



関西学院大学
KWANSEI GAKUIN UNIVERSITY

光エネルギーの新たな有効活用原理を世界で初めて実証 -ペロブスカイトナノ結晶と有機色素分子による新原理-

報 道 各 位

関西学院広報部

関西学院大学（兵庫県西宮市、学長：森康俊） 生命環境学部 環境応用化学科の山口哲生講師と増尾貞弘教授らの研究チームは、愛媛大学との共同研究により、半導体ナノ結晶であるペロブスカイトナノ結晶と有機色素分子を組み合わせることで、光を吸収して生成される「複数励起子（マルチエキシトン）」と呼ばれる高エネルギー状態から、有機分子へと効率的にエネルギーを転送することに成功しました。

従来、このマルチエキシトンは寿命が極めて短く、短時間でエネルギーの大半が消失してしまうため、エネルギーを有効に利用することは困難でした。本研究では、ナノ結晶のサイズを精密に制御し、単一粒子レベルでの分光測定を行うことで、「マルチエキシトンから同時に複数の有機分子にエネルギーが移動する」現象を捉えることに成功しました。これは、一粒のナノ結晶が複数の分子へ同時に光エネルギーを供給できることを示すものであり、太陽電池や人工光合成、さらには量子光技術といった幅広い分野で新たな可能性を切り拓く重要な成果です。

本研究成果は、アメリカ化学会学術雑誌「Journal of the American Chemical Society（ジャーナル オブ ザ アメリカン ケミカル ソサエティ）」に 2025 年 9 月 8 日付（日本時間）で掲載されました。

ポイント

- ・ ペロブスカイトナノ結晶のサイズ制御により、これまで極めて短寿命であった「複数励起子（マルチエキシトン）」の安定化を実現しました。
- ・ マルチエキシトンから有機分子（Cy3）へのエネルギー転送を世界で初めて実証しました。
- ・ 単一ナノ結晶が複数分子を同時に光らせる現象を明らかにし、新しい「光エネルギー分配の仕組み」を提示しました。
- ・ 高効率エネルギー変換や量子光学への応用に直結する基盤成果と言えます。

研究の背景と経緯

半導体ナノ結晶（量子ドット）は、光の波長を自在に操ることができる次世代光機能材料として注目されています。特にペロブスカイトナノ結晶は、強い光吸収能と高い発光効率を兼ね備えており、太陽電池から光通信、ディスプレイ技術まで幅広い応用が期待されています。しかし、大きな課題の 1 つが「複数励起子（マルチエキシトン）の消失」でした。マルチエキシトンは、複数の光子（光の粒子）を同時に吸収したときに生じる高エネルギー状態ですが、オージェ再結合と呼ばれる非放射過程によって極めて短時間で失われ、外部に利用できないと考えられてきました。

研究チームは、「失われる前に他の分子にエネルギーを移す」ことを目指し、ペロブスカイトナノ結晶と有機色素分子を組み合わせることに挑みました。マルチエキシトンから有機分子にエネルギーを移すという試みは世界で初となります。

研究成果

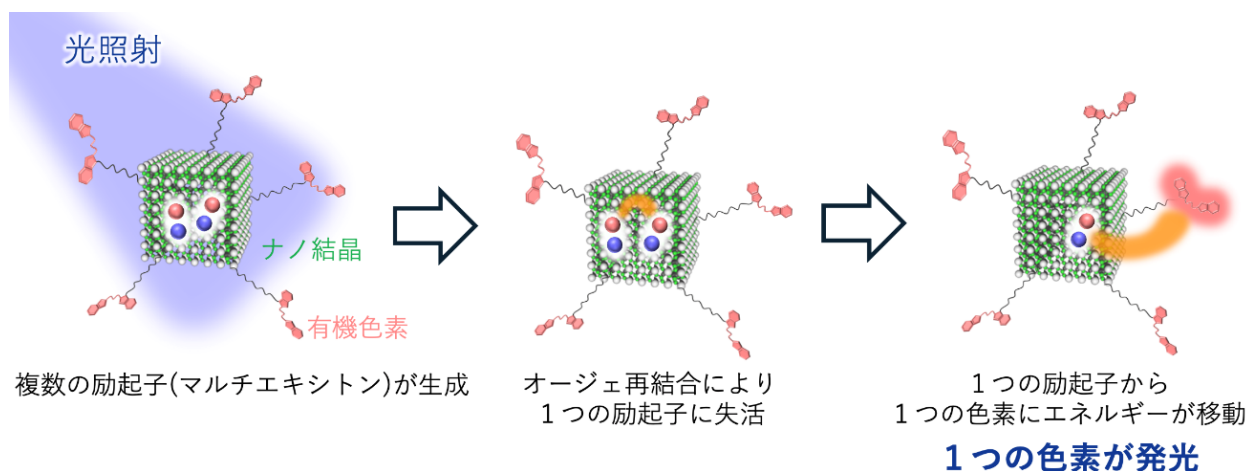
研究チームは、サイズの異なるペロブスカイトナノ結晶を精密に合成し、それぞれの表面に有機色素分子 Cy3 を配置しました。単一粒子レベルでの分光測定により、次の2つのことが明らかになりました。

