大きく減らしサービス品質を改善することができた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本研究を実施することにより、スマートコミュニティ構築のための基盤システムが構築され、インフラ横断的な情報サービスを各種アプリケーションに提供することが可能となる。基盤技術としては、多数のセンサを様々なアプリケーションから利用するための共通の API の策定、取得される情報形式の共通化、またクラウドに伝送するための効率的な通信技術が開発される。また、多数のセンサから必要な情報のみを選択的にクラウドにアップロードするエッジコンピューティングのプラットフォームが構築される。また、それに基づく交通、農業、医療、教育といった分野への様々なコンテンツ・サービスの導入を促進することが可能となる。

また、本プロジェクトメンバーが中核となる新しい国際学会が設立され、白鳥、東野、岡田、水野、宗森らによる国際会議 IWIN(International Workshop on INformatics)2015 を 9 月にオランダ・アムステルダムで開催した。本国際会議において、本プロジェクトに関わるセンサネットワークやセキュリティに関する研究成果が報告された。

本プロジェクトで開発された要素技術をもとに、科研費や SCOPE (戦略的情報通信研究開発推進制度) 等のいくつかの外部資金獲得へつなげていく予定である。

[4] 成果資料

(1) 三村 晃平, 劉 嵩, 石田 繁巳, 田頭 茂明, 福田 晃, 路側設置マイクロフォンを用いた車両カウントシステムの設計と初期的評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 知的環境とセンサネットワーク研究会, ASN2015-98 (2016)

(2) García-López, P., Montresor, A., Epema, D., Datta, A., Higashino, T., Iamnitchi, A., Barcellos, M., Felber, P., Riviere, E., "Edge-centric Computing: Vision and Challenges", ACM SIGCOMM Computer Communication Review, Vol. 45, No. 5, pp. 37-42, 2015.

(3) Kohei Kasori, Fumiaki Sato, "Location Privacy Protection Considering the Location Safety", The 18-th The International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS), pp. 140-145, 2015.

(4) 北上真二, 荻野正, 宮西洋太郎, 浦野義頼, 白鳥則郎: 大規模イベント会場における人の動線分析に関する一考察, 情報処理学会代 78 回全国大会論文

集 5C-01 (2016)

(5) 大江信宏, 北上真二, 米盛弘信, 井上雅裕, 汐月哲夫, 小泉寿男: M2Mのプロトタイプ構築によるものづくり教育システムの提案と実践, 電気学会論文誌A, Vol. 135, No. 11, pp. 655-665(2015)

(6) Fatos Khafa, Christian Sánchez, Admir Barolli, and Makoto Takizawa, Solving Mesh Router Nodes Placement Problem in Wireless Mesh Networks by Tabu Search Algorithm, Journal of Computer and System Sciences (JCSS), Vol. 81, No. 8, Dec. 2015, pp. 1417-1428 (DOI: 10.1016/j.jcss.2014.12.018).

(7) Noriki Uchida, Goshi Sato, Yoshitaka Shibata, Norio Shiratori: Proposal of connectivity Support Methods with Autonomous Flight Wireless Nodes for Never Die Network, pp. 387-392, The 18th International Conference on Network-Based Information Systems (NBIS) Taipei, Taiwan (Sept. 2015).

(8) 松浦 絵理, 鈴木 理沙, 本間 秀太郎, 熊崎 博一, 岡田 謙一: "医療用嗅覚ディスプレイを用いた自閉スペクトラム症児の嗅覚検知能力測定", 情報処理学会論文誌 Vol. 57 No. 2 803-810 (2016)

(9) Takuya Fujihashi, Shiho Kodera, Shunsuke Saruwatari, Takashi Watanabe, Wireless Multi-view Video Streaming with Subcarrier Allocation, IEICE Transactions on Communications, Vol. E99-B, No. 2, pp. 542-554, Feb. 2016.

(10) Takamasa Mizukami, Katsuhiro Naito, Chiaki Doi, Ken Ohta, Hiroshi Inamura, Takaaki Hishida, and Tadanori Mizuno: Evaluation of an Unconscious Participatory Sensing System with iOS Devices, Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN2015), pp. 117-123 (2015. 9).

(11) Juntao Gao, Yulong Shen, Xiaohong Jiang, Osamu Takahashi, Norio Shiratori: End-to-End Delay Modeling for Mobile Ad Hoc Networks: A Quasi-Birth-and-Death Approach, Ad Hoc & Sensor Wireless Networks 29(1-4): 265-285 (2015).

(12) Shigemi Ishida, Kousaku Izumi, Shigeaki Tagashira, and Akira Fukuda, WiFi AP-RSS Monitoring using Sensor Nodes toward Anchor-Free Sensor Localization, IEEE 82nd Vehicular Technology Conference (VTC2015-Fall), pp. 1-5 (2015)

(13) Fumiaki Sato, "A Reputation System that Resists a Collusive Attack Focused on a Specific Target", Journal of Information Processing Vol. 24, No. 2 pp. 211-216 (2016).

採択回数	(1)	2	3
(若手)			

採択番号 H27/A26

ユビキタスシステムの実世界導入に向けた実証的研究

〔1〕組織

代表者：荒川豊

(奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科)

対応者：高橋秀幸

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

内山彰 (大阪大学大学院情報科学研究科)

猿渡俊介 (静岡大学大学院情報学研究科)

村尾和哉 (立命館大学情報理工学部情報システム学科)

中村嘉隆 (公立はこだて未来大学システム情報科学部)

木谷友哉 (静岡大学大学院情報学研究科)

鈴木秀和 (名城大学理工学部情報工学科)

神崎映光 (島根大学大学院総合理工学研究科)

米澤拓郎 (慶應義塾大学政策・メディア研究科)

川原圭博 (東京大学大学院情報理工学系研究科)

岩井将行(東京電機大学未来科学部情報メディア学科)

梶克彦 (愛知工業大学情報科学部情報科学科)

内藤克浩 (愛知工業大学情報科学部情報科学科)

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)

延べ参加人数： 16人

研究費：

物件費 13万7千円

旅費 26万1千円

若手特別支援費 20万円

〔2〕研究経過

2000年頃から通信技術の高速大容量化が進み、2008年頃からスマートフォンの本格的な普及が始まり、2014年頃からウェアラブル機器が広がりを見せている。20年をかけて起きたこれらのパラダイムシフトによって、マーク・ワイザーが提唱したユビキタス社会、つまりあらゆるものがコンピュータとしてネットワークに接続されている世界、がついに現実のものになろうとしている。

同時に、「情報技術のコモディティ化」が著しい。ソフトウェア開発も敷居が下がり、3Dプリンタや安価なマイコンプラットフォームが普及したことで、誰もが研究者のように開発することが可能になってきている。一般的には歓迎すべきことであるが、我々研究者はコモディティ化されていない技術について

研究を進める、あるいは、コモディティ化された技術の先にある課題に取り組む必要がある。そして、単に一つの専門分野だけではなく、領域横断的、そして実際にシステムを社会検証する実証的な研究が求められている。本研究では、ユビキタスシステムの基盤となる、センサ、ネットワーク、サービスという3つの研究領域を融合することと、実世界へのユビキタスシステムの導入した際の課題を明らかにすることを目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第1年度であり、それぞれがこれまでに行ってきた、あるいはこれから実施するユビキタスシステムを題材としたディスカッションを行い、次年度に向けた課題と共同実施可能な研究領域を抽出した。研究活動状況としては、2015年11月27日～28日に東北大学電気通信研究所において研究会を開催した。研究会では、本研究グループに加えて、2つの研究グループとも共催し、分野的にも年齢的にも幅広く研究ディスカッションを行った。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

第1に都市センシングに関するユビキタスシステムの社会実装例として、名城大学鈴木准教授が「センサネットワークを活用したバスロケーションサービスの実証実験」について説明した。本実験は無線センサネットワークを利用してバスの位置情報の収集および運行情報の配信を行うバスロケーションサービスを、地方自治体が運営するコミュニティバスで1年間実施したものであり、センサノードを搭載したバス停や車載器などを地元企業と共同で試作したこと、地方自治体と連携して実施した検証実験の概要と結果について紹介された。実証実験を通じて、無線センサネットワークを活用してバスなどの移動体をセンシングできることが明らかとなり、バスだけでなくレンタサイクルや高齢者・子供の見守りなどへの応用が可能であることを示した。また、四季や都市環境、交通環境の変化が無線センサネットワークの接続性に大きな影響を与えることや、都市環境にセンサノードを設置する際には行政の各部門と調整が必要であるなど、非技術的な課題についても示された。また、これに関連して、慶應義塾大学米澤特任助教が「スマートシティを実現する Live

「Open Data Stream 技術」を紹介し、インターネット上の非構造化データを容易に構造化して利活用する手法の有効性について論じた。これらの研究事例に関するディスカッションを通じて、ユビキタスシステムの社会実装に関して重要な点としては、都市環境の変化に柔軟に対応可能なプロトコルやシステムが必要であるということが明らかになった。また、このような実験を行う場合に、縦割り行政の弊害により実験の認可が下りるまでに時間がかかることが多く、それを見越して研究計画を立案することが重要であることが報告された。

第2に高精度センシングに関する社会連携例として、静岡大学木谷准教授が「自動二輪車装着型センサからの走行データの取得」について説明した。木谷准教授は、バイク情報学という新しい研究領域を開拓中で、その中で高精度な位置測位が課題となっていることを示した上で、その装置の普及に向けて地場企業と連携している事例が紹介された。本研究では、多数の二輪車に搭載した運動センサから車体運動をセンシングし、自動二輪車の安全性や生産性向上のための基礎となる車体運動モデル解明のためのデータを取得する。このとき、高精度の測位情報は運転者の行動把握だけでなく、運動センサの計測誤差補正にも利用でき、多数の車両に搭載する運動センサのコストを小さく抑えたセンシングが可能となる検証結果が示された。

第3にIoT時代のネットワークのあり方について、愛知工業大学内藤准教授より、「分散協調型 IoT システムを実現する基盤フレームワークの開発」について説明があった。本フレームワークは、IoT 機器を管理する枠組みと相互連携させる枠組みにより構成される。IoT 機器の管理枠組みは分散配置が可能であり、相互連携させる枠組みは、必要な情報を IoT 機器の管理枠組みより取得することにより、各 IoT 機器が保持する機能を把握する。また、相互連携の枠組みを定義することにより、IoT 機器が自律的に相互連携するためのルール配布を行う。結果として、規模拡張性の高い分散管理に基づく IoT 機器の相互連携を実現可能である。またこれに関連して、和歌山大学吉廣准教授より、「管理コストの低い長寿命なセンサネットワークプロトコルの開発」について紹介があった。本研究は、低消費電力性能に優れた受信ノード主導型 MAC プロトコルにおいて、データ配送木の葉ノードがビーコンの送信を省略することにより、データを中継する必要がある一部のノードのみが定期的にバッテリーを交換することで長期にわたり現実的な管理コストで維持できるセンサネットワークを実現する技術である。これらの研究事例に関するディスカッションを通じて、将来的には規模

拡張性を備えた IoT 機器の相互連携を、低い消費電力かつ運用コストにて提供できる可能性があることが明らかになった。

第4に生活に溶けこむセンシング事例として、立命館大学村尾助教から、「非電化製品のセンサ化による動作認識および人物推定」に関する発表があった。本研究は、トイレトペーパーやダイニングテーブル、シャワーヘッドなどの非電化製品に安価かつ小型のセンサを搭載して非電化製品のセンサ化を実現し、多変量解析や機械学習によって動作認識および人物推定を行い、居住空間および居住者を管理・制御するシステムの構築を目的としている。シンプルで使いやすい電化製品と比較して、非電化製品には個人の使用方法が大きく現れることに着目している点が特徴である。また、これに関連して大阪大学内山助教より、「ウェアラブルセンサを用いた深部体温推定」に関する事例が紹介された。身体深部の体温をリアルタイムに把握することは高齢者や運動中の熱中症予防に重要であるが、鼓膜などの中枢付近の温度を測定する必要がある、活動中のリアルタイムでの測定は困難である。そこで本研究では活動の妨げにならない腕時計型のウェアラブルセンサにより活動量や心拍数を取得し、環境の温度や湿度のリアルタイムセンサデータと組み合わせることにより、深部体温を推定する方式を考案している。これらの研究事例に関するディスカッションを通じて、家庭やオフィスなどに設置されている様々な物にセンサを付加したり、人々が身につけるウェアラブルセンサを利用することで、高齢者の見守りや生活行動の改善など、安心・安全な社会の実現に寄与できることが明らかになった。

第5にこれから始まるユビキタスシステムの社会実装研究の事例として、奈良先端大荒川より、「情報技術を用いた行動変容喚起に関する社会実験」に関する説明を行った。この社会実験は、「情報」によって人の行動を変化させ、その変化を社会システムの運用に利用しようと言う挑戦的な研究である。センシングや認識といった研究の先にある研究事例として紹介し、どのような情報技術科必要であるかを参加者と共有した。またこれに関連して、東京大学川原准教授より、「万有情報網の創生に向けて」について紹介があった。本プロジェクトは、ERATO に採択された課題であり、Internet of Things の実現に向けた重要な技術課題であるデジタルファブ리케이션と無線給電そして、ロボティクスを領域横断的に取り組む研究開発である。本技術課題は情報科学に立脚しながらも材料化学から電磁気学、機械工学まであらゆる技術を横断的に融合することが鍵となる。これらの研究事例に関するディスカッショ

ンを通じて、これからの研究は単一の技術、組織だけではなく、広く連携して実施することの重要性が明らかになった。また、若手研究者に対する期待も大きく、大型予算も獲得可能であることが示された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

今回、他の東北大プロジェクトと共催研究会を開催したことにより、異なる年代の先端研究者に対して若手研究者のアクティビティを示すことができたと考えられる。また、参加者の中でお互いがお互いの研究に刺激を受けており、今後の発展性が期待できる。さらに、それぞれの研究を共有できたことにより、来年度は共同で研究費に応募するなど新しい連携が期待できる。

本プロジェクトの成果の一例をは、研究会の設立である。奈良先端大荒川准教授が発表した研究内容は、発表時点では大学内に閉じた研究プロジェクトであったが、本プロジェクトにおけるディスカッションを通じ、情報技術と社会を結ぶ場が必要であると痛感し、情報処理学会関西支部の下「行動変容と社会システム」研究会を設立するに至った。すでに承認を受け、2016年4月から活動を開始する。ここにおいて、継続的にユビキタスシステムの社会実装に関して議論を深めていきたいと考えている。

(特別支援(若手)にかかる研究成果)

若手特別支援をいただいたことで、4名の若手研究者を東北大学で開催された研究会に招聘することができた。

[4] 成果資料

- (1) 荒川豊, “[招待講演] 行動変容促進メカニズムの解明に向けた実験について,” 電子情報通信学会技術研究報告, ヒューマンプロープ研究会, 2015年6月19日.
- (2) Y. Arakawa and Y. Matsuda, “[Invited Paper] Gamification mechanism for enhancing a participatory urban sensing: survey and practical results,” *Journal of Information Processing*, Vol. 24, No. 1, pp. 31-38, 2016.
- (3) 赤池勇磨, 荒川豊, 諏訪博彦, 安本慶一, “参加型センシングの効率化に向けたコンテキストに基づく応答の推定,” 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 2, pp. 543-552, 2016年2月.
- (4) 倉橋真也, 村尾和哉, 寺田 努, 塚本昌彦: トイレトペーパーの回転に基づくトイレ使用者識別手法, 情報処理学会マルチメディア, 分岐, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2015) 論文集, Vol. 2015, No. 1, pp. 1217-1225 (July 2015).
- (5) 黒木琴海, 小寺志保, 倉田成人, 濱本卓司, 猿渡俊介, “軍艦島モニタリングにおけるタスクスケジューリングの課題,” 電子情報通信学会ソサイエティ大会 (2015年9月).
- (6) K. Narumi, S. Hodges, and Y. Kawahara, “ConductAR: An Augmented Reality Based Tool for Iterative Design of Conductive Ink Circuits,” *Proc. of ACM UbiComp 2015*, pp. 791-800, Osaka, Japan, Sept. 2015.
- (7) A. Uchiyama, T. Hamatani, and T. Higashino, “Estimation of Core Temperature Based on a Human Thermal Model Using a Wearable Sensor”, in *Proceedings of IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2015)*, 2015. (Invited Talk)
- (8) K. Tanaka, F. Sugihara, K. Naito, H. Suzuki, and A. Watanabe, “Design of an application based IP mobility scheme on Linux systems,” in *Proceedings of International Workshop on Informatics (IWIN) 2015*, September 2015.
- (9) 梶克彦, 河口信夫, 安定センシング区間検出に基づく3次元歩行軌跡推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol. 57, No. 1, pp. 12-24, 2016.
- (10) 木谷友哉, “複数の運動センサと測位装置のみを用いた二輪車の車体運動計測手法の基礎検討,” 自動車技術会 2015年春季大会 講演予稿集, pp. 1995-2000, May 2015.
- (11) W. Nishio, H. Adachi, H. Suzuki and Y. Matsumoto, “Estimation of bus traveling section using wireless sensor networks for bus location system,” in *Proceedings of the 22nd ITS World Congress 2015*, No. ITS-1694, pp. 1-10, October 2015.
- (12) Z. Peng, T. Kato, H. Takahashi, T. Kinoshita, “Intelligent Home Security System Using Agent-based IoT Devices,” *Proc. of the 4th IEEE Global Conference on Consumer Electronics (GCCE 2015)*, pp. 313-314, Oct. 2015.
- (13) S. Hyuga, M. Ito, M. Iwai, K. Sezaki, “Estimate a User’s Location Using Smartphone’s Barometer on a Subway” MELT2015:5th International Workshop on Mobile Entity Localization and Tracking in GPS-less Environments co-located with 23rd ACM SIGSPATIAL, Nov. 3, 2015. (Best Paper)

採択番号 H27/A27

嗅覚を含むマルチモーダル情報処理過程に関する研究

〔1〕組織

代表者：坂井信之（東北大学文学研究科准教授）

対応者：坂本修一（東北大学電気通信研究所准教授）

分担者：行場次朗（東北大学文学研究科教授）

大沼卓也（東北大学国際高等研究教育院院生）

和田有史（独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構）

鈴木陽一（東北大学電気通信研究所教授）

延べ参加人数：6人

研究費：物件費 13 万 7 千円、旅費 5 万円

〔2〕研究経過

現在の情報通信のメインは映像と音声によるものである。一方、人の外界の知覚は、単一の感覚のみによって生じるのではなく、複数の感覚の統合が必要となる。この意味に置いて、現在の情報通信による臨場感の伝達には限界がある。そのため、未来の情報通信を考えると、他の感覚を合わせた情報通信方法の開発は不可避である。しかしながら、嗅覚や味覚は実際に化学物質によって喚起される感覚情報であるため、化学物質の移動なしには、伝達することは難しい。そこで、申請者らは嗅覚や味覚と他の感覚の統合を応用し、化学物質の移動なしでも、臨場感を高める方法を提案したい。

現状では、複数の感覚種の情報の統合に関する研究は多くない。特に、今回申請を考えている嗅覚を含んだマルチモーダル情報処理過程についてはほとんど研究例がない。例外的にオックスフォード大学の Spence 教授らがおこなった嗅覚と聴覚の注意の共有機構に関するものや我々のグループがおこなった嗅覚と視覚、あるいは嗅覚と味覚の相互作用に関するものがある。しかしながら、嗅覚を含む3種類以上の刺激を組み合わせたマルチモーダル情報処理についてはほとんど研究されていない。そこで、本研究では、嗅覚を中心とし、嗅覚と視覚や聴覚との統合や相互作用の仕組みを明らかにすることで、化学物質の移動がなくとも、視覚や聴覚によって嗅覚を補い、臨場感を高める情報通信の方法を探ること

を目的とする。

嗅覚を中心課題とする理由は、嗅覚が意識上、意識下に関係なく、人の外界の認知や外界への働きかけ、あるいは対人関係などに深く関与するということが知られているからである。視覚刺激や聴覚刺激を使って、このような無意識下の嗅覚機能を活性化することができれば、実際には嗅覚を刺激しない（化学物質を伝達しない）条件でも、嗅覚が刺激されたような感じを与えることができ、伝達される情報の臨場感を高めることができると期待される。

そこで、本研究では、貴所に設置されている嗅覚実験装置を使い、嗅覚が呈示されているときの視覚情報や聴覚情報処理について調べる。仮説としては、嗅覚により喚起される表象が、視覚刺激や聴覚刺激の表象と一致するときには、それぞれの情報処理過程が促進され、不一致のときには抑制されるというものである。

嗅覚刺激は、空気ポンプと圧力調節器や電磁弁などを用いて、環境臭（香り）としての呈示法を予定している。一方で、聴覚刺激はヘッドフォン、視覚刺激はグラス型のディスプレイを用いた呈示をおこなう。つまり、嗅覚刺激は明確な感覚刺激として呈示するのではなく文脈刺激として呈示し、その嗅覚の文脈刺激の存在下で、聴覚情報処理や視覚情報処理、あるいは視覚と聴覚のマルチモーダル情報処理のそれぞれの過程がどのように影響を受けるかということ进行を明らかにする。この研究から、嗅覚と視覚や聴覚の相互作用メカニズムに関する知見を得ることができる。

〔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。

まず第1に、貴所の嗅覚実験装置の出来栄および性能を確認できたことである。当初は防音室という部屋の性格上、嗅覚刺激が外へ漏れ出した場合、壁や床材に吸着してしまい、他の研究者の方々にも多大な迷惑をかけることが危惧された。しかしながら、坂本先生のご尽力により、想定以上の装置を導入していただき、その危惧が霧消した。

第2に、香りが人物の印象評定に大きな影響を与えることが確認できたことである。本研究では香りの存在下で、顔写真を提示し、その人物の性格を推定するという代表者が確立した方法を実施した。その結果、香りの種類と写真の人物イメージの相互作用が見られることがわかった。このことは、本研究の仮説（一致の時には促進され、不一致の時には抑制される）を検証する際に、非常に有益なツールとなることが予想される。

（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、初年度ということもあり、予備的検証やこれまでの研究結果の確認という段階に終始した。しかしながら、今年度の研究で、本研究の目的に沿う研究が実施できるという確信を得ることができた。次年度も継続し、次年度にはきちんとした研究結果を得て、外部に報告・発表できる形にしたいと思っている。

〔4〕成果資料
なし

採択回数	1	2	3
(先端・萌芽)			

採択番号 H25/B01

非平衡スピン・ゆらぎの精緻な制御と観測による 新規ナノデバイスの開拓研究

〔1〕組織

組織

代表者：野村 晋太郎

(筑波大学数理物質系)

対応者：大野 英男

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

一宮 彪彦

(名古屋大学大学院工学研究科)

伊藤 智徳

(三重大学大学院工学研究科)

押山 淳

(東京大学大学院工学系研究科)

白石 賢二

(名古屋大学大学院工学研究科)

喜多 隆

(神戸大学大学院工学研究科)

小林 研介

(大阪大学大学院理学研究科)

佐々木 進

(新潟大学工学部)

佐藤 正寛

(日本原子力研究開発機構)

長谷川 修司

(東京大学大学院理学系研究科)

中山 弘

(大阪市立大学大学院工学研究科)

名西 惲之

(立命館大学・理工学部)

西永 頌

(東京大学大学院工学系研究科)

平山 祥郎

(東北大学大学院理学研究科)

中山 隆史

(千葉大学大学院理学研究科)

松下 雄一郎

(東京大学大学院工学系研究科)

三沢 和彦

(東京農工大学大学院工学研究科)

山口 浩司

(NTT 物性科学基礎研究所)

延べ参加人数：19人

研究費：旅費24万9千円

〔2〕研究経過

急速に進歩しつつある不揮発性スピントロニクスデバイスにおいて消費電力の低減と動作速度の向上を図るために、ナノ構造中での非平衡スピン・ゆらぎの観測手法とその物理的解明は、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、ナノ構造の作製・観測・理論解析の専門家による討論の場を設け、新規ナノデバイス創成に資する知見の獲得を目的として研究を行った。

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。前年度は、ナノ構造中での非平衡状態にある近藤効果によるゆらぎと高感度化されたNMR装置による核スピンの精密測定等について新規ナノデバイス創成の観点から議論が深められ、そのための課題が明らかになった。そこで、本年度は、前年度の成果を踏まえながら、最近大きな発展の見られる精緻なスピン制御と観測手法、例えば円偏光レーザーによる磁化制御、光励起核スピン偏極の高感度検出等について議論を行った。揺らぎ、相関効果と非平衡ダイナミクスに基づくナノデバイスデザインに関する議論を展開し、非平衡スピンとゆらぎについての物理的解明のための研究手法と今後の研究の進め方について議論を深めた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本プロジェクトでは、半導体サイエンスからは「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、半導体テクノロジーからは、「半導体結晶成長技術」、「半導体デバイス技術」等の国内を代表する研究者を主力メンバーとして組織した。平成27年10月8日・10月9日に宮城県黒川郡大和町「ベルサンピアみやぎ泉」に於いて開催された研究会では、18名の参加者を得て、非平衡スピンとゆらぎをナノスケールで制御する処方箋の確立を目指した徹底的な討論を行った。

[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。

まず第1に、 $1/2$ スピンとみなすことができるパラメトリック機械共振器の双安定状態を用いたイジングスピンモデル構築の可能性について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第2に、高感度核スピン検出システムによってはじめて明らかにされた半導体中のゆらぎのスペクトルの異方性について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第3に、円偏光レーザーを照射することによって量子磁性体、誘電体に磁化とスピン流を生成する方法について理論的に提案がなされ、今後の研究推進の指針が明らかにされた。

第4に、テラヘルツ帯で偏光状態を任意に設計し照射する手法であるベクトル波形整形パルスについて紹介され、テラヘルツ帯キラリティを有する電磁場照射により物質の時間反転対称性を破ることによって初めて現れる量子状態について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第5に、ねじれ偏光パルスや THz 円偏光パルスを用いた単一ヘトロ構造中の新たな非平衡多体状態の実現の可能性について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第6に、GaAs 量子構造中に核スピン偏極を光学的に生成し、それを電気的抵抗検出によって研究する手法について議論され、今後の課題が明らかにされた。

第7に、半導体マイクロ構造を結晶成長により形成する際に現れるファセット形成条件について表面面間拡散の観点から議論され、今後の研究課題について総合的に議論された。

第8に、InGaN 結晶中の転移と In の析出との関係が static な成長プロセスと dynamic な成長プロセスの観点から議論され、転移の影響を意識的に抑制する手法について提案がなされ、今後の研究推進の指針が明らかにされた。

第9に、InAs/GaAs(001)系における量子ドット形成機構が量子論的アプローチによって従来の考えと異なる形成過程を示唆していることが議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第10に、量子ドット超格子の物性を踏まえた太陽電池の透過損失を抑制する手法について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第11に、Si(111)表面上に形成される空間反転対称性の破れたモノレイヤー超伝導状態について報告され、ラシュバ効果による大きなスピン分裂の観点から議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第12に、グラフェンに形成された pn 接合の関わる量子ホール端状態について電流ゆらぎから調べる手法について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第13に、全反射高速陽電子回折によって結晶再表面の構造と物性を研究する可能性について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第14に、原子レベルの第一原理量子論とマクロスコピックな流体力学による predictable なシミュレーション手法の可能性について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第15に、 sp^3 結合からなる半導体の Floating 状態について第一原理計算手法によって調べた例が示され、微細加工なしに一次元伝導チャネルを実現する手法の可能性について議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第16に、Si-TFET における Al+N のような等電荷不純物準位のトンネル電流に与える影響に関して議論され、今後の研究課題が明らかにされた。

第17に、(Ga, Mn)As や CoFeB-MgO にみられる磁気緩和定数に対する電界効果に関して議論され、今後の研究課題について総合的に議論された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、半導体サイエンスからは「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、半導体テクノロジーからは、「半導体結晶成長技術」、「半導体デバイス技術」等の国内を代表する研究者を主力メンバーとして組織され、分野間の壁を越えたところで、非平衡スピン・ゆらぎについての物理的解明を行い、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する希有の機会を提供することができた。本プロジェクトでの徹底した討論から、高感度核スピン検出法、光による新たな磁化とスピン流の制御法、電流ゆらぎの測定等において新たな研究分野を開くことに貢献することができた。以上のナノサイエンス・ナノテクノロジーに関する成果は、ナノスケール特有の非平衡スピン・ゆらぎの精緻な制御と観測に根ざした新原理デバイスの大きな指針を与え、次世代のイノベーションのシーズとなると期待される。

本研究成果の一部は、下記の新規プロジェクトの立ち上げに貢献した。

・ベクトル電場波形整形パルスによる時間反転対称性の破れた量子系の生成と制御、科学研究費基盤研究(A)(一般)、代表：東京農工大学、平成27年度～平成29年度。

[4] 成果資料

1. Meydi Ferrier, Tomonori Arakawa, Tokuro Hata, Ryo Fujiwara, Raphaëlle Delagrangé, Raphaël Weil, Richard Deblock, Rui Sakano, Akira Oguri and Kensuke Kobayashi, "Universality of non-equilibrium fluctuations in strongly correlated quantum liquids", *Nature Phys.* **12**, 230-235 (2016).
2. I. Mahboob, N. Perrissin, K. Nishiguchi, D. Hatanaka, Y. Okazaki, A. Fujiwara, and H. Yamaguchi, "Dispersive and Dissipative Coupling in a Micromechanical Resonator Embedded with a Nanomechanical Resonator", *Nano Lett.* **15**, 2312–2317 (2015).
3. R. Ohta, H. Okamoto, R. Hey, K. J. Friedland and H. Yamaguchi, "Optically induced strong intermodal coupling in mechanical resonators at room temperature", *App. Phys. Lett.* **107**, 091906 (2015).
4. Lin Chen, Fumihiko Matsukura, and Hideo Ohno, "Electric-Field Modulation of Damping Constant in a Ferromagnetic Semiconductor (Ga,Mn)As", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 057204 (2015).
5. S. DuttaGupta, S. Fukami, C. Zhang, H. Sato, M. Yamanouchi, F. Matsukura, and H. Ohno, "Adiabatic spin-transfer-torque-induced domain wall creep in a magnetic metal," *Nature Physics*, 3593, (2015).
6. T. Hirahara, T. Shirai, T. Hajiri, M. Matsunami, K. Tanaka, S. Kimura, S. Hasegawa, and K. Kobayashi, "Role of Quantum and Surface-State Effects in the Bulk Fermi Level Position of Ultrathin Bi films", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 106803 (2015).
7. A.V. Matetskiy, S. Ichinokura, L.V. Bondarenko, A.Y. Tupchaya, D.V. Gruznev, A.V. Zotov, A.A. Saranin, R. Hobara, A. Takayama, and S. Hasegawa, "Two-dimensional superconductor with giant Rashba effect: One-atomic-layer Tl-Pb compound on Si(111)", *Phys. Rev. Lett.* **115**, 147003 (2015).
8. Yuki Sakai and Atsushi Oshiyama, "Structural stability and energy-gap modulation through atomic protrusion in freestanding bilayer silicene", *Phys. Rev. B* **91**, 201405 (2015).
9. Zhi-Xin Guo, Yue-Yu Zhang, Hongjun Xiang, Xin-Gao Gong, and Atsushi Oshiyama, "Structural evolution and optoelectronic applications of multilayer silicene", *Phys. Rev. B* **92**, 201413 (2015).
10. Shintaro Nomura, Syuhei Mamyouda, Hironori Ito, Yusuke Shibata, Tomoya Ohira, Luno Yoshikawa, Youiti Ootuka, Satoshi Kashiwaya, Masumi Yamaguchi, Hiroyuki Tamura, Tatsushi Akazaki, "Circularly Polarized Near-field Scanning Optical Microscope for Investigations of Edge States of a Two-dimensional Electron System", *Appl. Phys. A* **121**, (4), 1341-1345 (2015).
11. Yusuke Shibata, Shintaro Nomura, Hiromi Kashiwaya, Satoshi Kashiwaya, Ryosuke Ishiguro, and Hideaki Takayanagi, "Imaging of current density distributions with a Nb weak-link scanning nano-SQUID microscope", *Sci. Rep.* **5**, 15097 (2015).
12. Shigemasa Suga, Christian Tusche, Yu-ichiro Matsushita, Martin Ellguth, Akinori Irizawa and Jürgen Kirschner, "Momentum microscopy of the layered semiconductor TiS_2 and Ni intercalated $\text{Ni}_{1/3}\text{TiS}_2$ ", *New. J. Phys.*, **17**, 083010 (2015).
13. K. Toprasertpong, T. Tanibuchi, H. Fujii, T. Kada, S. Asahi, K. Watanabe, M. Sugiyama, T. Kita, and Y. Nakano, "Comparison of Electron and Hole Mobilities in Multiple-Quantum-Well Solar Cells Using a Time-of-Flight Technique", *IEEE J. Photovoltaics*, **5**, 1613 (2015).
14. Kasidit Toprasertpong, Naofumi Kasamatsu, Hiromasa Fujii, Tomoyuki Kada, Shigeo Asahi, Yunpeng Wang, Kentaroh Watanabe, Masakazu Sugiyama, Takashi Kita and Yoshiaki Nakano, "Microscopic observation of carrier-transport dynamics in quantum-structure solar cells using a time-of-flight technique", *Appl. Phys. Lett.* **107**, 043901 (2015).

採択回数	1	2	3
(萌芽)			

採択番号 H25/B02

微粒子プラズマ物理に基づいた新規ナノ材料創成

[1] 組織

代表者：白谷 正治

(九州大学大学院システム情報科学研究院)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

足立 聡 (宇宙航空研究開発機構)

飯塚 哲 (東北大学大学院工学研究科)

石原 修 (中部大学総合工学研究所)

内田 儀一郎 (大阪大学接合科学研究所)

上村 鉄雄 (核融合科学研究所)

古閑 一憲 (九州大学大学院システム情報科学研究院)

佐藤 徳芳 (東北大学)

齋藤 和史 (宇都宮大学大学院工学研究科)

柴田 裕実 (大阪大学)

高橋 和生 (京都工芸繊維大学工学科学研究科)

東辻 浩夫 (岡山大学)

林 康明 (京都工芸繊維大学工学科学研究科)

増崎 貴 (核融合科学研究所)

三重野 哲 (静岡大学創造科学技術大学院)

山野内 敬 (仙台高等専門学校)

渡辺 征夫 (九州大学)

竹中 弘祐 (大阪大学接合科学研究所)

瀬戸 章文 (金沢大学理工学研究域)

高見 誠一 (東北大学多元物質科学研究所)

延べ参加人数：44人

研究費：旅費 24万1千円

[2] 研究経過

本研究プロジェクトの目的は、量子効果が期待できる新規ナノ材料を反応性微粒子プラズマプロセスを用いて探索し、次世代のナノ情報通信デバイスへと応用展開することにある。近年、反応性ガスを用いたプラズマプロセスにより、気相中で様々なナノ材料の生成が実現している。プラズマを利用したナノ粒子生成には、粒子の凝集を制御できる等のプラズマプロセス特有の利点があるが、サイズ制御や構造制御など微粒子微細制御法の確立までには至って

いない。このような研究背景において、本研究プロジェクトでは、ナノサイズからミクロンサイズまでの微粒子を含むプラズマ（微粒子プラズマ）の基礎的物性を明らかに、その知見を新規ナノ粒子生成プロセスへと応用展開することを目的とする。具体的には、プラズマ中微粒子群の相転移・臨界現象など微粒子プラズマ特有の微細揺動現象の発現メカニズムを議論し、揺動制御による新規ナノ材料創成プラズマプロセスの実現を目指す。本研究プロジェクトの特徴は、基礎プラズマ分野と応用プラズマ分野の領域横断的な研究組織を構成することにより、多角的な視点から新規プラズマプロセスに関する活発な議論を行う点にある。以下、研究活動状況の概要を記す。

【研究討論会開催状況】

日時：平成27年8月31日、9月1日

場所：東北大学大学院工学研究科電気・情報系1号館別館451・453会議室

参加者：8月31日 44人、9月1日 37人

1. 微粒子プラズマの新しい発展性
石原 修 (中部大学)
2. 微粒子プラズマ物理に関する最近の研究・14th Workshop on the Physics of Dusty Plasma に出席して
林 康明 (京都工芸繊維大学)
3. Cs フリー表面生成法によるイオン性プラズマの生成
大原 渡 (山口大学)
4. アモルファスシリコン系薄膜太陽電池作製プロセス
松田 彰久 (大阪大学)
5. プラズマ遺伝子注入のためのプラズマ制御
金子 俊郎 (東北大学)
6. コンプレックス・プラズマ中における微粒子の流れに関する実験
齋藤 和史 (宇都宮大学)
7. 小惑星衝突による有機分子合成(ガス銃を用いたモデル実験)
大河内 一輝, 三重野 哲 (静岡大学)
8. プラズマ中2対衝突ダスト間引力・斥力の検出
白谷 正治 (九州大学)

9. 大気圧非平衡プラズマと液面相互作用の可視化 内田 儀一郎 (大阪大学)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

中部大 石原先生、宇都宮大 齋藤先生より、微粒子プラズマの新しい発展性についての発表があった。プラズマ中には様々な電磁波が伝播でき、プラズマの誘電率、透磁率を制御することにより、新たなプラズマ物性研究が展開できることが理論的に示された。また、微粒子プラズマ中における微粒子流に関する最新の実験結果が報告された。微粒子プラズマ中に障害物を設置し、その周辺に帯電微粒子流を発生させたところ、微粒子流が音速を超えると障害物前面にバウショック構造が観測された。また、障害物後方には、微粒子群の吹き溜まり領域が発生した。微粒子群の渦流や乱流などの流体的挙動について議論された。

京都工芸大 林先生より、アメリカで開催された 14th Workshop on the Physics of Dusty Plasma 国際会議についての報告があった。強磁場と微粒子プラズマとの相互作用に関する実験、無重力環境下での微粒子プラズマ実験等の最新研究成果が紹介された。また、核融合科学研究所での大型ヘリカル装置での微粒子計測結果についても報告された。

山口大 大原先生より、プラズマ加熱用中性粒子ビームへの応用を目指した、セシウムフリー表面生成法によるイオン性プラズマの生成に関する報告があった。従来は仕事関数の低いセシウムに水素イオンを照射することにより、水素負イオンを生成している。これに対し、金属グリッドを設置し、グリッド内で負イオンを生成する新規水素負イオン生成技術が報告された。

大阪大 松田先生より、アモルファスシリコン系薄膜太陽電池作製プロセスに関する報告があった(特別招待講演)。プラズマ CVD を用いたアモルファスシリコン薄膜堆積時の膜表面化学反応の基礎過程を分かり易く解説頂いた。膜中欠陥密度が下地の基板の状態で大きく変わり、特にドーブ層上に堆積したアモルファス膜では欠陥密度が大幅に増大するデータが示された。

東北大 金子先生より、プラズマ遺伝子注入のためのプラズマ制御に関する報告があった。プラズマから溶液に電子を供給することにより溶液中の金イオンを還元し、金ナノ粒子を生成する新規プラズマプロセスが提案された。プラズマと液相の気液界面が重要で、新たな学術領域として展開していることが紹介された。また、非平衡プラズマジェットを用いて、体細胞中へ遺伝子を導入する新規プラズマ技術が紹介された。従来技術に比べ、細胞死亡率が極

めて低く、高い遺伝子導入効率を達成した最新データが報告された。

静岡大 三重野先生より、小惑星衝突による有機分子合成(ガス銃を用いたモデル実験)に関する報告があった。隕石、小惑星の衝突による有機化合物合成の基礎実験として、窒素雰囲気中でポリカ弾、ステンレス弾を鉄ターゲットや鉄/水ターゲットに高速で衝突させた実験結果が報告された。回収物からアミノ酸が検出されたことが報告された。

九州大 白谷先生よりプラズマ中 2 対衝突ダスト間引力・斥力の検出について報告された。光ピンセットを用いて、プラズマ中微粒子をトラップする技術が紹介された。プラズマ中の微粒子の挙動を、ランジュバン方程式を用いて解析することにより、微粒子周辺のプラズマ電場揺らぎを検出できることが示された。また、帯電微粒子とイオン流との相互作用により、帯電微粒子間に引力が作用する可能性を示唆する実験結果が報告された。

大阪大 内田先生より、大気圧非平衡プラズマと液面相互作用の可視化に関する成果が報告された。大気圧プラズマジェットにおいては、ガラス管口から 100 m/s の高速ガス流が噴射されており、条件によりガス流パターンが層流から乱流に遷移することが示された。層流においては、プラズマジェットが液面に直接接触し、液面直上で生成される放電プラズマから高密度な活性酸素ラジカルが溶液に効率的に供給される様子が示された。一方、乱流においては、ガス流は径方向に大きく拡散し、この流れに沿って生成された活性酸素ラジカルが液面上広範囲に供給される様子が報告された。

最後に九州大 渡辺先生、東北大 佐藤先生からプラズマ応用において、プラズマと表面との相互作用、特に表面反応の理解が重要であることが述べられた。また、プラズマの構造を理解することの重要性が述べられた。研究者間の交流からアイデアが生まれ、研究が大きく展開できるとのコメントがあり、共同研究プロジェクトの重要性が指摘された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

- 平成 27 年 12 月 10 日、11 日、核融合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 16 回微粒子プラズマ研究会が開催された (Organizing committee chair: 京都工芸大 高橋先生(分担者))。本プロジェクトの分担者はもとより、多数の参加があり、本分野が国際的に大きく発展する可能性を示した。
- 本プロジェクトで議論される微粒子プラズマの基礎物理現象と応用の最新トピックは、国際宇宙ステーションを用いたドイツ・ロシア・日本の微

粒子プラズマに関する国際共同研究（JAXA、京都工芸大 高橋先生、岡山大 東辻先生ら）へと発展する可能性を有している。

- 若手育成に関して、今回の研究会において、20名以上の学生の参加があった。本研究プロジェクト研究会では、微粒子プラズマの基礎物理、ナノ粒子生成応用、バイオ応用、デバイス応用と広範囲に渡る最新の研究成果が議論され、本分野の若手研究者の育成に大きく貢献した。

〔4〕 成果資料

【学術論文】

- [1] "Equilibrium and non-equilibrium charge-state distributions of 2.0 MeV/u carbon ions passing through carbon foils", M. Imai, M. Sataka, M. Matsuda, S. Okayasu, K. Kawatsura, K. Takahiro, K. Komaki, H. Shibata, K. Nishio, Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. B 354 172-176 (2015).
- [2] "Femtosecond Time-Resolved Electron Microscopy", Jinfen Yang, Yoichi Yoshida, Hiromi Shibata, Electronics and Communications in Japan 98 (11) 50-57 (2016).
- [3] "Generation of Terahertz Waves Using Ultrashort Electron Beams from a Photocathode Radio-Frequency Gun Linac", Koichi Kan, Jinfen Yang, Atsushi Ogata, Takafumi Kondoh, Masao Gohdo, Hiromi Shibata, Yoichi Yoshida, Electronics and Communications in Japan 99 (1) 22-31 (2016).
- [4] "Motions of dust particles in a complex plasma with an axisymmetric nonuniform magnetic field", Yoshifumi Saitou, Phys. Plasmas vol. 23 (2016) 013709-1 - 013709-5.
- [5] "Production of carbonaceous molecules by the impact reaction in nitrogen gas by use of a gas-gun", T. Mieno, K. Ookouchi, K. Kond, S. Hasegawa, K. Kurosawa, Advanced Materials Res. Vol. 1117 (2015) pp.31-34.
- [6] "Possibility of production of amino acids by impact reaction using a light-gas gun as a simulation of asteroid impacts", K. Okochi, T. Mieno, K. Kondo, S. Hasegawa, K. Kurosawa, Orig Life Evol Biosph 45 (2015) pp. 195-205.
- [7] "Conductive cotton textile from safely functionalized carbon nanotubes", Md. J. Rahman, T. Mieno, J. Nanomaterials, 2015 (2015) ID 978484-1-10.
- [8] "Evolution of functionlized multi-walled carbon nanmotubes by dendric polymer coating and their anti-scanvenging behavior during curing process", A. K. M. Moshul Alam, M. D. H. Beg, R. M. Yunus, M. F. Mina, K. H. Maria, T. Mieno, Materials Letters, 367 (2016)58-60.
- [9] "Effect of gelatin on the water dispaersion and centrifugal purification of single walled carbon nanotubes", Jpn. J. Appl. Phys. 55 (2015) 01AE04-1-6.

【国際会議講演】

- [1] "Cosmic Dust Detector", Hiromi Shibata, 7th Asian Forum for Accelerators and Detectors (Uji, Kyoto 1-3 Jan. 2016).招待講演
- [2] "Measurement of Ar metastable atom and void structure in reactive dusty plasma", G. Uchida, K. Koga, M. Shiratani, 16th Workshop on Fine Particle Plasmas (National Institute for Fusion Science, Toki, Japan, December 10-11, 2015).
- [3] "Mie-Scattering Ellipsometry System for Analysis of Dust Formation Process in Large Plasma Device", Y. Hayashi, M. Kawano, A. Sanpei, S. Masuzaki, The 14th Dusty Plasmas Workshop (Auburn, AL, USA; May, 2015).
- [4] "Initial result of three-dimensional reconstruction of dusty plasma with integral photography technique", A. Sanpei, N. Takao, Y. Kato, Y. Hayashi, The 14th Dusty Plasmas Workshop (Auburn, AL, USA; May, 2015).

【国内学会講演】

- [1] 「微粒子流における渦生成とレイノルズ数」, 齋藤和史, 石原修, 林康明, プラズマ制御科学研究センター2015 年度第1回研究会 (京都工繊大, 2015 年 9 月).

採択回数	1	2	3
(萌芽)			

採択番号 H25/B03

次世代通信機器用磁性材料ならびに 磁性デバイスに関する研究

[1] 組織

代表者：山本 健一

(琉球大学工学部)

対応者：石山 和志

栢 修一郎

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

藪上 信 (東北学院大学工学部)

小澤 哲也 (東北学院大学工学部)

直江 正幸 (電磁材料研究所)

内田 裕久 (東北工業大学工学部)

池田 慎治 (富山高等専門学校)

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 (長野工業高等専門学校)

井上 光輝 (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)

高木 宏幸 (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)

延べ参加人数：28人

研究費：旅費24万6千円

[2] 研究経過

近年の情報通信機器の発展はPCや携帯電話にみられるように目を見張るものがあり、今後も継続的に発展が期待されている。この発展には機器の内部に使用される電気電子デバイスの高性能化に寄与している部分は大きい。今後のさらなる発展にはデバイスに用いられる電気電子材料の特性を最大限に利用する必要がある。一方、現在の材料開発の分野においてはその専門性は多岐にわたっておりその全容を把握することは容易ではなく、開発研究にあたっての障壁となっている。この問題の解決には近隣分

野の研究者との情報交換を促進し、有益な情報を活用できる環境を構築する必要がある。

以上のような背景から、本研究ではアクチュエータ、MEMS、インダクタンス素子をはじめとする磁性材料を用いたデバイスの発展をさらに推進することを目的としており、主に

- 1 軟質磁性材料の開発と特性評価
- 2 硬質磁性材料の開発と特性評価
- 3 機能性材料開発と応用

の各分野を専門とする研究者で研究会を組織した。

本プロジェクトは、平成25年度に採択され、本年度が3年目となる。近隣分野のもつ専門性を生かしつつ研究者相互の情報交換ならびに研究討論を活性化しつつ、個々の研究課題をさらに発展させることが課題であった。そこで本年度は、前年度の成果を踏まえて、東北大学電気通信研究所内の会議室において「次世代通信機器用磁性材料ならびに磁性デバイスに関する研究」をテーマとして研究会を開催した。本研究会では博士後期課程の学生を含めて各自の専門領域の研究課題と研究成果を紹介するとともに意見交換による課題の解決法の模索ならびに新たな課題の発掘の端緒となる活動を行った。

以下は開催した研究会のプログラムである。

日時：平成28年1月19日(火)14:30～18:30

場所：東北大学電気通信研究所1号館N棟

テーマ：次世代通信機器用磁性材料ならびに磁性デバイスに関する研究

1. 「GHz帯対応ナノグラニューラ高周波軟磁性膜の実用化に向けた研究進捗」、直江正幸、飯塚昭光、小林伸聖、荒井賢一、増本健 (電磁研)
2. 「カプセル内視鏡用マイクロ磁気アクチュエータ」、本田崇 (九州工業大学)
3. 「磁性材料の温度による磁区構造変化の観察方法」、竹澤昌晃、池田壮一郎、森本祐治 (九州工業大学)
4. 「面圧下での無方向性電磁鋼板の磁気特性と磁区構造変化」、山本健一 (琉球大学)
5. 「次世代通信機器用磁性膜の開発」、柳井武志、

渡邊佳正, 中野正基, 福永博俊 (長崎大学)

6. 「磁性微粒子複合材料磁心インダクタ」, 曾根原 誠, 佐藤敏郎 (信州大学)
7. 「人工磁気格子を用いた体積磁気ホログラフィ」, 磯谷亮介 (豊橋技術科学大学)
8. 全体討議

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究会では7件の発表があり、内容は磁性材料を中心に多岐にわたるものであった。磁気・磁性材料というキーワードを中心に各自の視点から各テーマに関しての有益な意見交換が行われた。

研究会での主なトピックスを以下に記述する。

1. 高周波におけるインダクタンスとしてグラニューカー薄膜を用いて高抵抗化と高透磁率化を両立させる目的でタンデムスパッタ法により磁気異方性をコントロールすることにより使用可能限界を GHz 帯にまで拡大できることが示された。その機構とさらなる特性改善の手法について議論した。
2. 高周波において低損失な磁心特性を得るために磁性微粒子と樹脂の複合材料を用いたアプローチが紹介された。LSI の内蔵電源、GaN パワーデバイス MHz スイッチング DC-DC コンバータ、UHF 帯用インダクタンスへの適用できる可能性が示唆され、さらなる応用について議論した。
3. 磁気アクチュエータによりカプセル内視鏡に回転磁界を利用したアンカー機構を付加する手法が紹介された。自走機能や投薬機能との組み合わせにより多機能化の可能性が示され、今後の発展性について議論された。
4. DES(Deep Eutectic Solvent)法による Fe-Ni, Fe-Co, Fe-Ni-Co 磁性薄膜の作製法とその磁気特性と結晶組織が紹介された。浴温度、電流密度、浴濃度などが成膜速度および表面状態の良質化に効果的であることが示され、今後の展開について議論された。
5. Nd-Fe-B 磁石の昇温による減磁についての磁区観察法が紹介され、減磁率と温度の関係を示すと共に材料の特性改善に有効なアプローチとして議論を深めた。
6. 面圧による鉄心の磁気損失変化について磁気測定ならびに磁区観察による検討過程が報告され、低損失化への可能性が示唆された。
7. 人工膜を用いた体積ホログラムについてシミュレーションならびに実験を用いた再生品質の向上の手法が紹介され、特性向上のアプローチについて議論した。

チについて議論した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度はこれまでに培われた連携ならびに議論を進展させた成果が得られている。互いの研究領域の優位性を生かした連携の模索も多くみられた。今後新たな研究領域の創出に発展できる兆しと考えられ、個々の研究のみならず研究者間の連携や意見交換が今後加速されることが期待できる。

[4] 成果資料

- (1) Y. Watanabe, T. Yanai, M. Otsubo, A. Takahashi, T. Ohgai, M. Nakano, K. Suzuki, H. Fukunaga, "Improvement in current efficiency of electroplated Fe-Ni films prepared in citric-acid-based baths", *Journal of Applied Physics*, 117, No.17, 2015.5, #17A326.
- (2) R. Parsons, T. Yanai, H. Kishimoto, A. Kato, M. Ohnuma, and K. Suzuki, "Induced magnetic anisotropy in Si-free nanocrystalline soft magnetic materials: A transmission x-ray diffraction study", *Journal of Applied Physics*, 117, No.17, 2015.5, #17A333.
- (3) H. Fukunaga, R. Hori, M. Nakano, T. Yanai, R. Kato, Y. Nakazawa, "Computer simulation of coercivity improvement due to microstructural refinement", *Journal of Applied Physics*, 117, No.17, 2015.5, pp. 17A729.
- (4) T. Yanai, K. Furutani, T. Ohgai, M. Nakano, K. Suzuki, and H. Fukunaga, "Fe-Pt thick-film magnets prepared by electroplating method", *Journal of Applied Physics*, 117, No.17, 2015.5, #17A744.
- (5) T. Yanai, K. Shiraishi, Y. Watanabe, T. Ohgai, M. Nakano, K. Suzuki, and H. Fukunaga, "Magnetic Fe-Co films electroplated in a deep-eutectic-solvent-based plating bath", *Journal of Applied Physics*, 117, No.17, 2015.5, #17A925.
- (6) M. Nakano, Y. Chikuba, M. Oryoshi, A. Yamashita, T. Yanai, R. Fujiwara, T. Shinshi, H. Fukunaga, "Nd-Fe-B Film Magnets With

- Thickness Above 100 μm Deposited on Si Substrates”, IEEE Transactions on Magnetism, 51, Issue 11, 2015.11, #2102604.
- (7) M. Nakano, K. Fujiyama, T. Yanai, M. Itakura, H. Fukunaga, “Nd-Fe-B Thick-Film Magnets Prepared by High Laser Energy Density”, IEEE Transactions on Magnetism, 51, Issue 11, 2015.11, #2105104.
 - (8) Y. Watanabe, M. Otsubo, A. Takahashi, T. Yanai, M. Nakano, H. Fukunaga, “Temperature Characteristics of a Fluxgate Current Sensor With Fe-Ni-Co Ring Core”, IEEE Transactions on Magnetism, 51, Issue 11, 2015.11, #4004104.
 - (9) T. Yanai, K. Shiraishi, T. Akiyoshi, K. Azuma, Y. Watanabe, T. Ohgai, T. Morimura, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Electroplated Fe-Co-Ni films prepared from deep-eutectic-solvent-based plating baths”, AIP advances, 2016.5, to be published.
 - (10) T. Yanai, K. Azuma, K. Eguchi, Y. Watanabe, T. Ohgai, M. Nakano, H. Fukunaga, “Effects of annealing and pulse plating on soft magnetic properties of electroplated Fe-Ni films”, AIP advances, 2016.5, to be published.
 - (11) T. Yanai, K. Furutani, T. Masaki, T. Ohgai, M. Nakano, and H. Fukunaga, “Electroplated Fe-Pt thick films prepared in plating baths with various pH values”, AIP advances, 2016.5, to be published.
 - (12) M. Naoe, N. Kobayashi, S. Ohnuma, M. Watanabe, T. Iwasa, and H. Masumoto: “Ultra-high resistive and anisotropic CoPd-CaF₂ nanogranular soft magnetic films prepared by tandem-sputtering deposition”, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, vol. 391, pp.213-222 (2015.10).
 - (13) M. Yamashita and T. Honda, Fabrication of Magnetic Microactuators for Cytology Brush Built into Capsule Endoscope, Electronics and Communications in Japan, Vol. 98, pp.27-34 (2015)
 - (14) K. Hajima, M. Yamashita, T. Honda, Performance evaluation of magnetically driven cytology brush applicable to capsule endoscopy, International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics, Vol.50, pp.167-176 (2016)
 - (15) M. Takezawa, H. Taneda and Y. Morimoto, “Relationship between Microstructure and Magnetic Domain Structure of Nd-Fe-B Melt-Spun Ribbon Magnets”, Frontiers of Materials Science, Vol.9, No.2, pp.206-210 (2015).
 - (16) K.Yamamoto, T.Hamada, S.Yanase, “Effects of compressive stress normal to the surface of grain-oriented electrical steel sheets”, Int. J. Applied Electromagnetics and Mechanics, vol.48, pp.153-158 (2015).

(査読付き欧文誌のみを掲載)

採択回数	1	2	3
(先端)			

採択番号 H25/B04

磁性の電界制御の物理と応用

[1] 組織

代表者：白井 正文
(東北大学大学院工学研究科)

対応者：白井 正文
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

小田 竜樹 (金沢大学 理工研究域)
中村 浩次 (三重大学 工学研究科)
古場 次朗 (三重大学 工学研究科)
名和 憲嗣 (三重大学 工学研究科)
三浦 良雄 (京都工芸繊維大学)
鈴木 義茂 (大阪大学 基礎工学研究科)
三輪 真嗣 (大阪大学 基礎工学研究科)
野崎 隆行 (産業技術総合研究所)
塩田 陽一 (産業技術総合研究所)
今村 裕志 (産業技術総合研究所)
北岡 幸恵 (産業技術総合研究所)
小田 洋平 (福島工業高等専門学校)
喜多 浩之 (東京大学 工学系研究科)
大石 竜輔 (東京大学 工学系研究科)
千葉 大地 (東京大学 工学系研究科)
小山 知弘 (東京大学 工学系研究科)
辻川 雅人 (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)

延べ参加人数：19人

研究費：旅費 20万円

[2] 研究経過

磁気抵抗メモリに代表されるスピントロニクスデバイスのさらなる低消費電力化には、電界による磁化制御技術の確立が必要不可欠である。本プロジェクトでは、磁性の電界効果の物理的起源を明らかにすると共に、デバイス応用へ向けて研究を行った。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本年度は、平成28年2月10日に東北大学電気通信研究所に関連研究者を集めて、プロジェクトの成果発表を行った。講演者と講演題目を以下に記す。

小田竜樹「Fe/MgOの界面共鳴状態と界面磁気異方性」

北岡幸恵「MgO基板上における4d遷移金属の磁気異方性に関する第一原理計算」

千葉大地「Co超薄膜層を有する積層構造における磁性の電界効果」

喜多浩之「CoFeB表面酸化の抑制によるCoFeB/酸化物スタックの界面磁気異方性の電界応答の向上」

三輪真嗣「X線吸収分光を用いた電圧磁気異方性変調の物理描像把握に向けて」

縄岡孝平「Fe|MgO界面ジャロシンスキー-守谷相互作用の電圧変調」

三浦良雄「磁気ダンピングの電界効果の第一原理計算」

参加人数：15名

[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。

(1) 界面ジャロシンスキー・守谷相互作用の電圧変調効果

反転対称性が破れた構造を持つ磁性体のスピン間に働くジャロシンスキー・守谷(DM)相互作用は、マルチフェロイック材料や表面磁性などの分野で研究が行われてきた。最近では界面に働くDM相互作用が磁壁形成や運動に影響を及ぼすことが明らかとなり、界面DM相互作用の研究が盛んに行われている。本研究では伝搬スピン波を利用することで、界面DM相互作用が電圧変調されることを世界で初めて実証することに成功した。Au/Fe/MgO薄膜構造にスピン波を誘起し、周波数シフトの伝搬方向依存(図1)から垂直磁気異方性およびDMIの変調を見積もった。4Vの電圧印加により $0.16 \mu\text{J/m}^2$ のDM相互作用の変化が観測された。また、このDM相互作用の変調量は膜厚に反比例することから、界面由来の効果であることが確認された。

[成果資料(1),(2)]

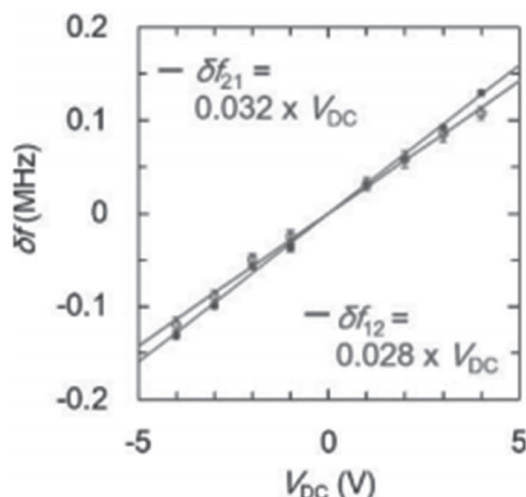


図1. バイアス電圧による共鳴周波数変化のスピンの伝搬方向依存。

(2) Pdに誘起された磁性の電界制御

Pdは非磁性金属であるが強磁性体と接することで磁気モーメントが誘起されることが知られている。本研究では、Coと接するPdに誘起される磁性の電界効果を調べた。まずはPt/Co(0.38nm)をPdでキャップした薄膜試料において磁化のPd膜厚依存を測定することで、2nm近くまで強磁性近接効果が及んでいることを明らかとした。次に、イオン液体を用いて電界を印加した試料のホール測定を行い、Pd膜厚が1nm以上の試料においても磁気異方性エネルギー(図2)や低温での磁化(図3)を大きく電界で変調されることを観測した。これは、非磁性元素であっても強磁性近接効果によって誘起される磁性を電的に制御可能であることを示した点で重要な結果である。 [成果資料(3)]

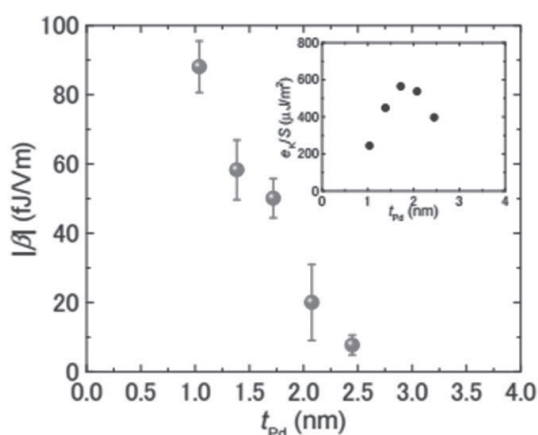


図2. 電界による垂直磁気異方性エネルギーの変調率。

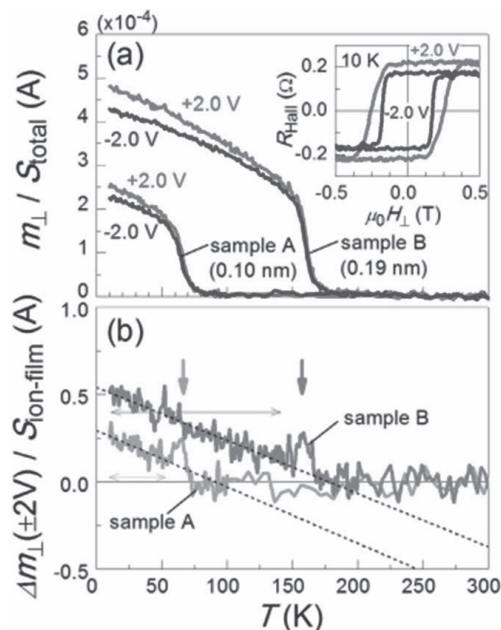


図3. (a) 電圧印加した試料における磁気モーメント垂直成分の温度依存。(b) 磁気モーメントの電圧変調量の温度依存。

(3) X線吸収分光を用いた磁気異方性の電界効果の起源解明

磁気異方性の電圧変調の詳細な物理描像を明らかにする上で、X線吸収分光(XAS)は有効な手段である。これまでに、界面が酸化したFeCo/MgO薄膜において、電圧による酸化還元反応に伴うXASスペクトルの変化を測定することに成功している。今回、Fe/MgO接合において電圧印加によるXASおよびX線磁気円二色性(XMCD)の測定を行った。この試料は図4に示すように電圧による磁気異方性の変調を示すが、XAS/XMCDスペクトル共に電圧による有意な変化はみられなかった(図5)。このことは、酸化・還元反応がない場合でも、界面への電子ドーピングや軌道間の電子再配列により磁気異方性が電界変調することを示唆している。

[成果資料(4), (5)]

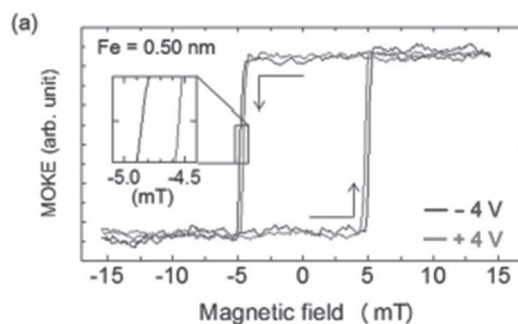


図4. 電圧を印加したFe/MgO膜における磁気光学カー効果のヒステリシス曲線。

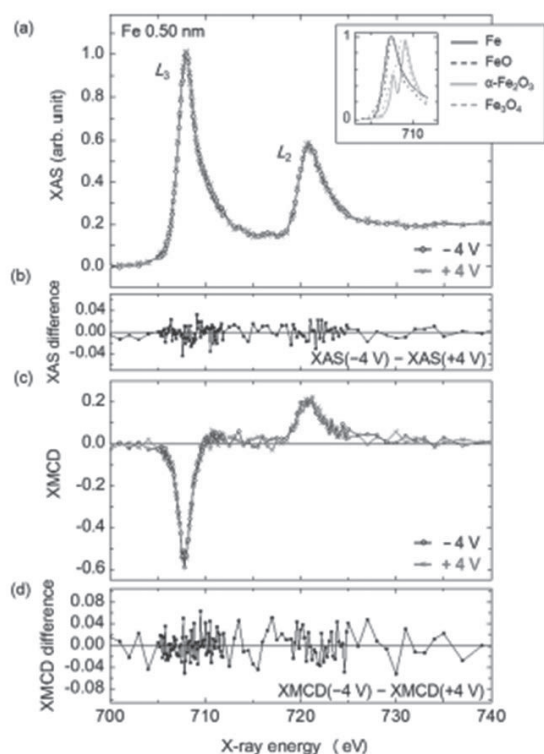


図5. 電圧を+4V, -4V印加した Fe/MgO 膜における XAS(a), XMCD(c) スペクトルとスペクトルの差分(b),(d)

(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ける、磁性の電界変調効果の微視的起源解明および新たな効果の発見は、超低消費電力な電圧駆動式のスピントクスデバイスの実現および実用化を促進するものと期待される。

[4] 成果資料

(1) K. Nawaoka, Y. Shiota, S. Miwa, H. Tomita, E. Tamura, N. Mizuochi, T. Shijo and Y. Suzuki, “Voltage modulation of propagating spin waves in Fe”, *Journal of Applied Physics* **117**, 17A905 (2015).

(2) K. Nawaoka, S. Miwa, Y. Shiota, N. Mizuochi and Y. Suzuki, “Voltage induced of interfacial Dzyaloshinskii-Moriya interaction in Au/Fe/MgO artificial multilayer”, *Applied Physics Express* **8**, 063004 (2015).

(3) S. Miwa, K. Matsuda, K. Tanaka, Y. Ktani, M. Goto, T. Nakamura and Y. Suzuki, “Voltage-controlled magnetic anisotropy in Fe|MgO tunnel junctions studied by x-ray absorption spectroscopy”, *Applied Physics Letters* **107**, 162 (2015).

(4) Y. Hibino, T. Koyamam, A. Obinata, K. Miwa, S. Ono and D. Chiba, “Electric field modulation of magnetic anisotropy in perpendicularly magnetized Pt/Co structure with a Pd top layer”, *Applied Physics Express* **8**, 113002 (2015).

(5) A. Obinata, Y. Hibino, D. Hayakawa, T. Koyama, K. Miwa, S. Ono and D. Chiba, “Electric-field control of magnetic moment in Pd”, *Scientific Reports* **5**, 14303 (2015).

採択回数 (先端)	1	2	3
--------------	---	---	---

採択番号 H25B05

新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開

〔1〕組織

代表者：尾松 孝茂

(千葉大学大学院融合科学研究科)

対応者：枝松 圭一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：板谷治郎 (東京大学)

早瀬潤子 (慶応大学)

永井正也 (大阪大学)

前田 はるか (青山学院大学)

三代木伸二 (東京大学)

森下亨 (電気通信大学)

芦原聡 (東京大学)

大村英樹 (産業技術総合研究所)

延べ参加人数：45人

研究費：旅費15万3千円

〔2〕研究経過

(本プロジェクトの目的・概要、及び、研究会、研究打ち合わせ・研究討論会、研究発表会、研究集会等の開催状況を記載して下さい。)

〇目的

光源開発、物質科学、量子光学、デバイス工学が高度に融合したことで、光の位相や電場ベクトルなどの時間・空間パラメーターが極限化され、アト秒物理をはじめとする革新的光科学が生まれた。

量子光学を研究する枝松圭一教授と新規光源開発を研究する千葉大学尾松孝茂教授をコーディネーターとし、光源開発、物質科学、量子光学、デバイス工学を手がけている第一線の若手研究者を一同に集め、

協調的融合を促す。その結果、光を用いた革新的ナノ情報デバイスが創成できる。

〇概要

本プロジェクト研究会の具体的な実施状況を以下に示す。

5月20日 プロジェクト採択通知 準備開始

6月19日 招待講演者リストアップと研究会日程の決定。(東北大学電気通信研究所)

7月—9月 研究会プログラムの決定と各学会及び研究会への案内の配信。(メール審議)

10月15-16日 研究会実施。(東北大学電気通信研究所)

研究会規模は講演件数23件(招待講演者3名含む)、聴衆約50名。(当日のプログラムは次ページに添付)

11月-12月 反省会と研究会実施報告書作成。メール審議

光を用いた次世代ナノ情報デバイス創成には光源開発、物質科学、量子光学、デバイス工学の研究者ネットワークと協調的な融合が必要不可欠である。そこで、本研究会では、これらの研究分野で活躍している若手研究者を一同に集め、最新の情報交換と研究討議を行った。その結果、次世代の日本の新しいナノ情報デバイス創成に向けた研究者ネットワークが構築できた。

「新しい光科学の創成とナノ情報デバイスへの展開Ⅲ」研究会

平成27年10月15—16日
東北大学電気通信研究所 本館5Fセミナー室 (M531)

10月15日(火)

13:00 開会の挨拶 前田 はるか

13:05-14:20 原子分子・量子光学(I)

熊倉 光孝 「ナノ粒子の気相への分散 — 輻射力による操作に向けて」

清水 亮介 「量子もつれ光子波束の時間領域計測」

越野 和樹 「着衣状態エンジニアリングによる単一マイクロ波光子検出」

菱川 明栄 「強レーザー場フラグメントイオン画像計測による分子軌道可視化」

前田 はるか 「Rydberg 原子のマイクロ波イオン化」

14:20-14:35 休憩

14:35-15:05 計測科学

櫛引 俊宏 「オプトジェネティクスによる幹細胞機能制御」

三代木 伸二 「大型低温重力波望遠鏡 KAGRA の現状」

15:05-15:35 張 紀久夫 招待講演1 「電磁応答理論の第一原理的構築: ミクロな非局所応答からマクロなマクスウェル方程式へ」

15:35-16:20 河野 行雄 (東工大) 招待講演2 「テラヘルツナノデバイス・計測とその応用: 最近の進展」

16:20-16:35 休憩

16:35-17:50 メタマテリアル・非線形分光の新展開

宮丸 文章 「メタマテリアルによるテラヘルツ波の偏光制御」

芦田 昌明 「先端光源で探る微小構造物質のキャリアダイナミクス」

永井 正也 「THz パルスを用いた固体表面からの電子放出とイオン化」

尾松 孝茂 「キラルな光が拓く新奇物質科学」

久保 敦 「極小ポンプ-広域プローブ型干渉時間分解顕微鏡法」

18:30-20:30 懇談会 (レストラン萩)

10月16日(金)

9:00-10:00 原子分子・量子光学(II)

木下 俊哉 「2次元アンチドット型光格子中のボース気体」

青木 隆朗 「光トラップされた単一原子とナノ光ファイバー共振器の強結合」

早瀬 潤子 「ダイヤモンド中電子スピンのコヒーレンス制御と量子計測応用」

長谷 宗明 「カルコゲン超格子におけるスピンダイナミクスとトポロジカル絶縁性の発現に向けて」

10:00-10:45 福本 恵紀 (高エネルギー加速器研究機構) 招待講演3 「フェムト秒時間分解光電子顕微鏡を利用した半導体ナノ構造中の光キャリアダイナミクス」 (

10:45-11:05 休憩

11:05-12:05 高強度場物理

森下 亨 「強高度レーザーによる超高分解能4次元時空イメージング」

板谷 治郎 「サブ2サイクル高強度赤外 OPCPA 光源と再衝突電子散乱」

大村 英樹 「分子トンネルイオン化の量子制御を用いたレーザー場フーリエ合成」

芦原 聡 「赤外超短パルス電磁場の共鳴増強と光電子放出の観測」

12:05-12:40 今後の展望とまとめ

参加者 「光科学に関する将来展望」

伊藤 弘昌 まとめ

12:40 閉会の挨拶 枝松圭一 (東北大)

○研究成果

1) "Evaluation of complex conductivity in a circularly polarized field by terahertz time-domain reflection spectroscopy with a phase shifter," T. Morimoto, G. Yamashita, M. Nagai and M. Ashida, Appl. Phys. Express 9(2), 022402 (2016.).

2) "Spectrally resolved Hong-Ou-Mandel interference between independent photon sources," R.-B. Jin, T. Gerrits, M. Fujiwara, R. Wakabayashi, T. Yamashita, S. Miki, H. Terai, R. Shimizu, M. Takeoka, and M. Sasaki, Opt.

Express **23**(22), 28836 (2015).

3) “Trapping waves with terahertz metamaterial absorber based on isotropic Mie resonators,” R. Yahiaoui, K. Hanai, K. Takano, T. Nishida, F. Miyamaru, M. Nakajima, and M. Hangyo, Opt. Lett. 40, 3197 (2015).

4) A. Abulikemu, T. Yusufu, R. Mamuti, K. Miyamoto, T. Omatsu, "Widely-tunable vortex output from a singly resonant optical parametric oscillator," Optics Express **23** (14), 18338-18344 (2015).

5) Takahashi, S. Takizawa, H. Hidai, K. Miyamoto, R. Morita, T. Omatsu, "Optical vortex pulse illumination to create chiral monocrystalline silicon nanostructures," Physica Status Solidi (A) (2015) DOI: 10.1002/pssa.201532661.

6) N. Ishii, K. Kaneshima, S. Watanabe, and J. Itatani, "Generation of ultrashort intense optical pulses at 1.6 μm from a bismuth riborate-based optical parametric chirped pulse amplifier with carrier-envelope phase stabilization," J. Opt. 17, 094001-1-8 (2015).

採択回数	1	2	3
(先端)			

H25/B06

低炭素エネルギー社会を実現する電磁波技術に関する研究

[1] 組織

代表者：大平 孝

(豊橋技術科学大学)

対応者：末松 憲治

(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

水野 皓司 (東北大学 電気通信研究所)

石川 容平 (京都大学 生存圏研究所)

伊東 健治 (金沢工業大学 工学部)

伊山 義忠 (熊本高専)

澤谷 邦男 (東北大学 工学部)

常信 和清 (富士通研究所)

高木 直 (東北大学 電気通信研究所)

徳満 恒雄 (住友電工)

二川 佳央 (国士舘大学 理工学部)

野本 俊裕 (東北工業大学 工学部)

橋本 修 (青山学院大学 理工学部)

松永 誠 (岡山理科大学)

宮崎 守泰 (三菱電機)

延べ参加人数：10 人

研究費：旅費 22 万 6 千円

[2] 研究経過

有限な地球資源の有効活用、さらに環境汚染のないエネルギー世界の実現は、未来の世界が持続的に発展していく上で不可欠なものであり、現在の我々に課せられた大きな課題でもある。また、先の東日本大震災の教訓を受け、原子力に代わるエネルギーの探索も重要である。これらの課題解決の方策として、脱化石燃料化、再生可能エネルギーによる発電技術(太陽光、風力、etc.)の開発・実用化が世界規模で進められつつある。

電力の有効利用に関しては、家庭における太陽光発電、スマートメータ、HEMS(Home Energy Management System)、V2G(Vehicle to Grid)/V2H(Vehicle to Home)などからなるスマートハウスシステムが提案され、大きな市場が見込まれる。また、脱化石燃料の観点から電気自動車(PHEV(Plug-in Hybrid Electric Vehicle)/EV(Electric

Vehicle))の開発が世界中で積極的に進められつつある。

これらのシステムを実現する上で重要な技術として、蓄電技術とワイヤレス給電技術が注目され、積極的に技術開発が進められている。また、一方、省電力技術は古くて新しい課題であり、高効率化、低消費電力化、低損失化の技術開発、さらには、エネルギー・ハーベスティングなどの新技術開発が進められつつある。

このような現状における課題解決のため、本プロジェクトでは、電磁波によるエネルギー応用技術に着目し、以下の項目を中心に研究を行う。

- (1) ワイヤレス給電技術の研究
- (2) 省電力 RF 技術の研究
- (3) 電磁波によるエネルギー応用に関する新技術・新システム提案と課題検討

本プロジェクトは、本年度が第3年度であった。前年度までの成果を踏まえながら、研究討論会を実施した。以下、実施内容を記す。

<研究討論会>

日時：平成27年10月16日(金) 13:00～

場所：東北大学 電気通信研究所 本館 M331会議室

出席者(敬称略)：水野、大平、末松、石川、伊東、伊山、高木、徳満、松永、佐々木

[プログラム]

(ワイヤレス給電技術)

- (1) 「自然対数インピーダンス：数式表現と物理的意義」大平 孝
- (2) 「高インピーダンスアンテナを用いた微弱電力レクテナ」伊東 健治
- (3) 「ワイヤレス給電技術」石川 容平
(省電力 RF 技術)
- (4) 「高SHF帯デジタルRF技術」末松 憲治
- (5) 「マイクロ波ミリ波帯電力増幅器開発のあゆみ」高木 直
(新技術・新システム)

- (6) 「マイクロ波・ミリ波用縦積みPA」徳満 恒雄
(プロジェクトからの発信)
- (7) 「指導原理(方法論)の大切さ-東北大における電子管開発の歴史-」水野 皓司
- (8) 「市販マイクロ波回路シミュレータを活用した高専における電磁波技術教育の授業実践報告」
伊山 義忠
- (9) 「FETDCアンプ, 超弩級真空管アンプの話」松永 誠

[3] 成果

(3-1) 研究成果

研究討論会での報告・討論を通じて(1)ワイヤレス給電技術、(2)省電力RF技術、(3)新技術・新システム、に関して以下の知見を得た。

(1) ワイヤレス給電技術

・Qファクタはマイクロ波回路の性能指標を与える重要な figure of merit の一つである。このQファクタに関して新しい数式表現を提案しその物理的意義を示した。高周波回路のインピーダンス Z は複素数である。ここで Z の自然対数を考え、それをさらに実部と虚部に分解して $\ln Z = \mu + j\phi$ と書き、 μ をログマグ(単位: ネーパ)、 ϕ を位相(単位: ラジアン)と呼ぶ。 $\ln Z$ の周波数傾斜は $\partial \mu / \partial \omega + j \partial \phi / \partial \omega$ となる。この絶対値に ω を乗じて2で割った量がQファクタとなる。一方、微分連鎖定理を用いて $\ln Z$ の周波数傾斜を計算すると $1/Z \partial Z / \partial \omega$ となる。つまりこれもQファクタである。このことからログマグ傾斜と位相傾斜の両方がQファクタに寄与することがわかる。 $\ln Z$ は通常の回路では複素平面上で周波数 ω の増加と伴に時計方向へ廻る軌跡を描く。軌跡がログマグ軸をよぎる点が共振周波数であり、この点における周波数変化に対する $\ln Z$ の動きの速度がQファクタである。

・レクテナはマイクロ波伝送に不可欠なコンポーネントである。今回、高インピーダンスアンテナを用いた500MHz帯微弱電力レクテナの設計、試作を行い以下の良好な結果を得た。インピーダンス1.6k Ω の折り返しダイポールアンテナを用い、アンテナ出力での高周波電圧を高めるとともに、高検波電圧を得ることができるコッククロフト・ウォルトン整流回路を用い、レクテナとして高電圧・高効率化を図っている。さらに高インピーダンス動作時に問題となる接合容量の影響を、L形LPFにより抑制している。その結果、レクテナとして-15dBm入力時に43.7%(コッククロフト・ウォルトン整流回路:1段)、22.1%(コッククロフト・ウォルトン整流回路:2段)の高い整流効率を得た。また、低電力領域(-20dBm~-30dBm)において世界トップレベルの整流効率を得た。

(2) 省電力RF技術

・高SHF帯の周波数帯では、複数のアンテナ素子を用いた無線システム、ハードウェアの開発が進められている。衛星通信などではフェーズドアレーアンテナ(PAA)が、第5世代システムではMassive MIMOが注目されており、各アンテナ素子に1つ必要となるRF部の小型化、省電力化が必要となっている。デジタルRF技術はこれらシステム実現のためのキー技術になると考えられる。デジタルRF技術を適用した新しい送受信機ICの提案をおこない、試作結果を紹介した。

・近年、マイクロ波/ミリ波帯の高出力デバイスとして、GaN HEMTの性能向上は目覚ましく、本当の意味でSSPAによるTWTA置換が可能となった。一方、それ以外のICについては、微細化によりCMOSの f_T / f_{max} はすでに350GHz / 400GHzが達成されている。CMOSの弱点であった出力特性も回路の工夫により、UHF帯でWクラスの出力電力が実現されている。今後は、大電力の送信部はGaN、それ以外はSiCMOSによるSoC(System on Chip)が主流になると考えられる。半導体は、世界の中では依然として大きな成長産業である。その中で、日本がどのようにその成長の果実を享受できるかが大きな問題となっている。これまで培ったRFを含むアナログ技術は一朝一夕で身に付くものではなく日本の大きな強みである。この部分から、世界に売れるコア技術を作っていくことが重要であるといえる。

(3) 新技術・新システム

・実装性と集積化に優れた3-D(3次元)WLCSP技術とその製品化の概要を紹介した。3-D WLCSPはRadio-Link RF部品の低価格化、E-bandを含むミリ波MMIC実現性の向上と低価格化を大いに助ける技術である。ただ一方で、フリップチップ実装を基本とするプラットフォームであるため、高出力化には未だ解決すべき課題がある。この課題克服を前進させるための新しいDA構成についても紹介した。

(3-2)波及効果と発展性、研究分野への貢献
本プロジェクトメンバが実行委員長となり下記ワークショップを成功裏に開催した。会議において、本プロジェクトテーマの内容についても積極的に議論がされた。

(1) ワークショップ: MWE 2015

実行委員長: 宮崎 守泰 (三菱電機)

開催期日: 2015年11月25~27日

開催場所: パシフィコ横浜 (横浜)

参加人数: 約5,500名

[4] 成果資料

- (1) 大平 孝, “ワイヤレス電力伝送のkQ 積理論入門,” 電子情報通信学会誌, vol. 98, no. 10, pp. 885-887, Oct 2015. vol. J98-B, no. 9, pp. 948-957, Sept. 2015.
- (2) 大平 孝, “ワイヤレス電力伝送の最大効率公式,” 電子情報通信学会誌, vol. 98, no. 6, pp. 512-514, June 2015.
- (3) 大平 孝, “ワイヤレス第3の矢,” 信学技報 MW2015-171, pp. 55-58, Jan. 2016.
- (18) Takashi Ohira, “What in the world is Q,” IEEE Microwave Magazine, in press.
- (4) Takashi Ohira, “A lucid view on what role kQ product plays in electric and/or magnetic - coupling wireless power transfer systems (invited),” IEEE Wireless Power Transfer Conference, WPTC2015, Boulder, May 2015.
- (5) 水野皓司, “[記念講演]マイクロ波という言葉は何時頃から使われていたのか?—マイクロ波研の五十周年に当たって—,” 信学技報, vol. 115, no. 391, MW2015-169, pp. 49-51, Jan. 2016.
- (6) 石川容平, “[記念講演]マイクロ波の潮流と広がり,” 信学技報, vol. 115, no. 391, MW2015-172, pp. 59-62, Jan. 2016.
- (7) T. Tokumitsu, “The three-dimensional MMIC and its evolution to Wafer-Level Chip Size Package MMIC,” Thai-Japan Microwave Workshops, Bangkok, Aug. 2015.
- (8) K. Tsukashima, A. Otsuka, M. Kubota, T. Tokumitsu, S. Ogita, “An E-band 1 W-class PHEMT power amplifier MMIC,” in the 10th European Microwave Integrated Circuits Conference Proc., Paris, pp. 9-12, Sept. 2015.
- (9) Kunio Sawaya, “Historical Review of Research and Development of Linear Antennas in Tohoku University,” IEICE Transactions on Electronics, vol. E98-C, No. 7, pp. 616-620, July 2015.
- (10) S. Ozaki, K. Makiyama, T. Ohki, Y. Kamada, M. Sato, Y. Niida, N. Okamoto, and K. Joshin, “Surface-oxide-controlled InAlN/GaN MOS-HEMTs with Water Vapor,” The 11th International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS-11), WeEP55, 2015.
- (11) K. Makiyama, S. Ozaki, T. Ohki, N. Okamoto, Y. Minoura, Y. Niida, Y. Kamada, K. Joshin, K. Watanabe and Y. Miyamoto, “Collapse-Free High Power InAlGaIn/GaN-HEMT with 3 W/mm at 96 GHz,” IEEE Electron Devices Meeting 9.1, 2015.
- (12) Shinya Kitagawa, Ryosuke Suga, Kiyomichi Araki, and Osamu Hashimoto, “Dual-polarization RCS Reduction of X-band Antenna Using Switchable Reflector,” IEICE Transaction on Electronics, Vol. E98-C, No. 7, pp. 701-708 (2015-7).
- (13) 鈴木達也, 須賀良介, 桑原力丸, 鼎健太郎, 橋本 修: “損失材含有率の低い誘電損失材料を用いたC帯用薄型電波吸収体,” 電子情報通信学会論文誌 (B), Vol. J98-B, No. 7, pp. 742-743 (2015-7).
- (14) H. Yukawa, K. Yoshida, T. Mizuno, T. Owada, and M. Miyazaki, “Ku/Ka-band compact orthomode junction with low pass filters for high power applications,” IEICE Trans. Electron., vol. E98-C, no. 2, pp. 156-161, Feb. 2015.
- (15) Yoshio Nikawa and Suguru Nakamura, “Microwave Application in Medical Sensing”, 2015 9th International Symposium on Medical Information and Communication Technology (ISMICT), pp. 148-150, March 2015.
- (16) 二川佳央, “レンズアプリケータによるマイクロ波集束”, LIFE2015 講演予稿集, 4 pages in CD-ROM, 2015 年 9 月.
- (17) Noriharu Suematsu, Mizuki Motoyoshi, Satoshi Yoshida, Yuya Suzuki, Wenying Ye, Surugu Kameda, Tadashi Takagi, Kazuo Tsubouchi, “A 60GHz Band 3-D Phased Array Antenna Module for Beam Forming W-PAN receivers[Invited],” Thailand-Japan MicroWave (TJMW) 2015, SA2-02, Aug. 2015.
- (18) T. Koizumi, K. Norishima, M. Motoyoshi, D. Banda, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “A CMOS series/shunt switching type S/H IC for Ka-band direct RF under sampling receiver,” 2015 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC2015), Nanjing, Dec. 2015.
- (19) T. T. Ta, S. Tanifuji, A. Taira, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “A Millimeter-Wave WPAN Adaptive Phased Array Control Method Using Low-Frequency Part of Signal for Self-Directed System,” IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., 63(8), 2682-2691 (2015)
- (20) D. Banda, M. Motoyoshi, T. Koizumi, O. Wada, T. T. Ta, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, “1/2fs Direct RF Under Sampling Receiver for Multi Channel Satellite Systems,” IEICE Trans. Electron., vol. E98-C, no. 7, pp. 669-676, July 2015.
- (21) 高木 直, “マイクロ波/ミリ波帯電力増幅器開発のあゆみ,” 信学ソサイアティ大会, CT-1-1, Sep. 2015.

