



HOKKAIDO UNIVERSITY

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_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Cholila Tamzysi

審査担当者 主 査 教 授 能村 貴宏

 副 査 教 授 坂口 紀史

 副 査 准教授 礒部 繁人

 副 査 准教授 國貞 雄治

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)

本論文は、「Study on Fixed-Bed Chemical Co-Production using Latent Heat Storage Catalysts (和訳: 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)」と題し、エクセルギー再生型コプロダクションの実現に資する蓄熱触媒開発、プロセス開発を目的としている。

世界的なエネルギー需要の増大と気候変動対策の観点から、エネルギー利用における徹底的な省エネルギー化が急務である。今までカスケード型のエネルギー利用技術が省エネルギー技術の基盤となっていたが、エネルギー消費のさらなる削減に向けてエクセルギー再生技術の基盤確立が求められている。エクセルギー再生型コプロダクションは、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新たな省エネルギー技術として期待されている。従来検討されてきた循環流動層方式は、設計・操業難易度や固体熱媒体輸送の課題があり実現に至っていない。

そこで本論文では、相変化物質 (Phase Change Material:PCM) の固液相変化潜熱を利用する潜熱蓄熱技術、特に、高い蓄熱密度と均熱性能を持ち、成形性にも優れる相変化マイクロカプセル (MEPCM:Micro-Encapsulated Phase Change Material) に着目し、MEPCM を触媒担体として活用する蓄熱触媒の開発を目的としている。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プロセス開発、設計を目指している。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の開発、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) シミュレーションの開発に取り組んでいる。

第1章は本研究の背景である。省エネルギーおよび脱炭素化における潜熱蓄熱技術の有効性を論じ、MEPCM を用いた固定床コプロダクションプロセスの構想と本研究の目的を提示している。

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 NH₃ 分解の特性と性能を検討している。蓄熱触媒を電気ヒーターによる加熱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ている。結果として Ni を 2.5% 含浸した蓄熱触媒は蓄熱機能を持たない触媒と比べて反応温度が高温化し、高い転化率を達成できることが示されている。

第3章は、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である。Ni/Al-Cu-Si 触媒は、CO₂ メタネーションおよび NH₃ クラッキング反応の両反応に対して優れた触媒性能を示し、小型の反応器ながら蓄熱効率および放熱効率はそれぞれ 15%、12% に達したことが示されている。特に、CO₂ メタネーションにおいては、蓄熱触媒の潜熱領域における均熱機能により転化率が最大 2% 向上し、CH₄ 選択率も約 10% 増加することが示されている。

第4章では、MEPCM の相変化特性と既存の反応速度モデルを組み合わせ、相変化の速度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の開発が示されている。

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反応器の CFD (Computational Fluid Dynamics) シミュレーションモデルの開発が達成されている。開発したモデルを使ったシミュレーションを用いることで、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の定量化に成功している。

第6章は本論文の総括である。

以上要するに本論文では、触媒にパッシブな蓄放熱機能を付与した蓄熱触媒の開発が達成され、さらに、この蓄熱触媒を搭載した固定床反応器によるエクセルギー再生型コプロダクションプロセスの実現可能性が示されている。これらの成果は、CO₂ メタネーション反応や NH₃ クラッキング反応だけでなく、様々な反応プロセスへの応用が可能であり、エクセルギー再生技術基盤の構築を促進し、材料科学およびエネルギー化学工学の発展に多大な貢献をなすものと認められる。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。