

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 19 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26620165

研究課題名(和文) 大きな円偏光機能と発光量子収率を両立する遅延蛍光分子の創製

研究課題名(英文) Highly efficient circularly polarized organic luminogens with a large dissymmetry factor of circularly polarized luminescence characteristics

研究代表者

平田 修造 (Hirata, Shuzo)

東京工業大学・物質理工学院・助教

研究者番号：20552227

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：大きな発光量子収率(PL)および大きな円偏光発光(CPL)の2色性を示す熱活性化遅延蛍光(TADF)分子の開発を目指した。最高占有軌道と最低空軌道をキラルな配置にとる芳香族分子らを合成し、TADFとCPLの両者を示す分子を報告した。トリフェニルアミンとベンゾフェノンからなるスピロ化合物の光学活性体からはほぼ100%のPLと 4×10^{-4} の2色性因子 $|g|$ を示すCPLの放出が確認された。この分子を発光層に用いたEL素子では発光層における光学活性体の濃度が30%の時に9.5%のEL外部量子効率を示したが、濃度の増加とともに分子間遷移の寄与が大きくなりELからのCPL特性が失われた。

研究成果の概要(英文)：Three kinds of metal-free aromatic compounds (CPDF1-3) with a chiral carbon sandwiched between a donor moiety and an acceptor moiety were designed. They showed thermally activated delayed fluorescence (TADF) as well as circularly polarized luminescence (CPL) characteristics. (R)-CPDF3 and (S)-CPDF3 showed CPL with a dissymmetry factor of 4×10^{-4} in toluene solution. CPDF3 doped into π -conjugated host with large energy of the lowest triplet excited state displayed a photoluminescence quantum yield of 99%. An electroluminescence (EL) device having a 30 wt% CPDF3 doped π -conjugated host as an emitting layer showed an external EL quantum yield of 9.5%. With increasing the concentration of (R)-CPDF3 and (S)-CPDF3 in the emitting layer, intermolecular charge transfer transition largely contributed to TADF, causing a disappearance of CPL characteristics from the devices.

研究分野：有機光エレクトロニクス

キーワード：Delayed fluorescence TADF CPL Chirality OLED EL display Display Contrast

1. 研究開始当初の背景

有機 EL ディスプレイでは外光反射を抑制してコントラストを上げるために 1/4 波長板と偏光板が用いられるが、偏光板で半分の光が吸収され効率が低下している(図 1 左)。もし発光層から直接円偏光発光(CPL)が放射されれば、その光は 1/4 波長板で特定方向の偏光成分に変換されロスなく外部に取りだされる(図 1 右)。

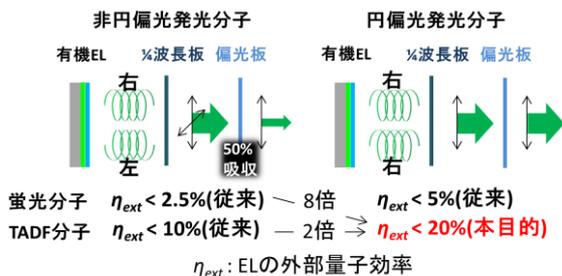


図 1 有機 EL ディスプレイにおける円偏光発光のメリット

一方 2012 年に希少金属を用いずに電気エネルギーを 100%近い効率で光エネルギーに変換可能な熱活性化遅延蛍光(TADF)分子が報告されている(Nature 2012, 492, 234)。このタイプの分子では、最高占有軌道(HOMO)と最低空軌道(LUMO)が空間的に分離されることで、最低励起一重項(S_1)と最低励起三重項(T_1)のエネルギー差(ΔE_{ST})が小さくなる分子設計が取られている。この分子では小さな ΔE_{ST} のために T_1 から S_1 への逆項間交差が生じ、その後遅延蛍光が放射されることで、内部量子効率(η_{int})100%の電界発光が実現されている。

