

令和元年6月26日現在

機関番号：24403

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H04194

研究課題名(和文)エキシマー発光の自在制御に基づく強発光型りん光性有機金属錯体の創出

研究課題名(英文) Development of Highly Phosphorescent Organometallic Complexes Based on Precise Control of Excimer Emission

研究代表者

八木 繁幸 (Yagi, Shigeyuki)

大阪府立大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40275277

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、エキシマー発光の制御によって様々な色調の発光を与えるりん光性有機金属錯体の創出を目的として、有機白金(II)錯体のエキシマー発光の発現機構について、特にシクロメタル化配位子の置換基効果や立体障害に焦点をあてながら、分光測定のみならずX線構造解析や計算化学を駆使して明らかにした。また、これらの知見をもとに、新奇エキシマーりん光性有機白金(II)錯体を設計・合成するとともに、これらを発光材料に用いて白色発光をはじめエキシマー電界発光を利用した有機EL素子を作製し、当該錯体の材料としての有用性を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

エキシマー発光を利用した材料設計が注目されているが、エキシマー形成は基底状態の分子とその励起種との相互作用に基づくため、その制御因子を実験的に究明することは困難である。我々は、有機白金(II)錯体に焦点をあて、実験化学によってエキシマー形成を支配する要因を明らかにするとともに、エキシマー発光性有機白金(II)錯体の分子設計指針・合成方法を確立し、発光材料としての有用性を実証した。以上の成果は、有機金属錯体の光物理過程を構造化学的観点から解明できた点で学術的意義が大きいだけでなく、デバイス実装への可能性を提示できた点において社会的意義も大きい。

研究成果の概要(英文)：Aimed at development of phosphorescent organometallic complexes of which emission color is tunable by controlling the excimer formation, we elucidated the mechanism of excimer emission of organoplatinum(II) complexes by combination of photoluminescence spectroscopic measurements with X-ray crystallographic analyses and theoretical calculations, especially focusing on substituent and steric effects of the cyclometalated and ancillary ligands. Based on the obtained results, we designed and synthesized novel organoplatinum(II) complexes exhibiting intense excimer phosphorescent emission. Using these complexes as emitting materials, we also fabricated excimer-based electroluminescent devices such as white organic light-emitting diodes and demonstrated how useful the developed excimer-phosphorescent complexes are as emitting materials.

研究分野：有機機能化学

キーワード：有機金属錯体 有機白金(II)錯体 りん光 エキシマー 有機EL 有機エレクトロニクス 発光材料

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

白金(II)やイリジウム(III)を中心金属とするりん光性有機金属錯体は、強いスピン-軌道相互作用によって室温下で効率的な発光を与え、様々な分野で発光材料として応用されている。特に、次世代の薄型ディスプレイや光源デバイスとして期待される有機 EL 素子では、りん光の利用により最高 100% の内部量子効率を実現できるため、有機金属錯体が発光材料として積極的に用いられる。これらの錯体はシクロメタル化配位子を適宜選択することで様々な発光色を与える。しかしながら、有機白金(II)錯体は、平面 4 配位構造に起因する基底状態の錯体と励起種との相互作用によってしばしばエキシマーを形成し、その発光(エキシマー発光)が原因で色調変化が生じるため、上述のディスプレイ等への応用には難点を有する。一方で、エキシマー発光を積極的に利用することによって、単一発光材料から様々な発光色を創出することができる。Forrest (*New J. Chem.*, **2002**, 26, 1171) や Williams (*Chem. Commun.*, **2012**, 48, 5817) らは、青色りん光性有機白金(II)錯体のモノマー発光とエキシマー発光の組み合わせによって単一材料で白色発光を創り出すことに成功しており、白色光源デバイスへの応用が期待される。また篠崎らは、有機白金(II)錯体の結晶に機械的なストレスを加えると、モノマー発光に帰属される黄色からエキシマー発光による橙色へと発光クロミズムが観測されることを報告しており(*Dalton Trans.*, **2009**, 711)、環境応答型センシング材料への応用も期待される。

