

マイクロ波によるスピン相関混合過程の
促進・停止の効果を利用した化学反応制御

(07554064)

平成7～8年度科学研究費補助金（基盤研究(A)(2)）研究成果報告書

平成9年5月

研究代表者 安積 徹

（東北大学大学院理学研究科教授）

平成7～8年度 科学研究費補助金 基盤研究(A)(2)

マイクロ波によるスピン相関混合過程の

促進・停止の効果を利用した化学反応制御

研究課題名： マイクロ波によるスピン相関混合過程の促進・停止の効果を利用した化学反応制御
(07554064)

研究組織

平成7～8年度科学研究費補助金（基盤研究(A)(2)）研究成果報告書

研究代表者：安積 徹（東北大学大学院理学研究科・教授）

研究分担者：前田公憲（東北大学大学院理学研究科・助手）

研究分担者：藤井金苗（日本電子（株）分析機器技術本部・課長）

研究経費

平成7年度 10,900 千円

平成8年度 4,800 千円

平成9年5月

東北大学図書



00010133092

附属図書館

研究代表者 安積 徹

（東北大学大学院理学研究科教授）

ラジカル対

平成7～8年度 科学研究費補助金 基盤研究(A)(2)

研究課題番号： 07554064

研究課題名： マイクロ波によるスピン相関混合過程の促進・停止の効果を利用した化学反応制御

研究組織

研究代表者：安積 徹（東北大学大学院理学研究科・教授）

研究分担者：前田公憲（東北大学大学院理学研究科・助手）

研究分担者：藤井金苗（日本電子（株）分析機器技術本部・課長）

研究経費

平成7年度 10,900 千円

平成8年度 4,300 千円

計 15,200 千円

[1] 本研究の目的

化学反応の初期において生成するラジカル対におけるスピン対の相関は、その後の反応性を決定づける重要な因子であり、化学反応の磁場効果を含む多くのスピン効果を生む原因である。本研究において我々はスピン対の相関をマイクロ波パルスにより変化させ、その結果として化学反応を制御する手法の確立を目指す。そのために次のようなことを成し遂げ、化学反応におけるスピンの役割について次のことを明らかとした。

- 1) スピン対に対するマイクロ波照射がその反応性に及ぼす影響。
- 2) スピン対相関のダイナミクスとそれに対するマイクロ波効果の時間分解観測。
- 3) マイクロ波効果に対する、スピン間相互作用およびその揺らぎの影響について。
- 4) マイクロ波のスイッチングに対するスピン対相関の応答の観測。
- 5) 反応へのマイクロ波効果と溶液中でのラジカル対の局所的な構造との関連。

[2] 反応制御の原理

その原理を図1に示す。ラジカル対 ($A \cdot \cdot B$) のスピン対は光反応初期においてある相関を持つ。その相関は、前駆体分子の持つスピン状態に依存する。たとえば、前駆体分子が三重項状態の場合、生成するラジカル対のスピン状態は三重項状態である。三重項状態において生成したラジカル対は、各ラジカル対の持つ超微細結合 (*hyperfine coupling*) と、各ラジカルにおける不対電子に対するスピン軌道相互作用の効果の異なり (Δg mechanism) とにより一重項状態に変わっていく。この項間交差過程は外部磁場中においてマイクロ波をラジカル対の電子スピンに共鳴させることにより、その過程を多彩に変化させることが可能である。しかも、マイクロ波の強度を可変させることにより、項間交差プロセスを加速も減速もさせることが出来る。

