

報道関係各位

2026年9月29日

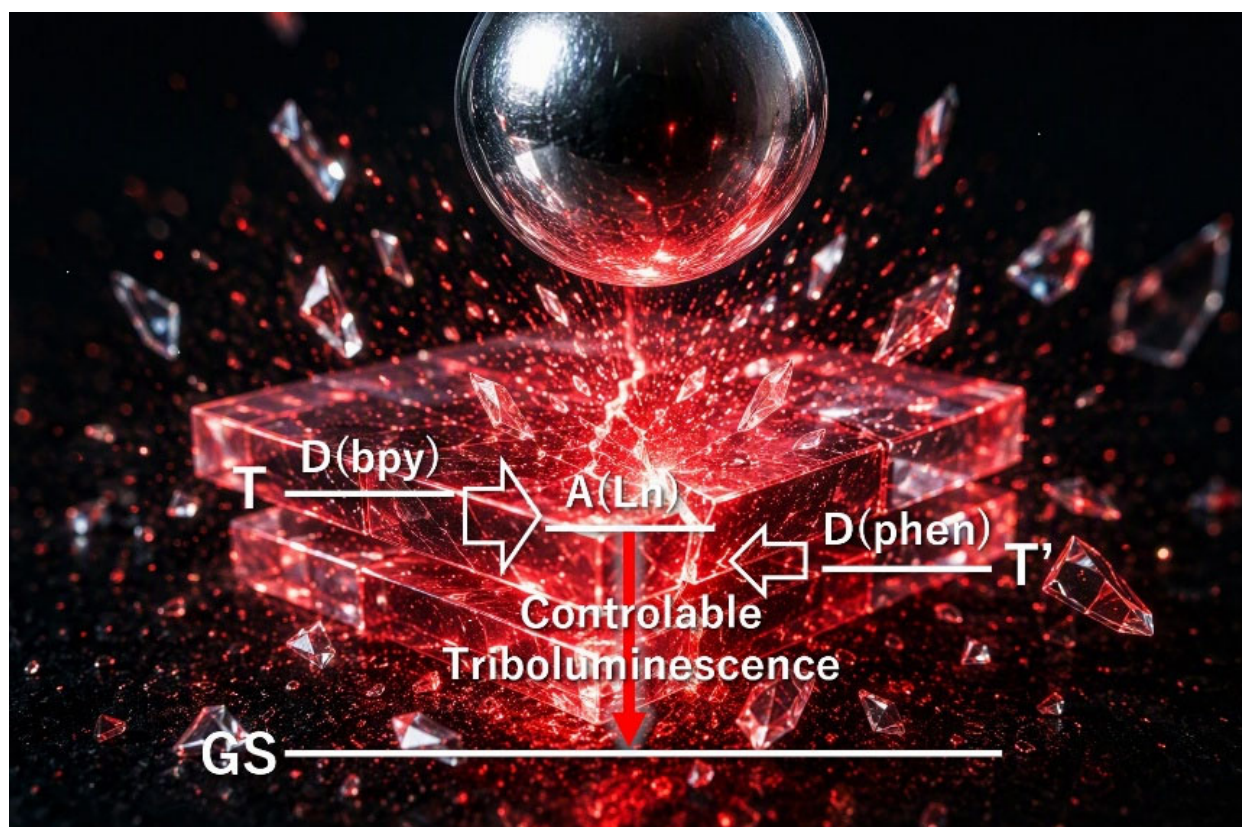
研究成果



分野：化学系

キーワード：希土類錯体、トリボルミネッセンス

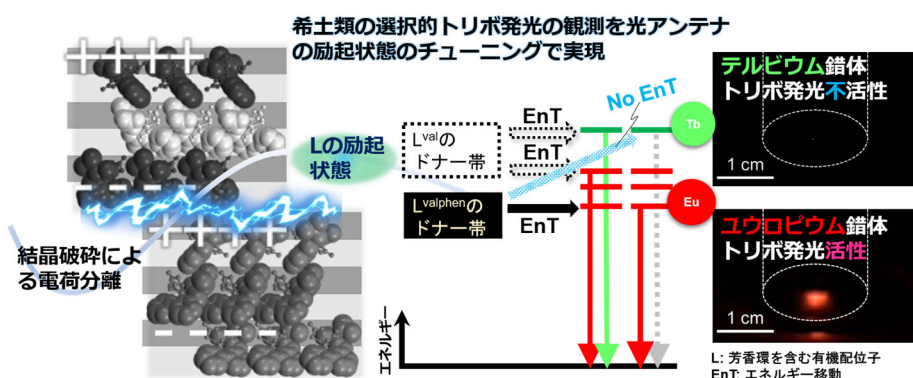
—発光色を予測・制御できる新しい分子設計指針を確立—
配位子の三重項エネルギーを精密設計し、キラル
希土類錯体の摩擦発光



