

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2012～2015

課題番号：24550222

研究課題名(和文) 二元機構で特性制御可能な有機固体発光材料の創成

研究課題名(英文) Development of organic solid-state luminescent materials controllable based on two-way mechanism

研究代表者

務台 俊樹 (MUTAI, Toshiki)

東京大学・生産技術研究所・助教

研究者番号：80313112

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、分子内水素結合を有する2-(2'-ヒドロキシフェニル)イミダゾピリジン(HPIP)が示す固体ESIPT発光の制御法として、従来の合成化学による化学構造変換を通じた電子状態制御(粗調整機構)に加え、新しい方法である分子の化学構造は変えずに集積構造を変えることによる状態制御(微調整機構)について、X線結晶構造解析や量子化学計算などから有効性を明らかにした。これらを組み合わせた二元制御機構が、固体発光波長を広くかつ段階的に制御可能にする手法であることを実証し、新しい有機固体発光材料の創成に向けた分子設計において有用性の大きい考え方となることを示した。

研究成果の概要(英文)：This research showed the validity of the new concept for controlling the solid-state ESIPT luminescence property based on the polymorphism of supramolecular assembly without changing chemical structure of compounds ("fine" control mechanism) by means of X-ray crystallographic analysis and quantum chemical calculation, in addition to the conventional synthetic modification of the electronic state of compounds ("coarse" control mechanism). Combination of the above two controlling mechanisms were confirmed to be useful for tuning the luminescence wavelength gradually and widely, which surely presented considerable potential leading to a valuable designing concept for developing novel organic luminescent materials.

研究分野：有機光機能化学

キーワード：光物性 蛍光発光 有機固体 結晶多形 ESIPT発光 計算化学 イミダゾピリジン 集積誘起発光AIE

## 1. 研究開始当初の背景

有機固体発光物質は、OLED や表示・記録材料など多方面での研究開発が活発であり、優れた有機固体発光物質の創出は学術・応用両面で極めて重要な課題である。しかし固相では分子間相互作用などを介した無輻射失活の寄与が大きく、溶液中で強い蛍光を示す物質がしばしば消光することから、嵩高い置換基導入や包接化などで蛍光部位の相互作用を抑制し「発光の低下を防ぐ」という方法論で材料設計がなされてきた。その一方、「溶液中では発光せず固体でのみ強く発光する」という従来とは正反対の発光挙動を示す系が2001年以降 Tang や Park らなどにより散発的に報告され始め、新規な有機固体発光材料としての展開が期待されているが、その発光挙動の詳細は解明されていない。

我々はこれまでに、非蛍光性のテルピリジンが特定の結晶系でのみ強い発光を示すことを見出し、発光特性と結晶構造との関連を初めて明確に示した (*Nature Mater.* **2005**, *4*, 685)。さらにヒドロキシフェニルイミダゾピリジン (HPIP, **1**, 図1) の励起状態分子内プロトン移動 (ESIPT) にともなう **1ex** からの ESIPT 発光についても明確な結晶構造-発光特性相関の存在を明らかにしている (*Angew. Chem. Int. Ed.*, **2008**, *47*, 9522)。

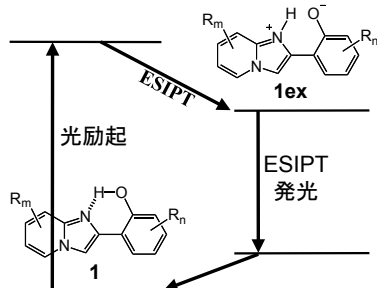


図 1

いずれの化合物も溶液中ではほとんど発光しない (量子収率 0.02 以下) が、固体では強い発光 (量子収率 0.3~0.5) を示す。固相でのみ強い発光を示す化合物は、分子集積構造と発光特性の関連を明確にした我々の報告以降、急速に増えており、新しい分子骨格を持つ未知の有機固体発光物質群の実現可能性を示唆している。

分子内水素結合を有する HPIP については、これまで固体 ESIPT 発光の機構解析を進め (基盤研究 (C)・H20-22)、結晶場による芳香環同士の二面角の精密固定が発光特性を決定づける要因となることなどを明らかにしてきた。その研究過程で、複数の HPIP 誘導体について置換基導入にともなう大きな発光波長変化 (~100 nm) が可視領域に見られ、いずれもその近傍 ( $\pm 15$  nm) で結晶多形に依存する発光変化が確認された。一方、光吸収バンドは 400 nm 以下の紫外領域にあり、発光と異なり置換基導入や結晶多形による明確な形状変化は見られなかった。