以上から、もし TADF 分子から直接 CPL が放射されれば、100%の効率で電光変換された光が、EL ディスプレイの反射防止層に阻害されることなく効率よく光を外部に取り出すことが可能になる。

2. 研究の目的

研究代表者は、HOMO と LUMO をキラル炭素に対して光学活性の関係に配置するという分子設計により、CPL の大きな 2 色性と 100%の発光量子収率の両特性を兼ね備えた TADF 分子を見出すことを目的とする。

3. 研究の方法

図 2 に示すようにトリフェニルアミンであるドナー(D)とカルボニル基で置換された芳香族であるアセプター(A)からなるキラル分子を設計した。表 1 に示す TD-DFT による量子化学計算から、これらの分子は基底(S_0)状態でも最適化された構造において HOMO と LUMO の分離に伴い、通常の蛍光分子と比較して小さな ΔE_{ST} を示した。それゆえ TADF の発現が期待される。また、CPL の 2 色性因子(g_{lum})発光強度(I_L)と右円偏光の発光強度(I_R)を用いて $g_{lum} = |2(I_L - I_R)/(I_L + I_R)|$ と表される。 g_{lum} は $S_1 - S_0$ の振動子強度(F)と Rotatory Strength(R)を用いて $g_{lum} \propto |R|/|F|$ の関係となる。表 1 の結果は S_0 状態の最適化構造を用いた雑駁な性能のスクリーニングであるが、 R が有限の値を示し、 F が比較的小さな値であるため CPL の発現が予想される。

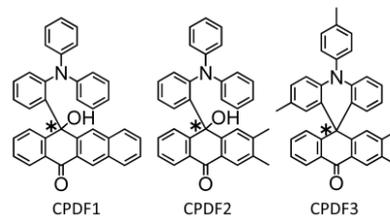


図 2 設計したキラル TADF 分子の分子構造. * はキラル炭素を示す。

表 1 S_0 状態での構造における TADF や CPL に関与する物理因子の計算結果. 計算は TD-DFT(Gaussian09/B3LYP/6-31G(d,p))を用いて行われた。

Molecule	HOMO	LUMO	S_1 energy (eV)	ΔE_{ST} (eV)	F	R (10^{-40} erg-esu-cm/Gauss)
(R)-CPDF1			3.00	0.47	1.1×10^{-2}	-5.25
(R)-CPDF2			3.13	0.24	9.4×10^{-3}	-5.27
(R)-CPDF3			2.79	0.03	1.5×10^{-3}	-4.81

4. 研究成果

(1) TADF 特性と円偏光発光特性の両者を示す分子の開発

図 3 に CPDF1 の S_0 もしくは S_1 における最適化構造を用いて計算された $S_0 - S_1$ 遷移に関係する電子軌道と T_1 における最適化構造を用いて計算された $T_1 - S_0$ 遷移に関係する電子軌道の計算結果を示す。この計算結果から S_1 状態から S_0 状態へは電荷移動(CT)遷移となるのに対して T_1 状態から S_0 状態へは局所型 (LE)遷移となることが示唆された。

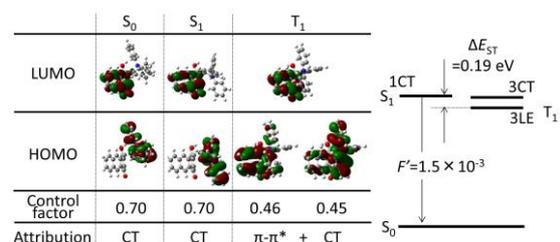


図 3 の CPDF1 のヤブロンスキー図および各過程での最適化構造を含めた電子軌道。

図 4 に CPDF の吸収および発光スペクトル (上段) および CD および円偏光発光スペクトル (下段) を示す。CPDF1 は 400-450 nm 付近にモル