採択番号：H25/B07

物体の表面属性の視知覚に関わる脳内メカニズムの研究

[1] 代表者：岡嶋 克典

(横浜国立大学)

対応者：栗木 一郎

(東北大学)

分担者（50音順）：

内川 恵二（東京工業大学）

北岡 明佳（立命館大学）

鯉田 孝和（豊橋技術科学大学）

郷田 直一（自然科学研究機構生理学研究所）

小松 英彦（自然科学研究機構生理学研究所）

齊藤 晴美（NTT サイバーソリューション研究所）

坂田 勝亮（女子美術大学）

篠森 敬三（高知工科大学）

須長 正治（九州大学）

徳永 留美（立命館大学）

辻村 誠一（鹿児島大学）

中内 茂樹（豊橋技術科学大学）

永井 岳大（山形大学）

仲泊 聡（国立障害者リハビリテーションセンター病院）

西田 眞也（NTT コミュニケーション科学基礎研）

福田 一帆（東京工業大学）

本吉 勇（東京大学）

溝上 陽子（千葉大学）

矢口 博久（千葉大学）

山内 泰樹（山形大学）

延べ参加人数：18人

研究費：物件費0円，旅費21万8千円

[2] 研究経過

ICT 技術によりコミュニケーションが行われる際に、必要な情報が的確に伝達される事は重要な要素技術であると考えられる。例えば電子商取引などの場面において、質感や色の情報が的確に伝えられる事は社会的にも要請の高い重要な技術である。一方、観察対象を物体として同定・認識することは人間の視覚情報処理機構の重要な目的の一つである。質感や色は物体の同定において特に重要な情報であり、人間はこれらの情報を視覚的に取得し、視覚的な物体の同定を日常的に行っている。本研究では、物体表面の属性に関する様々な研究を行っている第一線

の視覚研究者や、当該分野で著明な業績を上げている関連研究者などが一堂に会して研究会を行うことにより、物体表面の属性（質感・色など）を視覚的に取得する情報処理に関する知見を結集することを目的とする。

人間の脳内における、物体表面の属性（質感や色など）に関する情報処理メカニズムの研究を主題とする。色彩は視覚情報の中で強い影響力を持っている。例えば、白黒画像中で物の探索を行うのは、カラー画像中で行うよりはるかに困難である。また、物体の同定（identification）は視覚情報処理の重要なゴールの1つであり、物体表面の持つ特徴（質感や色）の分析は物体同定のための重要な役割を担っている。質感は科研の新学術研究領域（質感脳情報）として取り上げられており、視覚科学・神経科学の分野では重要な研究課題の1つと認められている。

本研究会では、これらの視覚情報処理に関連する研究を推進している工学・生理学・医学・心理学・美術学などの文理の多様な分野にまたがる研究者を招聘して研究会を開催し、深いディスカッションを通して人間の物体認識メカニズムにおける未解決の重要な研究課題の抽出を行うことを目的とする。

最終年度の研究会でも引き続き、質感や色などの物体表面の特徴に関する視覚的情報処理の研究分野におけるホットトピックを探る目的で、研究者同士の意見交換を目的とした研究会を行った。

以下の概要で研究会を開き、各研究者の研究状況の報告およびその内容に関する詳細な検討を2回にわたって行った。

平成27年度、質感・色覚研究会（第1回）

日時：平成27年12月16日～17日

場所：東北大学電気通信研究所 M401

1. 本吉 勇（東大）

「多重色チャンネルのパターン・運動・極性選択性」

2. 山川昌彦・岡嶋克典（横国大）

「ipRGCの明るさ知覚への寄与」

3. 和田有史・松原和也（食総研）【招聘】

「食に係わる色と質感の知覚-ブランドロゴの典型色効果とエキスパートの生鮮食品品質判断-」

4. 篠森敬三 (高知工科大)
「手すり色応用のための探索応答時間と一対比較選択率に基づく色視認性評価手法」
5. 濱田大佐・山本洋紀 (京大)
「共感覚色分布の探索的解析」
6. 増田 修 (新潟医療福祉大)・Sergio Nascimento (U. Minho, Portuguese)
「実物を実際に照明した場合とモニタ上で模擬した場合の照明光の演色性」
7. 栗木一郎 (東北大)
「カラーアピアランス空間における無彩色点軌跡」

平成27年度、質感・色覚研究会 (第2回)

日時: 平成28年3月9日～10日

場所: 東北大学電気通信研究所 M401

1. 溝上陽子・矢口博久 (千葉大)
「かすみが彩度知覚に与える影響」
2. 濱田大佐・山本洋紀・齋木 潤 (京大)
「共感覚色の規定因の個人差」
3. 津村徳道 (千葉大)
「質感工学と情動工学」【招聘】
4. 木村英司 (千葉大)
「視野全域に色が見えるという印象と情景の色識別性」
5. 鯉田孝和 (豊橋技科大)
「減法混色の色軌跡と等色相線の類似性」
6. 栗木一郎 (東北大)・金子沙永 (東北大・JSPS)・Stuart Anstis (U.C., San Diego, U.S.A.)
「瞬間呈示による同時対比の強化」

〔3〕研究成果

以下、研究会におけるそれぞれの講演について、報告・検討された事項を要約する (敬称略)。

〔3. 1〕第1回研究会

本吉は、中間色相に選択的な色メカニズムが空間的な方位や運動に選択性を持っているかを心理物理的に調べる研究について報告した。

山川は、網膜に存在し光受容性を持つ神経節細胞の視物質が、見かけの明るさ感への寄与について心理物理学的に調べ、実験式を提案する発表を行った。

和田・松原は、食品に関わる画像研究について報告を行った。1つは、ブランドロゴの典型色について、典型色に対するバイアスが潜在的に存在するかを心理物理学的に調べる研究であった。もう一つは、リンゴの果肉が時間とともに褐変する現象を画像統計的に調べる研究について紹介した。

篠森は、企業との共同研究で高齢者を対象に開発されている浴室用の手摺の色について、視認性が高いと客観的に認められる配色に関して行った心理物理学的な研究について紹介した。

濱田は、文字から色が見える色字共感覚者が感じる色の見え方が、色空間においてランダムに広がるのではなく、色度図上でクラスターを描くことを調べた研究について報告した。

増田は、2次元分光計で取得した自然物 (野菜、果物、肉、魚) の画像に対し、観察者が最も「好ましい」or「自然」と感じる照明光の持つ特徴について、コンピュータ合成画像を用いて行った研究について報告した。最も「好ましい」とされる照明光は約4,000Kで、最も「自然」と感じる照明光は6,500Kであった。それぞれの照明光の特徴として、4,000Kではマンセル色票の色域が最大になり、6,500Kでは色域の非対称性が最小になる事を報告した。

栗木は、有彩色の照明光の下で色を感じない光の色度 (無彩色点) が色を評価する対象の明度に依存する事と、その明度依存性が比較的簡単な近似で洗わせる可能性について、既報の論文[7]の内容を元に研究報告した。

〔3. 2〕第2回研究会

溝上は「かすみ」を伴う視野における色の見え方について報告した。加齢による水晶体の混濁や霧・もや等の悪天候は対象物と目の間の光を散乱する物体が存在し、「かすみ」を生じている。光学的には見かけの彩度が低下する事が予想されるが、知覚がその変化にどのように対応しているか、視野の彩度低下を模擬した画像を用いて調べた。実験結果によると、霞みによる彩度低下を補償する機能が過不足無く働いている事を示唆すると報告した。

濱田は、色字共感覚の対応関係について、「文字と色の対応 (第1次)」の次の「文字と色差の関係 (第2次)」について、階層構造を反映したマルチレベル分析を適用した結果を報告した。色サンプル全 365 ペアについてPCAで分解し第1～第3主成分の空間で重回帰分析を行い、色差 (2次要因) の説明変数に関する分析を試みた結果を報告した。

津村は、正確な質感情報/感情情報を伝えるために必要なシステムに関する研究を発表した。光源の事前情報を限定する事により、物体表面の拡散・鏡面成分を分離し、別の照明環境ではその場の光源情報にあわせて画像を加工する技術について報告した。また、顔画像のRGB値の時間変化から血中酸素飽和度と心拍の時間変化を推定するアルゴリズムを応用

して5情動（快、不快、怒り、喜び、悲しみ）の変化を推定する分類器の技術について報告を行った。

木村は、網膜の不均一性を補正するメカニズムによって生じる全視野の色知覚（panfield color phenomenon）に関する研究について報告した。本来、錐体密度の低い視野周辺では色の信号は非常に弱いですが、色が見えるという感覚は揺るぎない。この知覚体験の背後に存在するメカニズムに関し、物体と色との結びつきの強弱に着目して行った最近の研究結果について報告した。

鯉田は、物体表面での反射が多重に生じる場合やインクの重ね塗りによって濃度が変わる場合の色度の軌跡についての報告を行った。ある分光反射率の塗装による反射／吸収が多重で生じた場合の反射光の分光特性を計算で求め、その色度軌跡が色度座標上で曲がる様子を描いた。この軌跡と知覚的な等色相の曲線が近い現象について、考察を報告した。

栗木は、ごく短時間の刺激呈示で同時対比効果が強化される Kaneko & Murakami (2012) の方法を傾きの同時対比に応用した実験の結果について報告した。また色相の対比（反対色相の誘導）についての実験結果を報告し、その結果を生じうるメカニズムの可能性について議論を行なった。

〔3. 3〕まとめ

3年間（合計6回）の研究会を通して、視覚の中でも特に質感に関する工学系／心理学系の研究者との意見交換や交流を実施した。色知覚は視覚情報処理の比較的入力に近い場所で生じ、物体の質感知覚は経験などの高次の情報に影響を受けるため比較的ゴールに近い場所での現象である。すなわち、それぞれの知覚は相互に影響し、視覚情報処理が低次から高次への一方通行のプロセスではなく、低次と高次の視覚野で頻繁かつ高速に行われる信号の相互作用が存在している事を示唆している。

一方、基本的ながら未解決な問題も多く、これらを明らかにする手がかりを得るためには様々な課題に対する多様なアプローチを参考にする事は不可欠であり、今後も同様の意見交換／議論の場を提供する事が必要であると考えられる。

最後に、本共同プロジェクト研究にもとづく研究会での議論を通じた研鑽が、少なくとも以下の2件の科研費獲得に繋がった事を成果の一部として付記したい。

・新学術領域「多元質感知」計画研究「実社会の多様な質感情報を分析・制御・管理する技術」、課題番号：15H05926、代表者：岡嶋克典（横浜国立大学）

・基盤研究B（一般）「脳内における順行性・逆行性の視覚信号の相互作用」、課題番号：15H03460、代表者：栗木一郎（東北大学）

〔4〕成果資料（関連する研究発表など）

- 1) 近藤大佑, 本吉 勇: 多重色チャンネルのパタン・運動選択性. 日本視覚学会 2016 年冬季大会 (ベストプレゼンテーション賞).
- 2) 山川昌彦, 岡嶋克典: 光感受性網膜神経節細胞が関与する明るさ知覚の定式化. 日本色彩学会誌, Vol.39, No.5, Suppl. 30-31
- 3) 松原和也, 増田知尋, 風見由香利, 早川文代, 葛西智, 池羽田晶文, 吉村正俊, 和田有史: エキスパートによるりんご褐変果の評価. 日本視覚学会 2015 冬季大会.
- 4) 篠森 敬三, 鈴木 敬明, 豊田 敏裕, 中内 茂樹: 浴室手摺色応用のための探索応答時間と一対比較選択率に基づく色視認性評価. 第 57 回日本産業・労働・交通眼科学会.
- 5) 濱田大佐・山本洋紀・齋木 潤: 共感覚色は色空間で偏在する. 日本視覚学会 2016 年冬季大会.
- 6) Nascimento, S. M. C., & Masuda, O. (2014). Best lighting for visual appreciation of artistic paintings—experiments with real paintings and real illumination. *JOSA A*, 31(4), A214-A219.
- 7) Kuriki, I. (2015). Lightness dependence of achromatic loci in color-appearance coordinates. *Frontiers in Psychology*, 6:67. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00067.
- 8) Takahashi Y, Mizokami Y, Yaguchi H. Colorfulness perception of natural images adjusting to haze. The 23rd Symposium of the International Colour Vision Society, Abstract book, 97.
- 9) Hirose, M., Toyota, S., Ojima, N., Ogawa-Ochiai, K., & Tsumura, N. (2015, March). Principal component analysis for surface reflection components and structure in the facial image and synthesis of the facial image in various ages. In *IS&T/SPIE Electronic Imaging* (pp. 939809-939809). International Society for Optics and Photonics.
- 10) 鈴木 峻, 木村英司: 短時間での情景認知に対する色情報の効果の検討. 日本視覚学会 2015 年夏季大会.
- 11) 金子沙永, Stuart Anstis, 栗木一郎: 瞬間呈示での傾き同時対比と誘導刺激方位の関係. 日本視覚学会 2016 年冬季大会.

採択回数	1	2	3
(先端)			

H25/B09

マイクロ波およびレーザ応用合成開口レーダの開発と 民生応用

〔1〕組織

代表者：近木祐一郎
(福岡工業大学電子情報工学科)

対応者：八坂 洋
(東北大学電気通信研究所)

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 (宇宙航空研究開発機構)
犬竹正明 (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所)
伊藤直樹 (宇部工業高等専門学校)
際本泰士 (京都大学)
山鹿光紀 (富士重工業 (株))
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)

延べ参加人数：16人

研究費：旅費 19万5千円

〔2〕研究経過

本研究は、電波（マイクロ波）および光（赤外レーザ）を用いた合成開口レーダ（Synthetic Aperture Radar: SAR）システムの開発・製作および評価を効率よく推進していくこと、特に、要素技術としてのハードウェアおよびソフトウェアの開発を進めるとともに、同技術を組み合わせた先進SARシステムの製作と民生応用を主体とした実用化を目的としている。具体的には、

- i) Kuバンド（波長 2cm）および赤外線（波長 1.55 μm ）を用いた航空機搭載合成開口レーダの民生応用についての調査検討を行う。
- ii) 1-10 cm の高空間分解を実現する、スポットライト方式 SAR システムの開発と実機検証を進めていく。

本プロジェクトは、本年度が最終年度であった。前年度では、研究代表者らが所属するグループにより

開発を進めている Ku バンドスポットライトモード SAR の当初の目標であった 10cm 分解能画像取得の達成や、レーザ SAR(レーザレーダ)のハードおよびソフトウェアに関する技術課題の報告があり、本年度はスポットライト SAR に関しては高解像度画像化のための応用ソフトの開発および移動体検知のための技術課題の検討を、レーザ SAR ではレーザレーダ運転モードを用いた実験室内における高解像度画像取得実験を展開した。

以下、研究活動状況の概要を記す。

- I) 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 2016：平成 28 年 2 月 25 日 東北大学電気通信研究所本館、ポスター展示、犬竹正明、近木祐一郎、間瀬淳、池地弘行、佐藤源之、富尾武、山鹿光紀「マイクロ波及びレーザ応用合成開口レーダの開発」
- II) 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会：平成 27 年 3 月 3 日、電気通信研究所 1 号館、参加者 10 名
- III) H27 年度 Live SAR およびレーザ SAR 開発に関する検討会：平成 27 年 3 月 4 日、電気通信研究所 1 号館、参加者 9 名
- IV) レーザレーダ室内実験およびリアルタイム実験に向けたシステム検討会議：平成 27 年 3 月 7、8 日、九州大学産学連携センター、参加者 4 名
- V) 合成開口レーダによる高度計測のための検討会議：平成 27 年 3 月 9-11 日、福岡工業大学工学部、参加者 3 名

〔3〕成果

（3-1）研究成果

各研究活動において得られた成果を記述する。

- I) 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 2010：本プロジェクトに関連し、犬竹により「マイクロ波及びレーザ応用合成開口レーダの開発」のパネル展示がなされた。
- II) 共同プロジェクト研究会：本研究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や、レーダを搭載するためのヘリ運用の現状に

ついて6件の報告があった。以下にそれら報告の概要を示す。

II-1) スポットライト SAR を用いた MTI のシミュレーション研究(近木)

合成開口レーダによる移動体検出のシミュレーション結果について報告があった。通常の SAR ではレンジ方向に向かってくる物体は、クロスレンジ方向にシフトした位置にぼけがなく表示される。スプリットビーム方式を用いた 2chSAR では、2つの画像の強度差を用いて移動体検出ができることを示し、実際に移動体が存在した位置を推定できることが分かった。また、クロスレンジ方向にも移動する移動体は画像上ぼけて表示されるが、レーダデータ取得中にわたる移動体のクロスレンジ方向の位置の推定が可能であることを示し、その速度成分を用いた画像のぼけ改善ができることを報告した。

II-2) 超高帯域チャープマイクロ波変調レーザ SAR 開発の現状(間瀬)

レーザレーダによる近距離物体の可視化実験について報告があった。回転ステージに搭載したレーザレーダをスキャンし、物体までの距離をミリメートル程度の分解能で計測して画像化できることを示した。数百メートル遠方の目標に対するレーザレーダ適用の検討を送受信系の観点から行い、サーキュレータやコリメータを用いたモノスタティックあるいはバイスタティック方式について幅広く検討した。

II-3) 移動補正 (Motion-Compensation) 型と Spotlight 型 SAR について(池地)

近年、スポットライト型 SAR が各社より開発されている。本報告では、本研究グループが開発したスポットライト SAR “LiveSAR” と、その他のスポットライト SAR の方式の違いについて言及し、違いをアピールするために LiveSAR を移動補正 (Motion Compensation) 型と呼称を変えようと提案があった。移動補正型は通常のスポットライト SAR と較べて、画像生成のリアルタイム性や、フレキシブルに異なる角度の観測対象地を撮像できるという点で優れていると報告があった。

II-4) 波高観測レーダのシミュレーション実験(金子)

地上設置型のレーダによる波高観測レーダのシミュレーション実験について報告があった。複数並べたアンテナ間で反射波の位相差を比較したところ、潮位の変化に比例した位相変化が得られたが、波高の変化に対しては位相変化の方向は一致するものの比例関係から逸脱する現象が見られた。これはレーダ照射波が横方向の構造がある海波にも当たっているため引き起こされる現象であると説明があり、今後その解決に向けた信号処理方法を提案する旨報告

があった。

II-5) Ground-Based SAR の最近の応用(佐藤)

地上設置型 SAR による栗原地区崩落面の地表面経時移動変化の測定結果について報告があった。崩落面は既に安定しており大規模な崩落は起こらないが、積雪や小石の堆積などによる表面変異が見えるとのことであった。また、固定設置したレーダによる表面変異の計測例についての報告があり、例えば鉄道の鉄橋下に設置するレーダにより、列車が通過したときに見られる鉄橋のたわみがミリメートルの精度で得られることが報告された。

II-6) ヘリコプターの災害対応活動体制の整備について(富尾)

ヘリコプターと LiveSAR を組み合わせた防災・監視活動に利用できる形態について報告があった。具体的には、ヘリおよび LiveSAR の機動性と、准天頂衛星の構造物の陰に左右されない可観測性を組み合わせ、監視しにくい場所で発生した自然災害をモニタリングできるシステム構築の提案があった。また、常時観測のための夜間あるいは悪天候時のヘリの航路が全国展開される予定であることが報告された。航路をはずれた災害地域の迅速なデータ収集のためにもヘリの航法に SAR を組み合わせる必要性が説明された。

III) H27 年度 Live SAR およびレーザ SAR 開発に関する検討会では、以下の内容が検討された。

III-1) 平成 27 年度 LiveSAR 改修の詳細について説明があり、LiveSAR の画像取得の歩留まりについて地上試験ではほぼ問題ないほど改善されたことが報告されたが、慣性センサの誤差に起因する観測地域のずれがしばしば起こることが報告され、画像合成のためのマルチショット SAR データ取得のために問題になっていることが報告された。そこで、慣性センサデータの高精度化をより効率的に進めるためにいくつかの提案があったが、新年度の予算の確定を踏まえて改めて議論することになった。

III-2) LiveSAR 実験局延長申請に関して、公的外部予算の獲得(科研費、SCOPE)を根拠にした実験局申請を目指すことで一致した。

III-3) 平成 28 年度の通研共同プロジェクト研究会継続申請の報告が近木よりあった。

IV) レーザレーダ室内実験およびリアルタイム実験に向けたシステム検討会議を行った。現状のレーザレーダのリアルタイム性を高めるために現状九大で開発している光—マイクロ波変換装置と、福工大で開発している超広帯域マイクロ波発生装置を統合することは決定事項であるが、さらにデータ取得のための AD 変換器に求められる仕様やマイクロ波送信の仕様について検討を進め、レーザレーダでは近距

離のターゲットの可視化を目標としているが、現状の LiveSAR と同様のマイクロ波パルスの送受信でデータが取得可能なことが分かった。

v) 合成開口レーダによる高度計測のための検討会議を行った。波の散乱断面積が各位置で強度及び位相共にランダムな時に異なる位置に設置する受信チャンネル間で位相変化が見られなくなる問題について議論し、シミュレーション実験による解決方法の提案があった。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは、

i) Ku バンド (波長 2 cm) および赤外線 (波長 1.55 μ m) を用いた航空機搭載合成開口レーダの民生応用についての調査検討、ii) 1-10 cm の高空間分解を実現する、スポットライト方式 SAR システムの開発と実機検証、を主目的に進めてきた。

今年度の研究の発展により、Ku 帯の LiveSAR では 10cm 級分解能の画像を航空機から取得できる見込みがついた。今後は、航空機試験の早期実現による LiveSAR 画像出力の優位性を示すことができれば、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であろう。

一方、近赤外を用いたレーザレーダでは 10GHz を超える帯域の利用により世界最高性能の mm 級の距離測定精度が達成されており、今後は屋外での性能検証実施が期待される。

[4] 成果資料

1. Y. Kogi, T. Higashi, N. Tamura, H. Tsuchiya, D. Kuwahara, Y. Nagayama, A. Mase, K. Takehara and T. Tokuzawa, "Observation of electron temperature turbulence with a correlation electron cyclotron emission radiometer on LHD", Journal of Instrum., Vol.11, C01072 (2016)
2. D. Kuwahara, N. Ito, Y. Nagayama, H. Tsuchiya, M. Yoshikawa, J. Kohagura, T. Yoshinaga, S. Yamaguchi, Y. Kogi, A. Mase, "Development of local oscillator integrated antenna array for microwave imaging diagnostics", Journal of Instrum., Vol.10, C12031 (2015)
3. J. Kohagura, X. Wang, S. Kanno, M. Yoshikawa, D. Kuwahara, Y. Nagayama, Y. Shima, M. Chikatsu, M. Sakamoto, T. Imai, Y. Nakashima, A. Mase, "Development of microwave imaging interferometer system for divertor simulation experiments in GAMMA 10/PDX", J. Instrum. (JINST), 10.1088/1748-0221/10/12/C12024 (Dec. 2015)
4. X. Wang, M. Yoshikawa, J. Kohagura, Y. Shima, R. Ikezoe, M. Sakamoto, T. Imai, Y. Nakashima, Z. Ma, I. Sakagami, A. Mase, "A narrow band-pass filter-type Wilkinson power divider for I-Q demodulator in microwave interferometer system", J. Instrum. (JINST), 10.1088/1748-0221/10/11/C11005 (Nov. 2015)
5. 丸山 徹、安田潮人、間瀬 淳, "マイクロ波反射計を用いた非接触・無拘束・着衣下での心拍変動解析の試み", Japan. J. Electrocardiology (心電図) Vol. 35, No. 2, pp. 133-142 (2015)
6. X. Wang, I. Sakagami, Z. Ma, A. Mase, M. Yoshikawa, M. Ichimura, "Miniaturized Dual-Band Wilkinson Power Divider with Self-compensation Structure", IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol. Vol. 5, No. 3, pp. 389-397 (Mar. 2015)
7. Xialong Wang, Zewang Ma, Iwata Sakagami, Atsushi Mase, Masayuki Yoshikawa, "Miniaturized Wilkinson Power Divider with Extra-Coupled Line Section for Compensation", Miniaturized Wilkinson Power Divider with Extra-Coupled Line Section for Compensation
8. X. Wang, S. Kanno, J. Kohagura, M. Yoshikawa, Y. Shima, Y. Nakashima, M. Sakamoto, K. Oki, T. Imai, M. Ichimura, Y. Nagayama, D. Kuwahara, A. Mase, "A novel frequency-multiplied interferometer system with 1-D horn-antenna mixer array in the GAMMA 10/PDX end divertor module", Trans. Fusion Sci. Technol. Vol. 68, pp. 178-183 (2015)
9. Xiaolong Wang, Iwata Sakagami, Zhewang Ma, Atsushi Mase, Masayuki Yoshikawa, "Generalized, Miniaturized, Dual-Band Wilkinson Power Divider with a Parallel RLC Circuit", Int. J. Electron. Commun. Vol. 69, pp. 418-423 (2015)

採択番号 H25/B10

メタプログラムに対する論理的アプローチ

[1] 組織

代表者：

亀山 幸義（筑波大学システム情報系）

対応者：

外山 芳人（東北大学電気通信研究所）

分担者：

佐藤 雅彦（京都大学名誉教授）

桜井 貴文（千葉大学理学研究科）

五十嵐 淳（京都大学情報学研究科）

青戸 等人（新潟大学工学部）

中澤 巧爾（名古屋大学情報科学研究科）

浜名 誠（群馬大学大学院理工学部）

竹内 泉（産業技術総合研究所）

協力者：

大堀 淳（東北大学電気通信研究所）

松田 一孝（東北大学情報科学研究科）

菊池 健太郎（東北大学電気通信研究所）

キセリ ヨーフ、オレグ

（東北大学情報科学研究科）

安部 達也（千葉工業大学人工知能・ソフト

ウェア技術研究センター）

延べ参加人数：14人

研究費：旅費14万1千円

[2] 研究経過

メタプログラムは、プログラムをデータとして扱うプログラムのことである。メタプログラムは、プログラム特化、動的プログラム生成、プログラム変換など様々な形で研究が進められ、現実のソフトウェア設計・作成・実現において有用な概念であるとされている。一方で、メタプログラムの安全性や信頼性は、数値や文字列などの単純なデータを扱うプログラムのそれに比べて未解明であり、基礎理論に基づいた堅牢な意味論と、その意味論のもとでの

正当性の保証など、多くの課題が残されている。

このような観点に立ち、本プロジェクト研究では、メタプログラム・メタ計算に関する幅広いアプローチを俯瞰し、数理論理学に基づいて、「信頼性」をキーワードとして、メタプログラムの設計、仕様記述、モデル化、実装、応用などに関する最先端の研究に関する討論を行った。

最終年度となる本年度は、過去2年間のプロジェクト研究会で共有した問題意識のもとに、3年間のまとめとなる討論を行い、メタプログラム・メタ計算に対する論理的アプローチについての成果を得た。

以下、研究活動状況の概要を記す。

今年度は、平成27年9月28～29日に、東北大学電気通信研究所において、研究集会を開催した。参加者は本プロジェクトの研究メンバーに加え、ゲストスピーカーとして、大堀淳教授（東北大学）、松田一孝准教授（東北大学）、安部達也博士（理化学研究所、発表時点）の参加を得て、従来とは異なる角度からの話題提供を得ることができた。研究集会での発表は以下の通りである。（発表順）

1日目：

- ・桜井 貴文、Residual について
- ・外山 芳人、木オートマトンの完備化の停止性
- ・大堀 淳、意味と自己言及の関係について
- ・浜名 誠、Iteration Algebra for UnQL Graphs and Completeness for Bisimulation

2日目：

- ・亀山 幸義、メタプログラムの型システムと Curry-Howard 対応について
- ・菊池 健太郎、項書き換えシステムの手法による帰納的定理証明とその拡張
- ・安部 達也、メモリー貫性モデルを考慮したプログラムの中間表現
- ・松田一孝、Towards a Programming Language for Regular Tree Transformations
- ・竹内 泉、数学と変数

〔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。

・計算エフェクトを用いたコード生成におけるスコープ安全性の問題の解決： 効率の良いコード生成を関数型プログラムで実現するためには、メモ化、let 挿入、例外発生など、計算エフェクトを要する機能が必要であるが、これらの計算エフェクトを無制限に用いると、生成されたコードの変数スコープが正しくなくなる危険がある。この古典的未解決問題に取り組み、モナドとして表現できる任意の副作用に対応したコード生成のためのフレームワークを構築することに成功した。このフレームワークを、ランク 2 型を持つ **Haskell** 言語のライブラリとして実装した。また、このライブラリを使って効率良いコード生成のプログラム例を作成し、実用性を示した。

・ラムダ計算における合流性証明に関する研究： 前年度に、新しいラムダ項の構成法を考案した。これは自由な帰納的構成法によりラムダ項を作る方法で、 α 同値という概念を導入する必要があるという利点がある。本年度はその長所を明らかにするため、合流性の証明と形式化を行なった。

合流性の証明にはいくつかの方法が知られており、よく使われるのは高橋による「***-translation**」である。これは「最大」の合流項を求める方法であるが、一方、**Levy** と **Huet** による方法は「最小」の合流項を求める方法であり、この「最小」は圏論の意味での **pushout** として定式化される。本研究ではこの証明を **minlog** システムにより形式化し検証した。合流性の証明を計算機上の証明系で検証した前例はいくつかあるが、この方法による合流性証明の **pushout** 性まで含めて形式化し検証した前例はなく、本研究が初めてである。

・メモリー貫性モデルを考慮したプログラム検証： **CPU** のインストラクションのリオーダーリング（順序変更）等を考慮したプログラム検証、いわゆるメモリー貫性モデルを考慮したプログラム検証の研究を行った。インストラクションのイフェクトとその順序をプリミティブとする論理式により、メモリー貫性モデルの形式化を行い、それに基づいて拡張したモデル検査の理論とその検査器の実装を構築した。また、特定のメモリー貫性モデルに依存しない、汎用の並行プログラム論理の構築の端緒となる研究を行った。

・木オートマトンの完備化の停止性： 項書き換えシステムの到達可能性は、合流性の解析や正規化戦略の解析などで重要であり、木オートマトンの完備化は到達可能性を解析するために広く用いられている手法である。完備化手続きの要点は、その停止性を保証することである。本研究では、非左右重なり項書き換えシステムという新しいクラスを提案し、書き換え規則間の左辺と右辺の重なりを解析することで、このクラスに対して完備化手続きが停止するための十分条件を与えた。

・文脈移動法によるプログラム変換の正当性： 検証に適したプログラムに変換するための文脈移動法や文脈分割法といったプログラム変換法が知られている。本年度の研究では、項書き換えシステムの枠組みで定式化されたこれらの変換の正当性を、先行評価に基づく意味論と始代数に基づく意味論に対して証明し、二種類の意味論における正当性の違いを明らかにする例を与えた。また、類似した考え方が、帰納的定理証明法の一つである潜在帰納法においても適用できることを示した。

・グラフ計算系 **UnCAL** に対する完全な公理化とイテレーション代数によるモデル化： **Buneman** らによるグラフ計算系 **UnCAL** は、グラフデータベースの問い合わせ言語のメタ言語である。これに対し、等式による完全な公理化と、グラフ上の構造再帰のイテレーション代数の準同型によるモデル化に成功した。完全性の証明には、グラフ項に対する正規形が必要のため、公理から停止かつ合流性を持つ書換え規則を抽出する書換え手法を用いた。また、グラフデータを手続き的プログラムとして解釈すると、エフェクトハンドラが構造再帰となるというメタプログラムの事実も観察した。

・正規木の変換のための関数プログラミング言語： グラフデータベース問い合わせ言語 **UnCAL** は、「マーカー」等の特殊な概念を含むため、従来の関数プログラミングの操作技法の直接の適用が困難であった。そこで、本研究では、**UnCAL** 計算のアイデアを「段階」の概念を持つ型システムで形式化し、必要呼び評価により **UnCAL** の実用的な多くのグラフ変換が実現できることを示した。

・数学における変数に関する研究： 昨年度に引き続き、数学に現れる自由変数と束縛変数の解釈について議論した。自由変数と束縛変数を述語論理によって解釈するには、以下のように行なう：(1) 独立変数に対する値の割当を設定し、これを《状況》と

呼ぶ。(2) 独立変数は状況から変数値への射影関数と見なす。(3) 従属変数は独立変数から変数値への関数と見なす。以上によって解釈を行なう。ここにある《状況》の解明は今後の課題である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本研究集会は、メタプログラム・メタ計算の信頼性を格段に向上させるための基礎理論、プログラム言語、システムを構築することを目標に、プログラム言語と論理学の理論と実装に精通する第一線の研究者が集まり、最新の成果と手法を交換することにより、新たな発展を目指したものである。その成果の1つとして、共同研究、共著論文の執筆があげられる。大学や研究機関の垣根を超えた交流は、科学技

術の発展にとって極めて重要であり、特に、基礎分野ではその必要性は高い。本プロジェクトの支援により多くの共同研究の芽がまかれたことは大変に喜ばしい成果である。これらの芽が近い将来に大きな研究成果として花開くことが期待できる。

2016年3月4~6日に開催された国際会議FLOPS 2016 (13th International Symposium on Functional and Logic Programming)において、研究代表者 亀山が General Chair を、研究協力者 キセリョーフが Program Co-Chair を務めるなど、本研究プロジェクトメンバーが貢献した。この国際会議では、コード生成を含むメタプログラミングおよび型理論に基づく基礎付けに関する研究等の発表がなされた。(参加者 74 名)

[4] 成果資料

- Tatsuya Abe and Toshiyuki Maeda. Towards a unified verification theory for various memory consistency models. The 6th Workshop on Syntax and Semantics of Low-Level Languages, online 2 pages, 2015.
- Makoto Hamana. Iteration Algebras for UnQL Graphs and Completeness for Bisimulation. Electronic Proceedings in Theoretical Computer Science 191, pp.75-89, 2015.
- Jun Inoue, Oleg Kiselyov, Yukiyoshi Kameyama. Staging beyond terms: Prospects and Challenges, Proceedings of the ACM SIGPLAN 2016 Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation, pp. 103-108, 2016.
- Yukiyoshi Kameyama, Oleg Kiselyov, Chung-chieh Shan. Combinators for Impure yet Hygienic Code Generation, *Science of Computer Programming*, Vol. 112, Part 2, pp. 120-144, 2015.
- 小林 恵, 五十嵐 淳. 参照を備えた多段階計算のための多相的型システム, 日本ソフトウェア科学会第32回大会論文集, 2015.
- Ikuro Kobori, Yukiyoshi Kameyama, Oleg Kiselyov. Answer-Type Modification without Tears: Prompt-Passing Style Translation for Typed Delimited-Control Operators, Post-Conference Proceedings of Workshop on Continuations 2015, EPTCS, to appear.
- Koichi Sato, Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama. Correctness of

Context-Moving Transformations for Term Rewriting Systems, Proceedings of the 25th International Symposium on Logic-Based Program Synthesis and Transformation, LNCS 9527, pp.331-345, 2015.

- 島貫健太郎, 青戸等人, 外山芳人, 書き換え規則の重なりに基づく到達可能性判定法, コンピュータソフトウェア, 採録決定.
- Kenichi Suzuki, Oleg Kiselyov, Yukiyoshi Kameyama. Finally, Safely-extensible and Efficient Language-Integrated Query, Proceedings of the ACM SIGPLAN 2016 Workshop on Partial Evaluation and Program Manipulation, pp. 37-48, 2016.
- Takaki Suzuki, Kentaro Kikuchi, Takahito Aoto and Yoshihito Toyama. Confluence of Orthogonal Nominal Rewriting Systems Revisited, in Proceedings of the 26th International Conference on Rewriting Techniques and Applications, LIPIcs 36, pp.301-317, 2015.
- Naoki Takashima, Hiroki Sakamoto, Yukiyoshi Kameyama. Generate and Offshore: Type-safe and Modular Code Generation for Low-Level Optimization, Proceedings of Workshop on Functional High-Performance Computing, 9 pages, 2015.
- 竹内 泉, 数学と変数, 科学哲学 48 巻 2 号, 出版予定

採択回数	1	2	3
(先端)			

採択番号 H26/B01

高性能圧電材料の開発と通信・計測デバイスへの応用

[1] 組織

代表者：梅村 晋一郎
(東北大学大学院医工学研究科)

対応者：鈴木 陽一
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

安達正利 (富山県立大学名誉教授)

井上憲司 (Piezo Studio)

今野和彦 (秋田大学大学院工学資源学研究科)

宇野武彦 (神奈川工科大学工学部)

小田川裕之 (熊本高等専門学校)

垣尾省司 (山梨大学大学院医学工学総合研究部)

門田道雄 (東北大学大学院工学研究科)

金井 浩 (東北大学大学院工学研究科)

唐木智明 (富山県立大学工学部)

川勝孝治 (村田製作所)

木村悟利 (日本電波工業)

櫛引淳一 (東北大学名誉教授)

工藤すばる (石巻専修大学理工学部)

黒澤実 (東京工業大学大学院総合理工学研究科)

小松隆一 (山口大学大学院理工学研究科)

近藤 淳 (静岡大学創造科学大学院
ナノマテリアル部門)

佐藤良夫 (太陽誘電)

鹿田真一 (独立行政法人産業技術総合研究所
ダイヤモンド研究センター)

芝 隆司 (日立メディアエレクトロニクス)

高野剛浩 (東北工業大学工学部)

長 康雄 (東北大学電気通信研究所)

永田 肇 (東京理科大学理工学部)

中村僖良 (PDT ラボラトリー)

橋本研也 (千葉大学大学院工学研究科)

広瀬精二 (山形大学大学院理工学研究科)

船坂 司 (セイコーエプソン)

宝川幸司 (神奈川工科大学工学部)

森田剛 (東京大学大学院新領域創成科学研究科)

谷津田博美 (日本無線)

山田 顕 (東北学院大学工学部)

山中一司 (東北大学大学院工学研究科)

山之内 和彦 (東北大学名誉教授)

若月 昇 (石巻専修大学大学院理工学研究科)

和佐清孝 (京都大学大学院工学研究科)

渡部泰明 (首都大学東京理工学研究科)

延べ参加人数：86人

研究費：旅費27万1千円

[2] 研究経過

本研究会は、次世代情報通信システム用の圧電材料の開発からその物性と性能評価、更にはデバイスまで包括的に研究討論を行い、研究・開発を進めることを目的に行われている。本年度は平成28年2月8日、2月9日の両日に東北大学工学部カターサイエンスキャンパスホールを会場とし、「圧電材料・デバイスシンポジウム2016」と題する公開シンポジウム形式で行った。プロジェクト研究メンバーのほか、一般からも講演を募り、日本無線の谷津田博美博士による「SH-SAWを用いた迅速免疫検査キット」、日立アロカメディカルの田中宏樹博士による「医用超音波におけるCMUT技術」と題する招待講演2件(後者は、電子情報通信学会東北支部講演会として開催)を含む計24件の研究発表が行われた。参加者は昨年度とほぼ同じ77名であり活発なシンポジウムとなった。

現在のSAWの用途は、そのほとんどが高周波電気信号の処理である。前者の招待講演は、それをバイオセンサとして用いようとするものであり、この分野の開拓者のひとりによる事業化への方向付けも含めた講演は意義大であった。

CMUTは圧電デバイスではないが、今後、圧電式プローブが、医用超音波分野において競争していく相手として十二分に認識すべき技術分野である。後者の招待講演は、その技術を総括したもので、意義意義大であった。

各セッションでの発表内容の概略は次のとおりである。

(A) 薄膜作製：スパッタターゲットから発生するイオン種がScAlN薄膜の結晶性に及ぼす影響、通常のスパッタ法を用いたAl極性ScAlN/O極性ZnO極

性反転構造トランスデューサ、イオンビーム照射を用いた c 軸平行極性反転構造 ZnO 薄膜共振子、RF マグネトロンスパッタにおける c 軸平行配向 ZnO 膜の高品質化の検討 について発表があった。

(B) センサ応用：医用超音波顕微鏡用集束超音波デバイスの開発と応用、広域加熱・局所冷却と超音波フェーズドアレイによる閉じたき裂映像化の選択性向上、バースト波アンダーサンプリング回路を用いたボール SAW 微量水分計の開発、バブル吸着による水晶振動子の電気インピーダンス変化の測定 について発表があった。

(C) 圧電特性：受動圧電部を用いた超音波振動子による共振周波数の動的制御、シャント抵抗に依存する圧電体のやわらかさ、超音波治療を目的に重いマッチング層を付加した第 2 高調波重畳トランスデューサの評価 について発表があった。

(D) 圧電薄膜および圧電体上薄膜：高音速薄膜装荷によるリーキー弾性表面波の低損失化、Si(001)面の異方性を利用した 6 mm 薄膜の弾性定数推定、PZT/BiScO₃-PT スパッタ薄膜の高温 XRD 特性、c 軸平行配向 ScAlN 膜/高音速基板構造を用いたセザワ波の高い電気機械結合係数 について発表があった。

(E) 圧電結晶およびセラミックス：直線集束ビーム超音波材料解析システムを用いた X-cut ランガサイト型単結晶の方位決定法の検討、Brillouin 散乱法を用いた c 面 ZnO 単結晶の音響電気効果による緩和測定、垂直 MPB を持つ (K,Na,Li)NbO₃-BaZrO₃-(La,Na)TiO₃ 非鉛系圧電セラミックス について発表があった。

(F) SAW デバイス：c 軸平行配向 ZnO 膜による SH-SAW を用いた液体の粘度・導電率測定、弾性表面波を用いた液滴搬送に関する実験的考察（液滴に働く力の計測と液滴位置計測）、SAW デバイスの横モード解析のための薄板モデル、LiNbO₃ 薄板の SH₀ モード板波を用いた聴講帯域フィルタ について発表があった。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

薄膜作製分野では、移動体通信用フィルタとして用いられている AlN 薄膜よりもさらに優れた性能をもつ ScAlN 薄膜や、高周波センサとして広く用いられている ZnO 薄膜について、その作製法と得られた特性の関連が明かされた。また、それぞれについて極性反転構造を作製する方法が明らかにされた。

センサ応用については、ZnO 膜を用いた超音波顕微鏡センサの開発の現状が明らかにされた。また、閉じた亀裂を超音波アレイセンサを用いて映像化する

工夫が明らかにされた。さらに、ボール SAW を用いた微量湿度センサのための信号処理方法と、水晶振動子のインピーダンス変化を用いたバブルセンサの原理が、明らかにされた。

圧電特性については、電気条件により圧電体のやわらかさが変化する原理が明らかにされ、それをランジュバン振動子の共振周波数の制御に応用する方法が明らかにされた。また、圧電体と同程度の音響インピーダンスをもつ層を付加する琴により、基本波と同時に第 2 高調波を発生できるトランスデューサ構造が明らかにされた。

圧電薄膜および圧電体上薄膜については、圧電体上に薄膜を装荷することにより弾性表面波伝播が低損失化されることが明らかにされ、弾性波デバイス高性能化のための薄膜の弾性定数を推定する方法が示された。さらに、PZT を超えるキュリー温度をめざした圧電薄膜の特性が明らかにされ、高い電気機械結合係数をめざした ScAlN 膜が解析された。

圧電結晶およびセラミックスについては、耐熱圧電センサとして期待されるランガサイト結晶の超音波による解析について示され、ZnO に代表されるワイドギャップ半導体について導電性が高い場合に圧電性を評価する方法について示された。また、有用な非鉛系圧電セラミックスを得る相境界に着目したアプローチが示された。

SAW デバイスについては、ZnO 膜を用いた液体の粘度・導電率測定方法について示され、SAW を用いた液滴搬送法について示された。また、SAW デバイス解析モデルについて示され、空いているデジタル TV 周波数帯を利用するための超広帯域 SAW ラダーフィルタの設計・試作について示された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本共同プロジェクト研究会を母体として開催してきた「圧電材料・デバイスシンポジウム」は、圧電材料を主題として、材料探索、作製、評価、デバイスへの応用と、それぞれ第一線の研究を包括的に討論できる数少ない場として高く評価されている。発表された論文が他の学術誌で引用されており、当該分野での主要な研究集会の一つとして認知されるに至っている。関連分野で活発に研究を進めている研究者が集って発表と討論を行うことで、密接な情報交換と研究協力が促進し、次世代の圧電デバイスの研究・開発の進展に貢献している。本プロジェクト研究会での成果は通信分野のみならず、最近では医療における可視化、評価などの様々な圧電デバイス応用への一層の発展が進みつつある。

[4] 成果資料

- (1) Wasa, T. Matsushima, H. Adachi, T. Matsunaga, T. Yanagitani, and T. Yamamoto, *J. Appl. Phys.* 117, pp.124106, 2015.
- (2) 和佐清孝、半澤弘明、吉田慎哉、田中秀治 BiScO₃-xPbTiO₃ 高温圧電薄膜の作製と評価 弾性波素子技術 第 150 委員会第 140 回資料 pp.5-9, 2015.
- (3) K. Wasa, Thin Films as Material Engineering”, *J. Superconductivity Novel Magnetism* 28, pp.1665-1680, 2015.
- (4) S. Bai, Y. Lu, and T. Karaki, Preparation of Plate-Like Sodium Niobate Particles by Hydrothermal Method, *J. American Ceramics Society* 98, pp. 654-658, 2015.
- (5) 坂元 克明, 鈴木 瞭, 渡部 泰明, ”複数の水晶振動子を用いた発振回路におけるキャリア近傍位相雑音の検討”, *電気学会論文誌 C*, Vol.135, 12-17, 2015
- (6) 山中一司, ”ボール SAW センサを用いたガス中微量水分計測”, *応用物理* 84, pp. 218-223, 2015.
- (7) M. Fukuda, T. Harada and K. Imano, Application of high-polymer adhesive tape to closed-crack detection using second-harmonic ultrasonic pulse waves, *Acoust. Sci. & Tech.* 36, pp.175-177, 2015.
- (8) 柳谷隆彦, 鈴木雅視, 高柳真司, ”非破壊検査用の高分解能超音波プローブ”, *日本音響学会誌* 71, pp. 230-238, 2015.
- (9) S. Machida, et al., Highly reliable CMUT cell structure with reduced dielectric charging effect, *Proc. IEEE International Ultrasonic Symp.*, 8B-3. 2015.
- (10) A. Sugawara, K. Jinno, Y. Ohara and K. Yamanaka, Closed-crack imaging and scattering behavior analysis using confocal subharmonic phased array, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 54, 07HC08, 2015.
- (11) T. Tsuji, T. Oizumi, N. Takeda, S. Akao, Y. Tsukahara, K. Yamanaka, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 07HD13, 2015
- (12) R. Shimoya, K. Yoshida, Y. Yokoi, and Y. Watanabe, Modeling the response of a quartz crystal microbalance under the specific adsorption of microbubbles, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 07HD07, 2015
- (13) H. Yokozawa, T. Morita, Wireguide driving actuator using resonant-type smooth impact drive mechanism, *Sensor Actuator* 230(A), pp. 40-44, 2015.
- (14) Y. Liu, T. Morita, Simplified determination of nonlinear coefficients in piezoelectric transducers, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 10ND01, 2015.
- (15) T. Fukaya and J. Kondoh, Experimental consideration of droplet manipulation mechanism using surface acoustic wave, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 07ME06, 2015.
- (16) M. Kadota and S. Tanaka, Ultra-Wideband Ladder Filter using SH₀ plate Wave in Thin LiNbO₃ Plate and its Application to Tunable Filter, *IEEE Trans. Ultrason. Ferroelec. Freq. Contr.* 62, pp. 939-946, 2015.
- (17) M. Kadota and S. Tanaka, Simulation of solidly mounted plate wave resonator with wide bandwidth using 0-th shear horizontal mode in LiNbO₃ plate, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 07HD09, 2015.
- (18) M. Sumisaka, K. Yamazaki, S. Fujii, G. Tang, T. Han, Y. Suzuki, S. Otomo, T. Omori, and K. Hashimoto, Sputter Deposition of ScAlN Using Large Size Alloy Target with High Sc Content and Reduction of Sc Content in Deposited Films, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 07HD06, 2015.
- (19) R. Kodaira, T. Omori, K. Hashimoto, H. Kyoya, and R. Nakagawa, Considerations on Nonlinearity Measurement with High Signal-to-Noise Ratio for RF SAW/BAW Devices,” *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 07HD14, 2015.
- (20) R. Nakagawa, H. Kyoya, H. Shimizu, T. Kihara, and K. Hashimoto, Study on Generation Mechanisms of Second-Order Non-linear Signals in SAW Devices and Their Suppression, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 07HD12, 2015.
- (21) R. Nakagawa, T. Suzuki, H. Shimizu, H. Kyoya, and K. Hashimoto, Influence of Electrode Structure to Generation of Third-Order Non-linearity in SAW Devices, *Jpn. J. Appl. Phys.* 54, 07HD11, 2015.
- (22) Q. Z. Zhang, T. Han, J. Chen, W. Wang and K. Hashimoto, Enhanced Coupling Factor of Surface Acoustic Wave Devices Employing ScAlN/Diamond Layered Structure with Embedded Electrodes, *Diamond Relat. Material* 58, pp. 31-34, 2015.

H26/B02

ナノ材料とシリコン技術の融合による 新概念デバイスに関する研究

〔1〕組織

代表者：渡部 平司
(大阪大学 大学院工学研究科)

対応者：大野 英男
(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

遠藤 哲郎
(東北大学 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)

堀口 文男
(東洋大学 工学部
コンピューショナル工学科)

内富 直隆
(長岡技術科学大学 工学部電気系)

白石 賢二
(名古屋大学 大学院工学研究科)

執行 直之
(東芝 セミコンダクター社)

延べ参加人数：40人

旅費23万6千円

〔2〕研究経過

電子機器が世界の消費電力に占める割合は年々増大の一途をたどっており、その省エネ化は世界的な課題である。この課題を解決するためには、電子機器の心臓部である集積回路の飛躍的な省エネ化技術と、それに加えてコンセントから各種電子機器へ、さらにはその中にある集積回路へのエネルギー供給の極限までの低損失化技術が極めて重要である。

一方で、これらの技術を支えるシリコン半導体デバイスは微細化の進展により、ナノスケールの材料による複雑な構造の形成が必要不可欠となっている。そのため、現在の先端デバイス中では、量子効果と統計的揺らぎ効果を伴う様々な新しい現象が発現しており、従来の技術の延長のみでは、LSIの基本素子であるMOSFETや、エネルギー変換のためのパワーデバイスの大容量化・高性能化を実現することは

困難である。

実際、シリコン集積回路においては、産業上中核をなすMPU、ワーキングメモリ、ストレージメモリなどを構成する全ての基本素子において、従来の動作原理のままでは、これ以上の微細化・大容量化を実現することが困難であると予想されている。加えて、エネルギーの高効率利用においても、これ以上の高効率化・高性能化を実現するためには回路技術のみでは限界であり、微細構造下にて高耐圧・高速動作を実現できるデバイスレベルでの革新技术が強く求められている。現在は、これらの課題に対し、ナノ材料の新しい物性を利用したデバイスの研究が盛んに行われているが、新規物性を利用したデバイスとシリコン技術の融合については十分な議論がなされていないのが現状である。

この状況を打破するためには、ナノスケールにおけるデバイスの動作原理にまで立ち返り、材料の検討を行いデバイスを構築し、集積回路の基盤技術であるシリコン技術との融合を図ることが必要不可欠である。この状況は本プロジェクト発足後も変わらずますますその重要性は増大している。

本共同プロジェクト研究会では、以上の認識に立ち、材料・物性の研究者とデバイス回路研究者を一同に集めて、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスについて緊密な研究討論を行い、ナノスケール時代でも安定で高速動作可能な新概念デバイス技術の将来の方向性を模索してきた。これにより、将来の新概念デバイスのあるべき姿に対する今後の技術戦略を立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2年目であった。

以下に、研究活動状況の概要を記す。

本年度は、「ナノ材料の物性」と「プラットフォームであるシリコン技術」との融合を意図し、将来の集積エレクトロニクスを担うプロセス技術が何であるかを中心に検討を進めた。研究者間の情報交換を活発化し、将来の新概念デバイスのあるべき姿とそのシステム応用に対する今後の技術戦略が明らかになることを目指した。

国内の主要な学会等で、コアメンバーによる議論

を重ねたうえで、本年度の研究会として、2016年3月5日に半導体科学の中核を担う産官学の研究者による研究会 NWDTF と共同で研究会を開催した。研究会メンバーによる発表に加え、最先端の半導体デバイスの技術動向およびその応用展開状況などについて、企業から招待講演者を招聘し、技術討論を行うことで、本テーマの深化を進めた。また、招待講演者に加え、追加招集した官学の研究者らと、今後の日本の半導体産業の明るい将来のために必要な施策は何かということテーマとしたパネルディスカッションを実施し、単に技術討論のみにとどまらない半導体産業のあり方にまで踏み込んだ意見交換を行うことができた。

また、材料・プロセス・デバイス特性の物理に関する主要研究会である電子デバイス界面テクノロジー研究会、International Workshop on DIELECTRIC THIN FILMS FOR FUTURE ELECTRON DEVICES (IWDTF) などにおいて、随時会合を持ち、将来のエレクトロニクスに必要なナノ材料およびそのデバイスの動作原理について意見交換・技術討論を進めた。

〔1〕 成果

（3－1）研究成果

昨年度に引き続き、「新規のナノ材料の物性」と「プラットフォームであるシリコン技術」の融合技術に着目し検討を進めた。その中で今年度は特に、将来の集積エレクトロニクスを担うプロセス技術を中心に検討を進めた。新規のナノ材料に関しては、実験的アプローチと理論的アプローチの研究者から評価分析の研究者までを、またシリコン技術との融合およびそのシステム応用に関しても、日本を代表するデバイス企業の研究者らも加えて組織し、本共同プロジェクト研究会を実施することができた。

このメンバーにて開催した研究会においては、SiCなどの新規の電力変換素子向け高耐压材料として期待される材料の研究開発状況とその課題の抽出、および省エネ半導体素子においてすでに不可欠となりつつある立体構造の素子形成のための要素技術の開発状況と課題およびその応用分野の拡がりについて検討を行った。これにより、新材料を含むナノスケールの材料とシリコン集積回路技術の関係をベンチマークし、将来のナノ材料の特性を最大限引き出しつつ、システム全体としての高機能化の要求を満たしていくための課題を明確化できた。加えて、研究会のもうひとつのテーマとして、昨年度に引き続き「新たなアプリケーションによる新市場創出・価値創出を志向した研究開発」という視点を設定し、そ

の上で、日本の半導体産業の明るい将来像を描くためには、どのような研究体制で、いかに研究開発を進めていくべきかについて、多角的な議論を行った。

上記活動と議論を通して、ナノ材料とシリコン技術の融合による新概念デバイスの創出という本プロジェクトの取り組むべき課題を明確化できた。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献

本年度も、昨年度に引き続き本プロジェクト研究を通じた研究者間の交流の活発化と研究者ネットワークの拡大を推し進めた。上述したように、産官学の集積エレクトロニクス分野の中核をなす研究者らによる研究会 NWDTF との共同で研究会を企画・開催し、大学関係者のみならず、企業、国の研究機関など幅広い領域の研究者を招聘した会議を開催することで、そのネットワーク拡大を促進することができた。当該研究分野では、経済的な要因などから企業の研究者と大学の研究者の交流の場は、ニーズとシーズのマッチングの観点からも必要であるにもかかわらず、非常に少なくなっている状況があり、本プロジェクトのような多様な研究者の意見交換の場は貴重である。このような議論の場づくりそのものだけでも、本プロジェクトの本研究分野の発展における貢献度は高いといえる。今後もこれまで培ってきた研究者のネットワークをより拡大していくことで、当該分野の研究開発活動をリードしていく組織へ発展させていくことで、その波及効果を拡大していきたい。

加えて、研究会においては、多数の若手研究者に研究報告の機会を与え、一流の研究者から自身の成果について評価を受け、議論できる場を設けた。実際、活発な質疑が行われ、若手研究者にとって得がたい成長のきっかけを与えることが出来ていると考えている。

以上述べたように本プロジェクトは、大学のみならず産業界の研究者を多数集め、研究会を組織し、分野を横断した活発な議論が行うことが特徴である。この場で検討された技術戦略目標は、ナノエレクトロニクス時代の情報通信産業、半導体産業を初めとする電子・情報技術分野における成長の維持・競争力の強化に貢献することが期待できる。本研究会の活動は、世界的な競争を勝ち残る真のナノエレクトロニクスを構築していく上で必要不可欠であり、科学技術立国日本の更なる競争力強化に大きく貢献するものとする。

本プロジェクトの活動を端緒として、来年度以降の大型予算の獲得、シンポジウムの開催、さらには将来の産学連携研究等への発展を目指す。

〔4〕 成果資料

- (1) Kunihiro Tsubomi, Masakazu Muraguchi and Tetsuo Endoh,
“Novel current collapse mode induced by source leakage current in AlGaIn/GaN high-electron-mobility transistors and its impact”, Japanese Journal of Applied Physics. (in press)
- (2) 村口正和、遠藤哲郎,
“静電レンズ効果による縦型 BC-MOSFET 中の電流経路制御”, NWDTF in KOCHI, 高知県、高知工科大学, 2015 年 12 月 19 日.
- (3) K. Itoh, M. Muraguchi, T. Endoh ,
“Switch Toggling Technique of Parallel MOSFET Topology for Power Electronics Circuits with Uniform Thermal Distribution”, Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2015), Jeju Island, Korea, 2015.06.29-07-01.
- (4) R. Asahara, I. Hideshima, H. Oka, Y. Minoura, S. Ogawa, A. Yoshigoe, Y. Teraoka, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe,
“Comprehensive study and design of scaled metal/high-k/Ge gate stacks with ultrathin aluminum oxide interlayers”, Appl. Phys. Lett., **106**, 233503 (2015).
- (5) T. Hosoi, D. Nagai, T. Shimura, and H. Watanabe,
“Exact evaluation of interface-reaction-limited growth in dry and wet thermal oxidation of 4H-SiC(0001) Si-face surfaces”, Jpn. J. Appl. Phys., **54**, 098002 (2015).
- (6) A. Chanthaphan, T. Hosoi, T. Shimura, and H. Watanabe,
“Study of SiO₂/4H-SiC interface nitridation by post-oxidation annealing in pure nitrogen gas”, AIP Advances, **5**, 097134 (2015).
- (7) T. Shimura, M. Matsue, K. Tominaga, K. Kajimura, T. Amamoto, T. Hosoi, and H. Watanabe,
“Enhancement of photoluminescence from n-type tensile-strained GeSn wires on an insulator fabricated by lateral liquid-phase epitaxy”, Appl. Phys. Lett., **107**, 221109 (2015).
- (8) T. Hosoi, Y. Minoura, R. Asahara, H. Oka, T. Shimura, and H. Watanabe,
“Schottky source/drain germanium-based metal-oxide-semiconductor field-effect transistors with self-aligned NiGe/Ge junction and aggressively scaled high-k gate stack”, Appl. Phys. Lett., **107**, 252104 (2015).

採択回数	1	2	3
		(先端)	

H26 / B03

ナノ半導体材料とそのデバイス・回路による 電子システムに関する研究

[1] 組織

代表者：山部 紀久夫
(筑波大学 大学院数理物質科学研究科)

対応者：大野 英男
(東北大学 電気通信研究所)

分担者：
遠藤 哲郎
(東北大学 大学院工学研究科)
蓮沼 隆
(筑波大学 大学院数理物質科学研究科)
知京 豊裕
(独立行政法人 物質・材料研究機構
半導体材料センター)

猪川 洋
(静岡大学 電子工学研究所)
中山 隆史
(千葉大学 大学院理学研究科)
村口 正和
(東北大学 大学院工学研究科)

延べ参加人数：41 人

研究費：旅費 23 万 9,000 円

[2] 研究経過

シリコン MOS 集積回路技術に基づく電子システムは、社会を支える基盤技術である。将来の大規模マルチメディア情報処理や超高速データ通信、知能化生活支援・管理などを実現できるユビキタス電子システムの実現に向けて、電子システムには今後もより一層の継続的な高性能化が求められており、その中核を担う集積回路の高性能化、高集積化、高速化、低消費電力化、低コスト化が必要不可欠である。一方で、集積回路を構成する基本素子であるシリコン MOS デバイスは継続的な微細化に伴い、既に数十ナノメートルのスケールに到達している。そのため、ナノ半導体材料・ナノデバイス中では、微細化に伴う様々な量子効果と統計的揺らぎ効果を伴う新しい現象が発現し、従来の学理と技術だけではこれ以上の高性能化が困難な状況に達している。特に、20nm

世代を超えた真のナノメートルスケールのデバイス・回路にまで対応可能なナノ半導体材料は、未だ確立されておらず、それに基づく電子システムの姿は未だ明らかになっていない。

本共同プロジェクト研究会では、以上の認識に立ち、将来の電子システムのためのナノ半導体材料とナノ構造デバイス・回路のあるべき姿について、緊密に研究討論を行い、その学理と工学技術の構築を目指す。本件研究課題は、研究開始後もますますその重要性を増している。本研究を通して得られた知見を基にナノ半導体材料とそのデバイス・回路による電子システムに関する今後の技術戦略を提案することを目的として研究を展開した。

本プロジェクトは、本年度が2年目であった。以下、研究活動状況の概要を記す。

今年度は昨年度に引き続き、ナノ半導体材料によってもたらされるデバイス・回路が電子システムに与える影響についての検討を中心に進めた。

上記目的および今年度の課題を踏まえ、2016年3月5日に、我が国の集積エレクトロニクス分野の中核を担う産官学の研究者による研究会である NWDTF と共同で研究会を開催した。大学の研究者のみならず産業界および国の研究機関からも多数の研究者を多数招聘し、最先端の立体構造デバイスの基盤技術とその応用や高耐圧材料などを含む新規ナノ材料に基づいたデバイス・回路について検討を進めた。さらにそれらが要求する電子システムについて議論を深め、ナノ半導体材料とそのデバイス・回路による電子システムの特徴の抽出を行い、新たなアプリケーションの探索を進めた。

加えて、上記研究会に加えて、本年度も半導体研究の中核を担う研究者の集まる研究会である、電子デバイス界面テクノロジー研究会などを中心に、本プロジェクトのコアメンバーらによる議論を行い、本研究課題への理解を深化させた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度開催した研究会においては、近年の急速に

研究開発が進んでいる新規半導体材料と立体化構造の集積回路の基本素子の研究開発状況とその課題にフォーカスし、それぞれの分野に対する専門家を発表者として研究会を開催した。その中で、特に素子の使用用途と材料選択の妥当性、新規構造素子のためのプロセス・材料技術における新たな物理的課題などについて議論がなされた。さらに、それらの材料および素子構造の変化がデバイス・回路に与える影響について明確化し、その特徴を踏まえたシステム構築の重要性について改めて認識を深めることができた。加えて、近年当該分野で特に盛んに検討されつつある、高効率なエネルギー変換技術について、エネルギー変換用の半導体素子と、その応用技術に関する議論を行った。

これらの議論を通して、ナノスケールの半導体材料を用いたデバイス・回路によるシステムの性能を十分に引き出すためには、従来の枠組みに則った方法論のみでは不十分であり、ナノスケールの材料物性やデバイス動作原理を踏まえたシステム設計が求められることが改めて明確化された。

さらに、出口となる新たな応用分野の創出の観点からも議論を行った。近年の我が国の半導体産業の状況を俯瞰し、当該分野の明るい未来のためには、今後産業界、大学がどのような研究体制で、何を目的として研究開発を進めていくべきなのか活発な議論が行われた。その中で、将来の電子システムの研究開発において世界を牽引していく成果を上げていくためには、アプリケーションを見据えた研究開発が必要であることが改めて明確化した。加えて、大学人、企業人ともに起業家マインドを持った人材の育成とそれを支援していける体制の構築が当該分野を活性化し、産学連携による新技術創出に向けて大きな力となりうるという認識を深めることができた。

以上述べたように本年度の研究会における検討成果により、単なるナノ半導体材料とナノ構造デバイスの研究にとどまらない、より上位の電子システム、さらには当該学術分野の将来を視野に入れた組織構築のための端緒が得られつつあると考えている。

（3－2）波及効果と発展性、研究分野への貢献

今年度の研究会においても、産業界からの招聘者を加えることで、より幅広い分野・立場からの研究者らによる活発な議論が起こり、多角的視点から今後のナノ構造半導体材料とその新機能半導体デバイス技術について意見交換を行う場が構築できた。これにより、ナノ半導体材料に基づくデバイス・回路が要求する電子システムに対する分野を横断した共通認識と、それに基づく今後の技術戦略の提案に向けて前進した。これらの知見を来年度以降の大型研

究費獲得に向けて活かしていく。

加えて、本プロジェクトでは、博士課程の学生や若手研究者にも研究報告の機会を積極的に与えている。若手研究者が大学の研究者からのみならず企業側の研究者の視点からも意見を聞くことの出来る貴重な場となっている。若手研究者の育成という意味でも、重要な役割を果たしていると考えている。

本研究を進めていくことで、ナノスケールの素子で発現する量子効果や統計的揺らぎ効果などの諸物理現象を、デバイス・回路の設計理論にまで落とし込み、さらにそれらに基づいたシステムの性能を最大限引き出すための技術開発と、学理の方向性の解明が進展すると考えられる。

同時に、これらのナノスケールにおける材料・デバイス・回路技術をコアとした将来の電子システムの目指す方向性を打ち出すことができると期待される。また、量子論・統計学などを学術的背景とする研究者と、材料工学・デバイス工学・集積回路工学を学術的背景とする研究者の連携により、テクノロジーの視点とサイエンスの視点の両面から、今後の技術戦略の策定を行うこと自身も大きな成果となると考える。

ナノ半導体分野は、バイオテクノロジー、生態認証、磁性デバイス、MEMS など多くの異なる技術分野に対する共通プラットフォームになることが期待されているため、本研究会での成果は、半導体分野のみならず、今後のナノテク分野を広くカバーするような波及効果を持つと考えられる。したがって、本研究会における課題は波及効果が大きく、引き続き発展させていくべき課題であると考えている。

これまでの本プロジェクトの活動を通した議論で明確化した課題のうちの一つとして、社会科学的視点の重要性がある。現在、半導体分野で日本が主導権を握っていない原因の一つが、社会科学に立脚した経営的視点による研究のマネージメントの欠如であり、この視点は大学の研究者、企業の研究者が密接に議論しあう場があつてこそよく共有できる課題であり、本プロジェクトの本分野への貢献はただの研究開発という枠組みにとどまらないと考える。半導体産業は、日本の基幹産業のひとつであり、今後のナノメータ時代に適合するその学理と技術を産官学一体で再構築していくことの意義は非常に大きい。これらの、知見を基に、半導体業界全体の発展に貢献できるような大型の研究プロジェクトの獲得へ向けて、検討を進めていきたい。

[4] 成果資料

- (1) Taro Sasaki, Masakazu Muraguchi, Takahiro Shinada and Tetsuo Endoh,
 “A Study of Strain Profile in Channel Region of Vertical MOSFET for Improving Drivability”,
 Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2015), Jeju Island, Korea, 2015.06.29-07-01.
- (2) Masakazu Muraguchi Tetsuo Endoh,
 "Channel Length Dependence of Electrostatic Lens Effect in Vertical Body Channel MOSFET", Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD 2015), Jeju Island, Korea, 2015.06.29-07-01.
- (3) 蓮沼隆、山部紀久夫、
 ”多結晶 HfO_2 膜の信頼性” 通研共同プロジェクト研究発表会（ポスター発表） 2月25日
- (4) Akio Kawabata, Tomo Murakami, Mizuhisa Nihei, Kikuo Yamabe, and Naoiki Yokoyama,
 “Evaluation of thermal resistance of carbon nanotube film fabricated usion an improved slope control of temperatue profile growth”,
 Jpn.J.Appl.Phys., 54-4, 045101(2015).
- (5) Ryu Nagai, Ryu Hasunuma, and Kikuo Yamabe:
 Non-uniform Thermal Oxidation of SiC and Electrical Characteristics Properties”,
 IWDTF, Nov.2-4,2015, Tokyo Japan, p.91(2015).
- (6) Keisuke Bamoto, Ryu Hasunuma, and Kikuo Yamabe:
 Density Profile Simulated for Thermal SuO2 Films on 4H-SiC and the Crystallographic Orientation Dependence”, IWDTF, Nov.2-4,2015, Tokyo Japan, p.87(2015).
- (7) 花里耕平、名越政仁、蓮沼隆、山部紀久夫:
 “4H-SiC(000-1)の界面近傍酸化剤濃度と界面特性”, 先進パワー半導体分科会第2回講演会、大阪(2015).

採択番号 H26/B05

ハイブリッドセミコンダクタ回路技術とその応用

[1] 組織

代表者：西川 健二郎

(鹿児島大学大学院理工学研究科)

対応者：末松 憲治

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

石崎俊雄 (龍谷大学)

伊藤信之 (岡山県立大学)

岡崎浩司 (NTT ドコモ)

亀田 卓 (東北大学電気通信研究所)

河合邦浩 (NTT ドコモ)

河合 正 (兵庫県立大学)

川崎繁男 (JAXA 宇宙研)

古神義則 (宇都宮大学)

真田篤志 (山口大学)

関 智弘 (NTT 未来ねっと研究所)

檜橋祥一 (NTT ドコモ)

西野 有 (三菱電機鎌倉製作所)

藤本竜一 (東芝セミコンダクター社)

丸橋建一 (NEC システム IP コア研究所)

檜枝護重 (三菱電機情報総研)

谷口英司 (三菱電機情報総研)

藤島 実 (広島大学)

Dmitry V. Kholodnyak (St. Petersburg
Electrotechnical Univ.)

トウェア等の有機的な繋がり、集積化をイメージしている。

新しい概念の高周波 SoC とそれを用いた将来の無線端末について議論を行い、上記目的達成のため、国内外の研究者間で研究交流を図り、一層の研究の進展を図った。初年度は2回の研究討論会を実施し、Drexel University の Madihian 博士、JAXA 宇宙研の宮地晃平博士、St. Petersburg Electrotechnical University の Kholodnyak 博士の3名の講演より RFIC の最新技術動向を取り上げ、将来の高周波 SoC のイメージ、必要な機能、課題について、デバイスプロセス、回路技術、システム等多方面から集中的に議論した。その結果、震災以降注目されている電気エネルギー伝送・制御用途も含めることにした。また、無線通信キャリア技術者などシステム側の研究者との交流を図り、これを通じて、システム応用への道すじについても検討した。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であり、受動素子、無線通信及びレーダシステムの最新技術動向を取り上げ、将来の高周波 SoC のイメージ、必要な機能、課題について、デバイスプロセス、回路技術、システム等多方面から集中的に議論した。

今年度は Kholodnyak 博士を招いて平成28年度開催予定の日露ワークショップの事前会合（特別支援分）及び研究討論会を実施した。以下に実施内容を記載する。

延べ参加人数：18 人

研究費：物件費0円、旅費27万2千円、

国際特別支援30万円

[2] 研究経過

無線を使った超ブロードバンド通信を実現するには、小型な無線端末に用いられている高周波 (RF: Radio Frequency) IC のブレークスルーが必要である。本研究会では、次世代の高周波 IC を実現することを目標に、主に、RFIC の高性能化（高周波 SoC: System-on-Chip）を実現するハイブリッド化技術を提案する。ここでいうハイブリッド化とは、単なる異種デバイスの集積化（例えば、III-V on Si）だけでなく、アナログ・ディジタル、ハードウェア・ソフ

[研究討論会]

日時：平成27年10月23日（金）～10月24日（土）
場所：仙台市青葉区片平2丁目

東北大学電気通信研究所 2号館4F 中会議室 他
出席者（敬称略）：西川、末松、伊藤、岡崎、亀田、河合、川崎、関、藤本、檜枝、谷口、藤島、本良
-プログラム-

10月23日

- ・研究代表者（西川）挨拶
- ・末松よりプロジェクト運営説明
- ・2016年開催予定のサントペテルブルク電気工科大学との研究会について
- ・“マイクロ波電力合成/分配回路の小型化・広帯域

化設計” 河合 正

- ・“通信と APAA” 檜枝護重
- ・ハイブリッドセミコンダクタ回路についての議論
及び各自の近況報告

10月24日

- ・ハイブリッドセミコンダクタ回路についての議論
[日露ワークショップ事前会合]

日時：平成27年8月24日（月）

場所：東北大学電気通信研究所

出席者（敬称略）：Kholodnyak, 西川, 末松, 亀田, 本良

会議内容：

- ・開催日時, 場所, 会議概要（メインテーマ, 参加者数, 参加形態, 会議方式等）の決定
- ・ロシア側の受入体制, 日本側のサポート形態等は継続審議

[3] 成果

（3-1）研究成果

無線システムにおいて信号の合成／分配を行う電力合成／分配回路はシステムを構成する上で必要不可欠な受動素子の1つであり, 集積回路路上においても多数使用されており, 本プロジェクトが目指すハイブリッドセミコンダクタ回路の高性能化に欠かせない回路素子である。現在の広帯域・マルチバンドシステムに対応するため, メタマテリアル構造の取

	Conventional type	-3dB (RH-TL)	-3dB (Lumped element RH-TL)	Loose coupling (-10dB)
Relative bandwidth (3dB circuit)	27.8%	46.7%	44.9%	53.3%
Circuit area ratio	1	1/25	1/50	1/50

図1 メタマテリアル構造を用いた小型広帯域ラットレース回路

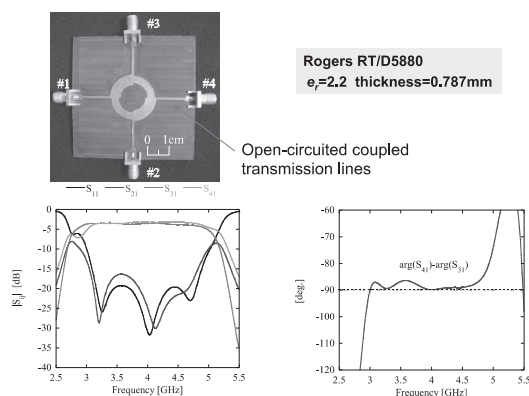


図2 広帯域ブランチラインカプラ

り込み(図1参照), 新しい回路構成法(図2参照), 高誘電体基板の開発, 立体構造, 集中定数化, アクティブ素子負荷による可変化等の取り組みが進められている。また, IC 上に集積するための小型化の研究も進展している。このような受動素子の高性能化, 小型化研究の進展をハイブリッドセミコンダクタ回路に取り込み, 先端受動素子を集積化することためのプロセス技術, 回路設計技術の課題を明らかにした。さらに, 受動素子の集積化はハイブリッドセミコンダクタ回路の性能向上のみならず, 応用範囲を拡大できることを確認した。

最近の広帯域・高速通信システム, アクティブフェーズドアレーレーダシステム, 無線によるエネルギー伝送システムの構成, 要求性能の観点から, マルチバンド化, チューナブル特性, システムとしてハンドリングできる電力ダイナミックレンジの拡大等種々な課題があることが明らかになり, それらの解決策として, 本プロジェクトが提案しているハイブリッドセミコンダクタ回路技術という新しい概念が有効であるということを確認し, 通信のみならず, レーダ, エネルギー伝送等応用システムを拡大できることを明らかにした。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今年度開催した研究会を通じて, ハイブリッドセミコンダクタ回路のシステムイメージ, 製造課題, 応用技術について, 継続的に議論を行った。その結果, 無線システムの高度化に合わせて, RFIC の高性能化が求められており, アナディジ混在によるディジタルアシスト技術や SiCMOS IC 上に化合物デバイスを集積する回路技術だけでなく, 電気エネルギー伝送も含めた無線システムの一層の発展(フレキシビリティ, 高速化, 途切れない通信等)を実現するには RFIC の新たな概念を提案, 構築する必要があることが委員共通の認識となった。本研究会においては, 異種デバイス, アナログーディジタル, ハードウェア-ソフトウェアの有機的な繋がり, 集積化された高周波 SoC を提案し, それを実現するためのロードマップ作成及び応用技術を提示することを成果とする予定である。

平成28年度は Dmitry V. Kholodnyak 教授と協力して, St. Petersburg において本研究会の成果及び関連研究成果を発表する国際ワークショップを開催するとともに, ロシア側へのハイブリッドセミコンダクタ回路技術の普及を進めるとともに, 日露研究者間の交流を深め, 今後の共同研究のきっかけとする。

[4] 成果資料

- (1) N. Hasegawa, J. Hyeonjae, S. Yoshida, A. Miyachi, M. Matsunoshita, K. Nishikawa, N. Shinohara, and S. Kawasaki, "Dual-band Dual-pole Antenna for compatibility of MPT with communication," 2016電子情報通信学会総合大会, CK-2-5, 2016年 3月
- (2) 則島景太, 小泉友和, 本良瑞樹, 亀田 卓, 末松憲治, "Ku帯ダイレクトRFイメージ除去アンダーサンプリングCMOS受信RFIC," 2016電子情報通信学会総合大会, C-2-4, 2016年3月.
- (3) 小泉友和, 大和田健夫, 本良瑞樹, 亀田 卓, 末松憲治, "ゲートバイアス制御型サブナノ秒電源スイッチングKu帯CMOS LNA," 2016電子情報通信学会総合大会, C-2-17, 2016年3月.
- (4) 吉田賢史, 川崎繁男, "5.8GHz帯MPTシステムおよび太陽電池を用いて給電する2.4GHz帯ワイヤレスセンサネットワークシステムの基礎検討," 2016電子情報通信学会総合大会, C-2-20, 2016年3月.
- (5) 嶋村 仁, 榊 裕翔, 吉田賢史, 西川健二郎, 川崎繁男, "WiCoPT実現に向けた整流器変換効率のシンボルレート依存性, 2016電子情報通信学会総合大会, C-2-21, 2016年3月.
- (6) 寺嶋一真, 藤井憲一, 高木 直, 坪内和夫, 亀田卓, 末松憲治, "2倍波分波機能を備えた2GHz帯超小型CMOSオンチップバラン," 2016電子情報通信学会総合大会, C-2-55, 2016年3月.
- (7) 村口昌史, 西川健二郎, "バラクタ結合を用いた周波数/帯域幅可変フィルタ," 2016電子情報通信学会総合大会, C-2-64, 2016年 3月
- (8) 榊 裕翔, 福田豪, 吉田賢史, 西川健二郎, 川崎繁男, 河合邦浩, 岡崎浩司, 檜橋祥一, "変調信号入力時における整流回路変換効率解析," 電子情報通信学会論文誌C, vol. J98C, no. 12, pp. 383-392, 2015.
- (9) M. Fujishima, S. Amakawa, K. Takano, K. Katayama, and T. Yoshida, "Terahertz CMOS Design for Low-Power and High-Speed Wireless Communication." IEICE Trans. EC, vol. E98, no. 12, pp. 1091-1104, 2015. (Invited)
- (10) M. Fujishima, "Device Characterization and Modeling for Terahertz CMOS Design," 2015 IEEE Int. Microwave & RF Conf. Dig., SAT3A-1, Dec. 2015 (Invited)
- (11) K. Nishikawa and H. Sakaki, "Impact of Modulation Scheme on Rectifier RF-DC Efficiency and Optimal Input Signal Control Technique," 2015 IEEE Int. Microwave & RF Conf. Dig., SAT2A-1, Dec. 2015 (Invited)
- (12) N. Suematsu, S. Kameda, and M. Motoyoshi, "Direct RF Undersampling Receiver for High-SHF Band Digital Beam Forming," 2015 IEEE Int. Microwave & RF Conf. Dig., FRI2C-1, Dec. 2015 (Invited)
- (13) D. Kholodnyak, E. Zameshaeva, V. Turgaliev, and E. Vorobev, "Tunability of Dual-frequency Immittance Inverters on Dual-composite Right/Left-handed Transmission Lines (D-CRLH TL) with Variable Capacitors," 2015 IEEE Int. Symp. Radio Frequency Integration Tech. Dig., pp. 64-66, Nov. 2015.
- (14) M. Motoyoshi, M. Nakamura, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "Self-directed Beamforming IF receiver for Broadband Communication Using Low Frequency Loop Control," 2015 IEEE Int. Symp. Radio Frequency Integration Tech. Dig., pp. 145-147, Nov. 2015.
- (15) N. Suematsu, O. Wada, S. Kameda, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A 0.8-1.9GHz-Band CMOS Direct Digital RF Quadrature Modulator," 2015 IEEE Int. Symp. Radio Frequency Integration Tech. Dig., pp. 148-150, Nov. 2015.
- (16) S. Yoshida, N. Hasegawa, Y. Kobayashi, A. Miyachi, H. Sakaki, K. Nishikawa, Y. Moriguchi, S. Furuta, C. Maekawa, I. Urushibara, and S. Kawasaki, "Wireless Sensor Network System with Wireless Powering by Time Division Operation at 5.8 GHz in a Reusable Rocket," 2015 IEEE Int. Symp. Radio Frequency Integration Tech. Dig., pp. 232-234, Nov. 2015.
- (17) H. Sakaki, K. Nishikawa, S. Yoshida, and S. Kawasaki, "Modulated Scheme and Input Power Impact on Rectifier RF-DC Efficiency for WiCoPT System," 2015 European Microwave Conf. Dig., pp. 60-63, Sept. 2015.
- (18) T. Koizumi, M. Motoyoshi, D. Banda, O. Wada, S. Kameda, N. Suematsu, T. Takagi, and K. Tsubouchi, "A Ku-Band Series/Shunt Switching Type S/H IC for Direct RF Under Sampling Reception," 2015 European Microwave Conf. Dig., pp. 897-900, Sept. 2015.
- (19) Y. Okada, T. Kawai, and A. Enokihara, "Wideband Lumped-Element Wilkinson Power Dividers Using LC-Ladder Circuits," 2015 European Microwave Conf. Dig., pp. 115-118, Sept. 2015.