本研究代表者もこれまでに、芳香族系補助配位子を用いて緑色りん光性有機白金(II)錯体のエキシマー形成を制御し、その濃度を変化させることで緑~赤橙色まで有機 EL 素子の発光色を制御することに成功した(*J. Phys. Chem. C*, **2013**, 117, 532)。このように、エキシマー形成とその発光挙動を制御できれば、単一化学種で様々な発光色調を創出することができる。しかしながら、エキシマー形成は励起化学種が関与するため、直接その構造を観察することはできない。よって、エキシマー形成に寄与する電子的要因やエキシマー発光を制御するための分子設計指針を得ることは極めて困難である。

2. 研究の目的

以上の研究背景から、本研究課題では、有機白金(II)錯体のエキシマー発光の発現の電子的・構造化学的因子を明らかにし、エキシマー発光を自在に制御することで様々な色調の発光の創出を目的とする。有機白金(II)錯体の精密合成を基軸として、X 線構造解析や計算化学を駆使しながらエキシマール光材料の創出に向けた分子設計指針を確立する。さらには、創出した錯体を発光材料に用いてエキシマー発光を利用した電界発光デバイスを作製し、エキシマール光材料としての有用性を実証する。本研究目的を達成するために、以下の(1)~(4)の項目について検討する。

- (1) 高効率エキシマー発光を示す有機白金(II)錯体の探索
- (2) 高効率エキシマー発光を示す有機白金(II)錯体を用いた有機 EL 素子の作製
- (3) X 線結晶構造解析と計算化学によるエキシマー発光の構造-機能相関の検討
- (4) 事前組織化によるエキシマー発光性有機白金(II)二核錯体の創成

3. 研究の方法

上述の項目(1)では、2-フェニルピリジナート、アセチルアセトナートをそれぞれシクロメタル化配位子、補助配位子とするヘテロレプティック型白金(II)錯体(以下、(ppy)Pt(acac))について、5'位の置換基がエキシマー発光に及ぼす効果について検討した。置換基効果については、発光寿命減衰測定からエキシマー生成速度定数を求め、定量的に評価した。

項目(2)では、(1)から得た知見に基づいて高効率エキシマー発光を与える青色りん光性(ppy)Pt(acac)型錯体を創成し、モノマー発光とエキシマー発光の組み合わせによって白色 EL 素子を作製した。また、キャリア輸送性デンドロンを付与したエキシマー発光性(ppy)Pt(acac)型錯体を用いて、非ドープ型有機 EL 素子の作製を試みた。

項目(3)では、(ppy)Pt(acac)型錯体の結晶状態における発光特性に着目し、エキシマー発光の発現と X 線構造解析から求めた分子パッキングとの相関について検討した。また、エキシマー発光を与える結晶構造をもとにして、時間依存密度汎関数理論(TD-DFT)計算を行い、エキシマーの構造を推定した。

項目(4)では、効率的なエキシマー発光を与える(ppy)Pt(acac)型錯体を二量化し、事前組織化により分子内エキシマー発光を与える二核錯体の創製について検討した。

4. 研究成果

(1) 高効率エキシマー発光を示す有機白金(II)錯体の探索

5'位に種々の置換基を有する一連の(ppy)Pt(acac)型錯体を合成し、その発光特性について検討した。溶液中では(濃度; 10 μM)、いずれの錯体もモノマーに帰属される発光しか示さないが、ポリ(メタクリル酸メチル)(以下、PMMA)薄膜中においては(ドープ濃度; 0.20 mmol g^{-1})、置換基の種類によってエキシマー発光の発現に大きな差異が認められた。特に、ベンゾイル基(1a)やアセチル基(2)を導入することで顕著なエキシマー発光が得られ、モノマー発光とほぼ同等の強度のエキシマー発光が観測された(図1)。また、これらの錯体については、それぞれ 0.47 (1a)、0.55 (2) といずれも高い発光量子収率(Φ_{PL})が得られた。また、これらの置換基に加えて4'位(1b)および4',6'位(1c)にフルオロ基を導入するとエキシマー発光の強度はさらに

