

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：11501
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20H02807
研究課題名（和文）超低消費電力・長寿命有機ELを実現する多機能性スマートホール輸送材料群

研究課題名（英文）Multifunctional smart hole-transporters realizing extremely low-power-consumption and long life OLEDs

研究代表者
笹部 久宏（Sasabe, Hisahiro）
山形大学・大学院有機材料システム研究科・准教授

研究者番号：10570731
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、熱活性化遅延蛍光発光材料（TADF）を用いた有機ELの短くとどまる寿命の問題の解決を試みた。具体的には、発光層と電荷輸送層の界面、特に、ホール輸送層と発光層の界面に着目し、界面での消光や電気化学的劣化を防ぐことにより、長寿命化を試みた。その結果、電気化学的に堅牢な一連のホール輸送材料群を開発することにより、TADF型有機ELの飛躍的な長寿命化に成功した。1000 cd/m²時に輝度半減寿命30000時間超を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、発光層界面のサイエンスが明らかになり、高耐久性・高移動度ホール輸送材料の普遍的な分子設計指針が獲得できれば、TADF素子のみならず、全世代の有機ELの飛躍的な長寿命化が可能になる。また、得られる構造-物性相関の支配因子は、有機半導体物性物理の基礎学理の構築の立場から非常に意義があると考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we have tried to prolong the stability of thermally activated delayed fluorescence (TADF) based OLEDs. Specifically, we focused on the interface between the emitting layer (EML) and the charge transport layer, especially the interface between the hole transport layer (HTL) and EML, and attempted to extend the lifetime by preventing exciton quenching and electrochemical degradation at the HTL/EML interface. Consequently, by developing a series of electrochemically robust HTLs, we have greatly enhanced the lifetime of TADF-based OLEDs to over LT50 = 30000 hours at 1000 cd/m².

研究分野：有機材料化学

キーワード：有機EL 熱活性化遅延蛍光 ホール輸送材料 界面制御 結合解離エネルギー

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

社会の持続的発展には、省電力かつ環境低負荷なスマート電子デバイスの実現が必須である。スマートフォンやスマートウォッチ、一部大型テレビとして、身の回りに普及しつつある有機 EL は、低炭素社会を実現する次世代照明用光源としても期待されている。

希少な金属を用いずに有機 EL 素子の飛躍的な性能向上を実現する熱活性化遅延蛍光発光 (TADF) 材料が注目されている (C. Adachi *et al.*, *Nature* **2012**, 492, 234)。近年では、30%超の極めて高い外部量子効率や、リン光系に匹敵する超低消費電力化も実現されているが、効率と寿命の両立の観点からはリン光系に遠く及ばず、大幅な改善が必要である。

TADF 材料は、強い電子供与性基と電子求引性基から構成されるため、発光層と隣り合うホール輸送層や電子輸送層との間で、ギャップの狭いエキサイプレックスを形成し、著しい効率の低下を招くことがある。実際、ジシアノベンゼン/カルバゾールからなる緑色 TADF 材料 4CzIPN はアリアルアミン誘導体とエキサイプレックスを形成し、発光量子効率の著しい低下を招く (図 1. H. Nakanotani, *Sci. Rep.* **2013**, 3, 2127)。加えて、アリアルアミン誘導体のアニオン状態の脆弱性が有機 EL の短寿命化の大きな原因の 1 つとされている (J. Y. Lee, *Adv. Opt. Mater.*, **2017**, 1600901)。

ごく最近、申請者らは、新たなアリアルアミン誘導体 4DBTHPB を開発、緑色 TADF 素子で 1000 cd/m² 時、外部量子効率 20%と輝度半減寿命 (LT₅₀) 1万時間を実現した (右図と表. H. Sasabe, *Chem. Eur. J.* **2018**, 24, 4590)。新たな分子は、①深いイオン化ポテンシャル (I_p: -5.8 eV) と立体障害によるエキサイプレックスの形成の抑制、②高い三重項エネルギー (E_T: 2.7 eV) による励起子失活の抑制、③末端のジベンゾチオフェンにより高いアニオン耐性を実現する。本結果は、緑色リン光素子に匹敵する外部量子効率と寿命であり (H. Fukagawa, *Sci. Rep.* **2015**, 5, 8429)、ホール輸送層/発光層界面の問題を解決することで、TADF 素子でリン光系と同等の高い外部量子効率と長寿命化が実現できることを示している。

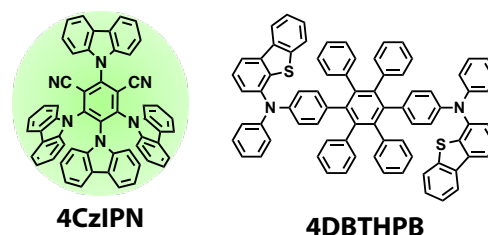


図. 4CzIPN と 4DBTHPB の化学構造

表. 新型素子との特性比較@1000 cd/m²

	リン光系	従来系	新型素子
電圧	4.5 V	-	4.15 V
外部量子効率	20%	14%	21.6%
電力効率	52 lm/W	28 lm/W	54 lm/W
寿命	>10,000 hrs	2,800 hrs	~10,000 hrs

