

2026年8月27日



分野：自然科学系

キーワード：二酸化炭素変換、振動、MOF、触媒材料、圧電材料、SDGs

金属有機構造体(MOF)が加速する CO₂ 変換 —振動エネルギーを活かす新しい触媒設計—

【研究成果のポイント】

- ◆ 「振動」などの力で化学反応を促進する圧電触媒^{※1}を、金属有機構造体(MOF)^{※2}で覆うことで、二酸化炭素(CO₂)から一酸化炭素(CO)への変換速度が従来の約 4.3 倍向上
- ◆ CO₂を吸着・濃縮しやすいMOFと、単原子の銅(Cu)活性点^{※3}を融合した「反応場^{※4}」を圧電触媒表面に構築することで、高効率な CO₂還元反応を実現
- ◆ 炭素循環に貢献する低環境負荷な CO₂変換プロセス技術への展開に期待

❖ 概要

大阪大学産業科学研究所の Cao Jing さん(大学院工学研究科博士後期課程)、佐々木蒼依さん(同 博士前期課程)、近藤吉史助教、Seo Yeongjun 助教、後藤知代特任教授(常勤)(兼 奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 教授)、関野徹教授、同大学院工学研究科 森浩亮教授の研究グループは、圧電体^{※5}であるチタン酸バリウム(BaTiO₃)^{※6}の表面に、2025 年のノーベル化学賞の受賞対象にもなった多孔質材料である「金属有機構造体(MOF)」を被覆することによって、超音波照射下で二酸化炭素(CO₂)から一酸化炭素(CO)への変換が大幅に促進されることを世界で初めて明らかにしました(図 1)。

本研究成果は、「水中では CO₂ が触媒表面に届きにくい」という課題を、MOF による吸着・濃縮によって改善したことで、「反応物を集め、活性点へ届ける反応場そのものを設計する」という新たな圧電触媒の設計指針を示しました。この反応場設計の考え方は、圧電触媒に限らず、光触媒や電極触媒など幅広い CO₂資源化技術への展開が期待されます。

本研究成果は、米国科学誌『ACS Catalysis』に、6 月 1 日にオンライン掲載されました。

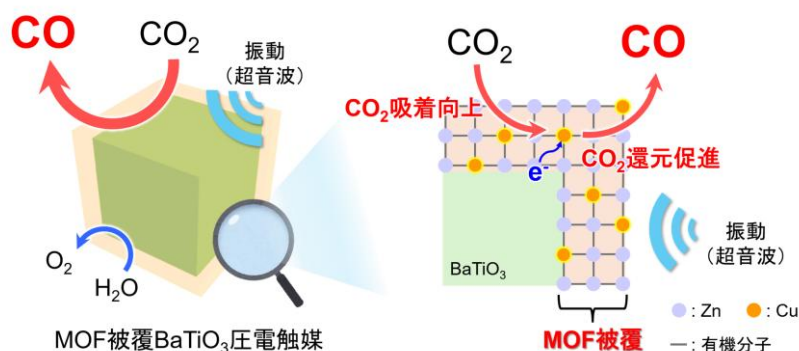


図 1. 超音波照射下での MOF 被覆 BaTiO₃による CO₂変換の概略図

【近藤吉史助教のコメント】

カーボンニュートラル実現に向けて、省エネルギーかつ低環境負荷の CO₂資源化技術の確立が望まれています。今回、MOF の被覆による触媒表面の反応場制御によって、圧電触媒による CO₂変換を大幅に促進することができました。本研究成果は、環境調和型の CO₂変換技術の高効率化に向けた重要な一歩になると期待しています。

❖ 研究の背景

工業的に排出される二酸化炭素(CO₂)を有用な化学原料へと再資源化する技術の重要性が高まっています。特に一酸化炭素(CO)は、化学品の製造を支える重要な化学原料であり、CO₂をCOに変換する技術は、排出された炭素を再利用するカーボンリサイクル技術として期待されています。

その技術の一つとして注目を集めているのが、振動などの身近な機械的エネルギーを利用して化学反応を進める「圧電触媒」です。外部から高温・高圧を加える必要がなく、室温・常圧という非常に温和な条件でCO₂を変換できることから、省エネルギーかつ環境負荷の低い次世代のCO₂資源化技術として大きな期待が寄せられています。

一方で、従来の圧電触媒では、振動への応答性(圧電性)を向上させることに重点が置かれており、反応物であるCO₂を触媒表面へ効率よく供給する仕組みや、高効率に反応を進める活性点の設計は十分に検討されていませんでした。特に、水中におけるCO₂の触媒表面への供給が制限されることが、反応効率向上に向けた大きな課題となっていました。

❖ 研究の内容

研究グループは、従来の圧電触媒が抱えていた「水中ではCO₂が触媒表面に届きにくい」という課題の解決に向け、MOFに着目しました。MOFは、内部に多数の微細な空間を持つ多孔質材料であり、金属や有機分子の組み合わせを変えることで、目的に応じた機能を設計できる次世代材料として期待されています。

本研究では、圧電触媒であるBaTiO₃の表面を、CO₂を吸着・濃縮しやすいMOF(今回は疎水性MOFの一種であるZIF-8を使用)で被覆するとともに、そのMOFの構造内部にCO₂還元反応の活性点となる単原子状態のCu元素を導入した新しい触媒(Cu-ZIF-8/BT)を開発しました。MOFが周囲のCO₂を吸着して、局所的に濃縮し、近接するCu活性点へCO₂を効率よく供給することで、CO₂還元反応に適した反応場を形成します(図1)。比較としてCuを添加していないZIF-8のみを被覆した触媒(ZIF-8/BT)も作製し、超音波振動下でCO₂還元反応を評価しました。