上の結果は、HPIP を基本骨格とした化合物群が、置換基導入という従来の直接的な電子状態制御による大きな発光変化に加え、結晶多形など分子集積構造の違いに基づく狭い波長領域での発光変化という二種類の制御機構が適用可能で、広範囲かつ精密な発光特性制御が可能な新しい有機固体発光材料となり得ることを示している。さらに吸収スペクトルが紫外領域でほぼ不変であることから、見た目には無色で高い発色性や演色性を示す発光材料、あるいは容易に発光混色の可能な有機固体発光材料への展開が出来ると考えた。

## 2. 研究の目的

以上をふまえて本研究では、「固体でのみ効率よく発光する」という従来と正反対の発光挙動を示す HPIP の ESIPT 発光に着目し、合成化学的手法による直接的かつ大きな有機固体発光特性制御法を**粗調整機構**、分子集積構造に基づく発光特性制御を**微調整機構**ととらえ、これら二種類の発光特性制御法を、化合物 **1** を先導構造とする複数の芳香環が単結合で結ばれた化合物群に適用し、固相発光を広範囲かつ段階的に制御可能にする新しい方法論を確立し、既知の蛍光団とは異なる新しい分子骨格を有する有機固体発光物質群の創出を目的とする。以下、具体的に述べる。

## (1) 粗調整機構の解析と分子設計指針の確立

HPIP 誘導体について、置換基の電子特性・導入位置と数を種々変えた誘導体を合成し、置換基の効果と有機固体発光特性の関連性について実験的知見を得る。さらに光吸収と ESIPT 発光に関わる四つの準位の軌道計算から、置換基導入の電子的効果の予測可能性とその限度について明らかにし、化学修飾を発光特性の粗調整機構として利用する分子設計指針を確立する。

## (2) 分子集積構造と有機固体発光特性との関連性評価と発光特性設計への展開 (微調整機構)

HPIP 誘導体の多形を作成し、それぞれが異なる発光特性を示すことを実証する。続いて計算化学により多形と発光特性との関連性を評価する。単結晶 X 線構造解析の結果をもとに ESIPT 状態にある分子を最近接分子で囲んだ集合構造を設定し、計算結果と有機固体発光特性との関連づけをおこなう。それらの結果を通じて微調整機構の有効性を示し、多形の制御条件を確立して材料化に向けた指針を策定する。

## (3) 発光特性を多様かつ容易に制御可能な新しい有機固体発光材料の創成

上記の検討で得られた、粗調整および微調整機構のさらなるすりあわせをおこない、二元制御機構という新しい方法論に基づいて固相発光の広範囲かつ段階的に制御可能にする新規な有機固体発光物質を創出する。さらに、見た目には無色で高い発色性や演色性を示す発光材料、および容易に混色発光の可能な有機固体発光材料への展開をはかる。

### 3. 研究の方法

本研究は以下に示す三段階で遂行した。

#### (1) 置換基導入による固体発光変化の機構解析と分子設計指針の確立 (粗調整機構)

ESIPT 発光を示す主な化合物は、いずれも励起状態において ESIPT 状態からケト型へ異性化しそこから発光する例が多い。しかし固相で強い ESIPT 発光を示すことが判明した HPIP 誘導体は、縮合部位の窒素原子のためにケト型になれず、無放射失活の要因となる  $n-\pi^*$ 遷移帯が存在しない。HPIP のプロトン移動体は、フェニル環とイミダゾピリジン環がドナー・アクセプターの関係にある (図 2)。そこで電子供与/求引性の異なる置換基 ( $-R_m$ ,  $-R_n$ ) を種々選択し、導入位置や数を変えた誘導体を網羅的に合成した。

