



PRESS RELEASE

配信先：文部科学記者会、科学記者会、桐生市役所記者クラブ、名古屋教育記者会

2026年10月15日

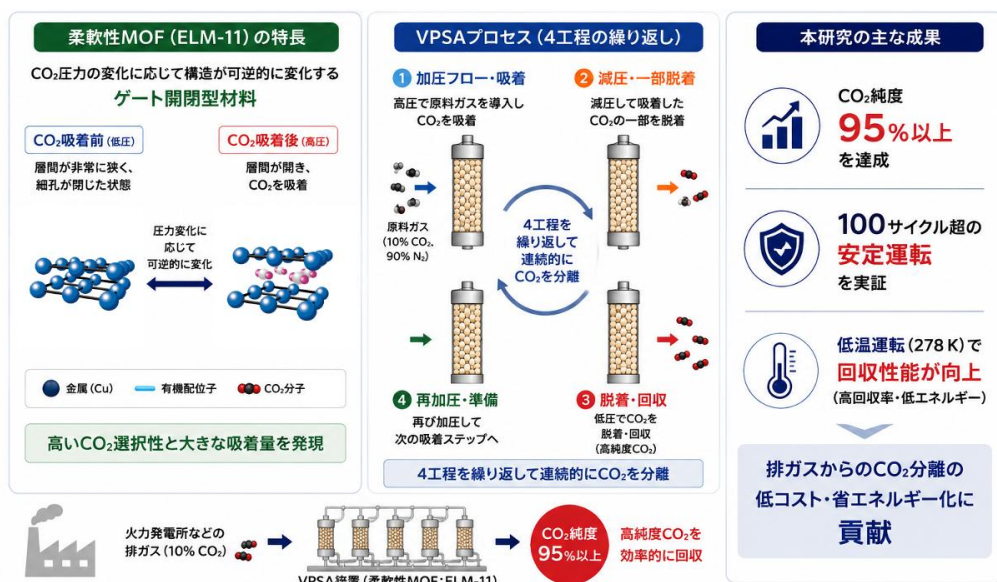
報道関係者 各位

国立大学法人群馬大学

国立大学法人東海国立大学機構名古屋大学

構造柔軟性MOFを用いたCO₂分離プロセスを世界で初めて実証 — 次世代の省エネルギーCO₂回収技術の実用化に向けて —

群馬大学大学院理工学府の藤木淳平 准教授は、名古屋大学大学院工学研究科の川尻喜章 教授らの研究グループおよび日本製鉄株式会社との共同研究により、CO₂を吸着すると構造が変化する「柔軟な金属有機構造体（柔軟性MOF）」を用いた真空圧カスイング吸着（VPSA）により、CO₂を連続的に分離・回収する試験に世界で初めて成功しました。MOFをCO₂の分離・回収に利用する研究はこれまでも数多く報告されていますが、CO₂を吸着すると細孔構造が変化するという従来の吸着材にはない特性を持つ柔軟性MOFを実際の装置に組み込み、吸着と再生を繰り返す連続運転によってCO₂分離性能を実験的に実証した例はこれまでありませんでした。本研究では、これまでシミュレーションによって有効性が予測されていた柔軟性MOFを用いたVPSAプロセスを実際に構築し、そのCO₂分離性能を実験的に確認しました。その結果、火力発電所などの燃焼排ガスを模擬したCO₂濃度10%の混合ガスから、単純な4工程のVPSAプロセスによって95%以上の高純度CO₂を回収できることを示しました。さらに、柔軟性MOF特有の吸着挙動を利用した運転条件の設計指針を提案するとともに、100サイクルを超える繰り返し運転でも安定した性能を確認しました。