採択回数	1	2	3
(先端)			

H26B06

マルチキャリア光波による 先進通信・計測システムに関する研究

[1] 組織

代表者：土田 英実

(産業技術総合研究所 電子光技術研究部門)

対応者：中沢 正隆

(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

廣岡 俊彦 (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)
 葛西 恵介 (東北大学電気通信研究所)
 森 雅彦 (産業技術総合研究所)
 鳥塚 健二 (産業技術総合研究所)
 吉富 大 (産業技術総合研究所)
 石川 浩 (産業技術総合研究所)
 鋤塚 治彦 (産業技術総合研究所)
 稲場 肇 (産業技術総合研究所)
 大苗 敦 (産業技術総合研究所)
 挾間 寿文 (産業技術総合研究所)
 大久保 章 (産業技術総合研究所)
 洪 鋒雷 (横浜国立大学)
 美濃島 薫 (電気通信大学)
 中嶋 善晶 (電気通信大学)
 馬場 俊彦 (横浜国立大学)
 鈴木 正敏 (KDDI 研究所)
 平野 琢也 (学習院大学)

延べ参加人数：20人

研究費：旅費17万7千円

[2] 研究経過

現在の光通信システムは単一キャリアの光源をベースとして、波長の異なる多数の光源を多重化して、大容量化を実現してきた。一方、光周波数の物差しである光周波数コムは、位相同期した多数のキャリア（マルチキャリア）を巧みに利用して、マイクロ波領域の時間・周波数標準と光領域を繋いでいる。光通信の更なる大容量化を実現するためには、単一キャリア光源では限界があり、無線通信で実用化されているマルチキャリア方式の導入が必須である。しかしながら、位相同期したマルチキャリア光波を取り扱う技術は未成

熟であり、発生、変調、伝送、復調、検出などの処理を一括して行う技術の開発が必要である。一方、すでに実用化されている光周波数コムについても、発生だけでなく、多数の位相同期キャリアを一括して扱う高度な技術が実現できれば、分光・分析、センシングなどへの応用を拡大し、飛躍的な性能向上をもたらすことが期待できる。本研究では、先進的な通信、計測・標準システムの確立に貢献することを目的として、東北大学・電気通信研究所と産業技術総合研究所等の研究者の間で、マルチキャリア光波の発生、制御、検出技術、通信、計測への応用に関する研究討論を行った。本プロジェクトは、今年度が2年目に当たり、平成27年12月10日に電気通信研究所において、東北大学、産業技術総合研究所、横浜国立大学、電気通信大学、KDDI 研究所、学習院大学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。空間多重光伝送、コヒーレント光伝送、ナイキスト光パルス伝送、量子暗号、フォトニック結晶とスローライト、光周波数コムの開発と応用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）。

12月10日（木）

1. 開会挨拶 中沢正隆（東北大学）
2. 10 GHz, 1.55 μm HCN 周波数安定化モード同期ファイバレーザ：○吉田一貴・葛西恵介・吉田真人・中沢正隆（東北大）
3. Development of 750-MHz repetition-rate optical frequency comb based on a mode-locked Yb fiber laser：○徐博・安井英顕・中嶋善晶（電通大・JST ERATO-IOS）・張志剛（北京大）・美濃島薫（電通大・JST ERATO-IOS）
4. 測定時間窓の制限を超えた分解能を持つ広帯域赤外フーリエ変換分光：○大久保章（産総研）
5. 光周波数標準の最新トレンド：○洪鋒雷（横浜国大）
6. Si フォトニック結晶スローライトデバイス：○馬場俊彦（横浜国大）
7. 2Pbit/s 空間多重伝送：○鈴木正敏（KDDI 研究所）
8. 109 bit/s/Hz の周波数利用効率を有する 1024QAM, 7 コア (60 Gbit/s \times 7) ファイバ伝送：○吉田真人・別府翔平・葛西恵介・廣岡俊彦・中沢正隆（東

- 北大)
9. 光周波数雑音計測における感度の限界と補正: ○土田英実 (産総研)
 10. QAM 光伝送技術を用いた量子鍵配送: ○平野琢也 (学習院大)
 11. ノンコヒーレント光ナイキストパルスを用いた 2.56 Tbit/s/ch-525 km DQPSK 伝送: ○原子広大・鈴木大貴・廣岡俊彦・中沢正隆 (東北大)
 12. 周波数利用効率 10.7 bit/s/Hz を有する 448 Gbit/s, 32 Gbaud 128 QAM-150 km コヒーレント伝送: ○葛西恵介・王怡昕・David Odeke Otuya・吉田真人・中沢正隆 (東北大)
 13. 閉会挨拶 土田英実 (産業技術総合研究所)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

- ① 周波数安定化モード同期ファイバレーザを開発し、OSNR 48dB、パルス幅 0.95ps、出力パワー60mW、光周波数安定度 5×10^{-11} @ $\tau=1s$ を得た。さらに、160Gbaud, 32QAM コヒーレント光ナイキストパルス変復調において、EVM 値を 3.7%から 3.0%に低減した。
- ② 繰り返し周波数750MHzのモード同期Ybファイバコムを開発し、オフセット周波数を安定化する手法として、Er ファイバコムへの位相同期と SC 光発生による 1f-2f 干渉の比較を行った。いずれの場合もビート信号 SN 比 40dB 以上が得られた。
- ③ デュアルコムを用いた分光測定に、離散的フーリエ変換分光の手法を適用し、時間窓に制限されない分解能を実現した。48MHz の時間窓制限に対して、2MHz の共鳴線を観測した。
- ④ 国際度量衡委員会において報告された光周波数標準の周波数計測と光ファイバリンクの動向、および横浜国立大学で行っている光コムの開発と天文応用を報告した。
- ⑤ スローライトの原理、シリコン CMOS プロセスによる作成、およびフォトニック結晶導波路を用いた光変調、光検出、非線形光学、群速度制御デバイスについて報告した。
- ⑥ 空間光多重伝送に関する日本、および KDDI 研究所の取り組みを紹介した。後者については、マルチコア・マルチモード伝送とスーパーナイキスト波長多重伝送を組み合わせて、伝送容量 2.05Pbit/s を実現した。
- ⑦ OPLL 回路による高精度光位相制御と偏波分離アルゴリズムを利用した 2048QAM 伝送と、7 コアファイバを用いた 1024QAM 伝送を実現した。後者については、周波数利用効率 109bit/s/Hz を達成し、クロストークの影響を受けないことを実証した。

- ⑧ スペクトル線幅によるレーザ評価の問題点を指摘し、遅延自己ヘテロダイン法による光周波数雑音計測における雑音要因と検出限界を明らかにした。ファイバレーザの雑音は検出限界に近く、測定結果の補正により高感度化を実現した。
- ⑨ QAM 光伝送を利用した量子暗号鍵配布の現状を紹介した。理論解析により無条件安全性が示され、フィールドテスト、空間伝送、80km 長距離伝送などの実証が進展している。
- ⑩ 光ナイキストパルスを用いた 2.56 Tbit/s/ch-525 km 偏波多重 DQPSK 伝送を実現し、2 次 PMD による偏波間クロストークを大幅に低減できることを示した。
- ⑪ 高出力、低雑音周波数安定化 Er ファイバレーザと、周波数領域等化法を用いて、448 Gbit/s-150km 128QAM コヒーレント伝送を実現した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
光領域において位相同期したマルチキャリアを一括して処理、利用する技術確立し、通信や計測システムの飛躍的な性能向上を目指す点において、独自性と優位性を有していると考えられる。超高速、およびコヒーレント光伝送に関して世界最先端のポテンシャルを有する東北大学・電気通信研究所と、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] 成果資料

1. K. Yoshida, K. Kasai, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "HCN frequency-stabilized 10 GHz mode-locked fiber laser," ISUPT/EXAT 2015, P-34 (Jul., 2015).
2. T. Kobayashi, D. Akamatsu, K. Hosaka, H. Inaba, S. Okubo, T. Tanabe, M. Yasuda, A. Onae, and F. -L. Hong, "Compact iodine-stabilized laser operating at 531 nm with stability at the 10^{-12} level and using a coin-sized laser module," Opt. Express, vol. 23, no. 16, pp. 20749-20759 (2015).
3. S. Okubo, A. Onae, K. Hosaka, H. Sera, H. Inaba, and F. -L. Hong, "Novel phase-locking schemes for the carrier envelope offset frequency of an optical frequency comb," Appl. Phys. Express, vol. 8, 112402 (2015)
4. H. Ito, Y. Terada, N. Ishikura and T. Baba, "Hitless tunable WDM transmitter using Si photonic crystal optical modulators," Opt. Express, vol. 23, no. 17, pp. 21629-21636 (2015).
5. Y. Terada, K. Miyasaka, H. Ito and T. Baba, "Slow-light effect in a silicon photonic crystal waveguide as a sub-bandgap photodiode," Opt. Lett., vol. 41, no. 2, pp. 289-292 (2016).
6. D. Soma, K. Igarashi, Y. Wakayama, K. Takeshima, Y. Kawaguchi, N. Yoshikane, T. Tsuritani, I. Morita, and M. Suzuki, "2.05 Peta-bit/s super-Nyquist-WDM SDM transmission using 9.8-km 6-mode 19-core fiber in full C band," 2015 European Conference on Optical Communication, PDP.3.2 (Sep., 2015).
7. M. Yoshida, S. Beppu, K. Kasai, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "1024 QAM, 7-core (60 Gbit/s x 7) fiber transmission over 55 km with an aggregate potential spectral efficiency of 109 bit/s/Hz," Opt. Express, vol. 23, no. 16, pp. 20760-20766 (2015).
8. T. Hirano, Y. Oguri, T. Matsubara, M. Ono, T. Ichikawa, K. Kasai, R. Matsumoto, T. Tsurumaru, M. Yoshida, T. Hirooka, K. Kasai and M. Nakazawa, "Continuous-variable quantum key distribution and optical secure communication with quadrature amplitude modulation technology," 5th International Conference on Quantum Cryptography (Sep., 2015).
9. Y. Zhang, R. Okubo, M. Hirano, Y. Eto, and T. Hirano, "Experimental realization of a spatially separated entanglement with continuous variable using laser pulse trains," Scientific Reports 5, 13029/1-8 (2015).
10. K. Harako, D. Suzuki, T. Hirooka, and M. Nakazawa, "2.56 Tbit/s/ch (640 Gbaud) polarization-multiplexed DQPSK non-coherent Nyquist pulse transmission over 525 km," Opt. Express, vol. 23, no. 24, pp. 30801-30806 (2015).
11. K. Kasai, Y. Wang, D. O. Otuya, M. Yoshida, and M. Nakazawa, "448 Gbit/s, 32 Gbaud 128 QAM coherent transmission over 150 km with a potential spectral efficiency of 10.7 bit/s/Hz," Opt. Express, vol. 23, no. 22, pp. 28423-28429 (2015).

採択回数	1	2	3
(大型)			

採択番号 H26/B07

コトロジー創成： バイオミメティクスの新展開

研究費：旅費 27 万円

〔1〕組織

代表者：大須賀公一

(大阪大学大学院工学研究科)

対応者：石黒 章夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

小林 亮

(広島大学大学院理学研究科)

伊藤悦朗

(徳島文理大学香川薬学部)

青沼仁志

(北海道大学電子科学研究所)

神崎亮平

(東京大学先端科学技術研究センター)

辻 瑞樹

(琉球大学農学部)

岡浩太郎

(慶応義塾大学理工学部)

石川将人

(大阪大学大学院工学研究科)

杉本靖博

(大阪大学大学院工学研究科)

倉林大輔

(東京工業大学大学院理工学研究科)

池本有助

(富山大学工学部)

井上康介

(茨城大学知能システム工学科)

伊達 央

(防衛大学情報工学科)

秋山 正和

(北海道大学電子科学研究所)

伊藤 賢太郎

(広島大学大学院理学研究科)

末岡裕一郎

(大阪大学大学院工学研究科)

黒田 茂

(北海道大学電子科学研究所)

延べ参加人数：27名(参加した学生を含む)

〔2〕研究経過

生物が持つ「変化する環境に対し適応的に振る舞う能力」がどのように達成されるかを理解・模倣し、工学的に活用する「コトロジー」という新しい学問領域を創成する。生物には物質的側面(モノ)と動態的側面(コト)があるため、上記の能力を理解するためには、これまでの「モノ」偏重の姿勢を改め、「コト」の理解を進化させなくてはならない。そして「コト」の理解には、あるがままに生物を見る「理学の目」と、そこに「合目的性」を見出す「工学の目」の両者を適切に融合させる必要がある。本課題では、これら二つの見方を止揚する「制御の視座」を武器に、生物のさまざまな階層から「コト」を抽出する。この試みを通して、生物学・工学・数学・哲学を融合させたユニークな学術領域を生み出す。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。そこで本年度は、前年度の成果を踏まえながら、引き続き参加メンバー間の情報交換ならびに考え方のすり合わせを目的として研究会を開催した。以下にその概要を示す：

開催日程：平成27年12月25日(金曜日)

場所：東北大学電気通信研究所本館4F セミナー室

プログラム：

13:00	開催挨拶 大須賀公一 氏(大阪大学)
13:15	環境を友とする制御法を考える 小林 亮 氏(広島大学)
14:15	スナガニから探る脚間協調メカニズム 石川将人 氏(大阪大学)
15:30	ムカデの脚間協調メカニズムを 探る 青沼仁志 氏, 黒田 茂 氏(北海道大学)
16:30	陰陽制御から考える生物の設計

	原理
	大須賀公一 氏 (大阪大学)
17:15	昆虫のロコモーションに内在する手応え制御の実相
	石黒章夫 氏 (東北大学)
18:30	石黒研究室見学
20:00	ナイトセッション (今後の共同研究の進め方など)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

生物が示す優れた能力(コト)の発現機序を解明するには、制御という視座に基づき、以下のような研究項目を採り上げ、これらの個別的理解とともに、すべてを通貫する理解を目指すアプローチが有効であるとの結論に至った：

1. 細胞内から生み出されるコト
2. 細胞間相互作用から生み出されるコト
3. 個体と場の相互作用から生み出されるコト
4. 個体間相互作用から生み出されるコト
5. 大規模集団から生み出されるコト

本年度は特に、個体と場の相互作用から生み出されるコトを理解するために、「手応え制御」という新たな制御スキームの提案がなされた。ここでいう「手応え」とは、制御系の意図と環境からのレスポンスの整合性を意味している。これを定量化する「手応え関数」を定義して制御系を設計することで、既存手法と比べて驚くほどシステムティックに制御系が設計できることが明らかとなった。

次年度以降では、この制御スキームを他の階層で生じるコトの解明に適用していく予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

コトロジーは工学にとっては基礎学問になる。構築されるものが基礎的であればあるほどその影響力は大きい。具体的には、生物規範システムを構築する分野、例えばロボティクスやシステム工学に新たな展開基軸を提供することができ、それらの分野の学術水準が向上・強化される。また、生物のコトの理解が進むために、生物学そのものに新奇な知見や視座をもたらすことができる。

本共同プロジェクト研究を通してスイス連邦工科大学ローザンヌ校(Prof. Auke J. Ijspeert)やカナダ・オタワ大学(Prof. Emily Standen)らの海外研究者との交流が飛躍的に活性化した。さらに特筆すべきこととして、本年度は以下の研究予算の獲得

につながった：

- NEDO 次世代ロボット中核技術開発 革新的ロボット要素技術分野「生物ロコモーションの本質理解から切り拓く大自由度ロボットの革新的自律分散制御技術」(代表 石黒章夫 東北大学教授) (平成27年度～平成28年度)

科研費新学術領域研究は採択には至らなかったが、今後も引き続き、科研費新学術領域研究をはじめ、基盤研究(S)、基盤研究(A)、Human Frontier Science Programなどの大型研究予算にも積極的に申請していきたい。

[4] 成果資料

- 1) Ito K., Ezaki T., Suzuki S., Kobayashi R., Hara Y. and Nakata S.: "Synchronization of Two Self-Oscillating Gels Based on Chemo-Mechanical Coupling", *Journal of Physical Chemistry*, to be published
- 2) Sugihara K., Nishiyama K., Fukuhara S., Ueyama A., Arima S., Kobayashi R., Kohn-Luque A., Mochizuki N., Suda T., Ogawa H. and Kurihara H.: "Autonomy and non-autonomy of angiogenic cell movements revealed by experiment-driven mathematical modeling", *Cell Reports*, **13** (9), 1814-1827 (2015)
- 3) Ohkawara, K. and Aonuma H. (2016) Changes in the levels of biogenic amines associated with aggressive behavior of queen in the social parasite ant *Vollenhovia nipponica*. *Insectes Sociaux*. doi:10.1007/s00040-016-0461-7. (published online first)
- 4) Newland P.L., al Ghamdi M., Sharkh S., Aonuma H. and Jackson C.W. (2015) Exposure to static electric fields leads to changes in biogenic amine levels in the brains of *Drosophila*. *Proc. Roy. Soc. B*, doi: 10.1098/rspb.2015.1198.
- 5) 高橋悟, 奥田泰丈, 川端邦明, 青沼仁志, 佐藤雄隆, 岩田健司 (2015 *Accepted*) クロコオロギの行動解析に向けた動画像計測手法. *信号処理*
- 6) 小林充, 片岡崇, 青沼仁志, 柴田洋一 (2015) ヨトウガの性フェロモンに対する触角電位応答. *農業食料工学会誌*, 77(3): 179-185.
- 7) Aonuma H. (2015 *in press*) Fighting behavior- Understanding the mechanisms of group size dependent aggression. *in Cricket*

- as a model organism for the 21st century; Development, Regeneration, and Behavior. (Eds: Noji S., Horch H.W., Ohuchi H. and Mito T.) Springer.
- 8) Aonuma H. (2015 *in press*) Behavior-Synthetic approaches for observing and measuring cricket behaviors. *in* Cricket as a model organism for the 21st century; Development, Regeneration, and Behavior. (Eds: Noji S., Horch H.W., Ohuchi H. and Mito T.) Springer.
 - 9) Sakai R., Shimizu M., Aonuma H. and Hosoda K. (2015) Visualizing wakes in swimming locomotion of *Xenopus-Noid* by using PIV. *in* Biomimetic and Biohybrid Systems. (Eds: Wilson S.P., Verschure P. F.M.J., Mura A. and Prescott T.J.) Springer pp. 97-100.
 - 10) Aonuma H., Sakura M. and Kurabayashi D. (2015) Memory mediated by internal state: memory of lost suppresses motivation of fight in the cricket. *in* Memory Consolidation. (Eds: Sakakibara M. and Ito E) Nova Science Publisher. pp38-52
 - 11) 中島大樹, 佐竹冬彦, 伊達央, 加納剛史, 石黒章夫, (2016 *Accepted*) ヘビが示す多様なロコモーション様式の再現を目指した自律分散型ロボット, *日本ロボット学会誌*
 - 12) Kano T., Date H., Inoue K., and Ishiguro A. (2015) Snake-like robot that exhibits adaptive concertina locomotion, *The 7th International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines (AMAM2015)*, page not shown.
 - 13) Aonuma H., Goda M., Kuroda S., Kano T., Owaki D., and Ishiguro A. (2015) Cricket switches locomotion patterns from walking to swimming by evaluating reaction forces from the environment, *The 7th International Symposium on Adaptive Motion in Animals and Machines (AMAM2015)*, page not shown.
 - 14) D. Owaki, S. Suzuki, and A. Ishiguro, "TEGOTAE-based CPG Control for Quadruped Locomotion", The 7th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2015), page not shown (2015).
 - 15) D. Owaki, S. Horikiri, J. Nishii, and A. Ishiguro, "Experimental Verification of Bipedal Walking Control Exploiting Plantar Sensory Feedback", The 7th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2015), page not shown (2015).
 - 16) Kano K., Chiba H., Umedachi T., and Ishiguro A. (2015) Decentralized control of 1D crawling locomotion by exploiting 'TEGOTAE' from environment, *The 1st International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (Swarm 2015)*, pp. 279-282.
 - 17) Yasui K., Sakai K., Kano T., Owaki D. and Ishiguro A. (2015) TEGOTAE-based decentralized control mechanism underlying myriapod locomotion, *The 1st International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (Swarm 2015)*, page not shown.
 - 18) 安谷尚人, 石川将人 (2016) 床反力フィードバックを用いた三脚揺動歩行の制御. 第3回 SICE 制御部門マルチシンポジウム
 - 19) Kito Y., Sueoka Y., Sugimoto Y., Osuka K. (2015) Quadruped passive dynamic walking robot with a spinal-like trunk and asymmetric leg structure. 7th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Mechanics, 2015.
 - 20) Oki K., Ishikawa M., Li Y., Yasutani N. and Osuka K. (2015) Tripedal Walking Robot with fixed coxa driven by Radially Stretchable Legs. In Proc. Of Int'l. Conf. on Intelligent Robots and Systems.
 - 21) 浦大介, 入部正継, 大須賀公一, 衣笠哲也 (2015) 受動的動歩行の性質を利用した脚歩行ロボットの一設計方法: 一適応的機能を使用した形状と関節自由度構成の設計. 計測自動制御学会論文集 51(5): 329-335.
 - 22) Kubota K., Sueoka Y., Sugimoto Y., Ishikawa M. and Osuka K. (2015) Toward exploration of pheromone effect in object pattern formation. International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications: 289-292.
 - 23) Sugimoto Y., Uchida S., Sueoka Y. and Osuka K. (2015) Localization and Flocking Behavior Realization of Multi-Robot System based only on Ad-hock network. The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics: 283-284.

採択回数	1	2	3
(国際)			

採択番号 H26/B08

多感覚統合への自己身体運動の寄与

[1] 組織

代表者：櫻井 研三

(東北学院大学 教養学部)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学 電気通信研究所)

分担者：

行場 次朗 (東北大学 文学研究科)

Hiroshi Ono (York 大学 心理学部)

古賀 一男 (京都ノートルダム女子大学)

Laurence R. Harris (York 大学 心理学部)

佐藤 雅之 (北九州市立大学 国際環境工学部)

岡嶋 克典 (横浜国立大学 環境情報研究院)

Volker Hohmann (Oldenburg 大学)

一川 誠 (千葉大学 文学部)

蘆田 宏 (京都大学 文学研究科)

金子 寛彦 (東京工業大学 総合理工学研究科)

北崎 充晃 (豊橋技術科学大学 工学研究科)

妹尾 武治 (九州大学 高等研究院)

Philip M. Grove (Queensland 大学 心理学)

白井 述 (新潟大学 人文学部)

寺本 渉 (室蘭工業大学)

坂本 修一 (東北大学 電気通信研究所)

松宮 一道 (東北大学 電気通信研究所)

延べ参加人数：85 人

研究費：旅費 27 万 1 千円、特別支援費 (国際)
30 万円

[2] 研究経過

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、能動的観察事態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ることを目的として研究を進めている。

本プロジェクトは、本年度が第2年度であった。前年度は、運動視差からの奥行知覚の著名な研究者である Hiroshi Ono 教授 (York 大学・カナダ) を9月に招聘し、研究打合せと講演会を行なった。また最初の研究会を2015年2月25日と26日に電気通信研究所本館6階中会議室 (M602) において開催

し、7件の講演と参加者全員での議論を行なった。その結果、成果の第1として、1) 注意や文脈が自己運動知覚に与える影響を検討した研究と、2) ベクシオンを中心とした錯覚的自己運動知覚に関する脳イメージングを含めた最先端の研究、および3) 奥行知覚への自己身体運動の関与に関する研究、の3点について集中的に議論できた。また、成果の第2として、本プロジェクトのネットワークを用いて、今後、関連学会でのシンポジウムやワークショップの開催を目指すことになった。

そこでプロジェクト2年目の今年度は、前年度成果の第1の3) を進展させるため、プロジェクトの分担者で両眼立体視を専門とする Philip M. Grove 博士の講演会を、2015年12月15日に電気通信研究所本館1階オープンセミナールーム (M153) において、主に在仙の研究者を対象に公開で開催した。また前年度成果の第1の2) および成果の第2を進展させるため、特別支援費を用いて fMRI による脳イメージング研究で知られる Mark W. Greenlee 教授 (Regensburg 大学) を招聘し、日本基礎心理学会との共催で、情報通信研究機構の番浩志先生および生理学研究所の北田亮先生との3名による講演会を企画した。これは日本基礎心理学会2015年度第2回フォーラム「脳イメージングで探る3次元の知覚世界」として、3月17日に東北学院大学土樋キャンパスの押川記念ホールで行なわれた。翌3月18日には、分担者による研究会を電気通信研究所本館1階オープンセミナールーム (M153) において開催した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度の成果の第1は、本プロジェクトのネットワークを用いて、関連学会でのシンポジウムを開催できたことである。そこでは、1) 視覚による3次元空間知覚、2) 前庭覚と視覚の統合が関与する自己運動知覚、3) 触覚による3次元対象の知覚、のそれぞれにおいて選択的に活性化する脳部位を特定する脳イメージングの研究結果を横断的に捉え、プロジェクトメンバーが集中的に議論する機会を得た。

また、成果の第2は、自己運動知覚を共通のテーマとする本プロジェクトのメンバーが、身体運動が制約される fMRI スキャナーで利用可能なカリック刺激法についての技術的知識を共有できたことである。

以下に、12月と3月に行なわれた講演会および研究会での講演の要約は以下の通りである。

1) 12月15日講演会

講演者：Philip M. Grove (The University of Queensland, Brisbane, Australia)

題目：Single and double vision in the central binocular field

要旨：The human visual system receives input from two laterally separated forward facing eyes. The result is that the two eyes' retinal images contain slight image differences, called disparities. Wheatstone (1838) famously demonstrated the importance of disparities for depth perception by presenting two 2D images corresponding the left and right eyes' view of a 3D object that yielded a vivid impression of three-dimensional volume. Over a limited range, binocular disparities underlie vivid and precise stereoscopic depth perception accompanied by single vision. Outside this range, double vision ensues and stereoscopic depth perception is degraded. I will present results from four recent studies examining the conditions under which single and double vision are experienced. These experiments provide updates for existing accounts of binocular correspondence and the distribution of fusible disparities in the central binocular field. I will also link these results to specific applications of stereoscopic imaging such as 3D television, cinema, and surgical interfaces.

2) 3月17日基礎心理学フォーラムにおける講演

講演者：Mark W Greenlee (University of Regensburg, Regensburg, Germany)

題目：Functional and structural MRI studies of multisensory integration underlying self-motion perception

要旨：Since the advent of functional magnetic resonance imaging cognitive science has experienced a turn towards neuroscience. Models of perceptual and cognitive functions can now be tested against patterns of human brain activity in anatomically well-defined regions of interest. Structural and functional connectivity analyses can inform us about how different brain regions are interconnected and interact in perceptual and

cognitive tasks, as well as during resting states. I will report on a series of experiments that aimed to reveal the visual-vestibular sensory processing underlying self-motion perception. We (Frank et al., 2014) localized regions in the posterior insula using fMRI and looked at its connectivity with DTI-based probabilistic fiber-tracking to other brain regions. The results suggest that two areas in this part of the brain are involved in self-motion perception: the parietal insular vestibular cortex (PIVC) for the processing of vestibular information and posterior insular cortex (PIC) for the integration of visual and vestibular information. The differential pattern of connectivity suggests that these two regions play different roles in the integration of visual and vestibular cues related to self-motion perception. Supported by Deutsche Forschungsgemeinschaft.

3) 3月17日基礎心理学フォーラムにおける講演

講演者：番 浩志 (国立研究開発法人 情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター, 大阪大学 大学院生命機能研究科)

題目：ヒトはなぜ3Dを見ることができるのか？

ーヒト脳内背側視覚経路に沿った階層的な3D情報処理過程ー

要旨：最近の映像技術の革新により、3Dテレビに代表されるような映像を立体的に呈示するデバイスが現実のものとなりつつある。一方で、ヒトがなぜ3Dを知覚できるのか、その脳内の情報処理機構は解明されていない。本講演では、両眼視差手がかりと単眼性の3D手がかり(陰影、テクスチャ、運動など)が統合される過程や、脳内の3D情報処理機構の発達過程、そして局所的な両眼視差情報が物体の大局的な傾き平面へと変換されていく過程を調べた我々の最近のヒトfMRI研究に基づいて、3D視を実現するヒト脳内の背側視覚経路に沿った階層的な情報処理過程を紹介したい。また、視覚の心理学・神経科学が今後の3D映像呈示技術の発展にどのように役立てられるかを考えたい。

4) 3月17日基礎心理学フォーラムにおける講演

講演者：北田 亮 (生理学研究所心理生理学研究部門)

題目：触覚による物体認識に関わる脳内ネットワーク：階層性と並列処理

要旨：私たちは見るだけでなく触るだけでも、日常的な物体を認識することができます。では脳はどのように触覚入力を解釈して、物体を認識するのでしょうか？これまでの認知神経科学的研究により、一次体性感覚野を含む広大な脳内ネットワークが関与することが明らかになっていますが、各脳部位の役割分担については不明な点が多いのが現状です。本

講演では、私が行ってきたこれまでの研究に基づき、①物体の素材情報（粗さ・柔らかさなど）と空間情報（方位・形など）が脳内で並列分散的に処理されている仮説、②分散処理された物体情報が高次視覚野を含むネットワークで統合され、物体の認識に至る仮説、③盲視の症例が示すように、触覚でも初期感覚野が物体表面の意識的知覚に関与する仮説について、ベルベット錯触の例を用いて解説します。

5) 3月18日研究会における講演

講演者：Mark W. Greenlee (University of Regensburg, Regensburg, Germany)

題目：Human brain regions activated during caloric vestibular stimulation

要旨：Self-motion perception involves the integration of vestibular, visual, somatosensory and other sensory cues. We explored the neural responses to caloric vestibular stimulation (CVS) in humans with functional magnetic resonance imaging (fMRI). We developed an fMRI-compatible, bi-thermal caloric stimulation device for repeated CVS. Tempered water is pumped via a closed-loop tube-system to one or both ear canals. The water temperature transmits to the surface of the ear canal via a small glass-pod. Trials consisting of hot (47–49° C) right ear - cold (5–7.5° C) left ear or vice versa, as well as warm in both ears for baseline (36° C) were conducted. The pods are integrated in the MRI ear protection and connected to water influx and efflux tubes. With our device we can apply multiple vestibular stimulation and baseline trials consecutively during fMRI recordings. Control measurements indicate that the applied temperatures are stable across trials and that water flow introduced no significant artifacts in the T2*-weighted brain images. The results indicate that vestibular stimulation with our device elicits caloric nystagmus when no central fixation is presented. CVS leads to activations in the posterior insular cortex (PIVC) as well as in neighboring area referred to as posterior insular cortex (PIC). We use these functional activations as regions-of-interest and map their connectivity using diffusion-tensor imaging and probabilistic fiber-tracking. The results suggest that PIVC and PIC are separate cortical areas that have connections with other brain regions underlying self-motion perception.

(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、1年目に立てた関連学会でのシンポジウムやワークショップの開催という目標を、2年目にして実現することができた。国際枠の特別支援費を活用し、日本基礎心理学会の協力を得て開催した講演会では、脳イメージングと心理物理学の研究手法を組み合わせることで多感覚統合の解明を目指す国内外の研究者の交流機会を提供することができた。参加者の一部の研究者は既に講演者との共同研究の打ち合わせを開始しており、多感覚統合に関与する脳部位を明らかにする研究の、今後の発展が期待されている。

なお、プロジェクトから発展した共催シンポジウムの詳細は以下の通りである。

- ・日本基礎心理学会 2015 年度第 2 回フォーラム
「脳イメージングで探る 3 次元の知覚世界」
- ・日時：2016 年 3 月 17 日 14:00～17:00
- ・開催場所：東北学院大学土樋キャンパス 8 号館
押川記念ホール

- ・参加人数：52 名
- ・企画・司会：櫻井 研三（東北学院大学）
- ・講演者：Mark W. Greenlee (University of Regensburg), 番 浩志 (情報通信研究機構), 北田 亮 (生理学研究所)
- ・指定討論者：栗木一郎 (東北大電気通信研究所)
- ・http://psychonomic.jp/forum/2015_2.html

(特別支援 (国際) にかかる研究成果)

- ・ドイツのレーゲンスブルク大学の Mark W. Greenlee 教授を 3 月 14 日から 21 日の 8 日間の旅行期間で仙台に招聘した。滞在期間中の活動は、17 日に東北学院大学での日本基礎心理学会フォーラムにおいて、翌 18 日には電気通信研究所本館での研究会において、それぞれ講演していただいた。また、その前後の日程を利用し、電気通信研究所の鈴木研究室と塩入研究室、東北大学大学院文学研究科の行場研究室、そして東北学院大学教養学部の櫻井研究室を訪問していただき、自己運動知覚の多感覚統合に関する脳イメージングを利用した共同研究を立ち上げる打合せを行なった。

[4] 成果資料

- (1) Uesaki M and Ashida H (2015) Optic-flow selective cortical sensory regions associated with self-reported states ofvection. *Front. Psychol.* 6:775. doi: 10.3389/fpsyg.2015.00775

採択番号 H26 / B09

ブレインウェア LSI 国際共同研究

〔1〕組織

代表者：

羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）

対応者：

羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）

分担者：

Wai Tung Ng（カナダ・トロント大学）

P. Glenn Gulak（カナダ・トロント大学）

Ali Sheikholeslami（カナダ・トロント大学）

Warren Gross（カナダ・トロント大学）

Vincent C. Gaudet（カナダ・ウォータールー大学）

Jean-Philippe Diguët（フランス・南ブリタニー大学）

田中 聡久（東京農工大学・大学院工学研究院）

大須賀 公一（大阪大学・大学院工学研究科）

石黒 章夫（東北大学電気通信研究所）

佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所）

鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所）

塩入 論（東北大学電気通信研究所）

松宮 一道（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）

夏井 雅典（東北大学電気通信研究所）

鬼沢 直哉（東北大学学際科学フロンティア研究所）

鈴木 大輔（東北大学学際科学フロンティア研究所）

延べ参加人数：120 人

研究費：旅費 26.5 万円

国際特別支援費 30 万円

〔2〕研究経過

情報量の急速な増大に加え、デジタルデバイド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を交えた意見交換を、継続的かつ積極的に行っていく必要がある。

以上をふまえ、本プロジェクトでは、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して研究を行った。本プロジェクトは、本年度が第 2 年度であった。前年度は、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への展開について検討を行った。特に、本プロジェクト研究に参画した海外研究者らは、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、国際ワークショップ形式で相互に発表し合うことで、脳型 LSI の実現に向けた研究開発を推進した。

以下、研究活動状況の概要を記す。本年度における主な成果の一つとして、まず、平成 28 年 2 月 26 日～27 日の二日間に渡って開催された The 3rd Internal Symposium on Brainware LSI（第 3 回ブレインウェア国際シンポジウム）がある。

- ・第 3 回ブレインウェア国際シンポジウム
- ・平成 28 年 2 月 26 日～27 日
- ・東北大学電気通信研究所本館大会議室
- ・約 60 名

本シンポジウムは平成 26 年度に開始した「人間的判断の実現に向けた新概念脳型 LSI 創出事業」プロ

プロジェクトとの共催で企画され、本年度における本プロジェクトの研究報告、および、脳型コンピューティングおよび半導体集積回路とその応用を専門とする国内外の招へい研究者による最先端研究動向の講演が行われた。デバイス・素子技術に関する世界最高峰の国際会議の一つである IEDM において、相変化メモリ (Phase Change Memory) をシナプス荷重として利用し、64k 個のニューロンと連続値の学習機能を搭載した神経回路網チップの実現に成功した SanBum Kim 氏 (IBM T. J. Watson 研究所, 米国)、スパイクング・ニューラルネットワークのハードウェア実装の世界的権威の Jordi Madrenas 氏 (Catalunya 工科大学, スペイン) をはじめ、ブレインウェア LSI コンピューティング関連技術の世界的権威を多数招聘し、会議を通して双方の研究内容と今後の研究交流の更なる推進に向けた活発な議論が交わされた。本シンポジウムの開催により、参加した研究者同士の協力関係がより一層強固なものになるとともに、世界の研究動向をウォッチしながら研究を推進する体制が確立したという意味でも大変有意義な機会となった。

また、本プロジェクトが共催した研究集会として、以下の研究会 (ブレインウェア工学研究会、ニューパラダイムコンピューティング (NPC) 研究会) & 国際ワークショップを開催した。

- ・ブレインウェア工学研究会
- ・平成 27 年 12 月 10 日
- ・東北大学電気通信研究所 ナノスピン棟 4F カンファレンスルーム
- ・約 40 名

本研究会の講師として、ブレイン・マシン・インタフェース技術を活用した脳信号処理応用に関する専門家の田中聡久氏 (東京農工大・准教授) から「ブレイン・マシン・インタフェースが拓く脳信号処理の展望」に関する講演を伺った。ブレイン・マシン・インタフェース (BMI) は、脳活動を的確に捉えることで、外界とのインタラクションを可能にする技術である。信号処理や機械学習は、BMI の基盤技術として重要になる。氏の講演では、BMI のための最新の脳信号処理技術が紹介されたと共に、各種デモを交えながら、本技術がもつ未来について展望された。これは、脳情報処理を信号処理の側面から捉えた重要な知見が示され、今後の脳型 LSI の研究開発の参考になった。

- ・NPC 研究会 (本プロジェクトとの共催)
- ・平成 28 年 2 月 8 日 (月) 15:00~16:00
- ・東北大学工学部情報知能システム総合学科 2 号館 204 号室
- ・約 20 名

講師として、ディジタル信号処理とその脳型情報処理研究で先端的な研究成果を挙げている越田俊介氏 (東北大学工学研究科・助教) を招へいし、「ディジタルフィルタの新潮流〜ストカスティック演算に基づく低コスト・高性能なフィルタの実現法〜」に関する講演を伺った。ストカスティック演算は、近年着目されている確率表現に基づいた演算方法であり、ハードウェアコストを大幅に軽減する一方式として重要である。本講演を通じて、脳型 LSI のための理論的裏付けとその応用展開に関連する重要な知見が得られた。

さらに、平成 27 年 12 月 11 日~12 日@米国ハワイ州ホノルルにて、脳型 LSI 設計技術とその応用展開に関連する国際ワークショップを開催し、本学からの出席者 4 名を含む国内大学等の研究者 6 名とカナダ・トロント大学を中核とした海外の研究者 5 名が参加して、ブレインウェア LSI に関する最新技術動向とその応用展開に関する研究討論を行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

上記に示すように、本プロジェクトによる国際シンポジウムおよび研究会等を通し、参加した研究者同士の協力関係がより一層強固なものになったとともに、世界の研究動向をウォッチしながら研究を推進する体制が確立したという意味でも大変有意義な機会となった。ブレインウェア LSI に関連する分野に取り組んでいる国内外の研究者との交流、ならびに今後の継続的な研究連携体制を構築するに至ったことから、本プロジェクトの目的である脳型 LSI に向けた研究開発を推進する上で、極めて有意義な成果が得られたといえる。また、本プロジェクトによって得られた研究成果については学会発表等を通して継続的な情報発信を行っている。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など高次脳機能を有する脳型 LSI を心理物理学実験等に応用することで、未だ解決されていない人間の脳における情報処理原理の究明をこれまで以上に強く推し進めることが可能になり、その学問的効果は計り知れない。特に、能動的に活動している人間の脳活動を測定し、それに伴う人間の処理系の変化の検討から、認識・学習モデルを構築することは、実世界で能動的に活動する人間の情報処理機能を究明する研究に多大な波及効果が期待できる。

また、電脳社会と実世界をシームレスに融合する自律分散制御情報システムの実現は、膨大な情報量に惑わされることを画期的に解消させる。人

類の社会生活と知的活動を強力に支え得る情報通信技術を確立することは、現在および次世代の情報化社会において必要不可欠であり、特に人口減少と高齢化が進む我が国において、国の活力を維持するために、このような技術の開発と応用ことが最重要課題である。

さらに、新概念脳型 LSI は、ノイマン、シャノン、ウィナーらによって構築された従来の情報通信システムを一新させるパラダイムシフトを引き起こすだけでなく、我が国のエレクトロニクス産業の復活のための転換点となることが期待される。加えて、国際連携の観点においても、本年度の活動を通して培ったカナダ・フランスチームとの研究連携、ならびにそれに基づく大型プロジェクトへの発展が大いに期待される。

[4] 成果資料

以下、本年度の研究成果リストを示す：

<学術論文>

1. H. Jarollahi, V. Gripon, N. Onizawa, and W. J. Gross, "Algorithm and Architecture for a Low-Power Content-Addressable Memory Based on Sparse Clustered Networks," IEEE Trans. VLSI Syst., Vol.23, No.4, pp.642-653, April 2015.
 2. N. Onizawa, D. Katagiri, K. Matsumiya, W. J. Gross, and T. Hanyu, "Gabor Filter Based on Stochastic Computation, " IEEE Signal Processing Letters, vol. 22, no. 9, pp. 1224-1228, 2015.
 3. N. Onizawa, H. Jarollahi, T. Hanyu, and W. J. Gross, "Hardware Implementation of Associative Memories Based on Multiple-Valued Sparse Clustered Networks," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems (JETCAS), 2016, (in press).
 4. N. Onizawa, D. Katagiri, W. J. Gross, and T. Hanyu, "Analog-to-Stochastic Converter Using Magnetic Tunnel Junction Devices for Vision Chips," IEEE Trans. on Nanotechnology," 2016 (to appear).
 5. N. Onizawa, H. Jarollahi, T. Hanyu, and W. J. Gross, "Hardware Implementation of Associative Memory Based on Multiple-Valued Sparse Clustered Networks," IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, 2016. (to appear).
 6. N. Onizawa, N. Sakimura, R. Nebashi, T. Sugibayashi, and T. Hanyu, "Evaluation of Soft-Delay-Error Effects in Content-Addressable Memory," Journal of Multiple Valued Logic & Soft Computing, 2016. (to appear).
- <国際シンポジウム> (査読付)
1. D. Katagiri, N. Onizawa, and T. Hanyu, "Early-Stage Operation-Skipping Scheme for Low-Power Stochastic Image Processors," Proc. of IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL 2015), pp.109-114, May 2015.
 2. T. Akutsu, M. Natsui, and T. Hanyu, "Write-Operation Frequency Reduction for Nonvolatile Logic LSI with a Short Break-Even Time," Proc. of IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic (ISMVL 2015), pp.152-157, May 2015.
 3. S. Oosawa, T. Konishi, N. Onizawa and T. Hanyu, "Design of an STT-MTJ Based True Random Number Generator Using Digitally Controlled Probability-Locked Loop," Proc. of 13th IEEE International NEW Circuits And Systems (NEWCAS) conference, pp. 468-471, pp. 1-4, June 2015.
 4. D. Suzuki, M. Natsui, A. Mochizuki, S. Miura, H. Honjo, H. Sato, S. Fukami, S. Ikeda, T. Endoh, H. Ohno and T. Hanyu, "Fabrication of a 3000-6-Input-LUTs Embedded and Block-Level Power-Gated Nonvolatile FPGA Chip Using p-MTJ-Based Logic-in-Memory Structure," Digest of Technical Papers, 2015 Symp. on VLSI Circuits, pp.172-173, June 2015.
 5. N. Onizawa, A. Mochizuki, A. Tamakoshi, and T. Hanyu, "A Sudden Power-Outage Resilient Nonvolatile Microprocessor for Immediate System Recovery," Proc. 11th IEEE/ACM International Symposium on Nanoscale Architectures (NANOARCH), pp. 39-44, July 2015.
 6. N. Onizawa, D. Katagiri, K. Matsumiya, W. J. Gross, and T. Hanyu, "Frequency-Flexible Stochastic Gabor Filter," Proc. 2015 IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP), pp. 458-462, July 2015.
- 他、国際シンポジウム (査読付) を 6 編、招待講演 (国際会議 2 件、国内会議 1 件) をそれぞれ行った。

採択回数	1	2	3
(萌芽)			

H26/B10

高信頼・高スケーラビリティメニーコア並列計算基盤

[1] 組織

代表者：加藤 和彦

(筑波大学大学院システム情報系情報
工学域)

対応者：大堀 淳

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

阿部 洋丈 (筑波大学大学院システム情報
系情報工学域)

長谷部 浩二 (筑波大学大学院システム
情報系情報工学域)

岡 瑞起 (筑波大学大学院システム情報系
情報工学域)

橋本 康弘 (筑波大学大学院システム情報
系情報工学域)

大山 恵弘 (電気通信大学電気通信学部
情報工学科)

品川 高廣 (東京大学情報基盤センター)

森畑 明昌 (東京大学大学院総合文化研究
科)

上野 雄大 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：8 人

研究費：旅費 15 万 5 千円

[2] 研究経過

近年、物理的な限界から、集積度を高めることで CPU1 コアあたりの速度を高めるのは現実的でなくなりつつある。一方で、世界に流通・収集・蓄積される情報の量は増大の一途をたどっている。このような状況を背景として、複数の CPU を利用した高速な計算、すなわち並列計算の重要性が高まっている。

並列計算の必要性は広く認知され、一般向け PC においてもマルチコア CPU・マルチ CPU が標準となっている。しかし、科学技術計算などの一部の例を除いて、系統的な並列計算手法は未だ発展途上である。そのため、現在多くのソフトウェア技術者が多大な労力を注ぎ並列計算を実現している。しかし、並列計算は並列性のない場合に比べ遥かに難しい。

場当たり的な手法では、予期せぬバグや不十分なパフォーマンスを容易に引き起こしてしまう。しかも並列計算はプロセッサ数が増大するに従い難度を増すことがよく知られているため、既に訪れつつあるメニーコアアーキテクチャに対しては、このようなアプローチでの対処は不可能である。系統的な並列計算手法は危急の課題となっている。

系統的な並列計算のためには関数型言語によるアプローチが有用であることがよく知られている。関数型言語では、標準的な手続き型言語に比べ、計算結果が計算順序に依存しにくい。そのため、並列計算に伴うバグを埋め込みにくく、また効率の観点からもメニーコアへとスケールしやすい。しかし、現実には、既存の関数型言語処理系での並列計算のサポートは十分とはいえない。実装上の制約から効率は出にくく、またプログラミングの観点からも有用な抽象化を提供できていなかった。

以上のような状況をふまえ、本研究会では、システムソフトウェア・分散コンピューティングに強い加藤グループと関数型言語コンパイラを開発している大堀グループの総力を結集することで、エンドユーザーが簡単に並列計算を行うためのプログラミング基盤を提供することを目指している。

本年度の主な活動として、2016 年 3 月に東北大学電気通信研究所において、研究代表者および分担者を中心に学生も交え研究集会在開催された。この研究会では、並列計算およびその周辺分野について、各研究グループからお互いに様々な話題を持ち寄り、最近の成果や今後の発展、それらの相互連携などについて議論を行った。第 2 年度である本年度の研究会では、本プロジェクトの中核である関数型言語と並列計算に関連する話題に加え、並列計算資源を支える技術に関する研究や、具体的な応用先として興味深い最新の研究事例の紹介など、広範な話題を取り扱い、研究分担者間での情報交換を行った。以下、研究会での発表内容についてその概要を述べる。

上野からは、関数型言語のための並行ごみ集め (GC) 方式の開発に関する報告があった。並行 GC は、関数型言語における真のマルチスレッドプログラミングを可能にする基盤技術のひとつであり、従

って本プロジェクトが目標とするメニーコア並列計算基盤を実現する鍵となる技術のひとつでもある。その並行 GC 方式の完成には、緻密な正しさの確認や、シングルスレッドプログラミングにはない注意深いコーディングが必要であった。本報告では、並行 GC を実現する過程で直面した様々な課題とその対応策が紹介され、低レベルな並行プログラミングのノウハウを共有すると同時に、高水準な並列計算機構の必要性を再確認した。

大堀研究室学生の徳永からは、関数型言語 **SML#** でオペレーティングシステム (OS) を実装する試みに関する初期報告があった。OS を実装するには、ページテーブルや割り込みベクタなどのハードウェア資源を直接制御するプログラムを書く必要がある。もしこのようなプログラムを関数型言語だけで書き切ることができるならば、関数型言語の実用性を強く示すことができるはずである。本報告では、C 言語との相互運用機構を持つ **SML#** をアセンブリ言語を組み合わせることで、初歩的な OS を実装できたことが報告された。議論では、Minix など C で書かれた既存の小さな OS を段階的に **SML#** で書き直すことで、**SML#** と C 言語の記述力の定量的な比較もできるのではないかと、などの提案があった。

森畑からは、関数型言語と **Pregel** システムの結合に向けての研究に関する発表があった。近年、ソーシャルネットワークやタンパク質間相互作用ネットワークなどの巨大なグラフデータを効率的に分散並列処理するための方法として、Google が **Pregel** という枠組みを提案している。既存の **Pregel** 実装は現状使いやすいものではないが、これを高水準なプログラミング言語から駆動できれば、メニーコアマシンを含む並列計算機で、動的なネットワークルーティングや新交通システムのシミュレーションなど、様々な応用を扱う基盤技術となり得る。本発表では、このような基盤の構築を、プログラミング言語と **Pregel** の相互運用性の問題と捉え、**Pregel** を駆動する言語に求められる要件を分析した。そして、関数型言語であり、C 言語との強力な相互運用機構を持ち、レコード多相性を備えた **SML#** は理想的な候補たりうることを確認した。

阿部からは、**Software Defined Networking** に基づく高精細可視化イメージ遠隔配信システムの実現に向けて取り組んでいる、スーパーコンピュータによる計算結果の可視化イメージを高精細に遠隔地に配信するシステムについて発表があった。物理シミュレーション結果などの確認には、計算結果の一部のみを可視化すれば十分であることが多い。この性質に着目し、本研究では、イメージの生成を計算サイトで要求に応じて行い、動的にルーティングされ

たネットワークを介して端末に配信する技術を開発している。本研究は筑波大、東北大、大阪大、NICT、AIST、奈良先端大の共同研究である。

加藤研究室学生の深井からは、ベアメタルクラウドのための軽量ハイパバイザに関する研究について発表があった。近年、クラウドコンピューティングの一形態として、顧客に物理計算機を提供するベアメタルクラウドが注目を集めている。しかし、ベアメタルクラウドでは、その構造上、OS のライブマイグレーション、物理デバイスの保護、余剰資源の利用機能が欠如しており、保守性、安全性、利用効率に難がある。本研究では、軽量ハイパバイザ **BitVisor** を拡張することで、OS のサポートなく、かつ物理計算機の性能を犠牲にすることなく、これらの機能をベアメタルクラウド上に実現することを目指している。議論では、計算機資源の利用効率向上に関する今後の展望について意見が交わされた。

長谷部からは、筑波大学とトヨタ自動車の特別共同研究事業「高度アクセシブル社会実現に向けた基盤研究」の紹介があった。加藤・長谷部らのグループは、非接触型電子連結による自走機能付き小型自動車車両を連結縦走させて構成した車両群による新交通システムの運行システムの設計を進めている。本発表では、このシステムの基本方式が説明された後、計算機科学的アプローチが交通システム設計・運用に貢献する可能性について議論が交わされた。

大山からは、マルウェアの動的解析ログにおける API コール列の圧縮について発表があった。マルウェアの動的解析ログは大量なため、ログを効果的に圧縮する手法が必要となる。本研究では、なかでも特に量が多い API コール列を扱う。API コール列には繰り返しパターンが多く含まれるため、繰り返しパターンの圧縮に強い文法圧縮が API コール列の圧縮に効果的であると考えられる。本発表では、文法圧縮手法の概要と、圧縮率および高速なパターン照合の二点で文法圧縮は有用であるとの評価結果が報告された。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトの目標は、クラウド基盤を含むシステムソフトウェアや分散コンピューティングの研究開発から得られた知見と、高信頼プログラミング言語の理論および実装を融合し、高機能な並列計算プログラミング基盤を構築することであった。本年度は、各研究グループの現状の研究成果や現在進行中の研究課題を持ち寄り、それらの連携によって並列計算基盤やプログラミング環境にどのようなインパクトを与え得るか、またそのためには各分野でど

のような課題があるかについて議論を行った。

議論の過程では、システムソフトウェアやプログラミング言語理論の観点から、様々な知見や着想が提示された。これらはいずれも並列計算プログラミング基盤の基礎理論あるいは要素技術となり得るものであり、今後の大きな成果を予感させるものである。来年度は、これらの着想に基づき、さらなる詳細化や目標達成に向けた課題の整理、および実システムへの応用可能性の検討を行う予定である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの波及効果や発展性については、以下が挙げられる。

まず、本プロジェクトでの議論を通じ、システムソフトウェアとプログラミング言語の両方の分野において、各研究メンバーが自分の専門分野と多少異なる立場からの視点を得ることができた。これにより、各研究メンバーそれぞれの研究テーマに良い相乗効果を与えたと確信している。(具体的な研究成果は[4] 成果資料を参照のこと。)

また、本プロジェクトで開催された研究集会は、特に若手研究者や大学院生にとって、他の研究グループと交流し自分の研究についての意見をもらう貴重な機会にもなっている。このような機会は、研究をさらに発展させたり新たな研究テーマを発見したりするにあたり、また若手研究者同士のコミュニティを形成する上でも、きわめて有意義であった。この意味で、本プロジェクトは若手研究者の育成にも貢献していると言える。

[4] 成果資料

Katsuhiro Ueno, Atsushi Ohori. A Type Safe Access to Key-value Stores from Functional Languages, Journal of Information Processing, Vol. 24(2016), No. 1, pp.141-151, 2016.

Katsuhiro Ueno. The SML# compiler backend: compiling ML to C-compatible low-level code, Syntax and Semantics of Low-Level Languages (LOLA 2015), Invited talk, 2015.

Akimasa Morihata. Incremental Computing with Abstract Data Structures, In: Functional and Logic Programming - 13th International Symposium, FLOPS 2016, Proceedings. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9613, pp. 215-231, 2016.

江本健斗, 松崎公紀, 胡振江, 森畑明昌, 岩崎英哉. 大規模グラフ並列処理のための関数型領域特化言語. 第 18 回プログラミングおよびプログラミング言語

ワークショップ (PPL 2016), 2016.

森畑明昌. 代数的性質に基づくラムダ式の並列評価. 第 18 回プログラミングおよびプログラミング言語ワークショップ (PPL 2016), 2016. 論文賞受賞.

Yoshiyuki Kido, Kohei Ichikawa, Susumu Date, Yasuhiro Watashiba, Hirotake Abe, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai, Haruo Takemura, Shinji Shimojo. SAGE-based Tiled Display Wall Enhanced with OpenFlow-based Dynamic Routing Functionality Triggered by User Interaction, Future Generation Computer Systems, vol. 56, pp. 303-314, 2016.

Takaaki Fukai, Yushi Omote, Takahiro Shinagawa, Kazuhiko Kato. OS-Independent Live Migration Scheme for Bare-metal Clouds, 8th IEEE/ACM International Conference on Utility and Cloud Computing, 2015. Best paper award.

Koji Hasebe, Takumi Sawada, and Kazuhiko Kato. A Game Theoretic Approach to Power Reduction in Distributed Storage Systems, IPSJ Transactions on Advanced Computing Systems, vol. 8, no. 4, pp. 1-9, 2015.

Koji Hasebe, Junpei. Okoshi, and Kazuhiko Kato. Power-Saving in Storage Systems for Cloud Data Sharing Services with Data Access Prediction. IEICE Transactions, vol. E98-D, no. 10, pp. 1744-1754, 2015.

Susumu Date, Hirotake Abe, Dashdavaa Khureltulga, Keichi Takahashi, Yoshiyuki Kido, Yasuhiro Watashiba, Pongsakorn U-Chupala, Kohei Ichikawa, Hiroaki Yamanaka, Eiji Kawai and Shinji Shimojo. An Empirical Study of SDN-accelerated HPC Infrastructure for Scientific Research, 2015 International Conference on Cloud Computing Research and Innovations (ICCCRI 2015), 2015.

奥村嵩宏, 大山恵弘. マルウェアの動的解析ログにおける API コール列の文法圧縮. 第 27 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2015), ポスターセッション, 2015.

中村燎太, 大山恵弘. マルウェア検知におけるオンライン機械学習アルゴリズムの比較研究. 第 27 回コンピュータシステム・シンポジウム (ComSys2015), ポスターセッション, 2015.

東耕平, 竹腰開, 深井貴明, 品川高廣, 加藤和彦. ベアメタルクラウドにおけるハードウェア保護. 情報処理学会研究報告 (2016-OS-136), 第 9 号, 第 136 回システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会, 2016.

採択番号 H26/B11

人と移動体のセンシング・コミュニケーション技術 に関する研究

〔1〕組織

代表者： 大石 岳史
 (東京大学生産技術研究所)
 対応者： 高嶋 和毅
 (東北大学電気通信研究所)
 分担者：
 北村 喜文 (東北大学電気通信研究所)
 池内 克史 (Microsoft Research Asia)
 桑原 雅夫 (東北大学大学院情報科学研究科)
 芳賀 京子 (東北大学文学部)
 増田 健 (産業技術総合研究所)
 矢谷 浩司 (東京大学大学院工学系研究科)
 坂本 大介 (東京大学大学院情報理工学系研究科)

延べ参加人数： 18人

研究費： 旅費 14万円
 国際・若手、特別支援費 50万円

〔2〕研究経過

本プロジェクトは、情報技術を中心として、コンピュータビジョン・グラフィックス、コミュニケーション工学、コンテンツ工学、交通工学などに加えて、考古学や美術史など異なる分野の研究者による研究会を開催して議論を深めることによって、人と移動体のセンシング・コミュニケーションに関する新たな萌芽の学問分野の創造を目指したものである。また定期的に研究会を開催することによって、人的交流を深めて、研究者ネットワークを構築することも本プロジェクトの大きな目的の一つである。さらに、交流を発展させることによって東北大学 電気通信研究所 (通研) と東京大学 生産技術研究所 (生研) による実質的な共同研究への発展を模索することを目的としている。

海外との連携、交流を図るためには、世界的にも顕著な研究成果を挙げているマイクロソフトリサーチアジア (MSRA) から講師を招き、最新技術について見識を深めるとともに、海外研究機関との連

携を深め、各グループの研究環境の向上、研究資源の獲得を図ることも本研究会の大きな役割の一つである。

本研究会は、2014 前年度に開かれた東北大通研・文学部一東大生研合同シンポジウムが発端となっている。昨年度は、本研究プロジェクトで第2回目となる研究会を開催した。本年度も同様に「第3回 人と移動体のセンシング・コミュニケーション技術に関する研究会」を東北大通研において開催した (プログラムは後述)。今回は3つのセッションを設けて、それぞれ、1. Interface, Visualization、2. Human machine/robot interaction、3. Cyber Archaeology のテーマに沿った講演を企画した。



図1 研究会の様子

セッション1では、東京大学から HCI（ヒューマンコンピュータインタラクション）分野の若手で世界的にも著名な東京大学の矢谷浩司氏を招待して、コンピュータビジョン最高峰の国際会議 SIGGRAPH AISIA に発表されたドローイングインタフェースやその他の最新の研究について講演を頂いた。また同セッションでは、東北大学の桑原教授から車両プローブデータの解析による災害時の避難行動の提示や、交通モニタリングによる渋滞の解析などに関する研究紹介があった。



図2 講演の様子（左：矢谷氏、右：桑原氏）

セッション2では、インタラクションデザイン分野で活躍している東京大学の坂本大介氏を招待して、講演を依頼した。本講演では主に現在ホットなトピックである様々なロボットの操作インタフェースについての紹介があった。また同セッションでは、マイクロソフトリサーチアジアの首席研究員である池内克史氏を招待し、民族舞踊のアーカイブと小型ロボットへの実装や、踊りの解析による民族の伝搬などについて興味深い講演を頂いた。また東北大の高嶋氏からは、指や手のモーション計測デバイスと、インタラクティブディスプレイについての研究紹介があった。



図3 講演の様子（左：坂本氏、右：池内氏）

セッション3では、産業技術総合研究所より、3次元モデリング分野の先駆的な研究者である増田健氏を招待し、形状モデリングや形状解析に関して講演を頂いた。東北大文学部の芳賀京子氏からは古代ギリシャ彫像の製造や複製の過程を解析について、3次元形状モデルを利用した学際的な知見を与える試みについて紹介があった。最後に大石より、移動体を用いたレーザ計測による大規模文化財のデジタル化についての研究紹介を行った。

本共同研究プロジェクトは若手が運営しているが、本年度は、HCI 分野の特に若手研究者を多く招待して講演を頂いた。近年、自動運転車を含め、自律移動するロボットが学会、実社会でも注目されており、その人間とのインタラクションが重要になっている。センシングとインタラクション技術、さらに動作解析、形状解析はキーとなる技術であり、今後本研究会による研究交流とその展開が期待される。



図4 講演の様子（高嶋氏）



図5 講演の様子（左：増田氏、右：芳賀氏）

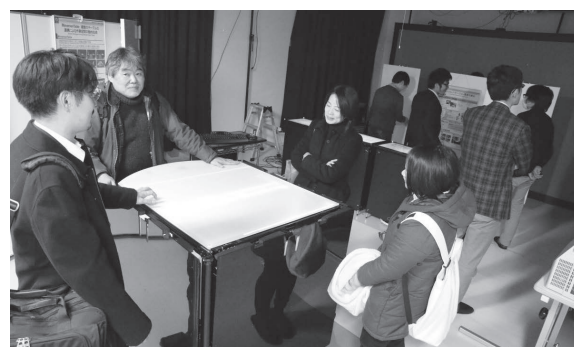


図6 ラボツアーの様子

講演終了後には、新たに参加した研究者もいるため、インタラクティブコンテンツデザイン研究室の見学ツアーを実施した。形状が話者に応じて変化するテーブルや、空中ポインティングデバイスなどを実際に体感することで、インタラクティブ・メディアの魅力や活用の方向性、発展性などについて理解を深めることができた。

■ 研究会プログラム

13:00～13:05 開会挨拶（北村喜文）

○ セッション 1 [Interface, Visualization]

1. 13:05～13:35 矢谷浩司「Interactive Visual Content Creation」
2. 13:35～14:05 桑原雅夫「災害時の交通モニタリングと避難シミュレーション」

○ セッション 2 [Human machine/robot interaction]

3. 14:10～14:40 坂本大介「Designing Interaction for Computers, Mobiles, and Robots」
4. 14:40～15:10 池内克史「祭りの舞踊 ロボット再現とサイバー文化人類学」
5. 15:10～15:30 高嶋和毅「センサと移動型インタフェース」

○ セッション 3 [Cyber Archaeology]

6. 15:40～16:00 増田健「古典彫像の三次元形状データ処理」
 7. 16:00～16:20 芳賀京子「サイバー考古学による古代彫刻の解析～「カノン」とは何か～」
 8. 16:20～16:40 大石岳史「移動型レーザレンジセンサシステムによる大規模文化財のデジタル化」
- 16:40～17:10 ラボツアー「インタラクティブコンテンツデザイン（北村）研究室」

[3] 成果

（3-1）研究成果

東大生研と東北大学文学部、産総研の研究グループでは、3次元形状モデルを用いた古代彫像の解析を進めており、美術史分野において新たな知見を発表するなど、学際的な貢献を進めている。東大生研と桑原教授の研究グループでは、交通シミュレーションや可視化など、ITS分野において共同プロジェクトを進めている。また各研究グループでは、移動体センシング・コミュニケーションについての要素研究を進めており、それぞれ対外発表を行っている。成果については後述を参照されたい。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本年度の研究会では、新たに3名の研究者を招待してご講演を頂いた。前述のように、それぞれHCI分野とセンシング分野の研究者であり、順調に研究者間ネットワークの構築を進めている。また以前から進めている美術史学や、交通工学分野との連携を続けており、今後はさらにHCI分野の研究者との連携を深めることによって新たな学問分野の創出を目指していきたい。

今回、国際的な連携としては、MSRAの池内氏を招聘して講演を依頼した。矢谷氏も昨年度までMSRAに赴任しており、聴衆に海外からの研究者もいたことから発表も英語でお願いした。今後も海外で活躍する研究者と連携を深め、国際的な研究者ネットワークの構築に努めていきたい。

[4] 成果資料

- [1] R. Ishikawa, B. Zheng, T. Oishi, K. Ikeuchi, "Rectification of Aerial 3D Laser Scans via Line-based Registration to Ground Model," IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 7, pp. 89-93, July 27, 2015.
- [2] B. Zheng, T. Oishi, K. Ikeuchi, "Rail Sensor: A Moving Lidar System for 3D Archiving the Bas-reliefs in Angkor Wat," IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications, Vol. 7, pp. 59-63, July 27, 2015.
- [3] B. Zheng, X. Huang, R. Ishikawa, T. Oishi, K. Ikeuchi, "A New Flying Range Sensor: Aerial Scan in Omini-directions," In Proc. International Conference on 3D Vision, Oct. 19-22, 2015, Lyon, France.
- [4] K. Sengoku-Haga, M. Lu, S. Ono, T. Oishi, T. Masuda, K. Ikeuchi, "Polykleitos at Work: How the Doryphoros Was Used," the 19th International Congress on Ancient Bronzes, Los Angeles, California, October 13-17, 2015.
- [5] M. Ogawa, K. Honda, Y. Sato, S. Kudoh, T. Oishi, K. Ikeuchi, "Motion Generation of the Humanoid Robot for Teleoperation by Task Model," in Proc. 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Sept. 1, 2015, Kobe, Japan.
- [5] K. Fujimoto, Y. Okamoto, T. Oishi and K. Ikeuchi, "Robust Registration with Multiple Panoramic Cameras for Mixed Reality on Moving Vehicle," The 10th International Workshop on Robust Computer Vision, Nov. 21-22, 2015, Beijing, China.

採択回数 (萌芽)	1	2	3
--------------	---	---	---

採択番号 H27/B01

プラズマ流中マルチスケール構造形成による 新規反応場の開拓

〔1〕組織

代表者：安藤 晃（東北大学工学研究科）
 対応者：末光眞希（東北大学電気通信研究所）
 分担者：犬竹正明（東北大学電気通信研究所）
 高橋和貴（東北大学工学研究科）
 佐藤岳彦（東北大学流体科学研究所）
 服部邦彦（日本工業大学共通教育系）
 船木一幸（宇宙航空研究開発機構）
 佐々木浩一（北海道大学院工学研究科）
 中島秀紀（九州大学大学院総合理工学研究院）
 篠原俊二郎（東京農工大学）
 佐藤 浩之助（九州大学総合理工学研究院）
 佐宗章弘（名古屋大学大学院工学研究科）
 小紫公也（東京大学大学院 新領域創成科学）
 津島 晴（横浜国立大学大学院）
 戸張博之（日本原子力研究開発機構）
 田中雅慶（九州大学大学院総合理工学研究院）
 高木浩一（岩手大学工学部電気電子工学科）
 水野 彰（豊橋技術科学大学エコロジー工学系）
 吉村信次（核融合科学研究所）
 永田正義（兵庫県立大学工学研究科）
 永岡賢一（核融合科学研究所）
 上杉喜彦（金沢大学自然科学研究科）
 津守克嘉（核融合科学研究所）
 林 信哉（九州大学大学院総合理工学研究院）
 竹入康彦（核融合科学研究所）
 市村 真（筑波大学数理物質科学研究科）
 佐々木徹（長岡技術科学大学大学院工学研究科）
 竹崎太智（長岡技術科学大学大学院工学研究科）
 高柳 翔（長岡技術科学大学大学院工学研究科）
 ジャンソウォン（筑波大学大学院数理物質科学研究科）
 加藤拓郎（金沢大学理工研究域電子情報学系）
 横田 茂（筑波大学大学院システム情報工学研究科）

延べ参加人数：100人程度

研究費：物件費0円，旅費25万7千円

〔2〕研究経過

プラズマ物理学に基づいたプラズマ流の生成・制御技術は、新規ナノ材料、微細加工テクノロジー、新機能性材料開発等の分野において独創的なプロセスを実現可能であることから、半導体集積回路、太陽電池、発光ダイオード、人工ダイヤモンド合成、セラミック焼結、磁性材料等の各種薄膜作成、微細構造加工、表面改質等への応用が急展開しており、ナノテクノロジーの進展に不可欠な基盤技術となりつつある。

近年のプラズマ生成・制御技術の技術進展に伴い、その動作圧力領域は0.1mTorr以下の低気圧から大気圧、または超臨界状態を含む高気圧領域まで拡張され、またその動作電力も1ミリWから1メガW級へと広範な領域へと拡張が進んでおり、動作時間もフェムト秒から定常状態と種々の生成制御方式の開発が進んでいる。上記の研究進展過程において、超高エネルギー密度状態であるプラズマの圧力勾配、外部電磁場や固体壁などの境界条件との相互作用に起因して発生するプラズマの流れ場がその生成・制御技術を確立する上で重要な役割を担っていることが明らかになってきた。またそのプラズマ流中には、微細構造から巨視的構造に至る線形・非線形的なマルチスケール構造形成が起こることが近年の研究により示唆され、これらの構造形成・制御技術を積極的に制御することで、ナノデバイス分野から宇宙開発に至る広範な分野で新たな応用研究が開始されている。

本研究では、次世代のナノ情報デバイス創製をはじめ、宇宙技術、エネルギー技術等の他の産業応用に関連した学際的な研究交流を積極的に推進し、プラズマ流中のマルチスケール構造形成を活用した新規反応場を開拓することを目的としている。この実現のためには、マルチスケール構造形成の学理の理解と独創的なアイデアを研究へと盛り込むことが必要であり、プラズマ流中の構造形成の基礎と応用に関する研究会を開催する。広範な分野で活躍す

る研究者との交流を深めることで、プラズマ流生成制御、各種応用、ナノバイオから核融合、宇宙開発に至る研究分野間で情報交換を行い、種々の研究を展開することを目的とする。

以下に、本年度開催した研究討論会の概要を記す。

- ① 日 時：平成 28 年 1 月 27 日(水) 13:00-17:30
1 月 28 日(木) 9:30-12:20

東北大学工学研究科 情報新棟 480 会議室にて、「プラズマ流中マルチスケール構造形成による新規反応場の開拓」に関する研究会を開催した。発表題目と講師は以下の通りであり、参加人数は延べ 100 人程度であった。

趣旨説明：安藤晃（東北大学）

- (1) 永岡賢一（核融合科学研究所）
『アルベン波と相互作用する高速イオンの位相空間構造への挑戦』
- (2) 横田 茂（筑波大学）
『大電力電気推進機のための電子源開発』
- (3) レクチャー
佐藤浩之助（九州大学）
『高速ノズル流の基礎とレーザー発振』
- (4) 高橋 宏幸（東北大学）
『高周波プラズマ源 DT-ALPHA 装置によるダイバータプラズマ模擬実験の現状』
- (5) ジャンソウォン（筑波大学）
『GAMMA10/PDX におけるダイバータ模擬を目指した ICRF 加熱実験』
- (6) 加藤拓郎（金沢大学）
『LIBS を用いた核融合炉壁診断と水素炭素混合プラズマへの窒素添加による水素同位体吸蔵の抑制』
- (7) 特別講演
谷川隆夫（東海大学）
『泡状プラズマの物理』
- (8) 高橋和貴（東北大学）
『磁気ノズルヘリコンプラズマ中の流れ、波動、乱れ』
- (9) 佐々木 徹（長岡技術科学大学）
『テーパコーン型プラズマフォーカスを用いた高速プラズマ流の形成と垂直磁場への応答』
- (10) 中野 治久（核融合科学研究所）
『NIFS-RNIS におけるプラズマ電極孔蓋によるビーム応答』

まとめ 安藤 晃（東北大学）

〔3〕 成果

（3-1）研究成果

核融合プラズマ、実験室基礎プラズマ、宇宙航空用電気推進機プラズマ、およびプロセスプラズマにおけるプラズマ流のマルチスケール構造形成による新規反応場、およびその応用技術に関連する報告がなされ、最新の研究発表と討論を行った。

まず核融合科学研究所の永岡氏からは、大型ヘリカル装置(LHD)における磁気流体波動(アルベン波)の励起と、それに伴って生じる高速イオンの挙動に関しての講演があった。アルベン波の非線形な振る舞い(間欠性、速い周波数掃引、雪崩現象など)を理解するためには、高速イオンの位相空間応答を調べる必要があり、その計測を行うためには計測対象粒子のピッチ角と半径領域を十分に検討し、かつ十分な粒子数を解析し統計的有意性を確保することが必要であるとの提言がなされた^{①)}。

筑波大学の横田氏からは大電力電子源の開発に関する講演があった。電子源内部のプラズマのモデリングと熱設計により形状を決定する手法を用い、100A の電子電流の引き出しに成功したことに関して報告があった。現在、数値解析により電子源内部の詳細なモデリングを行い、現象の把握に取り組んでおり、さらなる大電流化の期待があることが示された。

九州大学佐藤氏からは、ノズル中を通過する気体の流れに関して、ラバールノズルでの現象を例に挙げてレクチャーしていただいた。高速ノズル中ではガス密度、断面積、ガス温度、圧力といったパラメータの変化が重要となり、これらのパラメータがノズル中でどのように変化するかを丁寧に説明していただいた。また、若手研究者へのアドバイスとして、佐藤氏の研究に対する考え方やこれまでの経験についてもお話頂き、学生や若手研究者に対して大変有意義な講演であった。

東北大学高橋氏、筑波大学ジャンソウォン氏、金沢大学加藤氏からは、プラズマ流の応用研究の一つである核融合技術の開発に関わる研究報告があった。高橋氏の発表では高周波プラズマ源 DT-ALPHA 装置によるダイバータプラズマ模擬実験の現状に関しての報告があった^{②)}。高周波プラズマ現において体積再結合プラズマを生成するためには電子-イオンエネルギー緩和の制御が重要であることが示された。ジャンソウォン氏の発表では、GAMMA10/PDX におけるダイバータ模擬実験において、装置の両アンカー部を同時に加熱することにより、端損失プラズマのパラメータ領域を拡張することが出来、模擬実

験としての妥当性を担保することが可能であることが示された。また加藤氏からは、レーザー誘起ブレイクダウン分光法(LIBS)を用いた核融合炉壁診断に関する報告があった。LIBSとはレーザーアブレーションによる発光を観測することによりターゲット材の組成分析を行う方法であり、容器内を大気解放せずにその場解析できる為、ITERでの堆積膜の組成評価に適していると考えられている。今後の研究の進展が注目される。

東海大学の谷川氏には特別講演として泡状プラズマの物理に関して講演頂いた。講演内容は泡状プラズマの歴史的背景から最新の研究までと多岐にわたり、また現状の課題をご提示いただき、若手研究者に対して非常に有用な内容であった。

東北大学の高橋氏は、無電極ヘリコンプラズマに磁気ノズルを印加した際のプラズマ流の加速過程に関して、プラズマ運動量の直接計測に関する結果を基盤として議論を行った。その結果、磁気ノズル中に自発的に生じるプラズマ周方向電流と径方向磁場によるローレンツ力によって軸方向運動量が増大することが明らかとなった。また、中性粒子枯渇による運動量輸送、および外部磁場によるプラズマ波動制御法に関する実験を紹介し、最後に自発的に起こる乱れ構造に関するデータの報告があった。

長岡技術科学大学の佐々木氏からはテーパコーン型プラズマフォーカスシステムを用いた高速プラズマ流の形成手法に関する報告があった³⁾。テーパコーン型プラズマフォーカス装置により準一次元的な衝撃波を生成し、そこに磁場を印加した際の影響を実験とシミュレーションの両面から解析を行うことで天体物理現象の1つである無衝突衝撃波の理解が進むものと考えられる。

核融合科学研究所の中野氏からは核融合装置の基幹装置の1つである中性粒子入射ビーム装置に関する報告があった。セシウム添加型の負イオン源ではビームとして引き出される負イオンは主としてビーム引き出し境界の電極表面で生成されることが知られているが、プラズマ電極表面の極近傍に電極蓋孔を置くことで負イオンの挙動が変化することが示された。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクト研究会では核融合プラズマ、実験室基礎プラズマ、宇宙航空用電気推進機プラズマ、およびプロセスプラズマにおけるプラズマ流のマルチスケール構造形成による新規反応場、およびその応用技術に関連した報告・討論が行われた。国内研究者がそれぞれの特徴を活かして研究を行ってきた

プラズマ流中の構造形成に関して情報を集約し、その発生学理、生成・制御法を体系的に理解し、種々の研究の共通課題に関する議論を進めることが出来、その知見を基盤とした新規反応場の開拓を進めることが可能になると期待される。これは種々の研究でこれまでに目標としていた課題達成に加えて、新規研究領域の開拓への展開が期待される。特にプラズマ流と内部に自発的に起こるマルチスケール構造形成の関係、ダイポール磁場との相互作用に関する研究は、基礎的な研究だけでなく応用研究にも重要な知見を与えるため、上記の情報交換、基礎研究の推進を基盤とした新規応用研究の開拓に貢献可能であり、新たな研究展開・共同研究へと発展する可能性が期待される。

[4] 成果資料

- [1] K. Nagaoka, *et al.*, Bulletin of the American Physical Society 60 (2015).
- [2] K. Takahashi et al., Phys. Rev. Lett., 114, 195001 (2015).
- [3] Y. Takao and K. Takahashi, Phys. Plasmas, 22, 113509 (2015).
- [4] K. Takahashi et al., Appl. Phys. Lett., 108, 074103 (2016).
- [5] K. Takahashi et al., Phys. Plasmas, 23, 033505 (2016).