吸光係数(ϵ)の小さな吸収が存在する。この S_0 - S_1 遷移の小さな ϵ は表 1 の F が小さい傾向と一致する。このような F が小さい遷移は CT 遷移に由来し、これは表 1 の計算結果と同様の傾向である。また、図 4a の緑色は蛍光スペクトルであるが、蛍光スペクトルは振動構造を持たない。また蛍光量子収率(4%)と蛍光寿命(13.9 ns)から決定される蛍光速度定数(k_f)は $3.0 \times 10^6 \text{ s}^{-1}$ と小さく、この k_f から計算された S_1 状態の構造における振動子強度(F')は 3.6×10^{-3} と小さい。さらにこれは図 2 に示すように S_1 で最適化された CPDF1 の F' の計算値 (1.5×10^{-3}) と同等の値を示した。これらのことから、CPDF1 の S_1 状態は図 3 の電子軌道に示した通り強い CT 性を有することが実験的にも確認される。

一方で図 4a の橙色のスペクトルは CPDF1 の 77K におけるりん光スペクトルである。振動構造が明確に確認されたことから、 T_1 - S_0 遷移は 3LE 遷移性を含むものであり、このことは図 3 の計算結果と同様の傾向であった。このことから CPDF1 は TD-DFT 計算によって推定された図 3 のヤブロンスキー図を有することが実際の実験においても確認された。

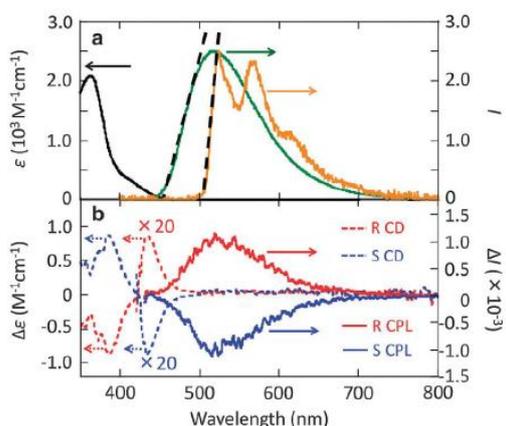


図 4 トルエン中での CPDF1 の鏡像異性体の光学スペクトル. (a) 吸収(黒), 蛍光(緑), りん光(橙)スペクトル. りん光は 77K で測定された. (b) CD および CPL スペクトル.

また図 4b に示すように、**CPDF1 の鏡像異性体は溶液中で CPL を示した**。CD スペクトルから S_0 - S_1 遷移は 470 nm 程度にオンセットがあることが確認される。R 体と S 体はそれぞれ S_0 - S_1 遷移帯の CD スペクトルに対して正および負のコットン効果を示した。さらに CPL スペクトルにおいてでも R 体と S 体はそれぞれ正および負のコットン効果を示した。 $|g_{\text{lum}}|$ 値を見積もったところ、 1.1×10^{-3} であった。

図 5 は CPDF1 を T_1 エネルギーが大きな共役ホストである 1,3-bis(carbazole-9-yl)benzene (mCP) にドーブした薄膜における発光寿命、発光スペクトル特性、および発光の温度依存性の結果である。CPDF1 のドーブ薄膜は図 5a の通りミリ秒にわたる遅延蛍光を示した。図 5a の挿入図の青線は光励起後ナノ秒域の発光ス

ペクトルであり、緑色はマイクロ秒からミリ秒領域の発光スペクトルの形状である。橙色のスペクトルは 77K におけるりん光スペクトルの形状である。遅延発光スペクトルのエネルギーは蛍光スペクトルのそれに近く、遅延蛍光スペクトルであることが考えられ、この緑色のスペクトル成分のみの温度依存性を測定すると、図 5b の緑色プロットの通り温度上昇とともにアレニウスの関係を示すように増加した。このことから、**CPDF1 のミリ秒における遅延発光は TADF であることが確認された**。