- ① 小さなナノ結晶（12 nm 未満）では、従来どおり「1つの励起子が1つの分子を励起する」単一励起子過程が支配的である。
- ② 一方、大きな結晶（12 nm 以上）では、マルチエキシトンが安定化し、複数の色素分子に同時にエネルギーが渡され、複数光子の放出が観測される。

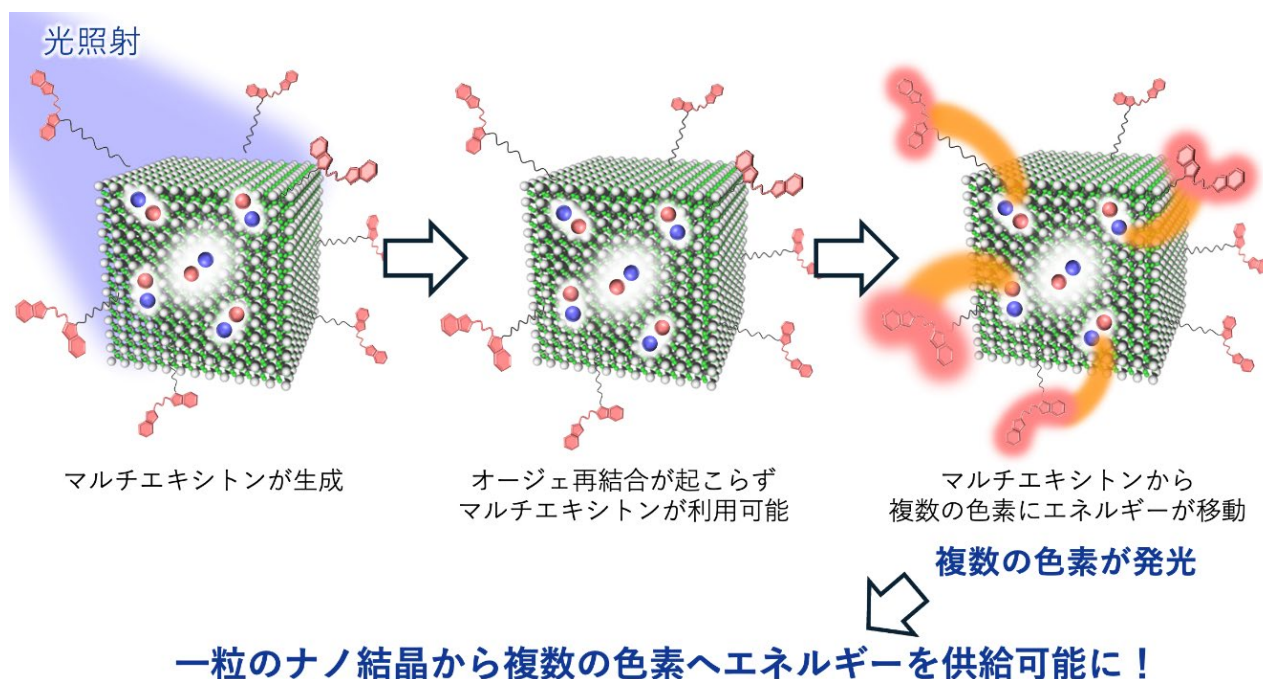
これらの発見は、マルチエキシトンが「失われるエネルギー」ではなく、「有効に配分できるエネルギー源」として利用できることを初めて示したものであり、光物質科学における大きなパラダイムシフトとなります。

参考図：

a) 12 nm 未満のペロブスカイトナノ結晶を用いたときの励起子の利用



b) 12 nm 以上のペロブスカイトナノ結晶を用いたときの励起子の利用



今後の展開

このたびの成果は、単に基礎科学の新発見にとどまらず、以下の分野で実用化に直結する大きな意義を持っています。

【太陽電池】

これまで逃していた高エネルギー光子を効率的に電力変換する新方式の設計が可能になります。

【人工光合成】

一粒のナノ結晶が複数の分子を同時に励起できるため、並列的な化学反応の駆動が可能になります。

【量子光学デバイス】

多光子を同時に制御する仕組みとして、量子通信や量子計算の光源に応用できます。

研究チームは、今後さらに多様な有機色素分子や異なる結晶構造との組み合わせを検討し、人工光合成システムや次世代太陽電池などへ発展可能な基礎的知見を系統的に解明していきます。

研究助成

本研究は、科学研究費補助金（23K21106, 23H04875, 25K01747）の支援により行われました。

論文情報

タイトル：Energy Transfer from Multiple Excitons in a Perovskite Nanocrystal to Organic Dyes Revealed by Single-Particle Spectroscopy

（単一粒子分光法で明らかにするペロブスカイトナノ結晶内の複数励起子から有機色素分子へのエネルギー移動）

著者：Tetsuo Yamaguchi, Tomoya Fukumasu, Yukihide Ishibashi, Sadahiro Masuo*

*責任著者

掲載誌：Journal of the American Chemical Society (DOI: 10.1021/jacs.5c11022)

URL：https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/jacs.5c11022

本件に関するお問い合わせ先：学校法人関西学院 広報部企画広報課（担当：中谷、和田）

兵庫県西宮市上ヶ原一番町 1-155 〒662-8501 TEL. 0798-54-6873 Fax. 0798-51-0912