

平成 21 年 5 月 18 日現在

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2007～2008

課題番号：19350069

研究課題名 (和文) フェムト秒マルチレーザーを用いた分子素子の創製

研究課題名 (英文) Femtosecond Multilaser Chemistry towards Molecular Devices

研究代表者

藤塚 守 (FUJITSUKA MAMORU)

大阪大学・産業科学研究所・准教授

研究者番号：40282040

研究成果の概要：照射間隔および照射波長を制御したフェムト秒レーザーを光機能性分子に多段階照射することで進行する高励起状態を経た反応プロセスを直接観測により明らかにし、機能スイッチングする分子機能材料の創製を目的とした。本研究により、(1)ラジカルイオンの励起状態の直接観測およびその反応性の解明、(2) S_2 や T_n などの高励起状態から進行する反応の特異性の解明、(3)マルチレーザー照射による超分子のエネルギー移動制御が実現した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	9,800,000	2,940,000	12,740,000
2008 年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
年度			
年度			
年度			
総計	14,700,000	4,410,000	19,110,000

研究分野：化学

科研費の分科・細目：複合化学・機能物質化学

キーワード：分子素子、高励起状態、機能スイッチング、超分子

1. 研究開始当初の背景

溶液中で励起分子の反応は通常最低励起状態から進行する。これは Kasha 則として良く知られた光化学の一般的なルールである。したがって、従来光照射によって駆動する分子素子は最低励起状態の生成が前提であり、応答速度はピコ秒からマイクロ秒まで広範囲にわたる。しかし、高励起状態からも種々の反応が可能であり、特に最近の超短パルスレーザーを用いた測定より、高励起状態からの反応が報告されるようになってきた。例えばポルフィリンにアクセプターを結合した分子においては S_2 状態からの電荷分離が観察されている(N. Mataga et al. *J. Am. Chem. Soc.* **2001**, *123*, 12422 など)。また、高励起三重項状態や励起ラジカルも二台のナノ秒レ

ザーを化合物に照射することで検討された(W. G. McGimpsey and J. C. Scaiano, *J. Am. Chem. Soc.* **1988**, *110*, 2299 など)。国内では東北大学の國分教授らが、1970 年代に高励起三重項状態から励起一重項状態への項間交差を報告している(S. Kobayashi, K. Kikuchi, and H. Kokubun, *Chem. Phys. Lett.* **1976**, *42*, 494 など)。しかし、高励起三重項状態や励起ラジカルの直接観察例はほとんどない。

本申請者はこれまで波長および照射間隔を制御したナノ秒レーザー照射(マルチレーザー照射)を用いることで、高励起状態の反応を種々明らかにしてきた。高励起三重項状態からの電子移動(*J. Am. Chem. Soc.*, **2004**, *126*, 9709 など)やエネルギー移動(*Tetrahedron Lett.*, **2003**, *44*, 6117 など)、さらに結合解離反応(*J.*

Am. Chem. Soc., **2004**, *126*, 7432 など)はその例である。さらにラジカルの励起状態からの電子移動も解明してきた(*J. Phys. Chem. A*, **2005**, *109*, 6830 など)。しかし、高励起状態は短寿命であるため、その直接観察および詳細な機構の解明には超短パルスレーザーを用いた研究が必要であった。

2. 研究の目的

化学反応の多くは最低励起状態から進行することが知られており、高励起状態の反応への寄与に関する知見は限られている。高励起状態は反応性に富んでおり興味深い反応中間体であるが、その寿命はサブピコ秒からピコ秒オーダーと極めて短いため、物性および反応性に関する直接的な検討はほとんど行われてこなかった。本研究計画では、照射間隔および照射波長を制御したフェムト秒レーザーを光機能性分子に多段階照射(フェムト秒マルチレーザー)することで、高励起状態を経た反応プロセスを直接観測により明らかにし、さらに新たな機能材料を創製することを目的とした。

3. 研究の方法

高励起三重項状態などの短寿命励起状態は、フェムト秒レーザーを複数にわけ、それぞれ波長変換した後サンプルに多段階照射することで生成し、過渡吸収測定により直接観察した。高励起一重項状態は短波長レーザー照射により生成した。また、必要に応じ、ナノ秒レーザーの多段階照射により、反応プロセスの解析を行った。