2. 研究の目的

本研究では、堅牢性の高い新たなアリアルアミン誘導体群を開発、機能発現の起源を解明する。最終的にリン光系を凌駕する高効率・長寿命な TADF 素子を開発する。研究期間内に以下の3つの項目を行う。

- ①高耐久性・高移動度ホール輸送材料群の開発
- ②低電圧・長寿命デバイスの開発と発光および駆動メカニズムの解明
- ③エキサイプレックスホストへの展開と超低消費電力・長寿命素子の開発

3. 研究の方法

本研究では、耐久性・移動度に優れるホール輸送材料群により、低効率で短寿命に留まっている TADF デバイスの高効率・長寿命化を実現する。材料面では、①新たな高耐久性・高移動度ホール材料群の開発を行う。化学構造と機能の相関を検証、機能発現の起源を解明し、高い堅牢性と高移動度を実現する普遍的な分子設計を獲得する。デバイス面では、②低消費電力と長寿命化の両立を実現するとともに、駆動メカニズムの解明も行う。また、発展として、③開発したホール輸送材料を p 型ホスト材料に応用した超低消費電力・長寿命素子に挑戦する。

4. 研究成果

①ヘキサフェニルベンゼン誘導体ホール輸送材料の開発

申請者らは、ジベンゾチオフェンを有する新たなアリアルアミン誘導体 4DBTHPB を開発し、緑色 TADF 素子で 1000 cd/m² 時、外部量子効率 20%と輝度半減寿命 (LT₅₀) 1万時間を実現している (H. Sasabe, *Chem. Eur. J.* **2018**, 24, 4590)。新たな分子は、①深いイオン化ポテンシャル (IP:

-5.8 eV) と立体障害によるエキサイプレックスの形成の抑制、②高い三重項エネルギー (E_T : 2.7 eV) による励起子失活の抑制、③末端のジベンゾチオフェンにより高いアニオン耐性を実現する。ここでは、3種類の誘導体を比較検証することにより、末端置換基が諸物性及び寿命に与える影響を検証した(図 1)。

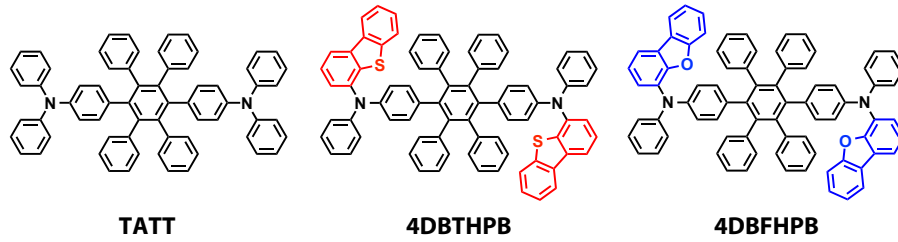


図 1. 検討した3種類のヘキサフェニルベンゼン誘導体ホール輸送材料

これら誘導体の合成を行い、熱物性と薄膜状態での光学特性評価を行った。また、TOF 法での移動度評価、多入射角分光エリプソメリー (VASE) による分子配向の評価も行った。重要なパラメータをまとめた(図 2)。イオン化ポテンシャル (IP) と三重項エネルギー (E_T) は、全ての誘導体で同じであった。共役長の長いジベンゾチオフェンやジベンゾフランの導入はエネルギーギャップ (E_g) を 0.2 eV 狭くし、その結果、電子親和力 (EA) が 0.2 eV 深くなった。移動度を評価した結果、電界強度 5.6×10^5 V/cm 時に **4DBXHPB** ($X = S, O$) 誘導体はフェニル誘導体 TATT に比べ、300 倍の移動度向上が見られた。VASE による分子配向の評価を行った結果、配向度 (S) は同程度であり、顕著な差は見られなかった。移動度の向上は共役長の拡張により HOMO の軌道の重なりが増加したためと考えられる。

ついで、緑色 TADF 発光材料 **4CzIPN** と下記に示す周辺材料を用いた有機 EL 素子を作成し、特性を評価した(図 3)。その結果、 1000 cd/m^2 時、外部量子効率 20% 程度、ジベンゾフラン誘導体 **4DBFHPB** を用いた場合、 LT_{50} 24000 hr@ 1000 cd/m^2 を達成した。同じ素子構成で、水色 TADF 発光材料 **5CzBN** を用いた場合、 500 cd/m^2 時、外部量子効率 17%、ジベンゾフラン誘導体 **4DBFHPB** を用いた場合、 LT_{50} 1700hr@ 500 cd/m^2 を達成した。

