

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23350023

研究課題名(和文) 発光ビラジカルのダブルレーザー解析と「有機ラジカルEL」の開発

研究課題名(英文) Double Laser Analysis of Emissive Biradicals and Development of "Organic Radical Light-Emitting Diode"

研究代表者

池田 浩 (IKEDA, HIROSHI)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：30211717

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 15,500,000円、(間接経費) 4,650,000円

研究成果の概要(和文)：有機ラジカルELの開発のため、トリメチレンメタン(TMM)ビラジカルの発光特性の正確な評価は不可欠な課題の一つである。しかし、TMMビラジカルは短寿命中間体であるため、通常の方法を適用することが出来ない。本研究ではダブルレーザー法と種々のTMMビラジカル発生法を用いて発光特性の評価を検討した。光誘起電子移動反応は、励起TMMと増感剤との電子移動消光が問題となり効果的ではなかったが、分子内および分子間エネルギー移動反応を用いることでTMMビラジカルの発光特性を評価することができた。また、その過程でメチレンシクロプロパン誘導体の「励起状態C-C結合開裂 発光」現象を見出した。

研究成果の概要(英文)：Accurate evaluation of fluorescence properties of the trimethylenemethane (TMM) biradicals is one of the inevitable subjects to develop the organic radical light-emitting diode. However, conventional method is not applicable because the TMM biradicals are short-lived intermediates. In this work, we studied fluorescence properties of the TMM biradicals by employing double laser flash photolysis and various methods to generate the TMM biradicals. Although photoinduced electron-transfer reaction is not effective owing to single electron-transfer quenching of the excited TMM with sensitizer, we successfully evaluated the fluorescence properties of the TMM biradicals by utilizing intra- or intermolecular energy-transfer reaction. In addition, through this study, we discovered an "excited state C-C bond cleavage-emission" phenomenon of methylenecyclopropane derivatives.

研究分野：化学

科研費の分科・細目：基礎化学・有機化学

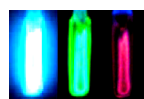
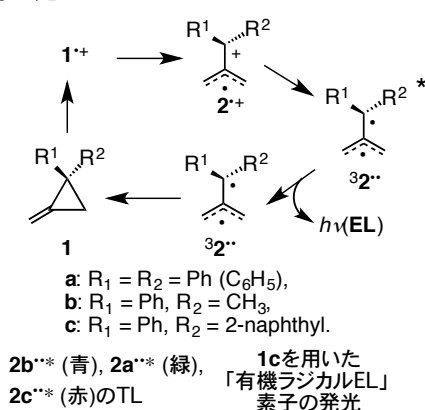
キーワード：電子 ラジカル 光反応 電子移動反応 有機EL 反応機構 ラジカルカチオン 熱発光

### 1. 研究開始当初の背景

有機 EL は、液晶に代わる次世代ディスプレイとして研究開発が行われてきており、既に小型ディスプレイが実用化されているだけではなく、最近では照明などの分野にも展開されている。一方、有機ラジカルは機能性材料として新たな注目を集めて、有機ラジカル電池がその好例である。

我々は既に、基質 **1** (スキーム 1) の化学反応で生じたトリメチレンメタン (TMM) ビラジカル  $2^{2*}$  を発光子として利用する「有機ラジカル EL」素子の開発に世界で初めて成功した。有機ラジカル EL の開発をさらに進めるためには、発光材料である  $2^{2*}$  の基礎物性を正確に評価する必要がある。しかし、 $2^{2*}$  はあくまで短寿命中間体であり、通常の発光材料の評価法を適用することはできない。そこで本研究では、種々の反応で  $2^{2*}$  を発生させ、それとダブルレーザー法を組み合わせることで  $2^{2*}$  の発光特性 (寿命  $\tau_{FL}$ , 量子収率  $\Phi_{FL}$ ) を決定するという試みを行った。

