

令和 5 年 4 月 15 日現在

機関番号：14303

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02710

研究課題名(和文) 透明性と可視域発光性を兼ね備えた高効率蛍光性液晶材料の分子工学と機能開拓

研究課題名(英文) Molecular Engineering and Application of Highly Fluorescent Liquid Crystalline Materials without Absorption in Visible Light

研究代表者

櫻井 庸明 (Sakurai, Tsuneaki)

京都工芸繊維大学・分子化学系・講師

研究者番号：50632907

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、励起状態分子内プロトン移動(ESIPT)型蛍光体と呼ばれる有機蛍光化合物に関して、その「非着色/可視域発光性・高い混和性・非濃度消光」という特徴に注目し、液晶中への蛍光ドーパントとしての高い適正を見出した。ESIPT化合物で問題視されていた、溶液中(～液晶を含む流動媒質中)での低い蛍光量子収率()という課題の克服が必要であったが、共役置換基の導入が流動媒質中での向上に効果的であることを発見し、これを量子化学計算により理由付けした。本研究で開発したESIPT化合物をドーパした室温液晶は、偏光発光性や電場応答性の自発増幅光(ASE)など、新しい液晶光学素子の可能性を提示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまでESIPT型蛍光体は固体状態でのみ効率よく発光する材料という認識であったが、研究代表者の今回の取り組みによって、適切な置換基導入を施せば、溶媒中や液晶中でも高い蛍光量子収率を示すことが可能であることが明らかとなった。これにより、非着色・可視域発光する有機材料のレパートリーが大きく増大することが考えられ、有機発光材料の研究分野の広がりを促進する学術的意義があると考えられる。また、非着色・可視域発光という特徴を活かし、環境光下では目立たないが紫外光で照らした際だけ色が見えるような表示素子としての応用が考えられ、将来的にこのような素子の実装の可能性も示すことができたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this research project, the project leader found that excited-state intramolecular proton transfer-type fluorophores (ESIPT) are promising candidates as a fluorescent dopant for liquid crystals, which relies on their colorless, visible emissive, highly miscible, and non-concentration quenching properties. For this achievement, it is needed to overcome the problem of low fluorescent quantum yield () of ESIPT fluorophores in solutions and liquid crystals (LCs). The project leader developed a molecular design strategy of introducing conjugated substituents to 2-(2-hydroxyphenyl)benzothiazole (HBT), a famous ESIPT core, which is quite effective for increasing values in solutions and LCs. This strategy was rationalized by means of a quantum chemical calculation method. The prepared room-temperature LCs doped with a newly-designed HBT derivative show polarized emission and amplified spontaneous emission, which opens a new door to the possibility of novel LC-based optical devices.

研究分野：機能物性化学

キーワード：ESIPT 液晶 蛍光 ドーパント 偏光発光 ASE

1. 研究開始当初の背景

現代の有機機能材料・分子性材料の研究を眺めると、多くの無機物に存在する無限周期構造が存在しない有機物では、熱による乱れが問題となり、さまざまな物性値で無機物を超えることは難しいことが多い。逆に、フレキシブルエレクトロニクス等の分野は、有機物の特徴を活かそうとする試みである。その中で、液晶は特徴的な材料であり、秩序性と流動性を兼ね備えている。言い換えると、結晶ほどの秩序性はなく、液体よりは粘性がある、中途半端な相であるとも表現できる。しかしながら液晶は、「電場や磁場等の外場に応答して分子配向を容易に制御できる」「剪断応力等の巨視的な力で配向する」「表面パターンニング等の物理的な存在により配向する」といった特徴を示し、マイクロ(ナノ)とマクロを繋ぐ鍵材料である。また、同じソフトマターに分類される高分子がマイクロ相分離構造を形成しやすいのと対照的に、「別の化合物と混和し均一相を保ちやすい」ことも挙げられる。係る背景から、液晶は複数の化合物の混合系として扱われることが多く、特に応用の観点からは室温で液晶相を示す材料が都合が良いことから、混合により相転移温度をチューニングする手段が用いられる。また、混和により、機能性分子(ゲスト)を液晶(ホスト)という場で扱うことも可能となる。特に、光吸収/発光性の色素を液晶にドープしたホスト-ゲスト型の液晶材料(図1)は古くからディスプレイへの応用が注目されており(D. Baumann, et al. *Displays* 1992, 13, 171.)、他にも、偏光発光フィルム、液晶ホログラム、液晶の光応答配向誘起剤、等の活用可能性が考えられる。