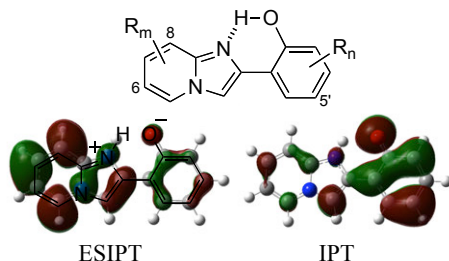


図 2

これら誘導体について、まず高分子マトリックス中で単独分子での固体吸収および発光特性を調べ、基底状態と ESIPT 過程における置換基導入の効果について基本的な知見を得た。続いてさまざまな条件下で固体化させ、結晶多形など分子集積構造の異なる固体が得られることを念頭に置きながら吸収および発光特性を調べ、化学修飾と固体発光特性との関連性を検討した。

続いて吸収と ESIPT 発光に関わる四つの準位の軌道計算から、置換基導入の効果予測の可能性と範囲について検討した。置換基導入による HOMO および LUMO エネルギー準位やエネルギーギャップの変化をさまざまなパラメータに対しプロットし、実験結果と突き合わせて関連性を明らかにすることを通じて、化学修飾を発光特性の粗調整機構として利用する分子設計指針の確立を目指した。

#### (2) 分子集積構造と固体発光特性との関連性評価と発光特性設計への展開 (微調整機構)

① HPIP 誘導体合成が進捗状況に応じて、分子集積構造の、固体発光特性の微調整機構としての評価検討を開始した。まず HPIP 誘導体の異なる分子集積構造 (結晶多形) を作成し、固体発光特性と単結晶 X 線結晶構造解析より発光特性と集積構造パラメータ (分子のコンホメーションやパッキング、二面角、水素結合および  $\pi-\pi$  スタック距離など) との関連づけをおこなった。

さらに、分子集積構造の積極的な制御を目指した分子設計の効果の評価した。具体的には、分子の電子状態に与える影響を最小限とするために占有体積の異なるアルキル基を

導入し、固体マトリックス中での単独分子および分子集積体の固体発光特性と結晶データを合わせて理解した。

実験データに基づき、計算化学により多形と発光特性との関連性を評価した。具体的には、単結晶 X 線構造解析の結果をもとに、ESIPT 状態にある励起分子を最近接分子で囲んだ集合構造を設定し、ONIOM 計算等で得られるエネルギー準位やエネルギーギャップ、双極子モーメント、分子軌道などの相違と発光特性との関連づけをおこなった。

② これらの結果を通じて微調整機構の有効性を示し、多形の制御条件を確立して材料化に向けた指針の策定をめざした。さらに (1) で得た知見とあわせ、提案した二元制御機構、すなわち合成化学的手法による直接的な電子状態制御という従来法 (粗調整機構)、固相中での集積構造に基づく発光特性制御という新しい手法を微調整機構としての利用することの妥当性を明らかにし、その有用性と適用可能範囲を示す。

#### (3) 発光特性を多様かつ容易に制御可能な新しい固体発光材料の創成

HPIP 誘導体間で吸収スペクトルがほぼ不変であることを利用し、発光物質の混合系において励起エネルギー移動等による相互干渉がなく、一つの励起波長で混色発光を示すという応用性の高い固体発光材料への展開を目指し、さまざまな発光特性を示す固体材料を作成し新しい有機固体発光物質群としての有用性を評価した。

### 4. 研究成果

(1) 粗調整機構について以下の成果を得た。

① 化合物 HPIP のフェニル環とイミダゾピリジン (IP) 環がドナー・アクセプターの関係にあることから、電子特性の異なる置換基 (メトキシ、メチル、ハロゲン、シアノ基など) を導入した 14 種類の誘導体を得た。ポリ (メタクリル酸メチル) (PMMA) 中における単分子状態の固体吸収・発光特性を評価したところ、 $R^2$  の電子供与性または  $R^3$  の電子求引性が大きいほど ESIPT 発光は長波長に観測された。

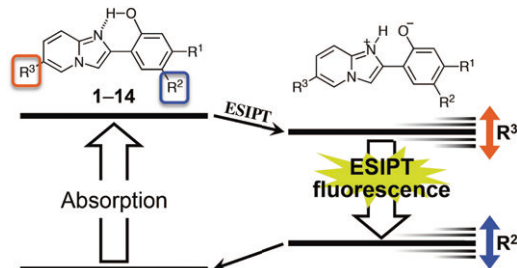


図 3

*Ab initio* 計算により発光エネルギーは有意の再現性が得られた。さらに IP 環への置換 ( $-R^3$ ) により発光準位が、フェニル環への置換 ( $-R^2$ ) により基底準位がそれぞれ大きく変化したことより、置換基が発光特性に与える効果すなわち粗調整機構の合理的に理解す

