

令和7年10月7日

報道機関 各位

高輝度の円偏光発光を放射する 分子レベルで封止された有機蛍光色素の開発に成功

■ ポイント

- ・環状オリゴ糖（シクロデキストリン）*¹によって二成分の有機蛍光色素*²を分子レベルで封止したロタキサン型円偏光発光（Circularly Polarized Luminescence, CPL）色素*^{3,4}を開発しました（図1）。
- ・開発したロタキサン型 CPL 色素は既存の有機 CPL 色素の中で最も高い CPL 輝度（Brightness of Circularly Polarized Luminescence, B_{CPL} ）*⁵を示しました。
- ・本研究成果は、工学から医学にいたる幅広い分野で利用される色素材料の新たな可能性を開くことが期待されます。

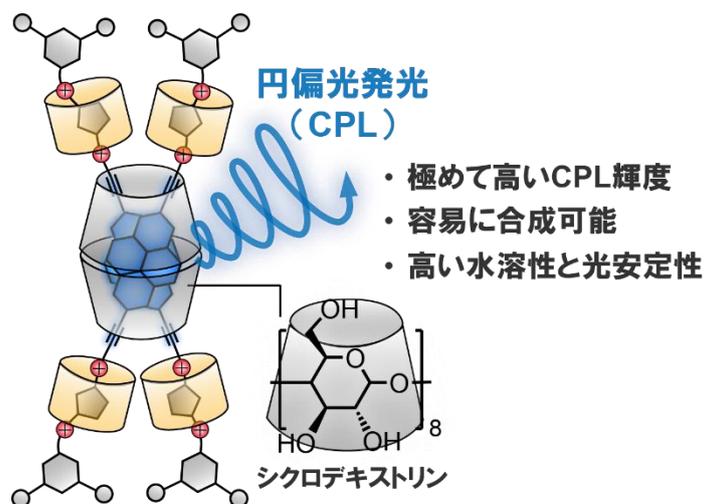


図1 開発したロタキサン型 CPL 色素

■ 概要

富山大学薬学部薬化学研究室の西冲航平博士課程大学院生、木村明日香博士前期課程大学院生、学術研究部薬学・和漢系の大石雄基講師、千葉順哉准教授、井上将彦教授、および学術研究部理学系光化学研究室の野崎浩一教授、岩村宗高講師らの研究グループは、簡便に合成でき、世界トップレベルの明るさをもつ新しい有機 CPL 色素を開発しました。本研究成果は、令和7年9月26日に化学分野で権威のある欧州学術誌「Chemical Science」にオンライン掲載されました。

■研究の背景

CPL とは、右回転の右円偏光と左回転の左円偏光の強度に差が生じる特異な発光現象です。CPL を示す物質は 3D ディスプレイやバイオイメージングへの応用が期待され、CPL を放射する色素の研究は年々増加しています。実用的な CPL 色素には偏光の度合いを示す異方性因子の大きさに加え、励起光の吸収効率と発光効率の高さが求められます。CPL 色素の総合的な効率はこちららの値をもとに算出される CPL 輝度で評価されます。CPL 色素としては異方性因子が大きいキラルランタノイド錯体が注目されていますが、その発光効率が低いために CPL 輝度は低い傾向にあります。さらに、レアアースであるランタノイドへの依存は政治的リスクを伴う問題があるため、その代替となる有機 CPL 色素の開発が求められています。一方で、有機 CPL 色素の多くは異方性因子が小さいため、高い CPL 輝度を示す色素の設計は困難でした。加えて、労力のかかる合成が必要な場合や、溶解性に問題がある場合も多く、高い CPL 輝度と利便性を兼ね備えた有機 CPL 色素の開発が希求されていました。

■研究の内容・成果

今回の研究では、簡便に合成可能で高い CPL 輝度を示す有機 CPL 色素を新たに開発しました。この CPL 色素は、シクロデキストリンという環状オリゴ糖によって二成分の有機蛍光色素が分子レベルで封止されたロタキサン構造から成ります。その合成は容易に実行でき、各構成成分を水中で混合するだけの簡単な操作で収率良く合成できます（図 2）。二成分の有機蛍光色素がシクロデキストリン内でキラル*⁶ な位置関係で近接した結果、この CPL 色素は異方性因子の大きな CPL を放射します。さらに、シクロデキストリンによる発光核の保護のおかげで、高い水溶性・光安定性*⁷・発光効率も実現しています。本色素の CPL 輝度は 836 とこれまでに報告されている有機 CPL 色素の中でも最も高い値でした。

