

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 5 月 18 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05786

研究課題名(和文) 発光色素を円偏光発光色素に進化させる手法

研究課題名(英文) Evolving Fluorophores into Circularly Polarized Luminochromes

研究代表者

高石 和人 (Takaishi, Kazuto)

岡山大学・自然科学研究科・講師

研究者番号：70513430

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：軸性キラルなナフタレン多量体を用いた円偏光発光性(CPL)色素開発を行い、優れた色素およびCPLの誘起法を見出した。たとえば、メチレンジオキシ架橋構造を有するナフタレン八量体とペリキサンテノキサン二量体、エキシマーCPLを示すナフタレン四量体-発光団連結体、溶媒によってCPLの符号が切り替わるビナフチル-ピレンサンドイッチ型色素、プロトン化/脱プロトン化によってCPLがオン/オフするビナフチル-ビピリジル環状色素を開発した。これらを通して立体構造とCPLの相関を明らかにし、エキシマー・キラリティー則と名付けた経験則の提唱など、有益な知見を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

CPL色素は広義の光エレクトロニクス分野において応用が期待されているが、所望の性質を示す色素および分子設計に役立つ情報は限られている。特に重要な「立体構造とCPLの相関」は十分に明らかにされていない。円偏光二色性については多くの情報があり、また、計算機の性能向上と相俟って理論計算と実測結果の融合がはかられている。最近では赤外円偏光二色性が利用されることも増えている。CPL色素についても、立体構造に立脚した理論と実験の融合が求められているように思う。CPL色素の実用化研究へ移行するためには、汎用性に優れたCPL色素の開発法および分子設計指針が不可欠である。

研究成果の概要(英文)：We developed naphthalene oligomer-based dyes showing circularly polarized luminescence (CPL). Methylenedioxy-bridged naphthalene octamers and peri-xanthenoxanthenes displayed intense CPL. Naphthalene tetramers possessing six fluorophores displayed excimer-CPL. Pyrenes sandwiched by binaphthyls exhibited solvent-dependent inversion of the sign of CPL. A binaphthyl-bipyridyl cyclic dyad exhibited ON/OFF properties in CPL by protonation/deprotonation. The systematic study allowed us to find an empirical rule called the excimer chirality rule: right- and left-handed excimers exhibit (+)- and (-)-CPL, respectively. These dyes, methods, and rules will contribute greatly to the further development and application of CPL dyes.

研究分野：有機化学

キーワード：ビナフチル 軸性キラリティー 円偏光発光 エキシマー

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

国内外において円偏光発光性 (CPL) を示す有機色素の開発研究が活発である。CPL は励起された色素が螺旋状に振動する光を放つ性質であり、色素がキラルであるかキラルな環境にある場合に発現する。CPL 色素は広義の光エレクトロニクス分野において応用が期待されているが、所望の性質を示す色素の分子設計に役立つ情報は限られている。特に重要な「立体構造と CPL の相関」は十分に明らかにされていない。一方で円偏光二色性 (CD または ECD) については多くの情報があり、また、計算機の性能向上と相俟って理論計算と実測結果の融合がはかられている。最近では天然物等の絶対立体配置の決定に赤外円偏光円二色性 (VCD) が利用されることも増えている。CPL 色素についても、立体構造に立脚した理論と実験の融合が求められているように思う。

2. 研究の目的

既存の発光色素に CPL を付与出来れば、汎用性が高い優れた色素・手法となる。我々は軸性キラルなナフタレン多量体骨格の合成と機能化に関する研究を行ってきており、本骨格を用いて CPL 色素開発を行うこととした。さらに色素開発を通して、立体構造と光学特性の相関を明らかにし、CPL 色素の分子設計指針を確立することに挑んだ。

3. 研究の方法

各色素毎に (1) 合成 → (2) 立体構造解析 → (3) CPL 評価 の順に行い、並行して (4) 理論計算を行った。

(1) 合成: 光学活性なビナフチル化合物である BINOL を出発原料とし、官能基導入、官能基変換、カップリング反応などにより、各色素を合成した。

(2) 立体構造解析: 単結晶が得られた化合物については、X 線結晶構造解析によりパッキング構造を含む立体構造を明らかにした。単結晶が得られなかった化合物や溶液での構造については、各種機器分析 (NMR、CD、VCD 等) によって推測した。後述の理論計算も利用した。