	TATT	4DBTHPB	4DBFHPB
IP	-5.8 eV	-5.8 eV	-5.8 eV
EA	-2.4 eV	-2.6 eV	-2.6 eV
E_g	3.4 eV	3.2 eV	3.2 eV
E_{T1}	2.7 eV	2.7 eV	2.7 eV
T_g	194°C	146°C	135°C
μ_h	$5.6 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$1.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$	$1.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{Vs}$
S	-0.14	-0.16	-0.13

図 2. ホール輸送材料の熱・光学物性評価の結果

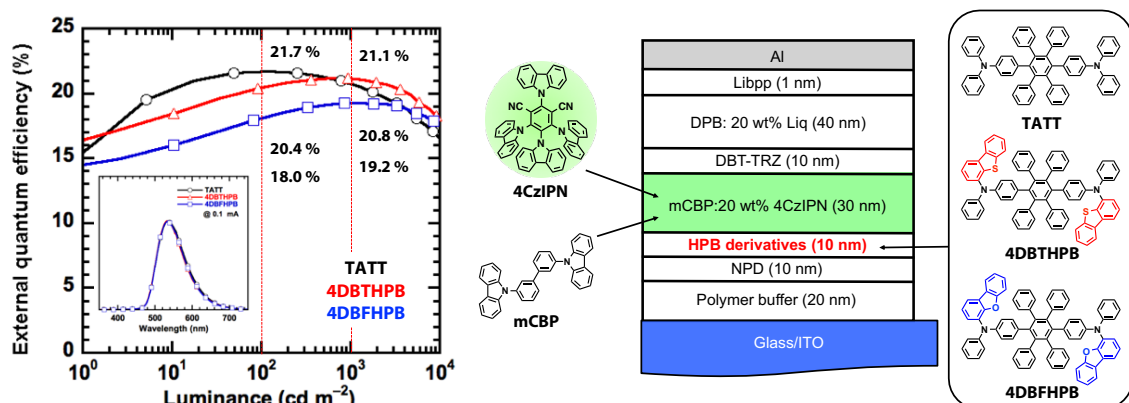


図 3. 緑色素子の構造と用いた周辺材料の化学構造(左)、外部量子効率-輝度特性(右)

②テトラジベンゾフランホール輸送材料の中心骨格の効果

ここでは、この知見を基に、末端に 4 つのジベンゾフランを有し、中心にオリゴフェニル骨格を有するホール輸送材料を合成し、その有機 EL 特性を評価した(図 4)。

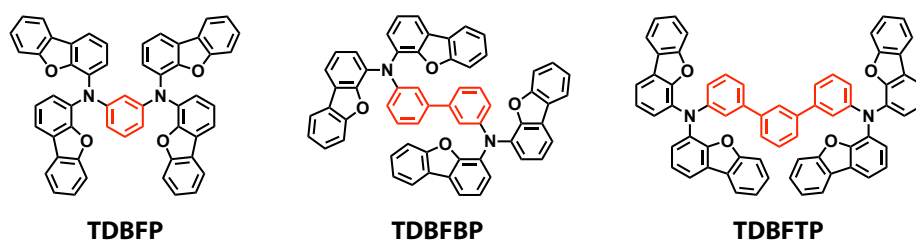


図 4: テトラジベンゾフラン誘導体ホール輸送材料群 **TDBFX** (X = P, BP, TP)

素子の特性を表 1 にまとめた。発光材料に **4CzIPN** を用いた緑色 TADF 素子では、 1000cd/m^2 時、X=BP が最も高効率で、次いで X=TP が高効率であった。一方、X=P は低電流密度下で著しく低効率であった。外部量子効率 η_{ext} は I_{p} と相関があった。X=P は、他の分子に比べて I_{p} が浅くホール輸送層/発光層界面でのキャリア蓄積によりエキサイプレックスを形成し消光が起きていると考えられる。駆動寿命は X=TP が最も長く、加速度試験によって算出した初期輝度 1000cd m^{-2} 時の LT_{50} は 2 万時間超であった。また、発光材料に **Ir(ppy)₃** を用いた緑色リン光素子では **4CzIPN** を用いた素子と逆の傾向が得られ、X=P が最も良い結果を与えた。発光材料の **Ir(ppy)₃** は I_{p} が **4CzIPN** よりも 0.7eV 浅い。そのため、りん光系では、ホールから **Ir(ppy)₃** へ直接ホール注入が行われたと考えられる。駆動寿命は X=P が最も長く、加速度試験によって算出した初期輝度 1000cd m^{-2} 時の LT_{50} は 3 万時間超であった。