なお、有機 EL に有機ラジカルを応用する試みは、山形大・城戸研と早稲田大・西出研で見られ、いずれもニトロキシドラジカル (ちなみに、これらは発光しない) をホール輸送層に利用している。有機 EL の発光子として利用する目的で有機ラジカルを利用する研究が、国外で少なくとも 1 グループある。このような現状に鑑み、「有機ラジカル EL」という新概念に関してイニシアチブを維持するためにも本研究が必要不可欠であると考え、応募に至った。



青 緑 赤

スキーム 1. 基質 **1** の熱発光と反応性「有機ラジカル EL」の概略図。

### 2. 研究の目的

有機ラジカル EL の発光種である TMM ビラジカル  $2^{2*}$  の発光特性 (量子収率  $\Phi_{FL}$ , 蛍光寿命  $\tau_{FL}$ ) を明らかにし、有機ラジカル EL における優秀な発光材の開発指針を得ること。

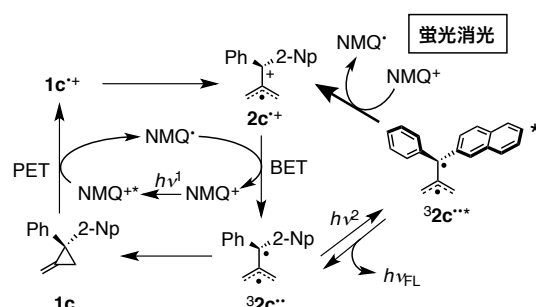
### 3. 研究方法

- ①化合物の合成
- ②分子間光誘起電子移動反応による TMM ビラジカルの発生と発光特性評価
- ③分子内エネルギー移動反応による TMM ビラジカルの発生と発光特性評価
- ④分子間エネルギー移動反応による TMM ビラジカルの発生と発光特性評価
- ⑤総括

### 4. 研究成果

平成 23 年度は、主にダブルレーザー法により、2-(1-ナフチル)-2-フェニル-1-メチレンシクロプロパン (**1c**, スキーム 2) の光誘起電子移動 (PET) 反応による基底状態のトリメチレンメタン型ビラジカル ( $3^{2c**}$ ) の発生と、その光励起により励起状態の  $3^{2c**}$  を発生させ、室温・溶液中における  $3^{2c**}$  の発光解析を行った。

ジクロロメタン中、*N*-メチルキノリニウムテトラフルオロボレート ( $\text{NMQ}^+\text{BF}_4^-$ )—トルエン共増感系で、第一レーザー ( $h\nu^1$ ,  $\lambda_{EX} = 355 \text{ nm}$ ) を照射したところ、PET および逆電子移動 (BET) により  $3^{2c**}$  が発生し、過渡吸収スペクトルが  $\lambda_{AB} = 385 \text{ nm}$  に観測された。そこで、第一レーザー照射の 500 ns 後に第二レーザー ( $\lambda_{EX} = 355 \text{ nm}$ ) を照射し、 $3^{2c**}$  を励起したが、 $3^{2c**}$  の発光はほとんど観測されなかった。これは、 $3^{2c**}$  が  $\text{NMQ}^+$  によって電子移動消光されてしまったためと考えられた。



スキーム 2. 基質 **1c** の PET 反応とダブルレーザー法による  $3^{2c**}$  の発生反応と消光。

□

平成 23 年度の結果を受け、PET ではなく、新しい反応系を設計して TMM ビラジカルを発生させる必要があると考えられた。そこで、平成 24 年度は、分子内光誘起エネルギー移動反応と光照射で、基底 TMM ビラジカルを発生させ、さらにそれを励起する反応系を設計した。具体的には、三重項増感部としてベンゾフェノン (BP) 部を導入したメチレンシクロプロパン **3** (図 1) を設計し、新たに合成した。そして、合成した **3** を用いて、それらの基礎的光物理、光化学特性の評価、量子化学計算によるエネルギーダイアグラム (図 1) の作成を行った後、ダブルレーザー法により励起 TMM ビラジカル  $3^{4**}$  の光化学および光物理特性を解析した。