【研究成果のポイント】

- ◆17世紀の発見以来、誰も解明しえなかった「トリボルミネッセンス(TL)」現象(機械的な刺激だけで発光する)の詳細な仕組みを解明した。
- ◆金属イオンに結合して複合体(錯体)を形成する分子やイオンの励起三重項準位を分子設計によって自在にチューニングすることにより、発光色や強度を予測・制御できることを実証した。
- ◆本研究成果を用いて、電気不要の衝撃センサー、破損を可視化するコーティング材料、暗所での位置表示(例えば、踏むと光る床材やタイル)など、省電力・環境調和型の発光材料として社会実装が期待される。

青山学院大学理工学部化学・生命科学科の長谷川美貴教授、大野礼雄氏(博士後期課程3年)、早内大介氏(博士前期課程修了)らの研究グループは、北里大学理学部化学科分子機能化学研究室の長谷川真士教授、田内大喜助教、高輝度光科学研究センター(JASRI)回折・散乱推進室 河口 彰吾主幹研究員、九州大学先端物質化学研究所の五島健太助教との共同研究により、配位子^{*1}の励起三重項準位^{*2}を分子設計により精密に調整することで、キラルな希土類(ユウロピウム)錯体が示す摩擦発光(トリボルミネッセンス、TL)^{*3}の発現を、狙いどおりに選択的に制御できることを実証しました。本研究成果は、英国王立化学会(Royal Society of Chemistry)が刊行する国際学術誌 Inorganic Chemistry Frontiers 誌に受理され 2026 年 9 月 12 日(英国時間)に公開されました。



❖ 研究の背景

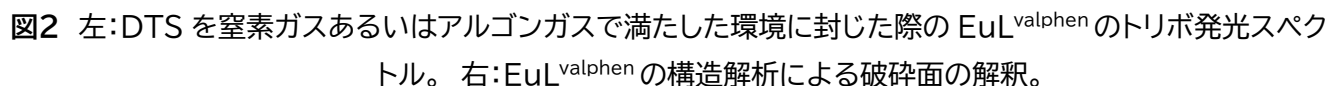
17 世紀、フランス・ペーコンが暗闇で砂糖の塊を割ると光ることを記録して以来、ものを叩く・擦る・割るといった機械的な刺激だけで発光する現象を「トリボルミネッセンス(TL)」として他の発光現象と区別されてきました。電気を使わずに光るこの現象は、省電力な発光材料や、力が加わったことを光で知らせるセンサーへの応用が期待されていますが、機械的なエネルギーがどのようにして光に変換されるのか、その詳細な仕組みは長年明らかにされていませんでした。

発光イオンとして知られる希土類(ランタニド)イオンを含む錯体で TL が観測される場合、(1)大気中の窒素が放電して光る、(2)希土類イオンが直接励起される、(3)錯体を構成する有機配位子がいったん励起され、そのエネルギーが希土類イオンへ受け渡される(アンテナ効果^{*4})、等の複数の経路が提案されており、これらを実験的に切り分け、材料設計に活かせる指針を導くことが課題となっていました。

❖ 研究の概要

研究グループは、希土類イオン(ユウロピウム:Eu³⁺、テルビウム:Tb³⁺、ガドリニウム:Gd³⁺)と、アミノ酸由来のキラルな配位子を組み合わせた新規錯体 LnL^{valphen} を合成しました。昨年発表した TL 性錯体(LnL^{val})が持つビピリジン骨格を、より大きな π 電子系をもつフェナントロリン骨格に置き換えることで、配位子の励起三重項準位(エネルギーの高さ)を約 22200 cm⁻¹から約 19200 cm⁻¹へと意図的に引き下げました。

この設計により、三重項準位は Eu³⁺イオンの発光準位(17200 cm⁻¹)と好適なエネルギー差を保つ一方、Tb³⁺イオンの発光準位(20400 cm⁻¹)へはエネルギーを渡せなくなります。実際に、この錯体は光励起下で Eu³⁺特有の赤色発光を示す一方、Tb³⁺特有の発光は示さないことを確認しました(図1)。



これらの結果は、機械的な力による結晶の破砕が、まず配位子の励起三重項状態を励起し、次いでそのエネルギーがアンテナ効果によって Eu^{3+} イオンへ受け渡されることで赤色 TL が生じるという、一連のエネルギー変換の道筋を直接示すものです。すなわち、通常の光による発光(フォトルミネッセンス)と、力による発光(トリボルミネッセンス)が、配位子の三重項準位を介した「同じ仕組み」で起きていることを明確に証明しました。