ることができた。また  $R^2$  と  $R^3$  の効果には加成性が見られた。すなわち、複数の置換基を導入した HPIP 誘導体の発光特性が、 $R^2$  と  $R^3$  それぞれの置換基効果の足しあわせで議論できることがわかった。合成化学に基づく粗調整機構の有用性と適用範囲、拡張性を示すことができた (*J. Org. Chem.* **2013**, *78*, 2482.)。② かさ高いアリール基を Suzuki カップリングで導入した HPIP 誘導体 (図 4) について、その種類や置換位置に依存して ESIPT 発光特性が系統的に変化することを見出し、382 (青色) ~ 630 nm (赤色) の幅広い領域で固体発光を示す化合物群を合成した (*J. Mater. Chem. C*, **2016**, *4*, 3599)。これらアリール体は結晶多形を形成せず、かさ高い置換基を用いることで粗調整機構のみが機能する系である可能性が示された。

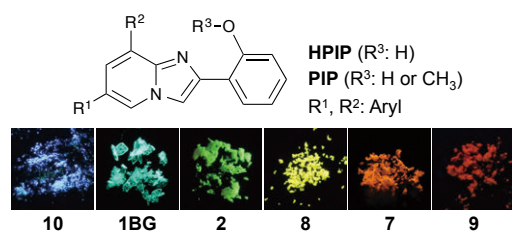


図 4

(2) 分子集積構造に基づく微調整機構について有用性を示す次の知見を得た。

① 合成した 14 種類の HPIP 誘導体について、結晶作成を種々の条件下でおこない、数種類の誘導体で二種類以上の結晶多形を得ることに成功した。発光スペクトルの結晶多形依存性は、化学修飾 (粗調整機構) による発光変化と比較して一般に小さいものの明確に観測され、微調整機構という方法論の有用性評価に向けた重要な基礎データが得られた。

これらの中で 6-シアノ HPIP は結晶構造に依存する三色の発光を示したことから、微調整機構を検討する適切な系と考え、X 線結晶構造解析と分子軌道計算 TD-DFT 法を用いて分子パッキングと発光エネルギーの関連性を調べた一分子、二分子、ONIOM 法など種々

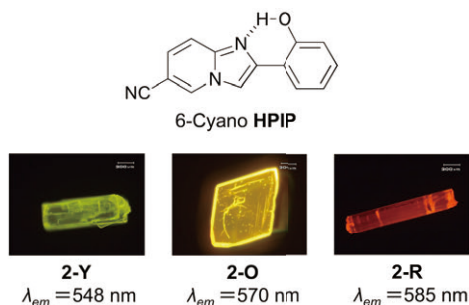


図 5

のジオメトリを比較した結果、 $\pi$ -スタックした二分子で実測値を定性的に再現し、最近接分子との相互作用が発光特性変化に重要であることが示唆された (*CrystEngComm*, **2014**, *16*, 3890.)。さらに、多分子系の計算

に有効とされる Fragment Molecular Orbital (FMO) 法を用いて 3~17 分子からなるクラスターについても計算し、分子パッキングの影響は隣接した数分子にほぼ限られることが示唆された (*Phys. Chem. Chem. Phys.* **2014**, *16*, 14388)。

③ HPIP 類似体である 2-(2'-ヒドロキシフェニル)ベンズイミダゾールに体積の異なる置換基を種々導入したところ、立体障害を適切に制御することで複数のねじれコンホメーションを取り、これをもとに異なる分子集積構造を形成することを見出した。これらは発光量子収率が大きく (100 倍以上) 異なった。分子集積構造を変えることで、化学構造が同一の分子が大きく異なる固体発光特性を示すという事実は微調整機構の有用性を示すものである。また、HPIP 類似体を用いたことで当初の研究計画を超えた非常に興味深い結果が得られ他と考えている。