図2に示す様に外部磁場中において、ラジカル対の3重項状態は、ゼーマン分

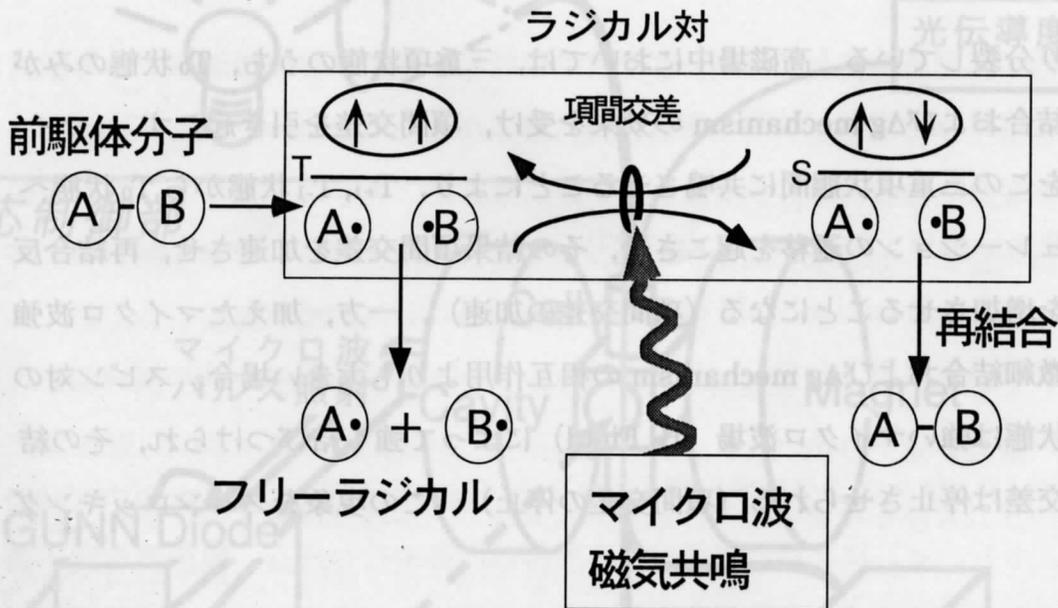


図1、ラジカル対の反応とマイクロ波効果。

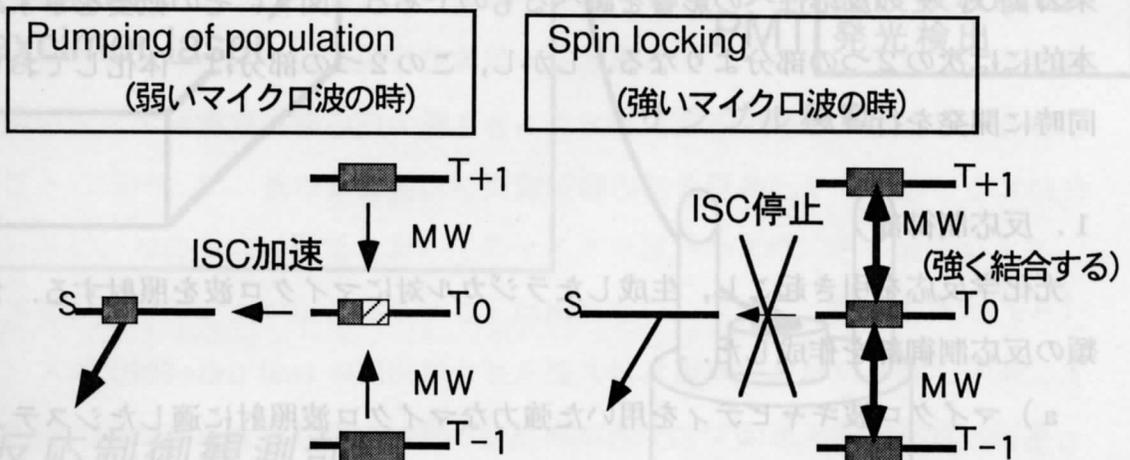


図2、マイクロ波による項間交差の加速と停止。

図3、試作した装置図

裂により分裂している。高磁場中においては、三重項状態のうち、 T_0 状態のみが超微細結合および Δg mechanism の効果を受け、項間交差を引き起こす。マイクロ波をこの三重項状態間に共鳴させることにより、 T_{+1} 、 T_{-1} 状態から T_0 状態へのポピュレーションの遷移を起こさせ、その結果項間交差を加速させ、再結合反応収量を増加させることになる（項間交差の加速）。一方、加えたマイクロ波強度が超微細結合および Δg mechanism の相互作用よりも大きい場合、スピン対の三重項状態は強いマイクロ波場 (B_1 Field) によって強く結びつけられ、その結果項間交差は停止させられる（項間交差の停止）。この現象をスピンロッキングと呼ぶ。

[3] 試作した装置

試作した装置は、全て上で述べたスピン対の相関に対するマイクロ波照射の効果および、その反応性への影響を調べるものである。図3にその概要を示す。基本的には次の2つの部分よりなる。しかし、この2つの部分は一体化しており、同時に開発を行った。

