

平成22年6月2日現在

研究種目：特定領域研究

研究期間：2005-2009

課題番号：17073006

研究課題名（和文） イオン液体の溶媒和とクラスター構造

研究課題名（英文） Solvation and cluster structure of ionic liquids

研究代表者

渋谷 一彦 (SHIBUYA KAZUHIKO)

東京工業大学・大学院理工学研究科化学専攻・教授

研究者番号：30126320

研究成果の概要（和文）：イオン液体中の酸素分子拡散と三重項緩和ダイナミクスのキャラクター化（過渡吸収と電子スピン共鳴分光）、イオン液体中の回転拡散とラジカル回転相関時間の異常な粘度依存性の解明（電子スピン共鳴分光）、蒸発イオン液体のカチオン-アニオンイオン対構造の決定（極低温マトリックス単離 IR 分光）、イミダゾリウム系及びピリジニウム系イオン液体蒸気の電子スペクトル測定（薄膜と気相キャビティリングダウン吸収分光）、フェニルアゾ置換基をもつ新規イオン液体の創製とそのフォトクロミック反応の解析等に関する研究を展開し、様々な知見を得ると同時に、イオン液体の溶媒和とクラスターの一般的構造モデルを提唱した。

研究成果の概要（英文）： We have carried out research on diffusion of molecular oxygen in ILs and the relaxation of triplet states, rotational diffusion in ILs and their analysis by a fractional Stokes-Einstein-Debye Law, cryogenic neon matrix-isolation FTIR spectroscopy of evaporated ILs, and geometrical structure of cation-anion 1:1 pair in the gas phase, the electronic spectra of vaporized ILs based on imidazolium and pyridinium cations, and photochromism of 3-butyl-1-methyl-2- phenylazoimidazolium in room temperature.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2005年度	7,700,000	0	7,700,000
2006年度	7,800,000	0	7,800,000
2007年度	7,800,000	0	7,800,000
2008年度	7,800,000	0	7,800,000
2009年度	6,800,000	0	6,800,000
総計	37,900,000	0	37,900,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・物理化学

キーワード：クラスター・溶媒和・磁気共鳴・化学反応・ダイナミクス

1. 研究開始当初の背景

イオン液体（RTIL）のような高粘度液体中では分子の並進拡散が遅く、化学反応の速度の大幅な低下があると推測されたが、並進

拡散のマクロな物性パラメータである粘性を表現した Stokes-Einstein-Smoluchowski の理論式で見積もられるよりも数倍以上速いことが報告され、その機構解明が求められ

ていた。また、イオン液体中におかれた溶質分子の回転運動が理解されておらず、その解明が期待された。

イオン液体は不揮発性であると考えられていたが、一部のイオン液体については、蒸気圧があることが知られており、2006年には Earle らがイオン液体の真空蒸留に成功した。イオン液体の蒸発過程、気体状態でのイオン液体の性質や反応の解明が必要とされた。

正負イオンの組み合わせで様々な機能を発現できるのがイオン液体の大きな特徴であるが、当初は未だ合成例はきわめて少なく、各種合成目的に対応した新規イオン液体の性質の解明が望まれていた。

イオン液体はカチオンとアニオンのみからなる有機塩であり、その最小単位であるカチオン・アニオンイオン対の構造を知ることが重要であったが、当初その構造は不明であった。

2. 研究の目的

高粘度液体である RTIL 中での分子の並進拡散のメカニズムを解明するため、RTIL 中における methylene blue (MB) 三重項の酸素による消光速度定数を測定し、RTIL 中の酸素の拡散と三重項分子・酸素の衝突対内の緩和過程について考察した。

イオン液体中における溶質の回転拡散運動を研究するため、イオン液体に希釈したニトロキシドスピンプローブを用い、EPR 法で得られる超微細構造の線形を解析し、回転相関時間を決定した。粘度から理論的に予測される回転相関時間との比較を通し、イオン液体中における溶質分子の回転ダイナミクスの特異性について考察した。

マトリックス単離法を用いて気化したイオン液体のイオン対を非破壊的に単離し、赤外分光法と量子化学計算を用いてイオン液体の最小単位であるカチオン・アニオンイオン対の構造の解明に挑戦した。

イオン液体の気化のダイナミクスや気相での構造を探ることを目的に、イオン液体の気相電子スペクトル分光計測、イオン対の構造や遷移モーメントの量子化学計算、蒸発熱の決定を目指した。