(3) CPL 評価: 基本光物性 (紫外-可視吸収 (UV-Vis)、蛍光 (FL)、および時間分解スペクトル) を測定した後、CPL 測定 (スペクトル、異方性、量子収率) を行った。

(4) 理論計算: 基底状態と励起状態の立体構造、遷移双極子モーメント、分子軌道を量子化学計算により予測し、立体構造や光物性を結びつけた。特に電気/磁気遷移双極子モーメントが成す角度と CPL 強度・符号の相関を明らかにすることに着目した。

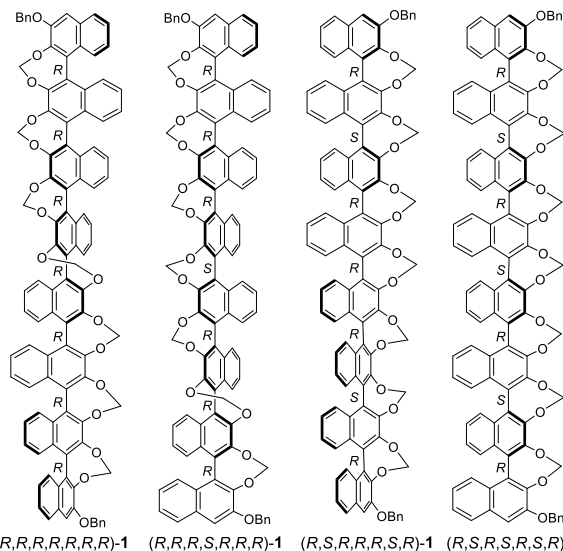
4. 研究成果

(1) 螺旋状架橋型ナフタレン八量体

以前の研究により、メチレンジオキシ架橋構造を有するビナフチルが優れた蛍光性を示すことを見出していた。これをナフタレン八量体に適用することを考え、全ての軸の立体配置を *R* に統一した (*R,R,R,R,R,R,R,R*)-八量体 **1** とそのジアステレオマーを合成し、それらの CPL を比較した。軸の立体配置によって CPL 強度を調整できると考えた。

1 はボトムアップの手法によりナフタレン八量体骨格を構築した後、プロモクロロメタンを用いて架橋することによって得た。

CPL を評価したところ、(*R,R,R,R,R,R,R,R*)-**1** の g_{lum} は $+2.2 \times 10^{-3}$ であり、他のジアステレオマーより大きな g_{lum} を示した (CPL の効率の指標となる異方性因子 g_{lum}

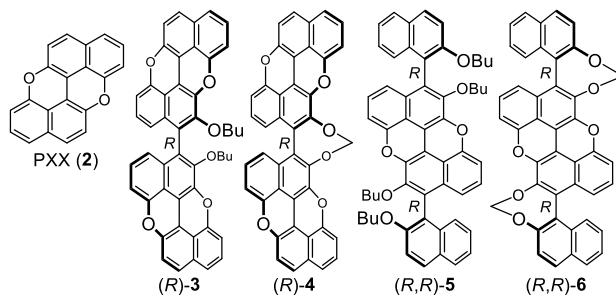


は、左円偏光発光強度 I_L と右円偏光発光強度 I_R を用いて、 $2(I_L - I_R)/(I_L + I_R)$ で表される。)。類似の (*R*)-ナフタレン二量体と (*R,R,R*)-四量体も CPL を示したが、 g_{lum} は (*R,R,R,R,R,R,R,R*)-**1** より小さな値であった。(*R,R,R,R,R,R,R,R*)-**1** は、軸の立体配置を統一することによって相乗効果を獲得し、優れたキラル光学特性を発現したと考えられる。

(2) 軸性キラルペリキサンテノキサンテン類

近年、ヘテロ元素を組み込んだ多環式芳香族化合物の研究が活発であり、芳香族炭化水素よりも優れた性質を示す化合物も見出されている。そのうちペリキサンテノキサンテン (PXX) は高い発光強度や移動度を示し、多くの研究者が注目している骨格である。キラルな PXX であれば偏光を用いた研究展開が可能となるが、それらは未報告であった。その大きな要因の一つは、ヒドロキシ基を有する PXX の不安定性にあると考えられる。そこで不安定なヒドロキシ体を経ない「ナフタレン四量体の分子内酸化的カップリング」により、軸性キラル PXX **3-6** を合成した。