基質 **3** は、BP 部由来の 340 nm 付近の n,p\* 遷移に由来する吸収帯を示す。室温ではほとんど発光しないが、77 K のメチルシクロヘキサノマトリクス中では BP 部位の燐光が著しく消光され、加えてビラジカル  $^34^{**}$  由来の蛍光が観測された。室温での基質 **3** のシングル LFP ( $h\nu^1$ , 355 nm) による過渡吸収スペクトルを測定すると、 $^34^{**}$  に帰属される吸収が  $\lambda_{AB} = 358$  nm に観測された。このことは、励起三重項状態の  $^33^*$  から基底三重項状態  $^34^{**}$  への開環が非常に速く進行することを示唆している。ダブル LFP においては、第一レーザー ( $h\nu^1$ , 355 nm) 照射の 2 ms 後における第二レーザー励起 ( $h\nu^2$ , 532 nm) により、 $^34^{**}$  の PL が  $\lambda_{PL} = 580$  nm 付近に観測され、ローダミン B を基準とした相対法から、その量子収率を  $\Phi_{FL} = 0.021$  と決定することに成功した。しかし、置換した BP 部位の影響からか、蛍光寿命が非常に短く、決定できなかった。

また、興味深いことに、**3** へ通常の光照射をするだけでも、 $^34^{**}$  の発光が観測されることが発見された (図 2a)。光強度効果の検討 (図 2b) から、この反応が、励起三重項状態の  $^33^*$  から励起三重項状態の  $^34^{**}$  への直接返還反応、即ち「励起状態 C-C 結合開裂-発光」系であることが明らかとなった。

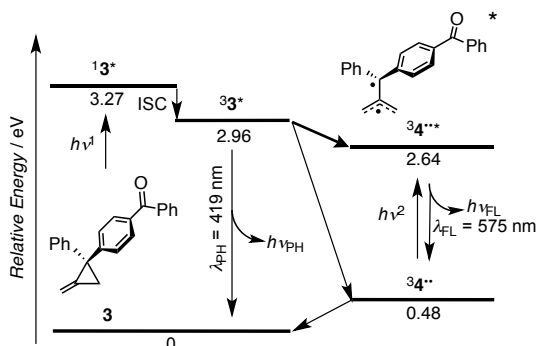


図 1. 基質 **3** の分子内エネルギー移動反応におけるエネルギーダイアグラム。

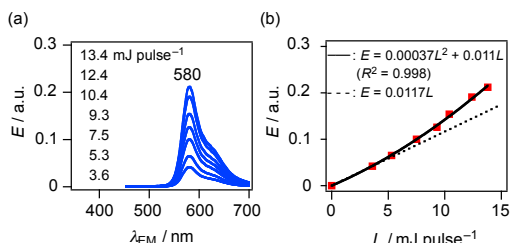


図 2. 分子内「励起状態 C-C 結合開裂-発光」における励起光強度  $L$  と発光強度  $E$  の相関。

平成 24 年度の結果では、蛍光量子収率  $\Phi_{FL}$  は決定できたが、 $\tau_{FL}$  は短すぎるため決定できなかった。これを踏まえ、25 年度は、分子内ではなく、分子間光エネルギー移動 TMM ビラジカルの発生を試みた。実際には、ベンゾフェノン (BP) を増感剤とする 2,2-ビス(4-ピフェニル)-1-メチレンシクロプロパン (**5**, 図 3) の三重項エネルギー移動反応を DLFP

法で検討した。

まず、基質 **5** を新たに合成した。基質 **5** と BP を含むベンゼン溶液に、第一レーザー光 (355 nm) を照射すると、**5** と BP\* の三重項エネルギー移動反応が進行し、対応する TMM ビラジカル  $^36^{**}$  ( $\lambda_{AB} = 380$  nm) の過渡吸収が観測された。第一レーザー光を照射してから 4  $\mu$ s 経過した後に、第二レーザー光 (532 nm) を  $^36^{**}$  に照射したところ、三重項励起 TMM ビラジカル  $^36^{**}$  に帰属される発光が 630 nm に観測された。ローダミン B を標準物質に用いて、発光量子収率  $\Phi_{FL} = 0.029$ 、さらに発光寿命を  $\tau_{FL} = 130$  ns と決定した。