4. 研究成果

本研究課題で得られた成果は以下にまとめたとおりである。

(1)ラジカルイオンの励起状態の直接観測およびその反応性の解明。

芳香族化合物のラジカルイオンは長波長領域に吸収を示す場合が多いことから、波長可変レーザーにより選択励起が可能である。我々は第一レーザーまたは化学反応によりラジカルイオンを生成し、第二レーザーによりラジカルイオンを励起することでラジカルイオン励起状態の観測およびその反応性の検討を行った。対象とする分子としては、ドナー性が高くラジカルカチオンの吸収が明瞭なオリゴチオフェン(3,4,5 量体)を選んだ。具体的にはオリゴチオフェンおよび chloranil の溶液に第一レーザー照射することでラジカルカチオンを生成し、第二レーザーとしてピコ秒レーザーを照射することでその励起状態を生成した。励起ラジカルカチオンは長波長側に新たな吸収帯を示し、その寿命はピコ秒のオーダーであった。さらにフェムト秒レーザーを用いた検討より励起状態寿命を

求め、その寿命はバンドギャップ則に従うことを明らかにした。

また、ホールアクセプター存在下においてオリゴチオフェンのラジカルカチオンを励起した場合には、ラジカルカチオン励起状態からのホール移動反応が起こることを明らかにした。反応速度の自由エネルギー変化依存性を検討することで鎖長依存性を明らかにした。

(2)高励起状態から進行する反応の特異性の解明。

①高励起一重項状態から進行する電子移動反応

Zn tetraphenylporphyrin (ZnTPP)のZnイオンに acceptor 分子を配位させることで超分子ドナー・アクセプターダイアッドが得られる。Zn octaethylporphyrin (ZnOEP)や Zn phthalocyanine (ZnPc)、Zn naphthalocyanine (ZnNc)など Zn を中心金属とした tetrapyrrole macrocycle でも同様な超分子が得られることから、我々は図1に示したPIを合成し、ドナー・アクセプターダイアッドを得た。570 nm フェムト秒レーザーパルス照射により ZnTPP-PI の Q バンドを励起した場合、励起直後に ZnTPP の S_1 状態に帰属される吸収が確認されたが時間とともに pyromellitimide ラジカルアニオンに帰属される吸収が明らかになり、 S_1 状態からの電荷分離状態生成が確認された。一方、400 nm フェムト秒パルス照射により S_2 状態を生成した場合にも電荷分離が確認されたが、その速度は S_1 からの電荷分離よりも高速であった。 S_1 からの電荷分離は ZnOEP, ZnPc, ZnNc においても確認されたが、 S_2 状態からの電荷分離は ZnTPP と ZnPc からのみ確認された。これは ZnOEP の S_2 状態が極めて短いためと、ZnNc において電荷分離の自由エネルギー変化が大きくないためである。ZnTPP および ZnPc で確認された S_2 状態からの電荷分離速度は、 S_1 状態電荷分離速度の自由エネルギー変化依存性を考慮すると非常に大きなものであり、 S_2 状態特有の電荷分離メカニズムが示唆された。

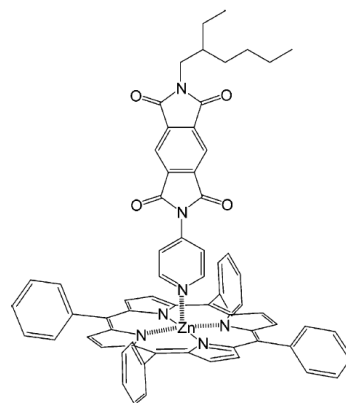


図 1. 超分子ドナー・アクセプターダイアッド

さらに、軸配位子として電子供与基を結合した P TPP や Sb TPP を S_2 励起することで porphyrin がアクセプターとなる電荷分離過程を検討し、電荷分離速度の自由エネルギー変化依存性を検討したところ、 S_2 状態を経た電子移動過程は、 S_1 状態のものより大きい再配向エネルギーを考慮する必要があることが明らかになった。この結果は、上述した、超分子ダイアッドで確認された傾向を説明するものであり、 S_2 状態からの電荷分離過程の特異性を始めて明らかにしたものである。