正負イオンの組み合わせで様々な機能を発現することができる例として、光に応答する液体の創製を目指し、アゾ色素官能基を持つイミダゾリウム系イオン液体の合成と光化学的性質のキャラクタリゼーションを行った。

3. 研究の方法

電子スピン共鳴 ESR 分光、可視紫外領域での電子遷移吸収分光、時間分解過渡吸収分光、マトリックス単離・赤外分光、キャ

ビティダウン長光路レーザー吸収分光など様々な高感度分光法を併用した。

4. 研究成果

各種 RTIL 中の MB 三重項寿命をナノ秒過渡吸収測定法により求め、過渡種の寿命の O_2 濃度依存性から 3MB の消光速度定数 k_q を決定した。測定された RTIL の粘度は 33~221cP と高いことから決定された k_q の値は小さいものと予測したが、測定値は $10^8 \sim 10^9 M^{-1} s^{-1}$ で、低粘度な分子性溶媒中での値と同程度であった。この異常な振る舞いを拡散理論で議論するため、Smoluchowski の式および Stokes-Einstein の式を用いて拡散律速の速度定数 k_{diff} を見積もった。拡散律速で消光される場合 $k_q = k_{diff}$ となり、さらにスピン保存則が成り立てば $(4/9)k_{diff}$ となる。分子性溶媒中ではスピン保存則からすべての測定値は $(4/9)k_{diff}$ 以下であった。一方 RTIL 中では、いずれも拡散律速速度定数 (k_{diff}) を上回った。この測定結果から、RTIL 中の並進拡散が Stokes-Einstein の理論式に従わないことを明らかにした。二原子分子の並進拡散が異常に速いことは CO の場合でも報告され、RTIL の特異な溶媒環境を示唆する結果である。 $^3MB^* - O_2$ 衝突対内で消光が起きる量子効率を計算した。RTIL 中の k_{diff} は O_2 拡散係数から求め、分子性溶媒中の k_{diff} 値は Stokes-Einstein の式で粘度から見積もった。溶媒粘度依存性から、低粘度の分子性溶媒中では値は小さいが、粘度の高い RTIL 中では粘度に比例して大きくなる結果であった。高粘度溶媒中では $^3MB^* - O_2$ 衝突対寿命が長くなり、対内での 1 重項、3 重項、5 重項間での項間交差 ISC の効率が高いと考えられる。その場合、スピン禁制の 5 重項からも消光が起り、RTIL 中での値が大きくなるものと理解できる。RTIL 中の O_2 拡散は粘度予測よりも速く、励起状態消光速度定数が分子性溶媒中とほぼ同じという結論を得た。一方で、衝突対の寿命には粘度が大きく働いていることも示唆された。

石英セルに真空下で [Bmim][Tf₂N] を圧力 < 0.001 Torr で封入し、可視紫外分光光度計で 170°C 以下の温度範囲で可視紫外領域で吸収スペクトルを測定した。比較のため、薄層 (厚さ 3 μm) で作成した液相状態での [Bmim][Tf₂N] の吸収スペクトルも測定した。気相では、昇温に伴い λ < 240nm 領域の吸光度が増大し、145°C 以上では 212nm 付近にブロードな吸収帯が現れた。測定されたスペクトルは、(1) 吸光度が温度変化に対応して明確に変化する、(2) 試料がこの温度範囲では熱分解しない、ことから気相イオン液体によるものと結論した。液相スペクトルの吸収帯は、立ち上がり波長 240nm、ピーク波長 210.1nm、ピークでのモル吸光係数は $5 \times 10^3 mol^{-1} dm^3 cm$

π^* と求まり、振動子強度及び量子化学計算からイミダゾリウム環をクロモフォアとした $n \rightarrow \pi^*$ ($S_1 \leftarrow S_0$) 遷移に帰属された。今回測定された気相の吸収スペクトルは、液相のものと極似しており、Bmim カチオン部位の電子遷移と考えられる。気相イオン液体は、液体状態での凝縮形態とことなり、Bmim カチオンと Tf₂N アニオンのイオン対として存在すると考えられるが、気相と液相でスペクトル形状に変化が無い点は興味深い。蒸気圧データを Clausius-Clapeyron の近似式でフィットし、蒸発熱を 137 kJ/mol と決定した。この蒸発熱の実験値はアセトン (29.0 kJ/mol) などの有機溶媒や水 (43.99 kJ/mol) と比較しても 3 倍以上大きい。イオン液体の中では比較的大きな蒸気圧をもつと考えられている [Bmim][Tf₂N] の蒸発熱が水の 3 倍であることから、他の気化しにくいイオン液体は、さらに蒸発熱が大きいと推測される。[Empy][Tf₂N] についても同様の実験を行い、蒸発熱 192 kJ/mol を得た。

