

2026 年 8 月 20 日

報道機関 各位

国立大学法人東北大学
ハインリヒ・ハイネ大学デュッセルドルフ
国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）

分子アンテナにより光スイッチを高感度化 —スマート材料・光医療への応用に期待—

【発表のポイント】

- 光捕集分子アンテナ^{（注 1）}とアゾベンゼン^{（注 2）}を複合化し、最高クラスの感度を持つ新規光スイッチ分子を開発しました。
- 光捕集アンテナ部位が可視光を効率的に吸収し、光エネルギーをアゾベンゼンへと輸送することで、鋭敏なスイッチング現象が誘起されることが理論・実験の双方から明らかになりました。
- 本研究では、安定な ON/OFF 状態と高感度な光スイッチングの両立に成功し、光スイッチ分子を基盤とするスマート材料の開発や光医療への応用に向けた新たな戦略を提供します。

【概要】

アゾベンゼン類をはじめとする光スイッチ分子は、外部刺激に応答して機能を変調するスマート材料の開発や、光励起による時空間選択的な薬効制御などに利用されています。このような応用のためには、高い光利用効率が必要となり、光スイッチの感度を向上させる戦略が求められています。

東北大学大学院理学研究科の千葉湧太大学院生、荘司吏温大学院生、高石慎也准教授、坂本良太教授、豊田良順助教の研究グループは、独ハインリヒ・ハイネ大学デュッセルドルフのミラ キム大学院生、シリン ファラジ教授との共同研究により、分子アンテナと複合化したアゾベンゼン誘導体を開発しました。分子アンテナによる可視光捕集とエネルギー移動によって、アゾベンゼン部位をトップクラスの感度で駆動させることに成功しました。本戦略は可視光に対して素早く応答するナノ材料や薬剤分子を実現するための新たな分子設計手法として期待されます。

本研究成果は、2026 年 8 月 19 日付（日本時間）で科学誌 Journal of the American Chemical Society にオンライン掲載されました。

【詳細な説明】

研究の背景

人間の視覚系をはじめとする可視光応答システムの多くは、光励起により構造を異性化する光スイッチ分子と呼ばれる一連の有機分子群がその機能の中心を担っています。中でもアゾベンゼンは最もシンプルな光スイッチ分子の 1 つであり、光応答性を有するナノ材料や薬剤分子などに広く応用されています。材料内部や生体内での応用を見据えると、物質による光散乱などにより減衰してしまう光を感度よく捕集し、スイッチングに利用できるアゾベンゼン類の開発が望まれ、特により長波長で微弱な光に応答する分子系が求められます。

このような可視光感度に着目して異性化ダイナミクスを記述するモデルを洞察すると、モル吸光係数（光吸収の強さ）と光異性化量子収率（吸収した光エネルギーのうち、光スイッチの駆動に利用できる割合）という 2 つの指標が光スイッチの感度を決定づけており、高い感度を持つ光スイッチの開発のためには、これら 2 つの数値の積を向上させる必要があります。アゾベンゼン類の中には高い感度を持つ例も報告されていますが、より透過性に優れた長波長の光に高い感度で応答する光スイッチの開発は未開拓でした。さらに、従来の高感度化手法では、異性化後の構造の熱安定性が損なわれ、すぐに元の構造に戻ってしまうことが課題となっていました。

今回の取り組み

本研究グループは、可視光領域に強い光吸収を示すジピリン錯体^(注3)に着目し、分子アンテナとしてジピリン部位を有するアゾベンゼン誘導体の合成に成功しました（図 1、図 2）。ホウ素錯体とアゾベンゼンとの複合体（AzoB）は合成が簡便でありながら、高い光感度を示しました。亜鉛錯体を 1 次元的に連結させたジピリンナノチェーン^(注4)との複合体（AzoZn_N）は、ナノチェーンを伸長させることで、光の吸収能力を向上させることが可能です。本研究では、分子サイズによる分離精製作業を繰り返し行うことで、長さの異なる 10 種類の AzoZn_Nの単離に成功し、それぞれの光物性を調査しました。