1. 反応制御部

光化学反応を引き起こし、生成したラジカル対にマイクロ波を照射する。2種類の反応制御部を作成した。

a) マイクロ波キャビティを用いた強力なマイクロ波照射に適したシステム。

b) 誘電体型マイクロ波共振器を用いたパルスマイクロ波照射に適したシステム。

2. 反応制御観測部

光反応に対するマイクロ波照射の効果を観測する部分である。化学反応は多彩であり中間体や生成物の観測法も、反応系によってまちまちである。

我々は多彩かつ一般的な反応系において反応制御の効果を観測するため、次の様な多彩な観測法を用意した。さらに、これを用いることにより反応制御の効果

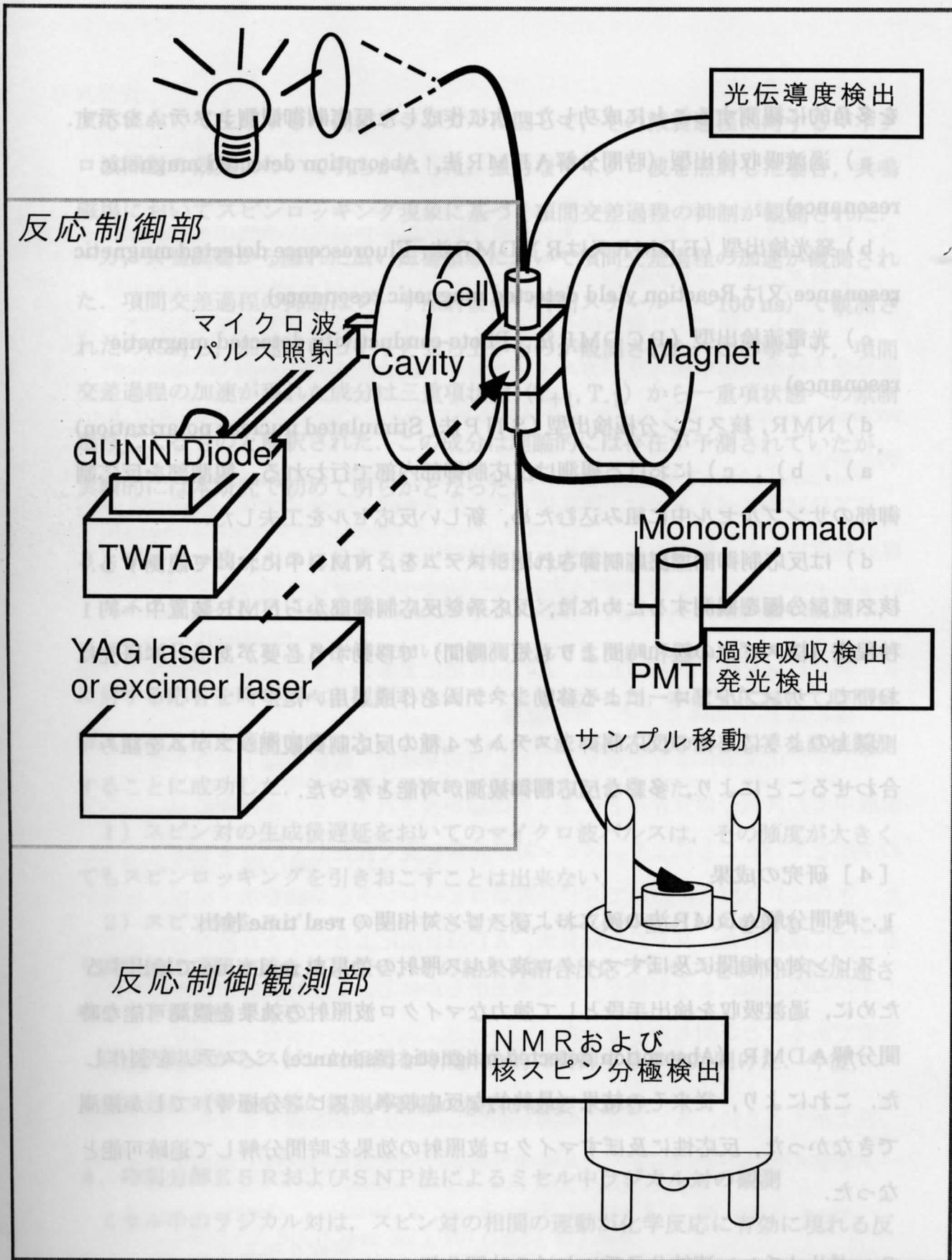


図 3、試作した装置図

を多角的に観測することに成功した。次に作成した反応制御観測システムを示す。

- a) 過渡吸収検出型 (時間分解ADMR法, Absorption detected magnetic resonance)
- b) 発光検出型 (FDMR又はRYDMR法, Fluorescence detected magnetic resonance 又は Reaction yield detected magnetic resonance)
- c) 光電流検出型 (PCDMR法, Photo-conductivity detected magnetic resonance)
- d) NMR, 核スピン分極検出型 (SNP法, Stimulated nuclear polarization)

a), b), c) における観測は反応制御部内部で行われる。観測部を反応制御部のサンプルセル中に組み込むため、新しい反応セルを工夫した。

d) は反応制御部で反応制御されたシステムを、NMR中において観測する。核スピン分極を観測するためには、反応系を反応制御部からNMR装置中へ約1秒程度 (核スピンの緩和時間よりも短い時間) で移動する必要がある。本研究において、サンプルフローによる移動システムを作成し用いた。

以上のように2種の反応制御システムと4種の反応制御観測システムを組み合わせることにより、多彩な反応制御観測が可能となった。

[4] 研究の成果

1. 時間分解ADMR法の確立およびスピン対相関の real time 検出

スピン対の相関に及ぼすマイクロ波パルス照射の効果を real time で検出するために、過渡吸収を検出手段として強力なマイクロ波照射の効果を観測可能な時間分解ADMR (Absorption detected magnetic resonance) システムを製作した。これにより、従来その結果 (最終的な反応収率, スピン分極等) でしか観測できなかった、反応性に及ぼすマイクロ波照射の効果を時間分解して追跡可能となった。