表 1. テトラジベンゾフラン誘導体ホール輸送材料の素子特性

Emitter	HTL	1cd m^{-2} $V_{\text{on}}^{\text{a}}(\text{V})$	100cd m^{-2} $V / \text{EQE}^{\text{b}}(\text{V} / \%)$	1000cd m^{-2} $V / \text{EQE}^{\text{c}}(\text{V} / \%)$	10mA cm^{-2} $LT_{50}^{\text{d}}(\text{h})$	1000cd m^{-2} $LT_{50}^{\text{e}}(\text{h})$
4CzIPN	TDBFP	2.35	3.24 / 18.6	4.00 / 19.4	934	20645
	TDBFBP	2.40	3.30 / 21.9	4.02 / 23.0	625	17366
	TDBFTP	2.42	3.23 / 22.2	4.06 / 22.7	821	22413
Ir(ppy) ₃	TDBFP	2.77	3.20 / 22.7	3.59 / 20.9	1330	31504
	TDBFBP	3.06	3.64 / 20.2	4.25 / 16.9	1131	18322
	TDBFTP	3.03	3.67 / 17.5	4.36 / 14.0	1181	11829

^a Turn-on voltage at 1cd m^{-2} . ^b Voltage and external quantum efficiency at 100cd m^{-2} . ^c Voltage and external quantum efficiency at 1000cd m^{-2} . ^d Operation lifetime at 50% (LT_{50}) of the initial luminance of 10mA cm^{-2} . ^e LT_{50} of 1000cd m^{-2} estimated by the luminance acceleration test.

③末端ジベンゾフラン部位の置換位置の効果

ここでは、末端置換基であるジベンゾフラン (DBF) の置換位置を変えた一連の構造異性体を設計・合成した(図 5)。置換位置の違いによる熱・光物性、素子特性を比較検証することにより、高効率・長寿命化に資する分子設計指針とデバイス設計指針の導出を試みた。

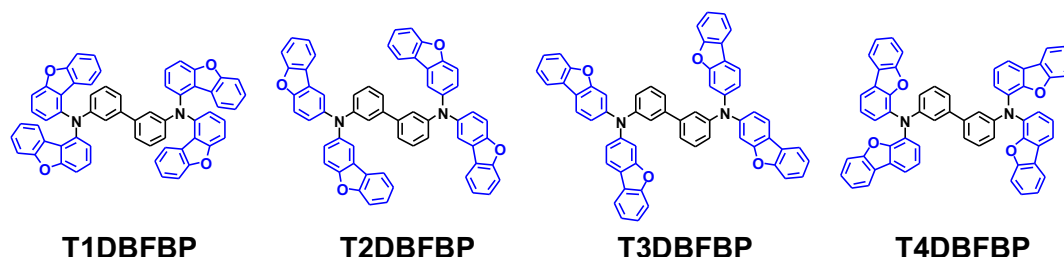


図 5. **T_nDBFBP** 誘導体の分子構造

これまでの研究により、DBF の導入がアニオン状態の BDE を大きく改善し、有機 EL の耐久性を大きく向上できることがわかった。しかしながら、置換位置の効果は未解明であった。ここで開発

した **TnDBFBP** の 4 種類の構造異性体は、共役長の長さで 2 つのグループに分けることができた。1 位と 4 位の置換位置では、DBF が窒素原子を覆うようにねじれた分子構造を有していた。一方、2 位と 3 位では、直線的な構造で共役長が長い。4 つの誘導体の物性を評価した結果を表 2 にまとめた。本材料群は、138 °C 以上のガラス転移点、1.43 eV 以上の BDE、2.6 eV 以上の E_T を示し、高い熱安定性と高い E_T を両立した。また I_p は DBF の置換位置によって、5.5 ~ 5.9 eV の広い範囲で変化した。ホール移動度は、共役長が長いほど高く、短いほど低下する傾向がみられた。

表 2. ホール輸送材料の熱物性と光学特性

Compound	$T_g^a)/T_m^a)/T_d^b)$ (°C)	$I_p^c)/E_g^d)/E_a^e)/E_T^f)$ (eV)	C-N BDE _{anion} (eV) ^{g)}	Hole-mobility ^{h)}
T1DBFBP	149/290/465	5.9/3.2/2.6/2.8	1.43	6.9×10^{-5}
T2DBFBP	144/303/511	5.6/2.9/2.7/2.7	1.75	1.8×10^{-3}
T3DBFBP	145/330/532	5.5/3.0/2.5/2.6	1.63	2.6×10^{-3}
T4DBFBP	138/286/493	5.7/3.4/2.3/2.7	1.61	3.9×10^{-4}

a) Measured by a DSC. b) Measured by a TGA. c) Obtained from a photoelectron yield spectroscopy (PYS). d) Taken as the point of intersection of the normalized absorption spectra. e) Calculated using I_p and E_g . f) Estimated from the onset of the phosphorescent spectra at 7 K. g) Calculated by Gaussian 09 at the URB3LYP/6-31G(d) level of theory to evaluate the BDEs for the anion states. h) Hole-mobility at an electric field of 5.6×10^5 V/cm.

