

PRESS RELEASE (2026/02/10)

廃棄物から資源へ：CO₂とプラスチックを太陽光で同時に有用化学品に変換する単一触媒を開発

ポイント

- ① 新規「ハイエントロピー酸化物(HEO, ※1)」触媒を用い、二酸化炭素 (CO₂) とプラスチック廃棄物という二つの主要な環境汚染物質を、光を利用して同時に有用化学品へと変換する光触媒 (※2) システムを開発。
- ② CO₂は 95%以上の選択性で一酸化炭素 (CO) へ、ポリエチレンテレフタレート (PET) プラスチックはメタン、グリコール酸、酢酸、そしてリサイクル原料へと分解。
- ③ この一括処理プロセスは、従来必要だった犠牲剤 (※3) を不要とし、気候変動とプラスチック汚染の双方に同時に対処する、スケーラブルな太陽光駆動技術の道筋を示す。

概要

九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所 (WPI-I²CNER) の Nguyen Thanh Tam 学術研究員、中村潤児特任教授、Edalati Kaveh 准教授らの研究チームは、CO₂排出とプラスチック廃棄物という二つの深刻な環境問題に、単一のプロセスで同時に対処する画期的な光触媒システムを開発しました。独自に設計した「ハイエントロピー酸化物」触媒を用いて、CO₂と PET プラスチックを、光エネルギーだけで有用な化学製品に同時変換することに世界で初めて成功しました。

従来の CO₂変換やプラスチックリサイクルのアプローチは、通常、一度に一つの汚染物質のみを処理し、エネルギー集約的である上、機能させるために追加の化学試薬 (犠牲剤) を必要とすることが一般的でした。この新システムは、CO₂とプラスチックを相補的な反応パートナーとして利用することでこれらの限界を克服します。光によって生じた電子は CO₂を還元し、同時に生じた正孔はプラスチックを酸化・分解します。これにより、無駄な添加物を一切必要としない、相乗的で効率的な酸化還元サイクルが実現します。

本技術の中核は、高圧ねじり加工により合成された新規多成分触媒 BaTiNbTaZnO₉です。放射光 X 線分光法で確認されたその歪んだ原子構造は、異なる金属カチオンを組み込んでおり、可視光吸収、効率的な電荷分離、CO₂吸着サイトの提供、そして複雑な二重反応の駆動を協調的に実現します。この太陽光駆動プロセスは、根強い環境汚染物質を削減するだけでなく、広く蔓延するマイクロプラスチックの分解への新たな有望な道筋も提供します。

本成果は、環境負荷を価値ある資源へと変える、スケーラブルな「廃棄物から燃料へ」のコンセプトを確立するものです。持続可能な化学品生産と環境修復のための統合型光触媒プラットフォームに向けた重要な飛躍であり、循環型経済とカーボンニュートラルの目標に直接貢献します。

本研究は、Wiley-VCH 社の学術誌『Small』に 2026 年 1 月 28 日 (水) 付で掲載されました。

研究者からひとこと：

CO₂とプラスチック廃棄物を太陽光だけで同時に資源化する革新的光触媒技術を開発しました。独自のハイエントロピー酸化物触媒により、世界初となる CO₂還元と PET 分解の一体プロセスを実現。廃棄物を価値ある化学品へ転換する新たな循環型技術として、カーボンニュートラル社会の実現に貢献します。
(Edalati Kaveh 准教授)