2. ポリメチレン連結分子系における時間分解ADMRスペクトル

キサントンとキサンテンとのポリメチレン連結分子系の分子内水素引き抜き

反応において生成する中間体ビラジカルに関して、その減衰過程に対するマイクロ波照射の効果について明らかにした。強力なマイクロ波を照射した場合、共鳴磁場においてスピンロッキング現象に基づく項間交差過程の抑制が観測された。一方、共鳴磁場から離れた広い磁場領域において項間交差過程の加速が観測された。項間交差過程の抑制はレーザ照射後早い時間スケール (~ 100 ns) で観測されたのに対し、加速はゆっくりと立ち上がるのが観測された。この事より、項間交差過程の加速が現れた成分は三重項状態 (T_{+1}, T_{-1}) から一重項状態への禁制遷移によるものと解釈された。この成分は理論的には存在が予測されていたが、実験的には本研究で初めて明らかとなった。

3. マイクロ波パルスに対するスピン対相関の応答の直接観測

マイクロ波パルスによるラジカル対のスピンダイナミクスへの影響の観測は、RYDMRやPYESR法等において観測されてきたが、パルスのスイッチングに対する応答を時事刻々と観測した例は今までなかった。本研究において時間分解ADMR法を適用することにより、マイクロ波パルスに対する応答を直接観測することに成功した。この事より次のことが明らかとなった。

1) スピン対の生成後遅延においてのマイクロ波パルスは、その強度が大きくてもスピンロッキングを引き起こすことは出来ない。

2) スピン対をスピンロッキングさせた後、マイクロ波パルスを切ることにより瞬間的に項間交差を加速させ、その結果再結合反応プロセスを瞬間的に加速させることが可能である。

以上の結果からスピン対相関を時間作為的に制御する手法が開けた。今後、パルス系列に対する応答の観測の詳細の検討が必要である。

4. 時間分解ESRおよびSNP法によるミセル中ラジカル対の観測

ミセル中のラジカル対は、スピン対の相関の運動が化学反応に有効に現れる反応系の一つである。これらの反応系において時間分解ESRおよびSNP法(誘導核スピン分極検出ESR法)を用いて、スピン挙動について明らかにした。こ

れにより、スピン挙動とラジカル対の拡散運動との関係がほぼ完全に明らかになった。この事はマイクロ波による反応制御を考える上でも非常に有用である。

5. RYDMR法によるポリメチレン鎖連結型電子移動反応中間体ラジカルイオン対ダイナミクスの観測

ポリメチレン鎖により電子供与体と電子受容体とを結んだ連結系における、光誘起電子移動反応中間体ラジカルイオン対の再結合反応 (charge recombination) に対する、マイクロ波照射の効果についてRYDMR法により明らかにした。

RYDMRスペクトルは、供与体と受容体とを結ぶポリメチレン鎖長および溶媒の粘度に大きく依存する。これらを理論的に解析することにより、中間体ビラジカルのスピンドイナミクスと鎖運動との関連について明らかにした。

6. PCDMR法, FDMR法, ADMR法による光イオン化反応における、溶媒和電子-中間体カチオン対の観測

光イオン化反応により生成するスピン対の挙動は、溶媒和電子とカチオンとの溶液中での構造や相互作用とに多くの問題が残されている。本研究において各種の手法を用いることにより、スピン対が非常に長く存在している事を明らかにした。さらにFDMRにおいてスピン対がコヒーレントな挙動を示す様相を観測することに成功した。又PCDMR法, ADMR法によりマイクロ波照射が中間体イオンの収量に大きな影響を与える事を明らかにし、イオン反応の制御にも利用可能であることが明らかとなった。

以上示すように、スピン対の相関を制御し化学反応を制御するための基礎的データを多く得ることが出来た。今後より多彩な反応系への応用が期待できる。

平成9年5月

研究代表者 安積 徹

研究発表

(1) 学会誌等

1. "Time-Resolved CIDNP-Detected ESR Spectrum in the Photochemical Hydrogen Abstraction Reaction of Benzoquinone."
Y. Yamakage, T. Izaki, K. Maeda, and T. Azumi
Magnetic Resonance in Medicine, 6 (1995), 393-395.
2. "Low Field CIDNP-Detected ESR Spectrum of Intermediate Radical Pair in Photoinduced Hydrogen-Abstraction Reaction"
K. Shindo, K. Yamamoto, K. Maeda, and T. Azumi
Magnetic Resonance in Medicine, 6 (1995), 407-409.
3. "CIDNP-Detected ESR Spectrum in the Photoinduced Electron Transfer Reaction"
K. Maeda, K. Shindo, and T. Azumi
Magnetic Resonance in Medicine, 6 (1995), 410-412.
4. "CIDNP Studies on the Photochemical Reaction of 4-Methyl-2-quinolinecarbonitrile with Optically Active (S)- or (R)-2-Phenylpropionic Acid. No evidence for the Chiral Symmetry Breaking"
S. S. Ali, K. Maeda, and T. Azumi
Chemistry Letters (1995) 227-228.
5. "Phosphorescence and Zero-Field Optically Detected Magnetic Resonance Studies of (nd)¹⁰ Transition-Metal Complexes. 2. CdX₂(phen) (X=Cl, Br, and I; phen=1,10-Phenanthroline)"
S. Kimachi, S. Ikeda, and T. Azumi
J. Phys. Chem. 99 (1995), 7242-7245.
6. 「励起状態」
安積 徹
光化学, (1995), 96-101
7. 「酸化電位水の研究についての一化学者からのコメント」
安積 徹
東北大学星和会会報, 15 (1995), 2-5.
8. "Photochemical Hydrogen Abstraction Reaction of 2,6-Dichloro-*p*-benzoquinone as Studied by Nuclear-Spin-Polarization-Detected ESR Spectroscopy"
T. Azumi, K. Maeda, T. Aizawa, Y. Yamakage, K. Shindo, S. S. Ali, and Y. Araki
Proc. Indian Acad. Sci. (Chem. Sci.), 107 (1995), 831-840.
9. 「核スピン分極からみた分子磁性の動的挙動」
前田公憲, 安積 徹

