



Title	Study on Fixed-Bed Chemical Co-Production using Latent Heat Storage Catalysts
Author(s)	Cholila, Tamzysi
Description	この博士論文の全文は利用可能日以降に公開されます。
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16834号
Issue Date	2026-03-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16834
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/99679
Type	doctoral thesis
File Information	Cholila_Tamzysi_abstract.pdf, 論文内容の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 Cholila Tamzysi

学 位 論 文 題 名

Study on Fixed-Bed Chemical Co-Production using Latent Heat Storage Catalysts

(潜熱蓄熱触媒を用いた固定床コプロダクションプロセスの研究)

本論文では、触媒にパッシブな蓄放熱機能を付与した新たな機能性材料、蓄熱触媒を開発し、さらにこの蓄熱触媒を搭載した固定床反応器を用いたエクセルギー再生型コプロダクションプロセスの実現を検討した。

第 1 章は本研究の背景である。世界的なエネルギー需要の加速的な増大と気候変動緩和の緊急性により、カスケード型のエネルギー利用を超える省エネルギー技術の確立が求められている。発熱反応と吸熱反応を単一システム内で統合するエクセルギー再生型コプロダクションプロセスは、発熱反応で放出される熱を吸熱反応の駆動に利用することで、低エクセルギーの排熱を製品の化学エクセルギーへ再生し、外部投入エネルギーを削減する省エネルギー技術である。エクセルギー再生型コプロダクションは均一温度場と反応場の分離が可能な循環流動層での実現が模索されてきたが、設計難易度や操業難易度が高く、かつ容量固体熱媒体輸送が必要となる点で実現は困難であった。そこで本研究では、相変化物質 (PCM) の固液相変化潜熱を利用する潜熱蓄熱技術に着目した。特に、合金系 PCM をセラミックスシェルで覆った相変化マイクロカプセル (MEPCM: Micro-Encapsulated Phase Change Material) は、潜熱領域でアルミナの約 300 倍に達する熱容量と均熱性を有し、成形性にも優れる。本研究では、この MEPCM を触媒担体として活用し、超高熱容量かつ一定温度での熱入出力を可能とする蓄熱制御機能を持つ蓄熱触媒を開発した。さらに、この蓄熱触媒を用いた反応熱循環機能を持つ固定床エクセルギー再生型コプロダクションの技術基盤開発に取り組んだ。具体的には、発熱反応として水素利用兼二酸化炭素活用技術である CO_2 メタネーション、吸熱反応として水素キャリアである NH_3 のクラッキング反応を選定し、両反応に適した蓄熱触媒を開発した。加えて、コプロダクションプロセスの性能評価試験、1 次元シミュレーションモデルの構築、さらに 3 次元 CFD (Computational Fluid Dynamics) シミュレーションによる解析を実施した。

第 2 章は蓄熱触媒の開発である。Al-25Si MEPCM 粒子を触媒担体として用い、Ni、Co、Fe を活性金属成分として含浸させた NH_3 分解の特性と性能を検討した。蓄熱触媒を電気ヒーターで完全に蓄熱することで蓄熱モードの半サイクルを模擬し、蓄熱触媒に貯めた熱を用いて吸熱反応プロセスを行うことで、蓄熱触媒の性能を調査した。結果として Ni を 2.5% 含浸した蓄熱触媒は最良の性能を示し、蓄熱機能を持たない触媒と比べて反応温度が高温化し、結果として 14% 程度高い

転化率を達成できた。

第3章では、Al-Cu-Si、Al-25Si、Al-12Si MEPCM 材料を用いたコプロダクションプロセスの性能評価試験を実施した。Ni/Al-Cu-Si 触媒は CO₂ メタネーションにおいて優れた性能を示し、蓄熱効率および放熱効率はそれぞれ 15.43%、12.48% を達成した。また、蓄熱触媒の潜熱領域における均熱機能により反応性能が改善され、転化率が最大 2% 向上し、CH₄ 選択率も約 10% 増加した。

第4章では、MEPCM の相変化特性と既存の反応速度論を組み合わせ、相変化速度論モデルおよび蓄熱触媒を搭載した反応器の 1 次元モデルシミュレーションモデルを開発した。

第5章では、CO₂ メタネーション反応と NH₃ クラッキング反応を蓄熱触媒でインテグレーションしたコプロダクションリアクターの CFD (Computational Fluid Dynamics) シミュレーションモデルの開発に取り組んだ。シミュレーションにより、各反応中に蓄熱触媒がホットスポットやコールドスポットを緩衝する挙動を定量化することに成功した。

第6章は本論文の総括である。本研究を通じて得られた成果により、蓄熱触媒を用いたエクセルギー再生型コプロダクションプロセスの可能性が示された。エクセルギー再生コプロダクションは排熱レスの化学プロセス実現を意味する。よって、本研究は既往の排熱利用のパラダイムを排熱そのものが発生しない技術へとパラダイムシフトさせる新たな省エネルギープロセスの発展に寄与するものと期待される。