増大し、同時にモノマー発光がブルーシフトすることがわかった。特に、**1c**では、PMMA薄膜へのドーピング濃度を調節することによって白色発光を得ることに成功した。

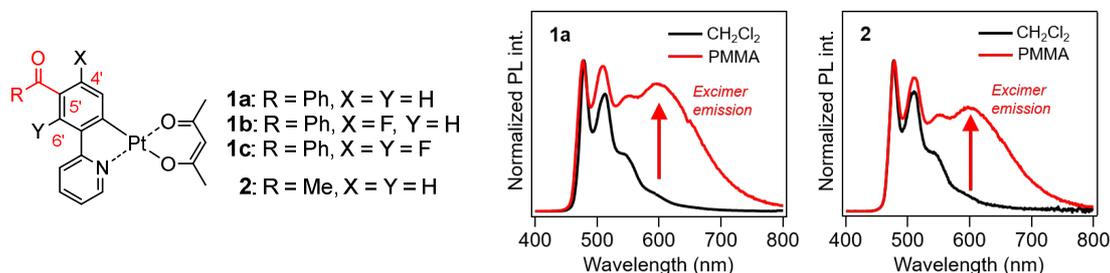


図1. 錯体**1**と**2**の構造と**1a**、**2**のジクロロメタン中およびPMMA薄膜中における発光スペクトル。

5'位の置換効果の要因を明らかにするために、**1a**のモノマーとエキシマーの発光減衰過程について速度論的解析を試みた。ジクロロメタン中、室温下において、モノマー発光の減衰 (@479 nm) は単一指数関数的であるのに対し、エキシマー発光の減衰 (@650 nm) はrise and decay型の曲線を描いて双指数関数的に減衰した。濃度を増大させた場合、エキシマー発光は強くなり、同時にエキシマー発光の第1寿命成分は減少したが、第2寿命成分はほぼ一定であった。このことから、エキシマー発光の生成過程は同条件下で見かけ上、不可逆的であることがわかった (図2a)。この場合、モノマー発光の寿命 (τ_M) の逆数は $k_M + k_{DM}[M]$ (k_M , k_{DM} , $[M]$ はそれぞれ、励起モノマーの失活速度定数、エキシマーの生成速度定数、および基底状態のモノマーの濃度) で表され、 $[M]$ に対して τ_M^{-1} をプロットすることにより、その傾きから k_{DM} を $2.2 \text{ nM}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と求めることができた。無置換の (ppy)Pt(acac) についても同様な解析を行ったところ、 k_{DM} は $0.5 \text{ nM}^{-1} \text{ s}^{-1}$ と見積もられ、ベンゾイル基の導入によってエキシマー生成速度が4.4倍も加速されることがわかった (図2b)。BrédasらはTD-DFT計算からエキシマー形成にはPt-Pt相互作用が必要であると指摘しており (*J. Am. Chem. Soc.*, **2009**, *131*, 11371)、本研究結果は、5'位の電子求引性基がPt-Pt相互作用を安定化させ、それにより三重項エキシマーの形成を促進することを示唆するものである。

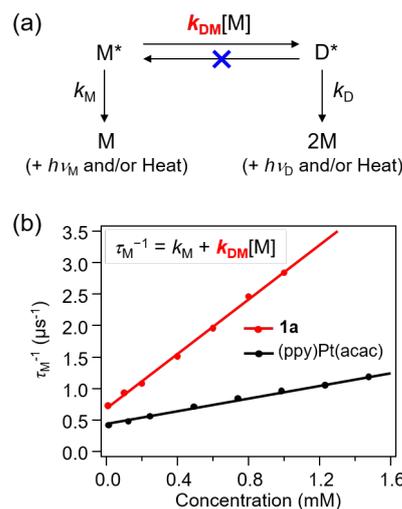


図2. (a) 不可逆的エキシマー生成過程 (M 、 M^* はそれぞれ基底状態と励起状態のモノマー、 D^* はエキシマー) と (b) 錯体濃度に対するモノマー発光寿命の逆数のプロット。