分子磁性 (伊藤公一編, 学会出版センター) 第7章 (1996), 397-433.

10. "Spectroscopic Study on Fluorescing Processes of (nd)¹⁰ Transition-Metal Complexes. 1. ZnX₂(phen) (X=Cl, Br, I; phen=1,10-Phenanthroline Monohydrate)"
S. Ikeda, S. Kimachi, and T. Azumi
J. Phys. Chem. 100 (1996), 10528-10530.
11. "SNP Studies on the Structures of the Short-lived Radical Pair Generated in the Hydrogen Abstraction Reaction of Anthraquinone From Xanthene"
K. Shindo, K. Yamamoto, K. Maeda, and T. Azumi
Bull. Chem. Soc. Jpn, 69 (1996), 2731-2734.
12. "The Time-Resolved Absorption-Detected Magnetic Resonance Spectrum of the Polymethylene Linked Biradical: Effect of the Exchange Integral"
K. Maeda, Y. Araki, Y. Kamata, K. Enjo, H. Murai, and T. Azumi
Chem. Phys. Letters, 262 (1996), 110-114.
13. "Spin-Correlated Radical Pairs in Micellar Systems: Mechanism of CIDEP and the Micelle Size Dependence"
V. F. Tarasov, H. Yashiro, K. Maeda, T. Azumi, and I. A. Shkrob
Chem. Phys. 212 (1996) 353-361.
14. "Excited-State Properties of the Ligand-Localized $^3\pi\pi^*$ State of Cyclometalated Ruthenium(II) Complexes"
S. Kimachi, R. Satomi, H. Miki, K. Maeda, T. Azumi, and M. Onishi
J. Phys. Chem., A101 (1997), 345-349.
15. "Controlling of Radical-Ion Pair Reactions by Microwave Radiation: Photoconductivity-Detected Magnetic Resonance"
H. Murai, A. Matsuyama, T. Ishida, Y. Iwasaki, K. Maeda, and T. Azumi
Chem. Phys. Lett. 264 (1997), 619-622.
16. "Time-resolved DNP Measurements of Intermediate Free Radicals Created in the Photochemical Reaction of Benzaldehyde. Mechanism of Nuclear Polarization Creation"
Y. Yamakage, K. Maeda, and T. Azumi
Molecular Physics, 90 (1997), 431-436.
17. "Surprisingly Large Magnetic Field Effect in the Electron-Transfer Reaction of 4,4'-Bipyridine with Triethylamine in Acetonitrile"
S. S. Ali, K. Maeda, H. Murai, and T. Azumi
Chem. Phys. Lett. , 267 (1997), 520-524.
18. "Spectroscopy of the Spin Sublevels of Transition Metal Complexes"
T. Azumi and H. Miki
Topics in Current Chemistry, Vol. 1, "Electronic and Vibronic Spectra of Transition

Metal Complexes"

Ed. Yersin, Springer Verlag, in press.

19. "The Time-Resolved ADMR in the Photolysis of the Polymethylene-Linked System of Xanthone and Xanthene: Power Dependence"
K. Maeda, Y. Araki, K. Enjo, T. Etoh, H. Murai, and T. Azumi
J. Appl. Magnetic Resonance, in press.
20. "Reaction-Yield-Detected Magnetic Resonance in the Intra- and Intermolecular Electron Transfer Reactions"
K. Enjo, K. Maeda, H. Murai, and T. Azumi
J. Appl. Magnetic Resonance, in press.
21. "Several RYDMR studies on the Radical-Ion Formed in the Photolysis of TMPD: Photoconductivity, Transient-Absorption and Fluorescence Detection Methods"
H. Murai, A. Matsuyama, Y. Iwasaki, K. Enjo, K. Maeda, and T. Azumi
J. Appl. Magnetic Resonance, in press.
22. "The SNP measurement of the Electron Transfer Reaction from Quadricyclane to Terafluoro-p-benzoquinone"
Y. Yamakage, T. Nagashima, K. Maeda, H. Murai, and T. Azumi
J. Appl. Magnetic Resonance, in press.
23. "Study on the Coherent Spin Motion of the Radical-ion Pair Formed in the Laser Photolysis of N,N,N',N'-tetramethyl-1,4-phenylenediamine in 2-Propanol"
Y. Iwasaki, H. Murai, K. Maeda, T. Azumi.
J. Chem. Phys., submitted.
24. "Effect of Polymethylene-Chain Dynamics on the Lifetime of a Charge-Separated Biradical Studied by the RYDMR Spectroscopy"
K. Enjo, K. Maeda, H. Murai, T. Azumi.
J. Phys. Chem., submitted.
25. "Singlet-Born SCRP Observed in the Photolysis of Tetraphenylhydrazine in an SDS Micelle: Time Dependence of the Population of the Spin States"
T. Fukuju, H. Yashiro, K. Maeda, H. Murai, T. Azumi.
J. Phys. Chem., submitted.

