

金属3Dプリンターを利用した自己触媒反応器のカスタム設計

工学研究科 マテリアル生産科学専攻

准教授 森 浩亮

Researchmap <https://researchmap.jp/7000018582>

研究の概要

高温強度、熱伝導性に優れた金属材料に着目し、金属3D積層造形(3Dプリンティング)技術でチャンネル構造を付与し、触媒機能を示す活性金属をその表面に電気化学的処理により露出させることで、触媒機能と反応管としての機能を併せ持った金属製の自己触媒反応器(SCR: Self Catalytic Reactor)を作製した。作製したSCRは、二酸化炭素のメタン化反応において高い活性・選択性を示すだけでなく、長時間での高い耐久性も示す。さらに金属3D積層造形プロセスのスキャンストラテジーにより、結晶方位が変化し、それにより触媒性能が変化することを示した(図1)。

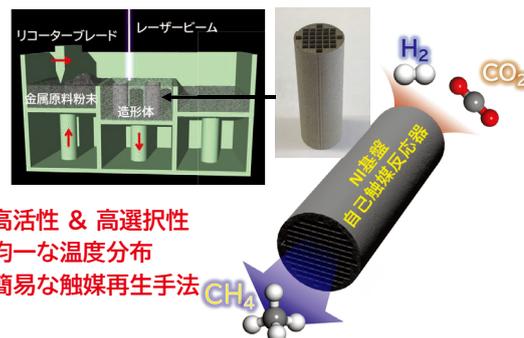
研究の背景と結果

CO₂のメタン化反応($\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$, $\Delta H = -165.0 \text{ kJ mol}^{-1}$)は、高密度でエネルギーを貯蔵する方法としてだけでなく、大気中のCO₂削減を指向したカーボンニュートラルサイクルを実現する手法としても有望視されている。安定性の高いCO₂のメタン化には大量のエネルギー投入が必要であるため、信頼性の高い触媒開発が近年活発に研究されている。現状では、粉末状の金属ナノ粒子担持触媒を充填した反応器が用いられているが、表面エネルギーが高いため、過酷な環境下では凝集や表面構造の変化が起こり失活してしまう。一方でセラミクス製のハニカム触媒では、触媒層に温度分布が生じやすく、発熱反応ではホットスポットにより反応の熱暴走・触媒活性の低下が起こり、反応の制御が困難である。この課題を克服するため、高温強度、熱伝導性に優れた金属材料に着目した。金属3Dプリンターは、リコーターにより原料粉末を掃引し、金属粉末床にレーザー/電子ビームを二次元スライスデータに基づき照射することで、照射部分のみを溶解・凝固させ、これを各層ごとに繰り返して三次元構造体を積み上げることで三次元構造体を作製する手法である。我々は、Ni-Cr-Fe-Moを主成分とした固溶強化型合金であるHastelloy Xを原料とし、金属3D積層造形技術と電気化学的処理を組み合わせることで、100%の選択

性でメタンを合成できるNi製自己触媒反応管の開発に成功した。本触媒は、従来のセラミクス製反応器触媒に比べ、均一な温度分布、高温での高耐久性も示す。さらに興味深いことに、NaOH水溶液に浸すという簡便な処理で自己溶解メカニズムにより表面の再構築が起こり、触媒活性が向上するという極めて特殊な現象も見出した。

研究の意義と将来展望

金属3D積層造形技術を利用した触媒開発研究は黎明期であるが、優れた設計柔軟性に基づく反応流体制御、高い熱伝導性、過酷な環境下における高い安定性などの特徴を有することから、既存触媒プロセスの高効率化、省エネ化、低コスト化を可能にする。さらに、金属3D積層造形プロセスによる多結晶から単結晶へのマイクロオーダーでの結晶方位・組織制御を駆使することで、触媒性能のカスタム制御の可能性を示しており、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積層造形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ことが期待される(図2)。



- ✓ 高活性 & 高選択性
- ✓ 均一な温度分布
- ✓ 簡易な触媒再生手法

図1

金属3D積層造形触媒反応管

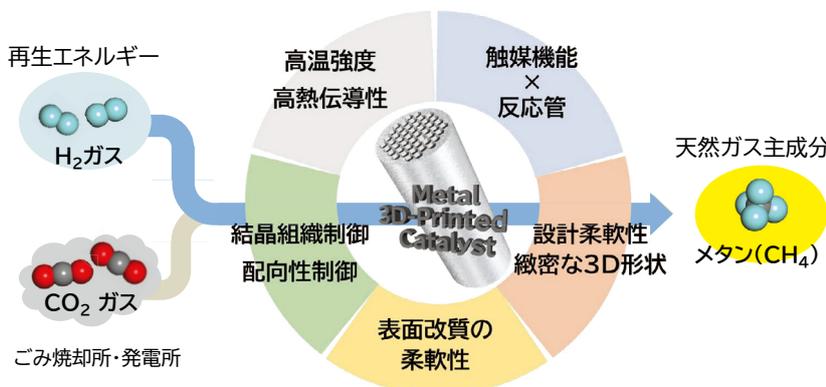


図2

特 許 特願2024-190103

論 文 Kim, Hyojin; 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 https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2023/20230623_1

キーワード 金属3Dプリンター、自己触媒反応管、二酸化炭素、メタネーション