H27/B02

炭化珪素系へテロ構造を用いた物質創成と応用展開

[1] 組織

代表者：末光 眞希

(東北大学電気通信研究所)

対応者：末光眞希

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

中島信一 (大阪大学名誉教授)

川原田洋 (早稲田大学理工学部)

松浦秀治 (大阪電気通信大学工学部)

加藤正史 (名古屋工業大学大学院工学研究科)

本間考治 (株式会社 メムス・コア)

村上浩一 (筑波大学数理物質科学研究科)

乗松 航 (名古屋大学大学院工学研究科)

長澤弘幸 (株式会社 CUSIC)

延べ参加人数：10 人

研究費：，旅費 35 万円

国際特別支援費 30 万円

[2] 研究経過

炭化珪素 (SiC) は、2.2 から 3.2eV と広いバンドギャップを有するうえ、pn 両伝導型の制御が容易な半導体であることから、高温、高電圧、放射線環境といった苛酷な環境下で安定動作するパワー半導体デバイスの材料として有望である。たとえば、Si デバイスと同じ耐圧を実現しようとした場合、その導通損失は 1/100 まで低減できること、そして高周波化に有利なユニポーラ型素子 (SBD や MOSFET) で高電圧制御が可能なることから、一部のパワートレインに搭載され、従来の電力損失を 38% も低減するという驚くべき省エネルギー効果と小型・軽量化が実証されている。また、SiC は高いヤング率とモース硬度を有し、化学的にもきわめて安定であることから、マイクロセンサ、マイクロアクチュエータといった MEMS・NEMS 材料としても高い将来性を持っている。

る。

SiC のユニークな魅力は、立方最密構造と六方最密構造の組合せによって 200 種を越えるといわれる結晶多形が存在することである。これらは互いに格子整合しつつも、異なるバンドギャップの界面が形成できることを意味し、まさに究極のヘテロ構造といえる。このヘテロ構造を活用することにより、単一多形の SiC よりも、高機能・高効率の半導体デバイスが実現できると期待される。

本研究の目的は、こうした SiC 多形間及び SiC と他材料間のヘテロ構造の創成と制御に関する学理を究明し、その知見を基に、新たな応用展開を探索することにある。本プロジェクトを引き金として、SiC に基づくヘテロ界面形成の学理の体系化が図られるとともに、それを用いた新たなデバイス構造の提案が導かれることを期待する。これに加え、ウエハボンディング技術とエピタキシャル成長技術を組み合わせることにより、高度なヘテロ構造制御と欠陥伝播抑制を両立し、高機能 SiC デバイスの実用化を加速させることも目標とする。

初年度は下記の 6 テーマに関して討議した。

- ① Si 基板上 3C-SiC ヘテロエピの欠陥評価と制御
- ② 3C-SiC/4H-SiC ヘテロ界面形成の現状と課題
- ③ SiC 基板上 3C-SiC ヘテロエピ成長の理論
- ④ SiC 結晶薄膜のウエハボンディング技術の現状と課題
- ⑤ SiC-MEMS への期待
- ⑥ 水素発生触媒としての SiC の可能性

上記討議のため、通研共同プロジェクト研究会を以下の通り開催した。開催にあたっては、SiC パワー半導体素子の設計・解析技術で多くの実績を有する ACREEO 社 (Sweden) の Dr. Mietek Bakowski を招待

し、SiC デバイスの静特性や 3C/4H ヘテロ特性についても議論を深めた。

【通研共同プロジェクト】

開催日時：2015 年 11 月 19 日 (木) 14:00-17:00、
11 月 20 日 (金) 9:30-12:00

11/19 (木)

14:00 ~ 14:05 開会挨拶 末光眞希 東北大学
14:05 ~ 14:35 Defect reduction and poly-type control of SiC 長澤 弘幸 (株) CUSIC
14:35 ~ 15:05 3C- SiC 光陰極による太陽光-水素エネルギー変換 加藤 正史 名古屋工業大学
15:20 ~ 16:00 An overview of SiC power devices Mietek Bakowski ACREO AB
16:00 ~ 16:30 SiC 上エピタキシャルグラフェン成長と界面改質 乗松 航 名古屋大学
16:30 ~ 17:00 Si 中の水素 村上 浩一 筑波大学

11/20 (金)

9:30~10:00 Si 基板上 3C-SiC 形成とエピタキシャルグラフェン形成 末光 眞希 東北大学
10:00 ~ 10:30 スクラッチした 4H-SiC で発生したヘテロ構造のラマン評価 中島 信一 大阪大学
10:30 ~ 11:00 MEMS の受託開発ビジネス 本間 幸治 (株) メムス・コア
11:50~12:00 閉会挨拶 末光眞希 東北大学

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、3C-SiC の低オン抵抗の利点と 4H-SiC の高耐圧の利点を組み合わせた 3C/4H ヘテロ構造パワーMOSFET の静特性考察を進めた。ACREO 社の Dr.Mietek Bakowski と議論しつつ、3C-SiC/4H-SiC 界面のバンドオフセットによる抵抗成分の算出と、その低減について考察を深めた結果、3C/4H の界面に $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 以上の高濃度ドナー層 ($0.1 \mu\text{m}$ 厚) を挿入することにより、順方向の電圧降下が 0.1V 以下に低減できることを見出した。また、3C/4H の界面構造を最適化し、電界緩和と電流密度向上を両立させるための接合配置を見出すことができた。

3C-SiC を 4H-SiC 上にエピタキシャル成長する際には、積層順序が定まらないことにより Double Positioning Boundary (DPB) が発生し、これが電氣的欠陥となり、半導体素子の特性を劣化させることが知られている。DPB の発生を抑制し、4H-SiC 基板上への 3C-SiC 積層順序を一義的に決定する手段とし

て、低温水素処理による SiC 表面の平滑化処理を試み、DPB 抑制の要となる原子ステップ端の極性統一を実現した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

これまで、SiC はディスクリート型パワー半導体素子の基板材料として注目されてきたが、結晶多形や異種材料とのヘテロ構造の物性と応用に注目した研究開発は系統的に行われてこなかった。これを実現しようとする本研究は端緒についたばかりであるが、先に述べた 3C/4H パワーMOSFET の実現性や、太陽光発電や水素生成などの再生可能エネルギー活用、あるいは高周波・バイオMEMS への展開など、潜在的な応用分野が多数残されていることが分かった。目的を一つとしつつも専門分野の異なる研究者を結びつけるための土台として本プロジェクトが機能し、今後の発展の礎となることを期待する。

特別支援 (国際) にかかる研究成果

具体的な招聘状況：2015. 11. 19-20 の通研共同プロジェクトに ACREO 社 (Sweden) の Dr.Mietek Bakowski を招聘し SiC パワー半導体素子と 3C/4H MOSFET の可能性について議論した。

[4] 成果資料

- [1] Kohei Yamasue, Hirokazu Fukidome, Kazutoshi Funakubo, Maki Suemitsu, and Yasuo Cho, "Interfacial Charge States in Graphene on SiC Studied by Noncontact Scanning Nonlinear Dielectric Potentiometry," Physical Review Letters, Vol. 114, 226103-1-5, 2015.
- [2] Sai Jiao, Yuya Murakami, Hiroyoki Nagasawa, Hirokazu Fukidome, Isao Makabe, Yasunori Tateno, Takashi Nakabayashi, and Maki Suemitsu, "High quality graphene formation on 3C-SiC/4H-AlN/Si heterostructure," Materials Science Forum, Vol. 806, No. , pp. 89-93, 2015.
- [3] Mika Hasegawa, Kenta Sugawara, Ryota Suto, Shota Sambonsuge, Yuden Teraoka, Akitaka Yoshigoe, Sergey Filimonov, Hirokazu Fukidome, Maki Suemitsu, "In Situ SR-XPS Observation of Ni-assisted Low-Temperature Formation of Epitaxial Graphene on 3C-SiC/Si," Nanoscale Research Letters(Nano express), Vol. 10, No. , pp. 421-426, 2015.
- [4] Hiroyoki Nagasawa, Ramya Gurunathan, Maki Suemitsu, "Controlling Planar Defects in 3C-SiC: Ways to Wake it up as a Practical Semiconductor," Materials Science Forum, Vol. 821-823, pp.108-114, 2015.
- [5] Shota Sambonsuge, Sai Jiao, Hiroyuki Nagasawa, Hirokazu Fukidome, Sergey N. Filimonov, Maki

- Suemitsu, "Formation of qualified epitaxial graphene on Si substrates using two-step heteroepitaxy of C-terminated 3C-SiC(-1-1-1) on Si(110)," *Diamond & Related Materials*, Vol. 67, pp. 51-53, 2016.
- [6] Shota Sambonsuge, Sai Jiao, Hiroyuki Nagasawa, Hirokazu Fukidome, Sergey Filimonov, and Maki Suemitsu, "Formation of qualified epitaxial graphene on Si substrates using two-step heteroepitaxy of C-terminated 3C-SiC(-1-1-1) on Si(110)," *Smart Engineering of New Materials 2015*, Lodz, Poland, June 22, 2015.
 - [7] Shota Sambonsuge, Shun Ito, Sai Jiao, Hiroyuki Nagasawa, Hirokazu Fukidome, Sergey Filimonov, and Maki Suemitsu, "Evaluations of crystal defects of 3C-SiC(-1-1-1) film on Si(110) substrate," *Smart Engineering of New Materials 2015*, Lodz, Poland, June 25, 2015.
 - [8] Maki Suemitsu, "Recent Progress in the Epitaxial Graphene Formation on 3C-SiC/Si Substrates (invited)," 2016 MRS Spring Meeting & Exhibit, Phoenix, US, March 31, 2016.
 - [9] 横山大、今泉京、吹留博一、吉越章隆、寺岡有殿、末光眞希 SPing-8/SACLA 利用研究成果集 3(2) (2015) p.356
 - [10] 末光眞希 「シリコン基板上のグラフェン薄膜成長」 グラフェンの機能と応用展望 (普及版) 第 12 章 シーエムシー出版 (2015)
 - [11] 長澤弘幸 「パワーエレクトロニクスの発展を担う SiC」 *CISTEC Journal* (安全保障貿易情報センター) 161 (2016) p. 99-116

採択回数	1	2	3
(先端・大型)			

採択番号 H27/B03

量子測定 of 物理と情報通信

[1] 組織

代表者：枝松 圭一
(東北大学電気通信研究所)

対応者：枝松 圭一
(東北大学電気通信研究所)

分担者：

小澤 正直
(名古屋大学大学院情報科学研究科)

井元 信之
(大阪大学大学院基礎工学研究科)

筒井 泉
(高エネルギー加速器研究機構)

福田 大治
(産業技術総合研究所計測標準部門)

仙場 浩一
(情報通信研究機構未来 ICT 研究所)

青木 隆朗
(早稲田大学理工学学術院)

飯沼 昌隆
(広島大学先端物質科学研究科)

飯沼 昌隆
(広島大学先端物質科学研究科)

鹿野 豊
(分子科学研究所協奏分子システム研究センター)

遊佐 剛
(東北大学大学院理科学研究科)

延べ参加人数：13 人

研究費：物件費 0 円，旅費 24 万 7 千円

[2] 研究経過

物理量の観測・測定は，自然科学において最も基本となる行為であるばかりでなく，情報通信における受信過程の基礎をなすものでもある。古典的には，対象系の状態を変化させずに物理量の正確な値を得る「理想測定」の存在を仮定するが，量子系に対す

る測定（量子測定）では，測定で得られる値は測定過程に依存して確率的に与えられるほか，測定過程が対象系に及ぼす反作用によって対象系の状態は変化するなど，その概念は古典的測定のそれとは大きく異なる。本研究では，量子測定における物理過程の基本的理解とその情報通信への応用に関して，物理，数学，工学，情報科学等の広い分野の研究者を集めて議論するとともに，大型プロジェクトの提案を目指した研究活動を展開した。

本プロジェクトは，本年度が初年度であった。以下に，本年度開催した研究会の概要を記す。

東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究 「量子測定 of 物理と情報通信」第 1 回研究会

【日時】平成 27 年 9 月 2 日（水）
10 時 30 分～17 時

【場所】東北大学電気通信研究所
本館 M209 セミナー室

【プログラム】

10:30 開会

10:45 小澤正直（名古屋大）「不確定性原理と量子暗号」

11:15 井元信之（大阪大）「弱測定・弱値・一般化量子測定理論を通じた量子論の本質解明」

11:45 筒井泉（KEK）「弱測定における擬確率」

12:15～13:30 昼食

13:30 越野和樹（東京医歯大）「超伝導マクロ量子状態・光子・スピンを用いた極限量子測定」

14:00 飯沼昌隆（広島大）「非可換物理量の連続測定」

14:30 枝松圭一（東北大）「量子ビットの測定における誤差と不確定性関係」

15:00～15:30 休憩・自由討論

15:30 鹿野豊（分子研）「弱測定による量子現象の可視化」

16:00 堀田昌寛（東北大）「半導体スピンドYNAMIX の極限量子測定から探る量子宇宙」

16:30 自由討論

17:00 閉会

(参加者 : 12 名)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度開催の研究会および参加者相互の議論を通して、量子測定 of 物理とその情報通信への応用に関する第一線の研究者による分野横断型ネットワークを構築し、大型プロジェクトの提案に向けた組織の基礎を形成することができた。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

今後、本プロジェクト研究の構成員が中心となり、科学研究費新学術領域、JST CREST 等の大型プロジェクトへの申請や、量子測定に関する国際会議、日本物理学会へのシンポジウム提案等を検討している、本プロジェクトにより、学内外の第一線の研究者との交流が飛躍的に活性化することが期待される。

[4] 成果資料

1. Kazuya Okamura and Masanao Ozawa, Measurement Theory in Local Quantum Physics, *Journal of Mathematical Physics* **57**, 015209/1-015209/29 (2016)
2. Georg Sulyok, Stephan Sponar, Bulent Demirel, Francesco Buscemi, Michael J. W. Hall, Masanao Ozawa, and Yuji Hasegawa, Experimental Test of Entropic Noise-Disturbance Uncertainty Relations for Spin-1/2 Measurements, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 030401/1-030401/5 (2015)
3. Motoki Asano, Muriel Bechu, Mark Tame, Şahin Kaya Özdemir, Rikizo Ikuta, Durdu Ö. Güney, Takashi Yamamoto, Lan Yang, Martin Wegener & Nobuyuki Imoto, Distillation of photon entanglement using a plasmonic metamaterial, *Scientific Reports* **5**, 18313 (2015)
4. Takuya Mori and Izumi Tsutsui, Quantum Trajectories based on the Weak Value, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2015**, 043A01 (2015)
5. Jaeha Lee and Izumi Tsutsui, Uncertainty Relations for Approximation and Estimation, *Phys. Lett. A*, to appear
6. K. Semba, F. Yoshihara, J. E. S. Johansson, X. Zhu, N. Mizuochi, William J. Munro, S. Saito, K. Kakuyanagi, and Y. Matsuzaki, Superconductor-Diamond Hybrid Quantum System, *Principles and Methods of Quantum Information Technologies*, Springer, Lecture Notes in Physics **911**, Eds. Y. Yamamoto & K. Semba, 515-538 (2015)
7. K. Kakuyanagi, T. Baba, Y. Matsuzaki, H. Nakano, S. Saito and K. Semba, Observation of quantum Zeno effect in a superconducting flux qubit, *New J. Phys.* **17**, 063035 (2015)
8. S. Kato and T. Aoki, Strong Coupling between a Trapped Single Atom and an All-Fiber Cavity, *Phys. Rev. Lett.* **115**, 093603 (2015)
9. M. Inuma, Y. Suzuki, T. Nii, R. Kinoshita, and H. F. Hofmann, Experimental evaluation of nonclassical correlations between measurement outcomes and target observable in a quantum measurement, *Phys. Rev. A* **93**, 032104 (2016)
10. Yusuf Turek, Hirokazu Kobayashi, Tomotada Akutsu, Chang-Pu Sun, Yutaka Shikano, Post-selected von Neumann measurement with Hermite-Gaussian and Laguerre-Gaussian pointer states, *New J. Phys.* **17**, 083029 (2015)
11. Yusuf Turek, W. Maimaiti, Yutaka Shikano, Chang-Pu Sun, M. Al-Amri, Advantages of nonclassical pointer states in postselected weak measurements, *Phys. Rev. A* **92**, 022109 (2015)
12. M. Hotta, The fall of the black hole firewall: natural nonmaximal entanglement for the Page curve, *Prog. Theor. Exp. Phys.* **2015** (12), 123B04 (2015)
13. A. Miranowicz, S. K. Özdemir, J. Bajer, G. Yusa, N. Imoto, Y. Hirayama, F. Nori, Quantum state tomography of large nuclear spins in a semiconductor quantum well: Optimal robustness against errors as quantified by condition numbers, *Phys. Rev. B* **92**, 075312 (2015)
14. K. Edamatsu, Measurement uncertainty relations in qubits (invited), The 6th Conference on Quantum Information and Quantum Control, Toronto, Canada (2015)

採択回数	①	2	3
(先端)			

採択番号 H27/B04

固体中のスピン・ダイナミクスの物理と応用

[1] 組織

代表者：松倉 文礼

(東北大学原子分子材料科学高等研究機構)

対応者：金井 駿

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

家田 淳一 (日本原子力開発機構)

大江 純一郎 (東邦大学)

大野 英男 (東北大学)

齋藤 英治 (東北大学)

高梨 弘毅 (東北大学)

多々良 源 (理化学研究所)

仲谷 栄伸 (電気通信大学)

新田 淳作 (東北大学)

林 将光 (物質・材料研究機構)

水上 成美 (東北大学)

宗片 比呂夫 (東京工業大学)

山田 啓介 (電気通信大学)

延べ参加人数：23 人

研究費：旅費 11 万 8 千円

[2] 研究経過

固体中のスピン・ダイナミクスの理解を深め、それを利用した素子の実用化に対する指針を明らかにすべく活発に議論を行っている。

スピン・ダイナミクスは様々な手法で誘起・制御・検出可能である。従来の磁気的な手法だけではなく、電気的、熱的、機械的手法を駆使したスピン・ダイナミクスの研究が進められている。対象となる材料も、絶縁体、半導体、金属、トポロジカル絶縁体と多彩である。スピン・ダイナミクスを幅広い周波数で動作する素子に応用するための研究を加速するためには、その物理を明らかにすることが重要である。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。多角的視点から最新の研究内容を議論すべく、実験・計算・理論に携わる理学者・工学者で研究体制を構築した。

第一回の研究会を2015年12月2日に東北大学電気通信研究所で開催した。講演者と講演題目は、

1. 大江純一郎 (東邦大学)

「磁気超格子におけるカイラルエッジスピン波」

2. 水上成美 (東北大学)

「顕微鏡下のレーザー励起スピン波ダイナミクス」

3. 横井直人 (東北大学)

「ホログラフィック双対性のスピンダイナミクスへの応用に向けて」

4. 多々良源 (理化学研究所)

「Rashba 系の異常な光学特性」

5. 好田誠 (東北大学)

「AlGaAs/GaAs ヘテロ構造におけるスピン拡散を用いたスピン軌道相互作用の全光検出」

6. 金井駿 (東北大学)

「磁気異方性の電界制御によるスピン・ダイナミクスの励起」

7. 山田啓介 (電気通信大学)

「スピン注入磁化反転における反転電流の損失定数依存性」

8. 林将光 (物質・材料研究機構)

「遷移金属超薄膜におけるスピン伝導」

であり、基礎物理から応用までを網羅した幅広い話

題に対して活発に議論が行われた。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

電気的手法、光学的手法によるスピン・ダイナミクスの励起と検出についての最新の情報を共有することができた。スピン現象の観測を通して、物質中のスピン-軌道相互作用やジャロシンスキー-守谷相互作用の定量的評価が可能となっている。また、微細スピントロニクス素子の動作特性を決める材料・構造パラメータ、超低消費エネルギー動作を実現するための課題を明らかにした。理論的研究からは二次元磁気超格子構造におけるトポロジカル・スピン波端モード、磁気ラッシュバ系における光の伝搬方向に依存する二色性などの新しい物理現象の可能性が提案された。これらの実験的実証が待たれる。また磁気相転移を例に、ホログラフィック双対性のスピン・ダイナミクスへの応用に関する議論を行った。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

スピン・ダイナミクスに関連する様々な新規現象の理解、それを効率良く利用できる材料・構造の作製指針、素子の設計指針、その応用に向けた戦略が得られることが期待される。本共同プロジェクトの研究會により最新の研究動向を把握・理解することで研究の加速化を図り、世界的に競争の激しい分野での日本の優位性を維持する。

[4] 成果資料

(1) L. Chen, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field modulation of damping constant in a ferromagnetic semiconductor (Ga, Mn)As," *Phys. Rev. Lett.* **115**, 057204 (2015).

(2) E. Hirayama, S. Kanai, J. Ohe, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field induced nonlinear ferromagnetic resonance in a CoFeB/MgO magnetic tunnel junction," *Appl. Phys. Lett.* **107**, 132404 (2015).

(3) A. Okada, Y. Hashimoto, S. Kanai, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric-field dependence of magnetic anisotropy and damping constant in Ta/CoFeB/MgO structures," 8th International Conference on Materials for Advanced Technologies of the Materials Research Society of Singapore & IUMS-International

Conference in Asia, June 28-July 2, 2015.

(4) S. Kanai, M. Gajek, D. C. Worledge, F. Matsukura, and H. Ohno, "dc-bias dependence of ferromagnetic resonance spectra of CoFeB-MgO based magnetic tunnel junction," 8th International School & Conference on Spintronics and Quantum Information Technology, Basel, Switzerland, August 10-13, 2015.

(5) S. Kanai, Y. Nakatani, H. Sato, F. Matsukura, and H. Ohno, "Electric field control of magnetism and magnetization switching in CoFeB-MgO," 13th MMM-Intermag Conference, San Diego, USA, January 11-15, 2016.

(6) 金井駿, 仲谷栄伸, 岡田篤, 佐藤英夫, 松倉文礼, 大野英男, "強磁性の電界制御とその記録素子応用," 第20回半導体におけるスピン工学の基礎と応用(東北大学, 2015年12月3, 4日).

(7) 岡田篤, 橋本祥斉, 金井駿, 松倉文礼, 大野英男, "Ta/CoFeB/MgO 構造における磁気異方性とダンピング定数の電界制御," 第20回半導体におけるスピン工学の基礎と応用(東北大学, 2015年12月3, 4日).

(8) 平山絵里子, 金井駿, 大江純一郎, 佐藤英夫, 松倉文礼, 大野英男, "CoFeB/MgO 垂直磁化容易磁気トンネル接合における電計誘起非線形強磁性共鳴," 第20回半導体におけるスピン工学の基礎と応用(東北大学, 2015年12月3, 4日).

採択番号 H27/B05

無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法に関する研究

[1] 組織

代表者：山口 正洋
(東北大学大学院工学研究科)

対応者：石山 和志
(東北大学電気通信研究所)

分担者：田中 聡, 宮澤 安範, 西澤 真裕
(東北大学未来科学技術共同研究センター)

サイ ラナジット, 遠藤 恭
(東北大学大学院工学研究科)

青木 英恵
(東北大学国際高等研究教育機構)

松木 英敏
(東北大学大学院医工学研究所)

佐藤 光晴, 坂中 靖志
(東北大学電気通信研究所)

室賀 翔 (豊田高専)

永田 真 (神戸大学)

和田 修己 (京都大学)

益 一哉 (東京工業大学)

佐藤 敏郎 (信州大学)

松本 泰 (情報通信研究機構)

中居 倫夫 (宮城県産業技術総合センター)

大西 輝夫
(NTT ドコモ先進技術研究所)

長澤 信介, 沖米田恭之
(昭和飛行機工業)

近藤 幸一, 高橋 昭博
(NEC トーキン)

小西 泰司, 金澤 裕幸(ネオアーク)

延べ参加人数：25 人

研究費：旅費 2 万 1 千円

[2] 研究経過

移動体通信のトラヒックは今後も急速な拡大が予測され、広帯域の周波数を確保するため、2020 年頃には、SHF 帯(3～30GHz)に及ぶ更に高い周波数への移行が予想されている。一方で、2020 年前後には、

SiC や GaN 等の高速パワーデバイスとそれを用いたインバータ機器やワイヤレス電力伝送システム(WPT)等の新たな電波利用機器の普及が見込まれる等、外来ノイズの増加が懸念されている。家庭や車内のように家電製品や電子機器等が稠密に設置された環境では、スイッチングノイズが SHF 帯まで及ぶ恐れがあり、これが将来の移動通信システムの安定な運用を阻害する大きな脅威となり得ると考えられる。

本研究会では、700MHz から 6GHz までの周波数を対象とし、外来ノイズから無線設備の安定的な運用を確保するために必要な電波環境改善技術の実現に資することを念頭に、無線通信端末性能への広帯域不要電波の影響評価法を提案することを目的とし、併せて予算獲得に努めた。

以下、研究活動状況の概要を記す。

4 月 22 日、東北大、神戸大、NEC トーキンおよび昭和飛行機の関係者が参集し(東京)、本研究開発に掛かる問題意識を共有し、具体的な研究テーマとして 4 項目を決め、計画と分担を協議した。本共同プロジェクト研究の推進には、本ページ左欄の大学、公的機関、および企業の分担者とともに組織を構築構築した。大型プロジェクト研究の応募先として、総務省電波利用料制度による電波資源拡大のための研究開発を選び、4 月 28 日に応募書類を提出した。

5 月 18 日(仙台)、5 月 22 日(東京)、6 月 5 日(東京)、6 月 13 日(神戸)、6 月 15～16 日(東京)、7 月 2 日(東京)、7 月 21 日(仙台)、7 月 28～29 日(神戸)、および 8 月 28 日(仙台)に、個別テーマについて関係者間で研究討論会ならびに共同研究実施に向けた準備協議を行った。

8 月 31 日、総務省電波利用料制度 R&D による研究開発を受託できた。このため本共同プロジェクト研究会は、その推進のバックボーンとして、国際競争力の強化および国際標準への提案準備活動を含め、より広範囲の研究開発を行うこととし、9 月 30 日(東京)、10 月 20 日(東京、全員)、11 月 28～30 日(仙台)、12 月 29～30 日(仙台)、2 月 18 日(東京、全員)、および 2 月 23～24 日(仙台)に個別テーマについて関係者間で研究討論会を行った。3 月 10～11 日(仙台)

には、東北大、神戸大、NEC トーキンおよび昭和飛行機の関係者が参集して研究発表会を行うとともに、本共同プロジェクトと総務省受託研究との切り分けについて再確認を行った。

[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。

まず第1に、家庭や車内のように家電製品や電子機器等が稠密に設置された環境において、SHF 帯まで及ぶスイッチングノイズが将来の移動通信システムの安定な運用を阻害する大きな脅威となり得る事例を収集できた。

第2に、本共同プロジェクト研究会の目指す研究テーマとして、つぎの5点を整理できた。(ア) 任意の周波数帯のノイズ耐性の向上と受信感度の低下を防護するフィルタリング技術、(イ) 送信設備等のスイッチング電源機器が発する高調波雑音の影響を任意の周波数帯で抑制するフィルタリング技術、(ウ) 被測定対象周辺の電磁環境の攪乱を発生させることなく、周辺の磁界分布を詳細に測定する近傍磁界測定技術、(エ) ノイズ低減対策効果の評価環境の構築及びスプリアスの発生と低減を定量的かつ動的に評価する電波環境評価技術、(オ) 以上ア～エの広範な技術を効果的に融合し、相乗効果を上げるための総合的指針構築。

第3に、研究テーマ (ア) ～ (オ) について、以下のように具体的な基礎的成果を得ることができた；(ア) 磁性体の強磁性共鳴損失を利用して、第3～第5世代携帯電話システムの無線通信帯域内において Si チップまたは IC インタポーザ上で伝導ノイズを抑制可能であり、より有効にノイズを抑制するための方法を具体化できたこと、(イ) インバータ機器等から発射される電磁妨害波を低減させるための新しい材料技術とその開発指針を明示できたこと、(ウ) 無線通信端末性能への広帯域不要電波を低い侵襲性を担保しつつ広帯域で影響評価可能な方法として光磁気結晶に注目し 6GHz の高周波まで磁界検出が可能であることを見出したこと、(エ) 電気自動車用ワイヤレス給電装置を対象とした広帯域スイッチングノイズテストベンチを開発するとともに、Band 1 (2110～2170 MHz、LTE および LTE-A 等の代表的受信帯域) における最小受信感度を 3GPP 規定の -100dBm の微弱入力レベルまで評価可能な不要電波の影響評価が可能となったこと。

とくに、高速スイッチング素子を用いたインバータ機器から発射される電磁妨害波は、CISPR11 等で規定された許容値を満足する一方で、インバータ機器と無線通信機器が稠密に配置された電波環境

においては、無線通信性能を劣化させる場合があることを明らかにできたことは、従来、専門家の間でもほとんど認識されていなかった重要な成果である。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

(波及効果と発展性)

(1) 測定誤差の原因となる被測定対象周辺の電磁環境の攪乱を発生させることなく、6GHz までの近傍電磁界を高空間分解能で測定可能とする技術を提案できる。

(2) 無線設備に搭載する電源装置等からの高域にわたる放射雑音 (スイッチングノイズ)、及び雑音源近傍にある移動通信を行う無線局の受信部に侵入する不要電波を、電波暗室の内部空間および時間軸上で広範に記録し、スプリアスの発生と低減を定量的かつ動的に評価する手法を提案できる。

(3) SHF 帯の漏えい電波が少なく今後普及が見込まれる同周波数帯の無線システムと問題なく共用できる高速スイッチング素子によるインバータ回路および機器の設計技術を提案できる。

(4) 国際競争力の強化を実現するため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動に貢献できる。

(研究分野への貢献)

次の大型プロジェクトに繋がった。

- ・プロジェクト名：不要電波の広帯域化に対応した電波環境改善技術の研究開発
- ・資金制度、研究費名：電波利用料制度、電波資源拡大のための研究開発
- ・配分機関名：総務省
- ・研究期間：平成 27 年 8 月 31 日～平成 31 年 3 月 31 日 (予定)

[4] 成果資料

【学術論文】

[1] Jingyan Ma, Hanae Aoki, Masahiro Yamaguchi, “Analysis of Multilayered Co-Zr-Nb Film On-Chip Noise Suppressor as a Function of Resistivity and Permeability,” IEEE Magnetics Letters (2016 in press).

【国際会議における招待講演】

[1] Masahiro Yamaguchi, “Analysis and control of Intra Digital Noise Coupling on RF IC - Application of soft magnetic film to improve LTE-class telecommunication performance-,” Frontier of Spintronics and Magnetic Sensing Workshop, May 11, 2015, Beijing, China.

[2] Masahiro Yamaguchi, “RF IC Chip Level Digital Noise Analysis and Countermeasure for Near-Future Telecommunication Systems (Plenary),” IEEE MTT-S

International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT) 2015, August 26, 2015, Sendai, Japan.

[3] Masahiro Yamaguchi, “Broadband permeability and FMR spectra of RF soft magnetic materials for IoT applications,” IURMS-ICAM 2015, IV-1Th3F2-1 (IS), October 27, 2015,

[4] S. Yoshida, T. Igarashi, K. Kondo, T. Oka and Y. Shimada, “Permeability Spectra and Advanced Applications of the Noise Suppression Sheet”, XA-02 (Invited), 13th Joint MMM-Intermag Conference, San Diego, 2016 (2016 年 1 月 12 日).

[5] M. Yamaguchi, S. Tanaka, Jingyan Ma, Y. Miyazawa, M. Nagata, K. Kondo, Y. Okiyoneda, M. Nishizawa, “SiP Packaging-Compatible Magnetic Thin-Film Noise Suppressor to Countermeasure Digital Noise from Power Electronics Devices,” 7th Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility & Signal Integrity (APEMC 2016), TH-AM-II-TS02-1, May 19, 2016, Shenzhen, China, to be presented.

[6] Masahiro Yamaguchi, Satoshi Tanaka, Jingyan Ma, Yasunori Miyazawa, Makoto Nagata, Koichi Kondo, Yasuyuki Okiyoneda, Masahiro Nishizawa, “On-chip Magnetic Thin-Film Noise Suppressor to Countermeasure Digital Noise from Switching Power Electronic Equipment,” The 4th International Conference of Asian Union of Magnetism Societies (IcAUMS 2016), BC-02, August 2, 2016, Tainan, Taiwan, to be presented.

【査読付き国際会議論文】

[1] Masahiro Yamaguchi, Satoshi Tanaka, Yasushi Endo, Sho Muroga, Makoto Nagata, “On-chip Integrated Magnetic Thin-Film Solution to Countermeasure Digital Noise on RF IC,” 2015 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC 2015), SS10.5 (May 27, 2015, Taipei, Taiwan).

【口頭発表】

[1] Hanae Aoki-kijima, Ma Jingyan, Hiroshi Masumoto and Masahiro Yamaguchi, “Radiated Noise Suppression Effects of Multilayered Soft Magnetic (Co-AlN)/(AlN) Films,” Eighth 2015 Korea-Japan Joint Conference on EMT/EMC/BE (KJJC-2015), P-26, (2015 年 11 月 23 日)

[2] Jingyan Ma, Hanae, Aoki, Yasunori Miyazawa, Masahiro, Yamaguchi., “Effect of Conductive and Inductive Noise Suppression of Magnetic Film through Electromagnetic Analysis,” Eighth 2015 Korea-Japan Joint Conference on EMT/EMC/BE (KJJC-2015), P-13, (2015 年 11 月 23 日).

[3] Ranajit Sai, Yasushi Endo, Hanae Aoki, Masahiro Yamaguchi, Shigeru Takeda, Kosuke Kusunoki, Shin Yabukami, Hiroshi Yamada, “Investigation of Co- and Ti-substituted Sr-based M-type hexaferrite for the

applications in X-band devices”, 電気学会マグネティックス研究会 MAG-15-169 (2015 年 11 月 26 日)

[4] 山口正洋, “磁性体による無線通信用 RFIC チップレベルの低ノイズ化技術 (特別講演)”, 電子情報通信学会環境電磁工学研究会 (EMCJ) EMCJ2015-101 (2015 年 12 月 18 日)

[5] 石山和志, “磁気光学結晶を利用した高周波磁界計測”, 電子情報通信学会光応用電磁界計測研究会 (2016 年 1 月 28 日)

[6] 青木英恵, 山口正洋, “超小型スパイラルアンテナの放射特性の実験的評価”, 電子情報通信学会総大会 B-1-81 (2016 年 3 月 15 -18 日予定)

[7] 上坂純平, 小西秀人, 田中聡, 山口正洋, 永田真, “IC チップにおけるオンチップノイズと電磁ノイズの観測と評価”, 電気学会電磁環境研究会 EMC-16-014 (2016 年 3 月 22 日)

【関連発表】

[1] 山口正洋, 青木英恵, 宮澤安範, “モバイルグリーン IT デバイスの研究開発 (スイッチングノイズ環境下における 5G 等の無線通信機器の性能確保)”, 東北大学イノベーションフェア 2015 (2015 年 12 月 9 日)

[2] 山口正洋, “モバイルグリーン IT デバイスの研究開発 (スイッチングノイズ環境下における 5G 等の無線通信機器の性能確保)”, 東北大学 電気・情報 東京フォーラム 2015 (2015 年 11 月 25 日)

[3] 山口正洋, 佐藤光晴, “不要電磁波の広帯域化に対応した電波環境改善技術の研究開発”, 東北大学電気通信研究所情報通信共同研究拠点平成 27 年度共同プロジェクト研究発表会 (2016 年 2 月 25 日)

【受賞】

[1] Best Paper Award, The 2015 Asia-Pacific International EMC Symposium and Exhibition (APEMC2015), Masahiro Yamaguchi, Satoshi Tanaka, Yasushi Endo, Sho Muroga, Makoto Nagata, “On-chip Integrated Magnetic Thin-Film Solution to Countermeasure Digital Noise on RF IC,” 2015 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC 2015), SS10.5 (May 27th, 2015, Taipei, Taiwan).

[2] Best Student Poster, Award, Eighth 2015 Korea-Japan Joint Conference on EMT/EMC/BE (KJJC-2015), P-13, “Effect of Conductive and Inductive Noise Suppression of Magnetic Film through Electromagnetic Analysis,” Jingyan Ma, Hanae, Aoki, Yasunori Miyazawa, Masahiro, Yamaguchi (2015 年 11 月 23 日).

採択番号 H27/B06

科学の客観性と人間性との調和を目指す

科学教育のあり方と実施方法

[1]組織(延べ人数 18 名)

代表者:

津田一郎(北海道大学理学研究院)

対応者:

大野英男(東北大学電気通信研究所長)

分担者: 高草木 薫(旭川医科大学脳機能医
工学研究センター)

坂上雅道(玉川大学脳科学研究所)

片山統裕(東北大学情報科学研究科)

櫛田孝司(大阪大学理学研究科)

桜井芳雄(同志社大学脳科学研究科)

沢田康次(東北大学高等研究教育院)

池上高志(東京大学総合文化研究科)

多賀巖太郎(東京大学教育学研究科)

島海光弘(東京大学 J A M S T E C)

中小路久美代(京都大学)

野家啓一(東北大学文学研究科)

大澤真幸(社会学者)

矢野雅文(東北大学電気通信研究所)

大堀淳(東北大学電気通信研究所)

外山芳人(東北大学電気通信研究所)

松宮一道(東北大学電気通信研究所)

旅費の配分額 252,000 円

[2]研究経過

1. 第1回研究会

第1回目の研究会において自然科学・社会科学・人文科学が内包する課題とその教育方法の問題点について総合的且つ根本的な討論を行い、問題点の共有を図った。

日時; H27 年 7 月 9 日(木) - 10 日(金)

場所; 東北大学電気通信研究所本館小会議
室(M609)

2. 第2回研究会

第2回目の研究会では、進化の過程でヒトが獲得した脳の構造と機能の特徴に関する現代脳科学をサーベイし、問題点のフォーカスを試みた。

日時; H28 年 2 月 1 日(月) - 2 日(火)

場所; 東北大学電気通信研究所本館小会議
室(M609)

[3]成果

(3-1. 研究成果; 問題点フォーカスへの試み) 本研究は、現代社会が直面している人類の sustainability 問題の原因を科学的に突きとめ、科学教育の改善を探ろうとする萌芽的研究であるので、まず重要なことは、研究会での議論に対してメンバー個人・個人の志向がどの程度共通しているか、どこに差異があるかを明確にすることであるので以下のアンケートを実施した。

[アンケート項目]

Q 1. 「外部知識の内部化」

ヒトは、外部情報の一部を取り入れる。一部なので、それ自身だけでは論理は閉じていない。モデルになっていない。そのプロセスを何度も繰り返すことによって、不足分を自分で補い、内部に完結したダイナミックスまたは静的世界を作る。自己完結モデルである。自然に自己完結したモデルはありえないことは、たとえば現在の素粒子論を見ても明らかである。しかし、ある段階において、ニュートンの時代、アインシュタインの時代など、ほぼ自己完結したかに見えるモデルが作られることがあるように、個人の行動選択においても、評判は悪いが「想定内モデル」が作られる。外部の変化に即座に対応するためには、「外部知識の内部化」が必要である。

Q 2. 「行動経済学」

ヒトの行動形態は「正しいと考える理想や原理に従って行動するより、身近の環境・情報の持つ短期的価値にしたがって行動する方がはるかに多い(D. Ariely)」。実際、“便利”は良く見えるので採用するが、その持つ長期的影響にはほとんど意を払わない。これが、人類・地球環境のSustainabilityに疑問が投げかけられている原因である。

Q 3. 「脳科学の社会への関わり」

意思決定・行動選択のメカニズムがneuro-economicsのターゲットとして研究されている。大脳新皮質が他の動物に比して異常に大きいことは良く知られている。これは、ヒトが抽象的思考が可能になったり、科学技術を生み出すための不可欠な要素としてポジティブに評価されてきた。しかし、何故ヒトは行動経済学のいうようにバラン

スを欠いているのか？ヒトの行動決定がその脳の構造に原因があることを明らかにできれば、科学的事実として、ヒトの脳構造が問題を含んでいることを警告することができ、それを補う社会的文化的方法の模索を推進でき、その教育方法を開発できる。

Q 4. 「工学的モデル」

Google社の α -GoはDeep Learningの応用でプロ棋士を連覇して騒がれている。これは、特に新しいというわけではないが中間層に工夫を入れた多層ネットワークで、相手の着手に対して、次々と先を論理的に読むのではなく、過去の多くの棋譜を学習してその中から勝率の高い着手を選ぶので、「直感型」といえる。ニューラルネットの処理はほぼすべて「直感型」であることは興味深い。従来型の論理演算を行うフォンノイマン型の計算とは違う方式として提案されたゆえんである。

Q 5. 「脳のシステム論に向けて」

3. 「脳科学の社会への関わり」に近づくために、ひとつのシステム論を提言する。

ある複雑なシステムの理解には極論すると二つの理解方法があると考える。

第一、(以後Pと呼ぶ)は、複数個の比較的単純な部分を複数人が分担して、理解・管理して、その一部や全体に問題が発生したとき、その複数の管理者が相談して解決するか、全体の責任者が判断しそれにしたがって解決する。

第二、(以後Tと呼ぶ)は、全体を一人が全部理解していて、どんな問題も一人で解決する。Pの方法でも、部分的には一人で管理する点ではTの方式と同じで、結局システムのサイズと個人の理解能力の相対関係である。Pが可能であるためには、全体の

システムの中の部分が弱結合で、比較的分離しやすいことが条件である。しかも、相談しなければならないので対応に時間がかかる。

Tが可能であるためにはシステムサイズとヒトの能力の比が問題となる。Pは処理を実行するまでに相談しなければならないが、相談事項は確実性のため記録が残る。相談項目が記録に残るので、客観的・知的・意識的といえる。Tは処理を実行するまで一人の内部で処理されるので、記録に残らず主観的・直感的無意識的といえる。

Q 6. 「実験脳科学」

脳の内部にも同様にPモードとTモードが存在する。認知行動科学的に見れば、学習はPモードから始まる。簡単なシステムの場合は、そんなに時間を掛けなくてもTモードに移行する。例1) 暗算の初期はPモード、熟練期はTモード。例2) スポーツも初心者にはPモード、熟練者はTモードただし、わが国の伝統的武芸の教育方法は最初からTモードであることは興味深い。言葉で表現しないで最初から師範は行動で見せる。

またPモードのことを知的理解と言い、Tモードを身体的理解というのは、なぜか？身体は時間計測ができることが大きな要素になっている。元来、外の世界の急激な動きから身体の危険を守るために身体のすばやい運動と連携するTモードが作られた。Pモードはどのくらい速いか遅いかを計測しない。スポーツや暗算で訓練によってPモードからTモードに移行するのは自然に移行するのではなく報酬予測があるからである。科学知識もTモードに移行させるには報酬予測が必要かもしれない。

工学的に脳モデルを作るためには、フォンノイマン型と多層型ネットワークの結合にするのが一番自然かも知れない。ヒトやサル脳内では、①Pモード、Tモードなる分類が可能であるか？ ②もし可能であればその二つのモードを担当している部位はどこか？またはどことどことの連携か？

(3-2) 結果と今後の発展性

アンケートに対するメンバーの意見分布 (A: ほぼ賛成、B: 一部賛成一部疑問、C: 今の段階で判断できない。回答者10名)
Q1: A7, B3, C0. Q2: A7, B2, C1. Q3: A5, B2, C3.
Q4: A8, B1, C1, Q5: A8, B0, C2. Q6: A4, B3, C3

初年度2回の研究会によって、メンバー間の意見の交換を行い、また研究会後のアンケートにより、本萌芽研究の進むべき方向性を確認できた。

[4] 成果資料

(1) Ichiro Tsuda, Yutaka Yamaguti and Hiroshi Watanabe, Self-Organization with Constraints—A Mathematical Model for Functional Differentiation. *Entropy* 2016, 18, 74; doi:10.3390/e18030074 2.

(2) 野家啓一, 『反自然主義』としてのプラグマティズム, 『現代思想』第43巻第11号 2015年7月、(3) Matsuda Y, Ogawa M,

Yano M, Shape retrieval with geometrically characterized contour partitions. *IEEE Access* (2016, in press)、

(4) Representation of economic preferences in the structure and function of the amygdala and prefrontal cortex, M. Sakagami et.al., *Scientific Reports on line*, 2016.2.15 (スペースがないので以下省略) 以上

採択回数	1	2	3
(大型・国際)			

採択番号 H27B07

脳内の並列情報処理

〔1〕組織

代表者： 筒井健一郎
 （東北大学生命科学研究科）
 対応者： 塩入 諭
 （東北大学電気通信研究所）

分担者：

酒井 宏（筑波大学）
 西田真也（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）
 村上郁也（東京大学）
 宇賀貴紀（順天堂大学）
 河原純一郎（北海道大学）
 田中真樹（北海道大学）
 一川 誠（千葉大学）
 吉田正俊（生理学研究所）
 富田浩史（岩手大学）
 金子寛彦（東京工業大学）
 齋木 潤（京都大学）
 小川 正（京都大学）
 渡邊克己（早稲田大学）
 七五三木聡（大阪大学）
 佐藤暢哉（関西学院大学）
 鮫島和行（玉川大学）
 行場次朗（東北大学）
 大内田裕（東北大学）
 栗木一郎（東北大学）
 松宮一道（東北大学）
 河邊隆寛（NTT コミュニケーション科学基礎研究所）
 櫻井研三（東北学院大学）
 大木 紫（杏林大学）
 村田 哲（近畿大学）
 下條信輔（California Institute of Technology）
 David Whitney（University of California, Berkeley）
 Lester C. Loschky（Kansas State University）
 Sheng He（University of Minnesota）

延べ参加人数：上記 27 人と研究会参観者を含めて述べ 60 名

研究費：旅費 25 万 5 千円
 国際特別支援費 30 万円、

〔2〕研究経過

人間の情報処理機構を理解する事は、今後の情報通信技術の発展にとって必要不可欠である。例えば、インターネットの発達は、多くの人に恩恵をもたらしたが、新しい技術の発達は必ずしも人に使いやすいものではないし、また利用できない人を排除する傾向も生み出している。そのような環境の中で、より人間性豊かな社会を作り出すためには、人間の脳機能を理解しその特性に合わせた技術を確立することが必要である。一方、脳機能の理解のためには、生理学、心理学、情報科学、工学、生物学、医学など多岐にわたる分野で様々なアプローチにより研究が進んでいる。それぞれの分野での研究の発展はめざましいものがあるが、脳機能の全体的理解からその応用までを考えると、分野をまたぐ情報交換や共同研究の重要性は明らかである。特に情報通信技術においては、人間と情報端末を総体として捉える視点から、脳機能の理解することが重要である。本プロジェクトでは、意識的処理／無意識的処理、トップダウン／ボトムアップ、さらには正常／鬱状態などの脳内の並列処理に着目し、将来の情報環境とのインターフェース技術も含めた検討を行う。

本プロジェクトは国際共同研究推進型であり、複数の海外の研究者を招聘し、講演会を企画した。平成 27 年 9 月 25 日、26 日に「脳内の並列情報処理」研究会を開催した他、平成 27 年 8 月 10 日には、カンザス州立大学のロシュキー（Lester C. Loschky）教授、カリフォルニア大学バークレー校のウィットニー（David Whitney）教授を招き、講演会を企画、平成 28 年 2 月 27 日には、ミネソタ大学の何教授（Sheng He）と研究打合せを行った。それらの企画にはプロジェクトメンバー、インターネット参加者も含めてのべ 60 名であった。

〔3〕成果

（3-1）研究成果

以下に研究会において議論した各テーマについて、その概要を記す。

1. Are All Divisions of Attention Equal? Auditory

versus Foveal Dual Tasking Results in Different Changes to the Useful Field of View

注意を他に割かれることにより、視野周辺の視覚処理能力は劣化し、有効視野が狭まる。聴覚刺激の課題に関しても、有効視野への影響の報告もあるが、中心視課題と直接的に比較することは困難である。と注意深く課題の難易を超世いることで、中心視課題と聴覚課題の有効視野への影響を比較し、中心視課題によるより顕著な影響を明らかにした。

2. The Continuity Field (CF): a mechanism for perceptual stability via serial dependence

連続する課題を行うと、数秒間の間隔を持つ異なる試行間でも刺激の間に影響が見られるとの発見が報告された。同一のオブジェクトとして認識される対象は、数秒にわたり脳内に保存され、その効果が次の刺激の処理に影響する。その影響は同一位置の刺激である必要はなく、また注意を向けることによる促進効果もある。この現象の機序や機能については、今後の検討課題であるが、従来考えられていた視覚処理よりもずっと長期に亘る統合処理の存在を示唆する。

3. 視覚の身体性と行動空間への注意

行動のための視覚処理の重要性が指摘されているが、そのためには体性感覚など触覚や身体運動と視覚の協調的認識が不可欠である。身体近傍における処理の促進効果として、身体随伴性注意（あるいは身体性注意）の存在が指摘されているが、どのような感覚情報がその基礎にあるかは明らかにされていない。身体性を表現する感覚として体性感覚のみによって、視覚的注意効果が得られることを示すために、視覚刺激をとみなさない体性感覚刺激による手の位置情報を制御し注意効果の測定が報告された。その結果、体性感覚のみによる手の位置が、注意を誘導することが明らかにされた。

4. 柔軟な知覚判断の神経基盤

知覚に基づく判断をし、それを報告するためには、知覚内容の確認と報告方法の関連付けをする脳処理が必要である。サルを用いた実験では、呈示された視覚刺激が右に動いた場合には、視線を上に向けるなどの訓練を行い、行動実験中の関連部位の神経細胞の応答を計測することができる。異なる知覚（運動方向と奥行方向）を混合した実験条件を行うと、視野（MT 野）の神経細胞は知覚内容に対応した反応を示すのに対して、前頭前野の神経活動は判断（視線の運動方向）に対応する反応を示す。両者の間に知覚情報を判断に翻訳する神経過程が存在することを示す。

5. ポストディクシオンと知覚意識

ポストディクシオン（後付け再構成）とは、物理

的な時間順序とは異なる主観的な時間順序に基づく知覚、認識過程を指す。これまでの知覚、認識研究において様々な例が知られている。その現象にシーンの理解（視覚文脈）が大きな影響を及ぼすことを示す、追従眼球運動中のフラッシュ刺激の位置に関する錯視について報告がある。この錯視は、左右に運動する視覚刺激を追従中にその直下にフラッシュ刺激を呈示した場合、フラッシュ刺激が運動方向にずれて見える現象である（フラッシュ刺激が進んだ位置に見える）。フラッシュ刺激の前方に壁となる静止刺激があると、フラッシュ刺激は壁を越えることなく、ずれ量が減少する。さらに、壁に穴が空いている状況にすると、フラッシュ刺激のずれは回復するが、刺激の長さが短くなることも見いだした。これは、あたかもフラッシュ刺激、壁、運動刺激がすべての処理が終わった後に、もっともらしい後付け的な解釈をしていると理解することができる。

6. 視覚属性の並列情報処理と相互作用

運動視の脳内処理は、初期視野での運動エネルギーモデルに代表される、画像処理的運動情報過程から、光点の動きに人間の動きを見るバイオロジカルモーションなど高次処理まで多岐に亘る。その意味で運動視は、多くの並列処理と処理間の相互作用の結果といえる。特に、初期視覚における局所的運動情報を広い視野にまたがる大域的運動の知覚に統合する過程の研究は重要であり、global gabor 刺激を利用した実験が進んでいる。空間的に重複しない位置の gabor 刺激の動きが、注視点位置に依存して変化するなど、広い視野範囲で統合されて大域的な動きとして捉える過程には、単純なフィードフォワードモデルでは説明出来ないことが報告された。

以上の内容に加えて、下條、西田らの講演では、視覚処理の研究の意識過程や自由意志に関する研究に関わりや、それらの問題そのものの議論が含まれ、意識過程と無意識過程の並列性の問題についての議論も行った。その他、関連研究の紹介では、図地反転を実現するコンピュータモデル、視野安定機能における時間変化検出の重要性、視覚認識における画枠境界の拡張現象、ラバーハンド錯覚と触覚誘発脳波への影響、前頭葉皮質への TMS と行動・自律神経反応との関係に関する研究などについて議論した。

また、平成 28 年 2 月 27 日から 28 日の期間に、Sheng He（ミネソタ大学）を招聘し、視覚的注意の並列的処理過程に関する議論および物体方向判断に関する共同研究について研究打合せをした。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

研究会 (B) 区分の国際共同研究推進型として、海外研究者 4 名の招へいを実現し、関連研究に関して有益な情報交換、議論を行うことができた。特に 9 月の研究科では、長時間の議論を確保したことから、研究の意義や本質的問題について検討することができた。今後の情報通信技術において重要性が増すと考えられる、人間と情報端末を総体として捉える視点からの脳機能理解に向けて、意識的処理／無意識的処理、トップダウン／ボトムアップ、さらには正常／鬱状態などの脳内の並列処理に関する研究の展開が期待され、また将来の情報環境とのインターフェース技術も含めた検討にも有益な機会となった。

(特別支援 (国際) にかかる研究成果)

平成 27 年 8 月 10 日に、ロシュキー (Lester C. Loschky) 教授 (カンザス州立大学の)、ウィットニー (David Whitney) 教授 (カリフォルニア大学バークリー校) を招き、講演会を開催 (含む web 参加)
平成 27 年 9 月 25 日、26 日に下條教授 (カリフォルニア工科大学) を招へいし「脳内の並列情報処理」研究会を開催

平成 28 年 2 月 27 日には、何 (Sheng He) 教授 (ミネソタ大学) の通研国際シンポジウム参加の機会を捉え研究打合せを行った。

[4] 成果資料

- (1) Tsutsui K, Grabenholst F, Kobayashi S, Schultz S. Value construction and decision processes during matching behavior in prefrontal cortex neurons. *Nature Communications*, in press.
- (2) Tsutsui K, Hosokawa T, Yamada M, Iijima T. Representation of Functional Category in the Monkey Prefrontal Cortex and Its Rule-Dependent Use for Behavioral Selection. *J Neurosci*. 2016 Mar 9;36(10):3038-48. doi:10.1523/JNEUROSCI.2063-15.2016.
- (3) Shioiri, S., Ogawa, M., Yaguchi, H., & Cavanagh, P. "Attentional facilitation of detection of flicker on moving objects", *Journal of Vision* Vol. 15, No.14, 3-3, 2015.
- (4) Matsumiya, K., Shioiri, S.: "Smooth pursuit eye movements and motion perception share motion signals in slow and fast motion mechanisms", *Journal of Vision* Vol. 15, No. 11, Article 12, 1-15, 2015.
- (5) Nakashima, R., & Shioiri, S. "Facilitation of

visual perception in head direction: visual attention modulation based on head direction", *PLoS One*, 10(4), e0124367, 2015.

H27/B08

高次元ニューラルネットワークにおける情報表現の最適化

[1] 組織

代表者：廣瀬 明

(東京大学大学院工学系研究科)

対応者：佐藤 茂雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

秋間 学尚 (東北大学電気通信研究所)

黒江 康明 (京都工芸繊維大学大学院
工芸科学研究科)

合原 一幸 (東京大学生産技術研究所)

田中 剛平 (東京大学生産技術研究所)

古橋 武 (名古屋大学大学院工学研究科)

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)

西村 治彦 (兵庫県立大学大学院
応用情報科学研究科)

金城 光永 (琉球大学工学部)

村瀬 一之 (福井大学工学部)

西川 郁子 (立命館大学情報理工学部)

新田 徹 (産業技術総合研究所)

小林 正樹 (山梨大学工学部)

西森 康則 (産業技術総合研究所)

澁谷 長史 (筑波大学大学院
システム情報工学研究科)

延べ参加人数：22人

研究費：旅費24万7千円

[2] 研究経過

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。

さて、ニューラルネットワークモデルのひとつとして複素ニューラルネットワークや量子ニューラル

ネットワークが提案されており、その波動的特性を利用して、パターン認識、画像処理、時系列予測等への応用がなされている。代表者はこうした複素ニューラルネットワークの特徴にいち早く注目し、レーダ画像の画像処理等へ応用しその有効性を明らかにしており、本分野において世界的に主導的役割を果たしてきている。また、この技術を応用した対人プラスチック地雷可視化システムを構築し、東南アジアの地雷発見等において重要な社会貢献を果たしてきている。

ニューラルネットワーク分野の最近の動向として、従来に比べ層数を大幅に増大した多層ニューラルネットワークに、深層学習(Deep Learning)を導入することにより、文字認識や画像認識などの課題において、既存アルゴリズムを圧倒するような認識性能が得られており、認識工学を中心に中核的な技術となりつつある。こうした研究の中で、層ごとの情報表現の善し悪しが情報処理性能に大きく影響することが知られてきている。また、複素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、さらには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。つまり、高次元化あるいは多次元化するだけではなく、必要な情報を的確に表現できることが性能向上の鍵であることが明らかになりつつあり、そうした研究の重要性が高まりつつある。

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、アナログ情報、デジタル情報、時間情報、位相情報などを適材適所で利用し、最適化された情報表現を実現することが肝要である。本プロジェクトでは、豊かな表現能力を有する高次元ニューラルネットワークの情報処理能力を最大限に引き出すために、最適な情報表現を見出し、さらに、効率的ハードウェア実現のために、ビット数や素子数の最適化を含む高効率ハードウェア実現のための基礎技術確立することを目的として研究を行う。

具体的には、まず、幾何学的情報を利用する課題

を中心に、高次元ニューラルネットワークの情報処理能力を神経回路の統計力学やクリフォード代数を用いて評価する。その中で、情報表現方法と情報処理能力の関係を明らかにし、高次元ニューラルネットワークにおける最適な情報表現を明らかにする。次に、ハードウェア実現を目的として、ハードウェアに依存した制限を加味した最適な情報表現を検討し、そのために必要なハードウェアリソースを明らかにする。さらに、これらの知見を深層学習に応用し、多層ニューラルネットワークの性能向上を確認した上で、より一般的な情報表現の最適化技術として確立を図る。本所ではハードウェア実現に向けた課題を中心に研究を行う。

初年度にあたる本年度は、8月5,6日に研究会を開催し、各メンバーが関連する研究内容について報告し、今後の研究方針や研究計画について議論した。以下に研究会のプログラムを示す。

- 1) 廣瀬 明 (東大)
「チャネル推定における偏波の扱い：物理的実体と複素ニューラルネットワーク」
- 2) 松井伸之 (兵庫県立大)
「量子粒子群(QPSO)による高次元の解探索」
- 3) Y. Xia, C. Jahanchahi, T. Nitta and D. P. Mandic (産総研他)
「対合を利用した四元数広域推定法」
- 4) 小林 正樹 (山梨大)
「非可換性を利用した四元数ホップフィールドネットワーク」
- 5) 黒江 康明 (京都工繊大)
「モデル内包学習とその応用」
- 6) 澁谷 長史 (筑波大)
「報酬が周期的に変動する強化学習のための価値関数の複素数表現」
- 7) 秋間 学尚 (東北大)
「大脳皮質視覚野において局所運動を検出する神経回路網モデルのLSI化」
- 8) フリーディスカッション ～高次元ニューラルネットワークの応用、その他～

[3] 成果

(3-1) 研究成果

複素ニューラルネットワークを含む高次元ニューラルネットワークは、ニューラルネットワークの考え方を生かした数理的・物理的な面白さの探求や電気電子分野を中心とする工学利用を指向している。中でも複素ニューラルネットワークは電気電子工学的には、複素振幅を扱うニューラルネットワークであると言え、また四元数ニューラルネットワークは3次元空間での複素振幅を扱うニューラルネットワー

クであると言える。本年度は、人工衛星搭載の合成開口レーダで地球を観測する際に散乱波の偏波に注目し、その特性から地表の植生や建築物の状況を適応的に分類する四元数ニューラルネットワークの研究を進めた。相関行列やコヒーレンシー行列を扱う従来法と異なり、散乱波のストークスペクトルを利用してポアンカレ球空間上に偏波を表現し、その3次元空間でのベクトルの回転やノルムの増減を四元数ニューラルネットワークの教師あり学習で学習し分類を実現した。従来法に比べて高い判別性能を有していることを示した。

また、ニューラルネットワークにおける情報表現の最適化の例として、川上等によって提案された局所運動を統合して移動平面を検出する神経網モデルを取り上げ、このモデルのLSI化を行った。膨大な神経配線を仮想配線方式で実現するにあたり、結線情報を保存したテーブルをローカルメモリに分散して配置することで、データ移動量の削減を図った。また、局所運動の情報をカプセル化したパケットをLSI内に複数配置した処理要素にブロードキャストして並列処理することで、スループット向上を図った。設計したLSIがクロック周波数100 MHzで動作することをHDLシミュレーションにより確認し、スループットと消費電力を見積もった。スループットはクロック周波数3.4 GHzで動作するCPU上で実行したC++プログラムと同程度であり、消費電力はCPUの100分の1以下であることを確認した。

(3-2) 波及効果と発展性など

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情報表現方法と情報処理性能に関する知見
- ・多層ニューラルネットワークへも応用可能な情報表現最適化手法
- ・最適な情報表現を実現するハードウェアの構成方法

[4] 成果資料

1. G. Oshiyama, A. Hirose, Distortion reduction in singularity-spreading phase unwrapping with pseudo-continuous spreading and self-clustering active localization, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8, 8, 3846-3858, 2015.
2. K. Kikuta, A. Hirose, Compact Folded-Fin Tapered Slot Antenna for UWB Applications, IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 14, 1192-1195, 2015.
3. F. Shang, A. Hirose,

- Averaged-Stokes-Vector-Based Polarimetric SAR Data Interpretation, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 53, 8, 4536-4547, 2015.
4. D. Danudirdjo, A. Hirose, Anisotropic Phase Unwrapping for Synthetic Aperture Radar Interferometry, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 53, 7, 4116-4126, 2015.
5. D. Danudirdjo, A. Hirose, InSAR Image Regularization and DEM Error Correction with Fractal Surface Scattering Model, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, 53, 3, 1427-1439, 2015.
6. M. Kobayashi, Uniqueness Theorem of Complex-Valued Neural Networks with Polar-Represented Activation Function, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E98-A, 9, 1937-1943, 2015.
7. M. Kobayashi, Hybrid Quaternionic Hopfield Neural Network, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, E98-A, 7, 1512-1518, 2015.
8. T. Minemoto, T. Isokawa, M. Kobayashi, H. Nishimura, N. Matsui, On the Performance of Quaternionic Bidirectional Auto-Associative Memory, *Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks*, 2910-2915, 2015.
9. T. Minemoto, T. Isokawa, H. Nishimura, N. Matsui, "Quaternionic multistate Hopfield neural network with extended projection rule," *Artificial Life and Robotics*, 21, 1, 106-111, 2016.
10. D. Eelbode, E. Hitzer, Operator Exponentials for the Clifford Fourier Transform on Multivector Fields in Detail, *Advances in Applied Clifford Algebras*, pp. 1-16, Online First: 22 Oct. 2015, DOI: 10.1007/s00006-015-0600-7
11. E. Hitzer, The Quaternion Domain Fourier Transform and its Properties, *Advances in Applied Clifford Algebras*, pp. 1-16, Online First: 02 Nov. 2015, DOI: 10.1007/s00006-015-0620-3. Preprint: <http://vixra.org/abs/1511.0302>
12. R. Bujack, E. Hitzer, G. Scheuermann, Demystification of the Geometric Fourier Transforms and resulting Convolution Theorems, *Mathematical Methods in the Applied Sciences*, Article first published online: 3 Sep. 2015. DOI: 10.1002/mma.3607
13. T. Nitta, Learning Dynamics of a Single Polar Variable Complex-Valued Neuron, *Neural Computation*, 27, 5, 1120-1141, 2015.
14. Y. Xia, C. Jahanchahi, T. Nitta and D. P. Mandic, Performance Bounds of Quaternion Estimators, *IEEE Trans. Neural Networks and Learning Systems*, 26, 12, 3287-3292, 2015.
15. T. Nitta, Complex-Valued Neurocomputing and Singular Points, *Archives of Neuroscience*, 2, 4, 2015.
16. 黒江康明, 飯間等, あるクラスのジレンマ問題に対するマルチエージェント強化学習法, *計測自動制御学会論文集*, 51, 5, 352-360, 2015.
17. Hitoshi Iima and Yasuaki Kuroe, Swarm Reinforcement Learning Methods Improving Certainty of Learning for a Multi-Robot Formation Problem, *Proceedings of 2015 IEEE Congress on Evolutionary Computation*, 3026-3033, 2015.
18. Yasuaki Kuroe and Hajimu Kawakami. Model Inclusive Learning for Shape from Shading with Simultaneously Estimating Illumination Directions, S. Arik et al. (Eds.), *ICONIP 2015, Part I, LNCS 9489*, 1-11, 2015, Springer International Publishing.
19. Wataru Sato, Kanta Tachibana, Acquisition of Cooperative Behaviour among Heterogeneous Agents using Step-up Reinforcement Learning, *Proc. of 10th Asia-Pacific Symposium on Information and Telecommunication Technologies*, 2015.
20. Hideaki Manabe, Kanta Tachibana, Consideration of state representation for semi-autonomous reinforcement learning of sailing within a navigable area, *Robotic Sailing 2015*, 89-102, 2015.
21. Minh Tuan Pham, Kanta Tachibana, A Conformal Geometric Algebra Based Clustering Method and Its Applications, First online: 23 April 2015, *Advances in Applied Clifford Algebras*, 1-20.
22. 秋間 学尚, 佐藤 茂雄, 運動視により局所運動を検出する神経回路網モデルの LSI 化, *日本神経回路学会誌*, 22, 4, 152-161, 2015.

採択回数	①	2	3
(先端・国際)			

H27/B09

酸化物表面の機能化とナノ・デバイスへの応用

〔1〕組織

代表者：廣瀬 文彦

(山形大学大学院理工学理工学研究科)

対応者：庭野 道夫

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

荻野 俊郎 (横浜国立大学大学院
工学研究院)

越田 信義 (東京農工大学大学院共生科学
技術研究部)

立間 徹 (東京大学生産技術研究所)

玉田 薫 (九州大学先端物質化学研究所)

益田 秀樹 (首都大学東京大学院都市環境
科学研究科)

安田 哲二 (産業技術総合研究所)

嘉数 誠 (佐賀大学大学院工学系研究科)

Patrik Schmuki (University of Erlangen
-Nuremberg)

Richard Rosenberg (アルゴンヌ国立研)

林 靖彦 (岡山大学大学院
大学院自然科学研究科)

木村 康男 (東京工科大学コンピュータサ
イエンス学部)

平野 愛弓 (東北大学大学院医工学研究
科)

研究費：旅費 26 万円、国際特別支援 30 万円

〔2〕研究経過

金属酸化物は、薄膜トランジスタ、透明電極、太陽電池や水素製造用光電極、ガスセンサ、キャパシタ等、様々なデバイスに利用されている。特にガスセンサとして使われる錫酸化物などの酸化物半導体においては、分子の吸着で起こされる導電率変調を利用した医療用バイオセンサとして研究も進められている。

これらを実現するためには、酸化物のナノレベルでの形状制御が重要である。そのためには、ナノサイズの膜形成、陽極酸化による自己組織化による多孔質構造形成、そして Si テクノロジーとの融合によ

る集積化が必要である。本研究では、酸化物半導体によるナノ構造体を利用した電子デバイスを構築する基盤技術を開発するために、半導体工学やナノテクノロジー、表面科学、触媒、電気化学、医工学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討論することを目的とした。

本プロジェクトでは、ナノテクノロジー、電子デバイス、光電気化学、医療応用等、幅広い分野の研究者間の意見交換及び交流を目的とした合同シンポジウムを共催した。以下に、そのシンポジウムのプログラムを付記する。

The Joint Symposium of 10th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 7th 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：平成 28 年 3 月 1 日 (火) - 3 日 (木)

場所：東北大学電気通信研究所

ナノ・スピン実験施設

4 階カンファレンスルーム

・ Acoustic Holography by Two-Dimensional Ultrasound Array Synthesis

Oleg A. Sapozhnikov (Moscow State University), Sergey A. Tsysar, Vera A. Khokhlova, and Wayne Kreider

・ Reconstruction of Ultrasound Pressure Field by Combination of Optical Phase Contrast Measurement and Acoustic Holography

Shin Yoshizawa (Tohoku Univ), Seiji Oyama, Jun Yasuda, Hiroki Hanayama, and Shin-ichiro Umemura

・ Numerical Simulation for Development of Advanced HIFU Therapy

Kohei Okita (Nihon Univ.), Takashi Azuma, Shu Takagi, Yoichiro Matsumoto

・ Image Guided Therapeutic Applications of High

Intensity Focused Ultrasound

T. Narendra (SonaCare Medical)

- Monitoring of High-intensity Focused Ultrasound Lesion Formation Using Decorrelation between High-speed Ultrasonic Images by Parallel Beamforming

Ryo Takagi(Tohoku Univ.), Ryosuke Iwasaki, Shin Yoshizawa, and Shin-ichiro Umemura

- Plasma Agricultural Applications using Reactive Species Controlled by Atmospheric Pressure Air Discharge

K. Takashima(Tohoku Univ.), K. Shimada, H. Konishi, and T. Kaneko

- Self-organized TiO₂ nanotube arrays: Latest features and applications

Patrik Schmuki (University of Erlangen -Nuremberg)

- Emerging Applications of Nanostructured Silicon

Nobuyoshi Koshida (Tokyo University of Agri.& Tech.)

- Crystal growth and interfacial modification for highly efficient perovskite solar cells

Teng Ma (Tohoku Univ.), Daisuke Tadaki, Ayumi Hirano-Iwata, and Michio Niwano

- Improved Process of Fabricating Silicon Chips with Micro-Apertures for Formation of Mechanically Stable Bilayer Lipid Membranes

Daisuke Tadaki(Tohoku Univ.), Ayumi Hirano-Iwata, Kenichi Ishibashi, Shun Araki, Miyu Yoshida, Kohei Arata, Takeshi Ohori, Hideaki Yamamoto1, and Michio Niwano

- Polymer-Stabilized Lipid Membranes: Enabling Platforms for Nanopore Sensors and Beyond

L. Kofi Bright,(Univ. of Arizona), Benjamin A. Heitz, Mark T. Agasid, S. Scott Saavedra and Craig A. Aspinwall

- Observation of Supported Lipid Bilayer Membranes Incorporated with Membrane Proteins

Ryugo Tero (Toyohashi University of Technology), Kohei Fukumoto, Yuya Suzuki, Yuya Niiyama

- Integration of human ion channels in bilayer lipid membranes formed in microfabricated apertures

Ayumi Hirano-Iwata(Tohoku Univ.), Miyu Yoshida, Shun Araki, Daisuke Tadaki, K. Ishibashi, Hideaki Yamamoto, and Michio Niwano

- Pulse driven light-addressable potentiometric sensors for chemical imaging

Carl Frederik Werner(Tohoku Univ.), Torsten Wagner, Michael J. Schöning, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu

- Non-invasive measurement of blood glucose level based on mid-infrared spectroscopy using optical-fiber probe

Saiko Kino(Tohoku Univ.) and Yuji Matsuura

- Molecular diagnostics with nanopore electronics

Maurits de Planque (University of Southampton)

- Sensor Arrays for Stochastic Detection from Neurotransmitters to Nanoparticles

Kay Krause(Institute of Bioelectronics and JARA-Fundamentals of Future Information Technology), Alexey Yakushenko, Bernhard Wolfrum, Jülich

- Characterization of Exosomes using Atomic Force Microscopy and Scanning Electron Microscopy

Toshio Ogino (Yokohama National University), Kazuki Ito, Keiji Yokota, Yuta Ogawa, Sachiko Matsumura, Tamiko Minamisawa, Kanako Suga, Kiyotaka Shiba, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata

- Characteristics of single electron device fabricated by repeated dispersion of gold nano particles

Masataka Moriya (The Univ. of Electro-Comm), Tran Thi Thu Huong, Kazuhiko Matsumoto, Hiroshi Shimada, Yasuo Kimura, Ayumi Hirano-Iwata

- RT atomic layer deposition of TiO₂ and its application to nanoparticle coating

K. Kanomata(Yamagata Univ.), K. Kikuchi, B. Ahmmad, S. Kubota, F. Hirose

その他 ポスター発表 16 件

この他に、ナノ・スピン工学研究会を開催した。

第 77 回ナノ・スピン工学研究会

日時：平成 27 年 6 月 22 日 (月)

場所：電気通信研究所

ナノ・スピン総合研究棟 4 階

- ・嘉数 誠(佐賀大学)
「ダイヤモンド半導体と高周波パワーデバイス研究の最近の進展」
- ・三好智之(東北大学)
「超音波診断装置向け高耐圧横型MOSFET 技術」

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本プロジェクトは、酸化物半導体を中心としたナノ構造体を電子デバイスに応用するための基盤技術とアプリケーションの開拓を目的に、幅広い分野の研究者の意見交換及び交流の場とする合同シンポジウムを共催した。

陽極酸化法を用いた自己組織的に形成された酸化チタンナノチューブは、もはやその形状を科学する段階から、具体的な応用に向けて研究が進んでいることが認識された。同チューブ表面の巨大表面積性を活用した、色素増感太陽電池、磁性材を内包させたドラッグデリバリスシステムなどの研究が進められていることが確認されている。

酸化物半導体をナノサイズで複雑表面に均一に形成する技術として、室温原子層堆積法の研究の進展が著しいことが明らかになった。これまで、酸化物半導体として TiO_2 、 SnO_2 、 Ga_2O_3 の室温形成に成功し、皮膜膜厚を自在調整されたコアシェル微粒子の製造技術が報告されている。従来、ナノ微粒子はそのバルク性質に基づく、巨大比表面積を活用したデバイス応用が考えられてきたが、シェル被膜を自由に設計することで、量子効果による新物性の開拓が期待される。

(3-2) 波及効果と発展性

陽極酸化を用いた自己組織化された酸化チタンナノチューブは、半導体微細加工技術と組み合わせることで、インテリジェントなセンサデバイスアレイとしての完成が期待される。

原子層堆積法によるコアシェル微粒子製造技術は、高感度ナノ微粒子チャンネル TFT の製造技術として活用され、バイオセンサアレイとして応用展開が期待される。

今年度のシンポジウムにおいて、バイオテクノロジーや医療分野への応用に関する発表も多数あり、多様な分野の研究者の交流は、ナノエレクトロニクスや化学・バイオセンサ、それらの医療応用、グラフィックデバイスへの応用など、今後の研究の進展に貢献すると考えられる。

(3-3) 国際共同研究推進

本プロジェクトの支援を受けて開催した国際シンポジウムでの討論や情報交換を契機に、ドイツエアランゲンニュルンベルグ大学の P. Schmuki 教授と、これまでの国際共同研究の加速のために、室温原子層堆積で得られるナノコーティング酸化物膜の太陽電池デバイスへの適用に関して研究企画を開始するに至った。また議論の過程で、フランス ChimiParisTech 大学教授、兼欧州電気化学会会長、Phillipe Marcus 氏と酸化物・金属界面の評価技術について研究協力を働きかけることとなり、現在共同研究の討論を開始するに至っている。本プロジェクトの成果として、当該分野の最先端研究者との研究連携体制が整備されつつあり、今後 JSPS の国際共同研究支援事業の採択を得て共同研究を加速させる予定である。

[4] 成果資料

Symposium abstracts ; The Joint Symposium of 10th ISMBN & 7th IWNW. March 1-3, 2016, Sendai, Japan.

採択番号 H27/B10

対人コミュニケーションにおける 非言語行動ダイナミズムの解明

〔1〕組織

代表者：新井健生
(大阪大学大学院基礎工学研究科)

対応者：北村喜文
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
上出寛子(東北大学電気通信研究所)
大坊郁夫(東京未来大学)

延べ参加人数：4人

研究費：物件費0円，旅費17万円

〔2〕研究経過

本プロジェクトでは，人間と円滑にやりとりをするインタフェースとして，人間型のCGエージェントとヒューマノイドロボットに注目し，対人的に相互作用する際のダイナミックな非言語行動モデル構築について議論を行った．これまでの研究で得た，様々な親密性レベルにおける人間同士の会話中の非言語行動データを利用し，非言語行動の定量的な抽出方法の提案を行い，関係性に特徴的な動作を明らかにすることを試みた．特に，マルチ・チャネルの視点に立ち，抽出された非言語行動どうしの時系列的な関連性や，話し相手の非言語行動との相互依存性についてモデル構築を行うことを目的とした．構築した動作モデルは，CGエージェントとヒューマノイドに実装する予定であった．同じモデルを実装したCGエージェントと実機ヒューマノイドを比較することで，インタフェースとしての効果を場に応じた形で明らかにすることを狙う．

本年度は，2回にわたり仙台にて研究ミーティングを行った．第1回目の打ち合わせでは，東北大学で動作モデルの構築とともに，CGエージェントによるモデルの実装を行い，大阪大学が動作モデルを実機ロボットで実装する方向性を確認した．第2回の打ち合わせでは，大阪大学の今年度の進捗として，三次元データをロボットのシミュレータに読み込み，実機ロボットで実装する準備が完了したことを報告した．一方，東北大学において実施していた動作モデルの構築では分析手法に間違いがあったため，動

作モデルの構築には至らなかった．今後の方向性として，機械学習を用いた動作の生成を行うことを確認した．

〔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．

動作モデルの構築にあたり，友人・未知ペアの禅96名が10分間自然に会話をしている際の全身のモーションキャプチャのデータを解析した．マーカを用いて全身の動作を表現できるベクトルを定義した．動作の抽出と分類には毎時刻におけるフレーム前後間のコサイン類似度を用いることとした．抽出と分類に関しては，身体の部位ごとに閾値を設定した．これらの閾値は10Hzのモーションキャプチャデータ用に設定することとなっていたが，60Hzの画像を用いて設定作業を行っていたため，設定作業をやり直すか，別の手段で動作解析を行うという結果となった．

一方，実機ロボットで人間の行ったコミュニケーション動作を再現した場合，人間が当該動作を行った場合と，類似の動作であると判断されるのかどうかを検証した．その結果，類似であるという印象を与える動作とそうではない動作があることを明らかにした．これは，ロボットは自己接触ができない制約があるため，人間のように自身の体に触れる動作には物理的に同じ動作にならないことが要因として挙げられる．また，モータの速度にも上限があり，これらの点の改良が今後の課題として考えられた．

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトは，人間の心理的な非言語行動を精緻に解析し，工学的に再現するアプローチとして，心理・工学の分野に資するコンセプトがある．今後，モデルの構築とロボットへの実装を踏まえて，関連分野への応用的知見として発展する可能性がある．

〔4〕成果資料

なし

採択回数	①	2	3
(国際)			

採択番号 H27/B11

コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開

[1] 組織

代表者：北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

対応者：北村 喜文（東北大学電気通信研究所）

分担者：

Miho Aoki (University of Alaska Fairbanks)

Nhung Walsh

(School of the Art Institute of Chicago)

Christian Sandor

(奈良先端科学技術大学院大学)

伊藤 貴之（お茶の水女子大学）

伊藤 雄一（大阪大学）

久保 尋之（奈良先端科学技術大学院大学）

小山田 耕二（京都大学）

森島 繁生（早稲田大学）

高嶋 和毅（東北大学電気通信研究所）

宮井 あゆみ

(公益財団法人画像情報教育振興協会)

脇本 厚司

(公益財団法人画像情報教育振興協会)

浪越 典子

(一般財団法人デジタルコンテンツ協会)

Jim Kilmer (The OPAL Group)

Jinny H.J. Choo (ONCOMM & Korea

National University of Arts)

Mark Billinghurst

(University of Canterbury)

Sophie Revillard

(Owner at Connecting Worlds)

Takaaki Shiratori (Microsoft Research Asia)

Steve Marschner (Cornell University)

延べ参加人数：60人

研究費：旅費27万1千円、国際特別支援費30万円

[2] 研究経過

2015年には、アジアにおけるコンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の国際会議 SIGGRAPH Asia が6年ぶりに日本で開催された。これは、デジタルメディアとデジタルコンテンツの分野の大規模・重要国際会議・展示会であり、49か国から7,050人の参加者を集めて11月2～5日に神戸で開催された。本研究代表者が Conference Chair

を務めた。世界中から当該分野の専門家やこの分野を目指す若者が多数参加することになっていたため、運営組織であるプログラム委員には、当該分野の国内外のプロが名を連ねていた。そこで、これらの委員を含む当該分野の著名な研究者が集まり、会議の運営に加えて、コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術に関する研究の将来展開を話し合う国際的な研究会を、東北大学電気通信研究所で国際シンポジウムとして開催した。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

2015年9月26日～27日に、東北大学電気通信研究所で、International Symposium on Computer Graphics and Interactive Techniques: New Horizon と題して、シンポジウムを開催した。そのプログラムから、講演者とその演題を次に示す。

Opening & Welcome

Yoshifumi Kitamura (Tohoku University)

Modeling and Retargeting of Personal Characteristics in Face and Motion

Shigeo Morishima (Waseda University)

Passing the Augmented Reality Turing Test

Christian Sandor

(Nara Institute of Science and Technology)

Recent Study on Multimedia Visualization

Takayuki Itoh (Ochanomizu University)

Tour to Advanced Acoustic Information Systems Lab.

Yôiti Suzuki and Shuichi Sakamoto

(Tohoku University)

Tour to Interactive Content Design Lab.