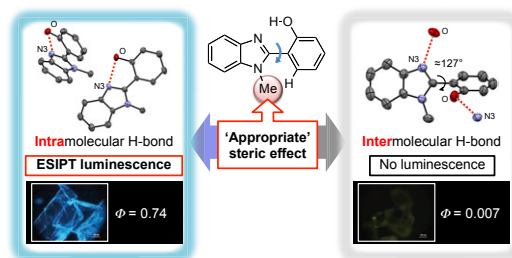


図 6

(3) 固体マトリックスが ESIPT 発光に与える影響を調べた。すなわち種々の汎用ポリマーに HPIP を分散した薄膜を作製し、分子集積体とは異なる観点から発光特性に対する周囲環境の効果を検討した。いずれのポリマー媒体中でも ESIPT 発光とノーマル発光の発光二色性が確認され、ポリマーの極性の減少に伴って ESIPT 発光の割合が増加し、見た目の発光色は橙色から青紫色まで段階的に変化した (図 7)。これまでの成果と合わせて微小環境変化を利用する発光特性制御法の有用性を示した。

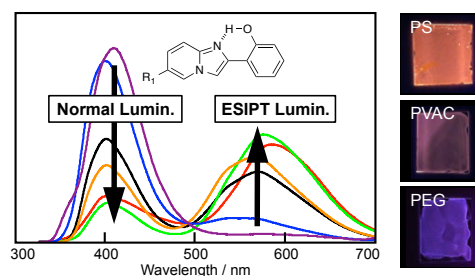


図 7

(PS: ポリスチレン/PVAC: ポリビニルアルコール/PEG: ポリエチレングリコール)

(5) 研究期間全般を通じ、まず HPIP の ESIPT 発光特性に対して置換基の種類や位置、数と与える効果について、単分子状態での固体吸収/発光測定や計算化学により評価し、合成化学に基づく粗調整機構を合理的に説明し

た (J. Org. Chem. 2013; J. Mater. Chem. C, 2016 など)。

また数種類の HPIP 誘導体が結晶多形に依存する ESIPT 発光を示した。特に 3 色の発光を示した 6-シアノ HPIP は結晶多形と発光特性との関連性を検討する適切な系であり、分子軌道計算 (TD-DFT, FMO など) より、最近接分子との相互作用が発光特性に重要であることが示された (CrystEngComm, 2014; Phys. Chem. Chem. Phys. 2014 など)。これより微調整機構の基本的な考え方を明らかにした。

以上の成果より、合成化学と超分子化学の二元機構による固体発光制御という方法論の有用性を明らかにした。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 16 件)