このような応用に適する発光ドーパントに求められる性質として、①ホスト液晶への高い混和性、②ホスト液晶中での高い蛍光量子収率と可視域への発光、③それ自体は色を持たない非着色性(可視光域への高い透明性)、④自己吸収の小ささ、⑤ドープ量を上昇しても濃度消光を起こさない性質、が挙げられる。しかし、従来の“発達共役分子からなる色素”を用いて可視光発光を得る方法論では、②の可視域への発光と高い量子収率を満たそうとすると、骨格拡張の結果③が困難となり、さらには①も低下させる結果となることがわかっている。④⑤を満たす色素の候補も多くはない。『如何に①-⑤を十分に満たす革新的な発光ドーパントを合理的に設計・開発するか』が重要課題であり、この達成により、新しい液晶デバイス開発研究が進展することが期待される。

2. 研究の目的

本研究課題では、上述の要請(①-⑤)を全て満たす発光ドーパントを実験・計算的手法を統合して設計開発し、革新的な液晶ホスト-発光ドーパントからなるホスト-ゲスト型液晶材料の作製と機能開拓を目的とする。これを実現するために応募者が注目したのは、**励起状態分子内プロトン移動(Excited-State Intramolecular Proton Transfer: ESIPT)型の発光化合物**である。ESIPT現象では、励起状態でプロトンが移動して構造緩和を起し、巨大 Stokes シフト(吸収波長と発光波長の大きな差)を与えるため(図2)、④が保証され、拡張色素を使わずとも可視域での発光が可能になり(③の実現)、非拡張骨格の高い溶解性から①も可能となる。既に知られている購入可能な ESIPT 化合物(2-(2-hydroxyphenyl)benzothiazole: HBT)では⑤は達成できたものの、②の「高い量子収率」の実現ができなかった(最大蛍光量子収率: $\Phi_{FL} = 0.07$)。しかし、研究代表者の検討により、適切な置換基を導入した ESIPT 型分子では②⑤が同時実現できる($\Phi_{FL} = 0.32$)ことが見出され(W. Zhang, T. Sakurai, S. Seki, et al. *Adv. Opt. Mater.*, 2019, 7, 1801349.)、置換基の選択の意義が励起状態計算による無輻射失活経路への活性化エネルギーの値として定量議論できる可能性が示唆された(W. Zhang, T. Sakurai, et al. *Langmuir*, 2019, 35, 14031.)。また、発光体/ホスト液晶混合系であることから、期待通り偏光発光を示すこ

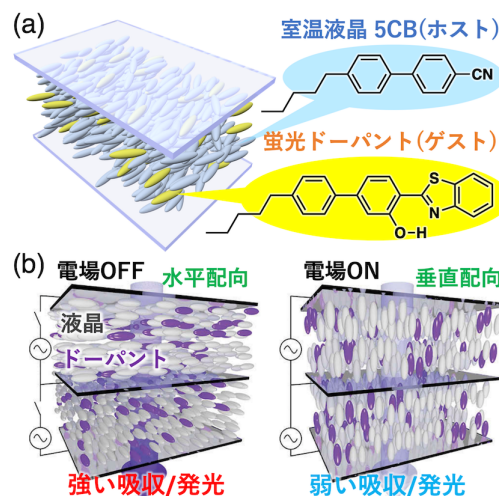


図1. (a) 発光ドーパント(黄)とホスト液晶(青)分子からなる混合液晶の模式図. (b) その異方吸収/発光(= 偏光吸収/発光)と電場制御の模式図.

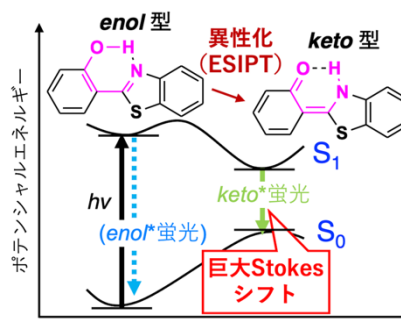


図2. HBT を例にした ESIPT 機構.