発光材料に **4CzIPN** を用いた緑色 TADF 素子に **TnDBFBP** 誘導体を応用した結果を表 3 にまとめた。**TnDBFBP** 誘導体では、共役長が短い **T1**, **T4** が 21% 程度の外部量子効率を示した。一方、共役長の長い **T2**, **T3** では、外部量子効率が 17% 以下と効率が低下した。共役長の長い **T2**, **T3** では、 I_p が 5.6 eV より浅く、発光層の **4CzIPN** との界面でギャップの狭いエキサイプレックスを形成し、消光したためと考えられる。駆動寿命は共役長の短い **T1** が最も長く、初期輝度 1000 cd m^{-2} の LT_{50} は約 3 万時間であった。次に、注入障壁を緩和するためにホール輸送層に 2 つの材料 **TnDBFBP**/**T1DBFBP** (**Tn/T1**) を用いた素子を作成し、評価した。その結果 **T3**/**T1** の組み合わせで著しい低電圧化と高効率化が見られた。NPD を用いたときよりも、 1000 cd m^{-2} 時で 1.6 V の低電圧化、約 2% の高効率化を実現した。最後に最も特性の良かった **T3**/**T1** の組み合わせで発光層の **4CzIPN** のドーパ濃度を 40 wt% に変えたところ、 1000 cd m^{-2} 時、約 20% の外部量子効率と 3.2 V の発光開始電圧、 LT_{50} 3.9 万時間超の長寿命化に成功した。

表 3. **TnDBFBP** 誘導体の緑色 TADF 素子の特性

HTL	V_{on}^a (V)	$V_{1000}/\eta_c,1000/\eta_p,1000/\eta_{ext,1000}^b$ (V/cd A ⁻¹ /lm W ^{1/2} %)	LT_{50} at 10 mA cm ⁻² (h) ^c	LT_{50} at 1000 cd m ⁻² (h) ^d
NPD/ T1DBFBP	2.82	4.94/70.9/45.1/20.9	636	~30,000
NPD/ T2DBFBP	2.63	4.55/58.0/40.0/17.1	626	~24,000
NPD/ T3DBFBP	2.69	4.46/55.8/39.3/16.4	639	~25,000
NPD/ T4DBFBP	2.60	4.26/71.5/52.8/21.0	497	~27,000
T2DBFBP/ T1DBFBP	2.93	4.24/73.3/54.2/21.5	352	~9,000
T3DBFBP/ T1DBFBP	2.56	3.32/74.0/78.1/22.8	213	~5,500
T4DBFBP/ T1DBFBP	2.84	4.51/74.9/52.1/22.0	433	~11,000
T3DBFBP/ T1DBFBP (mCBP-40wt%4CzIPN)	2.44	3.19/69.4/68.2/20.4	827	~39,000

^aTurn-on voltage at 1 cd m^{-2} , ^bvoltage, current efficiency (η_c), power efficiency (η_p), and EQE (η_{ext}) at 1000 cd m^{-2} .

^cOperation lifetime at 50% (LT_{50}) at a constant current density of 10 mA cm^{-2} . ^d LT_{50} of 1000 cd m^{-2} estimated by the luminance acceleration test.