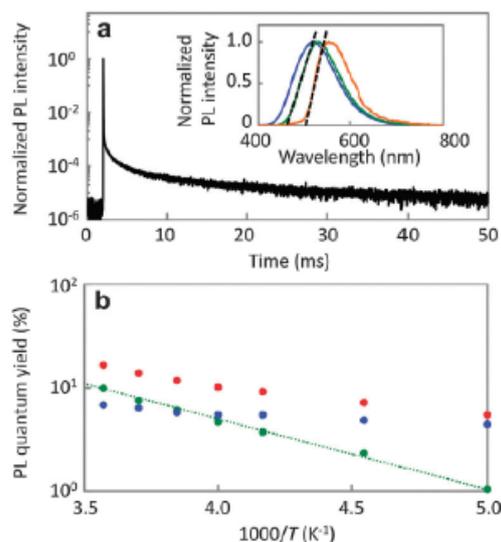


図 5 CPDF1 が 9 wt% の濃度で mCP にドーブされた薄膜の発光特性. (a) 光励起時の発光寿命. 挿入図はプロンプト蛍光のスペクトル(青), 遅延蛍光スペクトル(緑), そして 77K 冷却時のりん光スペクトル. (b) 蛍光のプロンプト成分の量子収率(青), 遅延蛍光の量子収率(緑), 全体の発光量子収率(赤).

以上から CPDF1 を用いて **TADF 特性を CPL 特性を両立する分子を初めて報告するに至った**(T. Imagawa *et al*, *Chem. Commun.* **2015**, *51*, 13268)。しかし CPDF1 の発光量子収率および $|g_{\text{lum}}|$ 値は低く、両者の大きな向上が必要となる。

(2) 発光量子収率が改善された CPL 放射性 TADF 分子の構築

CPDF2 および CPDF3 は CPDF1 同様に CPL および TADF の両者を示し、発光量子収率に関しては大幅な改善が確認された。図 6a に CPDF2 や 3 が bis{2-[di(phenyl)phosphino]phenyl}(DPEPO) にドーブされた薄膜の発光寿命を示す。CPDF2 と 3 においても遅延蛍光に相当するマイクロ秒オーダーの寿命を有する発光ダイケイが観測された。さらにこの遅延成分に相当する発光スペクトルは蛍光スペクトルの形状とほぼ同等であることが確認された。CPDF2 や 3 の TADF の寿命が CPDF1 のそれよりも速いのは、図 3 に示すように CPDF1 では T_1 状態が 3LE であったために S_1 の ICT 状態とのエネルギー差が大きくなり ΔE_{ST} が大き

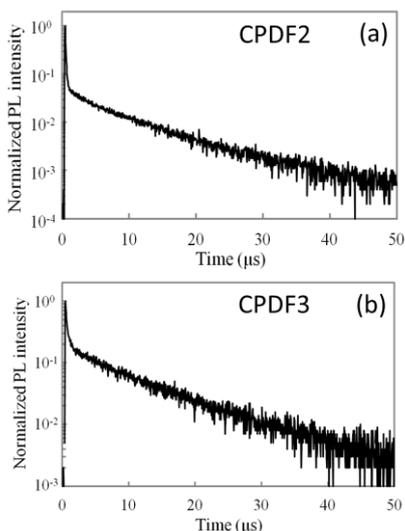


図 6 CPDF2(a)と CPDF3(b)がドーブされた DPEPO 薄膜の発光寿命特性.

表 2 CPDF1-3 の S_1 および T_1 の構造, 電子状態, そして ΔE_{ST} の計算値.