吸収特性について、**3** と **5** の吸収端は PXX そのもの (**2**) と大差は無かったが、**4** と **6** は顕著に赤色偏移した。**4** と **6** では芳香環が小さな二面角を成しているため、隣接する芳香環同士が部分的に共役していると解釈した。CD スペクトルでは最長吸収波長領域で **3** は負、**4-6** は正のシグナルが観測された。符号や強度の相違は、やはり芳香環の二面角の違いに因るものと考えている。量子化学計算

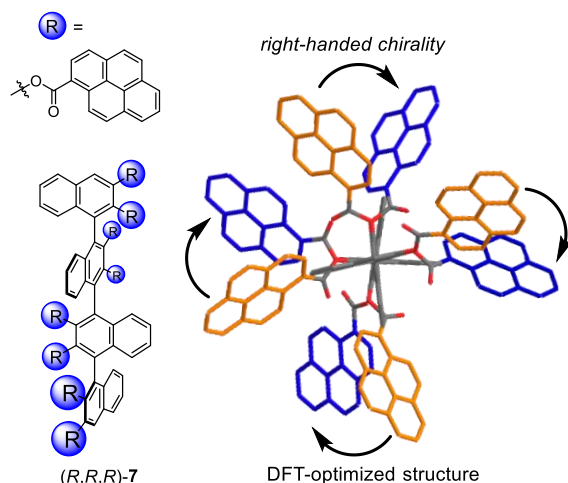


では **3** と **5** の芳香環はおおよそ直交し、**4** と **6** の芳香環は 49° を成していた。**6** の単結晶構造もほぼ同様であった。*(R)*-**3** と *(R,R)*-**5** は CPL を示さなかったが、*(R)*-**4** と *(R,R)*-**6** は正の CPL を示し、架橋構造が CPL の発現に必要なことが示唆された。*(R)*-**4** の g_{lum} は $+1.3 \times 10^{-3}$ 、*(R,R)*-**6** の g_{lum} は $+1.0 \times 10^{-3}$ であった。これらは CPL を示す初めての PXX 類として重要である。

g_{lum} は理論的には $4(|\mu| \cdot |m| \cdot \cos \theta_{\mu,m}) / (|\mu|^2 + |m|^2)$ で定義される。 μ は電気遷移双極子モーメント、 m は磁気遷移双極子モーメント、 $\theta_{\mu,m}$ は μ と m が成す角度である。 $\cos \theta_{\mu,m}$ に注目すれば、この値が大きいほど大きな g_{lum} を示す。TD DFT 計算により励起状態構造の $\cos \theta_{\mu,m}$ を求めたところ、*(R)*-**3** が $+0.009$ 、*(R)*-**4** が $+0.063$ 、*(R,R)*-**5** が $+0.054$ 、*(R,R)*-**6** が $+0.208$ であることが示され、CPL を示した架橋構造を有する PXX の方がより大きな値であった。現在のところ、架橋構造が大きな $\cos \theta_{\mu,m}$ を導き、CPL の発現に繋がったと解釈している。架橋構築に基づく色素設計は、任意の色素のキラル光学特性を変えられる有力な手段となる。

(3) ピレン多置換ナフタレン四量体

ナフタレン多量体骨格をキラルな足場として捉え、より汎用性に優れた CPL 色素の開発を目指した。各ナフタレン環-位には置換基の導入が可能であり、置換基を発光団とすると発色団はキラルな環境に置かれる。それに伴い発光団由来の CPL が観測できるのではないかと考えた。まず発光団としてよく研究されているピレンを選択し、*(R,R,R)*-ナフタレン四量体に 8 つのピレン環がエステル結合により連結した化合物 **7** を設計し、合成した。



