

未来社会創造事業 探索加速型  
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域  
終了報告書(探索研究期間)

令和3年度  
研究開発終了報告書

令和3年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名：能村 貴宏]

[北海道大学大学院工学研究院・准教授]

[研究開発課題名：潜熱蓄熱によるパッシブかつ迅速な反応熱制御技術の開発]

実施期間：令和3年10月1日～令和4年3月31日

## § 1. 研究実施体制

(1)「能村」グループ(国立大学法人北海道大学)

① 研究開発代表者:能村 貴宏 (北海道大学大学院工学研究院、准教授)

② 研究項目

- ・相変化マイクロカプセルの開発
- ・蓄熱触媒の開発
- ・蓄熱触媒を用いた反応熱制御の実験

(2)「橋崎」グループ(一般財団法人エネルギー総合工学研究所)

① 主たる共同研究者:橋崎 克雄 (一般財団法人エネルギー総合工学研究所、プロジェクト試験研究部  
炭素循環エネルギーグループ 参事 部長)

② 研究項目

- ・反応熱制御プロセスのシミュレーションモデルの開発
- ・総合システム評価

## § 2. 研究実施の概要

合成メタンの製造法として、サバティエ反応（CO<sub>2</sub>メタネーション（CO<sub>2</sub>+4H<sub>2</sub>=CH<sub>4</sub>+2H<sub>2</sub>O ΔH = -165 kJ mol<sup>-1</sup>）の利用が期待されている。この反応は様々なプロジェクトで検討され、極めて活性の高い触媒（Ni系、Ru系など）や、高い転換率を達成可能な反応器設計が検討されてきた。一方、これらの触媒開発、反応工学的な技術の進歩と同時に、大量に発生する反応熱の「熱制御」における以下の3つの課題がなお存在する。

課題1 激しい発熱反応のため、触媒層内におけるホットスポットを誘発し、触媒の化学的、物理的な劣化および触媒劣化に伴う操業の不安定性をもたらす。

課題2 定常運転時でも触媒層入口近傍で温度が急上昇し触媒層内に大きな温度分布が発生する。

課題3 急激な発熱に伴うフィードガスの温度上昇により、メタンの収率が下がる

これらの課題を解決し、安定かつ高効率にメタンを製造するとともに、発生した反応熱を有効利用可能な反応熱制御技術の確立が求められている。

この反応熱制御技術の新たな可能性として、潜熱蓄熱によるパッシブな反応熱制御システムを着想した。潜熱蓄熱は相変化物質（Phase Change Material: PCM）の固液相変化潜熱を利用するため、高密度に吸熱/放熱が可能であり、相変化温度一定での吸熱/放熱による熱制御が可能である。研究代表者らが見出したコア-シェル型マイクロカプセルPCM（MEPCM）は、MEPCMの相変化温度における熱容量はAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>の約300倍に達する。本研究では、MEPCMに触媒を担持した蓄熱触媒を開発し、その潜熱蓄熱機能によりパッシブかつダイレクトに反応熱を一定温度で吸放熱制御可能な反応熱制御・循環利用システムの実現を目指した。

提案システムの実現には、300-600°Cで作動するMEPCMの開発およびその過冷却現象（融解-凝固のヒステリシス）の抑制が材料開発の根本課題となる。本研究期間において、乾式法によるMEPCM製造手法を見出し、Al-Cu-Si系（520°C）、Zn-Al系（380°C）MEPCMの試作に成功し、当初掲げていた300 cyclesの繰返し耐久性、メタネーション反応下での作動を確認できた。また、核発生剤導入による過冷却抑制法を見出し、その抑制効果を実験的に示すことが出来た。

プロセス開発の課題抽出を目的として、数十g程度の媒体を充填可能な充填層型反応器にて、蓄熱触媒の反応熱制御試験を実施した。その結果、反応器入口近傍でホットスポットの発生が認められる一方、蓄熱体の導入により瞬間最大約20~50Kの温度上昇の抑制/約15 min程度の温度上昇緩和・蓄熱機能の維持を確認できた。

以上の結果より、本探索研究期間中において、潜熱蓄熱によるパッシブな反応熱制御システムの実現可能性が示された。

### 参考文献

1. Daisuke Ajito, Ade Kurniawan, Yuto Shimizu, Ryosuke Ishid, Takahiro Kawaguchi, Dong Kaixin, Hiroki Sakai, Takahiro Nomura\* "Functional Surface Modification of Al-Si@Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Microencapsulated Phase Change Material" Journal of Energy Storage (2022) In press.