このように本研究では、蒸気圧が無いと考えられてきたイオン液体に対し、気相での電子スペクトルを得ることに成功し、蒸発熱を求める新たな方法を与えた。イオン対の構造に関する分光学的研究は現在途上で、高分解能レーザー分光による解明を目指している。

2PA-Bmim (B=butyl) の溶液に 365nm 光を照射した際の吸収スペクトル経時変化から、熱的に安定な E 体が光異性化で Z 体に変化する様子がみられた。一方、生成した Z 体の溶液は、光を遮断すると、熱異性化によって E 体に戻る光異性化とは逆の反応過程が指数関数的時間変化するのが観測された。したがって 2PA-Rmim カチオンはフォトクロミズムを示すことがわかる。同様に、純液体である [2PA-Rmim][Pf₂N] がフォトクロミズムを示すことが明らかとなった。ただし純液体では、3 μ m 程度の薄層試料でも E 体 Z 体ともに吸光度が 1 を大きく超える波長域がほとんどで、光透過率の問題から 100% 光異性化するには至っていない。現在、436nm 光照射で、約 5% の E 体が Z 体に変換することを実験的に示した。また熱異性化も確認し、純液体でもフォトクロミズムを示すことがわかった。365nm では、E 体と Z 体の吸光係数の差が大きいためにより高い光変換が期待できるが、未知の光化学反応の影響から副生成物を確認している。この点の解明は、今後の [2PA-Rmim][Pf₂N] の研究の発展で重要である。

2PA-Rmim カチオンのイオン液体中での光異性化過程を理解するため、光異性化の量子収率を測定した。2PA-Bmim の S₂ 励起による E \rightarrow Z 光異性化の溶媒粘度依存性を調べ、粘度によらず 0.1–0.2 であった。粘度が 1cP 以下の有機溶媒中では 0.16–0.19 と若干大きい、高粘度なイオン液体中では広い粘度範

囲で 0.12–0.14 である。同様の実験は S₁ 励起でも行い、有機溶媒中で 0.3 程度であるのに対し、高粘度なイオン液体中では 0.2 程度であった。異性化ではフェニル基のコンフォーメーションが変わるため、粘度依存性が予測されたが、粘度の影響はあまり大きくないと解釈できる。また熱異性化でも、同様に活性化エネルギーと頻度因子ともに粘度依存性が見られなかった。これらの結果は、異性化反応が溶媒粘度ではなく、溶媒がイオン液体か有機溶媒かに依存することを示唆している。異性化にはイオン液体と溶質間のクーロン力が重要な働きをしていると予測し研究を継続している。

[Bmim][Tf₂N] 中の [Bmim][CProxy1] の EPR スペクトルでは ¹⁴N 核スピンによる 3 重分裂が見られる。3 本のピークの強度は、一般に低粘度溶媒中では高速の回転運動で等しいが、高粘度な [Bmim][Tf₂N] 溶媒中では遅い回転速度を反映して等しくない。このピーク強度比などを回転相関時間 (τ_c) に関する Kivelson の式で解析し、CProxy1-体の $\tau_{c,obs}$ を見積もった。様々な温度で τ_c の測定を行い、Arrhenius プロットから回転の活性化エネルギーおよび頻度因子を決定した。また、各溶媒の粘度 η の温度依存性を測定し、Stokes-Einstein-Debye (SED) の式に代入して $\tau_{c,calc}$ を計算し、その活性化エネルギー E_a を決定した。その結果、EPR で決定した E_a の値は 28 – 36 kJ/mol となり、[Bmim][PF₆]、[Bmim][BF₄]、[Bmim][CF₃SO₃] 中においては、SED の式と粘度 η で予測された値よりも 10 kJ/mol 程度小さくなった。また、溶質として CProxy1-と CProxy1H を比較したが、いずれの溶媒でも大きな差はなく、溶質の電荷の有無は回転に影響を与えないと結論した。粘度が高いイオン液体において、観測値が SED の式からの計算値と一致しない傾向が見られたため、修正 SED の式