(2) 口頭発表

1. 「磁場とマイクロ波を用いた新しい化学反応解析」
安積 徹

金属材料研究所ワークショップ「強磁場と化学反応，材料プロセス及び生体との
かかわり合い」

平成7年5月30日

2. 「酸化電位水の研究に関して一化学者からのコメント」
安積 徹
東北大学歯学部星和会年会（招待講演）
平成7年7月8日
3. 「ミセルサイズによるスピン相関ラジカル対E S Rの分裂幅の変化」
八代晴彦，V. F. Tarasov，前田公憲，安積 徹
分子構造総合討論会（仙台）
平成7年9月23日．2P013.
4. 「Re(I)テトラカルボニル錯体の最低励起三重項状態の分光学的研究」
里見 礼，木町聖也，安積 徹
分子構造総合討論会（仙台）
平成7年9月23日．2P068.
5. 「時間分解能を向上したナノ秒時間分解CIDNP測定装置によるラジカルイオン
ペアの解析」
相沢崇史，前田公憲，安積 徹
分子構造総合討論会（仙台）
平成7年9月24日．3E01.
6. 「零磁場近傍におけるラジカルイオン対のスピンダイナミクスに対する溶媒効果」
新藤耕二，前田公憲，安積 徹
分子構造総合討論会（仙台）
平成7年9月24日．3E02.
7. 「ポリメチレン連結分子系における時間分解過渡吸収検出E S Rスペクトル」
荒木保幸，鎌田芳幸，遠城健太郎，前田公憲，村井久雄，安積 徹，谷本能文
分子構造総合討論会（仙台）
平成7年9月24日．3E03.
8. 「Re(I)錯体の最低励起三重項状態の時間分解E S R」

- 木町聖也, 里見 礼, 安積 徹
分子構造総合討論会 (仙台)
平成7年9月25日. 4B11.
9. 「時間分解過渡吸収検出 ESR 形状の理論的考察」
前田公憲, 荒木保幸, 鎌田芳幸, 村井久雄, 安積 徹, 谷本能文
分子構造総合討論会 (仙台)
平成7年9月25日. 4Pa10.
10. 「アントラセン-ジエチルアニリン電子移動反応における cage lifetime の測定」
遠城健太郎, 荒木保幸, 前田公憲, 安積 徹
分子構造総合討論会 (仙台)
平成7年9月25日. 4Pb08.
11. 「2,2'-および4,4'-ビピリジンの水素引き抜き光反応における CIDNP スペクトル」
S. S. Ali, 前田公憲, 安積 徹
分子構造総合討論会 (仙台)
平成7年9月25日. 4Pb69.
12. 「光検出 ESR 法によるラジカルイオン対のスピン化学」
村井久雄, 岩崎洋平, 前田公憲, 安積 徹
化学系7学協会連合東北地方大会 (米沢)
平成7年9月30日. P323.
13. 「核スピン分極検出磁気共鳴法を用いた光反応中間体ラジカル対のダイナミクス
の研究」
前田公憲, 山影 譲, 長島敏雄, 新藤耕二, 村井久雄, 安積 徹
化学系7学協会連合東北地方大会 (米沢)
平成7年9月30日. P324.
14. 「逆ミセル系化学反応におけるラジカル対ダイナミクスの磁場効果」
小西由也, 荒木保幸, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
光化学討論会 (福岡)
平成7年10月10日. B1020.
15. 「ヘキサメチルベンゼンカチオンの DNP スペクトル」