(2) 高効率エキシマー発光を示す有機白金(II)錯体を用いた有機EL素子の作製

本項目では、錯体 **1c** を発光材料に用いた有機EL素子を作製し、モノマー発光とエキシマー発光の組み合わせによる白色電界発光の創出を試みた。当該素子は真空蒸着法によって作製し、その構造は以下のとおりである；ITO (150 nm, anode)/F4TCNQ (3 nm)/NPB (50 nm)/TAPC (15 nm)/mCP:**1c** (30 nm)/TPBi (15 nm)/Alq₃ (20 nm)/LiF (1.5 nm)/Al (100 nm, cathode)。なお、発光層である mCP への **1c** のドーピング濃度は 15 wt% とした。得られた素子に電圧を印加したところ、モノマー発光とエキシマー発光の組み合わせにより可視光全域が覆われた電界発光スペクトルが観測され、国際照明委員会 (CIE) の定める色度座標が $(x, y) = (0.42, 0.42)$ 、色温度が 3430 K の白色電界発光が得られた (図3)。また、素子性能として、最大輝度 11500 cd m^{-2} (@8.8 V)、最大電流効率 16.0 cd A^{-1} (@7.8 V)、最大電力効率 6.68 lm W^{-1} (@7.4 V) が得られた。なお、**1c** のドーピング濃度を変化させることで、モノマー発光の青色からエキシマー発光が優勢な橙色まで電界発光の色調を調節することにも成功している。

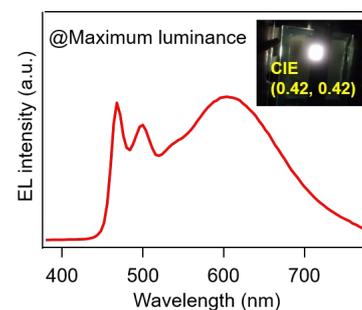


図3. 錯体 **1c** を発光材料とする白色有機EL素子の電界発光スペクトル (写真；発光中の素子)。

また、正孔輸送性 dendron をシクロメタル化配位子に導入した有機白金(II)錯体 **3a-d** (図4) を合成し、溶液塗布法により非ドーピング型有機EL素子を作製して、それらの電界発光特性を調べた。作製した素子の構造は以下のとおりである；ITO (150 nm, anode)/PEDOT:PSS (40 nm)/PVCz (20 nm)/**3** (30 nm)/TPBi (40 nm)/CsF (1 nm)/Al (250 nm, cathode)。補助配位子がアセチルアセトナートである **3a** と **3c** を発光層する素子では、ほぼエキシマーによる電界発光のみが観測されたのに対し、補助配位子がジピバロイルメタナートである **3b** と **3d** を発光層する素子ではエキシマーによ

る電界発光が抑制され、特に、よりかさ高いデンドロンを有する3dでは全ての錯体の中で最もエキシマーの電界発光が抑制された(図4)。すなわち、デンドロンと補助配位子の立体障害によって、エキシマー発光の強度を調節することに成功した。なお、3bと3dを発光層とする素子ではいずれもCIE色度がそれぞれ(0.37, 0.41)、(0.35, 0.40)の白色電界発光が得られ、最大発光輝度はそれぞれ2800 cd m⁻² (@10.5 V)、2200 cd m⁻² (@12.0 V)であった。以上のように、正孔輸送性デンドロンを付与したエキシマーりん光性有機白金(II)錯体を用いて溶液塗布法による非ドープ型白色有機EL素子の作製に成功し、その材料としての有用性を実証することができた。