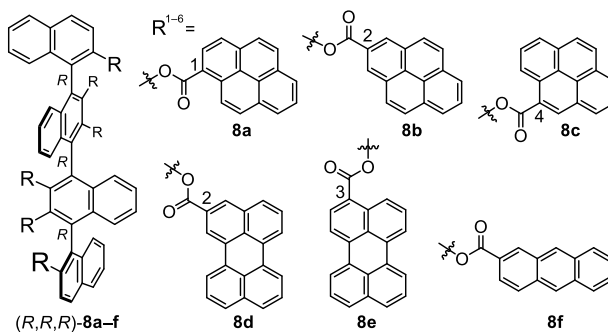
吸収スペクトルの形状はナフタレンとピレンのスペクトルの足し合わせとなっていた。これは少なくとも基底状態ではナフタレン環とピレン環は独立しており、また、ピレン環は単量体として存在していること示している。

CD スペクトルではピレン環由来の吸収波長 (320–430 nm) 領域で正の分裂型のシグナルが観測された。これはピレン環が時計回りの関係に位置していることを示している。蛍光スペクトルではピレンのエキシマー発光に由来するシグナルが見られ、モノマー発光は検出されなかった。CPL を評価したところ、強い正のシグナルを示した ($g_{lum} = +0.034$)。

次にこの CPL 発現機構を調査した。理論計算により得た最安定構造では、同一のナフタレン環に結合しているピレン環は右周りに位置し、CD スペクトルの結果と矛盾が無かった。これには以下の 2 つの要因が考えられた。(1) 隣り合うカルボニル酸素は互いに反発し反対を向く。(2) 軸を隔てたピレン環同士は立体反発によって離れて位置する。このように複数のカルボニル酸素とピレン環の存在によって強固な立体配座を構築しているようであった。この強固な立体配座が優れた CPL を導いたと考えられる。さらにいくつかのモデル化合物の CPL を評価したところ、結合させるピレン環の数は 6 つで十分であることが分かった。またビナフチル骨格では不十分であることが分かり、強い CPL 誘起にはナフタレン四量体骨格が必要であることが示された。

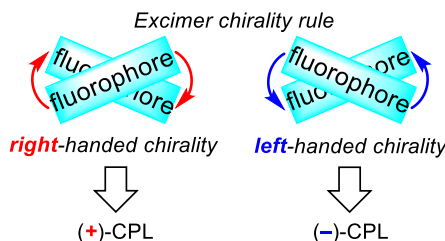
(4) 複数の蛍光団を導入したナフタレン四量体

ナフタレン四量体に複数の蛍光団を導入する手法が高汎用的なエキシマー CPL 誘起法となるかを調査すべく、ピレン環が連結した位置異性体 **8a**、**8b**、**8c**、ペリレン環が連結した **8d** と **8e**、アントラセン環が連結した **8f** を設計し、合成した。蛍光団の種類に依らず CPL を示すことを期待した。



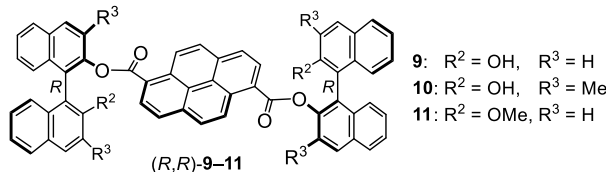
蛍光スペクトルではいずれも蛍光団のエキシマー発光が観測され、モノマー発光はほとんど観測されなかった。色調は青色から橙までを示し、カラフルであった。ペリレン類やアントラセン類は励起状態寿命が短いので、エキシマー発光を示すのは稀である。**8d-f** のペリレン環およびアントラセン環は、基底状態の時点でエキシマー形成に適した位置 (距離) にあると考えられる。さらに **8a-f** は全て CPL を示した。**8a-f** の $|g_{lum}|$ は順に 0.037、 2.8×10^{-3} 、0.014、 3.3×10^{-3} 、0.013、 1.0×10^{-3} であり、全体的に大きな値であった。CPL の符号について、当初は蛍光団の種類に関係なく一定であると予想していたが、興味深いことに化合物によって異なり、(R,R,R)-**8a**、**8c**、**8d**、**8f** は (+)-CPL を、**8d** と **8f** は (-)-CPL を示した。