$$\tau_{c,obs} = (4\pi r^3 / 3k_B) (\eta / T) t$$

を導入し、 t をパラメータとして評価した。 t の溶媒粘度依存性から有機溶媒の OTP (o-terphenyl)、SALOL (phenyl-salicylate)、t-BuOH (tert-butanol) 中では η に関わらず、 $t = 1$ となった。一方、イオン液体で SED の式が成り立つのは粘度の低い [Bmim][Tf₂N] 中のみで、それ以上の高粘度溶媒中では $t = 0.8$ 程度と、SED の式に修正が必要であった。このことは、比較的高粘度のイオン液体中で回転する溶質は、粘度から想定される摩擦を感じないと考えられる、同様の結果は、より小さな溶質である (CH₃SO)₂NO ラジカルでも得られ、高粘度イオン液体中では $\tau_{c,obs}$ が SED の式に従わないことがわかった。このように、イオン液体中の拡散運動は、高い粘度から予測されるほどは遅くないという描像が見えている。

[Emim][Tf₂N] や [Emim][OTf] (OTf:CF₃SO₃) を Ne 中で加熱によって気化させて極低温の赤外分光用基盤に蒸着し、イオン対を Ne マトリックス中に閉じ込めた試料を作製した。Ne マトリックス中における [Emim][Tf₂N] イオン対の極低温赤外スペクトルを測定し、液体 [Emim][Tf₂N] の赤外スペクトルも参考に比較検討した。マトリックスのスペクトルには極めて明瞭で鋭いピークが現れ、Tf₂N の振動モードが観測された。マトリックス中のスペクトルは、気化する温度が高い方が液体に近いバンドパターンになる。このことは、気化するイオン対の構造が気化温度で異なることを示唆している。イオン対の構造について量子化学計算したところ、高い温度で気化したイオン対や液体のスペクトルは最安定なイオン対構造だが、低い温度で気化したイオン対のスペクトルは最安定なイオン対構造と異なり、正負両イオンの電荷がイオン対の内側に向くような構造を支持することがわかった。後者の構造では、液体中においてイオン対と他のイオンとの間のクーロン力が小さくなると推測され、このことが低い温度でイオン対として気化できる原因になっていると考えられる。同様の結果は [Emim][OTf] の場合にも示された。このように、イオン液体の気化には多様なイオン対構造の影響が強く現れることが示唆され、大変興味深い。本研究で論じた気化のモデルの一般性を調べるため、現在ピリジニウム系イオン液体に対しても同様の研究を開始し、気相のイオン対構造と気化温度の関係の詳細について検討している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 18 件)

1) Photochromic Reaction of a Novel Room Temperature Ionic Liquid: 2-Phenylazo-1-hexyl-3-methylimidazolium Bis(pentafluoroethylsulfonyl)amide
Akio Kawai, Daiki Kawamori, Tomoo Monji, Tooru Asaka, Nobuyuki Akai and Kazuhiko Shibuya
Chem. Lett. 39, 230-231 (2010) 査読有

2) Photochromism of 3-butyl-1-methyl-2-Phenylazoimidazolium in room temperature ionic liquids
Tooru Asaka, Nobuyuki Akai, Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya
J. Photochem. Photobio. A: Chem. 209, 12-18 (2010) 査読有

3) Infrared Spectroscopy and Quantum Chemical Calculations of OH-(H₂O)_n Complexes
Kazuhide Tsuji and Kazuhiko Shibuya
J. Phys. Chem. A 113, 9945-9951 (2009) 査読有

4) Neon matrix-isolation infrared spectrum of HOOC1 measured upon the VUV-light irradiation of an HCl/O₂ mixture
Takeo Yoshinobu, Nobuyuki Akai, Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya
Chem. Phys. Lett., 477(1-3), 70-74 (2009) 査読有

5) Observation of collision-induced near-IR emission of singlet oxygen O₂ a¹Δ_g generated by visible light excitation of gaseous O₂ dimol
Eiji Furui, Nobuyuki Akai, Akira Ida, Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya
Chem. Phys. Lett. 471, 45-49 (2009) 査読有