1. **Toshiki Mutai**, Tatsuya Ohkawa, Hideaki Shono, Koji Araki, “Development of Aryl-substituted 2-Phenylimidazo[1,2-*a*]pyridines (PIP) with Various Colors of Excited-State Intramolecular Proton Transfer (ESIPT) Luminescence in the Solid State”, *J. Mater. Chem. C*, **2016**, *4*, 3599–3606. 査読有, DOI:10.1039/c6tc00376a
2. Saori Takeda, Hiroka Yamada, **Toshiki Mutai**, Isao Yoshikawa, Hirohiko Houjou, “Triarylmethane Dye-Conjugated Hexanuclear Zinc Complexes: Photophysical Properties and Cyanide-Selective Anion-Sensing Behavior”, *Dyes and Pigments* **2015**, *121*, 372-378. 査読有, DOI:10.1016/j.dyepig.2015.05.038.
3. Shintaro Furukawa, Hideaki Shono, **Toshiki Mutai**, Koji Araki, “Colorless, Transparent, Dye-Doped Polymer Films Exhibiting Tunable Luminescence Color: Controlling the Dual-Color Luminescence of 2-(2'-Hydroxyphenyl)imidazo[1,2-*a*]pyridine Derivatives with the Surrounding Matrix”, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2014**, *6*, 16065–16070. 査読有, DOI:10.1021/am503956t.
4. Satomi Hara, Hirohiko Houjou, Isao Yoshikawa, Hiroyasu Sato, Akihito Yamano, Yukiko Namatame, **Toshiki Mutai**, Koji Araki, “Spectroscopic Tracking of Schiff Base Compounds' Hydrogen Bonding Reorganization Associated with Solid-to-Solid Phase Transition”, *J. Phys. Chem. A*, **2014**, *118*, 6979–6984. 査読有, DOI:10.1021/jp5063034.
5. Yasuhiro Shigemitsu, **Toshiki Mutai**, Hirohiko Houjou, Koji Araki, “Influence of intermolecular interactions on solid state luminescence of imidazopyridines: theoretical interpretations using FMO-TDDFT and ONIOM approaches”, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, **2014**, *16*, 14388-14395. 査読有, DOI:10.1039/c3cp55461a.
6. **Toshiki Mutai**, Hideaki Shono, Yasuhiro Shigemitsu, Koji Araki, “Three-color Polymorph-dependent Luminescence: Crystallographic Analysis and Theoretical Study on Excited-state Intramolecular Proton Transfer (ESIPT) Luminescence of Cyano-substituted Imidazo[1,2-*a*]pyridine”, *CrystEngComm*, **2014**, *16*, 3890-3895. 査読有, DOI:10.1039/c3ce42627k.
7. Hiroto Achira, Muneyuki Ito, **Toshiki Mutai**, Isao Yoshikawa, Koji Araki, Hirohiko Houjou, “Spontaneous helical folding of bis(Ni-salphen) complexes in solution and in the solid state: spectroscopic tracking of the unfolding process induced by Na<sup>+</sup> ions”, *Dalton Trans.*, **2014**, *43*, 5899-5907. 査読有, DOI:10.1039/c3dt53397b.
8. **Toshiki Mutai**, Hiroaki Sawatani, Toshihide Shida, Hideaki Shono, Koji Araki, “Rational Approach to Tuning of Efficient Excited-State Intramolecular Proton Transfer (ESIPT) Fluorescence of Imidazo[1,2-*a*]pyridine in Rigid Matrices by Substituent Groups”, *J. Org. Chem.* **2013**, *78*, 2482-2489. 査読有, DOI:10.1021/jo302711t.
9. Toshihide Shida, **Toshiki Mutai**, Koji Araki, “Sterically Induced Polymorphism: ON-OFF Control of Excited-state Intramolecular Proton Transfer (ESIPT) Luminescence of 1-Methyl-2-(2'-Hydroxyphenyl)benzimidazole”, *CrystEngComm*, **2013**, *15*, 10179-10182. 査読有, DOI:10.1039/c3ce41742e.
10. Yasuhiro Shigemitsu, **Toshiki Mutai**, Hirohiko Houjou, Koji Araki, “Excited-State Intramolecular Proton Transfer (ESIPT) Emission of Hydroxyphenylimidazopyridine: Computational Study on Enhanced and Polymorph-Dependent Luminescence in the Solid-State”, *J. Phys. Chem. A*, **2012**, *116*, 12041-12048. 査読有, DOI:10.1021/jp308473j.

[学会発表] (計 21 件)

招待および依頼講演

1. 務台 俊樹, 「有機超分子の発光化学」, 大阪府立大学 第 74 回白鷺セミナー, 大阪府立大学 (大阪府堺市), 2015.10.26.
2. 務台 俊樹, 「特異な発光を示す有機超分子の化学」, 広島大学大学院工学研究科



- 特別講演会, 広島大学 (東広島市), 2014.12.08.
3. 務台 俊樹, 「有機超分子のフォトルミネッセンスとその二元制御」, 4S6-14, 特別企画・ルミネッセンス化学アンサンブル: 新学理から花開く革新的発光化学 / 日本化学会第 94 春季年会, 名古屋大学, 2014.03.30.
  4. Toshiki MUTAI, “Structure/property relationship of polymorph-dependent ESIPT luminescence”, 3H1-45, Asian International Symposium / 日本化学会第 94 春季年会, 名古屋大学, 2014.03.29.
  5. 務台 俊樹, 長崎大学大学院工学研究科化学・物質工学セミナー 第 627 回例会「超分子の考え方に基づく有機固体発光材料」, 長崎大学, 2012.12.07.
  6. Toshiki MUTAI, “Piezo/Mechanochromic Luminescence of *p*-Substituted 1,3,6,8-Tetraphenylpyrene Derivatives”, OABC16, 17th Malaysian Chemical Congress (17MCC), Kuala Lumpur (Malaysia), 2012.10.15.