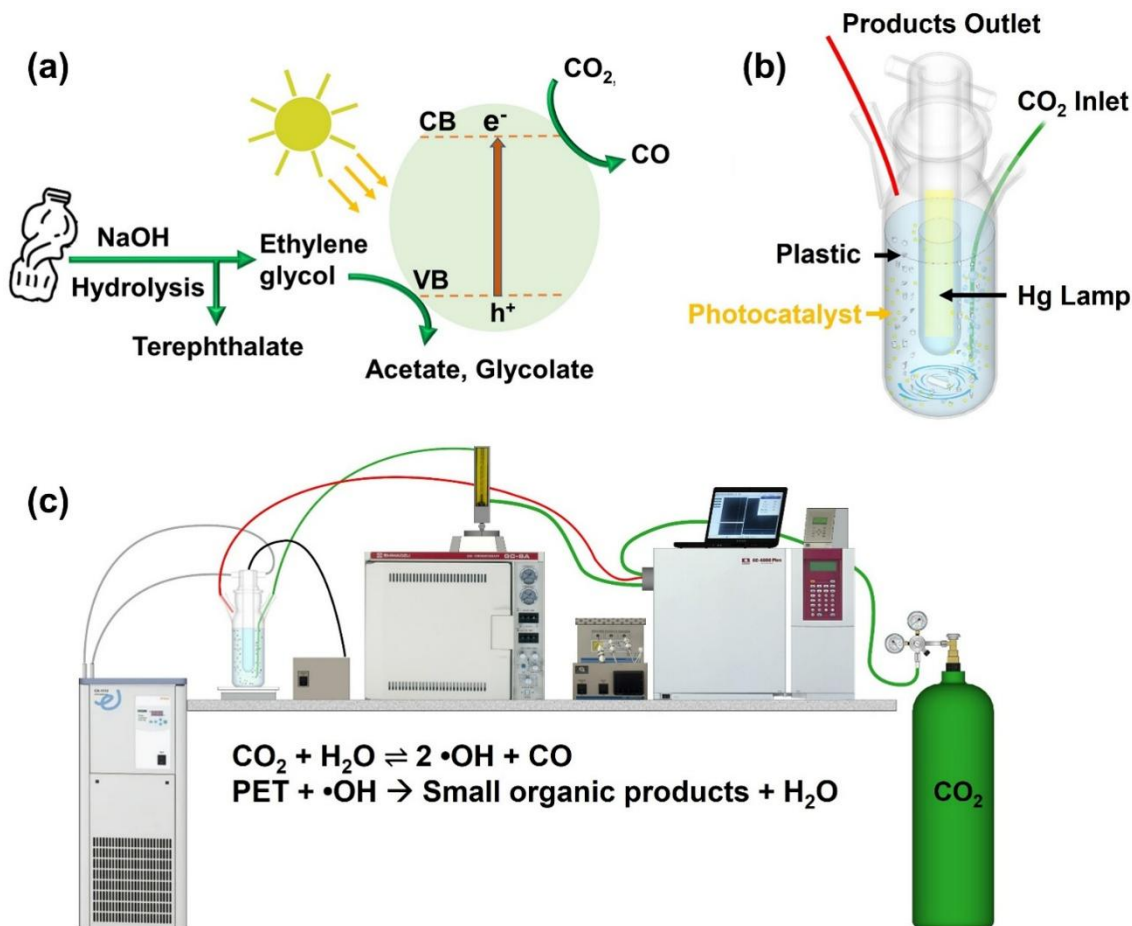


図 1. (a) 光照射下における CO₂ と PET プラスチックの同時光触媒変換の概念図。(b) 本研究で使用した光反応器の模式図。(c) 水酸ラジカルを介した CO₂還元と PET 酸化のカップリングを示す提案反応経路。

【研究の背景と手法】

地球規模の CO₂排出とプラスチック汚染は、最も差し迫った環境脅威の一つです。光を利用して化学反応を駆動する光触媒は、CO₂を燃料に変換したりプラスチックを分解したりする持続可能な道筋を提供しますが、既存のシステムには限界がありました。一般的に一度に一つの汚染物質のみを対象とし、非効率な犠牲剤に依存するため、実用化が妨げられてきました。添加物なしで両方の廃棄物フローを同時に価値化する統合プロセスは、主要な科学的・技術的課題として残されていました。単一の光触媒サイクルにおいて二つの廃棄物を酸化還元（※4）パートナーとして利用するというコンセプトは優れた解決策ですが、非常に調整可能で多機能な特性を持つ触媒が必要でした。

この協奏的戦略を実現するため、研究チームは、図 1 に示すような概念および手法を用いて、新規のハイエントロピー酸化物光触媒 BaTiNbTaZnO₉を設計しました。ハイエントロピー酸化物は五つ以上の主要元素を含み、複数の機能を統合できる高度に秩序の乱れた原子構造を生み出します。この特定の組成は、電荷分離のための電子受容性元素（Ti, Nb, Ta）、電荷輸送と高い CO 選択性のための電子供与性元素（Zn）、そして CO₂吸着を強化するルイス塩基サイト（Ba）を組み合わせるために選択されました。

触媒は、前駆体酸化物の機械的混合と、高圧ねじり加工による激しい塑性変形、そして高温焼成により合成されました。その性能は、水、触媒粉末、PET プラスチック片を含み、CO₂を連続的に流通させる独自の光反応器中で、疑似太陽光光源による照射下で評価されました。気体生成物（CO, CH₄）はガスクロマトグラフィー（※5）により、PET 分解による液体生成物は核磁気共鳴（NMR）分光法により同定・定量されました。