- 前田公憲, 長島敏雄, 新藤耕二, 山影 讓, 村井久雄, 安積 徹
光化学討論会 (福岡)
平成7年10月10日. B1021.
16. 「TMPDの遅延蛍光による磁場効果とESR」
岩崎洋平, 村井久雄, 安積 徹
光化学討論会 (福岡)
平成7年10月11日. IA211.
17. 「時間分解NMR法を用いた縮重した電子移動反応の解析」
茨木 剛, 相沢崇史, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
光化学討論会 (福岡)
平成7年10月12日. IIA318.
18. "Time-Resolved SNP Measurements in the System of Electron Transfer Reaction"
T. Azumi
The 53rd Okazaki Conference on "New Trends in Spin Chemistry" (Okazaki)
October 19, 1995. O09.
19. "Transient-Absorption-Detected ESR Spectrum in the Intramolecular Hydrogen Abstraction Reaction of the Polymethylene-Linked System: Time Resolved Approach for the Spin Dynamics of the Radical Pair"
K. Maeda, Y. Araki, Y. Kamata, K. Enjo, H. Murai, and T. Azumi
The 53rd Okazaki Conference on "New Trends in Spin Chemistry" (Okazaki)
October 20, 1995. P17.
20. "Cage-Lifetime of Radical Ion Pair as Studied by Time-Resolved CIDNP Method"
T. Aizawa, T. Ibaraki, K. Maeda, and T. Azumi
The 53rd Okazaki Conference on "New Trends in Spin Chemistry" (Okazaki)
October 19, 1995. P18.
21. "Photochemical Hydrogen Abstraction Reactions of 4,4'-Bipyridine in Alcohols as Studied by CIDNP Technique"
S. S. Ali, K. Maeda, and T. Azumi
The 53rd Okazaki Conference on "New Trends in Spin Chemistry" (Okazaki)

October 19, 1995. P19.

22. 「FT-ESR法を用いたTNPDP光イオン化反応におけるスピンドイナミクスの追跡」
福寿忠弘, 八代晴彦, 岩崎洋平, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
日本化学会第70春季年会 (東京)
平成8年3月29日, 2F5 08.
23. 「光伝導度測定から見たTMPDの光イオン化により生じるラジカルイオン対のスピンドイナミクス」
松山明人, 岩崎洋平, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
日本化学会第70春季年会 (東京)
平成8年3月29日, 2F5 09.
24. 「逆ミセル中における光化学反応中間体ラジカル対の過渡吸収に対するマイクロ波効果」
江藤孝司, 荒木保幸, 小西由也, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
日本化学会第70春季年会 (東京)
平成8年3月29日, 2F5 10.
25. 「 d^{10} および d^8 電子配置をもつ金属錯体の三重項電子状態」
安積 徹
第9回配位化合物の光化学討論会 (招待講演)
平成8年7月30日
26. "Time-Resolved Transient-Absorption-Detected Magnetic Resonance Spectrum of Intermediate Biradicals in the Polymethylene Linked Hydrogen Donor Acceptor System"
T. Azumi, K. Maeda, Y. Araki, K. Kamata, K. Enjo, H. Murai,
The Fourth International Symposium on Magnetic Field and Related Phenomena
August 18, 1996 (Novosibirsk, Russia)
27. "Effects of Micellar Size on the ESR of Spin-Correlated Radical Pairs with Very Large Hyperfine Coupling Constants"
V. F. Tarasov, H. Yashiro, I. A. Shkrob, K. Maeda, and T. Azumi
The Fourth International Symposium on Magnetic Field and Related

Phenomena

August 21, 1996 (Novosibirsk, Russia)

28. "CIDEP/RYDMR/MFE Studies on the Spin Dynamics of Radical-Ion Pair: TMPD Cation and Solvated Electron"
H. Murai, A. Matsuyama, K. Maeda, T. Azumi
The Fourth International Symposium on Magnetic Field and Related Phenomena
August 21, 1996 (Novosibirsk, Russia)
29. "Time-Resolved RYDMR in the Intra- and Intermolecular Charge-Transfer Reaction Between Phenanthrene and N,N-Dimethylaniline"
K. Enjo, Y. Araki, K. Maeda, H. Murai, and T. Azumi
The Fourth International Symposium on Magnetic Field and Related Phenomena
August 22, 1996 (Novosibirsk, Russia)
30. "The Effect of the Modulation of the Exchange Integral on the Time-Resolved ADMR Spectrum in the Polymethylene Linked System of Xanthone and Xanthene"
K. Maeda, Y. Araki, Y. Kamata, K. Enjo, H. Murai, and T. Azumi
The Fourth International Symposium on Magnetic Field and Related Phenomena
August 22, 1996 (Novosibirsk, Russia)
31. "The SNP Measurement of the Electron-Transfer Reaction Between Quadricyclane and Tetrafluoro-p-benzoquinone"
Y. Yamakage, Y. Nagashima, K. Maeda, H. Murai, and T. Azumi
The Fourth International Symposium on Magnetic Field and Related Phenomena
August 22, 1996 (Novosibirsk, Russia)
32. "Flip-Flop Transitions and Micelle Size Effects on ESR Spectra of Spin-Correlated Radical Pairs"
Y. Yashiro, V. F. Tarasov, K. Maeda, and T. Azumi
The Fourth International Symposium on Magnetic Field and Related Phenomena