ここでは、テトラジベンゾフラン誘導体ホール輸送材料 **TnDBFBP** 誘導体の末端 DBF の置換位置の効果を検証した。1-4 位の 4 つの構造異性体は、共役長の長さに依存して、2 つのグループに分かれた。これらの材料群は、最大 1.75 eV のアニオン性 BDE、2.8 eV の E_T を示した。イオン化ポテンシャルは、共役長に依存して 5.5 から 5.9 eV まで変化した。**4CzIPN** を用いた緑色 TADF 素子に用いたところ、最もイオン化ポテンシャルの深い **T1DBFBP** が外部量子効率 20% 超と 1000 cd m^{-2} 時の輝度半減寿命 3.9 万時間をしめした。さらに、ホール注入性と発光材料のドーパ濃度を変化させることにより、 1000 cd m^{-2} 時の輝度半減寿命を 3.9 万時間まで大幅に長寿命化することができた。本研究により、これまで短く留まっていた TADF 素子の寿命を大幅に改善できた。加えて、長寿命化のための普遍的な材料・デバイス設計指針を獲得できた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Arai Hiroki, Sasabe Hisahiro, Nakao Kohei, Masuda Yuki, Kido Junji	4. 巻 49
2. 論文標題 Spirobiacridine-based Host Material for Highly Efficient Blue Phosphorescent Organic Light-emitting Devices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 228 ~ 231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.190840	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Owada Tsukasa, Sasabe Hisahiro, Sukegawa Yoshihito, Watanabe Taiki, Maruyama Tomohiro, Watanabe Yuichiro, Yokoyama Daisuke, Kido Junji	4. 巻 8
2. 論文標題 A terpyridine-modified chrysene derivative as an electron transporter to improve the lifetime in phosphorescent OLEDs	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 3200 ~ 3205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9TC06393E	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kamata Takahiro, Sasabe Hisahiro, Ito Nozomi, Sukegawa Yoshihito, Arai Ayato, Chiba Takayuki, Yokoyama Daisuke, Kido Junji	4. 巻 8
2. 論文標題 Simultaneous realization of high-efficiency, low-drive voltage, and long lifetime TADF OLEDs by multifunctional hole-transporters	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 7200 ~ 7210
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TC00330A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Sasabe Hisahiro, Chikayasu Yuki, Ohisa Satoru, Arai Hiroki, Ohsawa Tatsuya, Komatsu Ryutarou, Watanabe Yuichiro, Yokoyama Daisuke, Kido Junji	4. 巻 8
2. 論文標題 Molecular Orientations of Delayed Fluorescent Emitters in a Series of Carbazole-Based Host Materials	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Chemistry	6. 最初と最後の頁 427
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2020.00427	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kosai Jun, Masuda Yuki, Chikayasu Yuki, Takahashi Yoshihito, Sasabe Hisahiro, Chiba Takayuki, Kido Junji, Mori Hideharu	4. 巻 2
2. 論文標題 <i>S</i>-Vinyl Sulfide-Derived Pendant-Type Sulfone/Phenoxazine-Based Polymers Exhibiting Thermally Activated Delayed Fluorescence: Synthesis and Photophysical Property Characterization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Polymer Materials	6. 最初と最後の頁 3310 ~ 3318
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsapm.0c00441	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Maruyama Tomohiro, Sasabe Hisahiro, Watanabe Yuichiro, Owada Tsukasa, Yoshioka Ryo, Saito Yu, Kawano Tomoya, Kido Junji	4. 巻 50
2. 論文標題 Dibenzothiophene/Terpyridine Conjugated Asymmetric Electron-Transporters for High-efficiency and Long-life Green Phosphorescent OLEDs	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 534 ~ 537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/cl.200803	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakao Kohei, Sasabe Hisahiro, Shibuya Yusuke, Matsunaga Amane, Katagiri Hiroshi, Kido Junji	4. 巻 60
2. 論文標題 Novel Series of Mononuclear Aluminum Complexes for High Performance Solution Processed Organic Light Emitting Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 6036 ~ 6041
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202014941	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saito Daiki, Sasabe Hisahiro, Kikuchi Takayoshi, Ito Takashi, Tsuneyama Hisaki, Kido Junji	4. 巻 9
2. 論文標題 Improved operational lifetime of deep-red phosphorescent organic light-emitting diodes using a benzo[h]thienobenzothiophene (BTBT)-based p-type host material	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 1215 ~ 1220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0TC05234E	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arai Ayato, Sasabe Hisahiro, Nakao Kohei, Masuda Yuki, Kido Junji	4. 巻 27
2. 論文標題 Extended Carbazole Derivatives as Host Materials for Highly Efficient and Long Life Green Phosphorescent Organic Light Emitting Diodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry ? A European Journal	6. 最初と最後の頁 4971 ~ 4976
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202005144	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Arai Hiroki, Sasabe Hisahiro, Tsuneyama Hisaki, Kumada Kengo, Kido Junji	4. 巻 27
2. 論文標題 Asymmetric Spirobiacridine based Delayed Fluorescence Emitters for High performance Organic Light Emitting Devices	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry ? A European Journal	6. 最初と最後の頁 10869 ~ 10874
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202101188	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu Guanting, Sasabe Hisahiro, Kumada Kengo, Matsunaga Amane, Katagiri Hiroshi, Kido Junji	4. 巻 9