Compound	S_1		T_1		ΔE_a (eV)
	HOMO	LUMO	HOMO	LUMO	
CPDF1					0.62
CPDF2					0.20
CPDF3					0.017

Gaussian09/B3LYP/6-31G(d,p)

一方で、CPDF2 や 3 では表 2 に示すように T_1 も CT 状態であるために、本質的に ΔE_{ST} が小さくなることに由来していると考えられる。ここで TADF のための活性化エネルギーは蛍光エネルギーとりん光エネルギーの差（通常蛍光スペクトルのオンセットエネルギーとりん光スペクトルのオンセットエネルギーの差）である ΔE_{ST} ではなく、図 7 のように励起状態準位間のエネルギー差 (ΔE_a) で考えた方が妥当であると考えられる。表 2 中には示す通り CPDF1 に対して CPDF2 や 3 は ΔE_a が小さくなっており、これにより室温のエネルギーでより TADF が発生しやすい状

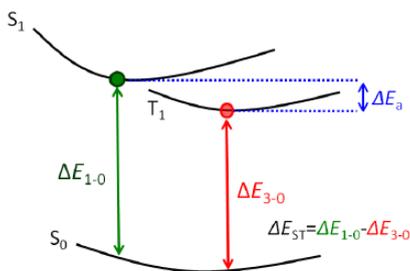


図 7 ΔE_{ST} と ΔE_a の違いを説明するエネルギーダイアグラム. ΔE_{1-0} と ΔE_{3-0} はそれぞれ蛍光およびりん光エネルギーである.

況になっていて、マイクロ秒オーダーのディレイを持つ高速の TADF が発生していると考えられる。

このような TADF 速度の増加は遅延蛍光を効率よく取り出すのに寄与している。表 3 に蛍光のプロンプト成分の量子収率 (Φ_{pf}) および遅延蛍光の量子収率 (Φ_{df}) を示す。 Φ_{pf} は CPDF1-3 まで大幅に変化はしない一方で、CPDF1 に対して CPDF2 や 3 では Φ_{df} が大きく増加した。 Φ_{pf} と蛍光寿命のプロンプト成分から算出した k_f を比較すると CPDF2 や 3 では CPDF1 に対して低下している。このような蛍光放射性能の低下にも関わらず、TADF が顕著に観測されるのは、 ΔE_{ST} が小さくなり T_1 から S_1 への逆項間交差が効率よく生じていることに起因している。**CPDF3 ではほぼ 100% の発光量子収率が得られ、TADF の寄与も 78% と非常に大きい。**

表 3 CPDF1-3 がドーブされた DPEPO 薄膜の発光量子収率および発光寿命.

Compound	Calculation*		Experimental				
	F ($\times 10^{-3}$)	$\cos\theta$	Φ_{pf} (%)	Φ_{df} (%)	k_{pf} ($\times 10^6 \text{ s}^{-1}$)	F' ($\times 10^3$)	$ g_{lum} $ ($\times 10^3$)
CPDF1	1.5	0.69	11	15	2.9	3.4	1.1
CPDF2	0.4	0.31	23	46	3.9	4.5	0.3
CPDF3	<0.01	≈ 0	21	78	0.59	0.69	0.4

*Gaussian09/B3LYP/6-31G(d,p)

図 8 には CPDF2 および CPDF3 の鏡像異性体の CPL スペクトルを示す。CPDF2 および 3 は CPDF1 と同様に R 体において左回りの CPL を示し、S 体において右回りの CPL を示した。**CPDF2 と CPDF3 の CPL の $|g_{lum}|$ 値はそれぞれ 0.3×10^{-3} および 0.4×10^{-3} であった。**

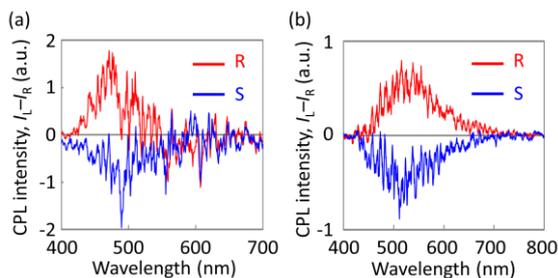


図 8 CPDF2(a)および CPDF3(b)のトルエン溶液中での CPL スペクトル.