Kazuki Takashima and Hiroko Kamide

(Tohoku University)

Device Media Oriented UI

Yuichi Itoh (Osaka University)

Explaining Alaska Visually

Miho Aoki (University of Alaska Fairbanks)

Activities of DCAJ: With a focus on collaboration

with ACM SIGGRAPH

Noriko Namikoshi

(Digital Content Association of Japan)

Synthesis of Realistic Translucent Objects in
Computer Graphics and Beyond

Hiroyuki Kubo

(Nara Institute of Science and Technology)

Exploration of Causality using Scientific
Visualization

Koji Koyamada (Kyoto University)

ACM SIGGRAPH Past, Present and Future: The
convergence of graphics and the physical world

Jim Kilmer (The OPAL Group)

SIGGRAPH Asia Present and Future

All Participants

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
コンピュータグラフィックスとインタラクティブ
技術を中心とするデジタルメディアとデジタルコン
テンツの分野の技術者・研究者・アーティストとい
った世界的な専門家が東北大学電気通信研究所に集
結し、将来展開を話し合う機会を持ったことは、こ
の分野の発展に大きな意味を持つと思われる。同時
に、東北大学電気通信研究所のこの分野におけるプ
レゼンスも高められたと思われる。その結果、次回
の国際会議 SIGGRAPH Asia の開催場所の誘致に
も大いにもつながったと思われる。

[4] 成果資料

- Jiawei Huang, Tsuyoshi Mori, Kazuki Takashima, Shuichiro Hashi, and Yoshifumi Kitamura: IM6D: magnetic tracking system with 6-DOF passive markers for dexterous 3D interaction and motion, ACM Transactions on Graphics (TOG), Volume 34, Issue 6, Proceedings of ACM SIGGRAPH Asia, pp. 217:1-217:10, 2015.
- Yusuke Asari, Kazuki Takashima, Yoshifumi Kitamura: TransformTable, ACM SIGGRAPH Asia Emerging Technologies, 2015.
- Shoko Usui, Chen He, Katsumi Sato, Yoshifumi Kitamura: A Dynamic, Flexible & Interactive Display Method of Paintings for Communicative Art Appreciation among Students, ACM SIGGRAPH Asia Symposium on Education, 2015.



登壇者のみなさん



会場の様子

- SIGGRAPH Asia 2015:
The 8th SIGGRAPH Conference and
Exhibition on Computer Graphics and
Interactive Techniques in Asia,
November 2-5, 2015, Kobe, Japan
<http://sa2015.siggraph.org/>

採択回数	①	2	3
(若手)			

H27/B12

ネットワークダイナミクスに内在する 非同期性の解析に関する予備検討

[1] 組織

代表者：園田 耕平
(立命館大学総合科学技術研究機構)

対応者：笹井 一人
(東北大学電気通信研究所)

分担者：
谷 伊織 (総合研究大学院大学)
村上 久 (早稲田大学)
都丸 武宜 (早稲田大学)
西山 雄大 (大阪大学)
新里 高行 (筑波大学)
崎山 朋子 (早稲田大学)
中村 友昭 (早稲田大学)
松井 哲也 (情報学研究所)
朴 喆恩 (早稲田大学)

延べ参加人数：
12人 (以上11名+参加者1名)

研究費：
物件費23万7千円、
若手特別支援費20万円、

[2] 研究経過

ウェブを介した交流や個人の情報発信の恩恵を受ける一方で、個人情報の流出、個人攻撃、サイバーテロなどの新たな脅威が身近になりつつある。そのための柔軟で適応的なネットワーク設計および制御が喫緊の課題であるが、そのための基盤理論の整備が不可欠である。

本プロジェクトは、生物的网络がもつ柔軟性を「非同期性」と名付け、そこに突破口を開こうとするものである。この非同期性とは、ネットワーク構成単位に変化の土台となる様々な時間・空間スケールを含む多様性を認めつつ、システムの一貫性・全体性の維持を意味している。そして、非同期性における多様性と全体性は一見矛盾しているよう

に見えるが、生物的网络においては原始的な情報伝播機構により、「全体に対する部分ではない局所的な全体性」を立ち上げ、共立されていると考えている。

本プロジェクトは、本年度が初年度であった。計画は大きく分けて、A：非同期性の概念の整備、B：生物集団からのネットワーク構造の特定、C：ネットワークダイナミクスにおける非同期性の解析、となっている。これらについてグループメンバーの限定をせずに、理論・モデル・解析を横断的に行い、密度の高い議論を通じて、知見を深めていった。

以下、研究活動状況の概要を記す。

本プロジェクトの研究会として、下記の2件を行った。

キックオフ研究会
場所：早稲田大学基幹理工学部
開催日時：2015年9月27日
発表件数：4件

共同プロジェクト研究会
場所：東北大学電気通信研究所
開催日時：2016年2月27日-28日
発表件数：19件

なお、2件目の研究会は、「第10回 内部観測研究会」「第27回 計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会」と共同開催である。内部観測研究会はプロジェクトのメンバーが世話人となって開催される研究会で、様々な専門分野の研究者に向かってプロジェクトの成果を発表する機会になっている。また、今後のプロジェクトの進展に寄与すると考えられるインタラクションを得られる場でもある。また、プロジェクトの成果発表として下記を行った。

「東北大学電気通信研究所・情報通信共同研究拠点 平成27年度共同プロジェクト研究発表会

「新世代 ICT の羅針盤」

場所：東北大学電気通信研究所

開催日時：2016 年 2 月 25 日

発表タイトル：

「ネットワークにおける非同期性：生物学的ネットワークの解析にむけて」

発表者：園田耕平（プロジェクト代表・立命館大）

[3] 成果

（3-1）研究成果

予備検討として、“非同期性”の概念について整理・検討を行なう。リサーチクエストンとして、「記述されたネットワークと実在するネットワークの違いとは何か?」を考えていく。初年度の共同プロジェクトの研究会の議論を通して、生物学的ネットワークのもつ捉えがたい非同期性＝柔軟性を考える土台づくりを行った。また、メンバーが行った研究により、個別具体の生物学的ネットワークがもつ非同期性に対して共通認識を深められた。本年度は、研究会での議論を通じて、概念の整備ならびに解析手法の開発の方向性を確認した。

以下に示す研究成果を得た。

まず第1に、市場モデルにおける非同期性のモデルを構築した。市場モデルとしては、エージェントに最小限の知性を仮定する Zero-Intelligence および Zero-Intelligence Plus (ZIP) モデルが基本モデルとして研究されてきたが、ZIP モデルの問題点として摂動に弱いという脆弱性が指摘されてきた。我々は、それに対して、ZIP のエージェントの視野の有限性を導入することでエージェント間の相互作用に非同期性をもちこんだ。その結果、摂動に対して間欠性を示し、さらにその間欠性はべき乗則を示すことが明らかになった[1, 2]。

第2に、圏論を用いた恒等写像における不定性＝非同期性の理論を構築した。恒等写像は自己言及の問題を孕むが、エージェントの世界に対する完全な知識を前庭とした超越概念としての恒等写像ではなく、エージェントの有限性を踏まえて外部の不定性を導入した“弱い”恒等写像を構成した。恒等写像は圏論で section と retraction に相当する単射と全射から構成されるが、ここに要素と射のレベルでの不一致を導入することで不定性を構成した。その結果、弱い恒等写像はべき乗則を示した[10]。

第3に、非同期性の観点から、不定性をはらんだ環境認識を行うエージェントの進化ネットワークのモデル構築を行った[11]。

第4に、さらに具体的な対象として、アメーバ生物である粘菌ネットワークのモデル開発を行った。

粘菌のゾル・ゲル化を抽象化した泡の吸収および排出の機構を用いた。そして、局所的な勾配と全体性のバイアスを非同期的に接続することで、適応的な運動を行うネットワークモデルを構成した[15]。

第5に、動物の群れにおけるネットワーク解析を行った。アユの群れを対象とし、追従行動から構成できるネットワークの距離を用いて、ダブルレイヤーネットワークを構成した。その論理的関係性から、意味論としての束構造を抽出し、解析した[12-14]。

第6に、次年度に向けて、様々なネットワーク解析の対象となる群れ行動の解析とモデル化を行った[3-5, 8, 16-19, 21-23]。また、非同期性の理論背景となる計算論的な理論構築を行った[7]。さらに、ヒトのインタラクションにおける非同期性についても検討した[6, 9, 20]。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

本プロジェクトの研究成果は、研究経過として述べたように、第10回 内部観測研究会、第27回 計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会において、多数の異分野の研究者を交えた高い密度の議論とともに、発信された。

また、成果資料にもあるように、計測制御学会、*International Symposium on Artificial Life and Robotics*, *International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics*, などの国内外の会議において、広く発信した。

本プロジェクトは若手研究者対象型の採択課題であるが、研究メンバーの8割が35歳以下で構成されており、上述の研究経過や成果をあげる機会はないよりの研究推進の効果と言える。特に、そのうち5名は学位取得後の初年度であり、その将来的な可能性を広げる上で貴重な経験となった。

[4] 成果資料

- (1) K. Sasai, Y. Gunji, T. Kinoshita, “Extremely Local Interaction in a Market Model”, *Proceedings of International Symposium on Artificial Life and Robotics*, 625-630, 2016
- (2) 笹井一人, 郡司ペギオ幸男, 木下哲男, 「エージェントの限定的な視野に基づく市場モデルとその性質」, 計測制御学会システム・情報部門学術講演会 2015 (SSI2015) 論文集, 2015
- (3) K. Sonoda, T. Niizato, Y. -P. Gunji, “Swarming behavior based on acceleration”, *Proceedings of International Symposium on Artificial Life and Robotics*, 608-611, 2016

- (4) K. Sonoda, H. Murakami, T. Niizato, Y. -P. Gunji, "Field of Safe Travel in Swarm", *Proceedings of The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics*, 9-12, 2015
- (5) 園田耕平, 村上久, 新里高行, 飯塚浩二郎, 郡司ペギオ幸夫, 「非対称な接触による群れ行動」、第16回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演論文集、1862-1864、2015
- (6) 園田耕平, 谷伊織, 佐藤亘, 郡司ペギオ幸夫, 「間合いにおける受動と能動」、第32回日本認知科学会講演論文集、96-100、2015
- (7) Y. -P. Gunji, K. Sonoda, V. Basios, "Quantum cognition based on an ambiguous representation derived by a rough set approximation", *BioSystems* (in press) (doi:10.1016/j.biosystems.2015.12.003)
- (8) M. Minoura, K. Sonoda, Y. -P. Gunji, T. Sakiyama, "Rotating panoramic view: Interaction between visual and olfactory cues in ants", *Royal Society Open Science*, **3**: 150426, 2016 (doi: 10.1098/rsos.150426)
- (9) Y. Nishiyama, S. Tatsumi, S. Nomura, Y.-P. Gunji, "My hand is not my own! Experimental elicitation of body disownership." *Psychology & Neuroscience*, **8**(4), 425-434, 2015
- (10) T. Niizato, "Weak Identity from the Section-Retracton Perspective of Category Theory", *Artificial Life and Robotics*, **20**(2), 166-172, 2015
- (11) T. Niizato, Y.-P. Gunji, "Ongoing Processes in a Fitness Network Model under Restricted Resources", *PLOS ONE*, **18**, 2015 (DOI:10.1371/journal.pone.0127284)
- (12) T. Niizato, H. Murakami, K. Sangu, T. Tomaru, Y. Nishiyama, K. Sonoda, Y.-P. Gunji, "Difference in the searching strategy of *Plecoglossus altivelis* between single individuals and groups", *Proceedings of The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics*, 13-17, 2015
- (13) 新里高行, 村上久, 都丸武宜, 西山雄大, 園田耕平, 三具和希, 郡司ペギオ幸夫, 「群れが形成するネットワークからみる図地構造」、第16回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演論文集、1865-1867、2015
- (14) 新里高行, 村上久, 都丸武宜, 西山雄大, 園田耕平, 三具和希, 郡司ペギオ幸夫, 「少数個体の鮎(*Plecoglossus altivelis*)が形成する群れとその個体数による振る舞いの変化」、計測自動制御学会論文集、**52**(5)、2016 (accept)
- (15) 谷伊織, 山千代真規, 石井真生, 郡司ペギオ幸夫, 「真性粘菌の変形体における閉域脱出行動とそのモデル」、第16回(社)計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演論文集、1890-1902、2015
- (16) H. Murakami, T. Niizato, T. Tomaru, Y. Nishiyama, Y.-P. Gunji "Inherent noise appears as a Levy walk in fish schools", *Scientific Reports*, **5**, 10605, 2015
- (17) H. Murakami, T. Tomaru, T. Niizato, Y. Nishiyama, K. Sonoda, T. Moriyama, Y. -P. Gunji, "Collective behavior of soldier crab swarm in both ring- and round-shaped arenas", *Artificial Life and Robotics*, **1**-5, 2015 (doi: 10.1007/s10015-015-0232-y)
- (18) H. Murakami, T. Niizato, T. Tomaru, Y. Nishiyama, Y. -P. Gunji "Schooling fish change internal movement strategy due to their density", *Proceedings of SWARM*, 2015
- (19) T. Tomaru, H. Murakami, T. Niizato, Y. Nishiyama, K. Sonoda, T. Moriyama, Y.-P. Gunji, "Information transfer in a swarm of soldier crabs", *Artificial Life and Robotics* (accepted)
- (20) 山田誠二, 寺田和憲, 小林一樹, 松井哲也, 「人工物デザインのためのユーザ認知モデル構築とその応用」、人工知能、**31**(1)、35-42、2016
- (21) T. Sakiyama, Y.-P. Gunji, "Modulation effect with global ambiguity in 2-dimensional random walk", *Int J.Par.Emer.Dist.Sys.* published online, 2015, (DOI:10.1080/17445760.2015.1016518)
- (22) T. Sakiyama, Y.-P. Gunji, "Weber-Fechner relation and Lévy-like Searching Stemmed from Ambiguous Experiences", *Physica A*, **438**, 161-168, 2015
- (23) T. Sakiyama, Y.-P. Gunji, "Moderated Pattern Formations on Trail-Laying Foraging", *Proceedings of the First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics*, 2015

採択番号 H27/B13

メディア技術の高機能化に関する研究

〔1〕組織

代表者：青木 直史

(北海道大学大学院情報科学研究科)

対応者：鈴木 陽一

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

今泉 祥子 (千葉大学大学院融合科学研究科)

岩村 恵市 (東京理科大学工学部)

越前 功 (国立情報学研究所コンテンツ科学研究系)

荻原 昭夫 (近畿大学工学部)

梶山 朋子 (青山学院大学理工学部経営システム工学科)

河口 英二 (九州工業大学)

川村 正樹 (山口大学大学院理工学研究科)

姜 錫 (北海道大学大学院情報科学研究科)

貴家 仁志 (首都大学東京システムデザイン学部)

栗林 稔 (岡山大学)

合志 清一 (工学院大学情報学部)

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)

篠田 浩一 (東京工業大学大学院情報理工学研究科)

生源寺 類 (静岡大学大学院工学研究科)

藺田 光太郎 (長崎大学大学院工学研究科)

新見 道治 (九州工業大学大学院情報工学研究科)

西村 明 (東京情報大学総合情報学部)

野田 秀樹 (九州工業大学情報工学研究院)

長谷川 まどか (宇都宮大学大学院工学研究科)

日置 尋久 (京都大学大学院人間・環境学研究科)

村田 晴美 (中京大学)

藤吉 正明 (首都大学東京学術情報基盤センター)

吉田 真紀 (独立行政法人 情報通信研究機構
ネットワークセキュリティ研究所)

脇山 正博 (北九州工業高等専門学校)

Jeng-Shyang Pan (National Kaohsiung
University of Applied Sciences,
Taiwan)

延べ参加人数：100 人

研究費：物件費 0 円

旅費 27 万 2 千円

国際特別支援費 30 万円

〔2〕研究経過

昨今、メディア処理技術を基礎とする通信、放送、媒体の発展に伴い、デジタル化された文書、音楽、映像などのコンテンツの流通が増加しており、社会事業や産業へ与える影響が急速に拡大しつつある。また、通信と放送の融合といった異種メディア融合の進展や、複数のメディアに同一のコンテンツを出力するクロスメディア化の進展により、これまで考えられなかったコンテンツの流通形態が生まれつつある。

このように、コンテンツの流通が急速に多様化し、さまざまなニーズが生み出されつつあるなか、メディア処理技術のさらなる高機能化は、コンテンツの創成を促進し、情報社会における新たな価値を創造する起爆剤になるものと期待されている。ただし、こうした技術の発展とともに、コンテンツのセキュリティやプライバシーの保護が情報社会の新たな課題として浮上しつつあり、高度な専門的知識を必要とする対策が急務になってきていることも事実である。

こうした課題に対して研究者が一丸となって取り組んでいくには、個々のメディアごとに議論するだけでなく、メディアの種別の垣根を掃って、コンテンツの価値を創造し、守るための技術について、制度設計も含めた幅広い議論や意見交換を行うことが不可欠である。本共同研究プロジェクトは、こうした場を提供するものであり、マルチメディア信号処

理、情報セキュリティ、視聴覚知覚・認知に関連する研究者が東北大学電気通信研究所に一同に会して、研究発表および討論を行うことを目的としている。

本プロジェクトは、本年度が初年度であり、共同研究メンバーが東北大学電気通信研究所に一同に会して、以下に示す分野に関して研究発表および討論を行った。

- さまざまなコンテンツを対象としたメディア処理技術の高機能化に関連する研究
- コンテンツのセキュリティやプライバシーの保護に関連する研究
- 異種メディア融合など、コンテンツの新たな表現方法に関連する研究
- コンテンツの品質の主観的・客観的評価に関連する研究

本共同研究プロジェクトは 2015 年度に新規採用されたものであり、2016 年 1 月 18-19 日、東北大学電気通信研究所にて EMM 研究会を開催したことが初年度の研究活動状況になっている。合計 15 件の研究発表のうち、本共同研究プロジェクトから補助を受けたものは 9 件であり、そのうち 1 件は本共同研究プロジェクトによって中国ハルビン工業大学から招聘した Han 教授による特別講演となっている。

〔3〕 成果

（3-1）研究成果

2016 年 1 月 18-19 日、東北大学電気通信研究所にて開催された EMM 研究会では、本共同研究プロジェクトから補助を受けた 9 件の発表があった。それぞれの成果は以下のとおりである。

- (1) メディアデータに対するデジタルフォレンジックスの研究について、研究の背景から最近の話題まで解説し、今後の展望について述べる。
- (2) 現在、少子高齢化に伴い独居老人の数が増加している。これにより高齢者が家電を扱う機会が増えているが、遠方に住む高齢者の家族は高齢者の生活を心配し不安な生活を送っている。本研究では、IoT(Internet of Things)を用いたセンサーネットワークから膨大なデータを収集し、分析し、遠隔地の家族が見守る情報管理システムを提案する。
- (3) ソースフィルタモデルを考慮した音声データに対する情報ハイディングの方法を考案し、その有効性に関する検証を行った。

(4) 場所・時間を問わずウェブ上で講義を受講できるオンライン講座では、ビデオ教材を用いて学生自らが主体的に学ぶ能動学習の重要性が指摘され、さまざまな取り組みが行なわれている。しかし、学生個人の自主学習において、その取り組み方や学習成果に個人差があり、これらを教員が正確に把握することは難しい。本研究では、情報ハイディング技術を用いて、ビデオ教材に対してマーカを埋め込み、取組状況を記録して能動的学習を促すことができる仕組みを提案する。計算機実験を通して、提案方法の有効性に関する検証を行った。

(5) 完全相補系列系を用いた音響データハイディング方式が提案されており、防災サイレン等を含む一斉通報システムへの応用が検討されてきた。従来研究で行なわれた実験結果では、反響などの影響により埋め込まれたデータの一部分が正しく抽出されないという問題が指摘されている。本研究では、スペクトル拡散系列の相関特性に基づき、この問題を解決する方法を提案し、その効果を実験的に検証する。

(6) 英語でのプレゼンテーションを指導する学習支援ソフトウェアが提案されている。このソフトウェアの主たる機能の一つは、英語が苦手な学習者でもより簡単に発音やイントネーションを習得できるように、手本となるネイティブの英語音声进行学习者の声質に近づけ、より良いモデル音声を生成することである。本報告では、既存の声質変換技術に基づき、より自然なモデル音声を生成する方法に関する検討結果について述べる。

(7) 防犯や防災目的で監視カメラがあらゆる場所に設置されている。しかし、不特定多数の人物が無差別に撮影、記録されるため、記録された映像が悪意ある人物によって流出した場合、プライバシーが侵害されるおそれがある。そこで近年、プライバシー保護を目的とした可逆的プライバシー保護処理が研究されている。本稿では、監視者が人物のプライバシー保護を認知しながら行動等を認識できるか主観実験を行い、有用性を確認した。

(8) 本稿では、異種コンテンツ間埋め込みと強度調節を可能とする半開示スクランブル手法を提案する。提案手法では音声付き動画において、映像データに音声データを埋め込むのと同時に、定量的な強度制御により調節可能な半開示スクランブルを発生させる。処理前と復元後の音声付き動画に対する MSE 値を用いた検証実験と、処理前と処理後の音声付き動画に対する客観的及び主観的評価実験を行い、そ

の結果から提案手法の有効性を確かめた。

(9) ALS などの病気により声を失う患者の QOL 向上を目的として、病状が進行する前に声を録音しておき、意思伝達ツールの音声読み上げに利用するしくみがボランティアの手によって広がりつつある。自分の分身ともいえる声を残すことは、言ってみれば人格を残すことに等しく、意義深いものがある。本稿では、こうした取り組みについて、北海道におけるケーススタディを紹介したい。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

共同研究メンバーは、2007 年、電子情報通信学会第 2 種研究会マルチメディア情報ハイディング研究会 (MIH 研究会) を立ち上げた研究者らを中心に構成されており、本研究分野の進展に伴い、2011 年、電子情報通信学会第 1 種研究会マルチメディア情報ハイディング・エンリッチメント研究会 (EMM 研究会) の発足に発展させてきた実績を有する。

共同研究メンバーは、EMM 研究会の専門委員を中心に構成されている。EMM 研究会は 2011 年度に発足した新しい研究会であるが、年 6 回のペースで精力的に研究会を開催してきており、2015 年度は 100 件ほどの論文投稿があった。さらに、2015 年 1 月には、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において、EMM 研究会が主体となって編集を担当した EMM 小特集号を刊行している。

EMM 研究会は、発足以来、毎年、東北大学電気通信研究所にて研究会を開催してきており、本共同研究プロジェクトは、こうした EMM 研究会の活動実績を基盤として実施されるものである。なお、2015 年度は、共同研究メンバーが中心となり、デジタルフォレンジクスと電子透かしの国際ワークショップ IWDW2015 を東京理科大で開催しており、こうした実績を足がかりとして、国内外の研究者との人的ネットワークを拡大しつつ、本共同研究プロジェクトのさらなる発展を図りたいと考えている。

本年度は、国際共同研究推進型のプロジェクトとして、中国ハルビン工業大学から Han 教授を招聘し、特別講演の開催を通して、共同研究メンバーとディスカッションをする機会を得たが、引き続き今後とも、国内の研究者のみならず国外から第一線の研究者を招聘し、国内外の研究者との人的ネットワークの拡大、大型研究プロジェクトの提案などにつなげていきたいと考えている。

[4] 成果資料

(1) Qi Han (Harbin Institute of Technology), On issues of image and video forensics, 信学技報 EMM2015-75, 2016.

(2) 脇山 正博, 宮本 章 (北九州高専), ステガノグラフィを用いた高齢者のための IoT システム, 信学技報 EMM2015-61, 2016.

(3) Shengbei Wang, Nhut Minh Ngo, Masashi Unoki (JAIST), Study on Source-filter Model Based Hybrid Speech Watermarking, 信学技報 EMM2015-69, 2016.

(4) 佐田 悠生, 市岡 由偉, 立川 徹, 小嶋 徹也 (東京高専), 情報ハイディング技術に基づくオンライン講義システムの提案, 信学技報 EMM2015-63, 2016.

(5) 松永 悠斗, 鎌田 寛, 小嶋 徹也 (東京高専), 完全相補系列系を用いた音響データハイディングに基づく一斉通報システムの改良, 信学技報 EMM2015-71, 2016.

(6) 中平 有樹, 小嶋 徹也, 堀 智子, 吉本 定伸 (東京高専), 鈴木 幸一 (鈴木幸一事務所), 声質変換技術に基づく英語プレゼンテーション支援ソフトウェアのためのモデル音声に関する検討, 信学技報 EMM2015-68, 2016.

(7) 山本 恭徳, 李 雪霏, 姜 錫, 坂本 雄児 (北大), 可逆的プライバシー保護における画質劣化の主観的な評価, 信学技報 EMM2015-74, 2016.

(8) 李 雪霏, 山本 恭徳, 姜 錫, 坂本 雄児 (北大), 異種コンテンツ間埋め込みと定量的強度調節を可能とする半開示スクランブル手法, 信学技報 EMM2015-65, 2016.

(9) 青木 直史 (北大), 北海道における「声を残す」プロジェクト, 信学技報 EMM2015-72, 2016.

採択回数	1	2	3
(先端・国際)			

採択番号 H27/B14

広域分散ストレージシステムの耐災害性・耐障害性の評価検証

〔1〕組織

代表者：柏崎 礼生

(大阪大学サイバーメディアセンター)

対応者：中村 隆喜

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

北口善明 (金沢大学)

近堂徹 (広島大学)

市川晃平 (奈良先端科学技術大学院大学、
カリフォルニア大学サンディエゴ校)

菊池豊 (高知工科大学)

中川郁夫 (大阪大学)

村岡裕明 (東北大学)

菅沼拓夫 (東北大学)

延べ参加人数：9人

研究費：旅費 25 万 7 千円、

国際特別支援費 30 万円

〔2〕研究経過

我々は 2012 年から国内外の 8 つの研究拠点（大阪大学、広島大学、金沢大学、国立情報学研究所、京都大学、奈良先端科学技術大学院大学、高知工科大学およびカリフォルニア大学サンディエゴ校）が提供する計算機資源をネットワークで接続し合うことで構成される広域分散ストレージに関する研究を推進している。このストレージの特徴はデータのチャンクを冗長化させ広域に分散配置することでランダムアクセス性能の高い分散ストレージを実現している点にある。この特徴により 2013 年に開催された国際会議 SC13 では仮想計算機を 2.4 万 km という超長距離でライブマイグレーションすることに成功している。また翌年の SC14 では超長距離ライブマイグレーション後の I/O 性能劣化を発生させないアーキテクチャを導入し検証した。この技術は災害回避(Disaster Avoidance)用途での今後の発展が期待される。

本研究提案においては東北大をこのストレージシステムに接続し検証実験に参加させるとともに、併せて研究を推進している耐災害性・耐障害性検証システムの実証実験を行う。これにより本ストレージ

システムの可用性を定量的に検証することを目的とする。

本研究計画は、本年度が第 1 年度であり、検証するストレージシステムに接続するための計算機資源を用意してサイバーサイエンスセンターに設置し、広帯域ネットワークで接続する。この計算機資源上で仮想計算機を動作させ、広域分散ストレージシステムのためのソフトウェアを動作させる。国内外複数拠点間で仮想計算機のライブマイグレーション評価実験を行うとともにアーキテクチャの改善と検証を行う。耐災害性・耐障害性検証システムを用いて様々な災害を模倣し、この広域分散ストレージシステムの脆弱性を捜査しつつ様々な災害の発生に対して高い可用性を示すことを検証し、この検証システムの機能をより充実させる。これらの成果の方向およびインタークラウドに関するワークショップを東北大学で 2015 年 10 月 5 日に開催した。本研究の分担者でもある市川晃平先生をカリフォルニア大学サンディエゴ校から及びし講演して頂いたほか、4 名の発表から構成された。内容は以下の通りである。

「PRAGMA-ENT: 国際共同研究における SDN テストベッドの構築」市川晃平 (奈良先端科学技術大学院大学・カリフォルニア大学サンディエゴ校)

広域分散システムに関する研究開発においては、国際的に共有可能なテストベッドは必要不可欠である。PRAGMA は環太平洋地域に位置する様々な研究機関からなる共同研究コミュニティであり、PRAGMA-ENT (PRAGMA Experimental Network Testbed) は仮想ネットワークおよび SDN 技術を活用した広域分散システムを検証可能とするネットワークテストベッドである。本発表では、PRAGMA-ENT の構成、およびその上で実施してきた SDN 技術の実証実験に関して報告する。

「ネットワーク 防災訓練」菊池豊 (高知工科大学)

ネットワークに障害が起こった際に想定通りに冗長性が機能するのかや、事前に規定した BCP 通りに人的ネットワークが機能するのか等について、災害や障害が起こる前に机上で検討するのは限界があ

る。このため実際に障害を発生させて検証することが有効であると考え、人為的に障害を起こすネットワーク防災訓練を3回実施した。本発表ではこれらの結果を報告し、運用中のネットワークにおいて実施するための手法を考察する。

「インタークラウド上での透過的データ基盤の構築と検証」中川郁夫（株式会社インテック/大阪大学）

複数の独立なクラウドサービスが相互接続するインタークラウド環境において、透過的で共通、共有のデータ基盤を実現する技術の提案を行う。本研究では、学術インタークラウド環境において、共通、共有の巨大な POSIX ファイルシステムを実現する技術の提案、実装、検証を進めている。本発表では同データ基盤を実現するアーキテクチャの提案と、災害・障害時であっても実用的なレベルでのサービス継続を実現する DR (Disaster Recovery) 機能について報告する。

「耐災害ストレージ向けリスクベース冗長度決定方式」中村隆喜（東北大学）

被災地での広域ネットワーク障害を伴う大規模災害直後にも、情報サービスを継続する技術として、リスクウェア複製が提案されている。これまでの研究では、入力として一定の冗長度を与えて、その冗長度に対応する数の複製先を決定していた。この方法でも従来の方式と比べてデータアクセス可能割合(可用性)を高くすることができるが、既に安全な複製元に対しても不必要な複製を行うことがあった。そこで本発表では、さらに容量効率を改善するために複製元の安全度に応じて冗長度を変化させるリスクベース冗長度決定方式の提案について報告する。

「耐災害ストレージシステムのためのネットワーク基盤技術」和泉諭（東北大学）

被災直後でも重要なデータにアクセス可能となる耐災害ストレージシステムの研究開発を行っている。本研究では、同システムのためのネットワーク基盤技術として、SDN を用いてネットワーク上の経路を柔軟に制御し、データ転送の効率化を行うスマートルーティングを提案している。本発表では、本手法の概要と設計・実装、および初期実験の結果について報告する。

〔3〕 成果

（3-1）研究成果

東北大学を含む国内外 11 拠点からなる広域分散仮想化環境“distcloud”の設計と構築を行ったほか、広域分散システムに擬似的な災害や故障を発生させ、

その状況を検証評価するプラットフォームの構築を行った。このプラットフォームは災害エミュレーションアプリケーションを中心として構成されており、このアプリケーションはユーザインターフェイス、災害シナリオ生成、および障害実装の部分からなる。各部分の API が定義されており、標準化の推進を検討している。この災害エミュレーションアプリケーションを動作させるため、JGN-X を用いて各拠点間を相互に接続してプラットフォームを構成している。本プラットフォームを ASP、あるいは SaaS として展開するために検証評価のフィジビリティスタディが必須である。平成 27 年度は広域分散ストレージソフトウェアである Cloudian HyperStore と Scality RING を用いた検証実験を行い、災害シナリオに基づく耐災害性の検証を実現した。

（3-2）波及効果と発展性、研究分野への貢献など

- ・プロジェクト名: 「分散システムの耐災害性・耐障害性の検証・評価・反映を行うプラットフォームとビジネスモデルの開発」
- ・資金制度、研究費名: 総務省戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE)重点領域型研究開発(先進的通信アプリケーション開発型)
- ・配分機関名: 大阪大学、金沢大学、広島大学、高知工科大学、株式会社シティネット
- ・研究期間: 平成 27 年度

・会議、シンポジウム名: 第 9 回地域間インタークラウドワークショップ

- ・日時: 2016 年 3 月 1 日
- ・開催場所: 沖縄県那覇市
- ・参加人数: 50 人

（その他）

- ・研究会の設立: D4Cloud コンソーシアム
<http://d4cloud.org>

（特別支援（国際）にかかわる研究成果）

- ・タイプ: 国際共同研究推進型
- ・環太平洋地域に位置する様々な研究機関からなる共同研究コミュニティである PRAGMA のネットワークテストベッドである PRAGMA-ENT の主導的な立場にある市川晃平先生をカリフォルニア大学サンディエゴ校から招聘し、環太平洋地域における耐災害性検証の動向について議論を行った。

〔4〕 成果資料

- ・北口 善明, 柏崎 礼生, 近堂 徹, 市川 晃平, 西

- 内 一馬, 中川 郁夫, 菊池 豊, "広域分散システムの耐障害性を評価する検証プラットフォームの実装と評価", 情報処理学会論文誌 Vol.57 No.03 pp.958-966 (2016/03/15)
- 柏崎 礼生, "[招待講演] DESTCloud の展望", 信学技報, vol. 115, no. 254, R2015-52, pp. 1-6, 2015 年 10 月.
 - 柏崎 礼生, 西内 一馬, 北口 善明, 市川 晃平, 近堂 徹, 中川 郁夫, 菊池 豊, "耐災害性・耐障害性検証テストベッド DESTCloud の現状と今後", 信学技報, vol. 115, no. 256, IA2015-31, pp. 7-12, 2015 年 10 月.
 - 北口 善明, 柏崎 礼生, 近堂 徹, 市川 晃平, 西内 一馬, 中川 郁夫, 菊池 豊, "耐災害性・耐障害性の検証・評価・反映プラットフォームの設計と実装", 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol.2015-IOT-32, No.13, pp.1-6, 2016 年 03 月
 - 柏崎 礼生, 北口 善明, 近堂 徹, 市川 晃平, 西内 一馬, 中川 郁夫, 菊池 豊, "耐災害性・耐障害性の検証・評価・反映プラットフォームを用いた広域分散ストレージの評価", 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol.2015-IOT-32, No.14, pp.1-6, 2016 年 03 月
 - 中川 郁夫 (インテック阪大), 樋地 正浩 (東北大), 菊池 豊, 福本 昌弘 (高知工科大), 下條 真司 (阪大), "秘匿分散統計解析手法"m-cloud"における分散トランザクション手法の設計と実装", 研究報告インターネットと運用技術 (IOT), Vol.2016-IOT-32, No. 20, pp. 1-6, 2016-02-25
 - 北口 善明, "耐災害性・耐障害性検証プラットフォームの開発と評価実験", 第 8 回地域間インターネットクラウドワークショップ (北海道札幌市) (2015/9/9)
 - 柏崎 礼生, "DESTCloud のこれまでとこれから", 第 8 回地域間インターネットクラウドワークショップ (北海道札幌市) (2015/9/9)
 - 中川 郁夫, "インターネットクラウドデータ基盤上での DR 実装の検証", 第 8 回地域間インターネットクラウドワークショップ (北海道札幌市) (2015/9/9)
 - Ikuko Nakagawa, "Design and Implementation of Global Distributed Intercloud Data Platform", 第 1 回 RICC-RIEC ワークショップ (宮城県仙台市) (2015/10/5)
 - KIKUCHI Yutaka, "A Verification Platform of Failure Resistance Evaluation for Wide-area Distributed Systems", International Workshop on Natural Disaster and Emergency Management (ブルガリア・ソフィア) (2015/11/5)
 - 近堂 徹, "耐災害性・耐障害性検証プラットフォームの展開に向けて", ITRC 第 38 回研究会 (千葉県成田市) (2015/11/11)
 - 中川 郁夫, "RICC/ITRC - Academic Inter-Cloud Project", Supercomputing Conference 2015 (米国テキサス州オースティン) (2015/11/15)
 - 柏崎 礼生, 北口 善明, "ネットワーク防災訓練 BoF", JANOG37 BoF (愛知県名古屋市) (2016/1/21)
 - Ikuko Nakagawa, "Distcloud Distributed File System for Resilient Global Services", PRAGMA30 (フィリピン・マニラ) (2016/1/28)
 - 柏崎 礼生, "D4Cloud コンソーシアム発起人代表説明", D4Cloud コンソーシアム設立総会 (沖縄県那覇市) (2016/2/29)
 - 近堂 徹, "JGN-X 上に構築した耐災害性・耐障害性の検証・評価・反映プラットフォームによる分散システム評価", 第 9 回地域間インターネットクラウドワークショップ (沖縄県那覇市) (2016/3/1)
 - 菊池 豊, "ネットワーク防災訓練 ~第 3 回を終えて~", 第 9 回地域間インターネットクラウドワークショップ (沖縄県那覇市) (2016/3/1)
 - 北口 善明, "OpenDaylight によるネットワーク機器制御フレームワークの設計と実装", 第 9 回地域間インターネットクラウドワークショップ (沖縄県那覇市) (2016/3/1)
 - 柏崎 礼生, "ネットワーク防災訓練の普及に関する考察", 第 9 回地域間インターネットクラウドワークショップ (沖縄県那覇市) (2016/3/1)
 - 中川 郁夫, "秘密分散統計解析手法を応用したスマートホームシステムの設計と実装", 第 9 回地域間インターネットクラウドワークショップ (沖縄県那覇市) (2016/3/1)
 - 広域分散システムの検証が可能な評価基盤を開発, 2015/11/20
http://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2015/20151120_1
 - 日米データセンター11 拠点、秒単位の災害復旧を検証, 2015/10/9
http://cloudian.jp/news/pressrelease_detail/press-release-38.html
 - Development of an evaluation platform capable of validating wide-area distribution systems, 2016/1/14
<https://www.sciencedaily.com/releases/2016/01/160114113408.htm>

採択番号 H26/S1

未来のコヒーレント波科学技術基盤構築プロジェクト

〔1〕組織

代表者：三村 秀典（静岡大学電子工学研究所）
 対応者：八坂 洋（東北大学電気通信研究所）
 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）
 鈴木 陽一（東北大学電気通信研究所）
 横田 信英（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）
 上原 洋一（東北大学電気通信研究所）
 片野 諭（東北大学電気通信研究所）

延べ参加人数：35人

研究費：旅費 100 万円

〔2〕研究経過

組織連携型共同プロジェクト研究として、静岡大電研と東北大通研は 2020 年に実用化を目指すスーパーハイビジョン(SHV)による放送サービスの実現に貢献するために第Ⅰ期(平成20年～平成22年)および第Ⅱ期(平成23年～平成25年)において、要素技術の開発に参加した。この間、いくつかの貴重な成果が上げられ、SHVの実用化に道筋をつけることが出来た。平成26年度の実施報告書で述べたように、第Ⅱ期のまとめの段階で、Ⅲ期目となる平成26年度からは、電研と通研とで光を中心とする波動に関する広範囲の科学技術を共同で研究し、将来の社会基盤技術として広範囲に応用していくための先端的な科学技術体系の構築を目指すことにし、本申請となった。

これを受けて、初年度である平成26年度に引き続き2年目である平成27年度においても各研究グルー

プが以下の達成を目標として研究を行った。

【静岡大学電子工学研究所】

三村研究室：「光の本質に基づいたフォトンカウンティングCTに関する研究」
 川人研究室：「高精細3次元画像情報を用いた音像の定位と再現に関する研究」
 原 研究室：「六方晶窒化ホウ素を用いる深紫外コヒーレント光源」
 猪川研究室：「SOI構造を用いた高感度・高機能光検出器に関する研究」
 庭山研究室：「コヒーレント波併用によるNIRS測定値の正確度向上に関する基礎研究」
 小野研究室：「金属ナノ構造上の表面プラズモン振動の可視化」

【東北大学電子通信研究所】

八坂研究室：「多チャンネル超コヒーレント光発生の研究」
 鈴木研究室：「音響・画像連携技術の研究」
 藤掛研究室：「微小駆動液晶デバイスにおける光学シミュレーション手法の構築」
 上原研究室：「走査トンネル顕微鏡を用いた金属ナノ微粒子の形成に関する研究」

平成27年度における研究成果としては、平成27年12月22日（火）に通研本館において本プロジェクト内での成果発表会が開催された。当日は通研、電研それぞれから4件の発表があり、成果に富んだ発表と活発な質疑により予定の時間を大幅に超過したほどであった。この成果発表会により関連する研究についての連携の端緒も生まれ、平成28年度に向けて本プロジェクトのさらなる進展が期待されるころである。

また、平成28年2月25日に通研にて「平成27年度共同プロジェクト研究発表会—新世代ICTの羅針盤—」が開催された。その中のSession3「組織連携プロジェクト成果報告」において本プロジェクトを代表して、電研庭山准教授が「Time-of-flight センサ併用によるNIRS生体計測の正確度向上に関する研究」と題して成果報告を行った。内容の概略は近赤外分光法(NIRS)は、生体組織中の血液動態を計

測出来、脳科学や筋生理学など幅広い分野に応用されつつある。しかし、測定値の正確度には未だ課題がある。その要因の一つとして、生体組織の散乱係数の個人差があげられる。そこで、本研究ではコヒーレント波（赤色レーザ光）を用いて、入射光が生体組織中から出射するまでの時間(Time-of-flight)を測定し、空間分解法と TOF 計測を組み合わせ、光散乱と光吸収の特性を高い正確度で実時間時に取得出来るシステムの実現を目指し、広範囲な光学定数の生体模擬試料を対象とする実験を行った。その結果、個人差や部位の差異に対応可能なレンジで散乱係数を計測出来るようになった。この結果に基づいて、平成 28 年度は、光学定数の算出精度を向上させるための演算アルゴリズムについて検討する、との内容であった。

〔3〕成果

（3－1）研究成果

Ⅲ期目の2年目として、上記〔2〕に示された研究目標の達成に向けて今年度の研究計画に基づいて研究を展開した。それぞれの研究グループの研究成果は下記の通りである。

【静岡大学・三村研究室】

今年度は、超低フォトン数でも良好な CT 像を得るために検討を行った。理論的にショットノイズ以外のノイズがエネルギーバンドによって発生していることを突き止め、その原因がエネルギー分解能の揺らぎによること、またそれが素子の接合差異であることが明らかとなり、素子作成プロセス中の表面改質過程の検討を進めた。今年度は、超低フォトン数でも良好な CT 像を得るために検討を行った。理論的にショットノイズ以外のノイズがエネルギーバンドによって発生していることを突き止め、その原因がエネルギー分解能の揺らぎによること、またそれが素子の接合差異であることが明らかとなり、素子作成プロセス中の表面改質過程の検討を進めた。

【静岡大学・川人研究室】

スーパーハイビジョン(8K)をよる次世代映像システムへの応用を目的として、3300 万画素、240fps で動作する CMOS 撮像デバイスを、NHK 放送技術研究所等との共同により開発した。超高精細映像の動解像度向上に向けた実験が初めて 240fps で可能となり、また超高精細映像としてのスローモーション再生が初めて可能になる等放送、映画、その他の分野で多大なインパクトを与えられえらる。

【静岡大学・原 研究室】

BCl_3 と NH_3 を原料とする六方晶 BN の減圧化学気相成長における膜形成過程を詳細に調べることにより、原料間の気相反応の抑制と、成長初期に形成さ

れる結晶核の良質化およびその密度制御が薄膜の結晶性と表面平坦性の改善につながることを示した。

【静岡大学・猪川研究室】

表面プラズモンアンテナ付き SOI フォトダイオードによる各種水溶液の屈折率評価を進め、既存の SPR センサ並みの検出限界となることを確認した。アレイ化により既存センサを大幅に上回るスループットを実現できる。SOI MOSFET ボロメータに関しては、AM 変調波を用いて熱的な応答速度を正確に評価することに成功した。

【静岡大学・庭山研究室】

コヒーレント波（レーザ光）を用いて、入射光が生体組織中を伝播する時間を測定し、空間分解法と組み合わせ、光学定数を高精度測定できる手法の実現を目指し、システムの改良と生体模擬試料実験を行った。その結果、広範囲な光学定数を有する媒質中の光路長測定が可能となり、光散乱の定量化に有用と考えられる。

【静岡大学・小野研究室】

コヒーレント光を時間的、空間的に制御するプラズモニクデバイスの開発を目的とし、結晶性銀ナノワイヤを作製した。表面プラズモン振動を可視化するための顕微分光光学系を構築した。作製した金属ナノワイヤの一端に白色光を集光励起したところ、ワイヤ方向に伝搬する表面プラズモン振動により、他端からの赤色発光を観察した。

【東北大学・鈴木研究室】

高次 Ambisonics (HOA)はある領域の音場の物理的再生法で、録音系と再生系の独立設計が可能等多くの利点を持つが、高精度領域が一ヶ所に限られる欠点があった。これに対し、複数音場の音波の位相を整合させる補正処理を行うことにより複数の領域で高精度な音場再現を行う HOA 信号処理法を開発した。

【東北大学・八坂研究室】

デジタルコヒーレント通信や高精度光計測などへの応用に向けた、多チャンネルの超高コヒーレント光を発生可能な多波長光源の研究を進めた。本光源を実現する上で不可欠な超平坦光周波数コムを発生させるため、 LiNbO_3 マッハツェンダ変調器の高調波重畳変調法を新たに考案し、本手法を用いた超平坦光周波数コム発生を実証した。

【東北大学・藤掛研究室】

実用的な立体表示用電子ホログラフィを実現するためには、 $1\mu\text{m}$ ピッチの高解像度液晶光変調素子を実現する必要がある。高解像度駆動を行う場合、漏れ電界や液晶配向の弾性力が阻害要因になるため、低誘電率の格子状シールド壁で微小画素を区切る素子構造を提案した。さらにシミュレーションにより、

壁構造が再生される光画像の画質に及ぼす影響を明らかにした。

【東北大学・上原研究室】

走査トンネル顕微鏡(STM)を用いた電界蒸発を利用してSi(111)基板上に作製された単一Agナノ粒子のSTM発光分光を行った。その結果、可視光領域にブロードなピークを有する発光スペクトルがナノ粒子上で得られ、その発光強度はSi基板と比較して1.5倍程度となった。このような発光強度の増強はナノ粒子の局在表面プラズモン励起に起因すると考えられる。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など

平成27年度においても引き続き研究が進められ、各研究室で一定の成果が得られた。

成果として、コヒーレント波光源の開発に関しては、デジタルコヒーレント通信等への応用に向けた多チャンネルの超高コヒーレント光を発生可能な多波長光源の研究を行い、LiNbO₃マッハツェンダ変調器の高調波重畳変調法を新たに考案し、且つ超平坦光周波数コム発生を実証した。また深紫外コヒーレント光の生成が期待される六方晶窒化ホウ素の結晶の良質化の道筋が明らかにされた。

一方コヒーレント波の応用に関しては、コヒーレント波を用いて生体組織の精密測定の可能性が示されたこと、コヒーレント光を時間・空間的に制御することが出来るプラズモニクデバイスの開発を目指してAgナノワイヤを作製したり、Si(111)基板上にAgナノ粒子を形成することにより発光の単色化や発光の増強の可能性が示された。また、高次Ambisonics(HOA)において複数音場の音波の位相を整合させる補正処理を行うことにより、複数の領域で高精度な音場再現を行うHOA信号処理法を開発したこと、ディスプレイに関しては、電子ホログラフィによる立体表示の高解像度化のために必要な高解像度液晶光変調素子の実現を目指した研究において進展があった。さらに、超低フォトン数でも良好なCT像を得るために障害となるノイズに関して理論的な考察を行い、素子の接合差異に基づくエネルギー分解能の揺らぎによることを明らかにした。また、第II期にも関係するが、スーパーハイビジョンによる次世代映像システムへの応用を目的として、3300万画素、240fpsで動作するCMOS撮像デバイスをNHK技研等との共同研究により開発したことも今年度の成果としてあげておきたい。

[4] 成果資料

- K.S.Zelenska, D.V.Gnatyuk, and T. Aoki, "Modification of the CdTe-In Interface by Irradiation with Nanosecond Laser Pulses through the CdTe Crystal", J. Laser Micro Nanoengineering, **10** (2015) 298-303.

- T. Arai, T. Yasue, K. Kitamura, H. Shimamoto, T. Kosugi, S. Jun, S. Aoyama, M-C. Hsu, Y. Yamashita, H. Sumi, S. Kawahito, "A 1.1μm 33Mpixel 240fps 3D-Stacked CMOS Image Sensor with 3-Stage Cyclic-Based Analog- to-Digital Converters", Int. Solid-State Circuits Conf. (ISSCC 2016), 6.9, Digest of Technical Papers, (San Francisco, 2016.2.1) 126-127.
- N. Umehara, A. Masuda, T. Shimizu, I. Kuwahara, T. Kouno, H. Kominami and K. Hara, "Influence of growth parameters on the film formation of hexagonal boron nitride thin films grown on sapphire substrates by low pressure chemical vapor deposition", Jpn. J. Appl. Phys. (2016) in press.
- H. Satoh, S. Iwata, D. Sugiyama, A. Ono, and H. Inokawa, "Refractive Index Measurement toward Integrated Optical Biosensing by Silicon-On-Insulator Photodiode with Surface Plasmon Antenna," 14th Int. Conf. on Global Research and Education (Hamamatsu, 2015. 9. 28-30) 229-230.
- S. Esaki, T. Yamakawa, M. Niwayama, "Development of a multimodal probe using NIRS based on LED sensing," Proc. 37th Annual Int. Conf. of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS), (Milan, Italy, 2015. 8) 7946-4949.
- M. Kikawada, A. Ono, W. Inami, and Y. Kawata, "Surface plasmon-enhanced fluorescence cell imaging in deep-UV region" Appl. Phys. Exp. **8**, 072401 (2015).
- T. Shimizu, J. Trevino, S. Sakamoto, Y. Suzuki, "A multi-zone approach to sound field reproduction based on spherical harmonic analysis", Acoustical Sci. and Technol. **36**[5] (2015), 441-444.
- N. Yokota, K. Abe, S. Mieda, and H. Yasaka, "Harmonic superposition for tailored optical frequency comb generation by a Mach-Zehnder modulator," Opt. Lett. **41** (2016) 1026.
- Y. Isomae, T. Ishinabe, H. Fujikake, "Design and Light Modulation of Sub-micron LC Pixels with Dielectric Shield Walls for Wide-Angle Holographic Displays", Int. Display Workshops, (Otsu, Japan, 2015.12) 910-911, 2015.
- S. Katano, H. Fujita, T. Wei, and Y. Uehara, "Nanoscale Light Emission Spectroscopy of a Single Carbon Nanotube Adsorbed on Au(111)", J. Vac. Soc. Jpn., **59** (2016) in press.

採択番号 H26/S2

スピントロニクス学術連携

〔1〕組織

代表者：田中 雅明

(東京大学大学院工学系研究科)

対応者：白井 正文

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

大矢 忍 (東京大学大学院工学系研究科)

中根 了昌 (東京大学大学院工学系研究科)

田畑 仁 (東京大学大学院工学系研究科)

松井 裕章 (東京大学大学院工学系研究科)

加藤 雄一郎 (東京大学大学院工学系研究科)

樽茶 清吾 (東京大学大学院工学系研究科)

大岩 顕 (東京大学大学院工学系研究科)

川崎 雅司 (東京大学大学院工学系研究科)

喜多 浩之 (東京大学大学院工学系研究科)

千葉 大地 (東京大学大学院工学系研究科)

伊藤 公平 (慶應義塾大学理工学部)

江藤 幹雄 (慶應義塾大学理工学部)

斎木 敏治 (慶應義塾大学理工学部)

的場 正憲 (慶應義塾大学理工学部)

佐藤 徹哉 (慶應義塾大学理工学部)

松本 佳宣 (慶應義塾大学理工学部)

栄長 泰明 (慶應義塾大学理工学部)

能崎 幸雄 (慶應義塾大学理工学部)

山本 直樹 (慶應義塾大学理工学部)

早瀬 潤子 (慶應義塾大学理工学部)

牧 英之 (慶應義塾大学理工学部)

神原 洋一 (慶應義塾大学理工学部)

渡邊 紳一 (慶應義塾大学理工学部)

田邊 孝純 (慶應義塾大学理工学部)

安藤 和也 (慶應義塾大学理工学部)

吉田 博 (大阪大学基礎工学研究科)

佐藤 和則 (大阪大学基礎工学研究科)

福島 鉄也 (大阪大学基礎工学研究科)

河野 浩 (大阪大学基礎工学研究科)

白石 誠司 (大阪大学基礎工学研究科)

安藤 裕一郎 (大阪大学基礎工学研究科)

江口 学 (大阪大学基礎工学研究科)

鈴木 義茂 (大阪大学基礎工学研究科)

水落 憲和 (大阪大学基礎工学研究科)

三輪 真嗣 (大阪大学基礎工学研究科)

夢田 博一 (大阪大学基礎工学研究科)

山田 亮 (大阪大学基礎工学研究科)

大野 英男 (東北大学電気通信研究所)

枝松 圭一 (東北大学電気通信研究所)

白井 正文 (東北大学電気通信研究所)

羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)

村岡 裕明 (東北大学電気通信研究所)

池田 正二 (東北大学電気通信研究所)

三森 康義 (東北大学電気通信研究所)

松倉 文礼 (東北大学原子分子材料科学高等研究機構)

島津 武仁 (東北大学学際科学フロンティア研究所)

遠藤 哲郎 (東北大学電気通信研究所)

安藤 康夫 (東北大学大学院工学研究科)

佐久間 昭正 (東北大学大学院工学研究科)

新田 淳作 (東北大学大学院工学研究科)

高梨 弘毅 (東北大学金属材料研究所)

北上 修 (東北大学多元物質科学研究所)

平山 祥郎 (東北大学大学院理学研究科)

好田 誠 (東北大学大学院工学研究科)

深見 俊輔 (東北大学電気通信研究所)

関 剛斎 (東北大学金属材料研究所)

内田 健一 (東北大学金属材料研究所)

延べ参加人数：60人

研究費：1,000,000円

〔2〕研究経過

スピントロニクスは、超高密度情報ストレージ、不揮発性磁気メモリ、量子情報・量子通信など多岐にわたる情報通信技術と関連した学際的研究分野である。学術的には「スピン流」に代表される新しい物理概念を提案する一方で、ノーマリオフコンピュータといった革新的な情報通信技術につながる分野として期待されている。これまで6年間にわたる共同プロジェクト研究の活動により、東大工・慶応大理工・阪大基礎工・東北大通研がコアとなり、全国のスピントロニクス研究者に門戸を開いて、関連研究者の連携、先端学術研究成果の共有と若手研究者の育成に資する共同研究ネットワークを構築してきた。そこで、本共同プロジェクト研究(タイプS)では、これまでの活動を踏まえて、研究組織間のネットワークをさらに強化することにより、研究者間

の緊密な交流や共同研究を促進して、革新的な研究の展開を目指す。また、若手研究者を対象とした啓蒙・教育活動を実施することにより、将来のスピン트로ニクス分野の発展に貢献することが目標である。本プロジェクトは本年度が2年目であった。

[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。

- N型強磁性半導体(In,Fe)Asを含む三層量子井戸構造をチャンネルとする電界効果トランジスタを作製し、ゲート電界によって量子井戸中の電子キャリアの波動関数を動かし(In,Fe)As層との重なりを変えることによりキュリー温度(T_C)を変えることに成功した(強磁性半導体ヘテロ構造による波動関数工学の実現)。
- p型強磁性半導体($\text{Ga}_{1-x}\text{Fe}_x$)Sb (Fe濃度 x は最大20%)の作製に成功し、様々な構造評価と物性評価から真性の強磁性半導体であること、 T_C が230Kに達することを示した。
- GaMnAs/GaAs/GaMnAsヘテロ構造を作製し、GaMnAsを強磁性ソース・ドレイン、GaAsをチャンネル、側壁にゲート構造をもつ縦型Spin-MOSFETを作製し、低温においてその動作を実証した。
- Mn添加Siにおける高電界による可視光領域での電界発光を見出し、Si:Mnを含むpn接合発光ダイオードを作製し室温動作を確認した(IV族磁性半導体における初の $d-d$ 遷移発光の観測とLED動作の実現)。
- 希薄磁性半導体におけるナノスケールサイズでのスピノーダル・ナノ分解により高いブロッキング温度のデザインと実証研究を行い、電場により磁氣的交換相互作用を制御し、ナノ超構造による超巨大物性応答のデザインを行った。
- LiZnAs, LiZnP, LiZnNをベースとするn型の磁性半導体において、強磁性転移温度制御法とスピノーダル・ナノ分解による自己組織化ナノ超構造の創製法をデザインした。
- シリコン同位体ウェハーをプラットフォームとして、電子スピンの基づく量子ビットを二つ連結させ、それらを用いた2量子ビット演算に成功した。
- シリコン同位体ウェハーをプラットフォームとして、単一リンダー核スピンと電子スピンを2量子ビットとして、ベルの不等式の破れを観測することに成功した。
- ゲルマニウム同位体バルク単結晶をプラット

フォームとして、リンダー電子スピンのコヒーレンス測定とその解析に成功した。

- 磁気共鳴測定により、シリコン中の酸素-空孔欠陥に関する微細構造を決定した。
- 反強磁性体と強磁性体を積層させた系において、スピン軌道トルクを利用して強磁性体の磁化を反転させることに初めて成功した。
- 従来とは異なり書き込み電流と磁化が平行な新しいスピン軌道トルク磁化反転方式を考案し、従来方式より低電流で高速動作が可能になることを実証した。

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献

本共同プロジェクト研究(タイプS)をベースにして、日本学術会議マスタープラン「学術の大型研究計画」に応募し、多数(全分野224件)の計画の中から厳正な審査を経てマスタープラン「重点大型計画」(27件)に採択された。さらにこの27件を対象に2014年3月に文科省で審査があり、「学術研究の大型プロジェクトロードマップ2014」に採択された(採択数は10件、2014年8月末に決定)。ただしこの時点では予算措置がなされていなかったため、4大学で協力し、平成28年度概算要求「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点の整備」を申請した。これが採択され、平成28年度より4拠点大学に「スピントロニクス学術連携研究教育センター」が設立され、学術研究の大型プロジェクトとして本格的に実施することになる。

本共同プロジェクト研究(タイプS)は、これまで6年間にわたり継続してきた「スピントロニクス連携ネットワーク」(平成20~22年度)および「スピントロニクス国際連携」(平成23~25年度)の後継として位置づけられる。これまでに各種研究会を開催してきたが、平成25年度は「秋のスピントロニクス特別研究会」を2013年10月17日~19日に合宿形式で開催し(参加者約50名)、平成26年度は「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」構築に向けて「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究S研究会」を2014年12月17日に東京大学本郷キャンパス工学部にて開催した。この研究会に先立ち、第19回「半導体スピン工学の基礎と応用」研究会を2014年12月15日~16日に東京大学武田ホールにて開催し、主に国内の研究者約100名の参加を得た。平成27年度は「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」構築に向けて「東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究S研究会」を2015年12月5日に東北大学電気通信研究所にて開催した。この研究会に先立ち、第20回「半導体スピン工学の基礎と応用」研究会(20th Conference on the Physics and Applications of Spin-related Phenomena in Semiconductors

PASPS-20) を 2015 年 12 月 3 日～4 日に東北大学ナノスピ棟にて開催し、主に国内の研究者約 70 名の参加を得て、スピントロニクス分野の最新の発表と議論を行った。

[4] 成果資料

- 1) R. Nakane, S. Sugahara, and M. Tanaka, "Structural and magnetic properties of ferromagnetic $\text{Fe}_{1-x}\text{Si}_x$ ($0.18 < x < 0.33$) films formed by rapid thermal annealing on silicon-on-insulator substrates", *J. Appl. Phys.* 117, pp.133906/1-10 (2015).
- 2) H. Terada, S. Ohya, and M. Tanaka, "Intrinsic magneto-optical spectra of GaMnAs", *Appl. Phys. Lett.* 106, pp.222406/1-4 (2015).
- 3) S. Sato, R. Nakane, and M. Tanaka, "Origin of the broad three-terminal Hanle signals in Fe/SiO₂/Si tunnel junctions", *Appl. Phys. Lett.* 107, pp.032407/1-5 (2015).
- 4) P. N. Hai and M. Tanaka, "Memristive magnetic tunnel junctions with MnAs nanoparticles", *Appl. Phys. Lett.* 107, pp.122404/1-5 (2015).
- 5) L. D. Anh, P. N. Hai, Y. Kasahara, Y. Iwasa, and M. Tanaka, "Modulation of ferromagnetism in (In,Fe)As quantum wells via electrically controlled deformation of the electron wavefunctions", *Phys. Rev. B* 92, pp.161201/1-5(R) (2015).
- 6) N. T. Tu, P. N. Hai, L. D. Anh, and M. Tanaka, "Magnetic properties and intrinsic ferromagnetism in (Ga,Fe)Sb ferromagnetic semiconductors", *Phys. Rev. B* 92, pp.144403/1-14 (2015).
- 7) L. D. Anh, D. Kaneko, P. Nam Hai, and M. Tanaka, "Growth and characterization of insulating ferromagnetic semiconductor (Al,Fe)Sb", *Appl. Phys. Lett.* 107, pp.232405/1-4(2015).
- 8) T. Kanaki, H. Asahara, S. Ohya, and M. Tanaka, "Spin-dependent transport properties of a GaMnAs-based vertical spin metal-oxide-semiconductor field-effect transistor structure" *Appl. Phys. Lett.* 107, pp.242401/1-4 (2015).
- 9) S. Sakamoto, L. D. Anh, P. N. Hai, G. Shibata, Y. Takeda, M. Kobayashi, Y. Takahashi, T. Koide, M. Tanaka, and A. Fujimori, "Magnetization Process of the n-type Ferromagnetic Semiconductor (In,Fe)As:Be Studied by X-ray Magnetic Circular Dichroism", *Phys. Rev. B* 93, pp.035203/1-6 (2016).
- 10) Pham Nam Hai, Daiki Maruo, Le Duc Anh, and Masaaki Tanaka, "Continuous reddish-yellow visible-light emission at room temperature in manganese-doped silicon light-emitting diodes", *Phys. Rev. B* 93, pp.094423/1-6 (2016).
- 11) T. Dietl, K. Sato, T. Fukushima, A. Bonanni, M. Jamet, A. Barski, S. Kuroda, M. Tanaka, Pham Nam Hai, and H. Katayama-Yoshida, "Spinodal nanodecomposition in semiconductors doped with transition metals", *Rev. Mod. Phys.* 87, 1311 (2015).
- 12) Nguyen Dang Vu, Tetsuya Fukushima, Kazunori Sato, and Hiroshi Katayama-Yoshida, "Computational materials design of LiZnAs-, LiZnP-, and LiZnN-based n-type magnetic semiconductors", *Japanese Journal of Applied Physics* 54, 053002 (2015).
- 13) H. Katayama-Yoshida, K. Sato, T. Fukushima, A. Masago, and M. Seike, "Computational nanomaterials design for nanospintronics: room-temperature spintronics applications", *Rare Earth and Transition Metal Doping of Semiconductor Materials: synthesis, Magnetic Properties and Room Temperature Spintronics*, Page 3-42, *Edited by: Volkmar Dierolf, Ian Ferguson and John M. Zavada* ISBN: 978-0-08-100041-0
- 14) J. P. Dehollain, S. Simmons, J. T. Muhonen, R. Kalra, A. Laucht, F. Hudson, K. M. Itoh, D. N. Jamieson, J. C. McCallum, A. S. Dzurak, and A. Morello, "Bell's Inequality Violation with Spins in Silicon," *Nature Nanotechnology* Published online, 16 November 2015.
- 15) M. Veldhorst, C. H. Yang, J. C. C. Hwang, W. Huang, J. P. Dehollain, J. T. Muhonen, S. Simmons, A. Laucht, F. E. Hudson, K. M. Itoh, A. Morello, and A. S. Dzurak, "A Two-Qubit Logic Gate in Silicon," *Nature* 526, 410-414 (2015).
- 16) A. J. Sigillito, R. M. Jock, A. M. Tyryshkin, J.W. Beeman, E. E. Haller, K. M. Itoh, and S. A. Lyon, "Electron Spin Coherence of Shallow Donors in Natural and Isotopically Enriched Germanium," *Phys. Rev. Lett.* 115, 247601 (2015).
- 17) Y. Kusano, H. Saito, L. S. Vlasenko, M. P. Vlasenko, E. Ohta, and K. M. Itoh, "Low Symmetry Configurations of Vacancy-Oxygen Complexes in Irradiated Silicon," *J. Appl. Phys.* 118, 245703 (2015).
- 18) S. Fukami, C. Zhang, S. DuttaGupta, A. Kurenkov, and H. Ohno, Magnetization switching by spin-orbit torque in an antiferromagnet-ferromagnet bilayer system, *Nature Mater.* (2016) doi: 10.1038/nmat4566
- 19) S. Fukami, T. Anekawa, C. Zhang, and H. Ohno, A spin-orbit torque switching scheme with collinear magnetic easy axis and current configuration, *Nature Nanotech.* (2016) doi: 10.1038/nnano.2016.29

H26/S3

ナノエレクトロニクスに関する連携研究

Collaborative Research on Nano-electronics

[1] 組織

代表者：逢坂 哲彌

(早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構長)

対応者：宇高 勝之、谷井 孝至

(早稲田大学理工学術院基幹理工学部)

庭野 道夫、佐藤 茂雄

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

川原田 洋

(早稲田大学理工学術院基幹理工学部)

庄子 習一 (同上)

山本 知之 (同上)

渡邊 孝信 (同上)

本間 敬之 (早稲田大理工学術院先進理工学部)

竹延 大志 (同上)

上原 洋一 (東北大学電気通信研究所)

枝松 圭一 (同上)

末光 眞希 (同上)

長 康雄 (同上)

白井 正文 (同上)

石山 和志 (同上)

中沢 正隆 (同上)

村岡 裕明 (同上)

尾辻 泰一 (同上)

八坂 洋 (同上)

大野 英男 (同上)

延べ参加人数：35人

研究費（物件費及び旅費）：100万円

[2] 研究経過

ナノ構造の創製技術とその電子デバイス等への応用技術の開発は、これからの情報通信分野の新機能デバイス創製基盤技術を確立する上で極めて重要である。東北大学電気通信研究所は、情報デバイス研究部門、ブロードバンド工学研究部門やナノ・スピンの実験施設を中心として、ナノ構造を用いた電子デバイスや集積回路の創製に関して、世界的に評価さ

れている研究成果を数多く上げてきている。

一方、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構はナノテクノロジー関連の研究活動を統合する為の組織として発足し、学際的なナノ理工学に関する研究活動の一つに束ねてワンストップ型の研究開発体制を築いていくことをその役割としており、これまでに電気化学的手法から微細加工技術まで、多様なナノ構造創製技術を培ってきている。特に2015年度には、前身のナノ理工学研究機構から、バイオ・グリーンテクノロジーをも包含するナノ・ライフ創新研究機構へと発展した。

本プロジェクト研究では、これらの二つの研究機関が融合研究を実施することにより、異分野技術の融合による新しい情報通信デバイスの実現を目指した研究を推進することを目的として進められた。両機関が、若手研究者育成に関しても緊密に連携することにより、グローバル化に対応できる研究能力の高い若手研究者の育成に努めることも目的とした。

組織連携型共同プロジェクトSを通して、これまで5年間にわたり精力的に両研究組織間で共同研究ならびに研究会を開催してきており、研究および人的交流を図ってきた。加えて、通研共同プロジェクト研究「ナノ・バイオエレクトロニクスに関する研究」に早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構（旧ナノ理工学研究機構）の研究者が参画し、また、通研国際シンポジウムや、各種国際会議や学会等において、両機関の研究者が日常的に研究交流を行っている。今年度は、2016年1月29日（金）に通研ナノ・スピン総合研究棟カンファレンスルームにおいて、シミュレーションをテーマにした研究会を開催した。また、同A401室において同テーマに関する、学生および博士研究員のポスター発表も行った。両組織間で活発な討論が行われ、具体的な研究成果の共有および次の目標設定を行った。なお、口頭講演発表の内容は下記のとおりである。

(口頭講演)

「高磁気異方性材料の理論設計」

東北大 白井正文 教授

「高密度磁気記録のための LLG シミュレーション解析」 東北大 Simon John Greave 准教授
「EMC/MD シミュレーションによるナノデバイス特性揺らぎの統計解析」

早稲田大 渡邊孝信 教授

「量子情報処理に向けた離散的な不純物ドーピング」

早稲田大 谷井孝至 教授

「断熱的量子計算による最適化問題の解法」

東北大 佐藤茂雄 教授

「ナノ・マイクロファブリケーションと新規機能性デバイスの創製」

早稲田大 水野 潤 教授

「マイクロパターン培養神経回路の計算機シミュレーション」

東北大 山本英明 助教

(ポスター発表)

「分子動力学法による $\text{MgxAl}_y\text{Ox}+1.5\text{y/SiO}_2$ 界面のダイポール形成シミュレーション」

早稲田大 功刀遼太 (渡邊研, M1)

「チップストリーミングと DLD ソーティングを用いた分離可能な単一細胞液滴の生成と分離」

早稲田大 鎌田 裕樹 (庄子研, M1)

「マイクロ流体有機発光光源を用いた携帯型蛍光検出デバイスの作製」

早稲田大 須崎 遥 (庄子研, B4)

「モジュール型構造を有する神経ネットワークの構築と活動解析」

早稲田大 河野 翔 (谷井研, D1)

「ナノホールレジストマスクと N_2 分子イオン注入を用いたダイヤモンド NV センタ配列の作製」

早稲田大 東又 格 (谷井研, M1)

「回路スケールに依存した積分発火型モデル神経回路の活動変調」

東北大 千田雄大 (庭野研, M2)

「位相振動子ネットワークにおける同期状態の理論解析」 東北大 清水ファビオアキラ (庭野研, B4)

「垂直記録磁化の高速磁化反転機構」

東北大 秋田谷尚紀 (村岡研, M1)

「強磁性金属薄膜における磁性の電界制御に関する第一原理計算」

東北大 辻川雅人 (白井研, 助教)

「 $\text{Co}_2\text{MnSi}/\text{Ag-Mg}/\text{Co}_2\text{MnSi}$ 巨大磁気抵抗素子に関する理論研究」

東北大 森川志門 (白井研, M2)

「脳型学習則を利用した断熱的量子計算の提案」

東北大 刑部好弘 (佐藤研, D1)

「運動視により衝突時間を検知する集積回路の設計」 東北大 守谷 哲 (佐藤研, M1)

[3] 成果

(3-1) 研究成果

一昨年度から研究テーマを絞った研究会を開催し、幅広い分野をカバーする両組織間の研究分野の中から特定テーマでの連携を模索し始めた。これまでに「ナノバイオ系」、「カーボン系材料」「フォトニクス系」において萌芽的な共同研究が進められつつある。今回、「理論・シミュレーション/バイオ MEMS」を中心テーマとした研究会を開催したことにより、当該分野における新たな連携の枠組みも見え始めている。特に単一光子計測に関する共同研究、および神経細胞回路の作製に関する共同研究では、両組織にわたって、人的交流、サンプルの提供および計測、共著論文発表が行われた。筆頭著者 (博士学生) が奨励賞を受賞するに至る共著の学会発表も出始め、一昨年度から開始した両組織間の学生交流が実を結びつつある。

また、本プロジェクト研究と連動する形で、「第四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、2016 年 2 月 23, 24 日に通研ナノ・スピン総合研究棟カンファレンスルームにおいて開催した。共同研究成果の発表、並びに国内外研究者との意見交換を行い、今後の研究開発に向けて有益な知見を得ることができた。

(学会発表)

[1] S. Kono, T. Kushida, H. Yamamoto, T. Tani: Live-cell, label free identification of excitatory-inhibitory neurons on micropatterned surfaces, 8th International Conference on Molecular Electronics and Bioelectronics (M&BE8), June 2015. ※Student Poster Award 受賞

[2] 山本英明, 千田雄大, 平野愛弓, 谷井孝至, 久保田 繁, 庭野道夫: 培養神経回路の自発発火パターンの素子数依存性に関する理論的考察, 第 38 回日本神経科学大会, 2015 年 7 月.

[3] 河野 翔, 櫛田昂歳, 山本英明, 谷井孝至: マイクロパターン上での培養による興奮性-抑制性神経細胞の非標識判別 II. 第 76 回応用物理学会秋季学術講演会, 2015 年 9 月.

[4] K. Sekine, H. Yamamoto, S. Kono, S. Fujishiro, T. Ikeda, A. Kuroda, T. Tani: Laser-Scanning Photocatalytic Lithography of Organosilane Monolayers for Fabrication of Artificial Neuronal Circuits. MNC2015, Nov. 2015.

[5] 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至, 庭野道夫: 表面マイクロ改質技術を活用した培養神経細胞/回路の構造制御. 第 35 回表面科学学術講演会, 2015 年 12

月．(招待講演)

[6] H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, T. Tani, M. Niwano: Manipulating neuronal cells in situ by TiO_2 -assisted photocatalytic lithography. 9th International Symposium on Nanomedicine (ISNM2015), Dec. 2015. (Invited)

[7] H. Yamamoto, A. Hirano-Iwata, S. Kubota, T. Tani, M. Niwano: Spontaneous activity patterns of small neuronal ensembles. 4th RIEC International Symposium on Brain Function and Brain Computer, Feb. 2016 (予定).

[8] 山本英明, 石原広識, 河野 翔, 千田雄大, 松村亮祐, 平野愛弓, 久保田繁, 谷井孝至, 庭野道夫: マイクロパターン表面を用いた培養神経回路の構造・機能制御. 第63回応用物理学会春季学術講演会, 2016年3月(予定).

[9] 藤城翔偉, 関根浩平, 河野 翔, 池田 丈, 黒田章夫, 山本英明, 谷井孝至: レーザー操作光触媒リソグラフィを活用した液中細胞パターンニング. 第63回応用物理学会春季学術講演会, 2016年3月(予定).

(論文発表)

[1] H. Yamamoto, T. Demura, K. Sekine, S. Kono, M. Niwano, A. Hirano-Iwata, T. Tani: Photopatterning Proteins and Cells in Aqueous Environment using TiO_2 Photocatalysis, Journal of Visualized Experiments 104, e53045 (2015).

[2] K. Sekine, H. Yamamoto, S. Kono, T. Ikeda, A. Kuroda, T. Tani: Surface modification of cell scaffold in aqueous solution using TiO_2 photocatalysis and linker protein L2 for patterning primary neurons, e-Journal of Surface Science and Nanotechnology 13 (2015) 213.

[3] M. Sajo, H. Sugiyama, H. Yamamoto, T. Tani, N. Matsuki, Y. Ikegaya, R. Koyama: Neuraminidase-Dependent Degradation of Polysialic Acid Is Required for the Lamination of Newly Generated Neurons, PLOS ONE 11 (2016) e0146398.

[4] S. Kono, H. Yamamoto, T. Kushida, A. Hirano-Iwata, M. Niwano, T. Tani: Live-cell, label-free identification of excitatory and inhibitory cell types of cultured cortical neurons using micropatterned surface, PLOS ONE (under revision).

[5] H. Yamamoto, S. Kubota, A. Hirano-Iwata, Y. Chida, M. Morita, T. Tani, M. Niwano: Scale-dependent regulation of synchronized activity in living neuronal networks, Phys. Rev. E (submitted).

[6] 山本英明, 平野愛弓, 谷井孝至, 庭野道夫: 光触媒作用を用いた液中表面改質による培養神経細胞の操作. 表面科学, accepted for publication.

(3-2) 波及効果と発展性、研究分野への貢献など
特に、神経細胞の機能制御・解析 (バイオ) に、ガラス基板表面パターンニング (ナノ) を活用する連携 (庭野-谷井) で具体的な成果が出ており、この技術を通して実神経細胞を素子とする神経回路を基板上に再構成する技術が構築されつつある。これらの成果を下地として、本連携研究の枠組みを超えて、培養神経回路、生体神経回路、および半導体神経回路をシームレスに理解し、環境適応機能の発現メカニズムを明らかにすることを目的とする新学術領域 (ミニマルブレイン) を立ち上げており、継続的に共同研究予算獲得を進めている。

[4] 成果資料

本年度の研究会での発表内容を纏めた研究会報告書を作成した。

H27/S1

大規模データ処理に基づく 対話的知識創発を通じた共感計算機構

〔1〕組織

代表者：駒谷 和範

(大阪大学産業科学研究所)

対応者：北村 喜文

(東北大学電気通信研究所)

分担者：

沼尾 正行 (大阪大学産業科学研究所)

八木 康史 (大阪大学産業科学研究所)

鷲尾 隆 (大阪大学産業科学研究所)

鈴木 陽一 (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)

石山 和志 (東北大学電気通信研究所)

大堀 淳 (東北大学電気通信研究所)

外山 芳人 (東北大学電気通信研究所)

木下 哲男 (東北大学電気通信研究所)

羽生 貴弘 (東北大学電気通信研究所)

石黒 章夫 (東北大学電気通信研究所)

延べ参加人数：30人

研究費：100万円

〔2〕研究経過

本研究では大規模化・多様化・複雑化する情報環境の中での「共感計算機構」実現を目指し、大規模、多様、複雑なデータを解析するデータマイニング技術をベースに、共感する能力、すなわち、自身が共感すると同時に、ユーザを共感させる能力を人工知能に持たせることを目指している。この中で、機械と人間が対話的に情報の授受を行うことにより、知識の獲得や創発を狙う。対話的な情報の授受のための複数メディアに対するセンサを開発すると同時に、そのような入出力を扱える共感計算機構を、アンビエント知能等を対象にして研究する。これらの実現には、多様な技術や知見の集積が必要であるため、研究所間の連携を通じて研究を推進した。

本プロジェクトは、本年度から新規プロジェクトとして再度立ち上げられた。両研究所間の情報交換や新たな共同研究の立ち上げを狙い、研究会を2016年1月25日(月)26日(火)の両日に、東北大学電気通



信研究所 本館5階M531セミナー室において開催した。この研究会では、東北大通研から9件、阪大産研から6件の発表があり、のべ19名が発表を行った。本研究テーマに関連するインタフェース、ビジョン、音響、人工知能、データマイニング、ソフトウェアなどの研究についての発表が行われた。参加者にとっては、さらなる共同研究の可能性を示す新たな知見の共有があり、積極的な質疑応答がなされた。

上記の研究会以外にも、両研究所間で、共同研究に向けた研究打合せを複数回にわたって行った。6月には東北大通研の北村教授が阪大産研を訪問した。12月と2月には、阪大産研の駒谷教授が東北大通研を訪問し、議論や講演を行った。3月には、東北大通研北村研の高嶋助教が阪大産研を訪問し、議論を行った。また1月の研究会の際には、研究テーマごとに議論を行い、通研の北村研と産研の駒谷研、八木研の間や、通研の木下研と産研の沼尾研の間での議論が行われた。

〔3〕成果

(3-1) 研究成果

上記の研究会で報告のあった各研究グループの研究成果ないし報告の概要は以下のとおりである。

東北大学電気通信研究所・大阪大学産業科学研究所の最近の話題(北村 喜文, 駒谷 和範)

両研究所の組織の概要、構成員や異動状況、最近の研究活動や、通研の新しい建物について説明がなされた。

音響情報センシングと高臨場感再生技術の開発
(坂本 修一)

球状マイクロホンアレイを用いた高精度音空間收音技術と、分散配置型動的マイクロホンアレイについて、技術の概要説明と、実現に向けて解決すべき技術課題について報告がなされた。

歩行映像解析とその応用 (1) (槇原 靖, 満上 育久)

歩行映像解析の概要とともに、歩行映像解析による歩行者の意図解析や自立度の判定といった応用事例について紹介が行われた。

書き換えシステムの変換を利用した帰納的定理自動証明 (外山 芳人)

書き換え帰納法に文脈移動法・文脈分割法を組み合わせることで、強力な帰納的定理自動証明システムが実現できることを示された。

記号処理と信号処理の狭間?— いびきおよび音楽への生体信号のマッピング (沼尾 正行, 福井 健一)

人を目的の状態にする音楽の自動作曲の試みや、寝息やいびきなどの睡眠中の音に対して、睡眠状態をマッピングおよび推定することにより、手軽に睡眠状態の推定と改善を目指す試みが紹介された。

磁気を利用したセンシング技術 (柁 修一郎)

磁界を情報の伝達媒体に用いて、生体内外の温度や物体の位置情報を低侵襲に把握する技術や、磁性体の特徴を利用したセンサなど、磁気を利用するセンシング技術について紹介が行われた。

音声対話ロボットとオントロジーに関する研究動向 (駒谷 和範, 古崎 晃司, 武田 龍)

ロボットと音声を用いて対話をするシステムを構築する研究の紹介とともに、オントロジー研究についても最近の動向を紹介が行われた。

人の行動に基づくロボットの動作デザイン (高嶋 和毅, 上出 寛子)

人間とロボットの長期的関係性の維持・進展を実現するために、親密さを表現する社会的なロボットと、人の作業空間を動的に形成するロボット型ディスプレイについて研究において、それぞれのロボットの動作デザインや今後の展開について報告がなされた。

身体情報と視覚情報処理 (塩入 諭)

手の位置と視覚処理の関連、頭部の運動と視覚処理の関連、振り向かなければ見えない場所の視覚情報の処理などについて研究の成果が紹介された。

歩行映像解析とその応用 (2)
(村松 大吾, 大倉 史生)

歩行映像解析による、歩行者の同一人物性の判定といった科学捜査分野への応用や、乳牛管理のための個体識別といった酪農分野への応用事例の紹介が行われた。

脳型 LSI 実現へ向けた新概念 VLSI システム技術 (羽生 貴弘)

脳型 LSI 実現へ向けた研究成果の一例、具体的には、stochastic computing 技術、不揮発ロジック LSI 技術等について紹介が行われた。

エージェント指向 IoT に基づくシステム構築基盤の設計 (高橋 秀幸)

IoT (Internet of Things) デバイスにエージェント機能を付加することで、人・モノ・データの有機的な連携を実現するエージェント型 IoT (AIoT: Agent-oriented Internet of Things) のためのシステム構築基盤について紹介が行われた。

統計的パターンマイニング (杉山 磨人)

パターンマイニングと多重検定法を融合した、最新の統計的パターンマイニング手法について紹介が行われた。

SML#コンパイラバックエンド: ML から C 互換な低レベルコードへのコンパイル (上野 雄大)

SML#は大堀研で開発を推進している新しいプログラミング言語である。本発表では、それら SML# のコード生成技術についての紹介が行われた。

(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により、両研究所間で既にあった協力関係に加え、新たな連携の芽が生まれている。組織間連携によりこれらの研究を推進することは、通常は接点が少ない研究者との対話や交流を深める意義がある。これにより、機械学習やメディア処理、ヒューマンインタフェース分野において、現在各方面で形成されつつある情報システム開発の萌芽的組織の中核となる拠点形成を可能とし、今後の研究を牽引する組織作りができる。

[4] 成果資料

- (1) K. Komatani, N. Hotta, S. Sato, M. Nakano: Posteriori Restoration of Turn-Taking and ASR Results for Incorrectly Segmented Utterances. IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E98-D, No. 11, pp. 1923-1931, 2015.
- (2) R. Takeda, K. Nakadai, K. Komatani: Acoustic Model Training based on Node-wise Weight Boundary Model Increasing Speed of Discrete Neural Networks. Proc. IEEE Automatic Speech Recognition and Understanding Workshop (ASRU 2015), pp. 52-58, 2015.
- (3) M. Sugiyama, F. Llinares-López, N. Kasenburg, K. M. Borgwardt: Significant Subgraph Mining with Multiple Testing Correction. Proc. SIAM International Conference on Data Mining (SDM 2015), pp. 37-45, 2015.
- (4) F. Llinares-López, M. Sugiyama, L. Papaxanthos, K. M. Borgwardt: Fast and Memory-Efficient Significant Pattern Mining via Permutation Testing. Proc. ACM SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD 2015), pp. 725-734, 2015.
- (5) T. Ikeda, I. Mitsugami, Y. Yagi: Depth-based Gait Authentication for Practical Sensor Settings, IPSJ Transactions on Computer Vision and Applications (CVA), 2015.
- (6) H. Yamazoe, T. Ogawa, I. Mitsugami and Y. Yagi: Gait Analysis of Simulated Left Knee Disorder, Proc. 9th International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies, 2015.
- (7) N. Thammasan, K. Moriyama, K. Fukui, and M. Numao: Investigation of Familiarity Effects in Music-Emotion Recognition based on EEG, Proc. International Conference on Brain & Health Informatics (BIH'15), pp. 242-251, 2015.
- (8) N. Thammasan, K. Moriyama, K. Fukui, and M. Numao: Continuous Music-emotion Recognition Based on Electroencephalogram, IEICE Transactions, Vol. E99-D, No. 4, 2016. (in Press)
- (9) W. Hongle, T. Kato, T. Yamada, M. Numao, and K. Fukui: Sleep Pattern Discovery via Visualizing Cluster Dynamics of Sound Data, The 29th International Conference on Industrial, Engineering & Other Applications of Applied Intelligent Systems (IEA/AIE 2016), Aug. 2016. (to appear)
- (10) K. Sato, K. Kikuchi, T. Aoto and Y. Toyama, Correctness of context-moving transformations for term rewriting systems, Proc. of 25th International Symposium on Logic-Based Program Synthesis and Transformation (LOPSTR 2015), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 9527, pp. 331-345, 2015.
- (11) N. Onizawa, D. Katagiri, K. Matsumiya, W. J. Gross, and T. Hanyu: Gabor Filter Based on Stochastic Computation. IEEE Signal Processing Letters, vol. 22, no. 9, pp. 1224-1228, 2015.
- (12) S. Sakamoto, S. Hongo, T. Okamoto, Y. Iwaya and Y. Suzuki: Sound-space Recording and Binaural Presentation System based on a 252ch Microphone Array. Acoustical Science and Technology, Vol. 36, No. 6, pp. 516-526, 2015.
- (13) T. Kato, R. Chiba, H. Takahashi, T. Kinoshita: Agent-Oriented Cooperation of IoT Devices towards Advanced Logistics, CDS 2015: 3rd IEEE International Workshop on Consumer Devices and Systems held in conjunction with the 39th Annual International Computers, Software & Applications Conference (COMPSAC 2015) Workshop, pp. 223-227, 2015.
- (14) K. Takashima, Y. Asari, H. Yokoyama, E. Sharlin, and Y. Kitamura: The Design of Moving Interactive Tabletops. Proc. of Human-Computer Interaction (IFIP INTERACT), pp. 296-314, 2015.
- (15) Y. Fang, R. Nakashima, K. Matsumiya, I. Kuriki, S. Shioiri: Eye-Head Coordination for Visual Cognitive Processing, PLoS ONE, Vol. 10, No. 3: e0121035, 2015.
- (16) R. Nakashima, Y. Fang, Y. Hatori, A. Hiratani, K. Matsumiya, I. Kuriki, S. Shioiri: Saliency-based Gaze Prediction based on Head Direction, Vision Research, 117: pp. 59-66. 2015.