さらに興味深いことに、分子間反応系においても、「励起状態 C-C 結合開裂-発光」現象の存在が、励起光強度  $L$  と発光強度  $E$  の相関から明らかとなった (図 4a,b)。これにより、「励起状態 C-C 結合開裂-発光」の一般性を明らかにすることができた。

一方で、TMM ビラジカル  $^34^{**}$  および  $^36^{**}$  の発光量子収率はそれほど高いものではないことが明らかとなり、分子設計を改善し、有機ラジカル EL の開発を進める必要がある。

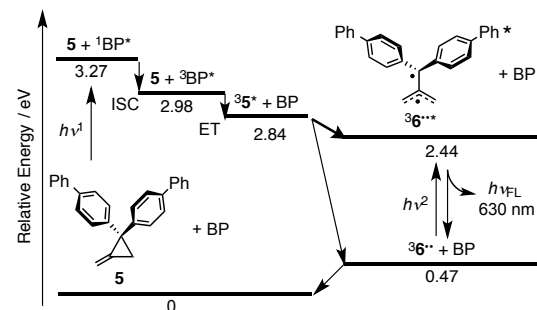


図 3. 基質 **5** と BP の分子間三重項エネルギー移動反応におけるエネルギーダイアグラム。

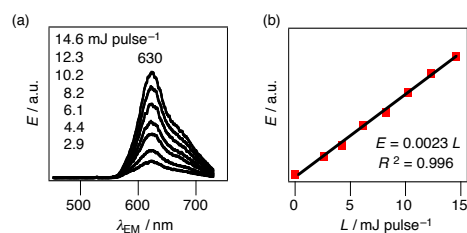


図 4. 分子間「励起状態 C-C 結合開裂-発光」における励起光強度  $L$  と発光強度  $E$  の相関。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

1. “Theoretical Study Demonstrating that Silylene Bridging Brings about LUMO Energy Lowering without Increasing the Reorganization Energy for Single Electron Transfer.” *Chem. Lett.* **2014**, *13*, in press. Ohta, E.; Ogaki, T.; Aoki, T.; \*Ikeda, H. (4 人, 最後尾, 査読有)
2. “Pyreno[4,5-*b*]furan and -[4,5-*b*:9,10-*b'*]difuran Derivatives as New Blue Fluorophores: Synthesis, Structure,