総括すると、本研究は、配位子の三重項準位を分子設計によって自在にチューニングすることで、どの希土類イオンが TL を示すか、すなわち発光色や強度を予測・制御できることを実証したものであり、力によって光る新しい発光材料を合理的に設計するための指針を与えるものです。

また、粉末 X 線回折実験は、大型放射光施設 SPring-8 の BL02B2 を用いて行われました。

❖ 今後の展開

本研究で確立した「配位子の三重項準位を設計して TL を制御する」という指針は、他の希土類イオンや配位子骨格にも展開可能であり、多彩な発光色を示す TL 材料の合理設計につながると期待されます。将来的には、電気を使わずに力が加わったことを光で知らせる衝撃センサーや、破損を可視化するコーティング材料、暗所での位置表示(例えば、踏むと光る床材やタイル)など、省電力・環境調和型の発光材料への応用が期待されます。研究グループは今後、結晶破砕にともなう電荷分離の詳細な定量評価や、複数の希土類イオンを組み合わせた多色 TL 材料の開発を進めていく予定です。

❖ 謝辞

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業(JP17H06374, JP20H05832)、私立大学研究基盤形成支援事業、マテリアル・デバイス創出拠点ネットワーク、公益財団法人山田科学振興財団、三菱ケミカル株式会社、日本電子株式会社の支援を受けて実施されました。また、粉末 X 線回折実験は、大型放射光施設 SPring-8(高輝度光科学研究センター)にて行われました(課題番号 2024B1576, 2023B1668)。

❖ 論文情報

【タイトル】

“Rational Design of Lanthanide Triboluminescence by Ligand Triplet-State Modulation and Anisotropic Crystal Fracture”

【著者】

Reo Ohno, Daisuke Hayauchi, Kota Chikaraishi, Haruki Takiguchi, Hitomi Ohmagari, Shogo Kawaguchi, Kenta Goto, Daiki Tauchi, Masashi Hasegawa, Miki Hasegawa*

【掲載】 Inorganic Chemistry Frontiers(英国王立化学会 発行)

【DOI】 <https://doi.org/10.1039/D6QI01365A>

❖ 用語解説

- *1 配位子: 金属イオンに結合して複合体(錯体)を形成する分子やイオン。
- *2 励起三重項準位: 分子が光や外部からの刺激を吸収した際に生じる、比較的寿命の長い高エネルギー状態のひとつ。
- *3 トリボルミネッセンス(TL): 物質を叩く・擦る・割るといった機械的刺激によって発光する現象で、破砕による圧電効果などが原因であるといわれている。
- *4 アンテナ効果: 配位子が吸収した光エネルギーを中心金属イオンへ受け渡し、発光を増強させる効果。
- *5 ドロップタワーシステム(DTS): 一定の高さから重りを落下させ、再現性よく試料に機械的衝撃を与える

ために研究グループが独自に開発した装置。

❖ 参考 URL

長谷川美貴教授研究者情報 WEB サイト

<https://researchmap.jp/read0161615>

長谷川研究室（青山学院大学理工学部化学・生命科学科）WEB サイト

<https://www.agnes.aoyama.ac.jp/chem/hasegawa/>

分子機能化学研究室（北里大学理学部）WEB サイト

https://www.kitasato-u.ac.jp/sci/research/faculty/member/?lab_pk=1694482596

JASRI 公益財団法人 高輝度光科学研究センター WEB サイト

<https://www.jasri.jp/>

九州大学先導物質化学研究所分子集積化学部門多次元分子配研究室／

理学府化学専攻構造有機化学研究室 WEB サイト

<https://tajigen.cm.kyushu-u.ac.jp/index.html>

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究に関すること>

青山学院大学教授 長谷川美貴

E-mail: hasemiki@chem.aoyama.ac.jp

<取材に関する問い合わせ先>

青山学院大学 政策・企画部 大学広報課

TEL:03-3409-8159

取材申し込みフォーム: <http://www.aoyama.ac.jp/companies/interview.html>

学校法人北里研究所 広報室

TEL:03-5791-6422

E-mail: kohoh@kitasato-u.ac.jp

公益財団法人高輝度光科学研究センター(JASRI) 利用推進部 普及情報課

TEL:0791-58-2785

E-mail: kouhou@spring8.or.jp

九州大学 広報課

TEL:092-802-2130 FAX:092-802-2139

E-mail: koho@jimu.kyushu-u.ac.jp

<産官学連携窓口>

青山学院大学 統合研究機構 リエゾンセンター

TEL:042-759-6056

E-mail: agu-liaison@aoyamagakuin.jp