とも確認した。この知見を足掛かりに、ESIPT 蛍光ドーパント/ホスト液晶の材料系を最適化する方法論を確立し、上述の機能開拓・応用の実演に取り組む。ESIPT 化合物に着目し、①～⑤を同時達成するドーパントを設計しようという発想は応募者独自のものであった。

3. 研究の方法

3-1. 蛍光ドーパントの設計・合成

まずは望みの①～⑤の性質を兼ね備えた ESIPT 系分子の設計・合成検討を継続して行う。2-HBT 骨格についてはこれまでの申請者の検討により多くのことがわかっているため、それに倣ってその他の骨格についても検討を進める。HBT 骨格の事例で示したように、拡張共役系でない材料を対象とするため物質合成が容易であり、大量合成・大量供給が可能である。設計については積極的に励起状態計算を取り入れる。合成より事前に励起状態計算に取り組むことで、合成前に適する構造を探索し、効率良い研究推進を実施する。

3-2. 蛍光性液晶の物性評価・構造解析

得られた蛍光性液晶分子そのものの諸物性の測定（吸収/蛍光スペクトル、蛍光量子収率、蛍光寿命、偏光顕微鏡観察、示差走査熱量測定、X 線回折）をおこなう。加えて、室温ホスト液晶への混和性を調べ、混合液晶についても同様に測定をおこなう。骨格の共役サイズが小さいことにより混和性が高いこと、混合比によらず濃度消光を起こさず量子収率が保たれること、を確かめる。置換基導入により液晶中での蛍光量子収率が增大する系であるか追究する。混和性については、X 線回折測定により微結晶が系中に存在しないこと、分子動力学シミュレーションにより蛍光分子がクラスターを形成しないこと、を主として評価基準とする。

3-3. 蛍光性液晶の機能評価

得られた室温混合液晶（ホスト-ゲスト液晶）の偏光吸収・偏光発光特性を評価する。さらに、自発光性ディスプレイの作製や自然増幅光（Amplified Spontaneous Emission: ASE）発生実験といった、高度に発光する液晶ならではの機能の評価を進める。

4. 研究成果

4-1. 共役置換基導入による HBT 誘導体の蛍光量子収率のさらなる上昇

研究開始時点までに、 C_nP -HBT ($n=5$ or 6) は高温でネマチック液晶を発現し、有機溶媒中および液晶媒質中における Φ_{FL} が無置換 HBT のそれらよりも上昇すること、 $C_4-C\equiv C$ -HBT は液晶相は発現しないが、 Φ_{FL} がさらに上昇することを見出していた (図 3)。ここでは、さらに設計を追求するため、 $C_4-C\equiv C$ -HBT の共役置換基の効果を残しつつさらにフェニレン環を追加した $C_nP-C\equiv C$ -HBT ($n=5$ or 8) を設計・合成した (図 3)。

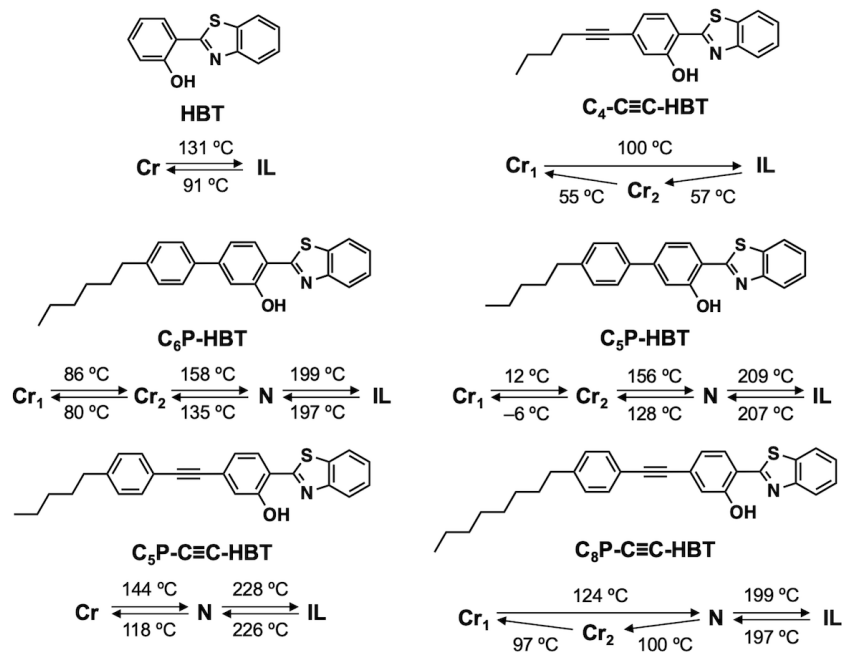


図3. HBT 誘導体の化学構造式と相転移挙動. Cr, IL, N はそれぞれ結晶相、等方性液体、ネマチック液晶相を表す。

$C_nP-C\equiv C$ -HBT ($n=5$ or 8) は、結晶相と等方相の間にネマチック (N) 液晶相が発現する相転移挙動を示し、サーモトロピック液晶として振る舞った (図 3)。 $C_4-C\equiv C$ -HBT ではネマチック相は発現しなかったが $C_nP-C\equiv C$ -HBT ($n=5$ or 8) や C_nP -HBT ($n=5$ or 6) では発現した事実を考えると、HBT 骨格を分子内水素結合形成した一つの環構造と捉えた際に、分子全体で二環構造となっていることがやはり重要であると推測される。ビフェニル構造がネマチック液晶の典型的な基本構造であることに象徴的ではあるが、二環の単結合による連結によって、分子全体が棒状となるが π - π 相互作用による積層は妨げられ、また、ビフェニルの回転によるコンフォメーション自由度の向上により、結晶相が適度に不安定化されることがサーモトロピック液晶

