



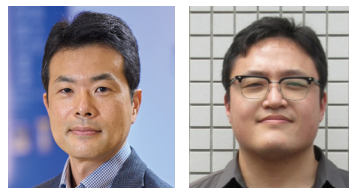
金属3Dプリンターで低温メタネーション自己触媒反応器を開発

工学研究科 マテリアル生産科学専攻

教授 森 浩亮

<https://researchmap.jp/7000018582>

特任助教 金 孝鎮



研究の概要

レーザー金属3Dプリンティング技術と表面改質処理を組み合わせることで、ほぼ100%の選択性で、温室効果ガスの二酸化炭素(CO₂)を都市ガスの主成分であるメタン(CH₄)に変換できる金属製自己触媒反応器の作製に成功した(図1)。従来のルテニウム(Ru)触媒を用いて同等の活性を達成するには、20気圧の加圧が必要であるのに対して、本触媒は1気圧140℃という低温において高活性・高選択性を示す非常に優れた特徴を有する。さらに高活性なRu活性種の微細構造について詳細な調査を行ったところ、負に帯電した(Ti₃O₇)²⁻層が低酸化状態の孤立したRuⁿ⁺種(0 < n < 4)の生成と安定化を促進し、大気圧の穏やかな条件下でのCO₂活性化を可能とするという学説を立証できた。

研究の背景と結果

2050年のカーボンニュートラル実現を目指した次世代触媒の開発においては、触媒機能の向上は言うまでもなく、触媒・設備の低コスト化、プラントの小型化、省エネルギー化に向けて新たな触媒開発技術の提案が不可欠である。アカデミック・企業を問わず新しい触媒の開発には最適な触媒反応環境を提供する触媒反応器の設計も重要な検討事項であるが、現在の触媒研究は主に活性と耐久性を向上させることに焦点が当てられており、実用触媒の活性に大きく影響する流体の流れ、熱伝導、物質移動などの反応器特性は軽視される傾向にあるため、基礎研究と応用研究に大きなギャップがある。我々は、金属3D積層造形技術(AM)の触媒開発への応用について紹介する。本手法では、触媒と反応器を一つに統合した金属製自己触媒反応管(Self Catalytic Reactor: SCR)の作製が可能であり、触媒性能と幾何学的特性の関係を明らかにできる。さらに、高い機械的強度、熱伝導性に加え、AMプロセスのスキャンストラテジーによる結晶方位・組織制御を駆使することで、従来の金属製・セラミクス製反応器では成しえない触媒性能のカスタム制御の可能性を秘めており、次世代の触媒設計法として期待できる。

我々は、層状化合物のNa₂Ti₃O₇層間のNaイオンをRuイオンで交換した触媒が、1気圧140℃という低温においてCO₂水素化反応を進行させ、ほぼ100%の選択性でメタンが得られるだけでなく、72時間後も殆ど活性が低下しないことも見出した。この高活性な粉末状触媒の局所構造を触媒反応管構造にて再現するため、Ti-6Al-4Vを原料とし、L-PBFにより造形した3D触媒反応管に酸化処理、NaOH中での水熱処理を施すことで、表面にNa₂Ti₃O₇ナノファイバーを形成させた。このNa₂Ti₃O₇ナノファイバーは粉末状Na₂Ti₃O₇と同様にイオン交換能を有するため、Ruイオンをイオン交換により導入することが可能である。さらにCO₂メタン化反応において粉末触媒と同様の低温活性が発現する触媒反応管となることを明らかにした。

研究の意義と将来展望

今回開発した触媒は、「調製が簡便である」「工場廃熱を利用可能な低温(140℃付近)でも駆動する」「長時間の耐久性に優れる」など実用化に不可欠な基盤要素を兼ね備えている。また、金属3Dプリンターで造形した金属製自己触媒反応器は、高い機械的強度、熱伝導性に加え、

多様な触媒プロセスに最適な構造を提案できることから、カーボンニュートラルを指向した触媒分野のみならず、金属3Dプリンティング技術を基盤とした先進的なマテリアルサイエンス分野へも多大な波及効果をもたらす(図2)。

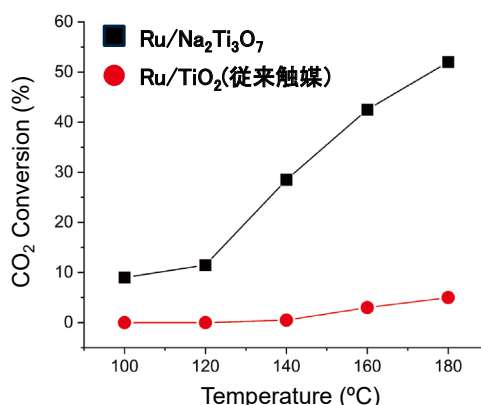
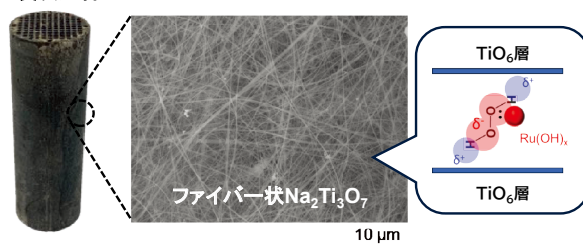
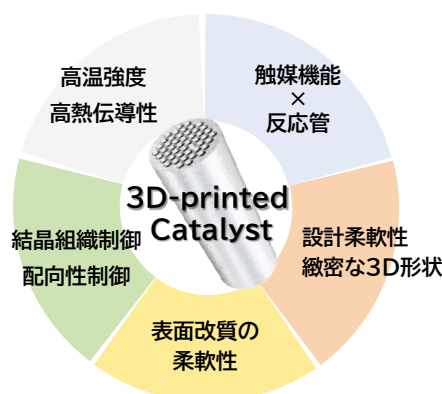
Ru/Na₂Ti₃O₇製反応管図1. 3Dプリンターで作製したRu/Na₂Ti₃O₇反応管とCO₂転化率の比較

図2. 3Dプリンターで造形した触媒反応管の特徴

特 許 特願2025-177864、特願2025-102633

論 文 Kim, H.-J.; Mori, Kohsuke; Nakano, Takayoshi et al. Layered Na₂Ti₃O₇-supported Ru catalyst for ambient CO₂ methanation. Nature Communications. 2025, 16, 2697. doi: 10.1038/s41467-025-57954-9
Kim, H.-J.; Mori, Kohsuke; Nakano, Takayoshi et al. Robust self-catalytic reactor for CO₂ methanation fabricated by metal 3D printing and selective electrochemical dissolution. Advanced Functional Materials. 2023, 33, 2303994. doi: 10.1002/adfm.202303994

参 考 URL <http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp1/mori/index.html>キ ー ワ ー ド 自己触媒反応管、金属3Dプリンティング、CO₂メタン化