- and Electronic Properties” *Chem. Lett.* **2014**, *13*, in press. Kojima, T.; Yokota, R.; Kitamura, C.; Kurata, H.; Tanaka, M.; Ikeda, H.; Kawase, T. (7人, 6番目, 査読有)
3. “Formation of a New Benzotriquinane Skeleton via Intramolecular Photocycloaddition Reactions of a Phenylethyne Moiety to a 1-Cyanonaphthalene Ring System” *Photochem. Photobiol. Sci.* **2014**, *13*, 145–148. Mizuno, K.; Negoro, N.; Nagayama, Y.; Maeda, H.; Ikeda, H. (5人, 最後尾, 査読有)
  4. “Remarkable Difference in Fluorescence Lifetimes of the Crystalline States of Dibenzoylmethanoboron Difluoride and Its Diisopropyl Derivative” *Tetrahedron Lett.* **2013**, *54*, 4380–4384. Tanaka, M.; Ohta, E.; Sakai, A.; Yoshimoto, Y.; Mizuno, K.; Ikeda, H. (6人, 最後尾, 査読有)
  5. “Synthesis of Pentadecaphenylenes, Their Inclusion Properties, and Nanostructure Formation with C<sub>60</sub>” *Chem. Commun.* **2013**, *49*, 9251–9253. Rahman, M. J.; Shimizu, H.; Araki, Y.; Ikeda, H.; Iyoda, M. (5人, 4番目, 査読有)
  6. “Synthesis and Basic Properties of Tetrathieno[2,3-*a*:3',2'-*c*:2'',3''-*f*:3''',2'''-*h*]naphthalene: A New  $\pi$ -Conjugated System Obtained by Photoinduced Electrocyclization–Dehydrogenation Reactions of Tetra(3-thienyl)ethene” *Tetrahedron Lett.* **2013**, *54*, 4049–4053. Yamamoto, A.; Ohta, E.; Kishigami, N.; Tsukahara, N.; Tomiyori, Y.; Sato, H.; Matsui, Y.; Kano, Y.; Mizuno, K.; Ikeda, H. (10人, 最後尾, 査読有)
  7. “The Lifetime and Efficiency of Triplet–Triplet Fluorescence from the Excited State of a TMM Biradical Determined Using Transient Emission Spectroscopy on Two-color Two-laser Flash Photolysis” *Phys. Chem. Chem. Phys.* **2013**, *15*, 7064–7069. Matsui, Y.; Kawahara, D.; Ohta, E.; Ikeda, H. (4人, 最後尾, 査読有)
  8. “3,14-Bis(*p*-nitrophenyl)-17,17-dipenyl-tetrabenzo[*a,c,g,i*]-fluorene: A New Fluorophore Displaying Both Remarkable Solvatochromism and Crystalline-induced Emission” *Chem. Asian J.* **2013**, *8*, 392–399. Ueda, Y.; Tanigawa, Y.; Kitamura, C.; Ikeda, H.; Yoshimoto, Y.; Tanaka, M.; Mizuno, K.; Kurata, H.; Kawase, T. (9人, 4番目, 査読有)