第 6 章 国際会議・シンポジウム等

第 23 回 国際色覚学会

23rd Symposium of the International Colour Vision Society

開催日：平成 27 年 7 月 3 日（金曜日）～7 日（火曜日）（5 日間）

開催場所：東北大学片平キャンパス さくらホール

参加人数：136 名（うち外国人参加者人数 70 人）

色覚メカニズムに関する世界的権威のある会議が、日本で初めて開催された。この会議は、色覚異常や健常者の色覚メカニズムに関する研究で、世界的権威の研究者が多数出席する上、ソーシャルな交流を重んじ少人数で開かれる事が特徴であり、トップクラスの研究者達と直接交流できる貴重な機会である。今回は、日本国内から 66 名、国外からは 20 カ国より 70 名の参加者を迎え、口頭発表 80 件、ポスター発表 46 件が行われた。

日本は色覚の研究者人口が比較的多く、またその研究分野也多岐にわたっている。そこで、世界的にも注目度の高い研究を行っている日本の先生方に特別講演を依頼した。霊長類の色覚の多様性に関する研究（川村正二教授・東大）、蝶の色覚に関する研究（蟻川健太郎教授・総研大）、人間を含む霊長類の色覚メカニズムに関する研究（小松英彦教授・生理研）の 3 件である。また、眼科で行われる色覚検査の標準的チャートとして世界的に広く活用されている石原式色覚検査票が、初版の刊行（1914 年）から 100 年経過し、かつ本会議の日本での開催と相まって、石原式検査票に関する特別セッションを設ける事となった。特別セッションでは開発者・石原忍の功績を顕彰する会から 澤 充 先生（日本大学名誉教授）をお迎えし、石原式検査票の開発経緯などについて解説を受けた後、関連する研究発表が紹介された。

全員参加のランチやバンケット（鐘景閣）、エクスカージョン（荒浜小学校被災地、松島遊覧）などのプログラムを織り交ぜ、和気あいあいとした雰囲気の中で、トップクラスの研究者たちとの有意義な交流を深める事ができる充実した会議となった。



コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術 の新展開

(RIEC International Symposium on Computer Graphics and Interactive
Techniques: New Horizon)

開催日：平成 27 年 9 月 26 日（土）～27 日（日）（2 日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 M533

参加人数：30 名（うち外国人参加者人数 5 人）

東北大学電気通信研究所で、International Symposium on Computer Graphics and Interactive Techniques: New Horizon と題して、シンポジウムを開催した。2015 年には、アジアにおけるコンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の国際会議 SIGGRAPH Asia が 6 年ぶりに日本で開催された。これは、デジタルメディアとデジタルコンテンツの分野の大規模・重要国際会議・展示会であり、49 か国から 7,050 人の参加者を集めて 11 月 2～5 日に神戸で開催された。通研の北村喜文が Conference Chair を務めた。世界中から当該分野の専門家やこの分野を目指す若者が多数参加することになっていたため、運営組織であるプログラム委員には、当該分野の国内外のプロが名を連ねていた。そこで、これらの委員を含む当該分野の著名な研究者が集まり、会議の運営に加えて、コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術に関する研究の将来展開を話し合う研究会を、東北大学電気通信研究所で通研シンポジウムとして開催した。コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術を中心とするデジタルメディアとデジタルコンテンツの分野の技術者・研究者・アーティストといった世界的な専門家が東北大学電気通信研究所に集結し、将来展開を話し合う機会を持ったことは、この分野の発展に大きな意味を持つと思われる。同時に、東北大学電気通信研究所のこの分野におけるプレゼンスも高められたと思われる。その結果、次回の国際会議 SIGGRAPH Asia の開催場所の誘致にも大いにもつながったと思われる。



第 13 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ 13th RIEC International Workshop on Spintronics

開催日：平成27年11月18日（水曜日）～20日（金曜日）（3日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：185名（うち外国人参加者人数75人）

本ワークショップは2005年に第1回が開催されて以来、ほぼ年1回のペースで回を重ね、今回で13回目の開催となった。今回は東北大学「知のフォーラム（Tohoku Forum for Creativity）」の一環として開催されたこともあり、過去最多となる185名の参加者を集めた。我が国をはじめとして、アメリカ、ドイツ、フランス、ポーランド、スウェーデン、サウジアラビアからの招待講演者による22件の招待講演に加え、35件のポスター発表がなされた。

招待講演では、トポロジカル絶縁体やハーフメタルホイスラー合金などの新規磁性材料、反強磁性体におけるスピン輸送現象、スピン軌道トルク、マグノニクス、量子スピントロニクス、スピンの光学制御、スピン素子の脳型情報処理応用など、スピントロニクス分野の最新、かつ広範囲にわたる話題が扱われ、いずれも満員の聴衆との間で活発な議論がなされた。どのトピックも数年前には想像もできなかったほどの進展を見せており、この分野の奥深さや将来の更なる発展の可能性を改めて強く認識した。ポスター発表では本学の学生も発表を行い、世界の一流研究者に対して自分の研究内容を伝え議論することで、今後の研究を進めていくための良い示唆と大きな刺激が得られたものと思う。



ナノ・スピン実験施設 カンファレンスルームにて

第四回 脳機能と脳型計算機に関する 通研国際シンポジウム

The 4th RIEC International Symposium
on Brain Functions and Brain Computer

開催日：平成 28 年 2 月 23 日（火曜日）～24 日（水曜日）（2 日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：44 名（うち外国人参加者人数 5 人）

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、大腦生理学、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。今回が四回目であり、平成 28 年 2 月 23 日、24 日の 2 日間に渡って開催された。アメリカ、ドイツ、スペイン、スウェーデンの 4 か国から 4 名の海外招待講演者を迎え、計 12 件の口頭発表、10 件のポスター発表が行われた。今回も講演内容は、神経科学、培養神経回路、集積回路など多岐にわたるものであった。分野を超えて有意義な質疑応答が活発に行われ、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。



第四回 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

2016年脳型LSIに関する国際シンポジウム 2016 International Symposium on Brainware LSI

開催日：平成28年2月26日、27日（金、土曜日）

開催場所：東北大学電気通信研究所 本館6F 大会議室

参加人数：60名

平成26年度概算要求において、東北大学 電気通信研究所が提案した「人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSI創出事業」が採択され、新規プロジェクトがスタート致しました。

本プロジェクトは、情報量の急速な増大に加え、デジタルデバイドが急増している現代社会の危機的状況を回避するために、ハードとソフトを一新し、人間的な判断機能を取り込んだ低消費電力で柔軟なハード・ソフト融合型集積回路「新概念脳型LSI」の開発を目指すことを目的としております。

本プロジェクトの2年間の成果発表として、2016年脳型LSIに関する国際シンポジウムを開催致しました。本国際会議においては、脳型コンピューティングおよび半導体集積回路による実現に関連する国内並びに海外の研究者を招へいし、脳型LSI実現に向けた様々な分野からの融合的アプローチの可能性について講演者との活発な議論がなされました。

第 10 回 バイオ・医療・ナノエレクトロニクスに関する 国際シンポジウム 第 7 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 Joint Symposium of 10th International Symposium on Medical, Bio- and
Nano-Electronics,

7th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics

開催日：平成 28 年 3 月 1 日（火曜日）～ 3 日（木曜日）（3 日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：127 名

ナノ構造とその応用に関するセッションでは、ナノチューブやナノカーボンなどのナノ構造体について、その形成技術や構築した構造体の評価、太陽電池やガスセンサーなどへのデバイス応用についての講演が行われ、活発な討論が繰り広げられた。バイオメディカルセッションでは、微細加工技術のバイオ応用やメディカル応用に関する最新の研究成果が発表された。脂質二分子膜に包埋したチャネルタンパクを用いたセンサーや、固体基板上への細胞ネットワークの構築技術、超音波を用いたイメージング技術や新規ケミカルバイオロジー等、幅広い分野にまたがる発表がなされ、この分野の発展性と将来性を強く感じさせるセッションとなった。また、本シンポジウムではナノエレクトロニクスとバイオのような異分野の研究者間の交流も活発に行われた。このような異分野交流により、今後のブレークスルーが生み出されるものと期待される。

アメリカ、ドイツ、イギリス、そして日本からの計 20 件の招待講演が行われ、3 日間ののべ参加人数は 127 名であった。この合同シンポジウムは次年度も開催予定である。



6. 2 国際会議等の開催状況

第 8 回アジアにおけるコンピュータグラフィックスと インタラクティブ技術に関する国際会議

SIGGRAPH Asia 2015

The 8th ACM SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and
Interactive Techniques in Asia

開催場所： 神戸・国際会議場 & 国際展示場

開催日： 2015 年 11 月 2 日(月)～5 日(木)

Web: <http://sa2015.siggraph.org/>

SIGGRAPH は、米国に拠点を置く ACM (Association for Computing Machinery) の 1 つの SIG (Special Interest Group) で、コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術に関する諸活動を行っている。そして、この分野で世界最大の国際会議として SIGGRAPH を 40 年前より主催し、毎年夏に米国で開催して 2 万～3 万人の参加者を集めてきた。そのアジア版である SIGGRAPH Asia は、2008 年に開始され、2008 年シンガポール (参加者数 3389 人, Exhibition 出展社数 81 社), 2009 年横浜 (同 6424 人, 71 社), 2010 年ソウル (同 9238 人, 102 社), 2011 年香港 (同 7734 人, 122 社), 2012 年シンガポール (同 4338 人, 79 社), 2013 年香港 (同 6,078 人, 96 社), 2014 年中国・深圳 (同 5,968 人, 45 社) と開催され、2015 年は 6 年ぶりの日本開催で、神戸で 11 月 2 日(月)～5 日(木)に、49 か国から 7050 人の参加者と 76 社の出展社数を集め、盛大に開催された。

2015 年の SIGGRAPH Asia では、東北大学電気通信研究所・教授の北村喜文が Conference Chair を務めた。そして、いつもの SIGGRAPH や SIGGRAPH Asia でのお馴染みのプログラムに加えて、2 つのシンポジウムを新設するなどして、SIGGRAPH Asia 史上最大の種類の充実したプログラムを組むことができたのが成功につながったと思われる。そのいずれのプログラムにも、予想通りまたはそれを上回る数の投稿があり、厳しい査読を経て質の高い研究結果や作品が数多く採択され発表された。結果として、発表の質と量で、SIGGRAPH Asia 史上最高となった。実際、本年の査読等を経た全発表件数は 387 件 (2014 年 303 件, 2013 年 342 件, 2012 年 315 件, 2011 年 233 件) と、過去を大きく上回った。これらに Exhibition や招待講演・パネル討論などを加え、発表総数は約 500 件となった。



図 1: オープニングセッション



図 2: 会場の様子



図 3: 展示会場

オープニングセッションでは、Conference Chair の北村が挨拶を行った。その冒頭では、今回の開催場所の神戸や東北でも起きた震災とその復興への歩みを紹介した。復興は新しい未来を切り拓くための挑戦的な取り組みであり、この考えは技術革新にも通じるものである。このような背景の下、今年の SIGGRAPH Asia では “Revolutionary and Evolutionary” がテーマとして掲げられており、これは「独創的革新と技術進化の調和」を目指したものであることを紹介した。そのテーマの通り、期間中には、チャレンジングな未知の技術から基盤技術の更なる発展まで、様々な知見が発表・議論され、未来につなげることができたと思う。

Panel: Pioneers?? -- You can become one too! と名付けられたパネル討論は、今回の目玉プログラムの 1 つである。SIGGRAPH の技術領域は、コンピュータグラフィックス、ロボティクス、コンピュータビジョン、ヒューマンコンピュータインタラクション、バーチャル／オーグメンテッドリアリティなど多岐に及ぶが、先駆的な研究でこれらの分野を引っ張ってこられた 3 名の先生方に、君もパイオニアになれる！ と題したパネル討論をしていただいた。登壇されたのは、金出武雄先生（カーネギーメロン大学）、西田友是先生（広島修道大学/UEI リサーチ）、Steven Feiner 先生（コロンビア大学）の 3 名であった。パネル全体を通して、非常に多岐にわたる研究を先生方全員は紹介された。1 つの分野において研究を続けるというのは 1 つのトピックに固執することではない。今までの経験と知識を軸にして様々な研究課題に挑戦する積極性が研究者には必要である。自分の研究領域を深く追究する忍耐力と新しい課題に足を踏み入れる勇氣、これらこそ Pioneer の必要要素なのではないかと思われる。

Technical Paper プログラムは、主にアメリカで開催される SIGGRAPH とともにコンピュータグラフィックスの最高峰の論文発表の場であり、毎年、多くの論文が投稿されるが、今回は 304 本の論文が投稿され、その内、84 本が採択された（採択率 27.81 %）。

SIGGRAPH はコンピュータグラフィックスの分野のトップコンファレンスの 1 つである一方で、「コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術に関する国際会議」である。つまり、SIGGRAPH の両輪の一つが「インタラクティブ技術」であり、Emerging Technologies (E-Tech) における数々の発表が、最新のインタラクティブ技術の発表の一翼を担っている。今回は 80 件の中から査読により 29 件が採択され、期間中毎日デモ展示され、会場を盛り上げていた。

2016 年の第 9 回 SIGGRAPH Asia は 12 月 5～8 日に中国のマカオで開催される予定である。



図 4: Emerging Technologies 会場(1)

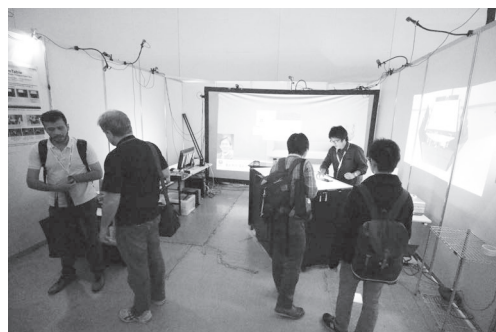


図 5: Emerging Technologies 会場(2)



図 6: レセプション会場



図 7: Student Volunteers の皆さん

第9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&日本学術振興会研究拠点形成事業
ジョイントセミナー“高集積原子制御プロセス
国際共同研究拠点の形成”

9th International WorkShop on New Group IV Semiconductor
Nanoelectronics and JSPS Core-to-Core Program Joint Seminar
“Atomically Controlled Processing for Ultralarge Scale Integration”

開催日：平成28年1月11日（月曜日）～12日（火曜日）（2日間）

開催場所：東北大学電気通信研究所 ナノ・スピン実験施設

参加人数：55名

本国際ワークショップは、新IV族半導体材料のプロセス技術及びナノデバイスへの応用までの幅広い領域についての包括的な議論を目的に、本研究所の共同プロジェクト研究H26/A06「Geベース高度歪異種原子層配列IV族半導体形成とナノデバイスへの応用に関する研究」とH27/A03「原子層制御プラズマCVDを駆使したIV族半導体量子ヘテロ構造形成と電子物性制御」のメンバーが中心となって企画した。本ナノ・スピン実験施設のナノエレクトロニクス国際共同研究拠点創出事業、並びに、日本学術振興会研究拠点形成事業「高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成」（コーディネーター：庭野道夫教授）の活動の一環でもあり、組織委員として佐藤茂雄教授と櫻庭政夫准教授が参加した。日本、ドイツ、ベルギー、スペインの各国拠点代表者らの発表を含む招待講演8件、一般講演10件、ポスター講演16件の総数34件の講演（内、東北大学通研の関係する発表3件）が行われ、活発な討論が行われた。世界の半導体産業の活性化のためにも、本国際ワークショップの開催は重要であり、今後、世界規模での研究連携のきっかけとなることにより、本学問分野が大きく展開すると期待される。

6. 3 工学会

東北大学電気通信研究所、東北大学大学院工学研究科と情報科学研究科および関係ある学内外の研究者、技術者が交互に連絡・協力し合うことによって、学問的・技術的問題を解決し、研究開発を促進することを目的として工学会が設置されている。そのため、専門の分野に応じて次のような分科会を設けて、学術的および技術的な諸問題について発表・討論を行っている。発表された研究の一部は東北大学電気通信談話記録に抄録されている。

	研究会名	主査	幹事
1	伝送工学会	山田 博仁 教授	大寺 康夫 准教授
2	音響工学会	鈴木 陽一 教授	坂本 修一 准教授 能勢 隆 講師
3	仙台“プラズマフォーラム”	安藤 晃 教授	金子 俊郎 教授
4	EMC仙台ゼミナール	曾根 秀昭 教授	山口 正洋 教授
5	コンピュータサイエンス研究会	住井英二郎教授	松田 一孝 准教授
6	システム制御研究会	吉澤 誠 教授	杉田 典大 准教授
7	情報バイオエレクトロニクス研究会	吉信 達夫 教授	平野 愛弓 准教授
8	スピニクス研究会	石山 和志 教授	遠藤 恭 准教授 小川 智之 助教
9	ニューパラダイムコンピューティング研究会	羽生 貴弘 教授	本間 尚文 准教授
10	超音波エレクトロニクス研究会	梅村晋一郎教授	吉澤 晋 准教授
11	ブレインウェア工学会	石黒 章夫 教授	加納 剛史 助教
12	情報・数物研究会	田中 和之 教授	和泉 勇治 准教授
13	生体・生命工学会	塩入 諭 教授	大林 武 准教授 松宮 一道 准教授
14	ナノ・スピン工学会	佐藤 茂雄 教授	庭野 道夫 教授
15	先進的情報通信工学会	木下 哲男 教授	北形 元 准教授

伝送工学研究会

主査 山田博仁, 幹事 大寺康夫

【会の目的】

電波から光波にわたる電磁波を用いた有線・無線伝送に関する基礎・応用研究の発表と討論を目的とする。

【平成27年度の活動概要】

※会場はすべて東北大学工学部電子情報システム・応物系 480会議室

第571回 [参加者 41名]

日時：平成27年5月26日（火） 15:00～

571-1. (特別講演) An Antenna: A Simple Piece of Metal with A Highly Complex Task

○Chen Zhining (シンガポール国立大学教授、東北大学東北アジア研究センター客員教授)

571-2. 有機ELデバイスからの光取り出しの新方式

澤谷 邦男¹, ○川上 彰二郎¹, 川嶋 貴之², 今野 佳祐³

1) 仙台応用情報学研究振興財団, 2)(株)フォトニックラティス,
3) 東北大学工学研究科

571-3. PAPR Reduction in Single-Carrier Signal using Frequency-Domain Selected Mapping without Side Information

○Amnart Boonkajay and Fumiyuki Adachi

Department of Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

第572回 [参加者 32名]

日時：平成27年 6月23日（火） 15:00～

572-1. Impedance Characterization of RFID Tag Used in Near Field Communication

○陳 冠華¹, 陳 強¹, 澤谷 邦男², 大内田 真智子³, 平野 義明³

1) 東北大学工学研究科, 2)東北大学NICHe, 3)帝人株式会社

第573回 [参加者 34名]

日時：平成27年 7月21日（火） 15:00～

573-1. 時空間符号化とアナログネットワーク符号化を適用した非再生双方向中継

○遠藤 力¹, 宮崎 寛之¹, 安達 文幸¹

1) 東北大学工学研究科

573-2. 時間領域分光法を用いたテラヘルツ波中空ファイバの伝送特性評価

○伊藤 公聖¹, 片桐 崇史², 松浦 祐司¹

1) 東北大学医工学研究科, 2) 同 工学研究科

573-3. Ultra Wide Band Frequency Selective Absorber with Asymmetric Absorbing Performance

○Hong Tao^{1,2}, Chen Qiang²

1) Xidian University, 2) Tohoku University

573-4. Transmission characteristics of EM-wave from a capsule dipole antenna located in human body phantom

○Yang Li¹, Hiroyasu Sato¹, Qiang Chen¹

1) Graduate School of Engineering, Tohoku University

第574回 [参加者 34名]

日時: 平成27年 9月29日 (火) 15:00~

574-1. (特別講演) 電波史に残る八木秀次博士の業績とその生涯

○佐藤 源貞¹

1) アンテナ技研株式会社名誉会長・上智大学名誉教授

574-2. 送受信協調フィルタリングを用いる下りリンクシングルキャリア MU-MIMO

○熊谷 慎也¹, 安達 文幸¹

1) 東北大学工学研究科 通信工学専攻

574-3. 対数周期ダイポールアレー素子を用いた広帯域リフレクトアレーの研究

○伊東 大貴¹, 横川 佳¹, 今野 佳祐¹, 陳 強¹

1) 東北大学工学研究科

第575回 [参加者 30名]

日時: 平成27年 10月27日 (火) 15:00~

575-1. 多重反射型プリズムを用いた赤外光ファイバプローブによる非侵襲血糖値測定

○木野 彩子¹, 大森 優¹, 松浦 祐司¹

1) 東北大学 医工学研究科

575-2. ガスメータ搭載用アンテナの高性能化

○堀口 和希¹, 陳 強¹, 土屋 創太², 川田 拓也²

1) 東北大学工学研究科, 2) 東京ガス株式会社

575-3. マクロセル間連携時空間ブロック符号化ダイバーシチを用いた分散アンテナネットワークに関する一検討

○宮崎 寛之¹, 安達 文幸¹

1) 東北大学大学院工学研究科 通信工学専攻

575-4. 時空間ブロック符号化OFDMAを用いた分散アンテナネットワーク下りリンクのためのスケジューリング

○盛 夢都¹, 宮崎 寛之¹, 安達 文幸¹

1) 東北大学大学院工学研究科 通信工学専攻

第576回 [参加者 30名]

日時： 平成27年 11月24日（火） 15:00～

576-1. 導波モード共鳴アシスト型OAMビームカップラの結合効率に関する検討

○高橋 健人¹, 大寺 康夫¹, 山田 博仁¹

1) 東北大学 工学研究科

576-2. 平行二本線路と結合したダイポールアレーアンテナによるビーム走査

○関口 貴志¹, 今野 佳祐¹, 陳 強¹

1) 東北大学 工学研究科

576-3. Comparison of Two Handover Algorithms for Heterogeneous Networks with Load Balancing"

○Rintaro YONEYA¹, Abolfazl MEHBODNIYA¹, and Fumiyuki ADACHI¹

1) Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

第577回 [参加者 34名]

日時： 平成27年 12月22日（火） 15:00～

577-1. 受信干渉電力に基づくチャネル配置法の収束性に関する一検討

○天間 克宏¹, 安達 文幸¹

1) 東北大学工学研究科 通信工学専攻

577-2. 60GHz帯3次元ビームフォーミング用単素子パッチアンテナの検討

○葉 文穎¹, 末松 憲治¹, 亀田 卓¹, 本良 瑞樹¹

1) 東北大学電気通信研究所

577-3. 無給電素子アレーを用いた近傍界無線電力伝送システムの効率改善手法

○丸山 駿¹, 陳 強¹, 袁 巧微²

1) 東北大学工学研究科, 2) 仙台高専

第578回 [参加者 30名]

日時： 平成28年 1月26日（火） 15:00～

578-1. A Base Station Sleep Mode Algorithm Combined with a Channel Interference-Aware Channel Segregation in HetNet

○Ren Sugai¹, Abolfazl Mehbodniya¹ and Fumiyuki Adachi¹

1) Communications Engineering, Graduate School of Engineering, Tohoku University

第579回 [参加者 32名]

日時： 平成28年 2月23日（火） 15:00～

579-1. (特別講演) 東北大電気系におけるマイクロ波電子管の開発
—指導原理の大切さ—

○水野 皓司 (東北大学 名誉教授)

579-2. OpenCL設計環境を用いたFPGAベースFDTDアクセラレータ

○張山昌論¹, ハシタ ムトゥマラ ウィシディスーリヤ¹

1) 東北大学 大学院情報科学研究科

579-3. 光ファイバ型音響センサを用いた全光学式光音響イメージングプローブの開発

○関 淳¹, 岩井 克全², 片桐 崇史³, 松浦 祐司^{1,3}

1) 東北大学 大学院医工学研究科, 2) 仙台高等専門学校, 3) 東北大学 大学院工学研究科

579-4. 整合回路損失を考慮した無線電力伝送用小型アンテナの設計

○土肥 稔生¹, 陳 強²

1) 東北大学 大学院工学研究科

579-5. リフレクトアレーを用いた放射散乱アンテナの研究

○塚田 隆平¹, 陳 強¹

1) 東北大学 大学院工学研究科

579-6. 利得スイッチング半導体レーザピコ秒光パルスの光増幅における自然放出光ノイズの低減

○茶木 智大^{1,2}, 房 宜激^{1,2}, 山田 博仁^{1,2}, 横山 弘之^{1,2}

1) 東北大学 大学院工学研究科

2) 東北大学 未来科学技術共同研究センター (NICHe)

以上

音響工学会

主査 鈴木陽一、幹事 能勢隆、坂本修一

音響工学会は、音波、固体振動、超音波などの弾性波を対象とする研究の成果を発表し、討論や意見交換をする場として、1950年頃に発足した研究会である。関連する分野は、電気音響、聴覚・心理音響、建築音響、騒音制御、デジタル補聴器、音声分析・合成、音声認識・理解、音環境工学など、多岐にわたっている。2015年度は、主査鈴木陽一教授、幹事能勢隆講師、坂本修一准教授のもとで、研究会3回（第368回、第369回、第370回）、通研講演会1回および共催講演会1回が開催された。会場は、いずれも東北大学電気通信研究所本館1階オープンセミナー室で行われた。なお、第368回は超音波エレクトロニクス研究会、IEEE SPS Sendai Chapterと共催で、第369回は電子情報通信学会HIP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」研究会との共催で、第370回は電子情報通信学会EMM研究会と共催で、共催講演会はIEEE SPS Sendai Chapterと共催で開催された。第368回は2015年11月19日（木）に開催され、研究発表9件、参加者は延べ46名であった。第369回は2015年12月1日（火）、2日（水）に開催され、招待講演2件を含む研究発表11件、参加者は58名であった。第370回は2016年1月18日（月）、19日（火）に開催され、招待講演1件を含む研究発表15件、参加者は延べ60名であった。通研講演会は、2015年11月11日（水）に西口正之氏（秋田県立大学）による「オーディオコーデック技術開発と権利化、標準化、実用化」という題で開催され、参加者は27名であった。共催講演会は、2015年11月6日（金）にFred B. H. Juang氏（ジョージア工科大）による「Deep Neural Networks - A Developmental Perspective」という題で開催され、参加者は26名であった。

仙台“プラズマフォーラム”

主査 安藤 晃、幹事 金子 俊郎

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、電気推進機などの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。

平成27年度の活動として、学部学生を中心とする既刊論文に基づいたプラズマ基礎およびプラズマ応用、計測に関する「研究討論会」を4回開催。大学院生による大気圧・水中放電プラズマを用いたバイオ・環境応用や微粒子生成・制御、ナノ・プラズマ融合研究、低温プラズマによるカーボン材料の創製・構造制御、核融合プラズマ加熱のための高周波水素負イオン源開発、磁気ノズルを用いた大電力電気推進機、高周波プラズマの生成・制御・各種応用に関わる研究発表会を2回開催。国内、国外研究者によるプラズマ閉じ込めと核融合、プラズマ推進機開発、非平衡プラズマ中の不安定性、カーボンナノ材料の創製と評価、大気圧非平衡プラズマの医療・農業応用、宇宙プラズマ・プラズマ流の基礎と応用に関する研究会を4回開催した。多様な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うことができた。以上の研究会参加者は、学内外合わせて常時60名前後であった。

E M C 仙台ゼミナール

主査 曾根 秀昭, 幹事 山口 正洋

E M C (環境電磁工学) は、電磁ノイズと信号の電磁干渉 (E M I) や電磁界の生体効果などの電磁環境問題を扱う分野であり、電気・情報工学分野の研究者と技術者は関わらざるを得ない。この問題が我が国で知られるようになって間もない1977年2月に、E M Cにいかに関与すべきかを調査し、学問として体系化する目的で、「E M C 仙台ゼミナール」が発足した。この活動は、誰もやらない研究と取り組む東北大学の学風によるものであり、ここで討論された先進的な研究は、我が国や世界のE M C研究の方向を示し牽引力の役割を果たしており、独創的研究成果をこの研究会から世に送り出してきた。2001年にIEEE EMC Society 仙台Chapterが設立され、連携して活動している。

平成28年度は、本研究会の開催は3回あり、第199回 (9月25日) の研究発表会で学生による6件の研究発表、第200回 (12月10日) でIEEE EMC Society Distinguished LecturerのProfessor Ramachandra Achar (Carleton University) の講演会、第201回 (2月23日) で室賀翔氏 (豊田高専) によるコロキウム講演と3件の学生の研究発表会があった。

コンピュータサイエンス研究会

主査 住井 英二郎, 幹事 松田 一孝

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。2015年度は第172回講演会から173回講演会まで2回の講演会を開催した。

Nobuko Yoshida 氏 (Imperial College London) は「Multiparty Session Types and their Applications」というタイトルで講演を行った (7月23日)。Justin Hsu 氏 (University of Pennsylvania) は「Relational reasoning via probabilistic coupling」というタイトルで講演を行った (10月22日)。本研究会は、以上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。

システム制御研究会

主査 吉澤 誠, 幹事 杉田 典大

本研究会は、システム制御における理論から応用にわたる広範な最新の研究動向について討議することを目的としている。

本年度の活動は以下の通りである。

第99回

1) 西交利物浦大学 教授 史 玉回氏

演題：From a Problem Solving Skill to an Optimization Algorithm

2) 香川大学工学部 講師 松下 春奈氏

演題：Firefly Algorithmの振る舞いとその応用)

第100回（通研講演会）

1) 東北大学教育情報基盤センター 准教授 酒井 正夫氏

演題：クラウドストレージのセキュリティ技術

2) 株式会社サンメディカル技術研究所 小川 大祐氏

演題：植込み型補助人工心臓EVAHEART用コントローラの開発

第101回

豊橋技術科学大学 名誉教授 安田 好文氏

演題：ガス状伝達物質の生理的役割と呼気ガス中の動態

情報バイオトロニクス研究会

主査 吉信 達夫、幹事 平野 愛弓

電子工学技術と多様な機能をもつ生命科学反応系との融合に基づくナノ・バイオエレクトロニクス分野は、今後ますます重要になると考えられる科学技術分野の一つである。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、生体分子の活性保持等、解決すべき課題も多い。本研究会では、電子工学や半導体工学の研究者と、表面科学、生理学、バイオマテリアル工学、医工学の様々な分野の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することを目的としている。本年度は、情報バイオトロニクス研究会共催の国際シンポジウムを2回開催した。

The 4th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer.

平成28年2月23-24日開催 T. Netoff (Univ. Minnesota, USA), U. Fray (RIKEN, Japan), P. Herman (Royal Inst. Tech., Sweden), J. Madrenas (Tech. Univ. Catalunya, Spain), J. Albers (Jülich research center, Germany), H. Kamiya (Hokkaido Univ.), S. Kubota (Yamagata Univ.), R. Koyama (Univ. Tokyo), M. Osanai (Tohoku Univ.), 他

The Joint Symposium of 10th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 7th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronics.

平成28年3月1-3日開催 P. Schmuki (Univ. Erlangen, Germany), M. de Planque (Univ. Southampton, UK), C. A. Aspinwall (Univ. Arizona, USA), B. Wolfrum (Tech. Univ. Munich, Germany), C. A. Werner (FH Aachen, Germany), N. Koshida (Tokyo Univ. Agri. & Tech.), R. Tero (Toyohashi Univ. Tech.), F. Hirose (Yamagata Univ.)他

スピニクス研究会

主査 石山 和志, 幹事 遠藤 恭、小川 智之

スピニクス研究会は、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に、磁気現象の起源である電子スピンを意識した新しい学問分野(スピニクス)に携わる研究者間の情報交換と討論の場として1990年に発足した。本研究会は、最新の話題に関する招待講演を主とした一般研究会と、萌芽的研究に関する討論を主とした一般公募による特別研究会を行っている。本年度は他の研究会との協賛も含め、計10回の研究会を開催した。

第1回はIEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Sectionと共催し、小川智之助教(電子)、中央大学大竹充助教、Simon Greaves准教授(通研)による講演会を開催した。第2回は通研講演会およびIEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Sectionの共催で、東北大学永沼博助教と千葉大学横田紘子助教による講演会を開催した。第3回はIEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Sectionと共催し、東北大学好田誠准教授、慶應義塾大学関口康爾講師、東京工業大学谷山智康准教授による講演会を開催した。第4回はIEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Sectionと共催し、IEEE Magnetic Society DLのRussell Cowburn氏による講演会を開催した。第5回は一般公募による特別研究会を開催し、信州大学工学部で2日間にわたり27件の講演が行われ、99人(2日間述べ人数)の参加を得て盛大に開催された。第6回はIEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Sectionと共催し、IEEE Magnetic Society DLのBethanie Stadler氏による講演会を開催した。第7回はIEEE Magnetics Society Sendai Chapter, IEEE Sendai Sectionと共催し、東北工業大学田倉哲也講師による講演会および、東北大学松木英敏教授による特別講演会を開催した。第8回は工学会EMC仙台ゼミナールに協賛した。その他、本研究会の協賛で通研共プロ研究会による講演会(1回)が行われた。本年度の運営は、主査:石山和志教授(通研)、幹事:遠藤恭准教授(電気)、小川智之助教(電子)、企画幹事:岡本聡准教授(多元研)、Simon Greaves准教授(通研)、中村健二准教授(電気)で行った。

ニューパラダイムコンピューティング(NPC)研究会

主査 羽生 貴弘, 幹事 本間 尚文

本研究会は、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おり、平成 27 年度は以下の 5 回を開催した。

第 94 回 平成 27 年 10 月 20 日 (火) 電気通信研究所
研究発表 9 件

第 95 回 平成 27 年 10 月 31 日 (土) 東京・八重洲カンファレンスセンター
研究発表 2 件

第 96 回 平成 27 年 12 月 10 日 (木) 電気通信研究所
研究発表 2 件

第 97 回 平成 27 年 12 月 11 日 (土) Waikiki Resort Hotel (ホノルル, ハワイ)
研究発表 11 件

第 98 回 平成 28 年 2 月 8 日 (月) 電気情報物理工学科
研究発表 1 件

第 99 回 平成 28 年 2 月 26 日 (金) 電気通信研究所 通研講演会
演題: 「NVM Neuromorphic Core with 64k-cell (256-by-256) Phase Change Memory」
講演者: SangBum Kim (IBM T.J. Watson Research Center, USA)

超音波エレクトロニクス研究会

主査 梅村 晋一郎, 幹事 吉澤 晋

目的：超音波計測，音波物性，超音波デバイスとその応用，医用超音波に関する研究発表・討論を行う。

第77回

日時：平成27年5月14日（木） 15:00 ～ 16:20

会場：東北大学工学部 電子情報システム・応物系 1号館 2D講義室

演題：

1. 「適応型信号処理を用いたヒト頸動脈高分解能超音波イメージング」
◎瀧 宏文（東北大学大学院 工学研究科）
2. 「強力集束超音波治療におけるリアルタイム治療モニタリングに関する研究」
◎高木 亮¹，神保 勇人²，岩崎 亮祐¹，富安謙太郎¹，吉澤 晋²，梅村晋一郎¹
(1 東北大学大学院 医工学研究科，2東北大学大学院 工学研究科)

第78回

日時：平成27年10月1日（木） 13:30 ～ 16:20

会場：東北大学工学部 電気・情報研究棟 1号館2階 大会議室

光超音波画像研究会と共催

演題：

1. 「Acoustic Resolution Photoacoustic Microscopy (AR-PAM)を目的とした2次元レイ・コンポジット・トランスデューサ」
◎吉澤 晋，高木 亮，長岡 亮，西條 芳文，梅村 晋一郎（東北大学）
2. 「高分解能光音響3D顕微鏡の紹介」
◎根本 隆治，平岩 哲也，田畑 潔
(コーンズテクノロジー理化学機器営業部)
3. 「医用超音波顕微鏡用集束超音波デバイスの作製」
◎荒川 元孝¹，石川 一夫²，長岡 亮¹，小林 和人³，西條 芳文¹
(1 東北大学大学院医工学研究科，2 東北大学大学院工学研究科，3 本多電子研究部)
4. 「超音波顕微鏡を用いたヒツジの動脈壁・静脈壁の音響特性計測」
◎山川 誠，浪田 健，近藤 健悟，椎名 毅
(京都大学大学院医学研究科)
5. 「拍動によって生じる微小変位の伝播速度を用いた頸動脈の粘弾性計測」
◎長岡 亮¹，小林 和人²，吉澤 晋¹，梅村 晋一郎¹，西條 芳文¹
(1 東北大学，2 本多電子)

第79回

日時：平成27年11月19日（木） 13:00 ～ 17:50

会場：東北大学工学部 電気・情報研究棟 1号館2階 大会議室

音響工学研究会，IEEE Signal Processing Society Sendai Chapterと共催

演題：

1. 「粒子画像速度計測(PIV)を用いた生体モデル内の速度ベクトル分布計測」
◎深津幸助，長岡亮，赤川紀，西條芳文（東北大学 大学院医工学研究科）
2. 「超音波ドプラ法を用いた高フレームレート二次元血流速度計測」
◎赤川紀，長岡亮，深津幸助，西條芳文（東北大学 大学院医工学研究科）

3. 「高フレームレート超音波計測に基づく心筋の伸縮変化評価」
◎浅井拓磨¹, 瀧宏文^{1,2}, 金井浩^{2,1}
(1 東北大学 大学院医工学研究科, 2 東北大学 大学院工学研究科)
4. 「ユーザの対話意欲推定のための人対人対話データの音響的分析」
◎千葉祐弥, 伊藤彰則 (東北大学 大学院工学研究科)
5. 「非日本語母語話者による日本語音声の了解度と話速についての検討」
◎魏稼禾, ハフィヤン・プラフィアント, 能勢隆, 伊藤彰則
(東北大学 大学院工学研究科)
6. 「A local least-squares approximation of the head-related transfer function based on functions with compact support」
◎Shichao Hu, Cesar Salvador, Jorge Trevino, Shuichi Sakamoto and Yo-iti Suzuki
(東北大学 電気通信研究所, 東北大学 大学院情報科学研究科)
7. 「高周波超音波の後方散乱特性評価による赤血球凝集度の生体定量計測と臨床応用」
◎黒川祐作¹, 瀧宏文^{1,2}, 石垣泰³, 八代諭³, 長澤幹³, 金井浩^{2,1}
(1 東北大学 大学院医工学研究科, 2 東北大学 大学院工学研究科, 3 岩手医科大学 内科学講座)
8. 「ヒト頸動脈壁内腔側微小表面粗さの超音波計測におけるロバスト性と精度向上」
◎木所一祥¹, 瀧宏文^{1,2}, 金井浩^{2,1}
(1 東北大学 大学院医工学研究科, 2 東北大学 大学院工学研究科)
9. 「双方向超音波加振により発生した剪断波の3次元伝播の可視化」
◎望月雄太¹, 瀧宏文^{1,2}, 金井浩^{2,1}
(1 東北大学 大学院医工学研究科, 2 東北大学 大学院工学研究科)

第80回

日時: 平成27年12月17日 (木) 15:00 ~ 17:00

会場: 東北大学工学部 電気・情報研究棟 1号館2階 大会議室

演題:

1. 「超音波を用いた血管径－血圧同位置計測による橈骨動脈粘弾性 *in vivo*評価の高精度化」
◎酒井 康将¹, 瀧 宏文^{2,1}, 金井 浩^{1,2}
(1 東北大学 大学院工学研究科, 2 東北大学 大学院医工学研究科)
2. 「トランスデューサの位相特性を考慮した駆動回路の開発
及び気泡援用集束超音波治療への応用に関する研究」
◎神保 勇人¹, 高木 亮¹, 玉野 聡², 田口 溪², 吉澤 晋¹, 梅村 晋一郎²
(1 東北大学 大学院工学研究科, 2 東北大学 大学院医工学研究科)
3. 「光学・超音波ハイブリッド顕微鏡を用いた細胞の音響特性計測」
◎伊郷 泰智, 荒川 元孝, 長岡 亮, 西條 芳文
(東北大学 大学院医工学研究科)

ブレインウェア工学研究会

主査 石黒 章夫、幹事 加納 剛史

本研究会は生物の脳が情報処理に対して示す高度で広範囲な機能を可能な部分について人工的に集積回路として構成して、現在の電子計算機による情報処理の欠点を補い得るシステムの構築を実現するため、各方面の英知を集め議論することを目的として設立された。その対象となる機能は分散記憶、連想記憶処理、学習による機能の自律修正、最適値問題に於ける計算量の爆発の抑制、時系列情報の認識判断などであり、これらの機能をゲートレベルからの並列処理により実現することを目指した集積回路の構成を追究している。

本年度は第一回を平成27年7月15日、第二回を平成27年10月20日、第三回を平成27年12月10日にそれぞれ開催した。各講演のタイトルと講演者は以下の通りである（講演会原稿は無し）。第一回：「人間の視知覚と行動の相互作用に関する実験的研究」松宮一道（東北大）、「不揮発FPGAとその脳型LSIプラットフォームへの展望」鈴木大輔（東北大）、「ヘビのロコモーションに内在する自律分散制御則」加納 剛史（東北大）、第二回：「足底感覚情報を活用した適応的二足歩行制御に関する研究」堀切舜哉（東北大）、「環境からの手応えを活用し不整地を走破する自律分散型ヘビロボットの開発」中島大樹（東北大）、「力覚情報を用いた多足類型ロボットの脚間協調制御」酒井和彦、「ビット 遷移確率抑制技術に基づく省電力不揮発ロジックLSI の構成に関する研究」阿久津赳明、「ストカスティック演算に基づく小型かつ高機能ガボールフィルタの構成に関する研究」片桐大作、「不揮発メモリベースVLSI アーキテクチャとその高エネルギー効率化に関する研究」夕部直人、「警告音による探索時の行動変化に関する研究」宮本カイ、「フラッシュラグ効果を利用した身体随伴性の注意の計測」西川遼太、「注意静止時および移動時における視覚的注意の空間的広がり の測定」石井慶、第三回：「ブレイン・マシン・インタフェースが拓く脳信号処理の展望」田中 聡久（東京農工大学）、「群れによる分散的パターン形成の制御 -Swarm Mechanicsの探求-」末岡 裕一郎（大阪大学）。以上の講演を通じて、脳の情報処理を人工的に実現することを目指した今後の応用等について活発な討論がなされた。

情報・数物研究会

主査 田中和之、 幹事 和泉勇治

情報・数物研究会は、確率的情報処理・統計的学習理論・情報通信理論とその情報統計力学的アプローチに関して、広く学内外で活躍している研究者を講師として招き、最近の研究成果や話題についての講演会を開催し、学問の交流を図ることを目的としている。本年度は、計5回の講演会を開催した。講師（敬称略）および講演題目は次の通りである：渋谷哲朗氏（東京大学医科学研究所ヒトゲノム解析センター）“統計モデルを考慮した高速アルゴリズム設計に向けて”、許インイン氏（東京工業大学大学院総合理工学研究科）“1ビット圧縮センシングの統計力学的解析”、川本達郎氏（東京工業大学大学院総合理工学研究科）“グラフ上のコミュニティ検出と統計的有意性”、水高将吾氏（北海道大学大学院工学院）“過負荷故障カスケードに対する複雑ネットワークの安定性”、田中宗氏（早稲田大学高等研究所）“量子アニーリングを用いたクラスタ分析”。

生体・生命工学研究会

主査 塩入 諭、幹事 大林 武、松宮一道

本研究会は生体工学・生命工学の最新の研究成果に関して特別講演を開催するとともに活発な研究発表と討論を行うことを目的として平成12年9月に発足した。以下に平成27年度の活動概要を示す。

第30回は平成27年12月15日（火）に15：00から17：10まで電気通信研究所本館オープンセミナー室にて開催され、NTTコミュニケーション科学基礎研究所 主任研究員の河邊隆寛先生の「視覚質感認識の科学的解明と質感操作技術「変幻灯」への応用」と題する特別講演が行われた。同日の15：00から16：00まで3件の一般講演があった。参加者は38名であった。今回も広範な分野からの参加者があり、活発な討論がなされた。

ナノ・スピン工学研究会

主査 佐藤 茂雄, 幹事 庭野 道夫

21世紀に求められる高度な情報通信の実現には、ナノテクノロジーに基づく材料デバイス技術からシステム構築までの総合科学が必要である。「ナノ・スピン実験施設」は、この情報通信を支える総合科学技術の中の、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を総合的・集中的に推進することを目的に、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。本研究会は、この施設を中心に展開して得られた成果にもとづき、広くナノエレクトロニクス・スピントロニクスに関連した科学技術に関して十分議論することを目的としている。平成27年度は以下のように計9回の研究会を実施した。

第77回 平成27年6月22日 13:00 - 15:30

「ダイヤモンド半導体と高周波パワーデバイス研究の最近の進展」、嘉数 誠 (佐賀大学)

「超音波診断装置向け高耐圧横型 MOSFET 技術」、三好智之 (東北大学)

第78回 平成27年7月31日 10:00 - 11:00

"Resonant indirect exchange interaction", Igor Rozhansky (Ioffe Institute, Russia)

第79回 平成27年8月31日 15:00 - 16:00

"Magnetism and Related Phenomena in 2D & 3D Materials, Metamaterials and Heterostructures", Justin Llandro (University of Cambridge, UK)

第80回 平成27年10月6日 17:00 - 18:00

"Micromagnetic Simulation", 仲谷 栄伸 (電気通信大学)

第81回 平成27年11月12日 10:00 - 11:00

"Efficient Emulation of Spiking Neural Networks with SIMD and pipeline serial AER mapped on FPGAs", Jordi Madrenas (Technical University of Catalunya, Spain)

第82回 平成27年12月21日 13:00 - 18:10, 12月22日 09:00 - 15:35

テーマ:「ミリ波・テラヘルツ波デバイス・システム」

「小面積D帯CMOS差動増幅器の設計」、○原 紳介 (NICT)、片山光亮、高野恭弥、渡邊一世 (広島大学)、関根徳彦、笠松章史 (NICT)、吉田 毅、天川修平、藤島 実 (広島大学)、外21件

第83回 平成27年11月26日 16:40 - 17:40

"Topology - from the perspective of Materials science", Claudia Felser (Max Planck Institute of Chemical Physics for Solids, Germany)

第84回 平成28年2月1日 13:00 - 14:30

「SiCエピタキシャル成長技術とパワー半導体素子の性能実証」、長澤 弘幸 (東北大学)

第85回 平成27年2月4日 16:00 - 17:30

"Magnetic domain walls in thin-film nanostructures: Statics, dynamics, and emerging applications", Geoffrey Beach (Massachusetts Institute of Technology, USA)

先進的情報通信工学会

主査 木下 哲男、 幹事 北形 元

2015 年度は、以下の通り、通研講演会を含む計 3 回の研究会を開催した。

- ・第 1 1 回先進的情報通信工学会・通研講演会
日時：平成 2 7 年 9 月 9 日（水） 1 5 : 0 0 ~ 1 6 : 0 0
場所：電気通信研究所 本館 M 5 3 1 セミナー室
題目：多言語知識コミュニケーションを用いたベトナム農業支援
講師：石田 亨（京都大学・大学院情報学研究科・社会情報学専攻・教授）

- ・第 1 2 回先進的情報通信工学会
日時：平成 2 8 年 2 月 2 4 日（水） 1 4 : 0 0 ~ 1 6 : 5 0
場所：電気通信研究所 本館 M 5 0 1 セミナー室
共催：通研共同プロジェクト研究「共生コンピューティングのための
マルチモーダル・エージェントフレームワークに関する研究」
（代表：打矢隆弘（名古屋工業大学））
講演数：6 件

- ・第 1 3 回先進的情報通信工学会
日時：平成 2 8 年 2 月 2 9 日（月） 1 4 : 0 0 ~ 1 6 : 3 0
場所：電気通信研究所 本館 M 5 3 1 セミナー室
共催：通研共同プロジェクト研究「多様化する情報ネットワークのための
知識獲得・活用に関する研究」（代表：高橋秋典（秋田大学））
講演数：6 件

6. 4 通研講演会

「An Antenna: A Simple Piece of Metal with A Highly Complex Task」

シンガポール国立大学・教授・Chen Zhining

開催日：平成27年5月26日（火）15：00～16：00

開催場所：東北大学工学部電子情報システム・応物系 480会議室

参加人数：41名

G. Marconiが1895年に世界で初めてラジオ信号の送受信に成功して以来、アンテナはラジオの主要部品であった。無線システムにおけるアンテナは電子回路における信号電流と、空間を伝わる電磁波とを結ぶ唯一の経路とすることができる。無線通信、レーダーやイメージングシステムからセンサーに至る様々な分野でアンテナ技術は急速な発展を遂げ、今や様々なアンテナが我々の身の回りにある。アンテナ自身は金属や誘電体でできた単純な構造で、電磁波を空間に放出または受信する機能を持つだけのものである。しかしアンテナは無線通信システムにおいて周囲の環境と相互作用する唯一の部品であることからその設計には複雑な作業を要する。この講演ではLTE, RFID, WiFiなどで使用される最新のアンテナ技術が解説された。

「電波史に残る八木秀次博士の業績とその生涯」

アンテナ技研株式会社名誉会長・上智大学名誉教授・佐藤 源貞

開催日：平成27年9月29日（火）15：00～16：00

開催場所：東北大学工学部電子情報システム・応物系 480会議室

参加人数：34名

我が国の電波の歴史において多大な貢献をなされた八木秀次先生について、その生い立ちから、宇田新太郎先生との共著になるアンテナの論文、八木宇田アンテナ、東北大学での研究と教育活動、アメリカでの活動などについて、本学での研究者や学生、他の研究機関や企業の研究者との交流の様子を軸として、当時の貴重な写真資料を使って解説した。

「東北大電気系におけるマイクロ波電子管の開発 —指導原理の大切さ—」

東北大学・名誉教授・水野 皓司

開催日：平成28年2月23日（火） 15：00～16：00

開催場所：東北大学工学部電子情報システム・応物系 480会議室

参加人数：32名

東北大学の工学部電気系と電気通信研究所では、マイクロ波電子管からミリ波・テラヘルツ波へとつながる高周波デバイスの研究が連綿と受け継がれている。この講演会では歴史を振り返って、時間順にどのような画期的な発明・発見がなされてきたのかをまず解説する。その次に、一つの発明から次の発明が産み出される際のメカニズムや経緯を一つ一つ紹介した。そこでは、研究チーム内にそれまでのアイデアを別の視点で発展させるための、「指導原理」が重要な役割を果たしていた。この講演では現代の研究開発環境においても、継続して新しいアイデアを生み出すために指導原理の重要性を改めて見直すことが大切であることが述べられた。これにより、特に学生や若手の研究者にとって研究に臨む姿勢の観点から、有意義な講演となった。

オーディオコーデック技術開発と権利化、標準化、実用化

秋田県立大学 システム科学技術学部 電子情報システム学科 教授

西口正之氏

開催日：平成 27 年 11 月 11 日（水）

開催場所：東北大学電気通信研究所本館 1 階オープンセミナー室

MP3 や AAC に代表される音声・音響符号化技術は音楽データの圧縮に広く利用されており、音楽プレーヤーやデジタルレコーダー、インターネットラジオなど、我々の身の回りにも数多くの製品・サービスが存在する。これらの符号化方式は人間の聴覚の持つ継時マスキング特性などを利用し、情報を元データを 1/10 あるいはそれ以上に圧縮することができ、これにより携帯音楽プレーヤーが普及し、着うたなどの音楽配信サービスも登場した。

今回の講演者は、秋田県立大学に赴任される前にソニーで音声・音響符号化技術の開発に長年従事され、符号化方式の標準化などでも活躍された実績をお持ちである。ご講演では、企業間の競争や、企業内の技術の扱われ方など、専門的な内容に加え、標準化への険しい道程や、実用化に至るまでの過程、製品開発における苦労話など、様々な話題をわかりやすくお話いただいた。

Demystifying Signal Integrity in High-Speed Designs

Professor Ramachandra Achar (Carleton University, USA)

開催日：平成27年12月10日（木曜日） 15：30～17：00

開催場所：東北大学 サイバーサイエンスセンター 大会議室

参加人数：25名

電子機器のサイズが小さくなり密度が増す一方で動作周波数が高速になるために、高速信号伝送および電磁的干渉の設計の重要性が拡大しているという背景に始まり、反射、減衰、クロストークおよび遅延などの現象と設計上の課題について詳しく説明された。ICチップ内やプリント回路基板などの高機能で微小な電子回路・システムの設計段階においてシグナルインテグリティとパワーインテグリティを確保する高速設計をより効率的・高精度で行う目的とすることを述べて、そのためのモデリングとシミュレーション、および物理融合ドメイン解析のためのマクロモデル手法などを具体的な手法の紹介や評価・改良の事例を含めながら、解説した。

IEEE EMC Society Distinguished Lecturer講演を通研講演会とIEEE EMC Sendai Chapterとの共催として開催し、地域の大学・企業の会員と学生など25名が参加して、講演に続いて熱心な質問応答が行われた。

クラウドストレージのセキュリティ技術

東北大学教育情報基盤センター准教授 酒井 正夫

開催日：平成27年6月13日（土） 14：00～16：00

開催場所：東北大学東京分室 会議室A

参加人数：20名

スマートフォンやクラウド型サービスの普及に伴い、インターネット経由でどこからでもアクセス可能なクラウドストレージにデータを保存して、活用する個人ユーザが増えている。クラウドストレージ上に保存されたデータは、通常、IDとパスワードを用いたユーザ認証により保護されるが、実際には必ずしも安全とは言えない。このようなリスクへの対策としては、バックアップや暗号化のような単純なものを除くと、秘密分散法により複数の保存先に分散保存して秘匿する技術や、分散ハッシュテーブル（DHT）の技術を用いてP2ネットワーク上に秘匿保存する技術などが提案され、注目されている。講演では、現状のクラウドストレージのリスクと、秘密分散法やDHTを用いた将来のセキュリティ技術について議論が展開された。

植込み型補助人工心臓EVAHEART用

コントローラの開発

株式会社サンメディカル技術研究所 小川 大祐

開催日：平成27年6月13日（土） 14：00～16：00

開催場所：東北大学東京分室 会議室A

参加人数：20名

植込み型補助人工心臓EVAHEARTは、2005年の治験開始及び2011年の販売開始を経て、国内にて100例以上の心疾患患者様に使用されている。EVAHEARTは、血液ポンプだけではなく、いくつかの体内及び体外コンポーネント等により構成されている。このなかで、植込み手術後の患者様が日常生活にて接する機会が最も多いのが、コントローラを始めとする体外コンポーネントである。2013年には、従来のC01システムでみられた課題を解決すべく開発された、小型コントローラC02システムが販売開始となった。講演では同コントローラの構成や使用技術について議論が展開された。

Emerging Applications of Nanostructured Silicon

東京農工大学大学院共生科学技術研究部・教授・越田 信義

開催日：平成28年3月2日（水曜日）10：15～11：00

開催場所：東北大学電気通信研究所 4階 カンファレンスルーム

参加人数：54名（The Joint Symposium of 10th International Symposium on Medical, Bio- and Nano-Electronics, and 7th International Workshop on Nanostructures & Nanoelectronicsと共催）

講演者の研究室では、"ナノシリコンテクノロジー"をキーワードに、半導体集積回路の基幹材料であるシリコンをナノメートルサイズにまで微細化した時に現れる量子的な現象についての基礎物性評価と、それをデバイスへ応用する研究を行っている。本講演では、陽極酸化に基づくナノ結晶シリコン層の形成法と、その基礎物性の評価、デバイスへの応用について、分かりやすく講演していただいた。そのアプローチはナノデバイス分野のみならず、バイオ系のセンサ応用を目指す研究者など、幅広い分野の研究者の関心を集めるものであった。ナノエレクトロニクス発展を目指す電子工学、表面科学、医工学、材料科学等の多様な分野の研究者から多くの意見が交換され、活発な討論が展開された。

六方晶 ErFeO_3 薄膜の誘電・磁気特性

千葉大学大学院理学研究科 助教 横田 紘子

開催日：平成27年7月17日（金）16：20～17：10

開催場所：東北大学電気通信研究所本館4階セミナー室（M431）

参加人数：15名

2つ以上のフェロイックスが共存する系はマルチフェロイックスとして知られている。中でも、強誘電性と磁気秩序を併せ持つ物質群は電気磁気効果により電場によりスピンを、磁場により電気双極子モーメントを制御することができることから基礎・応用の側面から研究がなされている。しかし、このような物質群はdゼロ問題により数が非常に限られているのが現状であった。本講演では、dゼロ問題をもたない新規マルチフェロイックスとして近年注目を集めている六方晶 REMnO_3 系に着目をし、より高温において磁性を示すことが期待されているFe系酸化物の新規 ErFeO_3 マルチフェロイック物質を作製し、その誘電・磁性が得られることが報告された。本講演で示された ErFeO_3 も含めて、マルチフェロイックスを示す磁性材料の基礎特性や、それらの材料のデバイス応用に関して活発な議論が展開された。

NVM Neuromorphic Core with 64k-cell (256-by-256) Phase Change Memory

SangBum Kim, IBM T. J. Watson Research Center, USA

開催日：平成28年2月26日（金） 13：40～14：10

開催場所：東北大学電気通信研究所本館 6F 大会議室

参加人数：40名

講演者が IBM ワトソン研究所で取り組んでいる、低消費電力の不揮発メモリとスパイクングニューラルネットワーク集積回路を組み合わせた技術によるモバイルシステムおよび IoT システムに生じる新たな可能性、特に実地的な学習の可能性が解説された。また、64k セルの相変化メモリを用いた神経形態学的な演算コアによる実地的な学習の実証例が紹介された。講演後は同分野の技術動向や期待されるアプリケーションなどについて活発な質疑がなされた。

確率的深層学習の基礎数理

ー深層ボルツマンマシンの真相に迫るー

山形大学大学院理工学研究科 准教授 安田宗樹

開催日：平成28年1月25日（月）午後4：20－5：50

開催場所：電子情報システム応物系3号館2階大セミナー室（

参加者数：15名

平成28年1月25日に標記講演会を開催した。講演では、近年、人工知能分野を中心に注目を集めている深層学習の基礎となる深層ボルツマンマシンについて学部学生向けのチュートリアルの講演が行われた。深層ボルツマンマシンはマルコフ確率場モデリングを基礎とした確率的深層学習モデルである。確率統計をベースとした設計思想に基づく機械学習モデルであるため通常のニューラルネットワークと同種の入出力器としての利用のみならず、データ生成モデルとしてベイズ推論などに組み込むことが可能である。講演の前半では、理論の土台となるボルツマンマシン学習の解説から始まり、深層ボルツマンマシンに至るまでの基礎が解説された。後半では深層ボルツマンマシンの事前学習の数理的意味付けについての紹介が行われた。関連する研究分野の若手教員、大学院生を交えての多くの活発な質疑応答がなされた。

視覚質感認識の科学的解明と 質感操作技術「変幻灯」への応用

NTTコミュニケーション科学基礎研究所 主任研究員 河邊隆寛

開催日：平成27年12月15日（火）15：00～17：10

開催場所：東北大学電気通信研究所 本館1階オープンセミナー室

参加人数：38名

→我々は一瞥しただけで、対象の素材（木、金属、液体など）やその特性（柔らかさ、光沢感、粘性など）を認識することができる。人間がどのような視覚情報を用いてこの視覚質感認識を実現しているのかはまだ十分に理解されていない。とりわけ、その形状が複雑に変動する液体については、視覚科学研究の俎上に載せられることはなかった。本講演では、人間の視覚系が画像運動情報や画像変形情報を利用して液体を認識していることを示した研究を紹介する。また、一連の研究で解明した液体認識特性を踏まえて我々が開発した、実物体に液体印象を付与することのできる光投影技術「変幻灯」を紹介する。変幻灯は、変形の輝度運動成分のみを実物体へ投影することにより、対象の色や形を保ったままで対象に付与する技術である。最後に、我々が今後推進していきたい、視覚質感認識の科学的知見を質感編集技術へ応用する枠組みを説明したい。本講演会では、工学系分野の方だけでなく、医学系、文学系、生物学系の広範な分野から大勢の方々にご来聴頂き、活発な議論がなされた。

多言語知識コミュニケーションを用いた ベトナム農業支援

京都大学大学院情報学研究科
社会情報学専攻 教授 石田 亨

開催日：平成27年9月9日（水）15：00～16：00

開催場所：電気通信研究所 本館 M531セミナー室

参加人数：20名

途上国支援等で専門家が現地就業者に技術情報を伝える場合、専門家が現地に赴き対面で現地就業者に伝えるという方法が一般的である。しかしながら、現地就業者の識字率の問題から、伝えた専門知識を蓄積・拡散していくことが困難な場合がある。一方で、世界的に教育制度が向上していることもあり、児童の就学率や識字率は高くなってきている。本講演では、多言語コミュニケーション環境を用いて国外の専門家の知識を現地の児童に伝え、児童を介して非識字の保護者等へ知識を伝達・拡散していく Youth-Mediated Communication (YMC) と呼ばれる新しい途上国支援モデルを用いて、ベトナムのメコンデルタ地帯の農村地区を対象に農業支援を行った事例について紹介がなされ、活発な議論が展開された。

第 7 章 通研教員が中核的役割を果たす 他部局組織等

7. 1 設立に関与した組織

省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター(CSIS)

<施設の概要>

設 置：平成 22 年 3 月 10 日 FIRST プログラムの開始に合わせて当センターを設置、スピントロニクス素子と集積回路とを融合した革新的な省エネルギー集積回路の研究開発を実施。

組 織：・センター長：大野英男（通研所長・教授）

・職員数：23 名（うち兼務 17 名）

目 標：スピントロニクス素子との融合が集積回路にもたらす変革を主導するとともに、集積回路における世界のイノベーションサイクルが日本を軸として回る体制の構築を目指し、以下のプログラムを推進する。

○内閣府「革新的研究開発推進プログラム (ImPACT)」「無充電で長期間使用できる究極のエコ IT 機器の実現 (PM:佐橋政司)」「スピントロニクス集積回路を用いた分散型 IT システムプロジェクト (研究開発責任者：大野英男) 平成 26 年 10 月 2 日～」

研究内容：最先端スピントロニクス素子技術、300nm 集積化プロセス技術、および革新的回路・アーキテクチャ技術を高度に技術統合し、スピントロニクス集積回路技術開発を飛躍させることにより、エナジーハーベスティングで駆動する革新的な超低消費電力マイコン等の基盤技術を世界に先駆けて開発する。

<2015 年度の主な成果>

(1) CoFeB-MgO 磁気トンネル接合におけるエネルギー障壁の温度依存性が接合サイズによって異なることを明らかにし、それが磁化反転モードの違いにより説明できることを示した。(2) ネットワークアナライザを用いた強磁性共鳴の測定から、単界面及び二重界面 CoFeB-MgO 積層膜のダンピング定数の膜厚依存性を評価した。(3) スピン軌道トルク磁化反転の第三の方式の動作実証に成功し、また本方式がスピン軌道トルク磁化反転の物理的機構を解明する上で有用であることを示した。(4) 300nm ウェハ上の 90nm CMOS/70nm 垂直 MTJ 混載技術に基づいて不揮発性画像認識用連想プロセッサを開発し、世界最小の動作消費電力となる $600 \mu\text{W}$ での動作を実証した。

○文部科学省「未来社会実現のための ICT 基盤技術の研究開発」「耐災害性に優れた安心・安全社会のためのスピントロニクス材料・デバイス基盤技術の研究開発 (研究代表者：大野英男) 平成 24 年 8 月 15 日～」

研究内容：不揮発性スピントロニクスワーキングメモリを実現することで、耐災害性に優れた安心・安全社会のためのコンピュータシステムの構築が可能となる。本研究開発では、20 nm 世代以下の不揮発性スピントロニクスワーキングメモリの材料・デバイス基盤技術を構築し、その適用法をシミュレーションで明らかにする。

<2015 年度の主な成果>

(1) Co/Ni 強磁性細線中に形成される磁壁の熱安定性の細線幅依存性を評価し、磁壁の熱安定性が決まるメカニズムを明らかにした。(2) ナノスケール Ta/CoFeB/MgO ドットにおけるスピン軌道トルク磁化反転を評価し、磁化反転の閾電流密度を決める物理的因子を明らかにした。(3) 反強磁性体/強磁性体積層構造におけるスピン軌道トルク磁化反転の評価を行い、当積層構造においては無磁場でのスピン軌道トルク磁化反転が可能であると同時に、ある構成においては人工知能応用に適したアナログ的な振る舞いを示すことを発見した。

電気通信研究機構

<施設の概要>

設 置：平成 23 年 10 月 1 日に設置。東北大学災害復興新生研究機構の 8 つの重点プロジェクトの一つである「情報通信再構築プロジェクト」を推進するため、電気通信研究所が中心となり、工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科、サイバーサイエンスセンターなど、複数の部局にまたがる電気・情報系の研究者が、産学官連携により、災害に強い情報通信ネットワークの研究開発を実施。

組 織：・機構長：加藤 寧（教授）

・職員数：53 名（東北大通研・工学研究科・情報科学研究科、医工学研究科・サイバーサイエンスセンターから兼務）

目 標：東日本大震災の教訓を踏まえ、災害時に必要な通信が確実に確保できる耐災害性に優れた情報通信技術の研究開発とその社会実装の推進。

研究内容：本機構に参画する研究者の研究シーズを活かした、耐災害 ICT 技術に関する産官学連携プロジェクトによる世界で最も進んだ災害に強い情報通信ネットワークの構築。

<2015 年度の主な成果>

(1) 研究プロジェクトの推進：総務省プロジェクトとして、「超高密度マルチバンド・マルチアクセス多層セル構成による大容量化技術の研究開発」、「無人航空機を活用した無線中継システムと地上ネットワークとの連携及び共用技術の研究開発」を推進した。また、JST の防災・減災、復興プロジェクトとして、「SIP（防災・減災）：災害情報の配信技術の研究開発」、「災害対応支援を目的とする防災情報のデータベース化の支援と利活用システムの研究開発」及び「超音波血管・血流透視装置の開発」を推進した。さらに、研究開発プロジェクトの社会実装への取り組みとして、本学の本部防災訓練での耐災害 ICT 技術の実証実験、ならびに SIP（防災・減災）プロジェクトにおいてフィリピンセブ島での実証実験を実施した。

(2) 情報発信：2015 年 7 月、2016 年 3 月に「電気通信研究機構 NEWS」を発刊し、全国の関係諸機関に配布した。また、本学本部主催のイノベーションフェア、災害復興新生研究機構シンポジウム、仙台市主催の仙台防災未来フォーラム 2016、耐災害 ICT 研究センタ主催の耐災害 ICT 研究シンポジウムの場を活用し、本機構の活動内容の積極的な情報発信を実施した。

<2015 年度の主な発表論文>

[1] 中沢正隆「コヒーレント技術を適用した光・無線融合型次世代アクセスネットワーク」2015 年電子情報通信学会ソサイエティ大会，CK-3-6(招待講演)，2015 年 9 月 9 日。

[2] Zubair Md. Fadlullah, et al., "Field Measurement of an Implemented Solar Powered BS-based Wireless Mesh Network," IEEE Wireless Communications Magazine, vol. 22, no. 3, pp. 137-143, Jun. 2015.

[3] Kentaro Inui, "Modeling "Reading between the Lines" Based on Scalable and Trainable Abduction and Large-scale Knowledge Acquisition", Workshop on Deep and Large-Scale Semantic Processing: The Way Ahead. Trento, March 2015.