②高励起三重項状態から進行する結合解離過程
高励起三重項状態は短寿命であるが高エネルギー状態であるため、最低励起状態からは進行しない反応が期待できる。結合解離はその一つであり、本研究では芳香族カルボニル化合物の α -および β -結合解離を検討した。芳香族カルボニル化合物として biphenyl (BP) に着目し、BP(C=O)CH₂X (X = H, Br, Cl, OH, OMe, SH, OPh, SPh) および BP(C=O)X (X = OH, OMe, OPh, SPh) の高励起三重項状態を検討した。BP(C=O)X (X = OH, OMe, OPh, SPh) において、X = OPh, SPh の高励起三重項状態からの結合解離が確認され、その速度は結合解離エネルギーと高励起三重項状態のエネルギー差の exponential に比例することが示された。さらに BP(C=O)CH₂X (X = H, Br, Cl, OH, OMe, SH, OPh, SPh) ではすべての化合物において結合解離が観測されたものの、X = OH, OMe, OPh と X = Br, Cl, SH, SPh では解離収率の結合解離エネルギーに対する依存性において二グループに分かれ、反応に関与する高励起状態が異なることが示唆された。

(3)マルチレーザー照射による超分子のエネルギー移動制御

マルチレーザー照射により進行する反応は、高励起状態特有の高い反応性、空間選択性、レーザー照射間隔制御による生成物の収量制御を特徴とする。特に最後の特徴は、第一レーザーにより反応中間体を生成し第二レーザーにより反応中間体を励起する二色二レーザー励起において、反応中間体の寿命が有限であるため第二レーザーの照射タイミングにより生成する高励起状態の量が変化することに起因する。この利点の端的な応用は高励起状態生成を介し生成物をスイッチする分子素子であることから、本研究では pyrene (Py), biphenyl (Ph₂), bisimidethiophene (ImT) のトライアッド分子(図 2)を合成した。このトライアッド中で ImT が一番低い S_1 エネルギーを有するため、第一レーザーによりこのトライアッド分子のどの部位を励起しても ImT の S_1 状態が生成し、結果として ImT の T_1 状態が生成する(状態 1)。ImT の T_1 に対し第二レーザーを照射すると ImT の T_n 状態

が生成し、Ph₂ の T_1 を経て Py の T_1 がエネルギー移動により生成することが予想される(状態 2)。したがって、第二レーザーの照射により二つの状態を on/off 制御できる分子スイッチング機能を実現できる。

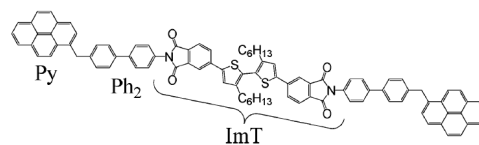


図 2. (Py-Ph₂)₂-ImT トライアッド分子

トライアッド分子に第一レーザーとして 355 nm ナノ秒レーザー照射すると ImT の T_1 状態生成が確認された。第二レーザーとして 532 nm レーザーを照射した場合には ImT の T_1 のみがレーザー光を吸収し、ImT の T_n 状態が生成する。実際過渡吸収では第二レーザー照射により ImT の T_1 状態は減少し、Py の T_1 状態に帰属される 415 nm 付近の吸収が増大することが確認されたことより、Ph₂ の T_1 を介した二段階のエネルギー移動が ImT の T_n 状態から起きていることが示された(図 3)。したがって、ImT と Py のそれぞれの T_1 状態を二色二レーザー励起によりスイッチングできることが示され、高励起三重項状態を介した分子機能スイッチングが実証できた。