6) Cryogenic Neon Matrix-Isolation FTIR Spectroscopy of Evaporated Ionic Liquids: Geometrical Structure of Cation-Anion 1:1 Pair in the Gas phase
Nobuyuki Akai, David Parazs, Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya
J. Phys. Chem. B 113, 4756-4762 (2009) 査読有

7) EPR Study of Rotational Diffusion in Viscous Ionic Liquids: Analysis by a Fractional Stokes-Einstein-Debye Law
Yusuke Miyake, Takehiro Hidemori, Nobuyuki Akai, Akio Kawai, Kazuhiko Shibuya, Shinichi Koguchi, and Tomoya Kitazume
Chem. Letters., 38(2), 124-125 (2009) 査読有

8) First observation of the matrix-isolated FTIR spectrum of vaporized ionic liquid: and example of emimTFSI, 1-Ethyl-3-methylimidazolium bis(trifluoromethanesulfonyl)imide
Nobuyuki Akai, Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya
Chem. Letters., 37(3), 256-257 (2008) 査読有

9) Charge-Transfer Controlled Exchange Interaction in Radical-Triplet Encounter Pairs as Studied by FT-EPR Spectroscopy
Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya

J. Phys. Chem. A, 111(23), 4890-4901 (2007) 査読有

10) Infrared spectroscopy of ozone-water complex in a neon matrix

Masashi Tsuge, Kazuhide Tsuji, Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya

J. Phys. Chem. A, 111(18), 3540-3547 (2007) 査読有

11) Enhanced intersystem crossing of S1-T1 and T1-S0 in coronene-galvinoxyl systems as studied by a pulsed ESR method

Hajime Terazono, Akio Kawai, Kazuhide Tsuji, and Kazuhiko Shibuya

J. Photochem. Photobio. A: Chem. 183, 22-30 (2006) 査読有

12) Electron Spin Dynamics of Triplet and Doublet Molecules in Room Temperature Ionic Liquids Studied by A Time-resolved EPR Method

Akio Kawai, Takehiro Hidemori and Kazuhiko Shibuya

Mol.Phys.,104[10-11], 1573-1579 (2006) 査読有

13) Jet spectroscopy of arylmethyl radicals in the visible region: assignment of low-frequency vibrational modes in diphenylmethyl and chlorodiphenylmethyl radicals

M. Tsuge, S. Hamatani, A. Kawai, K. Tsuji and K. Shibuya

Phys. Chem. Chem. Phys., 2006, 8, 256 - 263 査読有

14) Experimental product study of the OH-initiated oxidation of m-Xylene

Jun Zhao, Renyi Zhang, Kentaro Misawa and Kazuhiko Shibuya

Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 176 (2005) 199-207 査読有

15) Evidence of phenoxymethyl radical formation in laser photolyses of anisole in solution

Mayaka Ando, Shigeru Yoshiike, Tadashi Suzuki, Teijiro Ichimura, Tetsuo Okutsu, Minoru Ueda, Hiroaki Horiuchi, Hiroshi Hiratsuka, Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya

J.Photochem.Photobio. A :Chemistry, 174, 194-198, (2005) 査読有

16) Solvation of a-hydroxydiphenylmethyl radical in room temperature ionic liquids studied by transient FT-EPR spectroscopy

Akio Kawai, Takehiro Hidemori, and Kazuhiko Shibuya

Chem.Phys.Letters, 414, 378-383, (2005) 査読有

[学会発表] (計 58 件)

1) 赤井 伸行, 河合 明雄, 渋谷 一彦
イオン液体のマトリックス単離赤外分光
第 90 回 日本化学会年会, 近畿大学 (大阪),
2010 年 3 月 26 日~29 日, 3E1-05

2) 小倉 隆宏, 赤井 伸行, 河合明雄, 渋谷一彦
イミダゾリウム系およびピリジニウム系カチオンを有するイオン液体蒸気の S1←S0 電子吸収スペクトル測定, 第 90 回 日本化学会年会, 近畿大学 (大阪), 2010 年 3 月 26 日~29 日, 3E1-19

3) Takehiro Shiozaki, Nobuyuki Akai, Akio Kawai and Kazuhiko Shibuya

Triplet excited state quenching by molecular oxygen in ionic liquids
239th American Chemical Society National Meeting & Exposition, San Francisco, (CA, USA), March 21-25, 2010, 691

4) Yusuke Miyake, Ryuta Aramaki, Masaki Iwama, Nobuyuki Akai, Akio Kawai, Kazuhiko Shibuya, Shinichi Koguchi and Tomoya Kitazume