  9. “White Light Emission from a Single Component System: Remarkable Concentration Effects on the Fluorescence of 1,3-Diaroylmethanoboron Difluoride” *Tetrahedron Lett.* **2012**, *53*, 4138–4141. Sakai, A.; Tanaka, M.; Ohta, E.; Yoshimoto, Y.; Mizuno, K.; Ikeda, H. (6人, 最後尾, 査読有)
  10. “DFT Studies of Unique Stereoelectronic Effects of Substituents on Divergent Reaction Pathways of Methylenecyclobutanone Radical Cations” *Tetrahedron* **2012**, *68*, 5564–5571. Kano, Y.; Tanaka, F.; Ohta, E.; Mizuno, K.; Ikeda, H. (5人, 最後尾, 査読有)
  11. “Design, Generation, and Characterization of a 1,5-Hexadiene Bearing Two Lophyl Radicals as a Probe of the Stepwise Mechanism for the Cope Rearrangement” *Bull. Chem. Soc. Jpn.* **2011**, *84*, 537–543. Ikeda, H.; Matsuo, K.; Matsui, Y.; Matsuoka, M.; Mizuno, K. (5人, 筆頭, 査読有)
  12. “A Probable Hydrogen-Bonded Meisenheimer Complex: An Unusually High S<sub>N</sub>Ar Reactivity of Nitroaniline Derivatives with Hydroxide Ion in Aqueous Media” *J. Org. Chem.* **2011**, *76*, 6356–6361. Imoto, M.; Matsui, Y.; Takeda, M.; Tamaki, A.; Taniguchi, H.; Mizuno, K.; Ikeda, H. (7人, 最後尾, 査読有)
  13. “Density Functional Theory Study of Silole-fused Tetramethyleneethane Biradicals with Orbital Interactions” *J. Phys. Org. Chem.* **2011**, *24*, 921–928. Kano, Y.; Mizuno, K.; Ikeda, H. (3人, 最後尾, 査読有)
  14. “Twisted Molecular Geometry and Localized Electronic Structure of the Triplet Excited *gem*-Diphenyltrimethylenemethane Biradical: Substituent Effects on Thermoluminescence and Related Theoretical Calculations” *Tetrahedron* **2011**, *67*, 7431–7439. Matsui, Y.; Namai, H.; Akimoto, I.; Kan'no, K.-i.; Mizuno, K.; Ikeda, H. (6人, 最後尾, 査読有)
- [学会発表] (計 26 件)
1. 2014年3月29日, 池田 浩, 熱ルミネッセンスおよび有機ラジカル EL をもたらす励起ビラジカルの三重項–三重項蛍光, 日本化学会第 94 春季年会, 名古屋. (招待講演)
  2. 2013年12月25日, 池田 浩, 有機ホウ素錯体および電荷移動錯体の結晶構造と発光挙動, 東海コンファレンス 2013 in 岐阜—光を利用した物質の構造制御と機能化—, 岐阜. (招待講演)
  3. 2013年12月5日, 池田 浩, 有機光化学および電子移動化学におけるヘテロ原子の活用～私の有機典型元素化学事始め～, 第 40 回有機典型元素化学討論会, 大阪. (招待講演)
  4. 2013年11月27日, Ikeda, H., “Spectroscopic and Exploratory Study of