各種分光測定を組み合わせた実験により、ジピリン錯体を励起した際にも、光エネルギー移動によってアゾベンゼン部位の異性化が駆動することが確かめられました。これらのアゾベンゼン誘導体について定量的な評価を行ったところ、既報のアゾベンゼン系光スイッチの中でトップクラスの感度を示すことがわかりました（図 3、光感度指標は AzoB で $7,500 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$, AzoZn₁₀ で $8,100 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ ）。特に、ジピリン錯体を利用したことで、応用に有利な可視光領域で高い光感度を達成できたことが顕著な成果と言えます。AzoZn_Nでは、長さの伸長とともに感度が増加する傾向が見られ、接続するナノチェーンをさらに伸長することで、可視光に対してより高い光感度を示す光スイッチの開発が見込まれます。また、従来の高感度アゾベンゼン類とは異なり、本研究の分子デザイ

ンでは異性化後の構造が熱的に安定であることが確かめられ、堅牢かつ鋭敏な光スイッチングが実現できました。

このような高い可視光感度を示すメカニズムに関して、量子化学計算^(注5)による検討を行いました。その結果、分子アンテナとして導入したジピリン錯体部位が効率的に光を捕集し、そのエネルギーをアゾベンゼンへと移動させることで可視光による異性化が起こるという機構を解明しました。

今後の展開

本研究では、ジピリン錯体を分子アンテナとして有する新たなアゾベンゼン誘導体が可視光に対して高感度な熱安定光スイッチとして機能することを、実験・計算化学の双方から定量的に実証しました。アゾベンゼン類では実現が難しい高い光応答性を、従来よりも長波長の光で達成できた点は特筆すべき成果といえます。この分子設計戦略は、可視光に高速に応答する分子性ナノ材料や分子メモリ、光医療を実現する機能性薬剤などの開発に貢献します。