2. 論文標題 Facile synthesis of multi-resonance ultra-pure-green TADF emitters based on bridged diarylamine derivatives for efficient OLEDs with narrow emission	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 8308 ~ 8313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D1TC01427G	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Li Hui, Komatsu Ryutarō, Hankache Jihane, Sasabe Hisahiro, Lawson Daku Latevi Max, ?zen Bilal, Chen Songjie, Hauser J?rg, Hauser Andreas, Decurtins Silvio, Kido Junji, Liu Shi-Xia	4. 巻 9
2. 論文標題 Bis(Triphenylamine)Benzodifuran Chromophores: Synthesis, Electronic Properties and Application in Organic Light-Emitting Diodes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Chemistry	6. 最初と最後の頁 721272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fchem.2021.721272	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jiang Dehao, Sasabe Hisahiro, Arai Hiroki, Nakao Kohei, Kumada Kengo, Kido Junji	4. 巻 10
2. 論文標題 Extremely High Power Efficiency Solution Processed Orange Red TADF OLEDs via a Synergistic Strategy of Molecular and Device Engineering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 2102774 ~ 2102774
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.202102774	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsuneyama Hisaki, Sasabe Hisahiro, Saito Yu, Noda Taito, Saito Daiki, Kido Junji	4. 巻 10
2. 論文標題 Highly stable and efficient deep-red phosphorescent organic light-emitting devices using a phenanthroline derivative as an n-type exciplex host partner	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 2073 ~ 2079
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d1tc05417a	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sasabe Hisahiro, Araki Suguru, Abe Shoki, Ito Nozomi, Kumada Kengo, Noda Taito, Sukegawa Yoshihito, Yokoyama Daisuke, Kido Junji	4. 巻 28
2. 論文標題 Four Dibenzofuran Terminated High Triplet Energy Hole Transporters for High Efficiency and Long Life Organic Light Emitting Devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202104408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202104408	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kumada Kengo, Sasabe Hisahiro, Nakao Kohei, Matsuya Misaki, Noda Taito, Arai Hiroki, Kido Junji	4. 巻 435
2. 論文標題 Controlling the electronic structures of triphenylene based sky blue TADF emitters by chemical modifications for high efficiency with shorter emission lifetimes	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 134925 ~ 134925
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cej.2022.134925	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Noda Taito, Sasabe Hisahiro, Owada Tsukasa, Sugiyama Ryo, Arai Ayato, Kumada Kengo, Tsuneyama Hisaki, Saito Yu, Kido Junji	4. 巻 87
2. 論文標題 Constructing Soluble Anthracene Based Blue Emitters Free of Electrically Inert Alkyl Chains for Efficient Evaporation and Solution Based OLEDs	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 e202100517
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202100517	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagamura Natsuo, Sasabe Hisahiro, Sato Hiroki, Kamata Takahiro, Ito Nozomi, Araki Suguru, Abe Shoki, Sukegawa Yoshihito, Yokoyama Daisuke, Kaji Hironori, Kido Junji	4. 巻 10
2. 論文標題 A multifunctional hole-transporter for high-performance TADF OLEDs and clarification of factors governing the transport property by multiscale simulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 8694 ~ 8701
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D2TC00716A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu Guanting, Sasabe Hisahiro, Kumada Kengo, Arai Hiroki, Kido Junji	4. 巻 28
2. 論文標題 Nonbonding/Bonding Molecular Orbital Regulation of Nitrogen Boron Oxygen embedded Blue/Green Multiresonant TADF Emitters with High Efficiency and Color Purity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202201605
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202201605	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nagamura Natsuo, Sasabe Hisahiro, Sato Hiroki, Ito Nozomi, Abe Shoki, Sukegawa Yoshihito, Yokoyama Daisuke, Kaji Hironori, Kido Junji	4. 巻 29
2. 論文標題 Robust Spirobifluorene Core Based Hole Transporters with High Mobility for Long Life Green Phosphorescent Organic Light Emitting Devices	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 e202202636
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202202636	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Abe Shoki, Sasabe Hisahiro, Nakamura Takeru, Matsuya Misaki, Saito Yu, Hanayama Takanori, Araki Suguru, Kumada Kengo, Kido Junji	4. 巻 8
2. 論文標題 Effect of substitution position of dibenzofuran-terminated robust hole-transporters on physical properties and TADF OLED performances	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Molecular Systems Design & Engineering	6. 最初と最後の頁 388 ~ 393