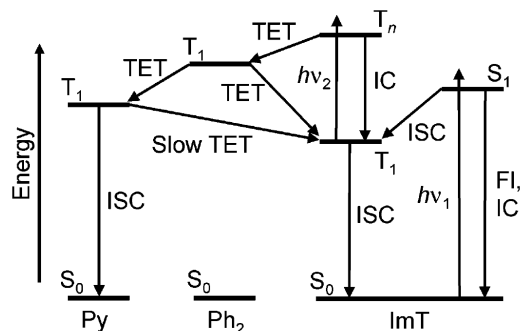


図 3. 機能スイッチングを示すエネルギーダイアグラム。

以上、本研究の遂行により、短寿命高励起状態の直接観測および高励起状態特有の反応過程が解明でき、さらにマルチレーザー照射による機能スイッチング分子が実証された。このような研究例はまだわずかであるが、本研究成果は今後の展開の基礎となると予想される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 19 件)

- (1) M. Fujitsuka, H. Shimakoshi, S. Tojo, L. Cheng, D. Maeda, Y. Hisaeda, T. Majima “Electron transfer in the supramolecular donor-acceptor dyad of zinc porphycene” *J.*

- Phys. Chem. A* **113**, 3330–3335 (2009) 査読有.
- (2) M. Fujitsuka, S. Tojo, T. Shinmyozu, T. Majima “Intramolecular dimer radical anions of [3_n] cyclophanes: transannular distance dependent stabilization energy” *Chem. Commun.* 1553-1555 (2009) 査読有.
- (3) M. Yamaji, X. Cai, M. Sakamoto, M. Fujitsuka, T. Majima “ α -Bond dissociation of p-phenylbenzoyl derivatives in the higher triplet excited state studied by two-color two-laser flash photolysis” *J. Phys. Chem. A* **113**, 1696–1703 (2009) 査読有.
- (4) M. Sakamoto, T. Tachikawa, M. Fujitsuka, T. Majima “Photoreactivity of as-fabricated Au clusters at the single-cluster level” *J. Am. Chem. Soc.* **131**, 6-7 (2009) 査読有.
- (5) S. Samori, M. Fujitsuka, T. Majima “Properties of excited radical cations of substituted oligothiophenes” *J. Phys. Chem. A* **112**, 11312-11318 (2008) 査読有.
- (6) M. Yamaji, X. Cai, M. Sakamoto, M. Fujitsuka, T. Majima “Photodecomposition profiles of β -bond cleavage of phenylphenacyl derivatives in the higher triplet excited states during stepwise two-color two-laser flash photolysis” *J. Phys. Chem. A* **112**, 11306-11311 (2008) 査読有.
- (7) M. Fujitsuka, K. Harada, A. Sugimoto, T. Majima “Excitation energy dependence of photoinduced processes in pentathiophene-terylene bisimide dyads with a flexible linker” *J. Phys. Chem. A* **112**, 10193-10199 (2008) 査読有.
- (8) M. Sakamoto, T. Tachikawa, M. Fujitsuka, T. Majima “Two-laser-guided three-dimensional microfabrication and processing in a flexible polymer matrix” *Adv. Mater.* **20**, 3427-3432 (2008) 査読有.
- (9) D. W. Cho, M. Fujitsuka, A. Sugimoto, T. Majima “Intramolecular excimer formation and photoinduced electron-transfer process in bis-1,8-naphthalimide dyads depending on the linker length” *J. Phys. Chem. A* **112**, 7208-7213 (2008) 査読有.
