

安価な高分子粒子を用いて光触媒反応を加速する反応器

～反射を利用して、光を閉じ込める～

ポイント

- ① 太陽光のエネルギーを化学エネルギーに変換できる光触媒（※1）を活用したモノづくりが求められていますが、既存の光反応器は光の吸収、透過、反射などを制御できず、反応効率が低いことが問題でした
- ② 安価な高分子（※2）の粒子を充填した反応器を用いることで、粒子のスキマで光が幾度も反射する「光閉じ込め効果」が発現し、反応が加速することを世界で初めて発見しました
- ③ 本成果は、太陽光を直接利用した化学反応の実用化におけるボトルネックを乗り越え、SDGsに適った新しい次世代型モノづくりに貢献することが期待されます

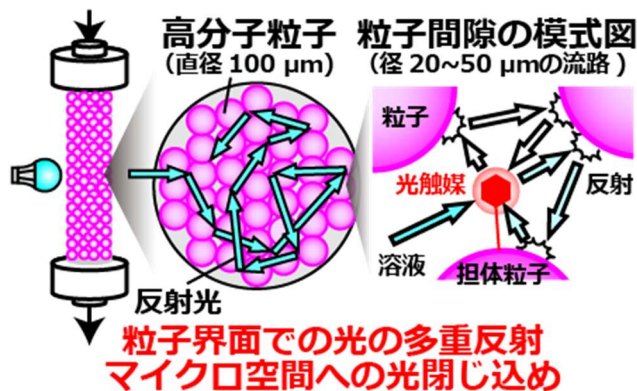
概要

SDGsに適う次世代型のモノづくりを実現するため、クリーンで再生可能な太陽光を積極的に利用した化学反応の実現が必要不可欠です。太陽光エネルギーの半分は可視光が占めており、その可視光を効率的に利用するため、光触媒を用いた化学反応が積極的に開発されてきています。一方で、そのような光触媒反応では、反応器を通過した光が外へ逃げていくため、投入したエネルギーを十分に活用できず、反応効率やエネルギー効率が低いという課題がありました。

九州大学大学院工学府の西村 和也 氏（博士前期課程修了）、大学院工学研究院の松本 光 助教、矢野武尊 助教、長尾 匡憲 助教、三浦 佳子 教授らの研究グループは、安価かつ簡便に作製できる高分子の粒子を反応器に充填し、その粒子のスキマで光が幾度も反射される「光閉じ込め効果」を世界で初めて見出しました。粒子のモデリングと光の通過シミュレーションを駆使することで、粒子のスキマで光が幾度も反射し、反応器内に長く留まっていることが明らかになりました。これにより、微弱な照射でも光触媒反応を加速でき、医薬や染料の原料となるアントラキノン類の高効率合成に成功しました。

今回のように、光触媒自体を改変することなく、「光閉じ込め効果」を発現する反応器は世界的に例がありません。今後、太陽光を直接かつ高効率に利用した、新しいモノづくりへの貢献が期待されます。

本研究成果は Elsevier 社の国際誌「Chemical Engineering Journal」に 2026 年 6 月 1 日に公開されました。



研究者からひとこと：

安価かつ入手の容易な材料をベースとして、その特性を積極的に使い新しい反応器を設計するアプローチは、SDGsに適ったモノづくり技術として有望と考えています。今後の研究の展開にご期待いただくとともに、共同研究の可能性についてもご検討よろしくお願いいたします。

（松本 光）

開発した光反応器の写真とイメージ

粒子のスキマに光を閉じ込め、可視光での光触媒反応を加速する。

【研究の背景と経緯】

SDGs に適った社会の構築に向けて、再生可能エネルギーを使って化学反応を進める、新しいモノづくりが注目されています。例えば、LED や太陽光からの可視光を直接利用した光触媒反応は、従来の化石燃料に頼らないクリーンで環境負荷の低い次世代型の化学反応として注目されています。これまでに、水分解によるクリーンエネルギー生成、CO₂ 変換、および医薬・機能性材料の合成において、光触媒反応の有用性が示されてきています。このような光触媒反応において、光を効率的に使いこなす方法を開発することは化学者・化学工学者の重要な課題です。

光触媒反応では、光触媒に吸収された光エネルギーが物質へ伝達される過程が効率を左右することが多いです。既往の研究では、光触媒そのものを分子あるいは材料レベルで設計し、高性能化することが主な研究対象でした。一方で、光は吸収されながら反応液を通過し、最後は外部へ透過・散乱してしまうため、入射した光を十分に使い切ることはできず、エネルギーのムダが発生します。したがって、強力な光源などを使って無理やり反応を進める必要があり、光触媒反応の実用化の大きなボトルネックとなっていました。

【研究の内容と成果】

今回の研究では、安価かつ簡便に合成できる高分子粒子を作製し、これを充填した新しい光触媒反応用の反応器を開発しました（図 1a）。この反応器では、反応液と高分子粒子の屈折率（※3）の差をコントロールすることで、照射した光が粒子のスキマで幾度も反射するように設計されています。この反射のおかげで、粒子のスキマに光が一度入り込むと、光はなかなか外部に逃げ出せません。この「光閉じ込め効果」を発揮する充填層に、光触媒の粒子も一緒に混ぜておき、粒子のスキマに反応液を流しながら光を照射できる装置を作製しました。結果として、光触媒反応が劇的に加速され、最大で 15 倍以上に反応速度が向上しました。また、粒子のサイズ、高分子の化学構造、および反応液の種類を系統的に検討した結果、光がより顕著に反射される組み合わせのとき、反応が加速することも明らかになりました。「光閉じ込め効果」をより詳細に解析するため、粒子のモデル化および光学理論計算を実施しました。その結果、反応器内の粒子の表面で光が幾度も反射して、そのスキマに光が長く留まっていることが分かりました（図 1b）。さらに、医薬品および染料の原料として有用なアントラキノン類（ジュグロン）の連続合成を実証し、高い光触媒活性および安定した連続運転を達成しました（図 1c）。