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2me00225f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Saito Yu, Sasabe Hisahiro, Tsuneyama Hisaki, Abe Shoki, Matsuya Misaki, Kawano Tomoya, Kori Yuma, Hanayama Takanori, Kido Junji	4. 巻 96
2. 論文標題 Quinoline-Modified Phenanthroline Electron-Transporters as n-Type Exciplex Partners for Highly Efficient and Stable Deep-Red OLEDs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 24 ~ 28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220297	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Matsuya Misaki, Sasabe Hisahiro, Sumikoshi Shunsuke, Hoshi Keigo, Nakao Kohei, Kumada Kengo, Sugiyama Ryo, Sato Ryoma, Kido Junji	4. 巻 96
2. 論文標題 Highly Luminescent Aluminum Complex with -Diketone Ligands Exhibiting Near-Unity Photoluminescence Quantum Yield, Thermally Activated Delayed Fluorescence, and Rapid Radiative Decay Rate Properties in Solution-Processed Organic Light-Emitting Devices	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Bulletin of the Chemical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 183 ~ 189
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1246/bcsj.20220327	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kawano Tomoya, Sasabe Hisahiro, Saito Yu, Chen Yuhui, Kori Yuma, Nakamura Takeru, Abe Shoki, Maruyama Tomohiro, Kido Junji	4. 巻 11
2. 論文標題 Tetrapyrroline/triphenyltriazine-conjugated electron transporters for low-power-consumption, high-stability phosphorescent OLEDs	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry C	6. 最初と最後の頁 4129 ~ 4135
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2tc04647d	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura Takeru, Sasabe Hisahiro, Abe Shoki, Kumada Kengo, Sugiyama Ryo, Hanayama Takanori, Kido Junji	4. 巻 5
2. 論文標題 Highly efficient and stable green fluorescent OLEDs with high color purity using a BODIPY derivative	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Molecular Systems Design & Engineering	6. 最初と最後の頁 D3ME00029J
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D3ME00029J	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計18件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 常山恭暉、笹部 久宏、齋藤大樹、城戸 淳二
2. 発表標題 フェナントロリン誘導体を n 型ホスト材料として用いた長寿命深赤色有機 EL
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 熊田健吾、笹部久宏、中尾晃平、城戸淳二
2. 発表標題 シアノトリフェニレン誘導体青色発光材料群を用いた高効率有機 EL
3. 学会等名 第81回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荒木 卓、笹部 久宏、伊藤 望、阿部 翔希、城戸 淳二
2. 発表標題 高効率・長寿命TADF 型有機 EL を実現するテトラジベンゾフラン誘導体ホール輸送材料群
3. 学会等名 第 68 回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 荒井博貴、 笹部 久宏、熊田 健吾、 城戸 淳二
2. 発表標題 高効率有機EL 素子を実現する非対称スピロピアクリジン誘導体 TADF 発光材料
3. 学会等名 第 68 回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中尾 晃平、 笹部 久宏、渋谷 勇助、松永 周、片桐 洋史、城戸 淳二
2. 発表標題 高効率塗布型有機 EL 素子を実現する単核アルミニウム錯体群
3. 学会等名 第 68 回応用物理学会春季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Guanting Liu, Hisahiro Sasabe, Kengo Kumada, Junji Kido
2. 発表標題 Multi-resonance green TADF emitters based on bridged diarylamine derivatives
3. 学会等名 第 68 回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長村夏生、 笹部久宏、佐藤弘毅、伊藤望、鎌田嵩弘、荒木卓、阿部翔希、鮎川慶仁、横山大輔、梶弘典、城戸淳二
2. 発表標題 高性能TADF型有機ELを実現する多機能型ホール輸送材料とマルチスケールシミュレーションによる定量的解析
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野田泰登、笹部久宏、大和田宰、杉山遼、荒井綾斗、城戸淳二
2. 発表標題 o-ピフェニル含有ピアントラセン誘導体青色蛍光材料
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 齋藤優、笹部久宏、河野朝哉、丸山朋洋、城戸淳二
2. 発表標題 高効率・長寿命有機ELを実現するキノリン含有フェナントロリン誘導体電子輸送材料群
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 阿部翔希、笹部久宏、荒木卓、中村剛瑠、伊藤望、城戸淳二
2. 発表標題 ジベンゾフラン含有ホール輸送材料の末端置換位置の効果
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Dehao Jiang, Hisahiro Sasabe, Hiroki Arai, Kohei Nakao, Kengo Nakao, Junji Kido
2. 発表標題 High-efficiency and low-driving voltage solution-processed orange-red OLEDs based on dibenzo[a,c]phenazine-based TADF emitters
3. 学会等名 第82回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松家実咲、星京吾、熊田健吾、佐藤龍磨、笹部久宏、城戸淳二
2. 発表標題 熱活性化遅延蛍光を示す単核アルミニウム錯体と高効率塗布型有機EL
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 河野朝哉、齋藤優、郡悠真、丸山朋洋、笹部久宏、城戸淳二
2. 発表標題 低消費電力・長寿命な緑色リン光有機 EL を実現するテトラピリジン含有電子輸送材料群
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村剛瑠、阿部翔希、熊田健吾、吉田波音、笹部久宏、城戸淳二
2. 発表標題 TADF 分子を増感剤に用いた狭半値幅緑色有機 EL の高効率・長寿命化
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田波音、荒井博貴、中村剛瑠、笹部久宏、城戸淳二
2. 発表標題 カルバゾール誘導体ホスト中での TADF 分子の分子配向
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 花山貴則、佐野健志、齋藤優、高下太一、笹部久宏、城戸淳二
2. 発表標題 りん光アシストドーパントを用いた高効率・長寿命近赤外有機 EL
3. 学会等名 第83回応用物理学会秋季学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 荒井博貴、吉田波音、熊田健吾、笹部久宏、城戸淳二
2. 発表標題 高効率有機 ELを実現するスピロピアクリジン誘導体 TADF 材料群の合成と分子配向のホスト依存性
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 笹部久宏
2. 発表標題 高効率・長寿命有機ELを実現する多機能性ホール輸送材料群
3. 学会等名 第71回高分子討論会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	横山 大輔 (Yokoyama Daisuke) (00518821)	山形大学・大学院有機材料システム研究科・准教授 (11501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	片桐 洋史 (Katagiri Hiroshi) (40447206)	山形大学・大学院有機材料システム研究科・教授 (11501)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関