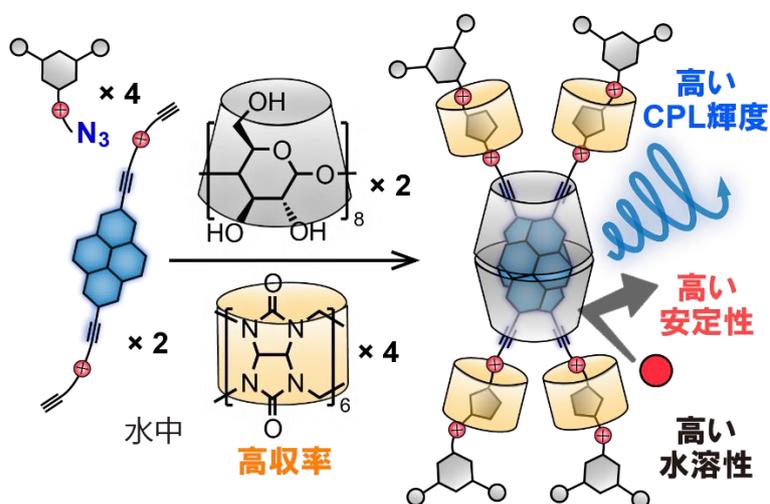


図 2 ロタキサン型 CPL 色素の合成

■今後の展開

本研究により、高い CPL 輝度を示す 有機 CPL 色素の新たな設計指針を提示できました。ロタキサン型 CPL 色素は容易に合成可能であるため、分子設計の改変による応用開拓が可能です。発光ダイオードや生体イメージング用の色素など工学から医学分野で利用できる CPL 色素への展開が期待されます。

【用語解説】

1) 環状オリゴ糖 (シクロデキストリン)

グルコースと呼ばれる糖分子が、環状に6~8個連なってできる分子。内側に分子を包接し、その安定性や溶解性を改善できる。食品や医薬品の添加物として広く利用されている。

2) 有機蛍光色素

光や電気のエネルギーを吸収し、そのエネルギーを光として放出する有機分子。

3) ロタキサン

シクロデキストリンのような環状分子に有機蛍光色素のような軸分子を貫通させた後に軸分子の末端に嵩高い置換基を接続することで環状分子が軸分子から外れないようになった構造体。

4) 円偏光発光 (Circularly Polarized Luminescence, CPL)

自然光は右回転の右円偏光と左回転の左円偏光が同じ量だけ含まれている。このうち、どちらか一方の回転の円偏光に偏りがある発光現象を円偏光発光という。

5) 円偏光発光輝度 (Brightness of Circularly Polarized Luminescence, B_{CPL})

発光色素が CPL を放射する総合的な効率を表す指標。円偏光の偏りを示す異方性因子 (g_{lum})、励起光の吸収効率に該当するモル吸収係数 (ϵ)、発光効率に該当する発光量子収率 (Φ_{lum})の値が高い色素ほど、高い B_{CPL} 値を示す ($B_{CPL} = \epsilon \times \Phi_{lum} \times g_{lum}/2$)。

6) キラル (不斉)

右手と左手のように重なり合わすことができない鏡像関係をもつことをキラルと呼ぶ。キラルな有機発光色素を自然光で励起した際に、CPL が放射される可能性がある。

7) 光安定性

有機発光色素に励起光を照射し続けた際の耐久性。

【論文詳細】

論文名 : High-yield syntheses of doubly 2,7-dialkynylpyrene-threaded photostable [8]rotaxanes exhibiting extremely bright circularly polarized luminescence

著者 : Kohei Nishioki, Asuka Kimura, Yuki Ohishi, Juri Yamashita, Masahiro Kitamoto, Munetaka Iwamura, Koichi Nozaki, Junya Chiba, and Masahiko Inouye

掲載誌 : Chemical Science

DOI : <https://doi.org/10.1039/D5SC06304C>

【本発表資料のお問い合わせ先】

富山大学 学術研究部 薬学・和漢学系 講師 大石 雄基

TEL : 076-434-7527 (直通) Email : ohishi@pha.u-toyama.ac.jp