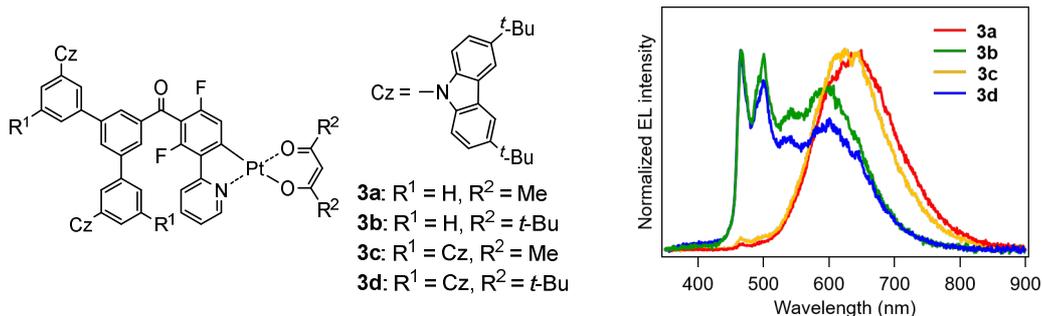


図4. 錯体3a-dの構造とこれらの錯体を発光層とする有機EL素子の電界発光スペクトル。

(3) X線結晶構造解析と計算化学によるエキシマー発光の構造 - 機能相関の検討

エキシマーは励起状態でのみ形成されるため直接観察することはできないが、その構造に関する知見を得ることができれば、エキシマー発光の制御するための分子設計の確立に向けて大きく進展することができる。本研究者は溶液中や PMMA 薄膜中で顕著なエキシマー発光を示す錯体について、結晶構造と発光特性の相関について検討した。錯体 1a-c と 2 について X線結晶構造解析を行ったところ、錯体 2 分子が 1 対となり逆平行型配向でスタッキングすることがわかったが、Pt-Pt 間の距離はいずれも異なり、Pt-Pt 距離が 4.43 Å から 5.53 Å の 1a-c ではエキシマーに帰属される発光は結晶から観測されなかった。一方、Pt-Pt 距離が 3.54 Å と短い 2 では(図 5a)、その結晶からエキシマーに帰属される橙色発光のみが観測された(図 5b)。これは、結晶中の分子配向が固定された系においても分子間の Pt-Pt 相互作用が可能であるためと考えられる。実際、2 の結晶構造をもとにした TD-DFT 計算から三重項励起状態の構造最適化を行ったところ、Pt-Pt 間の相互作用により逆平行型配向で二量化した convex-convex 型の構造が得られた(図 5c)。この構造は、金属-金属-配位子電荷移動(MMLCT)型の電子状態を有することからエキシマー状態に帰属することができ、(ppy)Pt(acac)型錯体のエキシマー形成には Pt-Pt 相互作用が必須であることを実験的に証明することに成功した。

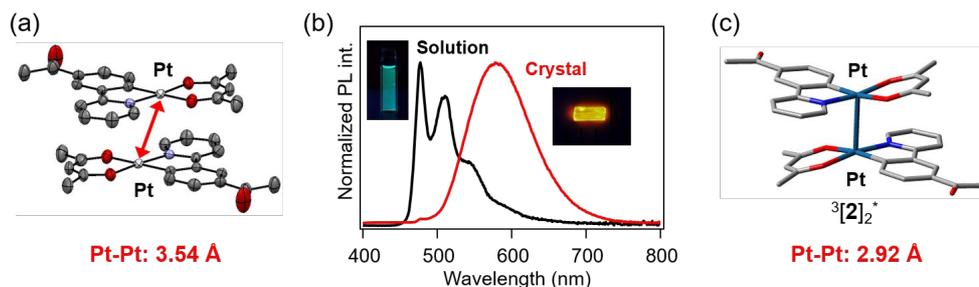


図 5. (a) 錯体 2 の結晶中における構造、(b) 2 をのジクロロメタン溶液と結晶の発光スペクトル、および (c) 結晶構造をもとに TD-DFT 計算から得られた三重項エキシマーの構造(条件; UB3LYP/LANL2DZ (Pt), 6-31+G(d) (他の原子))。