国際集積エレクトロニクス研究開発センター

<施設の概要>

設 置：平成 24 年 10 月 1 日、東北大学は民間企業との産学連携研究を拡充し、集積エレクトロニクス産業の発展に向けた組織として設置。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。

組 織：センター長：遠藤哲郎（工学研究科・教授）

職員数：60 名（東北大通研、工学研究科、情報科学研究科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し、及び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とともに、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、国プロ、地域連携プロジェクト等による次世代半導体メモリから高性能ボード技術やパッケージング技術、画像処理技術などの電子デバイスコンポーネントを中心とした IT 分野の研究開発と自動車向け電装部品コンポーネントを中心としたカーエレクトロニクス分野の研究開発。

<2015 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、材料・装置・デバイス・回路・システムなど多様な国内外の企業と連携して、7 つの産学共同研究、3 つの大型国家プロジェクト（JST-ACCEL, ImPACT, NEDO プロジェクト）に加え、地域連携プロジェクトからなる国際産学コンソーシアム（CIES コンソーシアム）を運営し、多くの先進的成果を上げた。特に、スピントロニクス集積回路対応としては、世界初とな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整備して、産学共同研究拠点の拡充を進めた。これまでに、産学連携活動を促進する共通設備から知財の運用などにかかる更なる制度改革に加えて、「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、数十社にのぼる国内外企業の参画を受け、不揮発磁気メモリ（STT-MRAM）を中心とした世界最大規模のコンソーシアムに発展させると共に、地域連携へと展開できたことは大きな成果である。

具体的には、次世代半導体メモリから高性能ボード技術やパッケージング技術、画像処理技術等に関する多様な革新的技術を開発し、特に STT-MRAM の研究開発では、世界最高アクセス速度 (2GHz) の 1M STT-MRAM の開発に成功した。加えて、共同研究企業であるキーサイト社が、本共同研究成果を活用した新しい STT-MRAM 用計測装置の 2016 年中の製品化を目指すなど、開発技術の実用化に関する成果を得た。

さらに、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、東北経済産業局等と協力し、地域・地元企業との技術マッチングプログラムをスタートさせ、3 つの実用化事業（内 1 件は、国の橋渡し事業に採択）を立ち上げるなど、東北復興・地域貢献の一助となる成果を得た。

また、昨年に続き CIES インターシップ事業を継続的に実施し、本分野を支える高度人材育成にも寄与した。

スピントロニクス連携推進室

<施設の概要>

設 置：平成 26 年 12 月に東北大学研究推進本部が支援する部局・分野横断各種プロジェクト推進委員会の一つとして設置。

組 織：・運営委員長：伊藤貞嘉（理事（研究担当））

・運営委員：11 名（委員長を含む）

目 的：東北大学におけるスピントロニクス研究開発の連携推進に係る事項について協議し、併せて関係部局間の連絡調整を行う。

所掌事項：

- （１）東北大学におけるスピントロニクス研究開発の情報発信およびシーズ発掘
- （２）学内外の研究グループの連携を通じたスピントロニクス研究および人材育成の推進
- （３）「学術研究の大型プロジェクト推進に関する基本構想 ロードマップの策定—ロードマップ 2014—」における『「スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク」拠点の整備」事業の推進
- （４）その他、スピントロニクスに関わる研究開発に関する必要事項

<2015 年度の主な成果>

1) 運営委員会の開催

平成 27 年 11 月 17 日にスピントロニクス連携推進室運営委員会（第 2 回）を開催し、「スピントロニクス学術連携研究教育センター」設置に向けた平成 28 年度概算要求の経過等が報告された。

2) 平成 28 年度概算要求

文部科学省「ロードマップ 2014」に採択されたスピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点の整備を、新たな共同利用・共同研究体制の充実に向けた事業として平成 28 年度概算要求し、予算措置が認められた。これにより、東北大学の学内共同教育研究施設として、平成 28 年 4 月に「スピントロニクス学術連携研究教育センター」が設置される運びとなった。このセンターは、世界をリードする日本のスピントロニクス研究の国際競争力の向上、新産業の創出、現産業の強化及び次世代人材の育成を目指し、国内外の研究機関との共同研究を促進する連携ネットワークの拠点としての役割を担う。このセンターの設置に伴い、スピントロニクス連携推進室は発展的解消による廃止が決定された。

7. 2 参画する事業・プログラム

博士課程教育リーディングプログラム

「マルチディメンジョン物質理工学リーダー養成プログラム」

<施設の概要>

設 置：平成 25 年 10 月に博士課程教育リーディングプログラム複合領域型(物質)として採択。

組 織：・プログラム責任者：花輪公雄（理事（教育・学生支援・教育国際交流担当））

・プログラムコーディネーター：長坂徹也（工学研究科・教授）

・プログラム担当者：約 60 名（責任者・コーディネーターを含む）

目 標：東北大学の世界的強みである材料科学の実績と人的資源を活用し、大学院前期・後期一貫教育を通じて、マルチディメンジョン物質デザイン思想を実践するための広く確かな基礎知識と研究経験を有するリーダー人材を育成する。「マルチディメンジョン」とは、機能、特性、プロセス、環境調和性、経済性、安全、評価等に関する複合的な軸・次元で物質を幅広く俯瞰的に捉えることを意味する。

<2015 年度の主な成果>

平成 27 年度は約 20 名が新たに加わり、リーディングプログラム学生合計約 40 名が、基盤科目・専門基礎科目・展開科目・応用科目の他に、プログラム内インターンシップや海外や企業での長期インターンシップに取り組んだ。

平成 28 年 2 月 15 日～16 日の両日にわたり、プログラム学生有志による研修旅行を実施した。初日は産業技術総合研究所（AIST）と物質・材料研究機構（NIMS）を、二日目は宇宙航空研究開発機構（JAXA）と日立製作所日立研究所を訪問した。各訪問先において研究開発現場の見学の後、研究者と意見交換した。

平成 28 年 3 月に北海道大学において、北海道大学の物質系リーディングプログラムである「物質科学フロンティアを開拓する Ambitious リーダー育成プログラム」と第 2 回合同シンポジウムを開催した。

イノベーション戦略推進本部 革新的イノベーション研究機構

<施設の概要>

設 置：平成 26 年 4 月 1 日設置 平成 25 年度に開始した COI-STREAM「さりげないセンシングと日常人間ドックで実現する理想自己と家族の絆が導くモチベーション向上社会創生拠点」のプロジェクトに合わせてイノベーション戦略推進本部内に当研究機構を設置、東北大学が中核機関となり、サテライト（中核機関以外の研究実施場所）の新潟大学，東北学院大学，早稲田大学とともに、東芝を中心とした企業と産学連携した研究開発を実施。

組 織：・機構長・プロジェクトリーダー：高山 卓三（東芝・部長）
・副機構長・研究リーダー：末永 智一（東北大・教授）
・プロジェクト参加学内教員数：135 名

研究内容：誰もが生甲斐を持ち健康快活に過ごしたいが、病気への不安、孤独感、離れた家族の心配等が少子高齢化社会を脅かす。常に自分や家族の生活や健康がわかり、理想自己実現に向けた応援支援が得られる「日常人間ドック」を、提案者の MEMS（Micro Electro Mechanical Systems）・スピントロニクス・通信・エネルギー・素材・医療等の創意を結集して開発する。自律駆動型パッチセンサを主軸に超小型お米、箸、茶碗センサ等でさりげなく収集した日常の行動や健康ログは、クラウド上にビッグデータ PHR（パーソナルヘルスレコード）として一元管理され、ゲノム情報を背景に設計された理想自己実現に向けた励まし指導や家族の見守り、緊急時の消息確認・連絡救護等様々に活用される。

<2015 年度の主な成果>

センサ，通信，情報処理などの分野で幅広くプロジェクトに貢献している，通信に関しては，人体貼り付けセンサの電波伝搬モデリングへの協力，新しい人体内通信システム，およびこのための高周波・省電力デバイスの検討を行い，特許を 1 件出願した。

スピントロニクス国際共同大学院プログラム

<施設の概要>

設 置：平成 27 年 4 月に設置。

組 織：・プログラム責任者：花輪公雄（理事（教育・学生支援・教育国際交流担当））

・プログラムリーダー：平山祥郎（理学研究科・教授）

・プログラム担当者：学内約 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）、ミュンヘン工科大学（独）、カイザースラウテルン工科大学（独）、デルフト工科大学（蘭）、フローニンゲン大学（蘭）、シカゴ大学（米）、ニューサウスウェールズ大学（豪）

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を育成

概 要：研究中心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。

<2015 年度の主な成果>

平成 27 年度はノーベル物理学賞受賞者の Klaus von Klitzing 教授をはじめとする 10 名の招聘研究者が海外から東北大学を訪れた。招聘研究者は、「東北大学 知のフォーラム」として開催された国際ワークショップ※に基調・招待講演者として参加したり、本プログラムの学生のためにセミナーを開催したりした。また、仙台滞在中に学生や研究者と活発な議論を行った。

※「東北大学 知のフォーラム」関連国際ワークショップ

- ・ Quantum Nanostructures and Electron-Nuclear Spin Interactions
- ・ Spintronics with Antiferromagnets
- ・ Spintronics (13th RIEC International Workshop on Spintronics)

学際研究重点プログラム ヨッタスケールデータの研究プラットフォームの構築

＜プロジェクトの概要＞

発 足：平成26年10月に学際研究重点プログラムに採択

体 制：代表者：村岡裕明（電気通信研究所・教授）

プロジェクトメンバ：26名（文学研究科、経済学研究科、工学研究科、情報科学研究科、医工学研究科、電気通信研究所、サイバーサイエンスセンター、原子分子材料科学高等研究機構）

目 標：超巨大情報情報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人文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（1兆バイトの1兆倍、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」に加えて「質」をも扱う科学技術基盤の創出を目指す。本プロジェクトでは、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、ヨッタバイト級の巨大情報「量」に加えて、情報の「質」と「価値」を判断する科学技術を構築するために部局を超えた研究者集団を構成する。

本学電気情報系の強みである情報通信とエレクトロニクス分野での実績と情報科学分野の成果を元に、質や価値に関する深い研究蓄積を成してきた人文社会科学の研究者の助力を得るものである。文理連携とハードソフト融合による多様な学際性を踏まえて、情報の「量」と「質」の両面を扱う基盤技術を確立することは、来たるべき巨大情報時代において情報が持つ価値を享受する科学技術プラットフォームの構築を目指す。

＜2015年度の主な成果＞

1. 会議の開催と研究体制の構築

全5回の全体会議を開催して文系と理系から20件を超える研究発表を通じて議論を深めた。

2. 先行研究調査

情報クオリティに関する先行研究を調査し、米MIT、英オックスフォードなどから情報の品質に関する先行研究が行われていることをまとめた。

3. 情報質アルゴリズム検討

情報が持つ多様な属性を元にして、人間的な判断によって情報の質から価値を導く情報質分析手法を議論した。

第 8 章 評価と分析

第31回東北大学電気通信研究所運営協議会議事録

日時：平成27年12月11日（金）午後1時30分～午後5時01分

場所：東北大学電気通信研究所本館6階大会議室

出席者：

赤木 正人（北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 教授）

伊丹 俊八（国立研究開発法人 情報通信研究機構 理事）

伊藤 公平（慶応義塾大学理工学部 教授）

潮田 資勝（国立研究開発法人 物質・材料研究機構 理事長）

小野寺 正（KDDI株式会社 代表取締役会長）

黒田 徹（日本放送協会 放送技術研究所長）

小畑 秀文（独立行政法人 国立高等専門学校機構 理事長）

財満 鎮明（名古屋大学未来材料・システム研究所 副所長）

柴田 直（公益社団法人 応用物理学会 物理系学術誌刊行センター
専任編集長）

前田 英作（日本電信電話株式会社コミュニケーション科学基礎研究所 所長）

松島 裕一（早稲田大学研究戦略センター 教授）

早坂 忠裕（東北大学大学院理学研究科長）

滝澤 博胤（東北大学大学院工学研究科長）

高梨 弘毅（東北大学金属材料研究所長）

村松 淳司（東北大学多元物質科学研究所長）

小林 広明（東北大学サイバーサイエンスセンター長）

川又 政征（東北大学大学院工学研究科 教授）

通研出席者：大野英男所長、塩入諭副所長、大堀淳副所長、

庭野道夫、外山芳人、村岡裕明、中沢正隆、羽生貴弘、白井正文、

枝松圭一、尾辻泰一、上原洋一、石山和志、末光眞希、八坂洋、

木下哲男、石黒章夫、佐藤茂雄の各教授、

荘司弘樹、坂中靖志の各特任教授

三森康義、吉田真人、坂本修一、亀田卓、松宮一道の各准教授

加納剛史助教

議 事

（1）研究所の活動全般について

（2）研究体制と研究成果について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- ★ 研究所として、これまで科学技術、工学部門の連携研究を実施していますが、今回、文理融合というキーワードが出てきています。私も、職務上文理融合を進めたいと思っていますが、あまり前進しません。通研では実際どのようなアイデアなり、経験を踏まえ、文理融合を実施されて進めていこうとしていますか。

- ☆ 議論は、文系の先生も含めて大分行っていますが、確かに前述のと通りの苦勞を我々も感じております。エンジニアリングというのは定量化をする部門ですが、文系の先生方が取り扱っているのは、定量化というよりは体系化、分類化というような側面で扱っているように見受けられます。
 問題としては、1点目は、その定量化する部分と体系化・分類化する部分をつなぐツールとしてのサイエンスなのか、学問なのか、そこがどのようなバンドかというところです。
 2点目は、例えば、マーケティングのようなものを経済学の先生と一緒に議論しているのですが、効用最大化というような議論があります。アクションを起こしたときに、社会的に最も大きなプロフィットが出るような評価をするようなシナリオをつくっていくというようなアプローチと理解していますが、エンジニアリングだけでなく、文系の先生にも協力してもらい社会システムに直結するような出口を作ることを方法を考えています。

- ★ この問題は、各研究機関、大学も含めて皆さんが感じていることだと思いますので、どなたか方向性等も含めて、意見はありませんでしょうか。

- ★ 東京農工大学には農学部と工学部2つしかありませんでした。大学院をつくろうといって農学部と工学部から約半分ずつ教員を出して、1つの大学院をつくりました。その5年後に学外の方々と構成されている外部評価の委員の先生に、進捗状況の評価をしてもらいましたが、その際に、農工融合を旗印にした研究科だったのですが、月1回程度の議論では、融合は生まれないと大変厳しい意見を言われました。当時私は研究科長だったのですが、現在でも多分、農工大のその大学院は本当の意味の融合には達してないかもしれません。

- ★ 以前、東京大学の新領域創成科学で情報関係、電気工学をやりましたが、新領域創成科学ということで、新しい方法を作成するにはやはり融合だろうということで、研究科長が積極的にそういうことをエンカレッジして、幾つかのプロジェクトをつくりました。私は当時そのブレインコンピューティングというのを半導体部門からやっていたのですが、最初に生命科学で細胞をやっている先生と文学部で市民学をやっている先生と、その3つと一緒にやりました。結構うまくいきました。
 方法としては、教員だけだと考えが偏るので、学生も一緒に合宿を行い、その3研究室と一緒に議論するようなことをやりました。そこから新たな何かが出てくる

ことはなかったのですが、教員以上に学生同士が議論し、興味を持って、互いに話したりしましたし、そこから我々もヒントを得ました。全然違う分野であっても、お互い共鳴できるような、おもしろい議論がありました。

- ★ NHKとしても融合ということで、ニーズとして文科系の方々から情報をいただいて、技術研究所等の理科系がそれを解決するとの流れでやってきております。NHKには文化研究所がありまして、一緒に研究等を行うこともあります。しかしながら一緒に研究等を行うことについて、その成果のターゲットが同じものというのは、ほぼ不可能ではないかと思っています。文化研究所の成果の出し方は、このような視点であり、技術研究所としてはこういう視点だということ、たまたまその過程が一緒にやることで加速ができるというようなことはあるにせよ、同じゴールを目指すというのは、今までの経験からすると不可能かなという思いがありますし、それができれば非常にありがたいと思います。

同床異夢という言い方がありますが、それをあえて甘んじて受けて同じ寝床に寝るというやり方もないのかと最近模索をしているところです。

- ★ 放送技術研究所と放送文化研究所と両方お持ちだという意味では、NTTさんが似たような環境だと思いますが、どうですか。

- ★ 文理融合というのは、難しいところは多々あります。情報の分野でも、例えば音声と画像で融合しようと思うと、同じような大変さは必ずあります。

唯一の解決策は机を横に並べることでしかないと聞いたことがあります。

それからもう一つは、その先に進めるときに、自分の弱点を補うために組もうとしてもあまりうまくいかない。寧ろ強みを重ね合わせてさらに先へ進むような取り組みを立てないといい成果は出ないと思います。

しかしながら、それぞれの研究者は自分の分野で仕事をする方が楽なので、それをあえて乗り越えるということは、結局、自分から進んで他の分野も一緒に勉強するという覚悟がない限り、新しい分野は開くことは難しいと思います。

- ★ 以前、大学共同利用機関の総合地球環境学研究所におりまして、先ほどと同じ話を、最初の所長もしていました。そこは文理融合で地球環境問題を解決するための研究を行うために2001年に創設されたのですが、難しかった。うまくいくのは、環境問題ですと、課題設定を非常にうまくやって、そこに多くの物事が入っていきやすいようにする。また、例えば文化人類学をやっている方は、理科系でも生態学とか、対象を人間か生物かということで、大部分が共通ですけど、一応文理融合となっています。そのように手法が同じ、私の場合ですと、数学が出てくる、定量的にできる等もあり、経済学の先生とは、大気汚染絡みとか気候変動の問題等、一緒に研究が出来ました。

また、やはり机を並べるといいですか、同じ場所で年中顔を合わせるというのが大事で、以前所属していた研究所の場合も、最初は京都大学の敷地内に間借りして、

その後京都の町中にある小学校を間借りして、その際小学校の教室に2つのグループが入っていました。同フロアにいるのでよく顔を合わせるので、そのときは結構いろいろな議論になって、みんな頑張って研究していましたが、現在は上賀茂に自前の建物ができまして、非常に大きくなりました。するともう、結局自分のグループだけで、また細かく分かれてしまいました。参考になるかどうかわかりませんが、やはり同じところで、日常的に話ができる環境というのも非常に大事だと思います。

- ☆ 参考になる事例をありがとうございました。私としては、共通の目標や共通の夢等がお互い見つかりと議論が弾むと思っています。また、現在のデータが3千年蓄えられれば考古学は変わるだろうとか、一緒に考えるようなところが随分あると思います。

我々も、科学哲学を学んだ方を研究員として通研に採用しているので、このようなケースをふやしたいと思っています。特に先ほどからアンダー・ワン・ルーフということが重要だというご指摘をいただいています。本館を建設し、以前の建物から研究室が移ってきました。以前の建物は概算要求で新しくする予定ですが、しばらくは空き室となりますので、そこをぜひ積極的に活用して、アンダー・ワン・ルーフとして文理の方々がそこで研究活動ができるようにしたいと研究所でも思っています。

また、目標を実現するための研究資金等も一緒に獲得するために知恵を出すというところも、繋がりを深める仕組みとして有用なのではないかなと思っています。

- ★ 慶応義塾大学湘南藤沢キャンパスでは、みんな好きなことを随分伸び伸びとやる雰囲気があります。みんな楽しんで実験等を行っており、論文は最初出ません。

文理融合で難しいのは、論文が出ないということをどこまで許容して、最初のうちは、学問にも見えないのですけれども、そこから何となく発展してくるというのは私たち見てきましたので、その3～4年論文が出ないで楽しんでいるところをどうやって許容できるかというのが大きなポイントのような気がします。

- ★ 同意見です。実はこの10月に研究所の名前が変わりました。その前の研究所は、10年間、文理融合という旗印でやってきて、それを捨てました。

大事な点は、若い研究者が中心になったときに、小さいながらも新しい良いプロジェクトが幾つか生まれるのです。ところがそれを育てることについては、先ほど伊藤先生が言われたように、論文がしばらく出ないということを少し長い目で見る必要があります。ただ、昨今の情勢からすると、若い方にとっては厳しいことで、そこをどうやってサポートしてあげられるかというのが非常に大事だと思います。以前の研究所では、私は直接その苦勞を知っているわけではないのですが、結果として、育成するとの観点が非常に必要だと感じています。

- ★ 先生方からご意見を伺っていると、企業研修に似ていると感じます。企業の中でも営業と技術はあまりうまくいきませんが、若い方はそのような意識もないので、

若い方を集めて一緒にやらせると意外とうまくいきます。但し難しいのは、それを幹部が認めるかどうかです。若い方のアイデアを潰すのは、中堅の幹部の人が多く感じます。所長とか幹部は、それらを認めたがりますが、途中で止まることが多い気がします。

他の話題で何かございませんでしょうか。

- ★ 教員人件費が徐々に減額されています。去年、おとし、その前から特例措置期間なので、この減額は回復しますというお話で、去年は回復したのでそのまま増額かと思いきや、今年はまた減額しました。10年間で1億円減っていくので、60年でゼロになってしまうような心配があるのですが、どのようにお考えなのかでしょうか。

- ☆ これは外的な要因で、財政制度等審議会でも今後これを続ける予定との話ですので、我々としても難しいところです。我々の研究所のミッションを遂行する上では、これからも競争的資金だけではなくて、産業と一緒に活動することなどを考えるという任務もあるのかなと考えています。以前に比べるとそういうところへのドライブがかけられているし、進んでいかなければいけない道なのかなと認識しています。

- ★ 人件費のお話がありましたが、これは国立大学法人だけではなくて、国の機関全般に対して圧力がかかっていますが、何かご意見ありませんか。

- ★ 政府に対して不満はあります。独立行政法人なので、大学よりも高専のほうがもっと不利な点があります。予算の一部がマイナス1%ではなくてマイナス3%になった部分があり、しかも、贅肉を切り捨てて生き延びるような手段というのが、大学に比べてほとんどないに等しいので、今は非常に危機的な状況です。現在は文科省に対策を要求中です。

私は豊橋技科大の経営協議会のメンバーでもあるのですが、そこでは財務省が提案した運営交付金の一律削減、それと授業料を上げて両方をほぼフィフティ・フィフティにするとの案が出たと思いますが、それに対する厳しい抗議の声明文を経営協議会メンバーとして出そうということで、既にホームページに出しています。

- ★ 国研も大変です。法人化して15年ほど経過しているのですが、その間に予算は約190億から今は約110億です。4割以上減っています。しかし、幸いにも我々のところは、産業界との連携で年間約200億の予算はキープできています。理事長講話のときに、もうビジネスモデルを変えましょう。上品に構えないで、稼いってくださいと言いました。

実際の出資は、競争的資金です。それが約3分の2です。残りの3分の1は、産業界と共同研究センターを立ち上げる等、1件1億程の事業を何件かやります。そういうことをやらざるを得ませんが、大学はそれをやるのは難しいですか。

☆ そんなことはありません。少なくとも制度的には種々のことができます。ただやはり基礎的な研究開発が多いところは、テーマ的に難しいという面はあります。企業がやりたいことと我々ができることのマッチングということには、難しい面があると思われます。

また、企業のタイムスケールと我々のタイムスケールが若干異なるので、教育とどのように切り離して、産学連携をするかというのも考えどころと思っています。

★ 大学の場合は、運営費交付金ではない部分でやるということもできますか。それがないと、幾ら産業界とかいろいろなところからもらってきても、教員報酬の減少は避けられません。

☆ それは可能です。

★ 私も同じようなイメージを持っていました。11ページの予算の概要について、工学研究科もほとんどグラフの形としては同じで、外部資金が5割強ぐらいになりつつあります。ただ、例えばヨッタスケールの新しい学術展開のような未来を見据えた長期的視点に立った研究というのは、こういう枠組みではなかなかやりづらいところがあります。つい最近、私たち工学研究科の運営協議会ありまして、外部委員の先生からもご意見を頂戴いたしました。大学が、本当に未来に向けてどのようなビジョンを持っており、そのビジョンを示しながら企業にアピールすべきとの意見が出されました。

現在、日本の大学は基金を持っておりません。持ってないというよりも、基金と言えるほどの基金を持っていません。大学というのは、学部や系統ごとにそれぞれ同窓会や基金があつて、細かい財布は多々ありますが、やはり大学として本当に100年、200年に向けて何をしていくか、そのための自前の財政的自立をするというのが目指す方向であり、欧米並みの基金にできれば私は考えています。

★ これは本当に難しい問題で、国の財政が厳しくなっており、民間からも財政規律を守ってもらいたいとのことであれば、そのしわ寄せが多方面に行くのは間違いないが、先生方からお話のあったように、研究所としてのビジョンを民間企業に開示し、そこで共同でやれる部分をどれだけ開発できるかが、民間側からの課題と思います。

ただ、以前産総研を見せていただいた際に、産総研の理事長が、こういう研究をやっているのを知らなかったとお話ししておりました。多くの研究を行っており、それを知っている企業は、うまく産総研と連携しています。ところが、民間企業も、産総研に限らず、例えば東北大の通研がどのような研究を行っているかということほとんど知りません。ですから大学等との間でもっと情報交流を実施する必要があると思いました。その中から民間側から出せるものは出していないか、全体がうまくいかないのではないかと思います。

また、自動車産業で内燃機関の燃焼効率を3割以上上げることに国に取り

上げてもらったが、今までは自動車業界は企業間の開発競争が厳しいので、自動車業界全体となってというものはほぼなかったです。しかしながら、ドイツは、自動車業界と大学が連携して、内燃機関の燃焼効率を3割アップするとのプロジェクトを立ち上げています。そこで、日本も業界全体で国際競争力をつけていかなければならないとのことで、各会社の競争領域とこれを切り分けようということで実施しました。日本の産業界は、各企業が個別には研究開発法人と一緒にやっているのですが、業界まとめてというのは意外とありませんでした。ですから、ある業界もしくはある企業集団全体に利益になり得る部分については、個別企業と同時に業界団体、経団連を利用させていただいても構わないので、将来を見越して日本全体で取り組むべき事柄をご提案いただくと、大学、研究所、研究開発法人が触媒になって、業界をまとめることができる可能性があります。そういう意味では、お金の面が一つの大きな要素ですけれども、日本の研究開発体制、民間企業を含めて、大きく変わらざるを得ない体制にあるのは間違いないと思います。

東北大の通研だけの問題ではなくて、日本全体の問題なのかもしれませんけれども、高度成長期は、各社同じことをやっても、パイが広がったので何とかありました。ところが、人口減少の中で、国内のパイはそう大きく広がることはありません。そこで企業は海外に目を向けてしまうので、国内での研究開発を維持していくためには工夫が必要となっております。

資金面では、同窓会組織がしっかりしている大学は、強いです。ほとんどの大学は、学部単位、学科単位のOB会であり、大学単位のOB会的な組織が日本では非常に弱いですが、大学によっては、大学全体のOB会で、県毎など多くの支部をつくられて、学部・学科関係なしに活動しています。東北大学も、全学の同窓会に強化しようとの動きがありますが、学科単位、学部単位だとどうしても小さくなってしまって難しいです。

★ 先日多額の寄附をいただきました。個人からの寄附だったのですが、それは大学全体への寄附で、それをどこの学部のオーダー型プロジェクトで使用してもらいたいとの指定がありました。その方は5年後に使用状況を確認して、それが意図した目的に使用されていなかった場合は、違う方向性を提案するとの条件があります。

★ 海外との共同研究等、海外の研究機関との交流についてどのようにお考えなのかお聞かせいただきたい。

☆ 国際化に関しては、別途この後に研究指標として提示します。

共同利用・共同研究拠点として、昨年度より国際的な共同プロジェクト研究を進めておりまして、その成果は徐々に上がりつつあります。

また、国際共著論文に関しては20%程で、東北大の平均よりも若干低い状況です。ただし、現在は国際共同論文を上げるための方策ではなく、国際的な競争、あるいは協調、共同研究を進めていく経過の中で、結果として上がるための方策について検討しています。

(3) 研究評価について

(4) 共同利用・共同研究拠点の活動について

以上の説明の後、次のような質疑応答があった。

- ★ 相対引用度数の論文数はジャーナル論文だけですか。
- ☆ 今回の指標は、エルゼビアのスコープスのデータを使用しておりますので、一部国際会議論文が含まれております。
- ★ このデータでは、左側に突出した点があります。これは、トータル論文数が少ない若い先生がある分野で当てて、分母が小さいから値が大きくなっているのですか。
- ☆ 分野に分けて計算しているので、分野ごとに違いはある程度吸収されていると思います。ご指摘の点は、論文数が少なくていい論文がある研究者ということですから、おっしゃるとおり若い教員かもしれません。
- ★ 分野に分けて計算するとのことですが、分野によって相違点があります。そこで正規化の仕方について、また、分野によって正規化の際の係数が如何ほど違うのか、教えて頂ければと思います。
- ☆ 分野分けについては、雑誌を27の分野に分け、内容によって工学、物理学等に分けます。そしてグループの中で平均値で割り算をするということです。
分野によっての平均引用数の違いについては、はっきりと確認してはいませんが、10倍以上違うケースもあるかもしれません。
- ☆ ご質問のあった、分野ごとで如何ほど違うかとの話ですが、統計を取ったことはございません。ただ、インパクトファクターを見ても、例えば科学系が非常に大きい、情報系が少ない等そのようなところはよく見受けられます。正確には出しておりませんが、2～3倍の違いが見受けられるので、相当大的な違いがあると思われるます。
- ★ 今の話で評価に関係したことなのですが、東北大学の平均と比較されていますが、URAセンター等と連携して、国内、国外問わず同種のことを行っている大学と比較して頂くといいと思います。
また、インパクトファクターのお話がありました。研究によっては、例えば有機化学系は2～3ページの論文で、多数出てきて、引用数も多い。ですから、いろいろな特徴があるというのを配慮する必要があること、また、必ずしもインパクトファクターの高い雑誌に載ったからその論文がいいということではないこと。例えば、ネイチャーの全体のサイテーションの半分以上は、ネイチャーに載っている15%

程の論文で占めており、掲載されてもほとんど引用されない論文もあるという分析もありますので、評価は非常に難しいのですが、アピールするために、東北大学全体と比べるよりも、同じような分野の国内外の研究施設と比較することなどがいいと思います。

★ 物質・材料研究機構ではフィールドウェイテッドインパクトというのを使っています。世界平均が1になっており、また、ほぼすべての分野が入っています。大学毎や部局毎の測定値が出るので、便利だと思います。内容としては、アメリカの大学は2点台、日本の大学は1点台です。物質材料研究機構は1.5程です。このようなものを、他大学等ではしておりますか。

★ 理学研究科では、東北大学のURAセンター等の分析結果をいただきまして、それぞれの分野の世界標準を1とすると、1.4よりやや高い位ですが、そのように野ごとに、その相対被引用度のような指標で、世界平均を1とすると、通研ではどれ程との指標はございますか。

☆ お見せした相対被引用度というのは、まさにそれです。27の分野に分けて計算し、1というのは各分野で世界平均という意味になります。

★ 評価に関して、通研の中で個人業績評価というのはどういうふうに行われているのか、お聞きします。

☆ 個人評価は個々にその年に出した論文あるいは論文リスト等を提出いただいて、それを人事委員会で確認の上、所長が最後にそれを見るという仕組みがございます。

★ そこで本人にフィードバックされるのですか。

☆ 本人へのフィードバックというのは、そこまではいいません。

★ 結果は本人には伝えておりますか。

☆ 伝えておりません。

★ それはあくまで運営上の資料とすることですか。

☆ はい。ご本人には、例えば今回の資料のような図を配付し、どの点がどの方だということを個別にお知らせしています。

★ 全体の統計ですね。
ところで、教員に任期はありますか。

- ☆ はい。助教、准教授であります。
- ★ 再任審査のときの参考資料にもしますか。
- ☆ 再任審査にはこのような資料も使わせていただきます。
- ★ 産学連携の話で、共著論文率以外に、共同研究契約数とその推移等については記録としてありますか。
- ☆ あります。確かに産学共著論文があるからといって、産学共同研究がうまくいつているかは分かりません。さまざまな指標で産学連携の活動を見ていかなければいけません。ただ、産学共著論文があるということは、あるレベルの産学連携はしていると考えられると思います。
- ★ 女性教員については、金属材料研究所も同じコメントをいただいております。自主財源となっていますが、それで女性教員の比率が上がることはありますか。
- ☆ 通常の人事とは別に人件費を自主財源で作って、そこで募集しています。ですから、通研は研究室単位で運営していますけれども、女性を雇用するとその研究室の教員が増加いたします。
ご本人にとって優遇というよりは、ある期間チームにとって教員が増加する。そのような利点もあるので応募していただいています。
- ★ 他の教員と同じような評価で審査して採用すると、採用は難しい部分もあると思います。通研では優遇措置は行っていますか。
- ☆ その枠には女性教員しか推薦できません。但し、私の研究室にこのような女性教員を採用したいが、他の研究室にもそのような方がいらっしゃるとなれば、業績の内容等の議論はしております。
- ★ 所長のお話の中に、科研費獲得状況のグラフがあったと思います。これは、研究代表者分だけですか。
- ☆ はい、そのとおりです。
- ★ 新規採用と継続分があると思いますが、継続分も含めての課題数と、採択課題数ですか。
- ☆ はい、そのとおりです。

- ★ 通研の日本の中でのレベルを考えてあえて申し上げますと、助教、准教授の方の一人当たりの獲得件数が0.6に近づいていますが、これは科研費に応募する人を全体母集団とすると、現在の科研費の新規採択率は25%程です。そうなると、約半数が科研費を採択している結論になるので、グラフの変化を見ると、ここ数年、非常に努力した方が教授昇任して、平均レベルが下がったことを意味していると解釈したのですが、いかがでしょうか。
- ☆ そこまで深く考えてはいません。他のプロジェクト等もあるので、科研費申請については、推奨はしており、かつ応募状況も把握していますが、毎年同じレベルで推移しています。採択率としては全国平均並みと思われます。プロジェクトに参画している、他の受託研究を持っている、それらも含めて最終的には教員一人当たり二千数百万の研究費ということになります。個人個人それぞれ事情もございますが、科研費から見た個々の競争力を上げる努力は、今後も行っていきます。
- ★ 科研費の申請率向上への啓蒙とありましたが、科研費は、出せる機会があったら全部出すというのが私は常識でしたが、機会があるのに出さない方がいるのですか。
- ☆ 少数ですけども、そういう方はいらっしゃいます。
- ★ それは、他の外部資金があるので申請しないのですか。
- ☆ はい、エフォートが厳しい等の理由があるようです。事情がそれぞれありますので、そこは事情に合わせたフォローをしなければいけないと思っています。
一方でこの啓蒙活動は、申請することと同時に、申請書の書き方の講習会等も含んでおります。
- ★ 共同利用・共同研究拠点の活動について、平成27年度の評価がSであったということで、大変素晴らしいと思います。ですがS評価をつけながらも、審査員からは、更なる拠点外の研究者による論文の増加、共同研究の増加、女性の人材育成を進めるようにとあります。特に最初の更なる拠点外の研究者による論文の増加というのは、私はこの共同事業に申し込んだ研究者に、採択しますが多くの論文を書いてもらいたいとのことを意味していると受けとめました。しかしながら、真面目にこれを対応すると、大変なことになると思います。さらに必ず謝辞に書いてもらいたいとのことを言われて、それを真面目に実行することになると、国際共同研究をしていても、あれこれ謝辞に書いてとなり、非常に国際的センスから外れていくので、謝辞に書いていなくても、共同利用の論文であれば、何らかの形で認めるとのシステムに協力していただけるといいのではないかと思います。
- ☆ ありがとうございます。これは、学術機関課と財務省とのやりとりで枠組みが決

まりますので、学術機関課には今のご意見を伝えたいと思います。おそらく、この共同プロジェクト研究、あるいは共同利用・共同研究拠点はどのように拠点外の大学などのコミュニティに利用されているのか、それはどのような指標で表せるのかと、学術機関課は財務省担当から言われているのだと想像します。それらの背景があって、共同プロジェクト研究をしている外部の方で、我々の場合ですと通研と共著ではない論文を挙げてほしいというような要請も来ています。文科省と財務省のやりとりで我々のやることがふえる、あるいは本来もう少しゆったりした形でやるべき共同利用・共同研究拠点がきつい感じになることを避けるように要望は出したと思います。

- ★ 資料を見ると、やはり震災復興の相当の予算がこちらに入って、非常に災害復興の研究が活性化された。これは日本でも非常に特殊な例であり、逆にいうと東北大学でしかできないことだと思います。震災が風化することにより、予算を見てもそうですし、国の施策自身がそれらを軽く見てはいけないと思います。総務省から相当の予算が情報通信系に入っている。それらがこれだけ減ってきている中で、東北大学の立ち位置、アイデンティティの大きな一つは、災害復興の拠点であってそれらの研究をまとめ、既に社会実装、社会にいろいろ実用化するそのフェーズになっているところだと思います。予算が減少する中、東北大学、特に通研の先生方が中心になって作成した多くのシステムがあると思いますので、それらは引き続き強力に、進めて頂きたいと思います。
- ★ 情報通信研究機構ですけれども、通研には災害ということで、私ども耐災害 I C T 研究センターという産学連携の拠点を置かせていただいております。国の予算、私ども法人の予算も毎年減らされていく中で、予算を災害に対して増やすのはなかなか厳しい状況ですが、来年度からの第 4 期中長期計画では、やっぱり耐災害 I C T 研究センターをコアとした災害の I C T 研究というのを、私どものコアの研究を連携させて、どうやってその社会実装につなげていくか、それを柱として来期も実施する予定ですので、私どもの交付金も、厳しい状況ではありますが、総務省の予算から、引き続き通研とは連携させてもらいたいと思います。また、産業界、企業、通信事業者とも連携をさせていただいて、引き続き協力していきたいと思っております。
- ☆ 通研と連携している電気通信研究機構については、これからも東北大学の震災復興対応 8 大プロジェクトの一つとして進めてまいりますので、ご支援をいただき、予算獲得等の努力を一緒に行いたいと考えております。
- ☆ 貴重なご意見ありがとうございます。電気通信研究機構は、当初予算持出で始めるということで、2013 年 10 月に始まりましたが、多額の補正予算がついたので、耐災害 I C T の研究が進みました。しかしながら、予算がないからやらないではなく、予算がなければいかにプロジェクトをつくって、その中で大学が出来

る技術開発を耐災害 I C Tについて行うというのが基本理念です。ですから、予算は少ないですが、最先端のレジリエンス I C Tを開発するのが今後 5 年に向けた目標であります。そこで長期的には東北大学が震災を受け、その中で I C Tに関して、それを耐災害 I C Tという新しい技術をつくっていくということを世の中に提示することが大変重要だと思っております。今後ともご支援いただければと思います。

このような部局を超えた取り組みは、大学にとって今後非常に大事になると思います。今までいろいろなプログラムが部局毎で行われていたことがあります。それをこの 2013 年 10 月に、工学研究科、情報科学研究科等多くの部局に横断的にこの機構を運営させていただいております。今後、部局を超えたプログラムが大学として一般的になる最初の礎になればいいと思います。

★ 若手について伺います。助教についての出身、前職なのですが、資料によると 23 のうち 18 名は学生から上がったということですか。

☆ 教員の助教は 8 名が学生から助教になった、それ以外は研究員だったり、あるいは既に助教だったりということです。

★ そうすると、助教の方の、通研もしくは東北大学出身の割合というのはどのような状態でしょうか。

☆ そこにございますように 11 名が本学出身です。23 名のうちの半数が本学出身です。

★ 共同研究プロジェクトなどを見ると、通研の若手は 1 人ぐらいしか応募していない。それをどう捉えるのか。

☆ 2 つの視点があると思います。1 つは、通研の若手 3 名が応募しているが、助教は 23 名おりますので、それらの何割かは応募してもらいたいと思います。

もう一つの視点は、共同プロジェクト研究は外部の方に応募していただくプログラムですので、通研の方が増えすぎても本来の趣旨から外れるということで、バランスはとるべきであると思います。

★ 先ほど耐災害プロジェクトのお話がありましたので、広島で国際会議があつて、大臣も出られていたのですが、その場で東南アジア諸国の大臣の中から、災害が多発しているので、耐災害ということも支援してもらうのは非常にありがたいが、パッケージとしてお願いしたいという話がありました。パッケージというのはどのような意味か聞いてみたところ、通信だけではなくて、例えば、今の緊急地震速報的なものとか、災害に対応するものについて通信を含めてパッケージでお願いしたいということのようです。そのような意味では、学際的、横断的に合わせた形で出されると、海外で喜ばれるのではないかと思いますので、少しお考えになったらいい

のではないかと思います。

- ☆ 本学には災害科学国際研究所がございまして、そこではそのようなパッケージを非常に強く意識してやっておられると思います。ICTも裾野をどんどん広げていきますので、パッケージに寄与ができる部分というのは相当あると思います。

話はずれますが、これからの工学は、全てある種パッケージでなければいけなくて、電気工学、機械工学というように分けるのではなく、それらをいかに統合するかというのが問われているように思います。今、部局横断的とのことがありましたが、それをこれから意識してそのような活動を盛り上げ、提案するのは、これから我々がやるべきことであると最近強く思っています。

- ★ 評価と課題というところで、研究業績を正しく評価するために展望と課題のところにありましたが、西澤先生のお言葉にある、名前のついてない学問をやるということからすると、今書いている論文は、多分10年後、20年後に引用されるイメージだと思います。そこで、通研ならではの業績を評価するという意味では、10年前、20年前に書いた論文からどのような新しい学術分野が展開できたか分かるような指標で評価されるといいと思います。資料にある教員の引用数等を出すと、若い先生などは、今流行りの研究をやってしまうので、もともとの理念とは違う方向に向いてしまうと思います。

- ☆ ありがとうございます。そこは非常に気をつけていかなければいけないことだと思います。

指標とは何もあらわしていないのかということそのようなことはないので、やはり一定程度のアクティビティというのは、プロの研究者としてレベルを維持するという必要がありますから、そういう意味で使うというのは問題ないと思います。

ただ、先生がおっしゃられたように、10年後、20年後を目指したときに、今、引用数がふえないという論文は世の中に存在しますので、将来の大きなことのために今やっているとの思いを明らかにしていただいて、それらを聞いて受けとめられるような運営はする必要があると思います。ですので、数字、あるいはこの指標だけで評価するということはある得ないと思います。

ここでいろいろ皆さんにお配りしていると先ほど申し上げましたのは、我々が見なくても外の方あるいは指標ですと出てきてしまいますので、我々の指標はこういうものだということは各人見つ、しかし私はこういう道を選ぶという覚悟で新たな分野を切り開くようにしていただきたい。そのようなことをこれからも注意深く伝えていければと思います。

- ★ 今のお話、産業界も共通点がありまして、どうしても形を整えてそこで終わってしまうことが多いです。産業界の例で言うと、今コーポレートガバナンスが盛んに言われています。社外取締役を複数入れてもらいたい等言われていますが、形を整えてそれで終わりにになっているのが意外と多くて、結果、実効は動いていないという

のが実態だと思います。所長は、外部評価として、見ておかなければいけないところは見ていただくけれども、その中で自主性を持って通研としてどこを目指すのかを今おっしゃったと思うのですけれども、それが非常に重要だと思います。我々も横並びで見てしまうので、コーポレートガバナンスで言うと、実はコンプライ・オア・エクスプレインですよね。ところが、エクスプレインにすると面倒くさいので、みんなコンプライにしまいます。すると、形だけ整っていることになるので、ぜひ、独自にエクスプレインする部分が多ければ多いほど、いいと思っていまして、そのような方向で皆さんに頑張ってもらいたいと思っています。

それでは、一応ここで本日の運営協議会のほうは終わりということにさせていただきます。閉会のご挨拶を所長にお願いしたいと思います。よろしくお願いします。

- ☆ 本日は、第31回運営協議会、本館での初めての運営協議会に、半日の長い間お付き合いをいただきましてありがとうございます。多数のご意見あるいはご指導、コメントをいただきまして、私どもとしては大変うれしく思っています。

これらのご指導、ご鞭撻をさらに生かして、電気通信研究所あるいは電気通信研究所を中心とした大きな流れにこれからしていきたいと思いますので、どうかこれからまたよろしくご指導のほどお願い申し上げます。

本日はありがとうございました。

★は委員の発言、☆は電気通信研究所の発言

資料編

第 1 人 事

1. 教員 (人)

年度	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
教授	27(0)【0】	25(0)【0】	25(0)【0】	24(0)【0】	22(0)【0】
准教授	20(1)【0】	19(1)【0】	20(1)【0】	19(2)【0】	19(3)【0】
講師	0	0	0	0	0
助授	27(0)【2】	25(1)【2】	24(1)【1】	24(2)【1】	23(3)【1】
特任教授	1(0)【0】	3(0)【0】	3(0)【0】	2(0)【0】	1(0)【0】

※ () は外国人、【 】 は女性で内数

2. 客員外国人教員 (人)

年度	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
客員教授	2【0】	6【0】	1【0】	6【0】	3【0】
客員准教授	3【0】	1【0】	6【0】	2【0】	4【0】
計	5【0】	7【0】	7【0】	8【0】	7【0】

※【 】 は女性で内数

3. 客員教員 (人)

年度	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
客員教授	19(4)【0】	18(7)【0】	11(2)【0】	17(7)【0】	12(4)【0】
客員准教授	9(4)【1】	5(1)【0】	10(7)【0】	4(7)【0】	6(4)【0】
計	28(8)【1】	23(8)【0】	21(9)【0】	21(14)【0】	18(8)【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. 非常勤研究員

(人)

年度	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
教育研究支援者	6(3)【0】	7(1)【1】	9(4)【0】	9(4)【0】	10(5)【3】
産学官連携研究員	6(1)【0】	11(4)【1】	10(2)【0】	10(2)【0】	9(1)【1】
研究支援者	4(2)【0】	5(5)【0】	4(3)【0】	4(3)【0】	2(1)【0】
計	16(6)【0】	23(10)【2】	23(9)【0】	23(9)【0】	21(7)【4】

※雇用契約による研究員、() は外国人、【 】 は女性で内数、
 教育研究支援者（大学運営費・寄附金）、産学官連携研究員（共同研究費・受託研究費）
 研究支援者（科学研究費補助金）

5. 各種研究員

(人)

年度	22年度	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
客員研究員	1 (1)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】
受託研究員	11 (0)【0】	9 (0)【0】	6 (1)【0】	6 (1)【0】	5 (1)【0】	10 (0)【0】
受託研修員	0 (0)【0】	0 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】
民間等との共同研究員	12 (0)【0】	16 (1)【0】	4 (0)【0】	4 (0)【0】	5 (0)【0】	2 (0)【0】
日本学術振興会 特別研究員	11 (2)【1】	9 (2)【0】	4 (0)【0】	5 (0)【0】	5 (1)【0】	8 (2)【1】
内訳 PD	2 (0)【0】	1 (0)【0】	0 (0)【0】	1 (0)【0】	1 (0)【0】	2 (1)【1】
DC	9 (2)【1】	8 (2)【0】	4 (0)【0】	4 (0)【0】	4 (1)【0】	6 (1)【0】
日本学術振興会 外国人特別研究員	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	0 (0)【0】	2 (2)【0】	1 (1)【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)【0】	0 (0)【0】
計	0 (0)【0】	34 (3)【0】	15 (1)【0】	16 (1)【0】	19 (5)【0】	22 (3)【1】

※雇用契約のない研究員、() は外国人、【 】 は女性で内数

6. 客員外国人教員（外国人研究員）

氏 名	任用期間	研究内容
FILIMONOV SERGEY	H27. 6. 17～ H27. 8. 15	①超低压CVDによるSi上SiC成長の理論的研究 ②多層エピ成長による結晶配向転換を用いたCMOSプロセスの革新
SHARLIN EHUD	H27. 7. 26～ H27. 8. 28	ロボットを用いたヒューマン・コンピュータ・インタラクションに関する研究
DIETL TOMASZ STANISLAW	H27. 10. 26～ H27. 11. 25	スピントロニクス材料とデバイスに関する物理と工学
MADRENAS JORDI	H27. 11. 4～ H27. 12. 3	VLSI設計とテスト、集積化CMOS-MENS、神経回路システムのモデル化とFPGAによる実現
BEACH GEOFFREY STEPHEN DAVID	H28. 1. 22～ H28. 2. 22	ナノスピントロニクスデバイスの物理と応用
FJELD MORTEN	H28. 2. 2～ H28. 3. 31	モバイル機器によるヒューマン・コンピュータ・インタラクション
HOHMANN VOLKER	H28. 2. 27～ H28. 3. 26	音空間・音声信号処理の研究

7. 教育研究支援者

氏 名	任用期間	研究内容
藪野 正裕	H26. 4. 1～ H27. 12. 31	東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所—MIT電子工学研究所国際共同研究プロジェクト」に関する研究補助
JIAO SAI	H26. 4. 1～ H28. 3. 31	グラフェン・オン・シリコン（GOS）技術の研究
犬竹 正明	H25. 4. 1～ H28. 3. 31	光変調技術の研究
西村 容太郎	H26. 4. 1～ H28. 3. 31	震災復興のためのナノスピン実験施設復興プロジェクト
矢野 雅文	H27. 4. 1～ H27. 6. 30	自律分散システムの認識・制御の研究
DOBROIU ADRIAN CATALIN	H26. 10. 1～ H28. 3. 31	東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所—MIT電子工学研究所国際共同研究プロジェクト」に関する研究補助
王 怡昕	H26. 10. 1～ H28. 3. 31	東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所—MIT電子工学研究所国際共同研究プロジェクト」に関する研究補助
三浦 幸雄	H26. 11. 1～ H28. 3. 31	東北大学重点戦略支援プログラム「将来の大学間協定を見据えた東北大学電気通信研究所—MIT電子工学研究所国際共同研究プロジェクト」に関する研究補助
二瓶 真理子	H27. 12. 1～ H28. 3. 31	学際研究重点プログラム「ヨッタスケールデータの研究プラットフォームの構築」に関する研究補助
AKGUEL YETER	H27. 11. 1～ H28. 3. 31	人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSI創出事業に関する研究補助

8. 学振特別研究員

氏 名	期 間	研究内容
石川 慎也	H26. 4. 1～ H29. 3. 31	磁性多層膜 - CoFeB積層電極を用いた微細磁気トンネル接合に関する研究
林 禎彰	H26. 4. 1～ H28. 3. 31	磁性ナノ粒子を用いた複合磁性材料作成に関する研究
茅根 慎通	H26. 4. 1～ H29. 3. 31	超高次非線形誘電率顕微鏡による次世代電子デバイスのナノスケール評価技術の研究
朴 君昊	H26. 4. 1～ H28. 3. 31	フラッシュメモリ構造をトップゲートに用いた伝動型制御グラフェントランジスタの開発
都澤 章平	H27. 4. 1～ H30. 3. 31	強磁性・反強磁性半導体を用いた超高速スピントロニクスに関する研究
金子 沙永	H27. 4. 1～ H30. 3. 31	時空間的文脈を利用した効率的な知覚構築のメカニズムの解明
張 超亮	H27. 4. 1～ H29. 3. 31	磁気トンネル接合を用いた三端子素子に関する研究
加藤 匠	H27. 4. 1～ H29. 3. 31	知識型スマートグリッドのための知識クラスタ型エージェントフレームワークの研究開発
VENUGOPAL Gunasekaran	H26. 11. 29～ H28. 11. 28	グラフェン技術を用いた次世代巨大磁気抵抗スピントロニクスデバイスの開発

9. 教員以外の研究員（ポスドク）の転出先

(人)

転出先	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
企業	4	3	6	2	1
通研・教員	2	2	1	1	
他部局・教員		2	1		
他部局・産学官連携 研究員、COEフェロー	1		1	1	2
他大学・高専教員	1		2	1	
他大学ポスドク					2
国外大学・企業	1	2			2
帰国	3	1	2	1	4
転出者計	12	10	13	6	11
在職者数	17	23	24	15	21

※ 在職者：非常勤研究員及び日本学術振興会特別研究員（PD）

10. 支援職員

(人)

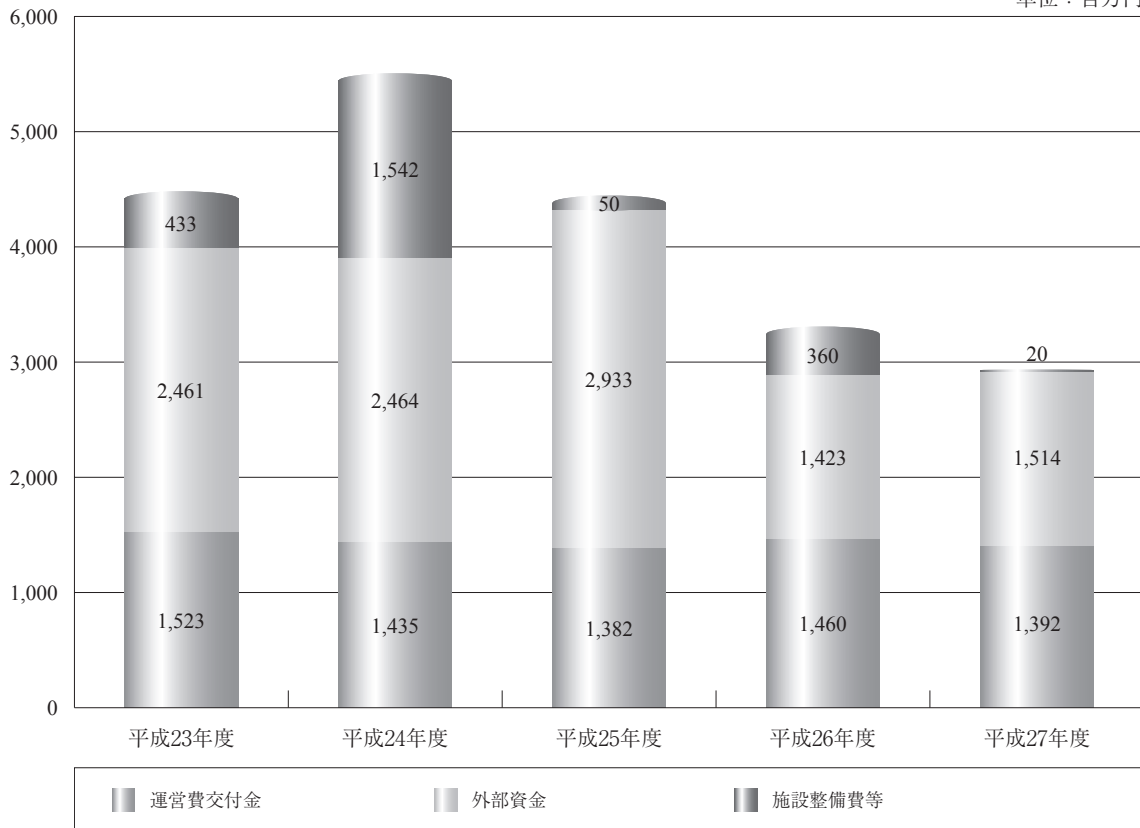
年度		23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
専任職員	技術職員	9 【1】	10 【3】	10 【3】	13 【2】	11 【2】
	事務職員	15 【4】	15 【3】	18 【3】	17 【4】	15 【4】
	再雇用職員	5 【0】	4 【0】	6 【0】	3 【0】	3 【0】
	計	29 【5】	29 【6】	34 【6】	33 【6】	29 【6】
非常勤職員	技術職員	16 【12】	29 【12】	19 【12】	19 【12】	14 【11】
	事務職員	38 【35】	36 【33】	36 【33】	36 【33】	31 【28】
	計	54 【47】	65 【45】	55 【45】	55 【45】	45 【39】

※ 【 】 は女性で内数

第2 予算

電気通信研究所における予算の推移

単位：百万円



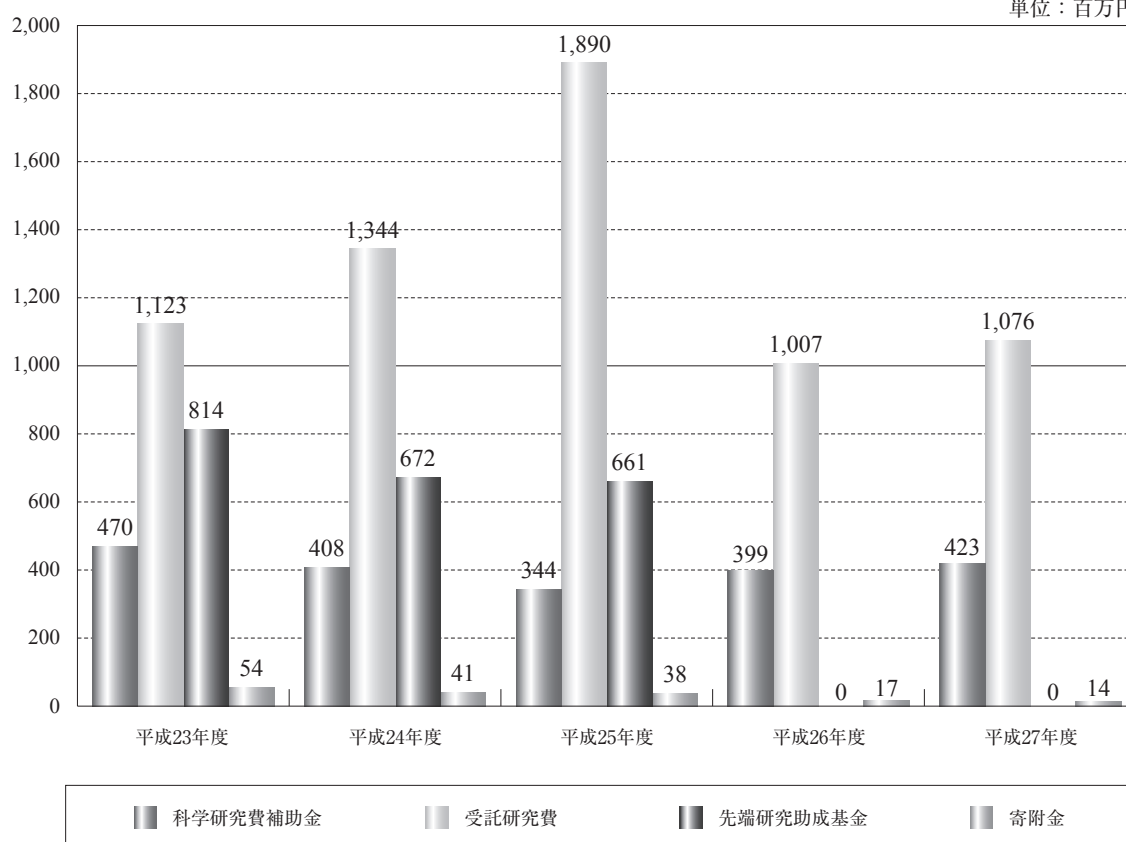
予算額内訳

単位：千円

事 項		平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
運営費交付金	人件費	835,898	770,443	723,507	791,174	724,798
	物件費	687,253	665,038	658,590	668,941	667,582
運営費交付金 計		1,523,151	1,435,481	1,382,097	1,460,115	1,392,380
外部資金	科学研究費補助金	469,840	407,629	343,824	399,311	422,846
	受託研究費	1,122,944	1,344,071	1,890,012	1,007,060	1,076,220
	先端研究助成基金	813,777	671,668	660,578	0	0
	寄附金	54,167	40,714	38,100	16,890	14,490
	(再掲) 間接経費	311,801	326,869	336,037	212,669	219,886
外部資金 計		2,460,728	2,464,082	2,932,514	1,423,261	1,513,556
災害復旧経費		432,607	4,993	0	0	0
移転事業経費		0	0	49,632	359,770	20,011
施設整備費		0	1,536,530	0	0	0
施設整備費等 計		432,607	1,541,523	49,632	359,770	20,011
合 計		4,416,486	5,441,086	4,364,243	3,243,146	2,925,947

外部資金受入状況

単位：百万円



外部資金内訳

単位：千円

事 項	平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
科学研究費補助金	469,840	407,629	343,824	399,311	422,846
受託研究費	1,122,944	1,344,071	1,890,012	1,007,060	1,076,220
先端研究助成基金	813,777	671,668	660,578	0	0
寄附金	54,167	40,714	38,100	16,890	14,490
合計	2,460,728	2,464,082	2,932,514	1,423,261	1,513,556

第 3 教 育

1. 学部学生・大学院生

(人)

区分	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
学部（4年）	66（3）【3】	53（1）【2】	67(1)【6】	56(0)【4】	52(0)【4】
大学院前期課程	146（23）【3】	137（20）【4】	125(17)【7】	125(12)【6】	117(13)【11】
工学研究科	96（16）【2】	86（11）【2】	76(8)【3】	82(6)【3】	81(6)【5】
情報科学研究科	50（7）【1】	51（9）【2】	49(9)【4】	43(6)【3】	36(7)【6】
大学院後期課程	50（18）【3】	43（15）【2】	38(14)【1】	38(9)【1】	36(9)【1】
工学研究科	39（12）【2】	35（9）【2】	28(7)【1】	30(6)【0】	28(7)【0】
情報科学研究科	11（6）【1】	8（6）【0】	10(7)【0】	8(3)【1】	8(2)【1】
計	262（44）【9】	233（36）【8】	230(32)【14】	219(21)【11】	205(22)【16】

※（ ）は外国人、【 】は女子学生で内数

2. 留学生

(人)

区分	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
学部4年	3	1	1	0	0
大学院前期	23	20	17	12	13
大学院後期	18	15	14	9	9
計	44	36	32	21	22
地域別内訳					
①アジア	38	29	27	19	17
②北米	0	0	0	0	0
③中南米	2	3	3	1	1
④ヨーロッパ	0	0	1	0	3
⑤オセアニア	0	0	0	0	0
⑥中東	1	1	0	0	0
⑦アフリカ	3	3	1	1	1

3. 研究所等研究生・特別訪問研修生

(人)

区分	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
研究所等研究生	10(7)	6(6)	8(7)	12(10)	11(9)
特別訪問研修生	2(2)	2(2)	2(2)	2(2)	1(1)
計	12(9)	8(8)	10(9)	14(12)	12(10)

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	多足類型ロボットの脚間協調制御に関する研究	酒井 和彦	石黒 章夫
	環境からの反力を活用して推進する自律分散型ヘビロボットに関する研究	中島 大樹	石黒 章夫
	足底感覚情報を活用した適応的二足歩行制御に関する研究	堀切 舜哉	石黒 章夫
通信工学専攻	チューナブル狭線幅ファイバレーザと波長多重伝送への応用	中尾 允俊	中沢 正隆
	周波数安定化パルスレーザとコヒーレント光伝送への応用	吉田 一貴	中沢 正隆
	異種無線融合ネットワークにおける位置情報を用いた干渉制御手法に関する研究	秋元 浩平	末松 憲治
	小型地球局用低消費電力ダイレクトRFアンダーサンプリング受信フロントエンドに関する研究	小泉 友和	末松 憲治
	60GHz帯3次元ビームフォーミング用パッチアンテナに関する研究	葉 文穎	末松 憲治
	統計学的手法によるグラニュー磁気記録媒体の微細構造に関する研究	神 拓磨	村岡 裕明
	グラフェン二重層ヘテロ構造を利用したテラヘルツ電磁波検出に関する研究	アルノード ステファヌス	尾辻 泰一
	グラフェンチャネルFETの高周波化とその光電子融合ミリ波帯ミキサへの応用に関する研究	菅原 健太	尾辻 泰一
	グラフェンチャネルFETの高性能化とその電流注入テラヘルツレーザへの応用に関する研究	玉虫 元	尾辻 泰一
	光学励起グラフェンのテラヘルツ帯誘導増幅放出に関する実験的研究	若生 洋由希	尾辻 泰一
	ビット遷移確率抑制技術に基づく省電力不揮発ロジックLSIの構成に関する研究	阿久津 趙明	羽生 貴弘
	ストカスティック演算に基づく小型かつ高機能ガボールフィルタの構成に関する研究	片桐 大作	羽生 貴弘
	不揮発性メモリベースVLSIアーキテクチャとその高エネルギー効率化に関する研究	夕部 直人	羽生 貴弘
電子工学専攻	酸化グラフェンのナノスケール電子物性に関する研究	魏 濤	上原 洋一
	銀ナノ粒子構造体の作製と走査トンネル顕微鏡発光分光	寶槻 雅樹	上原 洋一
	ウェーハ接合技術を用いたデバイス基板上単結晶SiC薄膜へのグラフェン成長	田島 圭一郎	末光 眞希
	Ni/グラフェン界面の構造・電子物性に関する放射光光電子分光評価	長谷川 美佳	末光 眞希
	結晶方位回転3C-SiCヘテロエピ膜を介したSi基板上エピタキシャルグラフェンの高品質化	横山 大	末光 眞希
	走査型非線形誘電率ポテンシオメトリーとケルビンプローブ力顕微鏡の実験的比較研究	向出 周太	長 康雄
	RFスパッタ法を用いた強誘電体プローブストレージ用PZT薄膜媒体の作製に関する研究	陳 一桐	長 康雄
	ホイスラー合金を用いた巨大磁気抵抗素子に関する理論研究	森川 志門	白井 正文
	面内磁化容易軸を有する新規3端子素子構造におけるスピン軌道トルク磁化反転	姉川 哲朗	大野 英男

電子工学専攻	磁化ダイナミクスによる微細磁気トンネル接合の特性評価	平山 絵里子	大野 英男
	CoFeB-MgO構造の磁気特性の熱処理条件依存性	渡部 杏太	大野 英男
	反強磁性結合を有するCoPt系グラニュー垂直磁気記録媒体のマイクロ波アシスト磁化反転に関する研究	中山 湧稀	島津 武仁
	低エネルギープラズマ照射下でのSi-C系混晶薄膜形成制御に関する研究	佐々木 翔吾	佐藤 茂雄
	基板非加熱プラズマCVDを用いたSi薄膜形成におけるBドーピング制御に関する研究	茂木 江也	佐藤 茂雄
	LiNbO ₃ マッハツェンダ型光変調器の高調波重畳変調による 光周波数コム平坦化に関する研究	阿部 晃一郎	八坂 洋
	光負帰還型小型狭線幅半導体レーザ光源用リングフィルタに関する研究	小林 宗平	八坂 洋
	InAs量子ドットにおける共鳴励起顕微分光法の開発	佐藤 悠毅	枝松 圭一
	III-V族半導体量子ドットにおける3パルスフォトンエコーとその励起強度依存性の研究	綿貫 哲也	枝松 圭一
	培養神経回路網における構造-機能相関に関する理論的研究	千田 雄大	庭野 道夫
	多孔質薄膜を用いて生成したナノバブルの基本特性に関する研究	山田 夏輝	庭野 道夫
情報基礎科学専攻	IoTエージェントのマルチタスクプランニング機能に関する研究	千葉 遼	木下 哲男
	創造活動における能動的情報資源の想起支援機能に関する研究	蜂谷 雄介	木下 哲男
システム情報科学専攻	3次元聴覚ディスプレイの頭部運動追従性能向上に関する研究	中井 彬人	鈴木 陽一
	Modeling of Head-related Transfer Functions with Spherical Wavelets (球面ウェーブレットを用いた頭部伝達関数のモデル化)	胡 詩超	鈴木 陽一
	音空間知覚における周波数スペクトルの役割に関する基礎的研究	齋藤 優一	鈴木 陽一
	球面調和解析に基づく複数領域音場再現法	清水 拓	鈴木 陽一
	マルチモーダル環境における音空間知覚に関する基礎的研究	花箆 慶史	鈴木 陽一
	SENZi集音システムのロバスト性向上に関する研究	和田 祐人	鈴木 陽一
	定常的視覚誘発電位による注意移動時の空間特性に関する検討	石井 慶	塩入 諭
	Modeling the Visual Process of Contextual Cuing Effect (文脈手掛かり効果の視覚処理過程のモデル化)	袁 正雄	塩入 諭
	身体位置に付随する注意の機能と脳活動計測に関する研究	西川 遼太	塩入 諭
	複数の自走式デジタルテーブルを用いた作業空間の動的形成に関する研究	浅利 勇佑	北村 喜文
	Automatic Colorization using Vector Space Hemisphere based Clustering Algorithm (多次元ベクトル空間上の半球体クラスタリングを用いた自動彩色技術に関する研究)	グエン ティ フェンバン	北村 喜文
	モーションセンサ内蔵積み木による遊びの動作識別と子供の心理状態推定への応用	佐藤 裕美	北村 喜文

システム情報科学専攻	形状情報に着目した自然画像中の文字領域認識技術に関する研究	佐藤 昌孝	北村 喜文
	動的ウィンドウ配置を用いた適応的なデスクトップの構築に関する研究	橋本 大輔	北村 喜文
	コンパイラの間接言語を操作するための枠組みの研究	田畑 憲太	大堀 淳
	関数型言語の系統的なテスト方式の研究	新田 祐児	大堀 淳
応用情報科学専攻	3次元共生空間におけるHMDを用いた空間共有手法の高度化	伊藤 寛祥	菅沼 拓夫
	災害リスクを考慮したネットワークの経路制御手法に関する研究	江戸 麻人	菅沼 拓夫
	AR技術を用いたネットワーク情報可視化に関する研究	大沼 信也	菅沼 拓夫
	AR技術を用いたワイヤレスセンサネットワーク管理手法に関する研究	村岡 諒	菅沼 拓夫

(博士論文)

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	自由エネルギーの多変数最適化計算による三次元磁区構造予測に関する研究	岩田 圭司	石山 和志
	電気化学的手法による機能性ナノ構造複合材料の形成に関する研究	林 禎彰	石山 和志
通信工学専攻	Study on Digital Coherent Optical Pulse Transmission with a High Spectral Efficiency (高い周波数利用効率を有するデジタルコヒーレント光パルス伝送に関する研究)	オツヤ ダビド オデケ	中沢 正隆
	超高速ナイキストパルス伝送に関する研究	原子 広大	中沢 正隆
	マイクロ波／ミリ波電圧制御発振器の低位相雑音化に関する研究	津留 正臣	末松 憲治
電子工学専攻	大脳視覚情報処理に基づく神経振動と曲率表現を用いた物体認識のモデル化に関する研究	松田 雄馬	佐藤 茂雄
	高電圧集積回路向け横型拡散MOSFETの高性能化に関する研究	三好 智之	庭野 道夫

第 4 研 究

1. 研究成果の掲載・公表状況

区 分	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
トピックス (新聞記事等)	59	66	71	69	55

2. トピックス一覧

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
1	未踏の世界へ 光通信技術の弱点を克服	2014/4/9	毎日新聞	中沢 正隆
2	今井所長ら文科相表彰 東北大災害研 震災アーカイブ評価	2015/4/15	河北新報	長 康雄
3	創意工夫功労者県内の13人表彰 県庁で伝達式	2015/4/21	河北新報	斎藤 文孝 (技術職員)
4	春の叙勲4087名 音の世界を長年探求	2015/4/29	河北新報	曾根 敏夫 (名誉教授)
5	春の叙勲 瑞宝中綬章	2015/4/29	朝日新聞	曾根 敏夫 (名誉教授)
6	春の叙勲 瑞宝中綬章	2015/4/30	毎日新聞	曾根 敏夫 (名誉教授)
7	未来照らす光技術 今年「国際光年」、国連が制定 光ファイバー分野日本の研究者、先駆的業績	2015/4/30	日刊工業新聞	川上彰二郎 (名誉教授) 中沢 正隆
8	「スピン技術で超省エネへ」	2015/5/14	電子デバイス産業新聞	大野 英男
9	藤原賞に中沢氏と横山氏	2015/5/28	読売新聞	中沢 正隆
10	第56回藤原賞 光信号 光のまま増幅	2015/5/29	読売新聞	中沢 正隆
11	脳型コンピューター実現へ一歩 東北大電通研 視覚処理能力をハードウェア化	2015/5/30	河北新報	羽生 貴弘
12	脳型コンピューター 開発3度目の正直なるか	2015/6/5	日経産業新聞	羽生 貴弘
13	ノーベル賞受賞者を囲むフォーラムin郡山	2015/6/18	読売新聞	中沢 正隆
14	電波の日・情報通信月間 記念式典	2015/6/24	電波新聞	末松 憲治
15	先進の通信技術 今後も 東北大電通研80周年祝い式典	2015/6/24	河北新報	電気通信研究所
16	「情報通信の研究けん引」 東北大・通研が80周年式典	2015/6/24	日本経済新聞	電気通信研究所

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
17	「国立大学法人東北大学、磁石に電界を加えることでS極とN極が変わる際の摩擦の起源を明らかに-磁氣的摩擦の起源に電氣的制御により迫る-」	2015/8/3	日経バイオテク	大野 英男
18	「ノーベル賞有力北海道ゆかりの4人」	2015/8/5	北海道新聞	大野 英男
19	「東北大、ミクロな磁気構造のゆっくりとした変化に統一的な理解をもたらす」	2015/8/5	日経テレコン	大野 英男
20	「電子磁石の抵抗抑制」	2015/8/5	日経産業新聞	大野 英男
21	科学の扉 光海底ケーブル 増える通信 9000キロつなぎ対応	2015/9/13	朝日新聞	中沢 正隆
22	脳のように判断する回路	2015/9/27	日本経済新聞	羽生 貴弘
23	フォトリソグラフィス 工業部品のゆがみ測定 スマホ・車向け、需要高まる	2015/10/23	日経産業新聞	川上彰二郎 (名誉教授)
24	プリズム(1)贈る言葉 深く究め自己客観を	2015/10/31	河北新報	末光 眞希
25	プリズム(2)理学と工学の違い 知の探求とモノ作り	2015/11/7	河北新報	末光 眞希
26	プリズム(3)線形と非線形 現代技術 調和に腐心	2015/11/14	河北新報	末光 眞希
27	ノーベル賞有力 北海道ゆかりの4人	2016/11/16	北海道新聞	大野 英男
28	プリズム(4)上意下達か現場の声か ボトムアップで成果	2015/11/21	河北新報	末光 眞希
29	IT・Sensor Net Surfing 小型船事故対策アプリ	2015/11/23	毎日新聞	木下研
30	プリズム(5)人生は微分か積分か 研究者は「今」に集中	2015/11/28	河北新報	末光 眞希
31	プリズム(6)結晶成長とボスの教訓 常に適度な圧力必要	2015/12/5	河北新報	末光 眞希
32	プリズム(7)音楽と教育・研究 組織管理にも生かす	2015/12/12	河北新報	末光 眞希
33	プリズム(8)量子力学の誕生日 色と温度の関係解明	2015/12/19	河北新報	末光 眞希
34	プリズム(9)事柄と言葉 循環が技術発展促す	2015/12/26	河北新報	末光 眞希
35	東西南北「一年の計」申年にたくす郷土の産業(政令指定都市) 仙台市 企業ニーズの実現を支援します!	2016/1/1	日刊工業新聞	電気通信研究所
36	プリズム(10)僕が仙台弁を話せるわけ 実験装置自作 契機に	2016/1/9	河北新報	末光 眞希
37	未踏の世界へ 新しい「磁性半導体」を開発	2016/1/14	毎日新聞	大野 英男

	記 事 名	掲載年月日	出典	関係教員
38	プリズム(11)理系と文系 便宜的区別 融合進む	2016/1/16	河北新報	末光 眞希
39	プリズム(12)自由と秩序 2 原理優劣 温度次第	2016/1/23	河北新報	末光 眞希
40	プリズム(13)英語と日本語 相手否定せぬ「ノー」	2016/1/30	河北新報	末光 眞希
41	さらなるラジオ教養化に期待 放送の諸課題検討会	2016/2/3	民間放送	鈴木 陽一
42	プリズム(14)表面とバルク 歴史尊重 日本に必要	2016/2/6	河北新報	末光 眞希
43	マルチモーダル(複数の感覚)情報処理過程の理解に基づく高感性聴空間システムの構築	2016/2/7	読売新聞	鈴木 陽一
44	言葉を覚える前でも 乳児、色の種別区別	2016/2/9	日刊工業新聞	栗木 一郎 (准教授)
45	京大の松波氏サーノフ賞受賞 炭素ケイ素半導体の権威	2016/2/9	日経産業新聞	大野 英男
46	プリズム(15)質問の苦手な日本語 気遣い「なぜ」封じる	2016/2/13	河北新報	末光 眞希
47	プリズム(16)脳の不思議 材料詰めて熟成待つ	2016/2/20	河北新報	末光 眞希
48	省電力型メモリー開発 電流で磁場、磁石不要に	2016/2/26	日経産業新聞	深見 俊輔 (准教授) 大野 英男
49	プリズム(17)許しと赦し 挑戦と失敗 恐れずに	2016/2/27	河北新報	末光 眞希
50	マルチモーダル(複数の感覚)情報処理過程の理解に基づく高感性聴空間システムの構築	2016/3/1	読売オンライン 「科学」	鈴木 陽一
51	プリズム(18)自己触媒反応と人生 努力 必ず「ブレイク」	2016/3/5	河北新報	末光 眞希
52	プリズム(19)デジタルとアナログ 奢らず自然に学ぼう	2016/3/12	河北新報	末光 眞希
53	プリズム(20)モジュール化と国際化 過程より結果を重視	2016/3/19	河北新報	末光 眞希
54	プリズム(21)完 再び「贈る言葉」 激動生きる思考補助	2016/3/26	河北新報	末光 眞希
55	記憶速く電流1/5 東北大が半導体メモリー	2016/3/30	日経産業新聞	深見 俊輔 (准教授) 大野 英男

3. 科学研究費助成事業採択一覧（平成27年度研究代表者）

単位：千円

研究種目	氏名	27年度 交付額	補助金 総額	研究課題名	採択 年度	最終 年度
特別推進研究	尾辻 泰一	46,400	367,400	グラフェンテラヘルツレーザーの創出	23	27
	中沢 正隆	114,200	439,200	多機能なコヒーレントナノキストパルスの提案とそれを用いた超高速・高効率光伝送技術	26	30
新学術領域研究	上出 寛子	3,600	8,400	ASD者のwell-beingに資する自伝的物語への介入とDMNの脳機能解明	27	28
	坂本 一寛	3,800	7,500	領野間・層間情報流の解析による前頭葉の予測・意思決定神経回路機構の解明	26	27
基盤研究（S）	長 康雄	20,100	161,800	非線形誘導率顕微鏡の高機能化及び電子デバイスへの応用	23	27
基盤研究（A）	北村 喜文	12,900	33,700	人の細かい手作業計測のための3次元6自由度モーションセンサシステムの実現と応用	27	29
	石黒 章夫	5,100	30,300	特異な対称構造を持つクモヒトデから探る振る舞いの多様性の発現機序	24	27
基盤研究（B）	大堀 淳	600	6,300	ML系多相型言語SML#の実用化技術に関する基礎研究	25	29
	末光 眞希	2,200	14,600	グラフェンエレクトロニクス実現を加速するSi基板上エピグラフェンの革新的高品質化	25	27
	末松 憲治	2,200	13,400	電流モード・ダイレクト・デジタル・コンバージョンRF-ICの開発	25	27
	坂本 修一	4,800	12,400	人間の外界空間認識過程に基づく自己運動感応型バーチャル視聴覚空間創成技術の確立	26	28
	石山 和志	3,800	12,500	逆磁歪を利用した異方性制御機構の解明とそれを利用した低損失モータ用電磁鋼板の開発	26	28
	栗木 一郎	8,600	15,400	脳内における順行性・逆行性の視覚信号の相互作用	27	29
	吹留 博一	8,100	13,000	二次元原子薄膜の材料物性とデバイス特性を繋ぐオペランド顕微光電子分光	27	29
基盤研究（C）	外山 芳人	1,200	3,500	合流性に基づくプログラム自動検証法の研究	25	27
	佐藤 茂雄	1,200	3,600	脳型計算機用ナノシナプスデバイスの開発	25	27
	阿部 和多加	1,000	3,800	水素化合物の金属化及び超伝導の理論研究	25	27
	片野 諭	1,200	4,000	プラズモン光電場の極限空間操作によるナノケミストリー	25	27
	坂本 一寛	1,300	3,700	多重電極・電流源解析によるサル前頭葉層構造マップの作成	26	28
	山末 耕平	2,000	3,900	走査型非線形誘電率ポテンシオメトリの開発とその電子材料・デバイス評価への応用	27	29
挑戦的萌芽研究	末光 眞希	1,200	3,000	多層エピ成長による結晶配向転換を用いたCMOSプロセスの革新	25	27
	鈴木 陽一	1,100	2,900	無意識な微小頭部運動は音空間感性知覚に影響を及ぼすか	26	27
	坂本 修一	1,500	2,800	笑いを誘発する音声メディアの特徴分析に基づいた笑い誘発音声フィルタの試作	26	27
	上原 洋一	700	32,800	テラヘルツSTM発光分光へのピコ秒時間分解能の付与	26	27
	葛西 恵介	800	2,900	広帯域VC0によるコヒーレント光通信用高精度光位相制御技術の確立	26	27

研究種目	氏名	27年度 交付額	補助金 総額	研究課題名	採択 年度	最終 年度
挑戦的萌芽研究	加納 剛史	1,700	3,100	多脚動物が示す巧みな脚間協調に着想を得た 交通信号制御の新展開	26	27
	栗木 一郎	1,700	2,900	両眼合成周波数 SSVEP による視覚的注意の空間 分布の計測	27	29
	北村 喜文	1,400	2,800	動きセンサ内蔵積木の試作と子供の遊び方分 析への応用	27	28
	上出 寛子	800	2,600	超ロバストなロボットの実現に向けた二元性 ー原論に基づく応用仏教の実証研究	27	28
	庭野 道夫	1,800	3,000	ナノ細孔薄膜を用いて形成するナノバブルの 構造と機能	27	28
	吹留 博一	1,300	2,800	ウエハー接合を援用した高品質エピグラフエ ンと新原理に基づく高周波デバイス	27	28
	サッドグローブ マーク	1,400	2,900	Coherent control of a solid state qubit on an optical nanofiber	27	28
	八坂 洋	1,700	3,000	100Gb/s動作直接変調半導体レーザ光源実現へ に向けた挑戦	27	28
	末光 哲也	1,500	3,000	ScAlMgO4基板を用いた窒化物半導体縦型トラ ンジスタ作製プロセスの研究	27	28
	深見 俊輔	2,100	2,900	スピン軌道トルクを用いた新規磁化制御方式 の研究と3端子磁気メモリ素子への応用	27	29
若手研究 (A)	深見 俊輔	4,600	11,700	極微細世代における新規磁壁移動方式の研究 と3次元デバイスへの展開	27	29
	大脇 大	2,900	15,600	網羅的視野から解き明かす四脚動物の多様な 歩容の発現機序	25	27
	上出 寛子	13,300	19,500	持続可能な対ロボット関係を実現する連動的全身非 言語行動による親密性表出モデル	26	27
	葛西 恵介	6,600	15,700	コヒーレント光通信用狭線幅周波数安定化 レーザの開発	26	27
若手研究 (B)	高橋 秀幸	700	3,100	被災地の地域包括ケアシステムを実現する情 報連携フレームワークの研究開発	25	27
	高嶋 和毅	1,300	2,800	複数の自律移動デジタルテーブルの連携によ る快適な協調作業空間の動的生成	26	27
	佐藤 昭	1,000	3,100	新規グラフエングTHzプラズモニクデバイスの 理論的検証	26	28
	TOMBET STEPHANE	800	3,100	Graphene terahertz detectors based on plasmons and resonant tunneling	26	27
	笹井 一人	900	3,000	ヘテラルキー型分散エネルギーシステムのため のマイクログリッド間協調方式	26	27
	上野 雄大	600	3,000	実用プログラミング言語のための系統的言語 開発基盤の実現	27	30
	秋間 学尚	1,100	3,100	運動立体視による空間認識を行う視覚情報処 理システムの集積化に関する研究	27	29
研究活動スター ト支援	金井 駿	1,000	2,100	金属薄膜磁性の電界変調効果の増大を目指し た材料開発	26	27

※基金分については2015年度請求金額を記載

4. 競争的資金等状況

単位：件、百万円

		平成23年度	平成24年度	平成25年度	平成26年度	平成27年度
民間等との 共同研究	件数	43	25	35	33	33
	金額	115	53	57	66	48
受託研究	件数	32	32	33	22	24
	金額	684	734	511	496	586
奨学寄付金	件数	25	23	15	16	22
	金額	54	39	38	17	14

5. 受賞・表彰件数

区 分	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
叙勲・受賞・表彰	38	34	38	40	41

6. 受賞・表彰者一覧

団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
平成27年度科学技術分野 文部科学大臣表彰 科学技術賞(開発部門)	長 康雄	誘電デバイス研究	「走査型非線形誘電率顕微鏡法の開発」	平成27年4月15日
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)	羽生 貴弘	新概念VLSIシステム研究	「不揮発性ロジックインメモリ集積回路の研究」	平成27年4月15日
平成27年度科学技術分野 文部科学大臣表彰 若手科学者賞	深見 俊輔	省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター	「電流誘起磁壁移動とその集積回路応用に関する研究」	平成27年4月15日
平成27年度科学技術分野 文部科学大臣表彰 創意工夫功労者賞	齋藤 文孝	先端音情報システム研究	「球状スピーカアレイ装置の考案」	平成27年4月15日
電子情報通信学会スマート無線研究専門委員会 2014年技術特別賞	亀田 卓 末松 憲治	先端ワイヤレス通信技術研究	スマート無線研究会における技術展示 「災害時に有効な衛星通信ネットワーク：ソフトウェア無線技術を用いたマルチモード VSAT の開発」 に関して	平成27年5月28日
(公財)日本表面科学会 平成26年度学会賞	庭野 道夫	ナノ分子デバイス研究	「赤外分光による表面・界面解析法とその応用に関する研究」	平成27年5月23日
総務省東北総合通信局 平成27年度「情報通信月間」東北総合通信局長表彰	末松 憲治	先端ワイヤレス通信技術研究	災害時における緊急重要通信や安否確認などに活用が期待される「簡易な操作で設定が可能な可搬型小型地球局」を開発するなど、災害に強い情報通信技術の確立に多大な貢献	平成27年6月1日
藤原科学財団 第56回藤原賞	中沢 正隆	超高速光通信研究	「エルビウム光ファイバー増幅器の先駆的研究開発と光通信の高度化に関する多大な貢献」	平成27年6月17日
(公財)本多記念会 第55回原田研究奨励賞	深見 俊輔	省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター	「高性能3端子スピントロニクス素子の研究開発」	平成27年7月1日
ACM Symposium on Spatial User Interaction (SUI 2015) Best Paper Award	北村 喜文 Kasim Ozacar	情報コンテンツ研究	「GyroWand: IMU-based Raycasting for Augmented Reality Head-Mounted Displays」	平成27年8月9日
日本数理生物学会 研究奨励賞	加納 剛史	実世界コンピューティング研究	日本数理生物学会における、生物ロコモーションに内在する自律分散制御メカニズムに関する顕著な業績について	平成27年8月18日
計測自動制御学会 第21回創発システム・シンポジウム最優秀講演賞	小野 達也	実世界コンピューティング研究	第21回創発システム・シンポジウムのポスターセッションにおける最も優秀な発表に関して、発表タイトル：クモヒトデのロコモーションに内在する腕内協調メカニズム	平成27年9月1日
計測自動制御学会 第21回創発システム・シンポジウム優秀講演賞	鈴木 朱羅	実世界コンピューティング研究	第21回創発システム・シンポジウムのポスターセッションにおける最も優秀な発表に関して、発表タイトル：環境を友とする四脚ロボット	平成27年9月1日
日本磁気学会 学術奨励賞（内山賞）	原 彬大	情報ストレージシステム研究	論文「Influence of Switching Field Distribution on the Transition Jitter in Grain-Position Controlled Granular Media」に対して	平成27年9月9日
International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing Best Paper Award in Multimedia Signal Processing (Speech/Audio)	TREVINO JORGE 胡 詩超 SALVADOR CESAR 坂本 修一 鈴木 陽一	先端音情報システム研究	平成27年9月開催の「Eleventh International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing」において発表した「A compact representation of the head-related transfer function inspired by the wavelet transform on the sphere」に対する表彰	平成27年9月25日
第25回インテリジェント・システム・シンポジウム 優秀論文賞 プレゼンテーション賞	羽鳥 康裕	高次視覚情報システム研究	「羽鳥康裕，方昱，松宮一道，栗木一郎，塩入 諭：頭部方向情報に基づく大画面観察時の視線予測」	平成27年9月28日

団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
第23回 マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2015) 優秀論文賞	谷村 優介 笹井 一人 北形 元 木下 哲男	コミュニケーションネットワーク研究	動的に変化するネットワークシステムのための知識型障害解決支援システム	平成27年10月15日
第19回 (平成27年度) 松尾財団宅間宏記念学術賞	枝松 圭一	量子光情報工学研究	「光子を用いた量子もつれ、量子計測、不確定性関係の研究」	平成27年10月27日
MHS2015 Best Poster Award	大脇 大 石黒 章夫	実世界コンピューティング研究	「Auditory Foot: A Novel Auditory Feedback System Regarding Kinesthesia」	平成27年11月25日
石田實記念財団 平成27年度研究奨励賞	吹留 博一	固体電子工学研究	動作しているデバイスの電子状態の顕微分光法の開拓と学理に基づく二次元電子系デバイスに関する研究	平成27年11月27日
石田實記念財団 平成27年度研究奨励賞	櫻庭 政夫	ナノ集積デバイス・プロセス研究	IV族半導体量子ヘテロ構造高集積化のためのプラズマCVDプロセスに関する研究	平成27年11月27日
IEEE Sendai Section Student Awards 2015 (The Best Paper Prize)	刑部 好弘	ナノ集積デバイス・プロセス研究	「Superconductivity Coherence in Series Array of Nb/AlO _x /Nb Josephson Junctions」 (共著者: 刑部好弘, 佐藤茂雄, 小野美武, 秋間学尚, 櫻庭政夫)	平成27年11月30日
一般財団法人青葉工学会 第21回青葉工学研究奨励賞	金井 駿	半導体スピントロニクス研究	強磁性金属における磁化の電気的制御に関する研究	平成27年12月4日
第299回計測自動制御学会 東北支部 優秀発表奨励賞	安井 浩太郎	実世界コンピューティング研究	ムカデのロコモーションに内在する自律分散制御則	平成27年12月5日
2015 Asia-Pacific Microwave Conference・Best Student Paper Award	小泉 友和	先端ワイヤレス通信技術研究	「A CMOS Series/Shunt Switching Type S/H IC for Ka-Band Direct RF Under Sampling Receiver」	平成27年12月9日
第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2015優秀講演賞	堀切 舜哉 大脇 大 石黒 章夫	実世界コンピューティング研究	「足底感覚情報を用いた二足歩行制御の環境適応性に関する検証」	平成27年12月16日
電子情報通信学会・電子デバイス研究専門委員会 平成27年度学生発表奨励賞	YADAV, Deepika	超ブロードバンド信号処理研究	「グラフェン二重層ヘテロ構造を用いたテラヘルツ放出力または検出に関する研究」	平成28年1月21日
第300回計測自動制御学会東北支部 優秀発表奨励賞	郷田 将	実世界コンピューティング研究	「手応え関数」に基づく6脚歩行の脚間協調制御則の構築	平成28年2月19日
平成28年東北地区若手研究者研究発表会 優秀発表賞	柳生 寛幸	先端音情報システム研究	発表論文「音情報から生成した振動情報を含む多感覚コンテンツの高次感性評価」に対する表彰	平成28年3月1日
平成28年東北地区若手研究者研究発表会 優秀発表賞	中井 彬人	先端音情報システム研究	発表論文「線形予測による静的および動的聴取時の頭部運動予測モデルの構築」に対する表彰	平成28年3月1日
電子情報通信学会東北支部 学生優秀発表賞	中井 彬人	先端音情報システム研究	発表「線形予測による静的および動的聴取時の頭部運動予測モデルの構築」に対する表彰	平成28年3月1日
RISP・NCSP'16 Student Paper Award	和田 祐人	先端音情報システム研究	発表論文「Evaluation of robustness of the SENZI 3D sound space acquisition system using a spherical microphone array」に対する表彰	平成28年3月9日
情報処理学会 第78回全国大会 学生奨励賞	横山 真悟	コミュニケーションネットワーク研究	「エージェント型IoTシステムの自律適応制御手法」 (共著者: 横山真悟, 加藤匠, 高橋秀幸, 木下哲男)	平成28年3月10日
情報処理学会 第78回全国大会 学生奨励賞	久保田 恭守	コミュニケーションネットワーク研究	「サンドボックス環境を用いた移動型エージェントによる安全なサービス個人化手法」 (共著者: 久保田 恭守, 北形 元, 高橋 秀幸, 笹井 一人, 木下 哲男)	平成28年3月11日
平成27年度電子情報通信学会 学術奨励賞	原子 広大	超高速光通信研究	ノンコヒーレント光ナイキストパルスを用いた2.56 Tbit/s/ch-525 km DQPSK伝送	平成28年3月17日
平成27年度電子情報通信学会 学術奨励賞	守谷 哲	ナノ集積デバイス・プロセス研究	「運動視により局所運動を検出する神経網モデルのLSI化」	平成28年3月17日
日本音響学会東北支部 優秀論文賞	柳生 寛幸	先端音情報システム研究	発表論文「音情報から生成した振動情報を含む多感覚コンテンツの高次感性評価」に対する表彰	平成28年3月22日