- the Radical Cation Possessing One-electron  $\sigma$  Bond”, The 9th Korea–Japan Symposium on Frontier Photoscience (KJFP-2013), Seoul, Korea. (招待講演)
5. 2013年11月21日, Ikeda, H.; Ohta, E.; Kuramoto, Y.; Asada, N.; Mizuno, K., “Spectroscopic and Exploratory Study of the Radical Cation Possessing a One-electron  $\sigma$  Bond”, The 11th International Symposium on Organic Reaction 2013 (ISOR-11), Taipei, Taiwan. (招待講演)
  6. 2013年11月19日, Ikeda, H., “Spectroscopic and Exploratory Study of the Radical Cation Possessing a One-electron  $\sigma$  Bond”, Seminar of Physical Organic Chemistry at National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan. (招待講演)
  7. 2013年10月4日, 池田 浩, “6員環状1,4-ラジカルカチオンにおける理論上最大の軌道相互作用: 過渡吸収測定と古典的理論研究”, 大阪大学大学院工学研究科 中野雅由研究室セミナー, 大阪. (招待講演)
  8. 2013年7月24日, 池田 浩, “熱ルミネッセンスにヒントを得た「有機ラジカルEL」の開発研究”, 九州大学大学院博士課程教育リーディングプログラム 分子システムデバイスコース 第14回分子システムデバイスセミナー, 2013年7月, 福岡. (招待講演)
  9. 2013年6月6日, Ikeda, H., “Thermo- and Electroluminescence of Organic  $\pi$  Diradical”, The 11th International Symposium on Functional  $\pi$ -Electron Systems ( $F\pi$ -11), Arcachon, France. (招待講演)
  10. 2013年4月23日, 池田 浩 “熱ルミネッセンスにヒントを得た有機ラジカルELの開発”, 第131回第131回ラドテック研究会講演会, 東京. (招待講演)
  11. 2013年3月6日, 池田 浩, 有機発光三題 —媒体に依存するボロン錯体, 電荷移動錯体,そしてピラジカルの発光—, 繊維学会北陸支部先端技術研究会講演, 福井. (招待講演)
  12. 2012年10月22日, Ikeda, H.; Asada, N.; Ohta, E.; Oshima, M.; Mizuno, K., Spectroscopic and Theoretical Evidence for a Radical Cation with a One-electron  $\sigma$ -Bond Generated by PET Reaction, 7th Asian Photochemistry Conference 2012, Osaka, Japan. (招待講演)
  13. 2012年10月21日, 池田 浩, 光誘起電子移動反応から熱ルミネッセンス、そして有機ラジカルELへの展開, 住友化学(株)筑波開発研究所 講演会, 筑波. (特別講演)
  14. 2012年9月29日, 池田 浩, 高い発光特性をもつレドックス感応性開殻化学種の創製と機能, 「感応性化学種が拓く新物質科学」第1回公開シンポジウム, 宇治. (研究代表者口頭発表)
  15. 2012年9月12日, Ikeda, H., Generation of the Ground and Excited State Biradicals by Controlling BET Step in PET Reactions, 光化学討論会2012, 東京. (招待講演)
  16. 2012年8月3日, 池田 浩, 有機ラジカルカチオンから生まれる新しい化学現象 ~熱ルミネッセンス, 有機ラジカルEL, 一電子 $\sigma$ 結合を例に~, 第44回構造有機化学若手の会, 札幌. (招待講演)
  17. 2012年7月16日, Ikeda, H.; Asada, N.; Osahima M.; Mizuno, K., “Spectroscopic and DFT Evidence for a Radical Cation Possessing a One-electron  $\sigma$ -Bond”, XXIV IUPAC Symposium on Photochemistry, Coimbra, Portugal. (招待講演)
  18. 2012年7月19日, 池田 浩, ねじれた $\pi$ 空間をもたらす革新的「有機ラジカルEL」と特異な軌道相互作用, 「高次 $\pi$ 空間の創発と機能開発」第8回公開シンポジウム, 加賀. 研究代表者口頭発表.
  19. 2012年6月27日, 池田 浩, 熱ルミネッセンスと有機ラジカルEL—学生が見つけた大発見—, 福井大学大学院工学研究科講演会, 福井. (招待講演).
  20. 2012年1月28日, 池田 浩, 熱ルミネッセンスと有機ラジカルEL—学生が見つけてくれた大発見—, 信州大学教育学部講演会, 長野. (招待講演)
  21. 2011年12月20日, 池田 浩, 発光三題: 熱ルミネッセンス, 有機ラジカルEL, そして有機ボロン錯体の固体発光, 奈良先端科学技術大学第171回光ナノサイエンス特別講義, 奈良. (招待講演)
  22. 2011年11月25日, 池田 浩, 「府大発で世界初! 有機ラジカルELの秘密」, 大阪府立大学産官学共同研究会第72回テクノラボツアー, 堺. (招待講演)
  23. 2011年11月23日, Ikeda, H., Spectroscopic Observation of Radical Cations Possessing One-electron  $\sigma$ -Bonds: Photoinduced Electron-Transfer Reactions of Diarylated Cage Compounds, 10th International Symposium on Organic Reactions (ISOR10), 横浜. (招待講演)
  24. 2011年10月30日, \*Ikeda, H.; Asada, N.; Oshima, M.; Mizuno, K. Spectroscopic and DFT Evidence for a Radical Cation Possessing a One-Electron  $\sigma$ -Bond, The 8th Korea–Japan Symposium on Frontier Photoscience (KJFP 2011), Seoul, Korea. (招待講演)
  25. 2011年10月4日, 池田 浩, 有機ボロン錯体の固体発光特性と結晶構造—有機ボロン錯体の固体発光特性と結晶構造—, 近畿化学協会ヘテロ原子部会平成23年度第2回懇話会, 和歌山. (招待講演)
  26. 2011年9月8日, 池田 浩, 有機光電子移動反応の機構解明と発光化学への展開, 2011年光化学討論会, 宮崎. (2010