【研究の成果と意義】

図 2 に示すように、BaTiNbTaZnO₉触媒は、顕著な活性と選択性を示しました。光照射下で、CO₂から CO を 116.1 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1}$ の速度で、95% の選択性をもって生成しました。これは従来の CO₂ 光触媒反応と比べて 5 倍の増加です。同時に、PET プラスチックはメタン、エチレングリコール、グリコール酸、酢酸、およびテレフタル酸（新規 PET の前駆体）といった価値ある化学品へ酸化されました。対照実験により、CO は主に CO₂ に由来し、CH₄ はプラスチックに由来することが確認されました。

このシステムは、いかなる犠牲剤もなく 24 時間で 15.3 の回転数（TON）を達成し、その触媒効率を証明しました。構造的・分光学的分析により、触媒の優れた性能は、有益な異種接合を生み出す多相構造、電荷分離を促進する格子ひずみと欠陥、可視光吸収に適したバンドギャップ、および反応物吸着のための調整された表面サイトといった要因の相乗効果に起因することが明らかになりました。

本成果の意義は、二つの異なる、頑固な廃棄物フローが、一つの太陽光駆動プロセスにおいて効率的に結合され価値化できるという確定的な証拠を提供することです。これは、汚染物質を単なる廃棄物として処理することを超え、循環型化学経済の原料として捉える視点に立つものです。さらに、その基本原理は、水生環境におけるマイクロプラスチック分解への応用可能性を示唆しています。

【今後の展開】

本研究は、多機能光触媒における新たなパラダイムを切り開きます。「ハイエントロピー」材料設計戦略は、複雑な反応ネットワークを管理できる次世代触媒を作り出す強力なツールキットを提供します。今後の研究は、実際の消費後プラスチック廃棄物や汚染水の処理などの実世界応用に向け、物質輸送と効率を改善するための触媒製法と反応器設計の最適化に焦点を当てます。この光触媒アプローチと膜分離技術を組み合わせることで、水浄化と CO₂ 変換を同時に行う統合システムにつながる可能性があります。本研究は、環境浄化と燃料・化学品の持続可能な生産を統合する太陽光駆動技術への道筋を整えるものです。