一般講演

1. 分子間相互作用部位を有するイミダゾピリジン誘導体の固体 ESIPT 発光, 金田 翔平, 吉川 功, 北條 博彦, 務台 俊樹, 日本化学会第 96 春季年会, 同志社大 (京都府京田辺市), 2016.03.26.
2. “Enhanced solid-state ESIPT luminescence of imidazopyridine derivatives: Polymorph dependence and stimuli-responsive behavior”, Toshiki Mutai, Yasuhiro Shigemitsu, Hdeaki Shono, Tatsuya Ohkawa, Hirota Sawatani, Koji Araki, 03MACR-1455, PACIFICHEM2015, Honolulu, 2015.12.19.
3. イミダゾピリジン誘導体の固体 ESIPT 発光における置換基効果, 務台 俊樹, 沢谷 浩隆, 加藤 拓, 吉川 功, 北條 博彦, 荒木 孝二, 2015 光化学討論会, 大阪市立大 (大阪市), 2015.09.11.
4. 複数の置換基を導入したフェニルイミダゾピリジンの固相 ESIPT 発光, 加藤 拓, 吉川 功, 北條 博彦, 務台 俊樹, 日本化学会第 95 春季年会, 日本大学 (千葉県船橋市), 2015.03.28.
5. 結晶多形に依存する ESIPT 発光 - アルキル基の立体効果による水素結合の制御, 務台 俊樹, 志田 俊秀, 荒木 孝二, 2014 光化学討論会, 北海道大学 (札幌市), 2014.10.11.
6. “Control of ESIPT Luminescence of 1-Methyl-2-(2'-hydroxyphenyl)benzimidazole by Sterically Induced Polymorphism”, Toshiki Mutai, Toshihide Shida, Koji Araki, P202, XXVth IUPAC Symposium on Photochemistry, Bordeaux (France), 2014.07.15.
7. 結晶中におけるベンズイミダゾール誘導体の ESIPT 発光 - 結晶構造とアルキル基の立体効果, 務台 俊樹, 志田 俊秀, 荒木 孝二, 第 24 回基礎有機化学討論会, 学習院大 (東京都), 2013.09.06.
8. フェニルイミダゾピリジン誘導体およびその配位化合物が示す固体発光, 務台 俊樹, 生野 秀明, 荒木 孝二, 第 25 回配位化合物の光化学討論会, 佐賀ロイヤルホテル (佐賀県唐津市), 2013.08.07.
9. 外部環境因子による新たな有機固体発光の制御法開発, 古川 信太郎, 生野 秀明, 務台 俊樹, 荒木 孝二, 日本化学会第 93 春季年会, 立命館大 (滋賀県草津市), 2013.03.23.
10. 集積構造変化によるプロモ置換イミダゾピリジンの固相 ESIPT 発光スイッチング, 高橋 優佳, 沢谷 浩隆, 務台 俊樹, 荒木 孝二, 日本化学会第 93 春季年会, 立命館大 (滋賀県草津市), 2013.03.24.
11. 分子内 / 分子間水素結合に基づく N-置換ベンズイミダゾールの固体発光制御, 志田 俊秀, 務台 俊樹, 荒木 孝二, 第 21 回有機結晶シンポジウム, 東京工業大 (横浜市), 2012.11.10.
12. ベンズイミダゾール誘導体の ESIPT 発光に対する N1-アルキル置換の効果, 志田 俊秀, 務台 俊樹, 荒木 孝二, 第 23 回基礎有機化学討論会, 京都テルサ (京都市), 2012.09.20.
13. “Solid-state ESIPT Luminescence - Multi-color Emission Based on Crystalline Polymorphism”, Toshiki Mutai, Koji Araki, PO93, XXIVth IUPAC Symposium on Photochemistry, Coimbra (Portugal), 2012.07.16.

[図書] (計 1 件)

1. Koji Araki, Toshiki Mutai, “Packing-Directed Tuning and Switching of Organic Solid-State Luminescence” in *Specialist Periodical Reports, Photochemistry, vol. 43* (ed. by Elisa Fasani), the Royal Society of Chemistry, London, 2015, p. 191-225.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

務台 俊樹 (MUTAI, Toshiki)  
 東京大学・生産技術研究所・助教  
 研究者番号: 80313112

(2) 連携研究者

吉川 功 (YOSHIKAWA, Isao)  
 東京大学・生産技術研究所・技術専門職員  
 研究者番号: 10401283