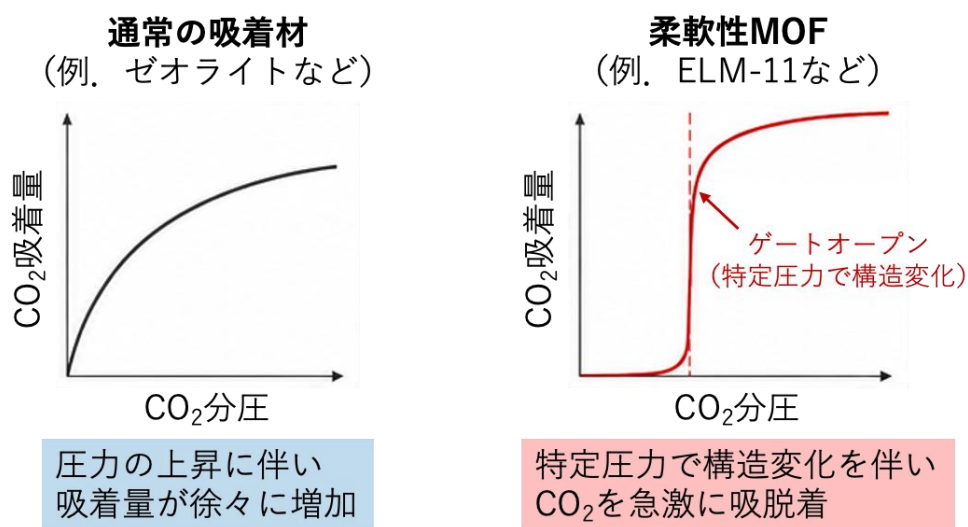
1. 本件のポイント

- 柔軟性MOFを用いたVPSAによるCO₂分離・回収を世界で初めて実験的に実証
- CO₂濃度10%の模擬排ガスから、単純な吸脱着により95%以上の高純度CO₂を回収
- 破過曲線を利用した運転条件の設計指針を提案し、100サイクル超の安定運転を実証

2. 本件の概要

CO₂の分離・回収は、カーボンニュートラルの実現に向けた重要な技術の一つですが、回収に必要なエネルギーやコストの低減が大きな課題です。固体の多孔性材料にCO₂を吸着させ、圧力の変化によって分離・回収するVPSAプロセスは、省エネルギーなCO₂分離技術として期待されています。

本研究グループでは、ガスの吸着に伴って結晶構造が変化する「柔軟性MOF」に着目してきました。柔軟MOFは、特定の圧力に達すると構造が変化して細孔が開く「ゲート吸着」と呼ばれる現象を示し、CO₂を急激に吸着します。また、特定の分子に対してのみゲート吸着を示します。この特徴により、圧力変化に伴う吸着量の差を大きくできることから、高効率なCO₂分離材料として期待されています。