相発現の鍵となっていると考察できる。アルキル鎖は C8 のもののほうが融点・透明点ともに低下する傾向を示し、降温時は 197~100 °C と広い温度範囲で N 相を発現した。このことは示差走査熱量 (DSC) 測定で明解に示され、また、**C_nP-C≡C-HBT** (n = 5 or 8) とともに中間相が N 相であることは、偏光顕微鏡像 (POM) によるマールテクスチャーの存在と X 線回折測定によるブロードなピークの存在により強く支持された (図 4)。吸収・蛍光スペクトル測定から、**C_nP-C≡C-HBT** (n =

5 or 8) が ESIPT 特性を有していることは明解に示された。塩化メチレン溶液中、361 nm に吸収極大を有したが、蛍光極大は 515 nm と、約 0.9 eV の大きな Stokes シフトを与えた。また、THF 中および EtOH 中では 520 nm 付近の蛍光帯に加えて 410 nm 付近にも強い蛍光帯を示した。この二溶媒は水素結合アクセプターおよびドナーであることから、ESIPT に競合することが可能であり、そのため、ESIPT が阻害され *enol** 発光が 410 nm 付近に得られたことが考えられる。したがって、520 nm 付近の蛍光帯は ESIPT 後の *keto** 発光であると帰属できる。また、固体状態では **C_nP-C≡C-HBT** (n = 5 or 8) は *keto** 発光のみを示した。

C_nP-C≡C-HBT (n = 5 or 8) は、それぞれ 5CB 中に 6wt% および 8wt% までドープして均一相を形成し、7wt% および 9wt% では昇温して等方性溶液として溶解させた後に室温に保つと結晶が析出した。したがって、前者の値が最大混和質量比となる。この値は汎用拡張骨格色素と比較すると、特筆して大きい。またこの質量比以下のドープ量において、混合液晶は室温以上 45 °C 付近までで N 相を発現することが DSC 測定と POM 測定で明らかとなった。**C_nP-C≡C-HBT** (n = 5 or 8) は、5CB 中において **C₄-C≡C-HBT** とほぼ同じ程度である発光量子収率 $\phi_{FL} = 0.32$ を記録した。さらに、発光の異方性も向上した。**C₄-C≡C-HBT** では $D = 2.1, \rho = 0.36$ であった二色比と発光偏光度が、**C₅P-**