表 3 に CPDF1 から 3 の $|g_{lum}|$ 値と F' の実験値、そして F' と磁気双極子モーメント (M') の成す角 (θ) の計算結果を示す。 $|g_{lum}|$ は F', M' 、そして θ を用いて以下の式であらわされる。

$$|g_{lum}| = 4 |\cos\theta| |M'| / |F'|, \quad (\text{式 1})$$

CPDF1 から CPDF2 における $|g_{lum}|$ の低下は θ の値がより 0 度へ近づき $|F'|$ が大きくなったことで説明可能である。一方で、CPDF3 では θ は限りなく 0 に近いにも関わらず、 $|g_{lum}|$ が CPDF2 に対して多少大きくなった。CPDF2

と CPDF3 を比較した場合、CPDF3 の $|F^*|$ が大きく減少している。これらのことから、CPDF3 では $|F^*|$ が大きく減少する一方で $|M^*|$ が大きく減少しないと考えられ、これがたとえ θ が 0 に近づいたとしても $|g_{lum}|$ が大きく減少しない要因となっている。このような $|F^*|$ が限りなく小さい高効率発光分子の $|F^*|$ や $|M^*|$ や θ のサイエンスは十分評価されていないため、さまざまな $|F^*| \neq 0$ のキラル分子系の CPL の解析を行う必要があると考えられる。

以上から、CPDF2 および CPDF3 では CPL と TADF の両者が観測され、**CPDF3 においてはドーブ薄膜において光励起時に 100% の発光量子収率および 78% の TADF の量子収率が得られた。**

(3) EL 素子としての評価

(R)-CPDF3、(S)-CPDF3、そして CPDF3 のラセミ体を発光層に導入した 3 種の有機 EL 素子 (ITO (50 nm) // α NPD (40 nm) / mCP (10 nm) / X wt% CPDF3:DPEPO (15nm) / DPEPO (10 nm) / TPBi (40 nm) / LiF (0.8 nm) // Al (150 nm)) を真空蒸着法により作成した。図 9 に (R)-CPDF3 をドーパントとして用いた EL 素子の外部量子効率 (η_{ext}) と電流密度 (J) の関係を示す。(R)-CPDF3 が低濃度の場合、発光量子収率はほぼ 100% であるにも関わらず、 η_{ext} が 3% と小さい値にとどまった。CPDF3 のような青緑色発光材料の場合、DPEPO など

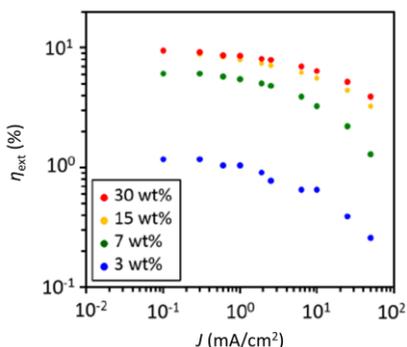


図 9 (R)-CPDF3 を用いた EL 素子における η_{ext} と J の関係。

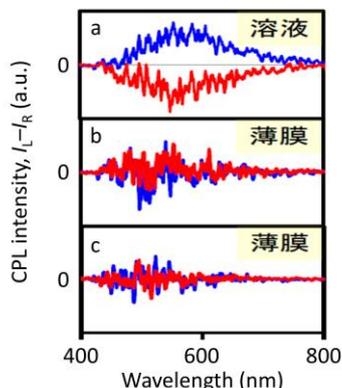


図 10 (R)-CPDF3 (青) や (S)-CPDF3 (赤) のさまざまな環境下での CPL スペクトル。(a) トルエン溶液中のデータ、(b) 30 wt% ドープ DPEPO 薄膜中のデータ、(c) 有機 EL 素子の電界発光におけるデータ。