理論計算によって基底状態と励起状態の安定構造を求めた結果、「右回りにねじれたエキシマーは (+)-CPL を、左回りにねじれたエキシマーは (-)-CPL を示す」という経験則を見出し、「エキシマー・キラリティー則」と名付けた。この経験則は励起状態に適用できるものであり、基底状態によく適用される励起子キラリティー法を補完できる。今後の絶対立体配置/配座の決定や、CPL の発現機構・解釈および色素設計に有用であると考えられる。またナフタレン四量体は、任意のエキシマー性蛍光団に CPL を付与できる稀有な骨格であることを実証した。



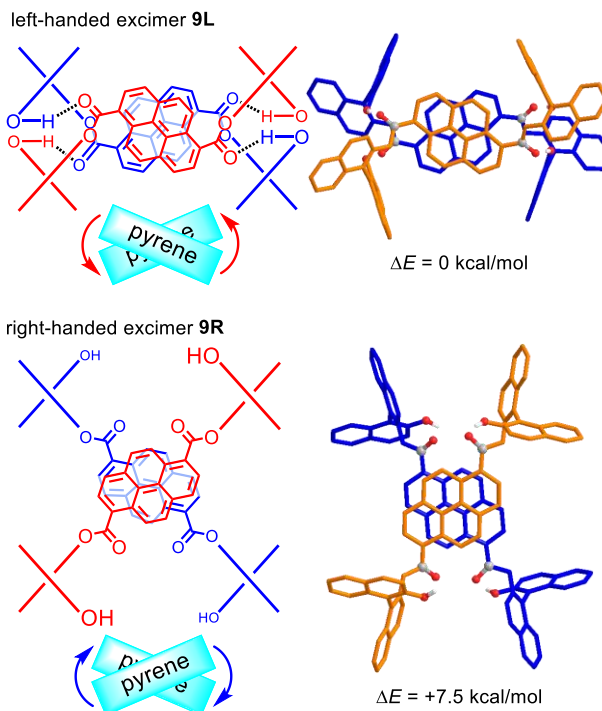
(5) ビナフチルでピレン環を挟んだ化合物

近年、数は少ないものの、溶媒、温度、濃度等の環境変化や、紫外光照射、イオン添加等の外部刺激によって CPL 特性が変化するスイッチ型色素が報告されており、学術・産業の両面から注目を集めている。1 つのピレン環を有する比較的柔軟な構造体は、環境応答型の分子間エキシマー CPL 色素になりうると考え、ピレン環を軸性キラルなビナフチルで挟んだ「サンドイッチ型化合物」(R,R)-**9-11** を設計し合成した。



(R,R)-**9-11** のジクロロメタン溶液の蛍光と CPL スペクトルを測定した。いずれもエキシマー発光のみを示し、対応する CPL を発現した。興味深いことに CPL の符号が化合物によって異なり、**9** ($g_{lum} = -5.0 \times 10^{-3}$) と **10** ($g_{lum} = -6.9 \times 10^{-3}$) は負、**11** ($g_{lum} = +4.0 \times 10^{-3}$) は正の CPL を示した。種々の誘導体を合成し CPL を評価したところ、R² の置換基がヒドロキシ基である化合物は負、アルコキシ基である化合物は正のシグナルを示すことが分かった。

R² がヒドロキシ基か否かによって CPL の符号が異なる現象を解明すべく、理論計算により **9** のエキシマーの安定構造を求めた。その結果、2 つの構造 **9L** と **9R** が得られ、**9L** が **9R** より 7.5 kcal/mol 安定であった。**9L** はカルボニル酸素とヒドロキシ水素が 4 箇所分子間水素結合を形成しており、ピレン環は左回りにねじれていた。**9R** は立体反発を避けるようにビナフチルが離れて位置し、ピレン環は右回りにねじれていた。この結果からジクロロメタン中では、ヒドロキシ基を有する色素 (**9**, **10**) は水素結合によって安定化された左回りのエキシマ



一を形成し、ヒドロキシ基をもたない色素 (**11**) は立体反発の小さな右回りのエキシマーを形成すると考えられた。

この水素結合を形成/切断すれば符号反転を達成できると考え、(*R,R*)-**10** について溶媒を変えて CPL スペクトルを測定した。その結果、非極性溶媒中 (トルエン、クロロホルム等) では負、極性溶媒中 (DMSO、アセトン) では正の CPL が検出された。さらに CPL 強度 (g_{lum}) と溶媒の比誘電率の間には正の相関が認められた。これらは非極性溶媒中では分子間水素結合を形成して左回りのエキシマーが優先し、極性溶媒中ではこの水素結合が切断され右回りのエキシマー形成が優先することを示している。環境によって CPL の符号が変わる色素は大変珍しい。本知見は励起状態での水素結合を考慮した色素設計に役立つはずである。