Anisotropic rotation of ionic solute in room temperature ionic liquids studied by EPR spectroscopy
239th American Chemical Society National Meeting & Exposition, San Francisco, (CA, USA), March 21-25, 2010, 594

5) 三宅祐輔, 荒牧龍太, 岩間真木, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦, 小口真一, 北爪智哉
イオン液体中における常磁性種の異方回転
第 48 回 電子スピンサイエンス学会, 神戸大学 (神戸), 2009 年 11 月 10 - 12 日 1B-01

6) Daiki Kawamori, Toru Asaka, Tomoo Monji, Nobuyuki Akai, Akio Kawai, Kazuhiko Shibuya

Photochromism of novel ionic liquid with phenylazo group
The 6th Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Korea University Sejong Campus (Chungnam, Korea),

October 30 - November 3, 2009

7) Yusuke Miyake, Nobuyuki Akai, Akio Kawai, Kazuhiko Shibuya

Rotation of Triplet Excited Tetra Phenyl Porphyrin Dimer in Room Temperature Ionic Liquids Studied by Time Resolved EPR Spectroscopy

The 6th Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Korea University Sejong Campus (Chungnam, Korea), October 30 - November 3, 2009

8) Takahiro OGURA, Nobuyuki AKAI, Akio KAWAI, Kazuhiko SHIBUYA

Electronic Absorption Spectra of Vaporized Imidazolium- and Pyridinium-Based Ionic Liquids

The 6th Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Korea University Sejong Campus (Chungnam, Korea), October 30 - November 3, 2009

9) 塩崎雄大, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦

イオン液体中の酸素分子による三重項緩和ダイナミクス

第3回分子科学討論会 2009, 名古屋大学 (愛知), 2009年9月21-24日 1B05

10) 三宅祐輔, 荒牧龍太, 岩間真木, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦, 小口真一, 北爪智哉

イオン液体中におけるラジカル種の回転異方向性の評価

第3回分子科学討論会 2009, 名古屋大学 (愛知), 2009年9月21-24日 1B07

11) 藤田昌宏, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦

イオン液体アニオン種のラマン分光

第3回分子科学討論会 2009, 名古屋大学 (愛知県), 2009年9月21-24日 3P034

12) 小倉隆宏, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦

イオン液体蒸気の電子スペクトル測定 -イミダゾリウム系及びピリジニウム系-

第3回分子科学討論会 2009, 名古屋大学 (愛知), 2009年9月21-24日 4P006

13) 河森大樹, 浅香亨, 文字群生, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦

フェニルアゾ置換基をもつイオン液体の創製とそのフォトクロミック反応

2009年光化学討論会, 桐生市市民文化会館 (群馬), 2009年9月16-18日 1A12

14) 三宅祐輔, 岩間真木, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦, 中島康雄, 盛島泰正

メチルおよびフェニルラジカルを発生するオキシムエステル系光重合開始剤の光分解反応

2009年光化学討論会, 桐生市市民文化会館 (群馬), 2009年9月16-18日 1P003

15) 井田明, 浅香亨, 河森大樹, Boiko Cohen, Juan Angel, Organero, Michal Gil, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦, Abderrazzak Douhal

イミダゾリウムにカチオンに結合したフェニルアゾ基の光異性化フェムト秒時間分解測定

2009年光化学討論会, 桐生市市民文化会館 (群馬), 2009年9月16-18日 1P015

16) 河森大樹, 浅香亨, 文字群生, 赤井伸行, 河合明雄, 渋谷一彦

フェニルアゾ置換基を有する新規イオン液体のフォトクロミズム

2009年光化学討論会, 桐生市市民文化会館 (群馬), 2009年9月16-18日 1P021

17) Akio Kawai

Photo- and thermal-isomerization reactions of phenylazo substituted ionic liquids

11th International Symposium on Spin and Magnetic Field Effects on Chemistry and Related Phenomenon, Brock University (St.Catharines, Ontario, Canada), 9 to 13 of August 2009 P12

[その他]

ホームページ等

<http://www.chemistry.titech.ac.jp/~shibuya/index-j.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渋谷一彦 (SHIBUYA KAZUHIKO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授
研究者番号: 30126320

(2) 研究分担者

河合明雄 (KAWAI AKIO)

東京工業大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 50262259

(3) 連携研究者

なし