


修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 15 / 2026

専攻名 (専門分野) Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	宮下 友	指導 教員 Advisor	中垣 隆雄 
研究指導名 Research guidance	エクセルギー工学	学籍番号 Student ID number	5224B082-1		
研究題目 Title	化学吸収法における CO ₂ 分離素材の標準評価共通基盤の確立 ～簡易評価ツールの構築とその応用～				

1. 緒言

地球温暖化への対応策として CCS(Carbon Dioxide Capture and Storage)技術の早期社会実装が求められており、低 CO₂分圧条件下でも高回収率を実現できる化学吸収法は有望な手法の一つである。一方、化学吸収法は CO₂回収コストが高く、低エネルギー化に向けた新規アミン水溶液の開発が盛んに実施されている。しかしながら、アミン水溶液の CO₂分離回収性能を統一的に評価する手法は確立されておらず、Aspen Plus[®]をはじめとする化学シミュレータを用いた評価は大量の物性データを要するため、多数の吸収液を比較評価することが困難である。この課題に対し、グリーンイノベーション基金事業の一つとして CO₂分離素材の標準評価基盤の確立が進められている。当該事業では小スケール CO₂分離回収試験装置による CO₂分離回収性能評価方法の確立や、限られた水溶液物性から簡易的に CO₂分離回収性能を評価する簡易評価ツールの構築を目指している。昨年度までに簡易評価ツールを用いたパイロットスケール試験結果を高精度に再現したが、小スケール試験結果の再現には課題が残った。そこで、本研究では当研究室が所有する小スケール CO₂分離回収装置による実試験結果と簡易評価ツールの分離回収性能を比較し、同ツールの妥当性を検証した。妥当性検証の前に再生熱量計算方法を修正した。さらにツールの応用例として、PCCシステムの年間コスト評価および設計最適化を検討した。具体的にはアミン水溶液の過大なリザーバを設け、安価な時間帯の電力を利用してアミン水溶液を再生する時間オフセット PCCシステムを想定し、セメント工場および廃棄物処理場への適用時の CO₂回収コストおよびその削減効果の評価や最適な設計を検討した。

2. 実試験結果による簡易評価ツールの妥当性検証

小スケール試験による再生熱量の実測において、予熱部での CO₂解離熱を推定し、従来の予熱部影響評価方法を一般化した。図 1 に示すように、物性値を用いて算出された積算方式による再生熱量と再生塔、予熱部への入放熱量の差から算出された差引方式による再生熱量の差異は低減した。両者は文献の物性値の誤差範囲内にあり、本修正および結果は妥当であると判断した。これを受け、簡易評価ツールによる実試験結果の再現を試みた。小スケール試験特有の条件を考慮してモデルパラメータを調整したところ、図 2 に示すように簡易評価ツールにより実験結果は概ね再現された。再生熱量の誤差は約 10%であった。

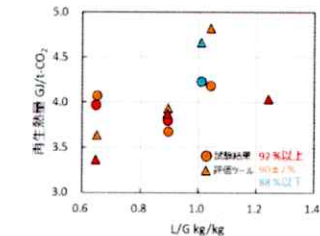
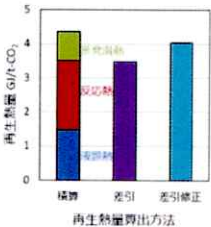


図 1 熱バランス検証

図 2 実試験と評価ツールの比較

3. 時間オフセット PCC システムでの CO₂回収コスト算出

発電所での PCCシステム適用を想定した既往研究^[1]に倣い、最適化問題の構築および実行に特化したプラットフォームである GAMS (General Algebraic Mathematical modeling System) を用いて時間オフセット PCC システムの年間操業モデルに適用した。ま

ず、簡易評価ツールにて表 1 の再生熱量を算出した。深夜料金設定時間での吸収塔連続稼働を想定し、リザーバ容量は吸収塔液流量の 8 時間分とした。アミン水溶液の再生にはヒートポンプを利用し、COP は負荷率依存性を考慮して与えた。また、ヒートポンプの極低負荷稼働を防止するため、稼働率下限値を 20%とした。操業モデルには CO₂回収量や再生熱量を与え、アミン水溶液の再生量を操作変数として操業費を最小化するように年間操業計画を立てて年間操業費を算出した。PCC システム追加に伴う資本費増分は Turton らにより整備された Bare Module 法や経験式をもとに算出して年間償却額に換算して操業費に加算した。

図 3 に示すように廃棄物処理場において、従来法と比較し本システムの経済優位性が確認され、特に 2-Amino-2-methyl-1-propanol / Piperazine (27/13 wt%)混合水溶液を用いた本システムの適用において操業費がマイナスとなった。廃棄物処理場には発電設備が併設されており、電力価格の高い時間帯においてはアミンの再生より売電が優先的に行われたため、操業費が大きく低下した。追加資本費の多くがヒートポンプ、アミン水溶液リザーバに起因しており、これらの設計に強く影響する L/G を対象として CO₂回収コストに対する感度解析を実施した。再生熱量は同ツールを用いて再度計算した。感度解析結果を図 4 に示す。再生熱量が増加しても、ヒートポンプ、リザーバコストは低下するため、結果的に低コストで CO₂を回収可能とわかった。したがって、本システムに新規アミン吸収液を用いる場合でも、最適な設計の事前検討には本ツールが利用可能である。現実の運用は未来の電力予測に基づいて運用を決定することから、電力価格予測日数を 1 または 5 日として本モデルにより操業費を算出した。表 2 に示すように年間の電力価格が既知で最適化した場合と比較し、CO₂回収コストは 1-2%変化した。

表 1 簡易評価ツールで算出された AMP/PZ 混合水溶液の再生熱量

L/G	kg/kg	1.6	2.0	2.6
再生熱量	GJ/t-CO ₂	2.687	2.675	2.697

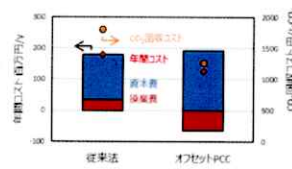


図 3 従来法とのコスト比較

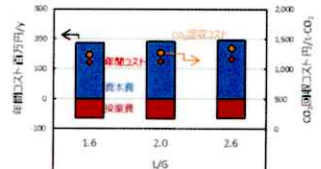


図 4 L/G 感度解析結果

表 2 電力価格予測期間ごとの CO₂回収コスト

L/G	kg/kg	2.0	
電力価格予測期間	日	1	5
CO ₂ 回収コスト	円/t-CO ₂	1260	1284
年間予測時との差異	%	-0.6009	1.905

参考文献

[1] Hiroataka Isogai, Takao Nakagaki, Power-to-heat amine-based post-combustion CO₂ capture system with solvent storage utilizing fluctuating electricity prices, Applied Energy, 2024.