【参考図】

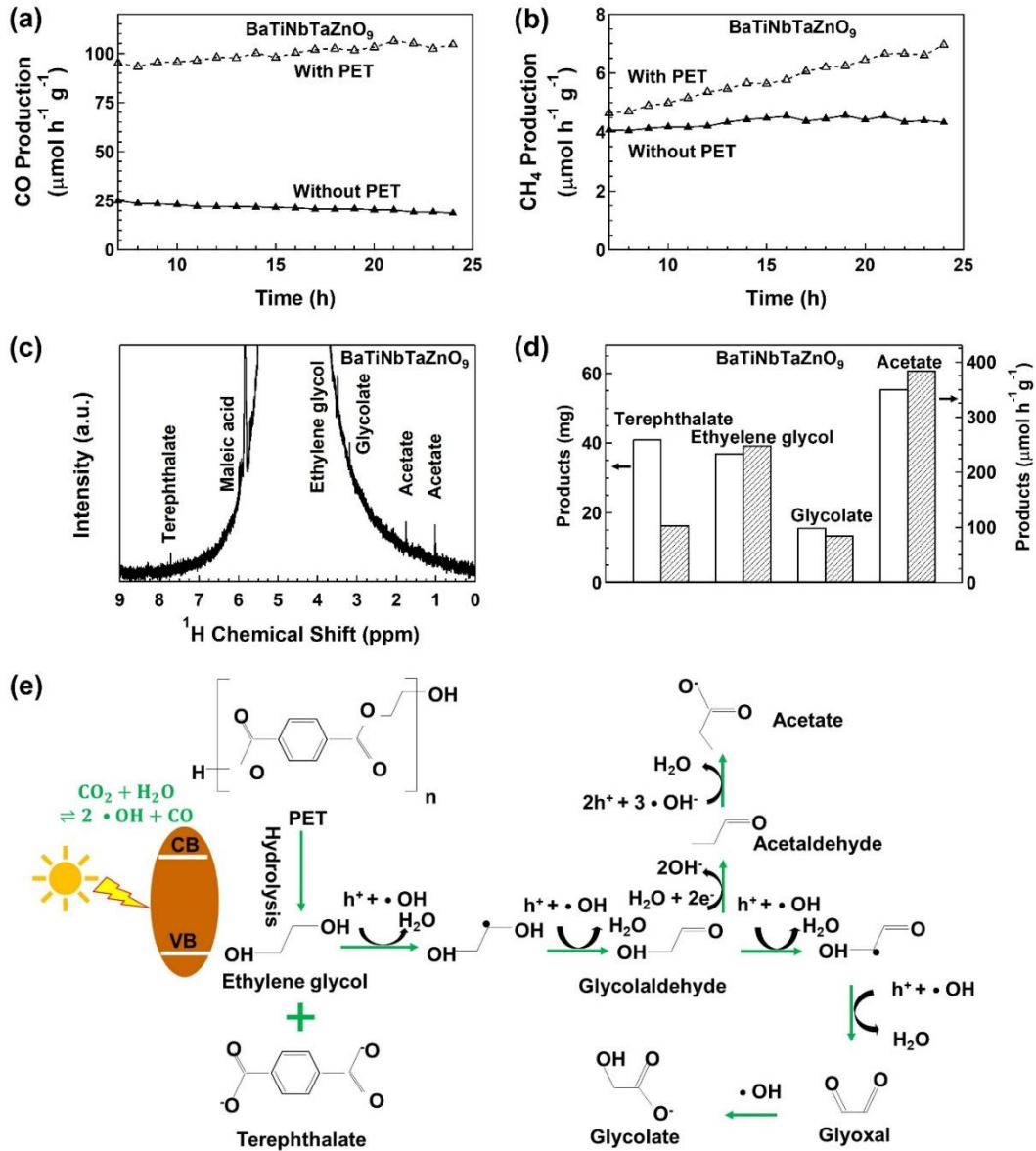


図 2. (a, b) 同時光触媒 CO₂および PET プラスチック変換による CO および CH₄生成（従来の光触媒 CO₂変換と比較）、(c) 光分解生成物の¹H 核磁気共鳴 (NMR) スペクトル、(d) 同時光触媒 CO₂および PET プラスチック変換プロセスで得られた生成物の定量結果、および (e) 同時 CO₂変換および PET 光分解の提案経路図。ハイエントロピー酸化物（BaTiNbTaZnO₉）触媒上で、光照射により CO₂が還元されて一酸化炭素（CO）を生成し、一方でポリエチレンテレフタレート（PET）プラスチックが酸化されてテレフタル酸、エチレングリコール、グリコール酸、酢酸、メタンなどの有価物へ分解される様子を示す。この統合プロセスでは、犠牲剤を用いずに二つの廃棄物が相補的な酸化還元パートナーとして機能し、太陽光駆動による環境浄化と資源回収を同時に実現する。

【用語解説】

(※1) ハイエントロピー酸化物（HEO）

五つ以上の主要金属カチオンをほぼ等モル比で含む新規セラミックス材料の分類。その高い配置エントロピーは、強化された耐久性や触媒用途における調整可能な機能性などのユニークな特性を持つ単一の固溶体相を安定化する。

(※2) 光触媒

物質（光触媒）が光エネルギーを吸収し、自身は消費されることなく化学反応を加速するプロセス。水分解や太陽光を用いた CO₂変換などのエネルギー集約的反応を駆動するためによく用いられる。

(※3) 犠牲剤

光触媒系に添加され、一方のタイプの光生成電荷キャリア（例えば正孔や電子）を消費し、他方のキャリアでの所望の反応の効率を改善するための化学試薬。その消費はプロセスを非持続可能かつ高コストにする。

(※4) 酸化還元

二つの化学種間の電子移動を伴う化学プロセス。一方の反応物は酸化され（電子を失い）、他方は還元される（電子を得る）。

(※5) ガスクロマトグラフィー

混合物を気化させてカラム内で成分ごとに分離し、その保持時間の違いから各成分を検出・分析する手法。

【謝辞】

本研究は、三井化学株式会社、および科学技術振興機構（JST）の ASPIRE プロジェクト（課題番号：JPMJAP2332）の助成を受けたものです。

【論文情報】

掲載誌：Small

タイトル：Pollutants to products: A tailored multicomponent photocatalyst for simultaneous CO₂ and plastic waste conversion

著者名：Thanh Tam Nguyen, Junji Nakamura, Kaveh Edalati*（九州大学 カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（WPI-I²CNER）、三井化学株式会社-カーボンニュートラル研究センター（MCI-CNRC））

DOI：10.1002/smll.202513379

オープンアクセス：<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/smll.202513379>

【お問合せ先】

<研究に関すること>

九州大学カーボンニュートラル・エネルギー国際研究所（WPI-I²CNER）

准教授 エダラティ・カベ（Edalati Kaveh）（*責任著者）

TEL/FAX：092-802-6695

Mail：kaveh.edalati@kyudai.jp

学術研究員 グエン・タン・タム（Nguyen Thanh Tam）

TEL/FAX：092-802-6744

Mail：nguyen.thanh.tam.959@m.kyushu-u.ac.jp

特任教授 中村潤児 (Nakamura Junji)

TEL/FAX : 092-802-6712

Mail : nakamura.junji.700@m.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

 **VISION 2030**
総合知で社会変革を牽引する大学へ