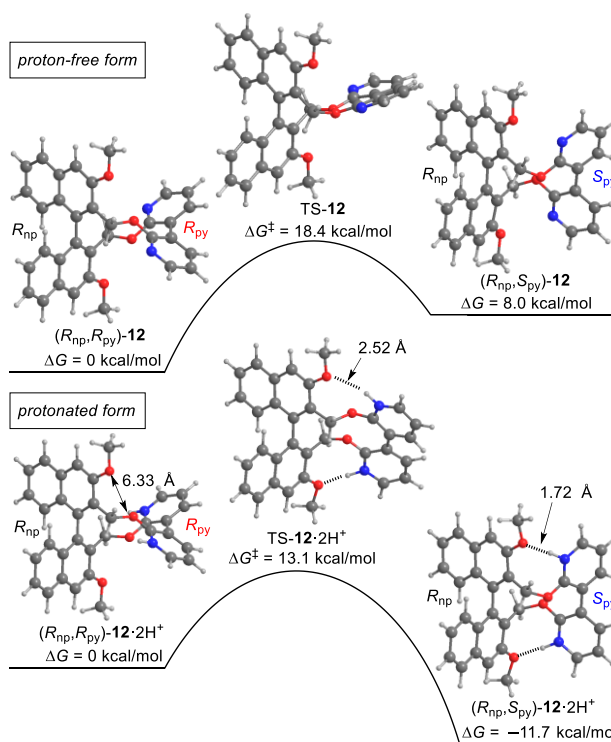
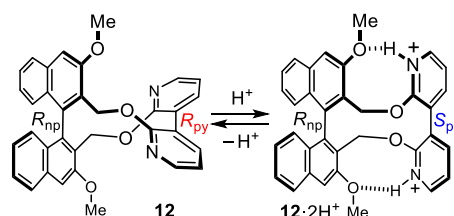
(6) ビナフチル-ビピリジル環状体

Bronsted 酸/塩基の添加によって CPL が変化する環状色素の開発を目指し、ビナフチル部位にメトキシ基を有する 3,3'-ビピリジル環状体 **12** を設計し合成した。 (R_{np},R_{py}) -**12** のビピリジル軸は、*R* のキラリティーが誘導されると考えられる。一方でプロトン化すると、OMe 酸素と NH 水素間で分子内水素結合を形成し、それに伴って S_{py} へ変わることが期待された。このビピリジル軸の立体反転に付随してキラル光学特性も変わることを期待した。

次に理論計算によって、 (R_{np}) -**12** およびそのプロトン化体 (R_{np}) -**12**·2H⁺ の立体構造を予測した。中性の (R_{np},R_{py}) -**12** では (R_{np},R_{py}) -体が最安定構造として、 (R_{np},S_{py}) -体が準安定構造として得られ、エネルギー差は 8.0 kcal/mol であった。ビピリジル軸の回転障壁は 18.4 kcal/mol であり、 (R_{np},R_{py}) -体と (R_{np},S_{py}) -体は室温で相互変換するものの、 (R_{np},R_{py}) -体の存在比が圧倒的に大きいことが予想された。 (R_{np}) -**12**·2H⁺ では (R_{np},S_{py}) -体が最安定構造として得られ、 (R_{np},R_{py}) -体とのエネルギー差は 11.7 kcal/mol であった。 (R_{np},S_{py}) -体の OMe 酸素と NH プロトン間の距離は 1.72 Å であり、水素結合形成による安定化が考えられた。回転障壁は 13.1 kcal/mol と小さく、遷移状態においても水素結合形成 (2.52 Å) による安定化が認められた。このように理論計算では、プロトン化によってビピリジル軸の立体が反転することが示された。¹H NMR によっても立体の反転が示唆された。