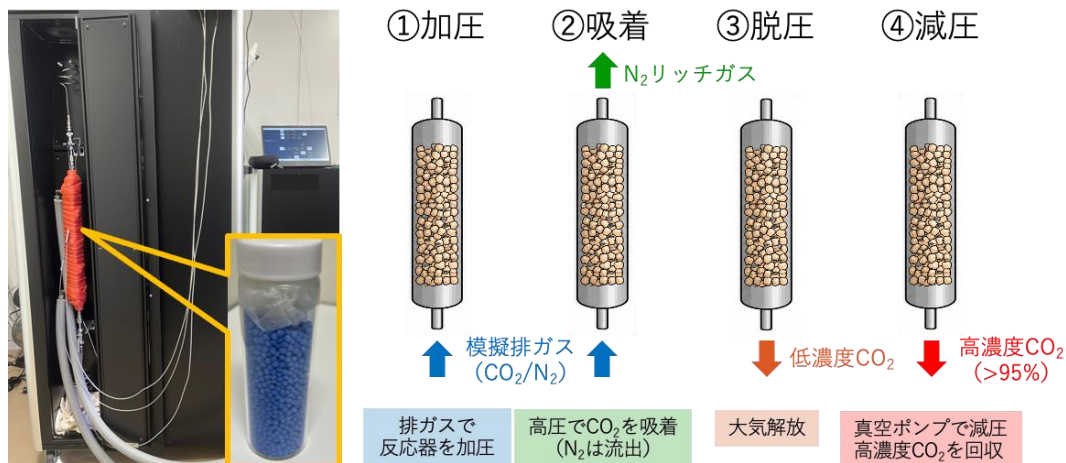


柔軟性MOF：脱着が容易・大きな吸着量差が得られる

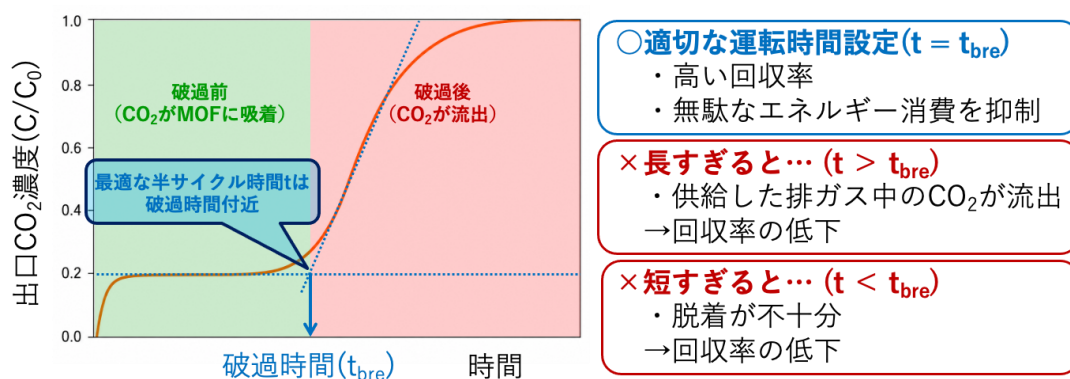
これまで柔軟性MOFを用いたVPSAについては、シミュレーションにより高いCO₂分離性能が予測されていましたが、柔軟性MOFを実際のVPSA装置に充填し、繰り返しCO₂を分離・回収できることを実験的に示した例は報告されていませんでした。

3. 研究内容と成果

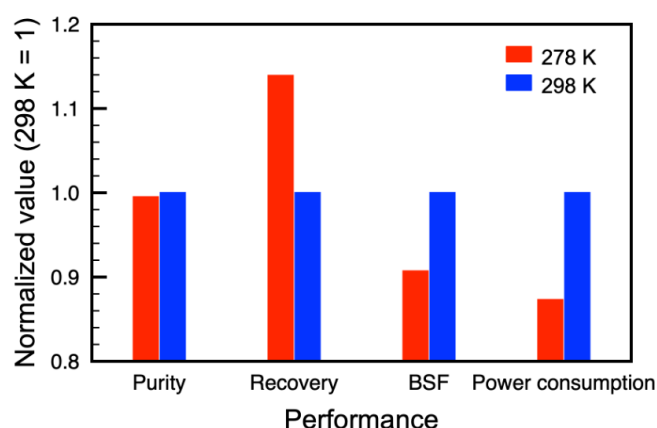
本研究では、柔軟性MOFの一種であるELM-11をセルロース系バインダーとともにペレット状に成形して吸着塔に充填し、燃焼排ガスを想定した10%CO₂/90%N₂の混合ガスを用いて、実験室規模のVPSA試験を行いました。今回検討したVPSAプロセスは、最も単純な「加圧」「吸着」「減圧」「脱着」の4工程から構成され、吸着材へのCO₂の吸着と脱着を繰り返すことでCO₂を分離します。



その結果、4ステップの単純な吸脱着の運転において95%以上の高純度CO₂を回収できることを確認しました。さらに、柔軟性MOFに特有の現象であるスリッピングオフを示す破過曲線を用いて、VPSAの運転時間を検討した結果、CO₂が吸着塔出口から流出し始める「破過」のタイミングを利用してVPSAの運転時間を設定することで、柔軟性MOFに適した運転条件を決定できることを示しました。