【今後の展開】

本研究成果は、安価かつ簡便に作製できる材料を反応器に組み入れ、光の吸収や反射を“手懐ける”方法を提供するものです。したがって、光触媒の分子構造や材料性能を改質することなく、それらを実用的に使いこなすための反応器を提案できます。今回の研究成果を応用すれば、光触媒反応のみならず、光エネルギーを用いたエネルギー変換・貯蔵技術、太陽光発電、環境浄化材料、脱炭素技術など、広範な分野での光利用効率の向上に貢献できます。

【用語解説】

（※1）光触媒

光を吸収して化学反応を促進する触媒。反応後も自身は変化せず、繰り返し利用できる。

（※2）高分子

多数の分子が鎖状につながった材料の総称。安価な基礎化学品から作られることが多く、プラスチックや繊維など幅広い製品に利用される。

（※3）屈折率

光が物質中を進む速さを表す物性値。光の屈折や反射の現象と強くかかわっている。

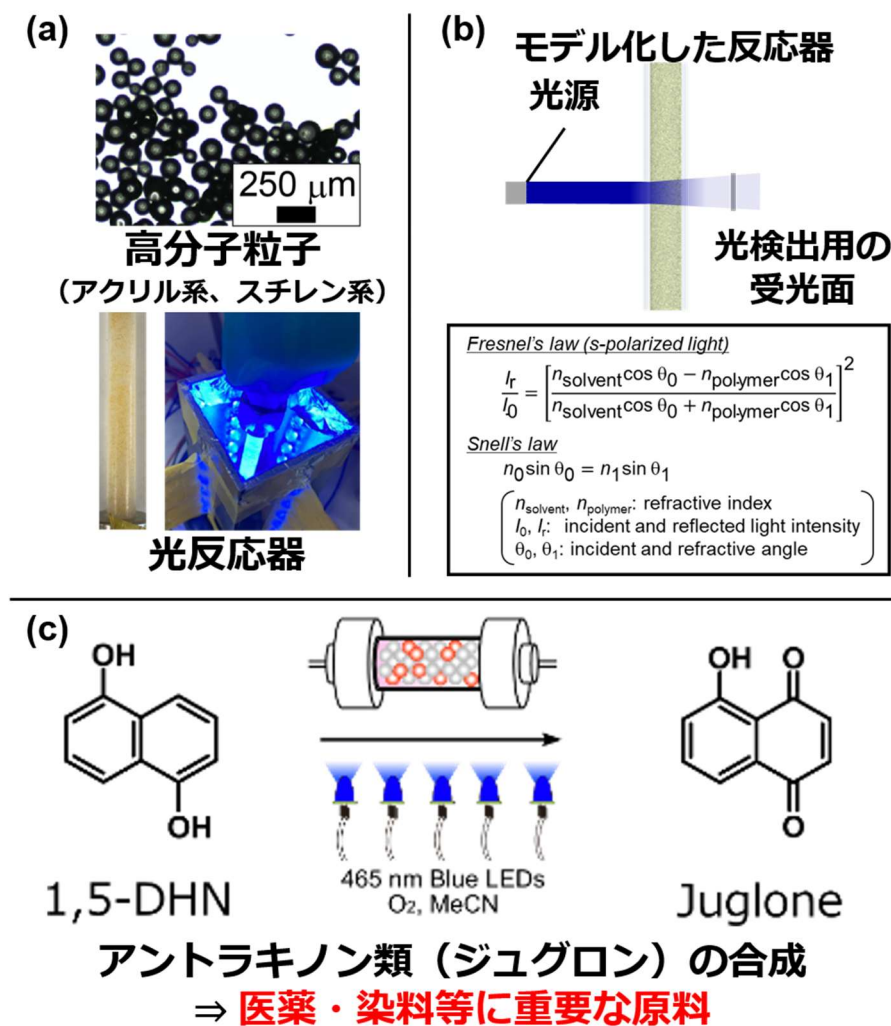


図 1. (a) 開発した高分子粒子とそれを充填した光反応器。高分子粒子と光触媒を結合した粒子を共に混ぜ、透明な管型の筒に詰めている。管の上部から下部に向かって反応液を通流しながら、光を側面から照射することで光触媒反応が進行した。(b) 粒子が充填された層をモデル化し、光が通過する様子をシミュレーションした。粒子のスキマで光が幾度も反射され、「光閉じ込め効果」が起きることを理論的に確認した。(c) 開発した光反応器を用いて、有用物質の連続生産に成功した。

【謝辞】

本研究は JSPS 科研費 (JP26K17697, JP24K17560, JP23K26708)、八洲環境技術振興財団、戸部真紀財団、藤森科学技術振興財団、および岩谷直治記念財団の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌: Chemical Engineering Journal

タイトル: Polymer-packed bed reactors enhance photocatalytic efficiency by utilizing multiple light reflections in heterogeneous photocatalysis

著者名: Kazuya Nishimura, Hikaru Matsumoto, Takeru Yano, Masanori Nagao, Yoshiko Miura

D O I : 10.1016/j.cej.2026.177898

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学大学院 工学研究院 助教 松本 光（マツモト ヒカル）

TEL：092-802-2769 FAX：092-802-2769

Mail：hmatsumoto@chem-eng.kyushu-u.ac.jp

<報道に関すること>

九州大学 広報課

TEL：092-802-2130 FAX：092-802-2139

Mail：koho@jimu.kyushu-u.ac.jp