蛍光と CPL スペクトルを測定したところ、まず中性条件において、ビナフチル骨格に由来する典型的な蛍光が見られ、負の CPL が検出された ($g_{lum} = -1.6 \times 10^{-3}$)。次にトリフルオロ酢酸を添加しプロトン化したところ、興味深いことに、蛍光波長と強度を保ったまま CPL を示さなくなった。さらにトリエチルアミンを添加して脱プロトン化すると CPL が復活した。**12** は蛍光性を維持したまま CPL のオン/オフを可能にした初めての化合物である。鍵となるのは分子内水素結合である。単純な構造であっても面白い機能を発現できることを示せたと考えている。

以上のように、有機合成、機器分析、理論計算を組み合わせることで、新しい色素とそれに関する様々な知見を得ることができた。特に、立体構造と CPL 特性の相関について、今後の色素開発に有益な多く知見が得られた。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kazuto Takaishi, Kazuhiro Iwachido, Ryosuke Takehana, Masanobu Uchiyama, Tadashi Ema	4. 巻 141
2. 論文標題 Evolving fluorophores into circularly polarized luminophores with a chiral naphthalene tetramer: Proposal of excimer chirality rule for circularly polarized luminescence	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 6185-6290
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b02582	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 Kazuto Takaishi, Sakiko Hinoide, Tomoki Matsumoto, Tadashi Ema	4. 巻 141
2. 論文標題 Axially chiral peri-xanthenoxanthenes as a circularly polarized luminophore	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 11852-11857
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b06240	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 Kazuto Takaishi, Kazuhiro Iwachido, Tadashi Ema	4. 巻 142
2. 論文標題 Solvent-Induced Sign Inversion of Circularly Polarized Luminescence: Control of Excimer Chirality by Hydrogen Bonding	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 1774-1779
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.9b13184	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 Kazuto Takaishi, Makoto Yasui, Tadashi Ema.	4. 巻 140
2. 論文標題 Binaphthyl-bipyridy cyclic dyads as a chiroptical switch	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the American Chemical Society	6. 最初と最後の頁 5334-5338
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/jacs.8b01860	査読の有無 無
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 Kazuto Takaishi, Takahiro Yamamoto, Sakiko Hinoide, Tadashi Ema	4. 巻 23
2. 論文標題 Helical Oligonaphthodioxepins Showing Intense Circularly Polarized Luminescence (CPL) in Solution and in the Solid State	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Chemistry A European Journal	6. 最初と最後の頁 9249-9252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/chem.201702143	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 Kazuto Takaishi, Ryosuke Takehana, Tadashi Ema	4. 巻 54
2. 論文標題 Intense excimer CPL of pyrenes linked to a quaternaphthyl	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 1449-1452
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7cc09187g	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 高石和人, 依馬 正	4. 巻 76
2. 論文標題 軸性キラリティーを有するナフタレン多量体のキララル光学特性制御	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 有機合成化学協会誌	6. 最初と最後の頁 885-893
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5059/yukigoseikyokaishi.76.885	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31件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 高石和人, 岩知道和弘, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 キラルナフタレン四量体によるエキシマーの立体制御とCPL特性
3. 学会等名 シンポジウム モレキュラー・キラリティー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高石和人, 松本友樹, 樋出早紀子, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 軸性キラルペリキサンテノキサンテン類の合成と光学特性
3. 学会等名 シンポジウム モレキュラー・キラリティー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高石和人, 岩知道和弘, 安居 誠, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 ナフタレン二量体および四量体を利用した円偏光発光性色素の開発
3. 学会等名 シンポジウム モレキュラー・キラリティー2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高石和人, 岩知道和弘, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 エキシマー-CPL色素の合成と溶媒によるキラリティーの制御
3. 学会等名 第35回若手化学者のための化学道場
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuto Takaishi
2. 発表標題 Axially Chiral Arene Oligomers as a Circularly Polarized Luminophore
3. 学会等名 The 8th Japanese-Sino Symposium on Organic Chemistry for Young Scientists (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高石和人, 松本友樹, 樋出早紀子, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 架橋型軸性キラルペリキサンテノキサンテン類の合成と光学特性