## 〔図書〕(計 11 件)

1. 池田 浩 (分担執筆), 光化学の事典—だれでもわかる光化学の初歩—, 光化学協会編, 朝倉書店, 2014, 138–139, “第 4 章 炭化水素—(1) オレフィン, 環状オレフィンの光化学”. (査読無)
2. 池田 浩, 松井康哲, “常識を覆す「有機ラジカル EL」”, 化学と工業, 日本化学会, 2014, 67, 335–337. (査読有)
3. 酒井敦史, 田中未来, 太田英輔, 池田 浩, “ジアロイルメタナートホウ素二フッ化物で見られる白色フォトルミネッセンス”, 化学工業, 化学工業社, 2014, 65, 27–31. (査読無)
4. 松井康哲, 木戸大希, 太田英輔, 池田 浩, “メチレンシクロプロパン誘導体の「励起状態 C–C 結合開裂—発光」の発見”, 光化学, 光化学協会, 2013, 43, 150–153. (査読有)
5. 狩野佑介, 太田英輔, 池田 浩, 高次  $\pi$  空間の創発と機能開発, 赤坂 健・大須賀篤弘・福住俊一・神取秀樹監修, シーエムシー出版 2013, 129–134. “第 3 章 高次  $\pi$  空間を利用した革新的機能開発, 1. 「ねじれた  $\pi$  空間」がもたらす基底および励起ラジカル種の特異な軌道相互作用” (査読無)
6. 水野一彦, 池田 浩, 太田英輔, 狩野佑介, 松井康哲, 真嶋哲朗, 藤塚 守, (分担翻訳), 分子光化学の原理, 井上晴夫, 伊藤 攻監訳, 丸善出版, 2013, 271–325. “第 6 章 有機光化学の分子理論”. (査読無)
7. 松井康哲, 水野一彦, 池田 浩, 特集号「有機合成がリードする材料の科学と機能」, “有機ラジカルの基礎特性とその機能化—過去の研究例から未来の有機ラジカル EL まで—”, 有機合成化学協会誌, 有機合成化学協会 2012, 70(5), 434–441. (査読有)
8. 池田 浩, 常識を打ち破る「有機ラジカル EL」, 化学工業, 2011, 62(3), 30–35 (198–203). (査読無)
9. 井本充隆, 竹田元則, 池田 浩, 松井康哲, 水野一彦, エキシプレックス発光性有機結晶: 1,4-ジシアノナフタレン—アレーン連結ダイアドの分子間および分子内エキシプレックスの生成, 化学工業 2011, 62(4), 48–52 (296–300). (査読無)
10. 川邊晶文, 水野一彦, 池田 浩, “第 1 章 ジアリアルエテンの極限性能, 5. テトラチエニルエテン誘導体のフォトおよびエレクトロクロミック特性”, フォトクロミズムの新展開と光メカニカル機能材料, 入江正浩・関 隆広監修, シーエムシー出版 2011, 38–46. (査読無)
11. 池田 浩, “熱ルミネッセンスの発見と革新的「有機ラジカル EL」の開発”, 科

## 〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

## 〔その他〕

(1) ホームページ

<http://www.chem.osakafu-u.ac.jp/ohka/ohka5/index.html>

## (2) 受賞

1. 2013 年光化学討論会にて優秀学生発表賞 (ポスター) を受賞 (2013 年 9 月). 木戸大希 (発表当時, 修士課程 1 年) “分子間エネルギー移動反応により引き起こされるメチレンシクロプロパン誘導体の「励起状態 C–C 結合開裂—発光」”
2. 第 24 回基礎有機化学討論会にてポスター賞を受賞 (2013 年 9 月). 木戸大希 (発表当時, 修士課程 1 年). “分子間エネルギー移動反応を利用したメチレンシクロプロパン誘導体の発光機構”
3. 日本化学会第 93 春季年会 (2013) にて学生講演賞を受賞 (2013 年 4 月). 松井康哲 (発表当時, 博士課程 3 年). “分子内三重項エネルギー移動反応とダブルレーザー法を利用した励起トリメチレンメタンピラジカルの発生”
4. 第 5 回 GSC (グリーンサステイナブルケミストリー) にて Student Travel Grant Awards を受賞 (2011 年 6 月). 松井康哲 (応募当時, 博士課程 2 年). “ラジカルを利用した低炭素型有機 EL 発光子”

## 6. 研究組織

## (1) 研究代表者

池田 浩 (IKEDA HIROSHI)

大阪府立大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 30211717

## (2) 研究分担者

なし

## (3) 連携研究者

なし

## (4) 研究協力者

松井康哲 (MATSUI YASUNORI), 大阪府立大学・工学研究科・博士研究員

木戸大希 (KIDO TAIKI), 大阪府立大学・工学研究科・大学院生