その結果、MOFの被覆によってCO₂還元反応が大幅に促進され、特にCu含有MOF被覆BaTiO₃(Cu-ZIF-8/BT)では、従来のBaTiO₃触媒(BT)と比較してCO生成活性を約4.3倍まで向上させることに成功しました(図2)。

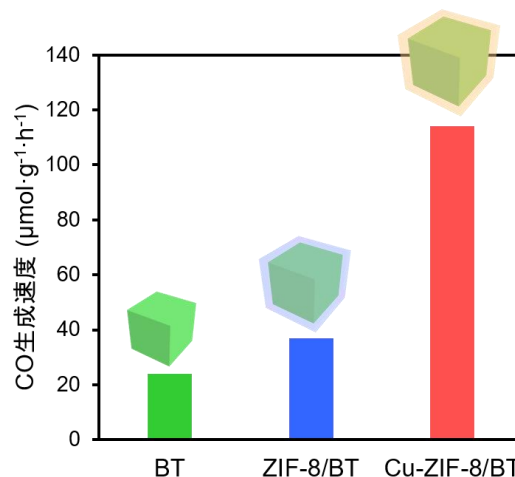


図2. 開発した触媒を超音波照射下でのCO₂還元反応に用いた際のCO生成速度の比較

❖ 本研究成果が社会に与える影響(本研究成果の意義)

本研究成果により、未利用エネルギーである振動エネルギーを活用した低環境負荷なCO₂変換技術の高効率化が期待されます。具体的には、「反応物であるCO₂を効率よく集め、活性点へ届ける反応場を設計する」という新たな圧電触媒の設計指針を示すものです。さらに、本研究で提案した「反応場設計」の考え方は、圧電触媒に限らず、光触媒や電極触媒など、幅広いCO₂変換技術への応用が期待されます。

❖ 特記事項

本研究成果は、2026 年 6 月 1 日(月)(現地時間)に米国科学誌『ACS Catalysis』(オンライン)に掲載されました。

タイトル: “Unlocking Enhanced Piezocatalytic CO₂ Reduction on BaTiO₃ via Cu Single Atoms within a Hydrophobic Metal–Organic Framework Shell”

著者名: Jing Cao, Yoshifumi Kondo, Aoi Sasaki, Yeongjun Seo, Tomoyo Goto, Kohsuke Mori, Tohru Sekino

DOI: <https://doi.org/10.1021/acscatal.6c02044>

なお、本研究の一部は、独立行政法人日本学術振興会(JSPS)の「科研費若手研究(25K17915)」、公益財団法人増屋記念基礎研究振興財団 2026 年度研究助成、「人と知と物質で未来を創るクロスオーバーアライアンス」(文部科学省)の支援のもと、大阪大学産業科学研究所附属総合解析センター、九州シンクロトロン光研究センターの九州大学ビームライン(SAGA-LS/BL06)、大阪大学マテリアル先端リサーチインフラ設備供用拠点(ARIM)、東京科学大学コアファシリティセンターのご協力を得て実施されました。

❖ 用語説明

※1 圧電触媒

振動や圧力、摩擦などの機械的エネルギーを利用して、化学反応を促進する触媒材料です。加熱を必要とせず、身の回りの微小な振動を化学反応に有効活用できる次世代のエネルギー変換材料として期待されています。

※2 金属有機構造体(MOF)

MOF は Metal-organic framework の略です。金属イオンと有機分子が配位結合により、ネットワーク構造を形成した多孔質材料です。非常に大きな比表面積を持ち、優れたガス吸着・分離特性を持ちます。2025 年のノーベル化学賞の対象物質です。

※3 活性点

触媒の表面で化学反応が起きる部位のことです。この部位の働きによって、反応の効率が大きく左右されます。

※4 反応場

化学反応が起こる場所や環境のことです。反応物質の集まり方や反応の進み方に大きく影響します。

※5 圧電体

外部から加えた機械的エネルギーを電氣的エネルギーに変換する、または電氣的エネルギーを機械的エネルギーに変換する材料です。前者は、力が加わることで結晶表面に電荷が発生する性質(正圧電効果)を、後者は電荷を加えることで結晶が機械的に変形する性質(逆圧電効果)を利用しています。身の回りでは、センサやアクチュエータなどに広く利用されます。

※6 チタン酸バリウム(BaTiO_3)

ペロブスカイト型構造と呼ばれる結晶構造を持ち、圧電体の代表例の一つです。積層セラミックスコンデンサの材料として、様々な電子機器に利用されています。

❖ SDGs目標



❖ 参考 URL

近藤吉史助教 研究者総覧

<https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/1922f157de8d5165.html>

関野徹教授 研究者総覧

<https://rd.iai.osaka-u.ac.jp/ja/9967e6c7e17dfe29.html>

❖ 本件に関する問い合わせ先

<研究に関するお問い合わせ>

大阪大学 産業科学研究所 助教

近藤 吉史(こんどう よしふみ)

TEL: 06-6879-8436

E-mail: y.kondo@sanken.osaka-u.ac.jp

<広報に関するお問い合わせ>

大阪大学 産業科学研究所 広報室

TEL: 06-6879-8524

E-mail: press@sanken.osaka-u.ac.jp

奈良先端科学技術大学院大学 企画総務課 渉外企画係

TEL: 0743-72-5112

E-mail: s-kikaku@ad.naist.jp

❖ 発信先 報道機関

大阪大学から 大阪科学・大学記者クラブ、文部科学記者会、科学記者会

奈良先端科学技術大学院大学から 奈良県文化教育記者クラブ、学研都市記者クラブ