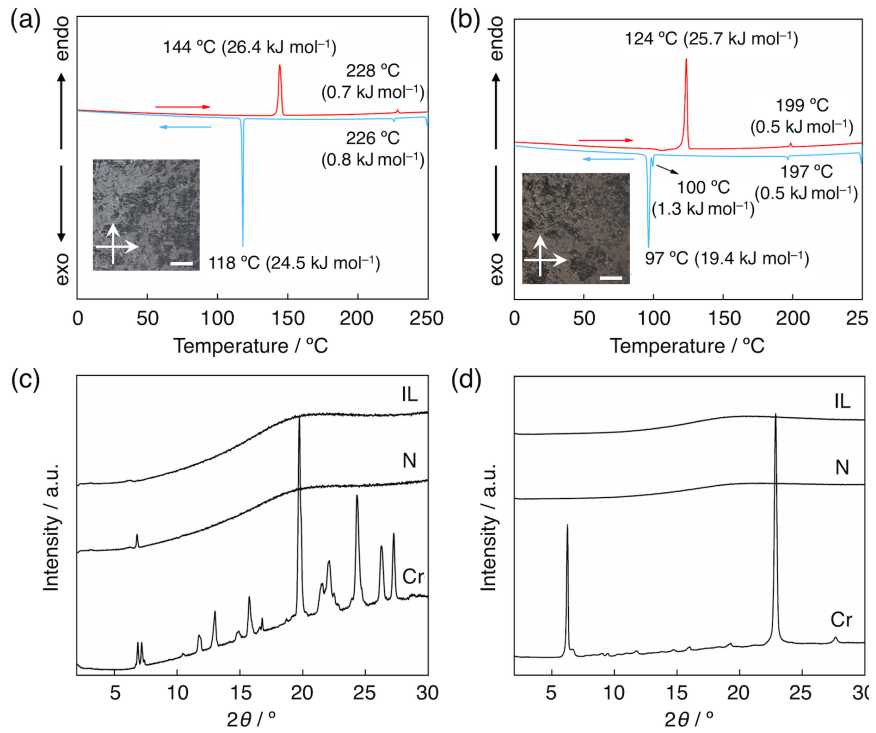


図4. (a,c) **C₅P-C≡C-HBT** および (b,d) **C₈P-C≡C-HBT** の (a,b) DSC チャート/POM 像と (c,d) 温度可変 XRD パターン。

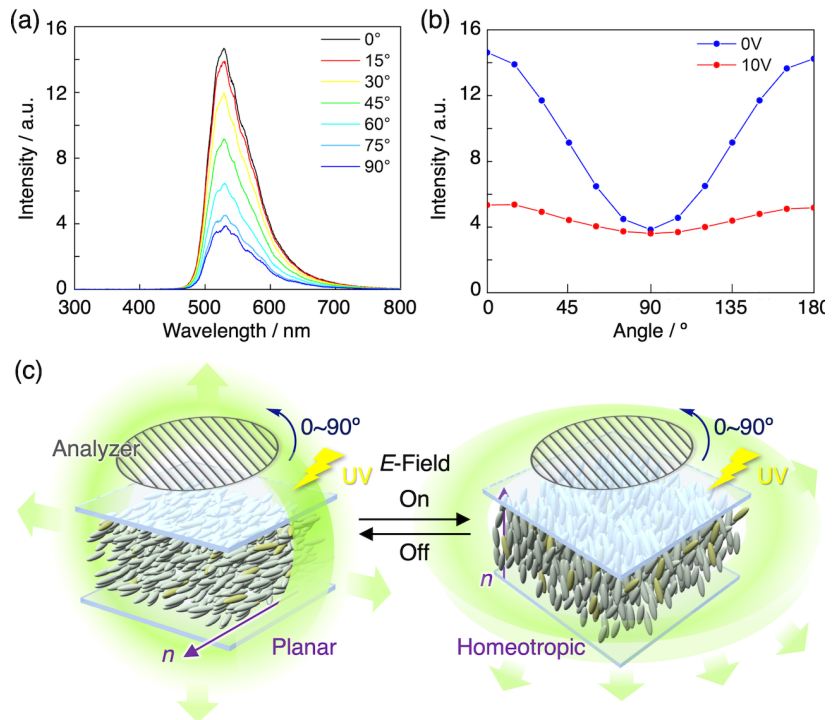


図5. 液晶セル中で一軸配向した **C₅P-C≡C-HBT/5CB** (5/95 w/w) の (a) 偏光発光スペクトルと (b) その発光強度の電場印加/無印加時における角度依存性、(c) 測定の概念図。角度は、アナライザーの偏光子と配向軸のなす角を示す。

C₅P-

C≡C-HBT では $D = 3.8$, $\rho = 0.58$ と、**C₆P-HBT** と同程度まで向上した (図5). やはり異方性のある棒状構造にすることで、発光異方性に与える影響があるとわかった。**C₅P-C≡C-HBT** in 5CB は、液晶セルにロードして電場により配向させると、ホメオトロピック配向をし、発光強度の減少が確認されたことから、ホスト液晶の電場配向にตอบสนองして HBT 誘導体も同様に配向することが確かめられた。

4-2. ESIPT ドーパントを含む混合室温液晶の ASE 特性

5CB/**C₅P-HBT** (95/5 wt%) を、アンチパラレルラビングポリイミド表面処理を施した ITO パターニングガラスサンドイッチセル中に封入し、試料を作製した。試料をポンプ光 (パルスレーザー) で励起したところ、自然増幅光 (Amplified Spontaneous Emission: ASE) が観測された (図6)。同じ励起強度において HBT 誘導体だけの結晶をセルに挟んだ比較試料は、強い励起によって部分的にダメージを受けてしまい、ASE も発生しなかった (図6)。パルス幅の長いレーザーをポンプ光に使用したため、不必要に強い励起条件になっていることから解釈は

難しいところがあるが、熱を逃がすためにはネマチック液晶媒質は重要な役割を果たしていると考えている。一方で、多結晶状態の HBT 誘導体においては、結晶粒界などに熱が溜まりやすく、過剰なエネルギーが集中して変質してしまったことが推測される。液晶ということで、セルに電圧を印加することで、ASE 光の進行方向を変化させ、一方向から観測した場合に ASE 光のスイッチングをおこなうこともできた。液晶ならではの性質を示すことができたと言える。