- (10) D. W. Cho, M. Fujitsuka, U. C. Yoon T. Majima “Intermolecular photoinduced electron-transfer of 1,8-naphthalimides in protic polar solvents” *Phys. Chem. Chem. Phys.* **10**, 4393-4399 (2008) 査読有.
- (11) S. Samori, S.o Tojo, M. Fujitsuka, E. L. Spitler, M. M. Haley, T. Majima “Fine-tuning of radiolysis induced emission by variable substitution of tetrakis(arylethynyl)benzenes” *J. Org. Chem.* **73**, 3551-3558 (2008) 査読有.
- (12) M. Sakamoto, T. Tachikawa, M. Fujitsuka, T. Majima “Three-dimensional writing of copper nanoparticles in a polymer matrix with two-color laser beams” *Chem. Mater.* **20**, 2060–2062 (2008) 査読有.
- (13) M. Sakamoto, S. S. Kim, M. Fujitsuka, T. Majima “Reversible intramolecular triplet-triplet energy transfer in benzophenone-N-methylphthalimide dyad” *J. Phys. Chem. A* **112**, 1403-1407 (2008) 査読有.
- (14) K. Harada, M. Fujitsuka, A. Sugimoto, T. Majima “Electron transfer from the S₁ and S₂ states of pentacoordinated tetrapyrrole macrocycles to pyromellitic diimide as an axial ligand” *J. Phys. Chem. A* **111**, 11430-114369 (2007) 査読有.
- (15) M. Fujitsuka, D. W. Cho, S. Tojo, A. Inoue, T. Shiragami, M. Yasuda, T. Majima “Electron transfer from axial ligand to S₁- and S₂-excited phosphorus tetraphenylporphyrin” *J. Phys. Chem. A* **111**, 10574-10579 (2007) 査読有.
- (16) Y. Oseki, M. Fujitsuka, M. Sakamoto, T. Majima “Intramolecular triplet energy transfer via higher triplet excited state during stepwise two-color two-laser irradiation” *J. Phys. Chem. A* **111**, 9781-9788 (2007) 査読有.
- (17) M. Sakamoto, T. Tachikawa, S. S. Kim, M. Fujitsuka, T. Majima “Association behavior of a nitrilotriacetic-acid-modified dye in a poly(vinyl alcohol) film containing Ni(II)-adsorbed gold nanoparticles” *ChemPhysChem* **8**, 1701-1706 (2007) 査読有.
- (18) X. Cai, M. Yamaji, M. Sakamoto, M. Fujitsuka, T. Majima “The C–O bond dissociation of naphthoxymethyl compounds in the higher triplet excited state using two-color two-laser flash photolysis” *Chem. Phys. Lett.* **443**, 248-252 (2007) 査読有.
- (19) M. Sakamoto, S. S. Kim, M. Fujitsuka, T. Majima “Design of cyclic reaction driven by two-color two-photon excitation” *J. Phys. Chem. C* **111**, 6917-6919 (2007) 査読有.
- [学会発表] (計 4 1 件)
- (1) 立川 貴士、J. R. Choi、藤塚 守、真嶋 哲朗 “MOF-5 ナノ粒子による芳香族化合物の光誘起一電子酸化反応” 日本化学会第 89 春季年会 2009 年 3 月 27-30 日 船橋
- (2) 坂本 雅典、立川 貴士、藤塚 守、真嶋 哲朗 “単一分子分光法によるその