(4) 事前組織化によるエキシマー発光性有機白金(II)二核錯体の創成

エキシマー発光は分子間相互作用に基づく発光であり、濃度依存性を示す。本項目では、(ppy)Pt(acac)型錯体を適切なスペーサーで連結して分子内エキシマー形成を促進させ、濃度に依存することなくエキシマー発光を効率的に得ることを目指して、二核錯体 4 と 5 (図 6) を合成し、それらの発光特性を評価した。これらの錯体はジクロロメタン

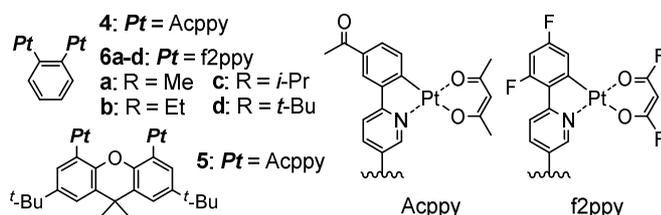


図 6. 有機白金(II)二核錯体 4-6 の構造。

ン中において、単核錯体ではエキシマー発光が観測されない低濃度においてもエキシマー発光を与え(図 7)、4 では 0.05–50 μM、5 では 0.05–5 μM の濃度範囲においてモノマー発光とエキシマー発光の強度比 (I_{rel}) がほとんど変化しないことから、分子内エキシマーを形成している

と考えられる。分子モデリングによる分子配座の検討から、4では逆平行型配向の、5では平行型配向のエキシマー構造をとると考えられ、4については実際にTD-DFT計算(条件; UB3LYP/LANL2DZ (Pt), 6-31+G(d) (他の原子))からエキシマー構造を得た(図8)。

分子内エキシマーは補助配位子の立体障害を変えることでも制御できる。錯体6a-d(図6)のジクロロメタン中における発光特性を調べたところ、補助配位子の立体障害が大きくなるにつれては I_{rel} 減少し、発光色も緑白色から淡橙色へと変化した。以上のように、有機白金(II)錯体の二量化による分子内エキシマー形成の事前組織化は、エキシマー発光を自在に制御するための方法として有効であることが示された。

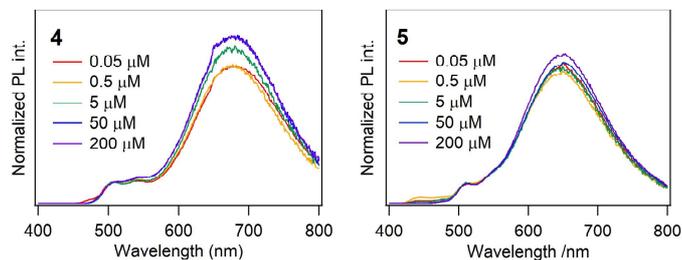


図7. 錯体4と5のジクロロメタン中における発光スペクトル。



図8. 錯体5のTD-DFT計算による三重項エキシマーの構造。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

R. Hiraoka, N. Okamura, T. Maeda, S. Yagi, Starburst-Type Triarylphosphine Oxide Trimers Forming a Stable Amorphous n-Type Layer in Solution-Processed Multilayer OLED, *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, 査読有, 印刷中.

八木繁幸, 岡村奈生己, 前田壮志, 溶液塗布型有機EL素子に向けた有機金属錯体の機能化: りん光性 dendritic 分子設計戦略, *有機合成化学協会誌*, 査読有, Vol. 77, No. 1, 2019, pp.26-39.

DOI: 10.5059/yukigoseikyokaishi.77.26

N. Okamura, T. Maeda, S. Yagi, Janus-Type Dendritic Organoiridium(III) Complex Bearing Hole- and Electron-Transporting Moieties: Synthesis, Luminescence Properties, and OLED Applications, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 査読有, Vol. 91, No. 9, 2018, pp.1419-1428.