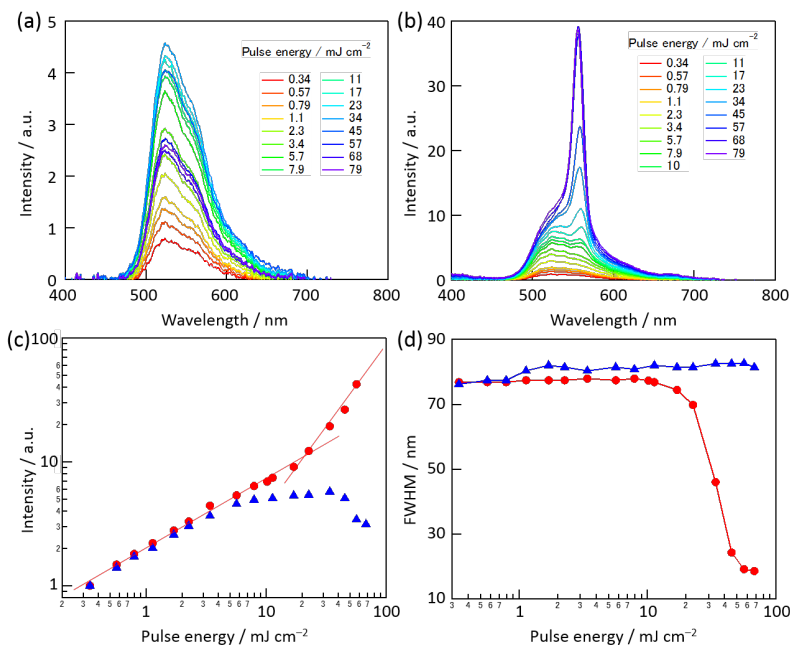


図6. 液晶セルにサンドイッチした(a) **C₅P-HBT** 結晶および (b) **C₅P-HBT/5CB** (5/95 w/w)液晶の発光スペクトル. 励起パルス強度を記してある. (a,b)より算出した (c) ピーク強度および (d) 半値全幅の励起パルス強度依存性. 青が **C₅P-HBT** 結晶、赤が **C₅P-HBT/5CB** (5/95 w/w)のデータを示す.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 6件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tsuneaki Sakurai, Masaya Kobayashi, Hiroyuki Yoshida, Masaki Shimizu	4. 巻 11
2. 論文標題 Remarkable Increase of Fluorescence Quantum Efficiency by Cyano Substitution on An ESIPT Molecule 2-(2-Hydroxyphenyl)benzothiazole: Highly Luminescent Liquid Crystal Dopant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Crystals	6. 最初と最後の頁 1105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/cryst11091105	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 Masaki Shimizu, Tsuneaki Sakurai	4. 巻 3
2. 論文標題 Organic Fluorophores That Emit Ultraviolet Light in the Aggregated States	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Aggregate	6. 最初と最後の頁 e144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/agt2.144	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 Kojiro Naito, Yuhi Inada, Tsuneaki Sakurai, Masaki Shimizu, Takeshi Yamao	4. 巻 51
2. 論文標題 Charge Carrier Mobility of 1,6-Dibromopyrene Single Crystal Grown by Solution Method on Substrate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Electronic Materials	6. 最初と最後の頁 813-821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11664-021-09345-1	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 Nobuoka Masaki, Koshi Kamiya, Shugo Sakaguchi, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki	4. 巻 34
2. 論文標題 Oriented Nanowire Arrays with Phthalocyanine-C60 Multi-Heterojunctions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 167-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.34.167	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 Lan Peng, Qianying Guo, Chaoyu Song, Samrat Ghosh, Huoshu Xu, Liqian Wang, Dongdong Hu, Lei Zhao, Qiaowei Li, Tsuneaki Sakurai, Hugen Yan, Shu Seki, Yunqi Liu, Dacheng Wei	4. 巻 12
2. 論文標題 Ultra-fast single-crystal polymerization of large-sized covalent organic frameworks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5077
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24842-x	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 該当する

1. 著者名 Koshi Kamiya, Kazuto Kayama, Masaki Nobuoka, Shugo Sakaguchi, Tsuneaki Sakurai, Minoru Kawata, Yusuke Tsutsui, Masayuki Suda, Akira Idesaki, Hiroshi Koshikawa, Masaki Sugimoto, G. B. V. S. Lakshmi, D. K. Avasthi, Shu Seki	4. 巻 12
2. 論文標題 Ubiquitous organic molecule-based free-standing nanowires with ultra-high aspect ratios	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-24335-x	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 該当する