- 場形成金クラスターの反応性” 日本化学会第 89 春季年会 2009 年 3 月 27-30 日 船橋
- (3) 藤塚 守、藤乗 幸子、新名主 輝男、真嶋 哲朗 “シクロファンダイマーラジカルアニオン” 日本化学会第 89 春季年会 2009 年 3 月 27-30 日 船橋
 - (4) 藤塚 守、原田 憲、真嶋 哲朗 “オリゴチオフェン-ペリレンジイミド結合分子の光誘起過程” 日本化学会第 89 春季年会 2009 年 3 月 27-30 日 船橋
 - (5) 立川 貴士、S.-C. Cui、藤塚 守、真嶋 哲朗 “CdTe 量子ドット-ピロメリットイミド複合体における電子移動反応の単一粒子発光観測” 日本化学会第 89 春季年会 2009 年 3 月 27-30 日 船橋
 - (6) 川井 清彦、小阪田 泰子、藤塚 守、真嶋 哲朗 “DNA 中のホール移動におけるグアニンラジカルカチオンのプロトン化状態の重要性” 日本化学会第 89 春季年会 2009 年 3 月 27-30 日 船橋
 - (7) 佐守 真悟、藤乗 幸子、藤塚 守、E. L. Spitler, M. M. Haley、真嶋 哲朗 “パルスラジオリシスによるドナー、アクセプター型テトラキス (アリアルエチニル) ベンゼンからの発光” 第 51 回 放射線化学討論会 2008 年 10 月 15-17 日 つくば
 - (8) 佐守 真悟、藤乗 幸子、藤塚 守、真嶋 哲朗 “ビーム複合照射法によるピレンダイマーラジカルカチオンの光解離” 第 51 回 放射線化学討論会 2008 年 10 月 15-17 日 つくば
 - (9) M. Fujitsuka, D. W. Cho, T. Majima “Photoinduced Electron Transfer from S₂-Excited Porphyrin Derivatives (Invited Lecture)” 2008 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Sept. 25-28, 2008 Jeju Korea
 - (10) D. W. Cho, M. Fujitsuka, U. C. Yoon, T. Majima “Intermolecular Photoinduced Electron-Transfer of 1,8-Naphthalimides in Protic Polar Solvents” 2008 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Sept. 25-28, 2008 Jeju, Korea
 - (11) S. S. Kim, M. Sakamoto, M. Fujitsuka, T. Majima “Reversible Intramolecular Triplet-Triplet Energy Transfer in Benzophenone N-methylphthalimide Dyad” 2008 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Sept. 25-28, 2008 Jeju, Korea
 - (12) D. W. Cho, M. Fujitsuka, A. Sugimoto, T. Majima “Intramolecular Excimer Formation and Photoinduced Electron Transfer Process in bis-1,8-Naphthalimide Dyads Depending on the Linker Length” 2008 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Sept. 25-28, 2008 Jeju, Korea
 - (13) 藤乗幸子、立川貴士、藤塚 守、真嶋哲朗 “ヨウ素ドープ酸化チタンの光触媒反応” 2008 年光化学討論会 2008 年 9 月 11-13 日 堺
 - (14) 坂本雅典、立川貴士、藤塚 守、真嶋哲朗 “2 色 2 レーザーによるフレキシブル材料の三次元マイクロ加工” 2008 年光化学討論会 2008 年 9 月 11-13 日 堺
 - (15) 内藤一也、立川貴士、藤塚 守、真嶋哲朗 “ゾルゲル、テンプレート法により合成した単一チタニアナノチューブにおける光触媒反応の単一分子観測” 2008 年光化学討論会 2008 年 9 月 11-13 日 堺
 - (16) D. W. Cho, 藤塚 守, U. C. Yoon, 真嶋哲朗 “ナフタルイミド-フェノチアジン結合分子の光誘起電荷移動過程” 2008 年光化学討論会 2008 年 9 月 11-13 日 堺
 - (17) 立川貴士、石垣隆正、J.-G. Li、藤塚 守、真嶋哲朗 “Eu³⁺ ドープ TiO₂ の単一粒子発光観測” 2008 年光化学討論会 2008 年 9 月 11-13 日 堺
 - (18) 川井清彦、小阪田泰子、藤塚 守、真嶋哲朗 “連続アデニン配列における DNA 内電荷分離機構” 2008 年光化学討論会 2008 年 9 月 11-13 日 堺
 - (19) 遠藤 政幸、藤塚 守、真嶋 哲朗 “ポルフィリンを導入したタバコモザイクウイルス超分子の光機能性” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
 - (20) 藤塚 守、白上 努、保田 昌秀、真嶋 哲朗 “アンチモンおよびリンポルフィリンの S₂ 電子移動” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
 - (21) 立川 貴士、麻野井 祥明、川井 清彦、藤塚 守、真嶋 哲朗 “TiO₂-DNA ナノ複合体における光触媒反応の単一分子観測” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
 - (22) 立川 貴士、S.-C. Cui、藤塚 守、真嶋 哲朗 “TiO₂ ナノ粒子に吸着したペリレンジイミド色素の単一分子蛍光観察” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
 - (23) 佐守 真悟、藤塚 守、藤乗 幸子、真嶋 哲朗 “ピレンダイマーラジカルカチオンの光解離過程” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
 - (24) 川井 清彦、小阪田 泰子、藤塚 守、真嶋 哲朗 “連続アデニン間ホール移動による DNA 内電荷分離機構” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
 - (25) 田井中 一貴、藤塚 守、真嶋 哲朗 “DNA 内過剰電子移動” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
 - (26) 小阪田 泰子、川井 清彦、藤塚 守、