DOI: 10.1246/bcsj.20180139

N. Okamura, K. Egawa, T. Maeda, S. Yagi, Control of Excimer Phosphorescence by Steric Effects in Cyclometalated Platinum(II) Diketonate Complexes Bearing Peripheral Carbazole Moieties towards Application in Non-doped White OLED, *New J. Chem.*, 査読有, Vol. 42, No. 14, 2018, pp.11583-11592.

DOI: 10.1039/C8nj01526k

N. Okamura, T. Maeda, H. Fujiwara, A. Soman, K. N. N. Unni, A. Ajayaghosh, S. Yagi, Photokinetic Study on Remarkable Excimer Phosphorescence from Cyclometalated Platinum(II) Complexes Bearing a Benzoylated 2-Phenylpyridinate Ligand, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 査読有, Vol. 20, No. 1, 2018, pp.542-552.

DOI: 10.1039/c7cp06944h

[学会発表](計20件)

布袋純一, 山下晃平, 前田壮志, 八木繁幸, フェニレン基で連結した有機白金(II)二核錯体の発光特性, 日本化学会第99春季年会, 2019年3月17日, 甲南大学岡本キャンパス.

布袋純一, 山下晃平, 前田壮志, 八木繁幸, エキシマー発光制御を指向した有機白金(II)二核錯体の開発, 日本化学会第99春季年会, 2019年3月16日, 甲南大学岡本キャンパス.

辻元英孝, 井上航輝, 山下晃平, 布袋純一, 前田壮志, 八木繁幸, リン光性シクロメタル化白金錯体の二量化による分子内エキシマー発光制御, 日本化学会第99春季年会, 2019年3月16日, 甲南大学岡本キャンパス.

八木繁幸, りん光 dendritic 分子を用いた積層型有機発光ダイオードの作製, 大阪府立大学産官学共同研究会第115回テクノラボツアー, 2018年12月18日, 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス.

有園春香, 岡村奈生己, 前田壮志, 八木繁幸, 藤原秀紀, 新規りん光性有機白金(II)錯体のメカノクロミック発光, 2018年度色材研究発表会, 2018年9月7日, 近畿大学東大阪キャンパス.

山下晃平, 前田壮志, 八木繁幸, 有機白金(II)錯体の二量化によるエキシマー発光制御, 2018年度色材研究発表会, 2018年9月7日, 近畿大学東大阪キャンパス.

八木繁幸, りん光 OLED を指向した有機金属錯体の創成: 低分子から dendritic 分子まで, 2018年度色材研究発表会, 2018年9月6日, 近畿大学東大阪キャンパス. 【招待講演】

R. Hiraoka, N. Okamura, T. Maeda, S. Yagi, Starburst-Type Triarylphosphine Oxide Trimers

Forming a Stable Amorphous n-Type Layer in Solution-Processed Multilayer OLED, 2018 KJF International Conference on Organic Materials for Electronics and Photonics (KJF-ICOMEPE 2018), September 5th, 2018, Nagaragawa Convention Center, Gifu.

S. Yagi, Control of Excimer Formation of Phosphorescent Organoplatinum(II) Complexes, 2018 Collaborative Conference on Materials Research (CCMR 2018), June 25th, 2018, Songdo Convensia, Incheon, South Korea. 【招待講演】

有園春香, 岡村奈生己, 前田壮志, 八木繁幸, 三座型シクロメタル化配位子を有するりん光性白金(II)錯体の発光メカノクロミズム, 日本化学会第 98 春季年会, 2018 年 3 月 23 日, 日本大学理工学部船橋キャンパス.

N. Okamura, T. Maeda, H. Fujiwara, A. Soman, S. Das, N. Unni, A. Ajayaghosh, S. Yagi, Elucidation of Excimer Formation of Phosphorescent Cyclometalated Platinum(II) Complexes at the Molecular Level, 日本化学会第 98 春季年会, 2018 年 3 月 23 日, 日本大学理工学部船橋キャンパス.