1. 著者名 櫻井 庸明	4. 巻 26
2. 論文標題 励起状態分子内プロトン移動を示す高効率蛍光体の設計追究と液晶場における発光特性	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 液晶	6. 最初と最後の頁 61-71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 櫻井 庸明	4. 巻 25
2. 論文標題 液晶性を有する励起状態分子内プロトン移動型蛍光体の設計と応用	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 液晶	6. 最初と最後の頁 93-104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Masaki Shimizu, Tsuneaki Sakurai	4. 巻 86
2. 論文標題 Metal-Free Organic Luminophores That Exhibit Dual Fluorescence and Phosphorescence Emission at Room Temperature	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ChemPlusChem	6. 最初と最後の頁 446-459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/cplu.202000783	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 Yoshiyuki Kobayashi, Atsuya Muranaka, Kenichi Kato, Akinori Saeki, Takayuki Tanaka, Masanobu Uchiyama, Atsuhiko Osuka, Takuzo Aida, Tsuneaki Sakurai	4. 巻 57
2. 論文標題 A Structural Parameter to Link Molecular Geometry to Macroscopic Orientation in Discotic Liquid Crystals: Study of Metalloporphyrin Tapes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1206-1209
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC07241A	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 Tsung-Han Tu, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Yasuhiro Ishida, Yi-Tsu Chan	4. 巻 60
2. 論文標題 Towards Macroscopically Anisotropic Functionality: Oriented Metallo-supramolecular Polymeric Materials Induced by Magnetic Fields	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Angewandte Chemie International Edition	6. 最初と最後の頁 1923-1928
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/anie.202012284	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 該当する

1. 著者名 Masaki Shimizu, Kenta Nishimura, Rika Hirakawa, Tsuneaki Sakurai	4. 巻 27
2. 論文標題 Efficient Emission of Ultraviolet Light by Solid State Organic Fluorophores: Synthesis and Characterization of 1,4-dialkenyl-2,5-dioxybenzenes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemistry -A European Journal	6. 最初と最後の頁 1626-1637
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.202003526	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 Wanying Zhang, Satoshi Suzuki, Tsuneaki Sakurai, Hiroyuki Yoshida, Yusuke Tsutsui, Masanori Ozaki, Shu Seki	4. 巻 22
2. 論文標題 Extended Conjugation of ES IPT-Type Dopants in Nematic Liquid Crystalline Phase for Enhancing Fluorescence Efficiency and Anisotropy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 28393-28400
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CP05415A	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 Huanjun Lu, Xiaoyan Zhang, Tsuneaki Sakurai, Xiaohong Li, Yingfeng Tu, Jun Guo, Shu Seki, Christopher Y. Li, Goran Ungar	4. 巻 20
2. 論文標題 Frustrated Layered Self-Assembly Induced Superlattice from Two-Dimensional Nanosheets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nano Letters	6. 最初と最後の頁 8647-8653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.nanolett.0c03352	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 該当する

1. 著者名 Anurag Mukherjee, Tsuneaki Sakurai, Shu Seki, Suhrit Ghosh	4. 巻 36
2. 論文標題 Ultrathin Two Dimensional (2D) Supramolecular Assembly and Anisotropic Conductivity of an Amphiphilic Naphthalene-Diimide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Langmuir	6. 最初と最後の頁 13096-13103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.langmuir.0c02604	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 該当する

1. 著者名 Tsuneaki Sakurai, Shugo Sakaguchi, Yuki Takeshita, Kazuto Kayama, Akifumi Horio, Masaki Sugimoto, Tetsuya Yamaki, Atsuya Chiba, Yuichi Saitoh, Lakshmi B. V. S. Garimella, Devesh Kumar Avasthi, Shu Seki	4. 巻 3
2. 論文標題 Porphyrin Nanowire Bundles for Efficient Photoconductivity, Photoemission, and Generation of Singlet Oxygens toward Photodynamic Therapy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 6043-6053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.0c01242	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 該当する