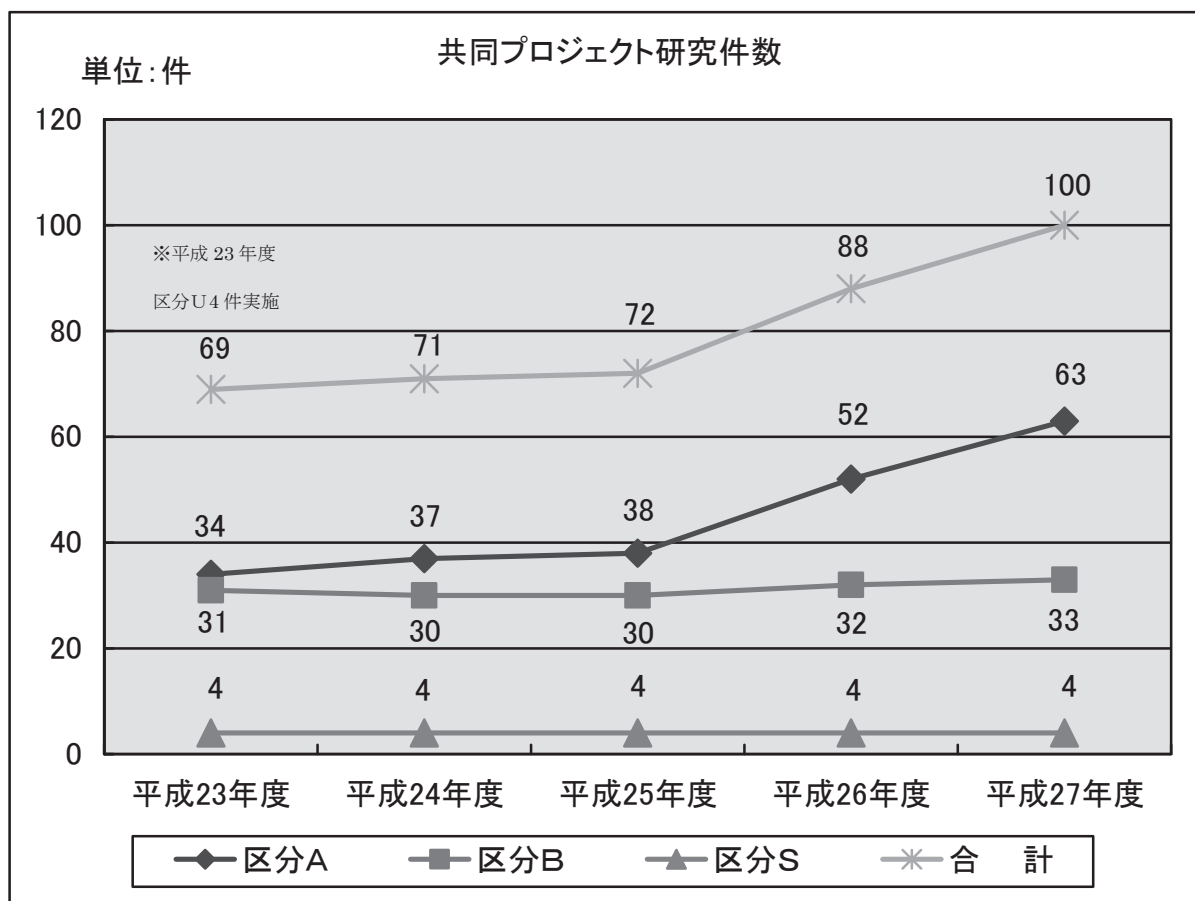
団体名・賞名	氏名	所属	業 績	受賞日
平成27年度東北大学総長賞	平山 絵里子	半導体スピントロニクス研究	本学の教育目標にかない、かつ学業成績が特に優秀と認められたため。	平成28年3月25日
電子情報通信学会東北支部優秀学生表彰	田村 祐揮	先端音情報システム研究	学部課程における優れた成績に関して	平成28年3月25日
平成27年度工学部長賞	細谷 友崇	超ブロードバンド信号処理研究	本学の教育目標にかない、かつ学業成績が特に優秀な者に対して工学部長から授与される	平成28年3月25日
平成27年度工学部長賞	宮澤 咲紀子	実世界コンピューティング研究	本学の教育目標にかない、かつ学業成績が特に優秀な者に対して工学部長から授与される	平成28年3月25日

7. 発表論文数

区 分		23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
査読付学術論文	英文	154	201	156	126	129
	和文	16	16	12	15	10
	計	170	217	168	141	139
査読付国際会議		207	225	287	255	239
解説・総説		14	17	15	11	9
査読付国内会議、 査読なし国内研究会・ 講演会		343	413	363	282	302

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



(単位：件)

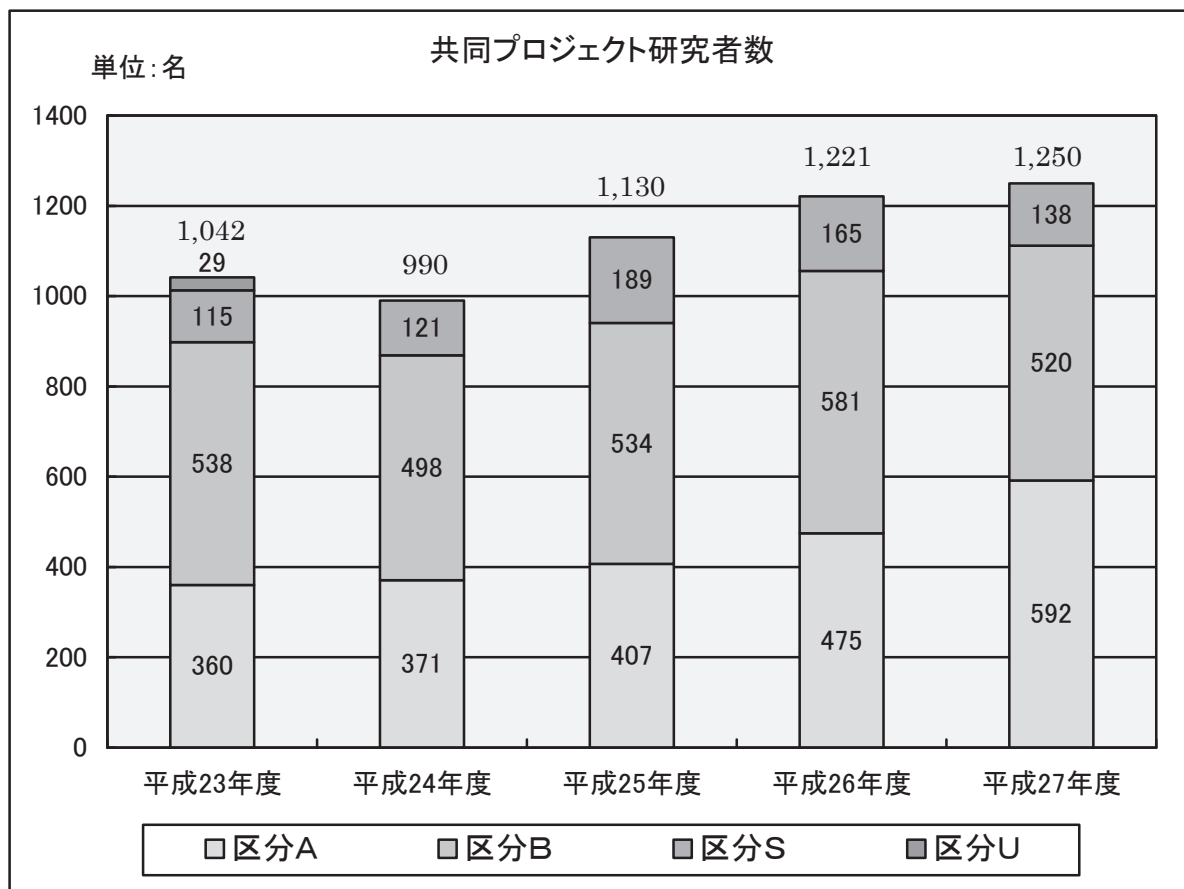
区 分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
区分A	34	37	38	52	63
区分B	31	30	30	32	33
区分S	4	4	4	4	4
区分U	4				
合 計	73	71	72	88	100

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、5つの研究タイプを設けている。タイプ別の採択状況は以下のとおりです。

【タイプ別採択件数】(複数選択可)

- ・大型プロジェクト提案型：7 件
- ・萌芽的研究支援型：36 件
- ・国際共同研究推進型：25 件
- ・若手研究者対象型：15 件
- ・先端的研究推進型：54 件
- ・その他：3 件

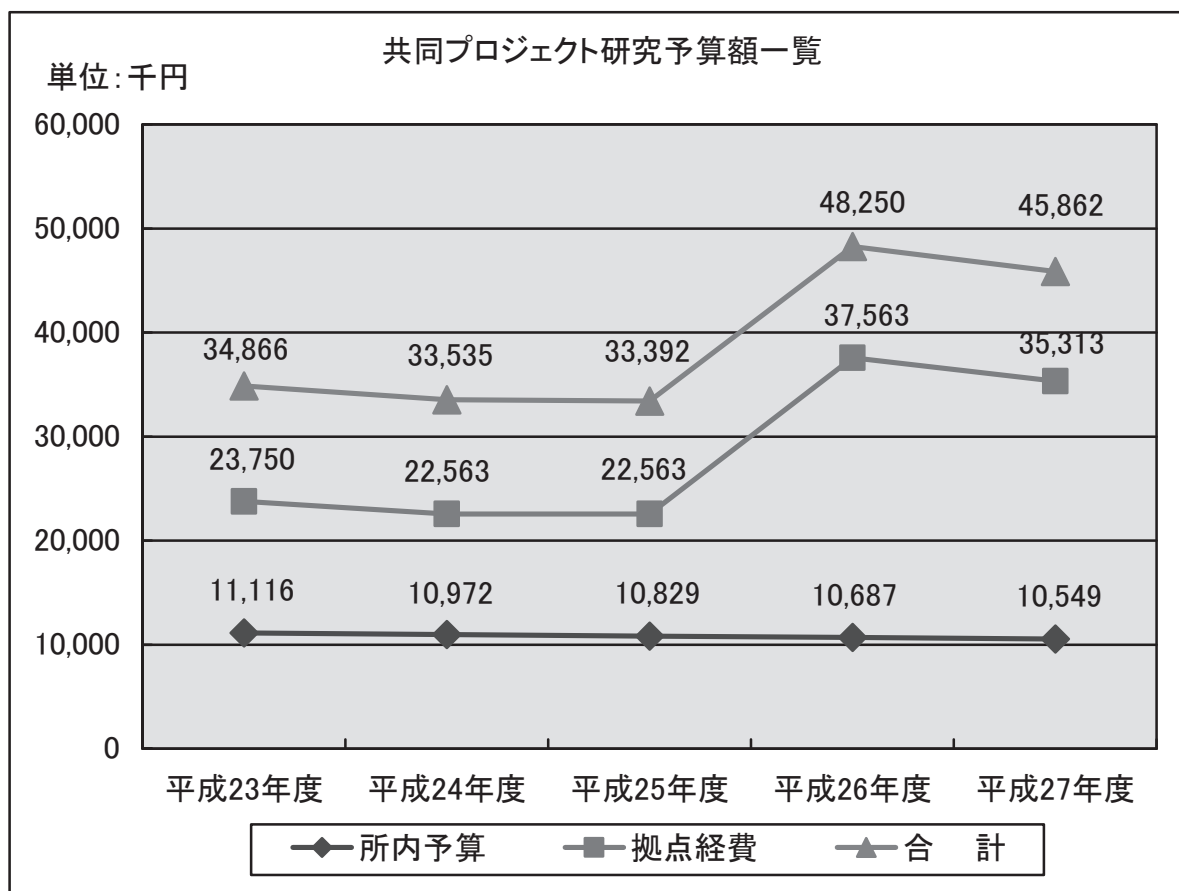
2. 共同プロジェクト研究者数



(単位:名)

	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
Aタイプ	360	371	407	475	592
：うち民間	21	28	30	26	26
Bタイプ	538	498	534	581	520
：うち民間	64	57	49	48	38
Sタイプ	115	121	189	165	138
：うち民間	8	0	0	0	0
Uタイプ	29				
：うち民間	5				
計	1,042	990	1,130	1,221	1,250

3. 共同プロジェクト研究予算額



(単位：千円)

区 分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
所内予算	11, 116	10, 972	10, 829	10, 687	10, 549
拠点経費	23, 750	22, 563	22, 563	37, 563	35, 313
合 計	34, 866	33, 535	33, 392	48, 250	45, 862

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、代表者等	概 要
耐災害性に優れた安心・安全社会のためのスピントロニクス材料・デバイス基盤技術の研究開発	文部科学省：国家課題対応型開発推進事業（未来社会実現のためのICT基盤技術の研究開発）（24-28年度予算 6.10億円）	H24-H28年度 （代表：大野英男教授 参加者：羽生教授、夏井准教授、深見准教授、金井助教（以上電気通信研究所）、安藤教授、遠藤教授、大兼准教授、永沼助教（以上工学研究科）、松倉教授（原子分子材料科学高等研究機構）、池田教授（国際集積エレクトロニクス研究開発センター） 参加機関 山形大学、京都大学、物質・材料研究機構、宇宙航空研究機構、日本電気、東栄科学産業）	現在のコンピュータシステムに使われているワーキングメモリ(WM)は揮発性のため、待機電力を消費し、災害時の給電停止によりデータが消失し迅速な復帰への障害となる。また今後必要となる20nm以下の素子寸法では、実現のための道筋が明確でなく、さらにソフトウェア等の耐環境性の悪化も懸念される。20nm以下の微細な不揮発性スピントロニクスWMを実現すると、システムの低消費電力性能、停電時のバックアップ性、耐環境性の向上が期待され、停電復帰時のデータ再ロード不要システムの構築が可能となる。本研究開発では、情報通信基盤の耐災害性強化に向け、20nm世代以下の不揮発性WMの材料・デバイス基盤技術を構築し、その適用法をシミュレーションで明らかにする。本研究は共同プロジェクト研究「半導体スピントロニクス」(H13-H14年度)から発展した。
高機能高可用性情報ストレージ基盤技術の開発	文部科学省：国家課題対応型開発推進事業（未来社会実現のためのICT基盤技術の研究開発）（24-28年度予算 5.78億円）	H24-H28年度 （代表 村岡 裕明教授 参加者：中村准教授、大堀教授、グリープス准教授、上野助教、原田研究員（以上、電気通信研究所）菅沼教授、阿部准教授（以上、サイバーセンター） 参加機関 日立製作所、日立ソリューションズ東日本）	東日本大震災において、中小サーバやパソコンから住基情報や医療情報等の重要情報が喪失した。また、長時間の通信途絶によってクラウド系へのアクセスも切断されてストレージ系が長期間使用できない事態があった。これを改善するストレージシステムの耐災害性を高めて、半数の機器損壊でも90%の情報にアクセスできる高可用性（災害時も継続して使用可能な）ストレージ基盤技術を開発する。また、最近の広帯域情報に対応するために情報ストレージシステムの転送速度を5倍に高速化する。
高集積原子制御プロセス国際共同研究拠点の形成	日本学術振興会：先端研究拠点事業（24-28年度予算8.5千万）	H24-28年度 （代表：室田淳一特任教授（～26年度）、庭野道夫教授（27年度～） 参加者：大野教授、池田准教授、中島教授、佐藤教授、櫻庭准教授、木村准教授（以上電気通信研究所）、松倉教授（原子分子機構：WPI）、 参加機関：東京大学、名古屋大学、IHP・ベルリン工科大学・シュツットガルト大学（以上ドイツ）・IMEC（ベルギー）CNRS－CINaH・CNRS－IM2NP・CNRS－IEF（以上フランス））	世界規模の国際共同研究拠点の形成により、日本単独では困難な高集積原子制御プロセス基盤技術の深耕を国際共同研究により強力に推進するとともに、グローバル化が進む現代の研究開発においてリーダーシップを発揮できる若手人材育成体制を構築する。同時に、世界規模の国際会議・国際ワークショップを各拠点国で企画・開催し、学術論文誌特集号の出版を継続的に行うとともに、本事業のセミナーも同時期に開催し、研究開発資産を集積する体制を構築する。これらの活動を通して、高集積原子制御プロセスの学問的体系化を図り、次世代情報通信の基盤を創出する。 本事業は、以下の4つの共同プロジェクト研究から発展し、提案されたものである。 ・H-14/A01「IV族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス応用に関する研究」（平成14～16年度） ・H17/A06「IV族半導体極限ヘテロ構造形成とデバイス高性能化に関する研究」（平成17～19年度） ・H20/A04「IV族半導体高度歪制御ナノ立体構造形成とそのデバイス応用に関する研究」（平成20～22年度） ・H23/A04「高度歪異種原子層配列IV族半導体構造形成とナノデバイスへの応用に関する研究」（平成23年度）
グラフェンテラヘルツレーザーの創出	科学研究費補助金：特別推進研究（23-27年度予算 4.8億円） 学外1組織の参画	H23-27年度 代表：尾辻泰一教授 研究分担者 末光教授、末光准教授、佐藤助教（以上電気通信研究所） 国内参加機関：北海道大学、会津大学、国外参加機関：ニューヨーク州立大学バッファロー校、レンセラー工科大学、ロシア科学アカデミーマイクロ構造物理学研究所、同物理工学研究所、同コテルニコフ無線電子工学研究所	新材料グラフェンによる新概念テラヘルツレーザーの創出に関する研究において、電流注入型レーザーにおけるキャリア過冷却効果、ならびに、表面プラズモンポラリトンの利得増強作用を発見した。シリコン基板上に成長させた次世代電子材料グラフェン(GOS)のSi基盤面方位による多機能化(金属性・半導体性の切り分け)に成功した(日経新聞(23.11.16))。新しい室温発振テラヘルツレーザーの実現へ前進した(特許出願10件(内海外5件))。共同プロジェクト研究課題「グラフェンを利用したテラヘルツ帯光電子デバイスに関する研究」(H21-H23年度)から発展。
次世代ネットワークにおける超臨場感音響相互通信の実現	日本学術振興会日中韓フォーサイト(A3Foresight)事業（23-28年度予算 4.8千万円）	H23-H28年度 （代表：鈴木陽一教授 参加者 坂本准教授、崔助教（以上電気通信研究所）伊藤教授（工学研究科） 参加機関：北陸先端大学、東北学院大学、NICT	共同プロジェクト研究課題「次世代デジタルコンテンツ流通モデルに関する研究」(H21B10、H21～H23)等を発展させ推進した。次世代ネットワークでは、これまでは伝送できなかったより多くのデータの高速でかつ安全な通信の実現により、単にこれまでのような意味や内容といった情報だけではなく、あたかも本物がそこにあるかのような感覚や相互作用も通信できることが期待される。そこで、多数のマイクロホンで音空間を高精細に収録し、その音空間を再生する多数のスピーカの配置に合わせて最適に再構成する技術開発を目的とし、これにより、人は音の情報だけではなく、音の広がり感、距離感、音源の向きなども時間、空間を超えて伝える臨場感あふれる音空間コミュニケーションの実現をめざしている。

課題名	財 源	研究期間、代表者等	概 要
歩容意図行動モデルに基づいた人物行動解析と心を写す情報環境の構築	JST-CREST, 戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究, 総額予算: 2.7億円/分担5.6千万円,	H22-27年度, 共同研究者 塩入諭教授, 代表: 八木康史 (大阪大学), 参加機関: 大阪大学、近畿大学、警察大学校	共同プロジェクト研究課題「人間の機能を取り込んだ革新的新概念による情報通信システム」(H21-H23年度: 組織間連携)から発展した「歩容意図行動モデルに基づいた人物行動解析と心を写す情報環境の構築」において、行動として歩行を取り上げ、行動と意図の関係を歩容意図行動モデルとして記述し、映像中の歩行パターン(歩容)から「人の意図や心身状態、人間関係」を読み取る技術 を構築。
スピントロニクス集積回路を用いた分散型ITシステム	JST-ImPACT (革新的研究開発推進プログラム) (総額予算: 19億円)	H26-H30年度 (代表: 大野英男教授) 参加者: 羽生貴弘教授、夏井雅典准教授、深見俊輔准教授、望月明准教授、金井駿助教、鈴木大輔助教、鬼沢直哉助教 (以上電気通信研究所)、遠藤哲郎教授、村口正和准教授 (以上工学研究科) 松倉文礼教授 (原子分子材料科学高等研究機構)、池田正二教授 (国際集積エレクトロニクス研究開発センター) 佐藤英夫准教授 (以上省エネルギー・スピントロニクス集積化システムセンター)	革新的なスピントロニクス技術を用いてメモリ及び情報処理までを不揮発・超省電力化し、無充電で長期間使用できる究極のエコIT機器を開発、生活様式を変える革新的省エネ・エコ社会の実現を目指すため、①エナジーハーベスティングで駆動するスピントロニクス集積回路向け材料・素子開発②エナジーハーベスティングで駆動する集積回路向け回路・アーキテクチャ開発③エナジーハーベスティングで駆動する集積回路と300nm集積プロセスの開発 を推進している。本研究の一部は共同プロジェクト研究「半導体スピントロニクス」(H13-H14年度)から発展した。
大自由度を巧みに操り実世界環境下を動き回るロボットの構築	JST-CREST(戦略目標の戦略的創造研究推進事業チーム型研究) (総額予算: 3.3億円)	H26-31年度 (共同研究者: 石黒章夫教授、代表機関: 広島大学、参加機関: 北海道大学、大阪大学)	実世界をしなやかかつタフに動き回るロボットは依然として実現されていない。本プロジェクトは、数学者、生物学者、ロボット工学者そして制御工学者の協働を通して、生物のロコモーションに内在する制御原理を抽出し、これを基にして既存技術では決して達成できないような、タフなロボットの創成を目指している。本プロジェクトの内容は、H24年度・H25年度共同研究プロジェクト(生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御)における議論を通して提案されたものである。
人間的判断の実現に向けた新概念脳型LSI創出事業	文部科学省・平成27年度特別経費(プロジェクト分)～大学の特性を生かした多様な学術研究機能の充実～(27年度予算: 2.1829千万円)	H26-H31年度 (参画者: 羽生貴弘教授、石黒章夫教授、佐藤茂雄教授、鈴木陽一教授、塩入諭教授、坂本修一准教授、松宮一道准教授、夏井雅典准教授、秋間学尚助教、鬼沢直哉助教、鈴木大輔助教、加納剛史助教、大脇大助教)	電腦社会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処理システムの実現には、ハードウェアとソフトウェアが分離した従来型コンピューティングから脱却した全く新しい情報処理構造と、高速かつ高効率な情報処理アルゴリズムの構築が不可欠である。本事業では、ハード・ソフト融合型処理メカニズムに立脚した新しい集積回路システム「新概念脳型LSI」を世界に先駆けて実現することを目的とする。初年度(H26年度)は視覚情報処理の基本構造を確率論的計算構造(ハード・ソフト融合型処理構造の典型例の1つ)で実現できることを実証すると共に、本事業の成果の一部を発展させた研究テーマが、平成28年度科研費・基盤研究Sに採択されるなど、脳型LSI創出事業の一步を着実に踏み出した。
スピントロニクス学術研究基盤と連携ネットワーク拠点の整備、文科省「新たにロードマップとして掲載する10計画」	日本学術会議マスタープラン2014 (H26-H35年度 総額予算50億)	H26-H35年度 代表: 大野英男教授	スピントロニクス学術研究基盤の構築を進め、材料科学および物理学、ストレージ、メモリおよびロジック、量子情報の分野間および研究機関間のネットワークを構築、さらに将来の研究開発を担う人材育成を行う。本学においてはスピントロニクス研究で世界をリードしており、スピントロニクス共同大学院において教育面も強化されていることから「東北大学スピントロニクス連携推進室」が全学組織として設置された。本件は共同プロジェクト研究S「スピントロニクス学術連携」より発展したものである。
脳内身体表現の変容機構の理解と制御	科学研究費助成事業: 新学術領域研究(H26-H30年度 総額予算10.59億円)	H26-H30年度 (共同研究者: 大脇 大助教、石黒章夫教授、代表機関: 東京大学、参加機関: 旭川医科大学、国際電気通信基礎技術研究所、国立精神・神経医療研究センター、東京農工大学、慶応大学、東邦大学、京都大学、大阪大学、電気通信大学、国立情報学研究所、近畿大学、杏林大学、立命館大学、北陸先端科学技術大学院大学)	本領域では、脳内身体表現の神経機構とその長期的変容メカニズムを明らかにし、リハビリテーション介入へと応用することを目的とする。このため、システムの振る舞いを数理モデルとして整合的に記述できるシステム工学を仲立ちとして脳科学とリハビリテーション医学を融合することを試みる。これにより、運動制御と身体認知を統合的に理解し、真に効果的なリハビリテーション法を確立する「身体性システム科学」なる新たな学問領域の創出を目指す。本プロジェクトの内容は、H25年度・H26年度共同研究プロジェクト(身体性に基づく人間の適応的運動機能の理解)における議論を通して提案されたものである。

共同プロジェクト研究

課題名	財 源	研究期間、代表者等	概 要
超絶縁性脂質二分子膜に基づくイオン・電子ナノチャネルの創成	J S T - C R E S T 2億円	平成26-31年度 代表：平野愛弓准教授（医工学研究科） 庭野道夫教授（電気通信研究所） 参加機関 東北大学 山形大学 東京工科大学	安定化脂質二分子膜内にイオンや電子が伝導できるナノスケールチャネルを形成し、それらのナノチャネルの機能を活用した種々の化学・物理センサの構築を目指す。本プロジェクトは平成24-H26年度、共同プロジェクト研究「人工脂質二分子膜の形成とバイオ情報デバイスへの応用」から発展したプロジェクトである。
高SHF帯ビームフォーミングアンテナ用超小型ダイレクトRFサンプリング受信機の研究開発	戦略的情報通信研究開発推進事業（SCOPE）先進的電波有効利用型フェーズⅡ 平成27年度新規課題提案（総額予算 7,800万円）	H27-H28年度 代表：末松憲治教授 亀田卓准教授 本良瑞樹助教	本研究開発は、従来のRFアナログ回路を多用するヘテロダイン方式あるいは、ダイレクトコンバージョン方式とは異なるダイレクトRFサンプリング方式を用いる受信機を提案し、アンダーサンプリング型の適用と、これに適した高SHF帯サンプルホールドCMOS ICを開発することで、複数の異なる信号を所定の位相でビーム合成可能な、ビームフォーミング受信機を開発することを目的とする。これにより、従来のインダクタ、コンデンサなどの高周波回路の受動回路の寸法によらず、CMOSプロセス微細化により、チップ寸法の縮小が可能となるデジタルリッチな受信機が実現できる。これまでの上限周波数は3.5GHzであるものを、高SHF帯である26GHzでの動作を目指す。さらに、ビームフォーミングへの適用もめざす。
Massive Connect IoT 高効率同期無線ネットワークの実験的実証	科学研究費助成事業 基盤研究(B) H28-H30年度（総額予算 1,280万円）	H28-H30年度 代表：亀田卓准教授 末松憲治教授 本良瑞樹助教 富山高等専門学校 小熊教授	情報通信ネットワークはビッグデータ活用の普及とともに“Massive Connect IoT”（膨大な量のバケットがやり取りされるIoT）へと発展する。申請者らはMassive Connect IoT のための高効率同期CDMA 無線通信ネットワークを提案している。本提案方式は準天頂衛星システム（QZSS）や全地球測位システム（GPS）の測位信号によって得られるナノ秒オーダの時刻情報やメートルオーダの位置情報を基に送信タイミング制御を行うことで高効率な上りリンク同期CDMA 通信を実現している。 本研究課題の研究期間内において、QZSS/GPS 測位信号を基に端末がどの程度の時刻精度で送信タイミング制御可能であるか、実環境におけるフィールド試験によって実証することを目指す。
脳型コンピューティング向けダーク・シリコンロジックLSIの基盤技術開発	科学研究費助成事業 基盤研究 (A) H28-32年度（総額予算：3,320万円）	羽生貴弘教授	本研究では、脳内情報処理で本質的に利用されている非同期式制御に着目し、それにダークシリコン的アプローチを適用する。これにより、パワーゲーティング機能に適する非同期式回路構造とその動作原理を構築し、実用的脳型コンピューティング実現への可能性を開く。
脳型コンピューティング向けダーク・シリコンロジックLSIの基盤技術開発	文部科学省 科学研究費助成事業 基盤研究 (S) H28-32年度（総額予算：12,710万円）	羽生貴弘教授	本研究では、脳内情報処理で本質的に利用されている非同期式制御回路に、不揮発性素子を用いることで極細粒度パワーゲーティングを適用したダークシリコンロジックLSIの基盤技術を構築する。その技術を脳型アプリケーションに応用することで、脳型コンピューティング実現への可能性を開く。
オペランド顕微分光を用いた次世代デバイス研究	文部科学省 科学研究費助成事業 新学術領域研究400万円（H28-29年度）	吹留博一准教授	本研究は、本共同研究プロジェクト研究成果（グラフェン成長及びデバイスの精密制御）から発展させた、グラフェン・デバイスの電子状態を高時間分解能（<100ps）高空間分解能（<100nm）で動作条件下で観察するというオペランド分光を用いた研究を含む科研費・新学術領域研究の公募研究として採択されたものである。
生物ロコモーションの本質理解から切り拓く大自由度ロボットの革新的自律分散制御技術	国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 次世代人工知能・ロボット中核技術開発	H27-28年度 代表：石黒章夫教授、加納剛史助教、大脇大助教	本プロジェクトは、一次元ひも状の単純な身体構造にもかかわらず、状況変化に呼応してたような振る舞いを発現することで優れた環境適応性を示すヘビをモデル生物として採り上げる。そして、自律分散制御をベースとすることで、非構造的かつ予測不能的に変動する実世界環境下においても、優れた実時間適応性と耐故障性、拡張性、操縦性を一気にすべて実現する、次世代ロボットのためのロコモーション制御の基盤技術の創成を目指す。 本プロジェクトの内容は、H24年度・H25年度共同研究プロジェクト（生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御）、ならびにH26年度共同研究プロジェクト（コトメディクス学創成：バイオミメティクスの新展開）における議論を通して提案されたものである。

課題名	財 源	研究期間、代表者等	概 要
幻肢錯覚とフラッシュラグ効果を用いた幻肢の脳内表現の推定とその応用	科学研究費助成事業 挑戦的萌芽研究 (H28-30年度) 260万円	H28-H30年度 代表：塩入諭教授 大内田裕助教（東北大学 医学系研究科） 松宮一道准教授（東北大学 電気通信研究所）	H24/B11 人間の知覚認識系および意志決定系の理解に関する研究（H24-H26） における議論にもとづき、幻肢患者の脳内の表現を解明するために立ち上げたプロジェクトである。 幻肢患者とは、切断に伴う存在しない手足の感覚（幻肢）を持つ患者のことであり、幻肢に関する脳内の表象過程を解明することは、 幻肢痛の軽減などへの貢献が期待される。本研究では、そのために身体位置に自動的に向けられる注意（身体随伴性注意）を利用した身体感覚計測手法を確立する。
ウェーハ状大面積グラフェンを活用したテラヘルツ帯デバイスの実用化	NEDO・革新的ナノカーボン材料先導研究開発 (26-28年度予算 2.34億円)	H26-H28年度 (代表：中林隆志(住友電工横浜研究所部長) 参加者：末光教授、吹留准教授、長澤客員教授（以上電気通信研究所）、尾嶋正治教授（東京大学）、渡邊一世主任研究員（情報通信研究機構）、館野泰範(住友電工主席)	モバイル情報機器及びインターネット利用の爆発的増大に伴い、企業や個人が扱う情報量が爆発的に増大している。これに伴う情報伝送速度の高速化を実現するテラヘルツ帯（600GHz帯）大容量無線通信を実現するグラフェントランジスタ（Graphene Field Effect Transistor; GFET）を開発する。 本研究は共同プロジェクト研究「次世代デバイス応用を企図したグラフェン形成の機構解明及び制御の研究」（H21-H23）および「グラフェンの精密な界面制御とナノデバイス応用」（H24-H26年度）から発展した。

第6 国際活動

1. 電気通信研究所国際シンポジウム

1 高温超伝導単結晶の固有ジョセフソン効果と THz 帯プラズマ振動	平成 9 年 2 月 23-25 日
2 脳の情報原理に基づくブレインアーキテクチャの設計・制作	平成 10 年 3 月 16-18 日
3 ミリ波革新技術とその応用	平成 10 年 12 月 14-16 日
4 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際合同会議	平成 11 年 9 月 13-17 日
5 フォトニック結晶構造国際会議	平成 12 年 3 月 8-10 日
6 半導体スピン物性の基礎と応用	平成 12 年 9 月 13-15 日
7 証明と計算における書き換え技法	平成 13 年 10 月 25-27 日
8 非線形理論とその応用	平成 13 年 10 月 28 日・11 月 1 日
9 ニューパラダイム VLSI コンピューティング	平成 14 年 12 月 12-14 日
10 超高密度スピニックスストレージシステム	平成 15 年 10 月 23-24 日
11 第 3 回 SiGeC 国際ワークショップ	平成 16 年 10 月 12-13 日
12 第 3 回高周波マイクロデバイス・材料国際ワークショップ	平成 17 年 4 月 11-12 日
13 第 4 回 Si エピタキシーとヘテロ構造に関する国際会議 (ICSI-4)	平成 17 年 5 月 23-26 日
14 第 1 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	平成 17 年 5 月 27-28 日
15 東北大学情報科学研究科国際シンポジウム 新時代の情報科学：脳、心および社会	平成 17 年 9 月 26-27 日
16 第 1 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 18 年 2 月 8-9 日
17 第 4 回高周波マイクロ磁気デバイス・材料国際ワークショップ	平成 18 年 5 月 8 日
18 第 4 回半導体におけるスピン関連現象の物理と応用に関する国際会議	平成 18 年 8 月 15-18 日
19 第 2 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	平成 18 年 10 月 2-3 日
20 第 2 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 2 月 15-16 日
21 日中音響学会議 2007	平成 19 年 6 月 4-6 日
22 アルゴリズム論的学習理論および発見科学に関する合同国際会議	平成 19 年 10 月 1-4 日
23 第 3 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 10 月 31 日・11 月 1 日
24 第 3 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	平成 19 年 11 月 8-9 日
25 第 1 回ナノ構造&ナノエレクトロニクス国際ワークショップ	平成 19 年 11 月 21-22 日
26 第 18 回アルゴリズムと計算に関する国際会議	平成 19 年 12 月 17-19 日
27 気相-液相プラズマに関する学際的国際シンポジウム	平成 20 年 9 月 5-6 日
28 第 4 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	平成 20 年 9 月 25-27 日
29 第 4 回スピントロニクス国際ワークショップ	平成 20 年 10 月 9-10 日
30 ミリ波シンポジウム	平成 21 年 4 月 20-22 日
31 マルチモーダル知覚に関する通研ミニワークショップ	平成 21 年 4 月 24-25 日
32 第 4 回超高速フォトニックテクノロジーに関する国際シンポジウム	平成 21 年 8 月 4-5 日
33 第 20 回パーソナル、室内、移動体無線通信シンポジウム	平成 21 年 9 月 13-16 日
34 第2回RIEC-CNSIナノエレクトロニクス・スピントロニクス・フォトニクスに関する国際ワークショップ(第5回スピントロニクス国際ワークショップ)	平成 21 年 10 月 22-23 日
35 空間音響の原理と応用に関する国際シンポジウム	平成 21 年 11 月 11-13 日
36 第 5 回新IV族半導体ナノエレクトロニクスワークショップ	平成 22 年 1 月 29-30 日
37 第 6 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 22 年 2 月 5-6 日
38 第 2 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	平成 22 年 3 月 11-12 日
39 グラフェンのデバイス応用に関する通研国際シンポジウム	平成 22 年 10 月 27-29 日
40 第 9 回日韓表面ナノ構造シンポジウム	平成 22 年 11 月 15-16 日
41 第 7 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 23 年 2 月 3-4 日
42 第 12 回国際多感覚研究フォーラム	平成 23 年 10 月 17-20 日
43 第 8 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 24 年 2 月 2-3 日
44 第 6 回国際シンポジウム メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス	平成 24 年 3 月 8 日
45 第 3 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	平成 24 年 3 月 21-22 日
46 第 9 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 24 年 5 月 31 日・6 月 2 日
47 第 1 回スマートテクノロジー国際ワークショップ	平成 24 年 10 月 18-19 日
48 TU Dresden and Tohoku University Symposium 2012	平成 24 年 11 月 2 日
49 第 1 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成 24 年 11 月 15-16 日
50 東北大学-ハーバード大学ジョイントワークショップ	平成 25 年 1 月 15-16 日
51 第 11 回 RIEC スピントロニクス国際ワークショップ	平成 25 年 1 月 31 日・2 月 1 日
52 メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクス第 7 回国際シンポジウム	平成 25 年 3 月 7 日
53 第 6 回ミリ波シンポジウム	平成 25 年 4 月 22-23 日
54 第 2 回脳機能と脳型計算機に関する通研国際シンポジウム	平成 26 年 2 月 21-22 日
55 メディカル・バイオ・エレクトロニクス第 8 回国際シンポジウム	平成 26 年 3 月 6-7 日
56 第 5 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	平成 26 年 3 月 6-7 日

57 第12回RIECスピントロニクス国際ワークショップ	平成26年6月25-27日
58 電子レンジマグネティック2014に関するIEEE国際会議	平成26年6月29日・7月2日
59 RIEC国際シンポジウム 知覚とコミュニケーション	平成26年7月24日
60 2014アジア太平洋マイクロ波会議	平成26年11月4-7日
61 脳機能と脳コンピュータに関する第3回RIEC国際シンポジウム	平成27年2月18-19日
62 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成27年3月2-3日
63 第9回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム	平成27年3月2-4日
64 第6回ナノ構造とエレクトロニクスに関する国際ワークショップ	平成27年3月2-4日
65 RIEC国際シンポジウム ビジョンと認知	平成27年3月20日
66 国際色覚学会 第23回シンポジウム	平成27年7月3-7日
67 コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開	平成27年9月26-27日
68 第13回RIECスピントロニクス国際ワークショップ	平成27年11月18-20日
69 脳機能と脳コンピュータに関する第4回RIEC国際シンポジウム	平成28年2月23-24日
70 ブレインウェアLSIに関する国際シンポジウム	平成28年2月26-27日
71 第10回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム	平成28年3月1-3日
72 第7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	平成28年3月1-3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. Acoustical Science and Technology
2. Acta Acustica Sinica
3. Applied Acoustics
4. Applied Intelligence
5. Frontiers in Virtual Environments (a section of Frontiers in Robotics and AI)
6. IEEE Magnetism Letter
7. IEICE Electronics Express
8. IEICE Trans. Commun.
9. Interdisciplinary Information Sciences
10. International Journal of Energy, Information and Communication
11. Japanese Journal of Applied Physics
12. Journal of Magnetism, Korean Magnetism Society
13. Journal of SPIN
14. Nature Communications
15. Nature Scientific Reports
16. Neural Networks
17. Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE
18. NPG Asia Materials
19. Optical Fiber Technology
20. Optical Review
21. Scientific Reports
22. The Journal of Computer Animation and Virtual Worlds
(John Wiley & Sons, Inc.)

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. 13th RIEC International Workshop on Spintronics
2. 17th International Multisensory Research Forum (IMRF2016)
3. 1st International Conference on Enterprise Architecture and information Systems (E AIS2016)
4. 2015 IEEE International Symposium on Radio-Frequency integration Technology (RFIT2015)
5. 21st International Conference on Electronic Properties of Two-Dimensional Systems (EP2DS) and the 17th International Conference on Modulated Semiconductor Structures (MSS)
6. 40th International Conference on Infrared, Millimeter and THz Waves (IRMMW-THz 2015)
7. ACM SIGCHI
8. ACM SIGGRAPH
9. ACM SIGGRAPH Asia 2015:
The 8th SIGGRAPH Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques in Asia 2015
10. ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)
11. Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)
12. Asia-Pacific Workshop on Fundamentals and Applications of Advanced Semiconductor Devices (AWAD)
13. EGVE: Eurographics Workshop on Virtual Environment (EGVE)
14. European Conference on Optical Communication (ECOC)
15. European Solid-State Device Research Conference (ESSDERC)
16. Hiding and Multimedia Signal Processing (IIH-MSP2015)
17. IEEE International Conference on Web Intelligence (WI)
18. IEEE International Symposium on Asynchronous Circuits and Systems
19. IEEE International Symposium on Multiple-Valued Logic
20. IEEE NEMS 2016
21. International Advisory Committee, 8th International School and Conference on Spintronics and Quantum Information Technology (SPINTECH-8)
22. International Conference Industrial & Engineering Applications of Artificial intelligence & Expert Systems (IEA/AIE)
23. International Conference on Artificial Reality and Tele-existence (ICAT)
24. International Conference on Electron Dynamics in Semiconductors, Optoelectronics and Nanostructures (EDISON)
25. International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM)
26. International Conference on Recent Progress in Graphene Research (RPGR)
27. International Conferences on Modern Materials & Technologies (CIMTEC)
28. International Federation for Information Processing (IFIP) Human-Computer Interaction (TC-13)
29. International Symposium on Advanced and Applied Convergence
30. International Symposium on Compound Semiconductors (ISCS)
31. International Symposium on Frontiers in THz Technology (FIT)
32. International Workshop: Spintronics VLSI

33. Optical Fiber Communication Conference (OFC)
34. Opto-Electronics and Communications Conference (OECC)
35. Russia-Japan-USA-Europe Symposium on Fundamental & Applied Problems of Terahertz Devices & Technologies (RJUSE)
36. SPIE International Conference on Defense, Commercial, and Sensing
37. Technical Committee of Multiple-Valued Logic, IEEE Computer Society
38. The 11th Asia-Pacific Conference on Vision (APCV 2015)
39. The 11th International Conference on Intelligent Information
40. The 23rd Symposium of the International Colour Vision Society (ICVS 2015)
41. The 25th IEEE International Semiconductor Laser Conference (ISLC) 2016
42. The 28th International Conference on Indium Phosphide and Related Materials (IPRM) 2016
43. The Fourth Asian Conference on Informatino Systems (ACIS2015)
44. The magnetic Recoeding Conference 2017
45. Topical Workshop on Heterostructure Microelectronics (TWHM)
46. VLSI Circuits Symposium
47. York-Tohoku-Kaiserslautern Research Symposium on “New Concept Spintronics Devices”

4. 国際学会における招待講演数

区分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
招待講演数	79	100	89	106	69

5. 国際共同研究の実施状況

	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
実施状況 (件数)	31	39	46	52	59

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
ロシア	Tomsk State University	「超低圧 CVD による Si 上 SiC 成長の理論的研究」「多層エピ成長による結晶配向転換を用いた CMOS プロセスの革新」	2015. 6. 17～ 8. 15	末光研
米国	Bruker Surfaces Business	新型 SNDM(走査型非線形誘電率顕微鏡)の開発	2014～現在	長研
イギリス	ヨーク大学	新概念スピントロニクス素子	2015. 4～ 現在	白井研
ドイツ	カイザースラウテルン工科大学	新概念スピントロニクス素子	2015. 4～ 現在	白井研
米国	MIT	モード同期パルス光源・量子暗号伝送	2011～現在	中沢研
ロシア	St. Petersburg Electrotechnical University	ハイブリッドセミコンダクタ回路技術とその応用	2015. 4～ 2016. 3	末松研
ザンビア	Zambia University	ダイレクトディジタル RF 変復調技術の研究	2015. 4～ 2016. 3	末松研
米国	ニューヨーク州立大学バッファロー校 レンセラー工科大学 ライス大学	テラヘルツ・ナノエレクトロニクス材料科学に関する日米共同教育研究事業	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
米国	MIT	化合物半導体極限高性能トランジスタ技術およびグラフェントランジスタに関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
米国	レンセラー工科大学	テラヘルツプラズモニックテラヘルツデバイスに関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
フランス	CNRS-Montpellier Univ. Univ. Savoir IEMN	テラヘルツ帯プラズモニック・ナノ ICT デバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
フランス	IEMN-Lille (フランス国立マイクロエレクトロニクス・ナノテクノロジー研究所)	テラヘルツ帯プラズモニック・ナノ I C T デバイスを利用した無線通信技術に関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
ロシア	ロシア科学アカデミーコテルニコフ無線電子技術研究所	周期的グラフェンナノ構造におけるテラヘルツ・プラズモニック超放射に関する共同研究 (日本学術振興会二国間交流事業)	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
ロシア	バウマンモスクワ州立工科大学	テラヘルツフォトンクスに関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
ロシア	ロシア科学アカデミーモスクワ物理工学研究所	グラフェンテラヘルツプラズモニックデバイスに関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
ロシア	ロシア科学アカデミーマイクロ構造物理学研究所	グラフェンを中心とする二次元ヘテロ構造デバイスのテラヘルツレーザー応用に関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
スペイン	サラマンカ大学	半導体プラズモニックナノ構造におけるテラヘルツ放射・検出技術に関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
ドイツ	レーゲンスブルク大学	テラヘルツプラズモニックテラヘルツデバイスに関する共同研究	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	尾辻研
ドイツ	Ordenburg University	音声聴取能力高精度測定手法に関する研究	2014. 8～ 現在	鈴木研
中国	中国科学院	JSPS (日中韓フォーサイト) 「次世代ネットワークにおける超臨場感音響相互通信の実現」	2011. 8～ 2016. 7	鈴木研
韓国	ソウル大学	JSPS (日中韓フォーサイト) 「次世代ネットワークにおける超臨場感音響相互通信の実現」	2011. 8～ 2016. 7	鈴木研
フランス	パリ第5大学	Investigation of spatiotemporal dynamics of visual attention using steady state visual evoked potential	2011～現在	塩入研
米国	オハイオ州立大学	Color naming of Japanese	2011～現在	塩入研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
台湾	国立交通大学	Color naming of Chinese	2012～現在	塩入研
米国	カリフォルニア大学バークレー校	Continuity Field and Self Motion	2015～現在	塩入研
米国	ミネソタ大学	Orientation representation of moving object	2010～現在	塩入研
カナダ	University of Calgary	Human -robot interaction	2012～現在	北村研
シンガポール	National University of Singapore	3D user interface for medical application	2014～現在	北村研
シンガポール	シンガポール国立大学	デザイン学の手法に基づく 3 次元インタラクティブ技術の医学教育への応用展開 (日本学術振興会二国間交流事業)	2014～現在	北村研
スウェーデン	Chalmers University of Technology	Multi-device interaction	2015～現在	北村研
ドイツ	高性能マイクロエレクトロニクスセンター (IHP)、ベルリン工科大学	原子層ドーピング	1995. 10～現在	佐藤研
ポーランド	ポーランド科学アカデミー	強磁性半導体の電界制御、半導体量子細線における電子伝導	1999. 1～現在	大野研
イギリス	ヨーク大学	顕微カー回転による半導体へのスピン注入の光イメージング	1999. 1～現在	大野研
スイス	IBM 研究所	半導体量子井戸構造におけるスピン軌道相互作用に関する研究	1999. 1～現在	大野研
米国	コロンビア大学	強磁性半導体のミューオン・スピン緩和測定	1999. 1～現在	大野研
オーストラリア	シドニー大学	磁性半導体の原子プローブ解析	1999. 1～現在	大野研

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
ドイツ	レーゲンスブルク大学	低次元強磁性半導体素子の輸送特性	1999. 1～ 現在	大野研
フランス	仏国立科学研究センター	垂直異方性を持つ強磁性薄膜の電界効果	1999. 1～ 現在	大野研
米国	フロリダ州立大学	高感度微細ホールセンサ	1999. 1～ 現在	大野研
フランス	パリ南大学	トンネル磁気抵抗素子におけるサブナノ秒での磁化反転ダイナミクスに関する研究	1999. 1～ 現在	大野研
米国	カリフォルニア大学デービス校	CoFeB/MgO 電界効果素子の硬 X 線光電子分光	1999. 1～ 現在	大野研
ドイツ	ヨハネス・グーテンベルグ大学	トンネル磁気抵抗素子の硬 X 線光電子分光による構造解析	1999. 1～ 現在	大野研
スウェーデン	グーテンベルグ大学	CoFeB/MgO 積層構造における発振現象の解析	1999. 1～ 現在	大野研
インド	インド工科大学	高感度微細ホールセンサを用いた微細磁性体の基礎物性評価	1999. 1～ 現在	大野研
シンガポール	南洋理工大学	CoFeB/MgO 積層構造の強磁性共鳴現象に関する研究	1999. 1～ 現在	大野研
フランス	パリ南大学	ボルツマンの輸送方程式を用いた強磁性積層構造における電気伝導の数値解析	1999. 1～ 現在	大野研
イギリス	ヨーク大学	CoFeB-MgO 磁気トンネル接合の高分解能電子顕微鏡観察と第一原理計算	2015. 4. 1～ 2016. 3. 31	大野研
イギリス	ヨーク大学	Ta/CoFeB/MgO 積層構造の構造解析、及び磁壁クリープ特性との関係の考察	2015. 6. 1～ 2016. 3. 31	大野研
イギリス	ケンブリッジ大学	CoFeB/MgO 積層構造の磁気共鳴に関する研究	2016. 1. 4～ 2016. 3. 31	大野研
米国	マサチューセッツ工科大学	強磁性細線における電流誘起磁壁移動と界面ジャロシンスキー守谷相互作用に関する研究	2016. 1. 22～ 2016. 3. 31	大野研

国際活動

相手国	研究機関名	研究課題名	期 間	研究室
台湾	中山大学	磁性半導体における磁氣的結合とスピン輸送機構に関する研究	2016. 1. 4～ 2016. 3. 31	大野研
イギリス	ノッティンガム大学	反強磁性体の磁気特性の電氣的操作と検出	2016. 3. 28～ 2016. 3. 31	大野研
イギリス	ヨーク大学	CoFeB-MgO 界面の界面磁気異方性の温度依存性	2011. 6～ 2016. 3	大野研
スウェーデン	ヨーテボリ大学	CoFeB-MgO 磁気トンネル接合の高速スイッチング特性	2015. 11～ 2016. 3	大野研
カナダ	McGill 大学	Stochastic computation for Brainware LSI	2011. 4～ 現在	羽生研
フランス	Southern Brittany 大学	Neural network based low-power computing	2014. 11～ 現在	羽生研
カナダ	Toronto 大学	Power management for low-powerLSI	2014. 4～ 現在	羽生研
カナダ	Waterloo 大学	Stochastic iterative decoding	2006. 4～ 現在	羽生研
フランス	Telecom Bretagne	Flexible associative memory	2015. 4～ 現在	羽生研
米国	カリフォルニア大	広域分散ストレージシステムの耐災害性の評価検証	2015. 4～ 2016. 3	IT ストレージ

7. 外国人研究者の招へい状況

区分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
文部科学省事業	0	7	9	4	8
日本学術振興会事業	39	16	8	6	15
当該法人による事業	11	37	39	51	75
その他	3	19	56	37	65
計	53	79	112	98	163
地域別内訳					
①アジア	20	29	35	23	32
②北米	15	25	18	19	50
③中南米	0	0	0	1	0
④ヨーロッパ	15	23	51	52	76
⑤オセアニア	2	1	7	1	0
⑥中東	1	1	0	1	5
⑦アフリカ	0	0	1	1	0
計	53	79	112	98	163
滞在期間別内訳					
1 月以上滞在	5	1	17	21	15
1 週間以上 1 月未満	23	23	18	15	14
1 週間未満	25	55	77	62	134
計	53	79	112	98	163

8. 研究者の海外派遣状況

区分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
文部科学省事業	11	1	2	22	30
日本学術振興会事業	131	150	49	120	93
当該法人による事業	40	17	21	38	52
その他	93	192	166	89	59
計	275	360	238	269	234
地域別内訳					
①アジア	84	84	36	30	45
②北米	99	133	89	115	92
③中南米	2	0	2	3	5
④ヨーロッパ	85	132	104	114	89
⑤オセアニア	3	5	2	4	3
⑥中東	2	6	4	1	0
⑦アフリカ	0	0	1	2	0
計	275	360	238	269	234

9. 国際学術交流協定一覧

1. 部局間協定

代表者	協 定 校		協定締結 年 月 日	研究課題/目標	協定の主な内容					更 新 状 況
	国名	研究機関名			学 生 の 交 流	刊 行 物 の 交 換	研 究 指 導	共 同 研 究 の 実 施	教 官 等 の 交 流	
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 沢田康次	アメリカ	シカゴ大学 ジェームス・フランク 研究所	1987.4.27	カオスと乱流		○		○	○	失 効
教授 曾根敏夫	タイ	チュラロンコン大学 理学部	1987.4.28	都市騒音の実態と住民 への影響に関する計測 と評価の国際比較によ る研究		○		○	○	失 効
教授 白鳥則郎	中国	ハルビン工業大学 計算機科学工程系	1987.6.15	計算機ネットワーク構 築に関する研究		○		○	○	失 効
教授 水野皓司	イギリス	ロンドン大学 クイーンメアリー・ウ ェストフィールドカ レッジ	1990.4.3	サブミリメートル波の 測定に関する研究		○		○	○	失 効
教授 白鳥則郎	中国	深圳大学科研処	1987.6.15	計算機ネットワーク構 築に関する研究		○		○	○	失 効
教授 白鳥則郎	韓国	成均館大学 情報通信技術研究所	1995.9.13	ユーザインタフェース とエージェントの知的 化		○		○	○	失 効
教授 山下 努	オランダ	トウェンテ大学 応用物理学部 材料科学研究所	1998.1.27	超伝導材料と電子素子 に関する研究	○	○		○	○	失 効
教授 山下 努	ロシア	ロシア科学アカデミ ー通信電子工学研究 所	1998.2.23	超伝電子通信デバイス の研究	○	○		○	○	失 効
教授 山下 努	中国	南京大学 電子科学技術系	1998.4.16	超伝導ミリ波・サブミ リ波デバイスの研究	○	○		○	○	失 効
教授 中島康治	韓国	大邱大学校 情報通信工学部	1998.11.6	ニューラルネットワー クと知的情報処理に関 する研究	○	○		○	○	失 効
教授 室田淳一	ドイツ	アイエイチピー (IHP)	2000.1.22	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	2005.10.24	半導体表面・界面制御 結晶成長の基礎と応用 の研究		○		○	○	継 続

国際活動

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 の基礎と応用の研究		○		○	○	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 室田淳一	スペイン	ビゴ大学	2011.2.25	電気通信研究所附属ナ ノ・スピン実験施設を ナノエレクトロニクス 国際共同拠点としてい く	○	○		○	○	継続
教授 室田淳一	アメリカ	ニューヨーク州立大 学	2011.9.30	電気通信研究所付属ナ ノ・スピン実験施設を ナノエレクトロニクス 国際共同拠点としてい く	○	○				継続
教授 大野英男	台湾	国立中山大学物理系	2013.5.8	共同研究を促進し、学 生・教職員の交流を活 発に行う		○		○	○	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 中沢正隆	アメリカ	マサチューセッツ工 科大学電子工学研究 所およびマイクロシ ステム技術研究所	2015.1.9	・フォトニクス分野か ら ICT、メカニクス、 マテリアル、メディカ ルエレクトロニクスに 至る工学、理学、医工 学分野における、本学・ MIT の複数の部局にま たがる国際共同研究の 推進 ・大学院生および若手 研究者を中心とした相 互訪問による人的交流 の活性化	○	○		○	○	継続

2. 大学間協定

代 表 者	国 名	協 定 校	協定締結 年 月 日	目 標	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	
教授 大野英男	アメリカ	カリフォルニア大学 サンタバーバラ校	1990.3.15	ナノエレクトロニクス・スピントロニクス分野および先端材料分野において国際共同研究を推進する	○	○				継 続
教授 村岡裕明	イギリス	ヨーク大学	2004.6.7	文化、教育及び科学技術上の交流の促進	○	○	○			継 続
教授 伊藤弘昌	ドイツ	ドレスデン工科大学	2006.6.26	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を活発に行う	○	○				継 続
教授 室田淳一	ドイツ	ベルリン工科大学	2009.8.26	共同研究を促進し、学生・教職員の交流を積極的に行う	○	○	○			継 続
教授 白鳥則郎 鈴木陽一	台湾	国立清華大学	2009.12.2	毎年数名の教員・学生の相互訪問により、共同研究を促進する	○	○				継 続
教授 大野英男	アメリカ	ハーバード大学	2010.7.22	共同研究を推進し、教職員の交流を積極的に行う	○	○				継 続
教授 大野英男	ドイツ	カイザースラウテルン工科大学	2012.2.1	・磁気工学・スピントロニクス分野において国際共同研究を推進する ・サマースクール等の開催により学生・若手研究者の交流を活発にする	○	○				継 続
教授 大野英男	ドイツ	ヨハネスグーテンベルグ大学	2012.2.6	・磁気工学・スピントロニクス分野において国際共同研究を推進する ・サマースクール等の開催により学生・若手研究者の交流を活発にする	○	○				継 続

第7 社会貢献

1. 東北大学電気・情報東京フォーラム、仙台フォーラム参加者数

年度	23 年度 東京	24 年度 仙台	25 年度 東京	26 年度 仙台	27 年度 東京
技術セミナー	255	—	186	—	237
講演会	267	203	246	171	247
＜外部＞	182	118	134	120	128
＜内部＞	85	85	112	51	119
来場者数	342	203	269	171	251

2. 通研一般公開参加者数

参加者数	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
	1,976	812	1,975	803	2,687

※ 23・25・27 年度は片平まつりと同時開催

3. 学会名誉会員及びフェローの状況

区 分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
国際学会 フェロー	6	7	8	8	9
国内学会 フェロー	8	8	9	11	9
計	14	15	17	19	18

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	中 沢 正 隆
IEEE	村 岡 裕 明
IEEE	加 藤 修 三
IEEE	尾 辻 泰 一
OSA	中 沢 正 隆
米国物理学会	大 野 英 男
米国音響学会	鈴 木 陽 一
英国物理学会評議会	大 野 英 男
韓国音響学会	鈴 木 陽 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	中 沢 正 隆
電子情報通信学会	鈴 木 陽 一
応用物理学会	大 野 英 男
応用物理学会	庭 野 道 夫
応用物理学会	中 沢 正 隆
日本ソフトウェア学会	大 堀 淳
日本バーチャルリアリティ学会	鈴 木 陽 一
日本バーチャルリアリティ学会	北 村 喜 文
ソフトウェア科学会	外 山 芳 人

5. 学会役員の状況

区 分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
国際学会役員	4	5	4	4	3
国内学会役員	12	13	10	13	10
計	16	18	14	17	13

※会長、理事、評議員等

6. 学会役員一覧

国際学会 (2015)

学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
IEEE Photonics Society	Board of Governors	2013～2015	中沢 正隆
IEEE Magnetism Society	Fellow Evaluation Committee	2014～2016	村岡 裕明
IEEE CS-MVL	TC Chair	2014～現在	羽生 貴弘

国内学会 (2015)

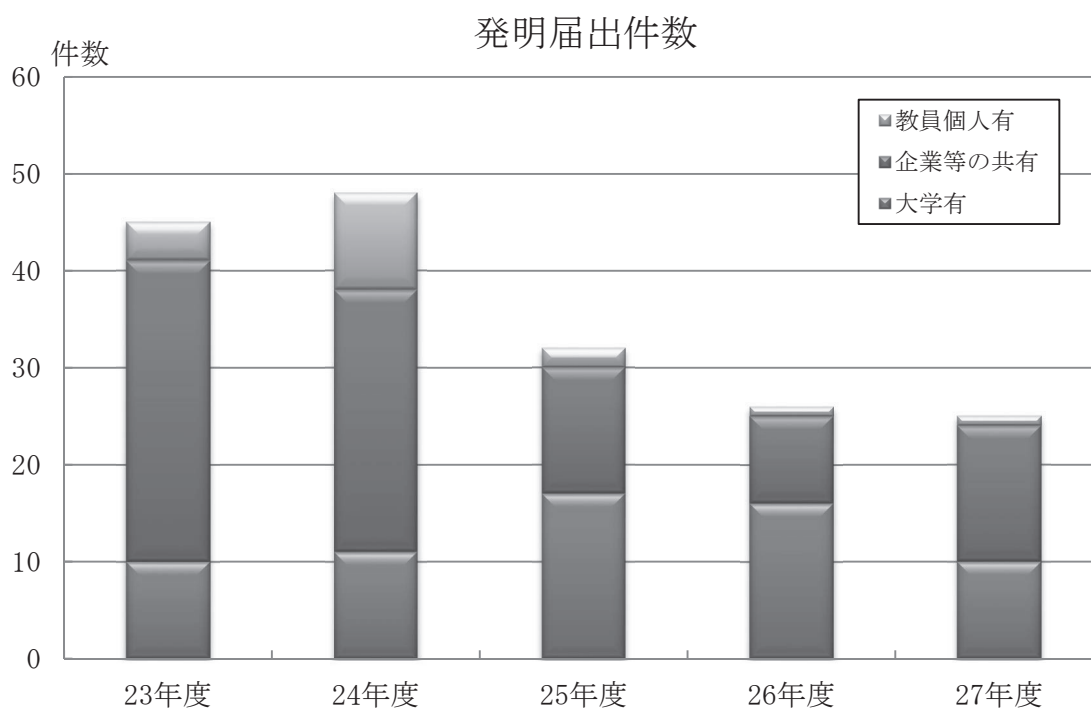
学 会 名	役 職 名	任 期	氏 名
超臨場感コミュニケーション 産学官フォーラム	会長	2012 年～現在	鈴木 陽一
日本神経回路学会	理事	2012～2016	庭野 道夫
日本神経回路学会	理事	2013～現在	佐藤 茂雄
日本音響学会	理事	2014 年～現在	坂本 修一
日本バーチャルリアリティ学会	理事	2014 年～現在	鈴木 陽一
日本バーチャルリアリティ学会	評議員	2012～2016	北村 喜文
ヒューマンインタフェース学会	評議員	2007 年～現在	北村 喜文
日本ソフトウェア科学会	評議員	2004～現在	大堀 淳
日本磁気学会	顧問	2013～現在	村岡 裕明
電気学会	基礎・材料・共通部門役員	2007 年～現在	石山 和志

7. 各省庁、地方自治体、公益法人、学協会等への貢献

区 分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
文部科学省関連	30	21	33	21	26
他省庁	13	14	19	15	17
地方公共団体	6	3	1	3	1
財団、学会	20	17	22	16	18
その他	47	57	66	64	38
計	116	112	141	119	100

第8 産学連携

1. 発明届出件数、特許出願数、特許登録数



区 分	23 年度	24 年度	25 年度	26 年度	27 年度
発明届出件数	45	48	32	27	27
教員個人有	4	10	2	1	1
企業等の共有	31	27	13	9	14
大学有	10	11	17	16	10
国内出願数	56	46	33	25	24
国内登録数	14	18	22	21	29
外国出願数 (含む PCT 出願数)	20	9	15	4	7
外国登録数 (含む PCT 登録数)	9	13	7	7	13

※ 平成 26 年度：1 件、平成 27 年度：2 件帰属審査中

2. 電気通信研究所における技術的相談、指導件数

区 分	23年度	24年度	25年度	26年度	27年度
技術的相談、指導	16	20	58	94	54

第9 広報状況と情報公開

開催行事

1. 国際色覚学会 第23回シンポジウム The 23rd Symposium of the International Colour Vision Society (ICVS 2015) 2015年7月3日(金)～7月7日(火)
2. コンピュータグラフィックスとインタラクティブ技術の新展開 RIEC International Symposium on Computer Graphics and Interactive Techniques: New Horizon 2015年9月26日(土)～9月27日(日)
3. 第13回RIECスピントロニクス国際ワークショップ 13th RIEC International Workshop on Spintronics 2015年11月18日(水)～11月20日(金)
4. 脳機能と脳コンピュータに関する第4回RIEC国際シンポジウム The 4th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer 2016年2月23日(火)～2月24日(水)
5. ブレインウェア LSI に関する国際シンポジウム International Symposium on Brainware LSI 2016年2月26日(金)～2月27日(土)
6. 第10回メディカル・バイオ・ナノエレクトロニクスに関する国際シンポジウム The 10th International Symposium on Medical, Bio- and Nano- Electronics 2016年3月1日(火)～3月3日(木)
7. 第7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 7th International Workshop on Nanostructures and Nanoelectronics 2016年3月1日(火)～3月3日(木)
8. 電気通信研究所工学会 随時
9. 電気通信研究所産学官フォーラム 2015年11月25日(水)
10. 電気通信研究所共同プロジェクト研究発表会 2016年2月25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・英文）	年1回発行
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）	年3回発行
6. RIEC Newsletter	年1回発行

その他

1. 電気通信研究所ホームページ	公開中
2. 電気通信研究所総覧 Web 公開	公開中
3. 電気通信研究所教授会議事録 Web 公開	公開中

職員

職員（平成 27 年 5 月 1 日）

所長（併）／教授	Director, Professor	大 野 英 男	Hideo Ohno
----------	---------------------	---------	------------

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	Professor	上 原 洋 一	Yoichi Uehara
教 授（兼）	Professor*	藤 掛 英 夫	Hideo Fujikake
准教授	Associate Professor	片 野 諭	Satoshi Katano
准教授（兼）	Associate Professor*	石 鍋 隆 宏	Takahiro Ishinabe

■ 量子光情報工学研究室 Quantum-Optical Information Technology

教 授	Professor	枝 松 圭 一	Keiichi Edamatsu
教 授（兼）	Professor*	中 尾 光 之	Mitsuyuki Nakao
准教授	Associate Professor	三 森 康 義	Yasuyoshi Mitsumori
准教授	Associate Professor	Mark Paul Sadgrove	Mark Paul Sadgrove
准教授（兼）	Associate Professor*	片 山 統 裕	Norihiro Katayama
研究員	Research Fellow	藪 野 正 裕	Masahiro Yabuno

■ 固体電子工学研究室 Solid State Electronics

教 授	Professor	末 光 眞 希	Maki Suemitsu
客員教授	Visiting Professor	長 澤 弘 幸	Hiroyuki Nagasawa
教 授（兼）	Professor*	鷲 尾 勝 由	Katsuyoshi Washio
准教授	Associate Professor	吹 留 博 一	Hirokazu Fukidome
准教授（兼）	Associate Professor*	小 谷 光 司	Koji Kotani
研究員	Research Fellow	Sai Jiao	Sai Jiao

■ 誘電ナノデバイス研究室 Dielectric Nano-Devices

教 授	Professor	長 康 雄	Yasuo Cho
教 授（兼）	Professor*	梅 村 晋一郎	Shinichiro Umemura
教 授（兼）	Professor*	小 玉 哲 也	Tetsuya Kodama
准教授（兼）	Associate Professor*	吉 澤 晋	Shin Yoshizawa
助 教	Assistant Professor	平 永 良 臣	Yoshiomi Hiranaga
助 教	Assistant Professor	山 末 耕 平	Kohei Yamasue

■ プラズマ電子工学研究室 Plasma Electronics

教 授（兼）	Professor*	安 藤 晃	Akira Ando
准教授（兼）	Associate Professor*	飯 塚 哲	Satoru Iizuka
准教授（兼）	Associate Professor*	高 橋 和 貴	Kazunori Takahashi

■ 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
准教授（兼）	Associate Professor*	和 泉 勇 治	Yuji Waizumi
助 教	Assistant Professor	阿 部 和 多	Kazutaka Abe
助 教	Assistant Professor	辻 川 雅 人	Masahito Tsujikawa

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	中 沢 正 隆	Masataka Nakazawa
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	廣 岡 俊 彦	Toshihiko Hirooka
准教授	Associate Professor	吉 田 真 人	Masato Yoshida
准教授（兼）	Associate Professor*	大 寺 康 夫	Yasuo Ohtera
准教授（兼）	Associate Professor*	片 桐 崇 史	Takashi Katagiri
助 教	Assistant Professor	葛 西 恵 介	Keisuke Kasai
研究員	Research Fellow	犬 竹 正 明	Masaaki Inutake
研究員	Research Fellow	王 怡 昕	Yixin Wang
研究員	Research Fellow	三 浦 幸 雄	Yukio Miura

職 員

■ 応用量子光学研究室		Applied Quantum Optics	
教 授	Professor	八 坂 洋	Hiroshi Yasaka
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
准教授	Associate Professor	亀 田 卓	Suguru Kameda
助 教	Assistant Professor	本 良 瑞 樹	Mizuki Motoyoshi
■ 情報ストレージシステム研究室		Information Storage Systems	
教 授	Professor	村 岡 裕 明	Hiroaki Muraoka
教 授 (兼)	Professor*	周 暁	Xiao Zhou
准教授	Associate Professor	Simon John Greaves	Simon J. Greaves
准教授 (兼)	Associate Professor*	伊 藤 健 洋	Takehiro Ito
■ 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
客員教授	Visiting Professor	Victor Ryzhii	Victor Ryzhii
教 授 (兼)	Professor*	安 達 文 幸	Fumiyuki Adachi
准教授	Associate Professor	末 光 哲 也	Tetsuya Suemitsu
准教授	Associate Professor	Stephane Albon Boubanga Tombet	Stephane Albon Boubanga Tombet
助 教	Assistant Professor	佐 藤 昭	Akira Sato
研究員	Research Fellow	Adrian Catalin Dobroiu	Adrian Catalin Dobroiu
研究員	Research Fellow	渡 辺 隆 之	Takayuki Watanabe
■ ブロードバンド通信基盤技術研究室 (客員)		Basic Technology for Broadband Communication (Visiting Section)	
客員教授	Visiting Professor	廣 畑 貴 文	Atsufumi Hirohata
客員教授	Visiting Professor	仲 谷 栄 伸	Yoshinobu Nakatani
客員准教授	Visiting Associate Professor	平 明 徳	Akinori Taira
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*	一ノ倉 理	Osamu Ichinokura
教 授 (兼)	Professor*	山 口 正 洋	Masahiro Yamaguchi
教 授 (兼)	Professor*	津 田 理	Makoto Tsuda
教 授 (兼)	Professor*	渡 邊 高 志	Takashi Watanabe
准教授	Associate Professor	栢 修一郎	Shuichiro Hashi
准教授 (兼)	Associate Professor*	中 村 健 二	Kenji Nakamura
准教授 (兼)	Associate Professor*	遠 藤 恭	Yasushi Endo
准教授 (兼)	Associate Professor*	宮 城 大 輔	Daisuke Miyagi
■ 先端音情報システム研究室		Advanced Acoustic Information Systems	
教 授	Professor	鈴 木 陽 一	Yōiti Suzuki
教 授 (兼)	Professor*	金 井 浩	Hiroshi Kanai
教 授 (兼)	Professor*	伊 藤 彰 則	Akinori Ito
准教授	Associate Professor	坂 本 修 一	Shuichi Sakamoto
准教授 (兼)	Associate Professor*	川 下 将 一	Masakazu Kawashita
講 師 (兼)	Lecturer*	能 勢 隆	Takashi Nose
助 教	Assistant Professor	Jorge Alberto Treviño López	Jorge Alberto Treviño López
産学官連携研究員	Research Fellow	崔 正 烈	Zhenglie Cui
再雇用職員	Technical Staff	齋 藤 文 孝	Fumitaka Saito
■ 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*	吉 澤 誠	Makoto Yoshizawa
教 授 (兼)	Professor*	川 又 政 征	Masayuki Kawamata
准教授	Associate Professor	栗 木 一 郎	Ichiro Kuriki
准教授 (兼)	Associate Professor*	杉 田 典 大	Norihiro Sugita
准教授 (兼)	Associate Professor*	阿 部 正 英	Masahide Abe
産学官連携研究員	Research Fellow	羽 鳥 康 裕	Yasuhiro Hatori
研究員	Research Fellow	方 昱	Fong Yu

■ 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	萩 野 俊 郎	Toshio Ogino
客員教授	Visiting Professor	浅 野 太	Hutoshi Asano
客員教授	Visiting Professor	西 村 竜 一	Ryoichi Nishimura

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	Professor	大 堀 淳	Atsushi Ohori
教 授（兼）	Professor*	篠 原 歩	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
助 教	Assistant Professor	上 野 雄 大	Katsuhiro Ueno

■ コンピューティング情報理論研究室		Computing Information Theory	
教 授	Professor	外 山 芳 人	Yoshihito Toyama
教 授（兼）	Professor*	静 谷 啓 樹	Hiroki Shizuya
教 授（兼）	Professor*	大 町 真一郎	Shinichiro Omachi
准教授	Associate Professor	青 戸 等 人	Takahito Aoto
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	菊 池 健太郎	Kentaro Kikuchi

■ コミュニケーションネットワーク研究室		Communication Network Systems	
教 授	Professor	木 下 哲 男	Tetsuo Kinoshita
教 授（兼）	Professor*	斎 藤 浩 海	Hiroumi Saito
教 授（兼）	Professor*	曾 根 秀 昭	Hideaki Sone
教 授（兼）	Professor*	乾 健太郎	Kentaro Inui
准教授	Associate Professor	北 形 元	Gen Kitagata
准教授（兼）	Associate Professor*	岡 崎 直 観	Naoaki Okazaki
准教授（兼）	Associate Professor*	水 木 敬 明	Takaaki Mizuki
准教授（兼）	Associate Professor*	後 藤 英 昭	Hideaki Goto
准教授（兼）	Associate Professor*	飯 岡 大 輔	Daisuke Ioka
助 教	Assistant Professor	高 橋 秀 幸	Hideyuki Takahashi
助 教	Assistant Professor	笹 井 一 人	Kazuto Sasai

■ 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 Suganuma
准教授（兼）	Associate Professor*	阿 部 亨	Toru Abe
准教授（兼）	Associate Professor*	青 木 輝 勝	Terumasa Aoki
准教授（兼）	Associate Professor*	西 山 大 樹	Hiroki Nishiyama
助 教	Assistant Professor	高 嶋 和 毅	Kazuki Takashima
助 教	Assistant Professor	上 出 寛 子	Hiroko Kamide

■ 情報社会構造研究室（客員）		Information Social Structure (Visitor Section)	
客員准教授	Visiting Associate Professor	唐 山 英 明	Hideaki Touyama

附属研究施設		Research Facilities	
--------	--	---------------------	--

附属ナノ・スピン実験施設		Laboratory for Nanoelectronics and Spintronics	
施設長（併）／教授	Director, Professor	庭 野 道 夫	Michio Niwano

■ 共通部			
研究基盤技術センター 技術職員	Technical Staff	森 田 伊 織	Iori Morita
技術職員	Technical Staff	小 野 力 摩	Rikima Ono
研究員	Research Fellow	西 村 容太郎	Yotaro Nishimura

職 員

■ 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*	亀 山 充 隆	Michitaka Kameyama
教 授 (兼)	Professor*	須 川 成 利	Shigetoshi Sugawa
准教授	Associate Professor	櫻 庭 政 夫	Masao Sakuraba
准教授 (兼)	Associate Professor*	張 山 昌 論	Masanori Hariyama
准教授 (兼)	Associate Professor*	黒 田 理 人	Rihito Kuroda
助 教	Assistant Professor	佐 藤 信 之	Nobuyuki Sato
助 教	Assistant Professor	秋 間 学 尚	Hisanao Akima

■ 半導体スピントロニクス研究室

Semiconductor Spintronics

教 授	Professor	大 野 英 男	Hideo Ohno
教 授 (兼)	Professor*	松 倉 文 礼	Fumihiko Matsukura
教 授 (兼)	Professor*	安 藤 康 夫	Yasuo Ando
教 授 (兼)	Professor*	遠 藤 哲 郎	Tetsuo Endo
教 授 (兼)	Professor*	島 津 武 仁	Takehito Simatsu
教 授 (兼)	Professor*	齋 藤 伸	Shin Saito
教 授 (兼)	Professor*	池 田 正 二	Shoji Ikeda
准教授 (兼)	Associate Professor*	角 田 匡 清	Masakiyo Tsunoda
准教授 (兼)	Associate Professor*	大 兼 幹 彦	Mikihiko Ogane
助 教	Assistant Professor	金 井 駿	Shun Kanai
産学官連携研究員	Research Fellow	Eli Christopher Inocencio Enobio	Eli Christopher Inocencio Enobio

■ ナノ分子デバイス研究室

Nano-Molecular Devices

教 授	Professor	庭 野 道 夫	Michio Niwano
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
准教授 (兼)	Associate Professor*	平 野 愛 弓	Ayumi Hirano
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*	神 崎 展	Makoto Kanzaki
准教授 (兼)	Associate Professor*	加 藤 俊 顕	Toshiaki Kato
助 教	Assistant Professor	馬 騰	Tang Ma

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	羽 生 貴 弘	Takahiro Hanyu
--------------	---------------------	---------	----------------

■ 認識・学習システム研究室

Recognition and Learning Systems

教 授 (兼)	Professor*	塩 入 論	Satoshi Shioiri
准教授 (兼)	Associate Professor*	坂 本 修 一	Shuichi Sakamoto
准教授	Associate Professor	松 宮 一 道	Kazumichi Matsumiya

■ 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 (兼)	Associate Professor*	本 間 尚 文	Naofumi Homma
准教授	Associate Professor	夏 井 雅 典	Masanori Natsui
産学官連携研究員	Research Fellow	矢 野 雅 文	Masafumi Yano
産学官連携研究員	Research Fellow	望 月 明	Akira Mochizuki
産学官連携研究員	Research Fellow	玉 越 晃	Akira Tamakoshi

■ 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
教 授 (兼)	Professor*	松 木 英 敏	Hidetoshi Matsuki
助 教	Assistant Professor	坂 本 一 寛	Kazuhiro Sakamoto
助 教	Assistant Professor	大 脇 大	Dai Owaki
助 教	Assistant Professor	加 納 剛 史	Takeshi Kano

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	村 岡 裕 明	Hiroaki Muraoka
----------------	---------------------	---------	-----------------

■ 企画開発部

Project Planning Division

客員教授	Visiting Professor	古 西 真	Makoto Furunishi
------	--------------------	-------	------------------

■ 研究開発部		Technology Development Division	
モバイル分野			Mobile Wireless Technology Group
教 授 (兼)	Professor*	末 松 憲 治	Noriharu Suematsu
准教授 (兼)	Associate Professor*	亀 田 卓	Suguru Kameda
ストレージ分野			Storage Technology Group
客員教授	Visiting Professor	松 岡 浩	Hiroshi Matsuoka
准教授	Associate Professor	中 村 隆 喜	Takaki Nakamura
産学官連携研究員	Research Fellow	原 田 正 親	Masachika Harada

安全衛生管理室		Management Office for Safety and Health	
室 長 (兼) / 教授	Manager, Professor	塩 入 諭	Satoshi Shioiri
副室長 (兼) / 教授	Deputy Manager, Professor	上 原 洋 一	Yoichi Uehara
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	木 下 哲 男	Tetsuo Kinoshita
教 授 (兼)	Professor*	外 山 芳 人	Yoshihito Toyama
教 授 (兼)	Professor*	菅 沼 拓 夫	Takuo Suganuma

研究基盤技術センター		Fundamental Technology Center	
センター長 (兼) / 教授	Director, Professor	上 原 洋 一	Yoichi Uehara
統括技術専門員 (技術長)	Technical Staff	庄 子 康 一	Koichi Shoji

■ 工作部		Machine Shop Division	
技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	末 永 保	Tamotsu Suenaga
技術一般職員	Technical Staff	阿 部 健 人	Kento Abe
技術一般職員	Technical Staff	前 田 泰 明	Yasuaki Maeda

■ 評価部		Evaluation Division	
技術専門職員 (グループ長)	Technical Staff	阿 部 真 帆	Maho Abe
技術一般職員	Technical Staff	丹 野 健 徳	Takenori Tanno

■ プロセス部		Process Division	
技術専門職員 (グループ長) (兼)	Technical Staff	末 永 保	Tamotsu Suenaga
技術一般職員	Technical Staff	森 田 伊 織	Iori Morita
技術一般職員	Technical Staff	小 野 力 摩	Rikima Ono
再雇用職員	Technical Staff	寒河江 克 巳	Katsumi Sagae

■ 情報技術部		Information Technology Division	
統括技術専門員 (グループ長) (兼)	Technical Staff	庄 子 康 一	Koichi Shoji
技術一般職員	Technical Staff	佐 藤 正 彦	Masahiko Sato
技術一般職員	Technical Staff	丸 山 由 子	Yuko Maruyama
技術一般職員	Technical Staff	太 田 憲 治	Kenji Ota
再雇用職員	Technical Staff	齋 藤 文 孝	Fumitaka Saito

国際化推進室		Office for the Promotion of International Relations	
特任教授	Specially Appointed Professor	坂 中 靖 志	Yasushi Sakanaka

産学官連携推進室		Cooperative Research and Development	
特任教授	Specially Appointed Professor	莊 司 弘 樹	Hiroki Shoji

事務部		Administration Office	
事務長	General Manager	伊 藤 保 春	Yasuharu Ito
事務長補佐	Deputy-General Manager	寺 嶋 秀 一	Shuichi Terashima
総務係長	Chief of General Affairs Section	大 沼 崇	Takashi Onuma
研究協力係長	Chief of Research Cooperation Section	山 崎 宏 美	Hiromi Yamazaki
図書係長	Chief of Library Section	内ヶ崎 洋 一	Yoichi Uchigasaki
経理係長	Chief of Accounting Section	永 山 博 章	Hiroaki Nagayama
用度係長	Chief of Purchasing Section	松 谷 昭 広	Akihiro Matsuya

東北大学電気通信研究所
研究活動報告 第 22 号
自己点検評価報告書

2016 年 8 月発行

発 行 者	大 野 英 男
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	株式会社 仙台共同印刷 〒983-0035 仙台市宮城野区日の出町二丁目 4-2 TEL.022(236)7161(代) FAX.022(236)7163