岡村奈生己, 前田壮志, 藤原秀紀, Das S., Ajayaghosh A., 八木繁幸, 単結晶 X 線構造解析を利用したシクロメタル化白金(II)アセチルアセトナート錯体のエキシマー構造の推定, 第 29 回配位化合物の光化学討論会, 2017 年 8 月 6 日, 宮崎大学木花キャンパス.

H. Matsuura, T. Maeda, S. Yagi, Y. Sakurai, Phosphorescent Dipyridophenazine-Platinum(II) Complexes Bearing Carbazole-Appended Acetylide Ligands for Non-Doped Organic Light-Emitting Diodes, Joint Symposium of Asia Five Universities, November 9th, 2017, Osaka Prefecture University, Sakai.

S. Yagi, Functional Chromophoric Systems Based on Fused Phenazines, International Conference on Emerging Frontiers in Chemical Sciences 2017 (EFCS2017), September 24th, 2017, Farook College, Kozhikode, India. 【招待講演】

S. Yagi, Phosphorescent Organometallic Complexes for OLED Application. From Small Molecules to Dendrimers, 8th East Asia Symposium on Functional Dyes and Advanced Materials (EAS8), September 22th, 2017, CSIR-International Institute for Interdisciplinary Science and Technology, Thiruvananthapuram, India. 【基調講演】

N. Okamura, T. Maeda, S. Yagi, Blue Phosphorescent Organoiridium(III) Complexes Bearing Hole- and Electron-Transporting Dendrons for Non-Doped Organic Light-Emitting Diodes, 8th East Asia Symposium on Functional Dyes and Advanced Materials (EAS8), September 21th, 2017, CSIR International Institute for Interdisciplinary Science and Technology, Thiruvananthapuram, India.

S. Yagi, Development of Phosphorescent Organometallic Complexes for Solution-Processed OLED, 2017 Collaborative Conference on Materials Research (CCMR 2017), June 26th, 2017, International Convention Center Jeju, Jeju, South Korea. 【招待講演】

N. Okamura, T. Maeda, S. Yagi, Tuning of Excimer Emission from Phosphorescent Organoplatinum(II) Complexes Aimed at Non-Doped White Organic Light-Emitting Diode, 日本化学会第 97 春季年会, 2017 年 3 月 16 日, 慶應義塾大学日吉キャンパス.

八木繁幸, 有機 EL 用りん光性有機金属錯体の開発, 日本真空学会関西支部・日本真空工業会関西支部秋季講演会, 2016 年 10 月 26 日, ホテル大阪ベイタワー. 【招待講演】

N. Okamura, S. Yagi, T. Maeda, H. Nakazumi, Highly Efficient Excimer Phosphorescence from Cyclometalated Platinum(II) Complexes with Benzoylated Phenylpyridinate Ligands, The 26th IUPAC Symposium on Photochemistry, April 4th, 2016, Osaka City Central Public Hall, Osaka.

〔図書〕(計 2 件)

八木繁幸, シーエムシー出版, 機能性色素の新規合成・実用化動向 実用化動向編 第 1 章 2 節 有機 EL 用発光材料の開発, 2016, pp.119-140.

八木繁幸, シーエムシー出版, 元素ブロック材料の創出と応用展開 第 1 章 4 節 有機エレクトロニクスを指向した有機金属元素ブロック材料の創出, 2016, pp.33-42.

〔その他〕

ホームページ等

大阪府立大学 大学院工学研究科 物質・化学系専攻 応用化学分野 有機機能化学研究グループ

<http://www2.chem.osakafu-u.ac.jp/ohka/ohka6/>

6. 研究組織

(1)研究分担者 なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 櫻井芳昭 ローマ字氏名: Yoshiaki Sakurai

研究協力者氏名: 小関史朗 ローマ字氏名: Shiro Koseki