の T_1 の高いホストが必要となるが、このようなエネルギーギャップの大きいホストを発光層に用いた場合、ホールと電子をバランスよく発光層で再結合させるのが困難であり、再結合領域がしばしばずれる。より簡便に再結合サイトを CPDF3 がドーブされた層で生じさせるためには DPEPO に対して HOMO や LUMO が浅いゲストである CPDF3 を高濃度ドーブしていく必要があり、実際 30% ドープまでは、 η_{ext} の向上が観測された。**(R)-CPDF3 の 30% ドープ膜を有する EL 素子の η_{ext} は 9.5% まで増加し、蛍光分子を用いた η_{ext} の理論限界を超えているため、TADF により三重項励起エネルギーを取り出すことができている**と考えられる。

図 10 の a と b は (R)-CPDF3 および (S)-CPDF3 の溶液中およびドーブ薄膜中の光励起時の CPL スペクトルである。さらに図 10c は図の (R)-CPDF3 および (S)-CPDF3 が 30% の濃度で発光層にドーブされた EL 素子からの電界発光における CPL スペクトルである。溶液状態では CPL が観測されたのに対して、**高濃度ドーブ薄膜中やその EL 発光からは CPL が観測されなかった。**高濃度薄膜の発光スペクトルを確認したところ、濃度の増加とともにわずかに長波長に発光スペクトルがシフトしていることが確認された。CPDF3 のような HOMO と LUMO が大きく分子された分子では、分子内の CT 遷移の速度が著しく遅い。**そのため高濃度ドーブした場合は、隣接する分子同士の間での CT 遷移も競合して生じるようになる。**この分子間の発光は電子軌道の重なりが分子内と比較して若干小さくなるため、よりエネルギーが低い発光となる。CPL はもともと分子内で HOMO と LUMO がキラルな配置に置かれていたことに由来していたが、分子間遷移の場合には非晶薄膜がゆえに光学活性の電子配置間ではない遷移となる。それゆえ CPL が放射されなくなると考えられる。

(4) 本成果と今後の展開

本研究では、大きな発光量子収率および円偏光の 2 色性を示す TADF 分子の開発を目的とした。

HOMO および LUMO のキラル配置および S_1 や T_1 の CT 性を制御することで CPL と TADF を示す分子を初めて見出した。さらに発光量子収率が 100% に迫る分子においても CPL 特性を確認するに至った。しかし、有機 EL デバイス下では、ホールと電子の再結合バランスを保つために、高濃度で発光材料を用いる必要があり、このような高濃度下では分子間電荷移動遷移が支配的になり、CPL 特性が消失するという問題点も明確になった。

この問題点を改善するための対策を打ったところ、現在薄膜状態で発光量子収率を低下させず、 $|g_{lum}|$ 値を少なくとも 10^{-2} のオーダーにまで大幅に向上させることに成功している。現在この方策を起点に 100% 近い発光量子収率と大きな $|g_{lum}|$ 値を有する TADF 材

料および薄膜作成の開発を進めている。

有機 EL ディスプレイでの光の取出し効率の優位性を示すためには、発光量子収率が 1 に迫りそして $|g_{lum}|$ 値も少なくとも 10^0 に迫るような性能が必要である。特に発光量子収率が 50% 以下となる材料では $|g_{lum}|$ 値が最大値の 2 であっても、そのような円偏光発光性能は通常の発光体と 1/4 波長板や偏光板を用いたり、コレステリック液晶にドープして選択反射帯を利用することで作り出すことが可能である。さらに、有機 EL 素子の発光層などの数 10 nm の薄さを必要とする応用では、上記 1/4 波長板や偏光板やコレステリック液晶の手法は用いることはできない。

以上から 50% 以上の発光量子収率を示す材料でどれだけ $|g_{lum}|$ を向上させるかが応用面まで考慮にいれた場合は重要であり、直接 100% の TADF と大きな $|g_{lum}|$ 値を有する CPL の両者を示すような発光材料は実現は高性能ディスプレイを実現するための依然重要な課題である。