1. 著者名 Shugo Sakaguchi, Tsuneaki Sakurai, Akira Idesaki, Hiroshi Koshikawa, Masaki Sugimoto, Shu Seki	4. 巻 33
2. 論文標題 Highly Efficient Solid-State Intra-Track Polymerization of Ethynyl-Substituted Spirobifluorenes Triggered by Swift Heavy Ion Irradiations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Photopolymer Science and Technology	6. 最初と最後の頁 91-96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2494/photopolymer.33.91	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 Yusuke Tsutsui, Wanying Zhang, Samrat Ghosh, Tsuneaki Sakurai, Hiroyuki Yoshida, Masanori Ozaki, Tomoyuki Akutagawa, Shu Seki	4. 巻 8
2. 論文標題 Electrically Switchable Amplified Spontaneous Emission from Liquid Crystalline Phase of an AIEE-Active ES IPT Molecule	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Optical Materials	6. 最初と最後の頁 1902158
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adom.201902158	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 9件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 ESIPT型蛍光体の発光効率向上のための分子設計探索と発光性液晶への展開
3. 学会等名 第181回東海高分子研究会講演会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 励起状態分子内プロトン移動型蛍光体の発光効率向上と液晶中での機能開拓
3. 学会等名 2022KIPS若手高分子シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Rational Design of Efficient Fluorophores Serving as High Concentration Dopant for Liquid Crystals
3. 学会等名 International CPL and CPEL Conference 2023 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 西口 直輝, 櫻井 庸明, 清水 正毅
2. 発表標題 励起状態プロトン移動型水溶性蛍光体の設計、合成および光物性
3. 学会等名 日本化学会第103春季年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masaya Kobayashi, Tsuneaki Sakurai, Hiroyuki Yoshida, Masaki Shimizu
2. 発表標題 Amplified Spontaneous Emission of Excited-State Intramolecular Proton Transfer Emitters in Liquid Crystals
3. 学会等名 Optics of Liquid Crystals 2021-Satellite Workshop 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 励起状態分子内プロトン移動を示す高効率蛍光体の設計追究とその液晶場における発光特性
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai, Wanying Zhang, Satoshi Suzuki, Hiroyuki Yoshida, Masanori Ozaki, Shu Seki
2. 発表標題 Tuning of aggregation-induced emission by extended conjugation: ESIPT-type fluorescent dopants in liquid crystalline matrices
3. 学会等名 PACIFICHEM 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林 雅弥, 櫻井 庸明, 吉田 浩之, 清水 正毅
2. 発表標題 ESIPT型有機蛍光体の媒質中における蛍光量子収率向上のための分子設計
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小林 雅弥, 櫻井 庸明, 吉田 浩之, 清水 正毅
2. 発表標題 励起状態分子内プロトン移動型蛍光体の液晶中での発光特性：発光量子収率向上への分子設計
3. 学会等名 2021年日本液晶学会討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Fabrication of Organic Nanowires Developed by Radiation-Triggered Polymerization of Organic Molecules in Heavy Ion Tracks
3. 学会等名 The Miller Online Workshop on Radiation Chemistry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsuneaki Sakurai
2. 発表標題 Standing Organic Nanowire Arrays Developed by Radiation-Induced Polymerization of Organic Molecules in Heavy Ion Tracks
3. 学会等名 2nd Research Coordination Meeting on "Enhancing the Beneficial Effects of Radiation Processing in Nanotechnology" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大草 葵, 櫻井 庸明, 清水 正毅
2. 発表標題 良好なアモルファス性を有する紫外蛍光性1,4-ジアリール-2,5-ジオキシベンゼンの開発
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土佐林 結衣, 櫻井 庸明, 清水 正毅
2. 発表標題 1,4-ジアロイル-2-シロキシ-5-シリルメチルオキシベンゼンのアモルファス性と室温りん光性
3. 学会等名 日本化学会第102春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaki Shimizu, Rin Terao, Tsuneaki Sakurai, Hiroshi Sakaguchi
2. 発表標題 Development of Emissive Solid Materials Applicable to Luminescent Solar Concentrators
3. 学会等名 The 12th International Symposium of Advanced Energy Science -Research Activities on Zero-Emission Energy Network- (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 寺尾 凜、櫻井 庸明、清水 正毅
2. 発表標題 高分子薄膜中で蛍光-りん光二重発光する1,2-ビス(アルコキシカルボニル)トリフェニレン
3. 学会等名 日本化学会第101春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 共役分子材料の配向制御とナノ構造化による機能開拓
3. 学会等名 京都工芸繊維大学 新素材イノベーションラボ 純正・応用化学セミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 励起状態分子内プロトン移動型発光体の液晶場における光物性
3. 学会等名 ACE Meeting Online II（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻井 庸明
2. 発表標題 ESIPT型有機発光体の設計と液晶場における光物性
3. 学会等名 2020年日本液晶学会オンライン研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2020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
連携研究者	鈴木 聡 (Suzuki Satoshi) (90734963)	九州大学・理学研究院・助教 (17102)	

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
---------	---------