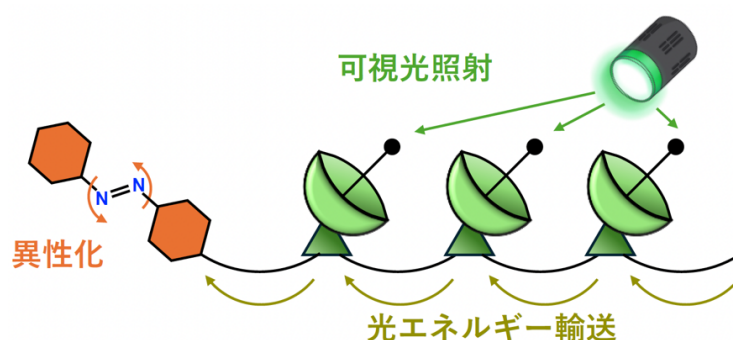


図 1. 分子アンテナによるアゾベンゼンの高感度スイッチングの模式図

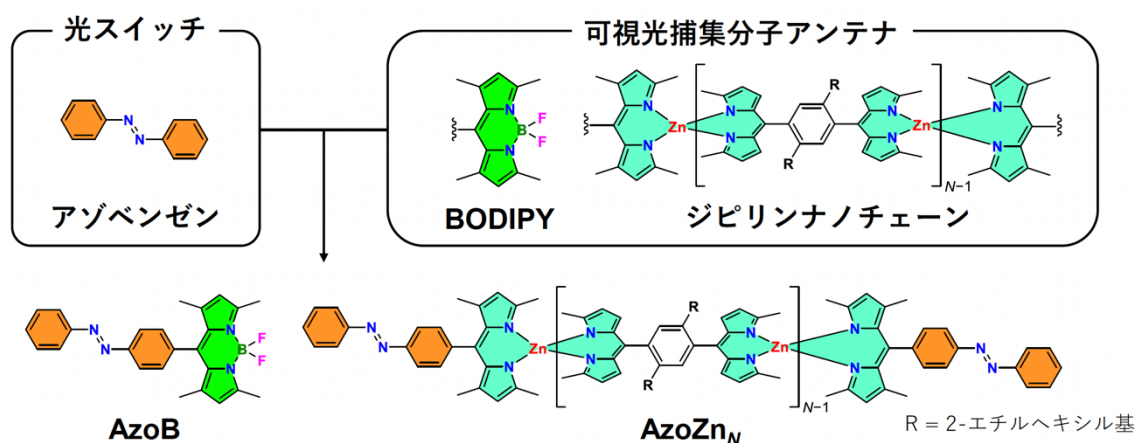


図 2. 分子アンテナを有するアゾベンゼン誘導体の分子構造。

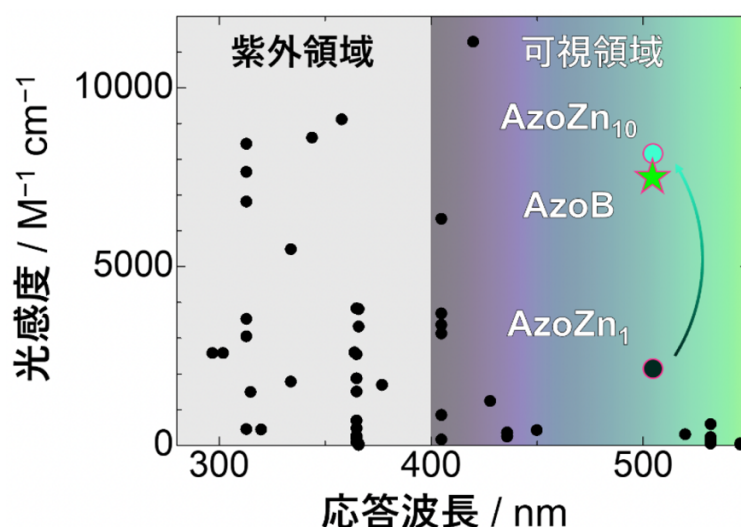


図 3. 従来のアゾベンゼン誘導体との光感度の比較。長波長になるほど高い光感度を有するアゾベンゼン類は少なく、450 nm 以上の領域において、本研究で開発されたアゾベンゼン群は最も高い光感度を有しています。

【謝辞】

本成果は、JST 戦略的創造研究推進事業 さきがけ (JPMJPR22Q5)、JSPS 科学研究費補助金 (JP26H00386、JP25H01604、JP24K01494、JP24K17666、JP24H01690、JP23H04573、JP24KJ0442)、セイコーインスツル新世代研究財団、豊田理研スカラー、マツダ財団、Hans und Ria Messer Stiftung (Z_HMS20241)、東北大学スピントロニクス国際共同大学院プログラムの助成を受けて実施されました。本論文は『東北大学 2026 年度オープンアクセス推進のための APC 支援事業』によりオープンアクセスとなっています。

【用語説明】

- 注1. 分子アンテナ：特定の波長の光を吸収し、得たエネルギーを受け渡す働きをする発色団。このような作用は光増感として知られ、自然界では光合成におけるクロロフィルが有名である。
- 注2. アゾベンゼン：2つのベンゼン環を N=N（窒素=窒素）二重結合で架橋した有機分子。トランス配座とシス配座の2状態をとり、光照射によって可逆に分子構造のスイッチングが起こる。様々な分野で活用されている代表的な光スイッチ分子である。
- 注3. ジピリン錯体：クロロフィルの部分骨格を持つジピリン配位子が、ホウ素原子や金属原子と結合してできた化合物。
- 注4. ジピリンナノチェーン：著者らの研究グループで開発された、分子鎖

長が規定されたジピリン多核錯体。吸収した光エネルギーを効率的に輸送することと、そのメカニズムが明らかにされている。

注5. 量子化学計算：コンピュータを用いて対象とする系の電子状態を理論的に計算する手法。

【論文情報】

タイトル：Molecular Antennae Enhance Visible-Light Sensitivity of Azobenzene Photoswitches

著者：Yuta Chiba, Rio Shoji, Mira Kim, Shinya Takaishi, Ryota Sakamoto, Shirin Faraji*, Ryojun Toyoda*

*責任著者：

ハインリッヒ・ハイネ大学デュッセルドルフ

教授 Shirin Faraji (シリン ファラジ)

東北大学大学院理学研究科化学専攻

助教 豊田 良順 (とよだ りょうじゅん)

掲載誌：Journal of the American Chemical Society

DOI：10.1021/jacs.6c12118

URL：https://doi.org/10.1021/jacs.6c12118

【問い合わせ先】

（研究に関すること）

東北大学大学院理学研究科化学専攻

助教 豊田 良順 （とよだ りょうじゅん）

TEL : 022-795-6547

Email : ryojun.toyoda.a8[at]tohoku.ac.jp

（報道に関すること）

東北大学大学院理学研究科

広報・アウトリーチ支援室

TEL : 022-795-6708

Email : sci-pr[at]mail.sci.tohoku.ac.jp

科学技術振興機構広報課

TEL : 03-5214-8404

Email : jstkoho[at]jst.go.jp

（JST 事業に関すること）

科学技術振興機構戦略研究推進部

グリーンイノベーショングループ

金山 晋司（かなやま しんじ）

TEL : 03-3512-3526

Email : presto[at]jst.go.jp

* [at]を@に置き換えてください