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 6 件)

- 1) **S. Hirata**, K. Shizu: Organic Light-Emitting Diodes: High-throughput virtual screening, *Nat. Mater.*, 15, 1056-1057 (2016). **Invited news & views article.** doi:10.1038/nmat4750.
- 2) T. Imagawa, **S. Hirata**, K. Totani, T. Watanabe, M. Vacha: Thermally activated delayed fluorescence with circularly polarized luminescence characteristics, *Chem. Commun.*, 51, 13268-13271 (2015). **Inside Back Cover,** doi:10.1039/C5CC04105H. 査読有
- 3) K. Shizu, Y. Sakai, H. Tanaka, **S. Hirata**, C. Adachi, H. Kaji: Meta-linking strategy for small singlet-triplet energy gap of thermally activated delayed fluorescence emitters, *ITE Trans. on MTA*, 3, 108-113 (2015). doi.org/10.3169/mta.3.108. 査読有
- 4) T. Fukushima, J. Yamamoto, M. Fukuchi, **S. Hirata**, H. H. Jung, O. Hirata, Y. Shibano, C. Adachi, H. Kaji: Material degradation of liquid organic semiconductors analyzed by nuclear magnetic resonance spectroscopy, *AIP Advances*, 5, 087124 (2015), doi.org/10.1063/1.4928515. 査読有
- 5) **S. Hirata**, K. Sakai, Y. Sakai, K. Masui, H. Tanaka, S. Y. Lee, H. Nomura, N. Nakamura, M. Yasumatsu, H. Nakanotani, Q. Zhang, K. Shizu, H. Miyazaki, C. Adachi: Highly efficient blue electroluminescence based on thermally activated delayed fluorescence, *Nat. Mater.*, 14, 330-336 (2015). **Highlighted by Chemistry World, Dec. 8,**

2014, doi:10.1038/nmat4154. 査読有

- 6) K. Katayama, **S. Hirata**, M. Vacha: Circularly polarized luminescence from individual microstructures of conjugated polymer aggregates with solvent-induced chirality, *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 16, 17983-17987 (2014). 10.1039/C4CP02643H. 査読有

[学会発表] (計 6 件)

- 1) 今川拓郎, **平田修造**, 戸谷健朗, バッハマーティン, 渡辺敏行, キラルなドナーアクセプター分子からの熱活性化遅延蛍光と円偏光発光, 有機 EL 討論会第 21 回例会, 福岡, 2015 年 11 月 12 日 (口頭発表).
- 2) **平田修造**, 今川拓郎, 戸谷健朗, 渡辺敏行, バッハマーティン, 熱活性化遅延蛍光と円偏光発光を両立する分子設計の考察, 2015 年度光化学討論会, 大阪, 2015 年 9 月 9 日 (口頭発表).
- 3) 今川拓郎, **平田修造**, 戸谷健朗, バッハマーティン, 渡辺敏行, トリフェニルアミン部位を有するナフタセノン誘導体における光学活性と熱活性化遅延蛍光, 2015 年度光化学討論会, 大阪, 2015 年 9 月 9 日 (ポスター).
- 4) **平田修造**, 坂井由美, 益居健介, 田中啓之, 安達千波矢. 大きな蛍光量子収率と小さな励起一重項と励起三重項のエネルギーギャップを両立する分子設計, 第 95 回日本化学会春季年会, 千葉, 2015 年 3 月 28 日 (口頭発表).
- 5) 今川拓郎, **平田修造**, 戸谷健朗, バッハマーティン, 渡辺敏行, トリフェニルアミン部位を有するナフタセノン誘導体における光学活性と熱活性化遅延蛍光, 第 95 回日本化学会春季年会, 千葉, 2015 年 3 月 27 日 (口頭発表).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平田 修造 (HIRATA, SHUZO)

東京工業大学・物質理工学院・助教

研究者番号: 20552227