3. 学会等名 第30回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高石和人, 山田侑弥, 安居 誠, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 キラルピナフチルーピリジル連結体およびその金属錯体のキロプティカル特性
3. 学会等名 第9回CSJ化学フェスタ2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuto Takaishi
2. 発表標題 Evolving Fluorophores into Circularly Polarized Luminophores with a Chiral Naphthalene Tetramer
3. 学会等名 International Symposium on Circularly Polarized Luminescence and Related Phenomena 2019 (ISCPL2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高石和人
2. 発表標題 立体制御に基づく軸性キラル発光色素の開発
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会(2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高石和人, 岩知道和弘, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 エキシマー円偏光発光性を有するピレン誘導体の合成
3. 学会等名 第113回有機合成シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人, 岩知道和弘, 竹花諒介, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 ピレン螺旋配列体の合成と円偏光発光特性及びその発現メカニズム
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人, 樋出早紀子, 竹花諒介, 安居 誠, 山本崇博, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 ピナフチルおよびナフタレン多量体のキラル光学特性制御
3. 学会等名 第29回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人, 樋出早紀子, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 円偏光発光性を示すキラルペリキサンテノキサンテン類の合成
3. 学会等名 2018年日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人,山田侑弥,安居 誠,前田千尋,依馬 正
2. 発表標題 キラルピナフチル-ピリジル環状体およびその金属錯体のキラル光学特性
3. 学会等名 第12回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人,岩知道和弘,前田千尋,依馬 正
2. 発表標題 濃度依存的なエキシマー円偏光発光性を示す有機色素の合成と評価
3. 学会等名 第12回有機 電子系シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kazuto Takaishi
2. 発表標題 Chiroptical Properties of Pyrene-Linked Quaternaphthyls and Binaphthyl-Bipyridyl Dyads
3. 学会等名 International Symposium on Circularly Polarized Luminescence and Related Phenomena (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人,岩知道和弘,前田千尋,依馬 正
2. 発表標題 発光団螺旋配列体の合成と円偏光発光特性の評価
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人
2. 発表標題 ナフタレン多量体のキラル光学特性
3. 学会等名 日本化学会第99春季年会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人, 樋出早紀子, 山本崇博, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 架橋型キラルナフタレンオリゴマーの立体構造と光学特性
3. 学会等名 第15回ホスト-ゲスト・超分子化学シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石和人, 竹花諒介, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 ピレン螺旋配列体の合成
3. 学会等名 第111回有機合成シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石和人, 樋出早紀子, 山本崇博, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 架橋型キラルナフタレン八量体の合成
3. 学会等名 第111回有機合成シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuto Takaishi, Makoto Yasui, Chihiro Maeda, Tadashi Ema
2. 発表標題 Conformational and Chiroptical Properties of Binaphthyl-Bipyridyl Cyclic Dyads
3. 学会等名 Chirality 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuto Takaishi, Sakiko Hinoide, Takahiro Yamamoto, Chihiro Maeda, Tadashi Ema
2. 発表標題 Synthesis and Chiroptical Properties of Helical Bridged-Naphthalenes
3. 学会等名 Chirality 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石和人, 竹花諒介, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 螺旋型エキシマー-CPL色素の合成と発光特性の評価
3. 学会等名 第33回若手化学者のための化学道場
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石和人, 竹花諒介, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 発光団を持つキラルナフタレン四量体の合成と円偏光発光特性の評価
3. 学会等名 第28回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石和人, 樋出早紀子, 山本崇博, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 らせん状およびV字型ナフタレン八量体の合成と光学特性
3. 学会等名 第28回基礎有機化学討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石和人, 安居 誠, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 ピナフチル-ピピリジル環状体の立体構造とキラル光学特性のスイッチング
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石和人, 竹花諒介, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 螺旋型ナフタレン四量体をキラル源とするCPL色素の合成と評価
3. 学会等名 日本化学会中国四国支部大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高石和人, 岩知道和弘, 竹花諒介, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 ピレン多置換キラルナフタレン四量体の位置異性体の合成と円偏光発光特性
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人, 樋出早紀子, 前田千尋, 依馬 正
2. 発表標題 キラルペリキサンテノキサンテン類の合成とキロプティカル特性
3. 学会等名 日本化学会第98春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高石和人
2. 発表標題 キラルナフタレン多量体から成る円偏光発光色素の合成
3. 学会等名 第37回有機合成化学セミナー (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