約95%のCO₂純度を維持しながら回収率を高めるには、破過時間付近に最適な運転時間が存在しました。運転時間が長すぎると吸着工程でCO₂が流出する一方、短すぎると吸着したCO₂の脱着が不十分となるためです。また、低温運転によってELM-11のゲート吸着がより低いCO₂圧力で起こり、CO₂の流出を抑えて回収性能を向上できることも実験的に確認しました。これらの結果は先に実施したプロセスシミュレーションの結果 (Takakura et al., 2023, DOI: 10.1021/acssuschemeng.2c05058) を支持するものであり、シミュレーション予測の妥当性も確認されました。



4. 今後の展開

本研究は、柔軟性MOFの優れた吸着特性を示すだけでなく、実際のVPSA装置でCO₂純度、回収率、消費エネルギー、吸着材量の指標であるBSF（Bed Size Factor）および生産性を評価し、運転条件による性能の変化やトレードオフを明らかにしたものです。さらに、100サイクルを超える繰り返し運転でも安定したCO₂回収性能を確認しました。本成果は、柔軟性MOFを用いた新しいCO₂分離回収プロセスの実用化に向けた重要な一歩となることが期待されます。

今後は、VPSA装置の改良や吸着材の成形方法の最適化による処理能力の向上と消費エネルギーの低減を進めます。また、実際の排ガスに含まれる水蒸気などの不純物が長期運転に与える影響を検討し、柔軟性MOFを用いたCO₂分離・回収プロセスの実用化を目指します。

柔軟性MOFを利用したCO₂分離回収技術開発は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）のグリーンイノベーション基金事業に採択されており、今後の更なる技術開発の加速が期待できます。

5. 論文情報

論文名：Lab-scale CO₂ capture tests for a low-temperature vacuum pressure swing adsorption process using flexible metal-organic frameworks

著者：Junpei Fujiki, Naoki Hirano, František Mikšík, Hiroshi Kajiro, Tomoyuki Yajima, Yoshiaki Kawajiri

掲載誌：Energy & Fuels

DOI：doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6c02538

本研究の成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP21024）の結果得られたものです。

用語説明

- Metal-Organic Framework (MOF) : 金属イオンと有機分子が規則的につながることで形成される多孔性材料。内部に多数の微細な孔（細孔）を持ち、ガスの吸着・分離などへの応用が期待されています。
- 柔軟性MOF : ガスの吸着や圧力などの外部環境の変化に応じて、結晶構造が柔軟に変化するMOF。本研究で用いたELM-11は、CO₂圧力が一定の値に達すると構造が変化して細孔が開き、CO₂を吸着する特徴を持ちます。
- ゲート吸着 : 柔軟性MOFに特徴的な吸着現象の一つ。ガス圧力がある一定の値（ゲート圧）に達すると、それまで閉じていた細孔が開くように構造が変化し、ガス吸着量が急激に増加する現象です。
- 真空圧カスイング吸着（VPSA） : 圧力の変化によるガス吸着量の違いを利用して混合ガスを分離する方法。高圧で目的成分を吸着させた後、真空まで圧力を低下させて脱着・回収し、吸着材を再生します。この操作を繰り返すことで連続的にガスを分離します。
- 破過時間 : 吸着材を充填した吸着塔に混合ガスを流した際、吸着されていた成分が吸着塔出口から本格的に流出し始めるまでの時間。
- スリッピングオフ : 柔軟性MOFを充填した吸着塔において、ゲート吸着が起こる前に、一部のCO₂が吸着されずに吸着塔出口から流出する現象。ELM-11では、吸着塔内のCO₂分圧がゲート圧に達するまでCO₂が十分に吸着されないため、破過前でも一定濃度のCO₂が出口から流出する特徴的な挙動が見られます。
- NEDOグリーンイノベーション基金事業 : <https://green-innovation.nedo.go.jp/project/development-co2-separation-recovery/#anchorContents>