46. August 22, 1996 (Novosibirsk, Russia)
33. 「光伝導検出磁気共鳴法でみる光反応中間体ラジカルイオン対の動力学」
村井久雄, 松山明人, 前田公憲, 安積 徹
化学系7学協会連合東北地方大会
平成8年10月2日, 1P10.
34. 「エキサイプレックス蛍光検出 ESR 法を用いた反応中間体ビラジカルにおける
スピンドYNAMIKSの解析」
遠城健太郎, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹, 谷本能文
光化学討論会(名古屋)
平成8年10月3日, IA105.
35. 「反応中間体ビラジカルの反応性に対するパルスマイクロ波照射の効果」
前田公憲, 荒木保幸, 菅野直樹, 村井久雄, 安積 徹
光化学討論会(名古屋)
平成8年10月3日, IA107.
36. 「逆ミセル中に束縛されたラジカル対の反応に対する強いマイクロ波の影響」
江藤孝司, 小西由也, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
光化学討論会(名古屋)
平成8年10月4日, B214.
37. 「光電導検出磁気共鳴法を用いたキサントン/シエチルアニリン電子移動反応の
動力学」
松山明人, 村井久雄, 前田公憲, 安積 徹
光化学討論会(名古屋)
平成8年10月4日, B220.
38. 「時間分解 CIDNP 法を用いたヘキサメチルデューワーベンゼンの光増感異性化反
応の解析」
茨木 剛, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
光化学討論会(名古屋)
平成8年10月4日, B225.
39. 「過渡吸収検出磁気共鳴法による TMPD 光イオン化反応中間体ラジカルイオン
対の研究」

- 岩崎洋平, 遠城健太郎, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
光化学討論会 (名古屋)
平成8年10月5日, B339.
40. 「DNP法を用いた2-hydroxy-2-propyl ラジカルにおける交差緩和過程の解明」
山影 譲, 長島敏雄, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹, E. G. Bagryanskaya
分子構造総合討論会 (福岡)
平成8年10月6日, 1J23.
41. 「ナノ秒外部磁場スイッチング法(SEMF)により誘起される核スピン分極から見た
反応中間体ラジカルのダイナミクス」
長島敏雄, 山影 譲, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹, E. G. Bagryanskaya
分子構造総合討論会 (福岡)
平成8年10月6日, 1J24.
42. 「スピン相関ラジカル対のESRスペクトルに現れるフリップフロップ遷移とミ
セルサイズ効果」
八代晴彦, V. F. Tarasov, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
分子構造総合討論会 (福岡)
平成8年10月8日, 3P2a04.
43. 「時間分解過渡吸収検出ESRスペクトルに現れる遷移する交換相互作用の効
果」
前田公憲, 荒木保幸, 菅野直樹, 村井久雄, 安積 徹
分子構造総合討論会 (福岡)
平成8年10月9日, 4P2a05.
44. 「光伝導検出磁気共鳴法からみたキサントン/TMPD 電子移動反応の動力学」
松山明人, 村井久雄, 前田公憲, 安積 徹
第35回ESR討論会 (山形)
平成8年10月29日, B415.
45. 「ミセル中におけるテトラフェニルヒドラジン光解離反応のSCRIP スペクトル」
福寿忠弘, 八代晴彦, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
第35回ESR討論会 (山形)
平成8年10月29日, B437

46. 「ポリメチレン連結ビラジカルの時間分解過渡吸収検出 ESR スペクトルの形状の鎖長依存性」
菅野直樹, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
第 35 回 ESR 討論会 (山形)
平成 8 年 10 月 29 日, A207.
47. 「リン中心ラジカルのスピン相関ラジカル対 ESR スペクトルの磁場依存性 (L および X バンド)」
八代晴彦, V. F. Tarasov, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
第 35 回 ESR 討論会 (山形)
平成 8 年 10 月 29 日, A210
48. 「化学反応機構解明のための新しいスピン分光学—CIDNP 検出電子スピン共鳴法」
安積 徹
日本化学会北海道支部 1997 年冬季研究発表会 (特別講演)
平成 9 年 2 月 4 日
49. 「蛍光検出磁気共鳴法によるラジカルイオン対のスピン動力学—カルバゾールの光反応」
中井将忠, 松山明人, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
日本化学会第 72 春季年会 (1997)
平成 9 年 3 月 27 日. 1C2 46.
50. 「ベンゾフェノン—DABCO 系における光誘起電子移動反応中間体ラジカル対の SNP スペクトル」
高橋哲雄, 長島敏雄, 山影 譲, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
日本化学会第 72 春季年会 (1997)
平成 9 年 3 月 27 日. 1C2 47.
51. 「4,4'-ビピリジンとトリエチルアミンのアセトニトリル溶媒中光誘起電子移動反応における異常な磁場効果」
アリ サマー, 前田公憲, 村井久雄, 安積 徹
日本化学会第 72 春季年会 (1997)
平成 9 年 3 月 27 日. 1C2 48

本報告書収録の学術雑誌等発表論文は本ファイルに登録していません。なお、このうち東北大学在籍の研究者の論文で、かつ、出版社等から著作権の許諾が得られた論文は、個別に **TOUR** に登録しております。