- 真嶋 哲朗 “DNA アッセンブリー中での電荷移動におけるスティッキーエンドの影響” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
- (27) 坂本 雅典、立川 貴士、藤塚 守、真嶋 哲朗 “マルチカラーレーザーを用いた金属ナノ粒子の三次元位置特異的生成技術” 日本化学会第 88 春季年会 2008 年 3 月 26-30 日 東京
- (28) M. Fujitsuka, D. W. Cho, T. Shiragami, M. Yasuda, T. Majima “Intramolecular Electron Transfer from Axial Ligands to S₂-Excited Tetraphenylporphyrins (Invited Lecture)” 2007 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Nov. 22-25, 2007 Gyeongju, Korea
- (29) Y. Oseki, M. Fujitsuka, T. Majima “Energy Levels of Oligothiophenes in Higher Triplet Excited State” 2007 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Nov. 22-25, 2007 Gyeongju, Korea
- (30) K. Harada, M. Fujitsuka, T. Majima “Photoinduced Electron Transfer from S₂-Excited Porphyrins and Phthalocyanines” 2007 Korea-Japan Symposium on Frontier Photoscience, Nov. 22-25, 2007 Gyeongju, Korea
- (31) 立川貴士、内藤一也、藤塚 守、真嶋哲朗 “酸化チタン光触媒表面から拡散した酸素活性種の単一分子検出” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (32) 高田忠雄、藤塚 守、真嶋哲朗 “一分子蛍光測定による DNA 内ホール移動の観測” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (33) 坂本雅典、立川貴士、藤塚 守、真嶋哲朗 “光化学的手法を用いたポリビニルアルコール薄膜中での金/銅複合ナノ粒子の作成” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (34) 内藤一也、立川貴士、藤塚 守、真嶋哲朗 “可視光応答型酸化チタン表面から拡散した酸素活性種のリアルタイム単一分子検出” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (35) 小阪田泰子、川井清彦、藤塚 守、真嶋哲朗 “DNA 中での電荷移動速度に基づいた SNP タイピング” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (36) 立川貴士、H.-R. Chung、増原陽人、笠井均、及川英俊、中西八郎、藤塚 守、真嶋哲朗 “水中におけるペリレンナノ結晶成長過程の単一粒子観察” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (37) 川井清彦、藤塚 守、真嶋哲朗 “アクリジン修飾 DNA における光電荷分離” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (38) 高田忠雄、川井清彦、藤塚 守、真嶋哲朗 “DNA 内光電荷分離と電荷移動過程の観測” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (39) 蔡 喜臣、藤塚 守、真嶋哲朗 “トリメトキシベンゼンラジカルカチオン励起状態のホール移動反応” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (40) 原田 憲、藤塚 守、杉本 晃、真嶋哲朗 “ポルフィリンおよびフタロシアン類の S₂ 状態からの電荷分離過程” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- (41) 坂本雅典、金 成植、藤塚 守、真嶋哲朗 “2 色 2 光子反応を用いた還元サイクルの構築” 2007 年光化学討論会 2007 年 9 月 26-28 日 松本
- 〔図書〕 (計 1 件)
- (1) M. Fujitsuka, T. Majima, “Photochemistry of short-lived species using multibeam irradiation.” in “Advances in Photochemistry Volume 29” ed. by D. C. Neckers, W. S. Jenks, T. Wolff, John Wiley & Sons, Inc. New Jersey (2007), pp. 53-109. 57 ページ。
- 〔産業財産権〕
- 出願状況 (計 2 件)
- (1)
名称：金属クラスターの作成方法
発明者：真嶋哲朗、坂本雅典、立川貴士、藤塚守
権利者：大阪大学
種類：特許
番号：特願 2008-27633
出願年月日：H20(2008) 10.28
国内外の別：国内
- (2)
名称：固体媒体の加工方法
発明者：真嶋哲朗、坂本雅典、立川貴士、藤塚守
権利者：大阪大学
種類：特許
番号：特願 2008-161367
出願年月日：H20(2008) 6.20
国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤塚 守 (FUJITSUKA MAMORU)
大阪大学・産業科学研究所・准教授
研究者番号：40282040

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし