

修士論文概要書

Master's Thesis Summary

Date of submission: 01 / 14 / 2025

専攻名(専門分野) Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	藤本 大晴	指導 教員 Advisor	中垣 隆雄 印
研究指導名 Research guidance	エクセルギー工学	学籍番号 Student ID number	CD 5223B082-4		
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 ～比熱・CO ₂ 吸収反応熱の試験評価法と温度依存性に関する研究～				

1. 緒言

2050年カーボンニュートラル達成のために必要不可欠とされるCO₂分離回収技術(Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS)は、火力発電所などのCO₂集中排出源から排出されるCO₂を大気放散前に分離・回収後、地下に貯留する技術である。CCSのうち本研究で扱う化学吸収法は、40℃程度の吸収塔および120℃程度の再生塔で構成され、主にアミン水溶液を吸収液として用いて、CO₂を化学反応により分離回収する技術である。化学吸収法は、CCSの中で技術成熟度が高く既に商用化済みであり、CCSの長期ロードマップにおける2050年の1~2億トン/年規模での本格実装における分離回収技術の中では、中心的な役割を果たすと考えられる。一方で、数千時間にわたる長時間運転に伴うアミン水溶液の劣化および高価なCO₂回収コスト等が課題として挙げられる。CO₂回収コストのうち、アミン水溶液の再生に必要なエネルギー(再生熱量)が支配要因であり、再生熱量低減に向け新たなアミン水溶液の研究・開発が実施されている。特にアミン水溶液の比熱およびCO₂吸収反応熱(反応熱)は再生熱量を決定づける重要な液物性であるが、これら液物性を含めアミン水溶液の性能評価方法が標準化されておらず、既存のアミン水溶液と新たなアミン水溶液との間で中立・公平な比較が困難である。その対策として、グリーンイノベーション基金事業の「CO₂分離素材の標準評価共通基盤の策定」が掲げられ、その研究項目の「素材特性評価法の構築」で取り上げられた液特性(密度、気液平衡、比熱、反応熱)のうち本研究では比熱および反応熱を対象とする。以上を踏まえ本研究は、比熱および反応熱を計測可能な反応熱量計の導入および実測値の妥当性・再現性を得ることで素材特性評価法に組み込む試験プロトコルの作成を目標とする。

2. 反応熱量計の選定・試験方法の検討

120℃までの比熱および反応熱を計測する装置として文献報告の多いメトラー・トレド社の反応熱量計(RC1mx)を導入した。比熱は、標準仕様で反応熱量計に組み込まれた既存のソフトウェアで計測可能である。一方で、反応熱を計測するためには、追加的に図1に示すような装置を導入してシステムとして組み上げる必要があった。同システムは、液供給ライン、ガス供給ラインおよび真空引き・ガス排気ラインがそれぞれガラス製の恒温リアクター容器に接続された構成となっている。反応熱量計外部のタンク内に溜められたCO₂は、マスフローコントローラーを介してリアクター内のアミン水溶液にバブリングするように送り込まれ、その反応熱を計測する。反応熱量計へCO₂投入前後のタンク内圧力差から投入CO₂物質質量を、CO₂投入前後のリアクター内圧力差から未反応CO₂物質質量をそれぞれPeng-Robinsonの状態方程式を用いて算出し、その差分を反応CO₂物質質量とする。反応熱は、上記で計測した2つの値から、単位CO₂物質質量当たりの反応熱として算出する。

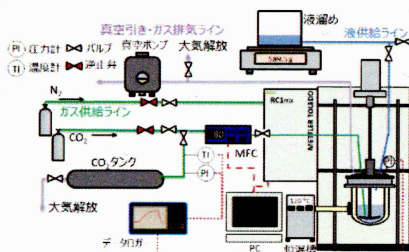


図1 反応熱量計概略図

3. 比熱・CO₂吸収反応熱の妥当性検証

Monoethanolamine(MEA) 30 wt%を用いて実測値の妥当性検証を実施した。比熱および反応熱の試験結果をそれぞれ図2に示す。同図より、40℃における実測値と文献値^{[1][2][3]}との重ね合わせにおいて整合性が得られ、比熱および反応熱それぞれの実測値が妥当であると判断した。しかしながら、図2aより、120℃における比熱の実測値と文献値^[1]では乖離があり、過大評価する傾向にある。120℃における比熱の計測例は非常に少ないものの、80℃における実測値は文献値^[1]と整合性が得られていることに加え、120℃における純水を用いた試験においても比熱を過大評価する傾向は変わらなかつたため、現状の試験方法では高温での比熱計測に課題が残る。また、120℃における反応熱は文献値と概ね整合性が得られているものの、比熱計測に課題がある以上、反応熱としても妥当な結果であるとの確認が得られていない。

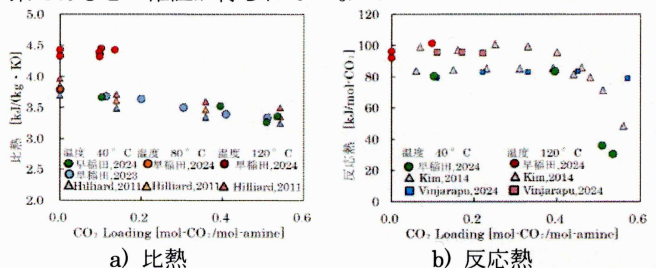


図2 MEA30 wt%を用いた比熱の妥当性検証^{[1][2][3]}

4. 比熱・CO₂吸収反応熱の再現性検証

図3に、2-amino-2-methyl-1-propanol(AMP) 27 wt% / Piperazine(PZ) 13 wt%、40℃における比熱および反応熱の実測値を示す。再現性は、1回目の試験結果を基にCO₂ Loading=0.2~0.4 [mol_{CO₂}/mol_{amine}]の区間における一次回帰によるモデル式を作成し、そのモデル式と2回目および3回目の試験結果との比較によって算出される。その結果、40℃の試験において比熱および反応熱の再現性はそれぞれ最大0.43%および7.1%となり、いずれも今年度の再現性10%以内という目標を達成した。

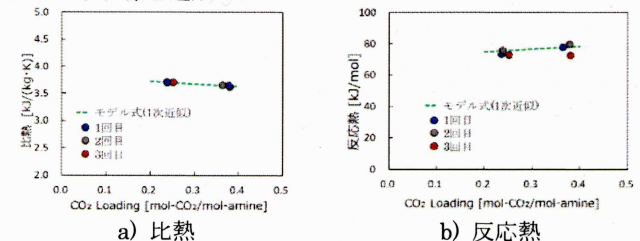


図3 AMP 27 wt% / PZ 13 wt%を用いた再現性検証

[1] Marcus Douglas Hilliard. (2008). A Predictive Thermodynamic Model for an Aqueous Blend of Potassium Carbonate, Piperazine, and Monoethanolamine for Carbon Dioxide Capture from Flue Gas. The University of Texas Austin.
[2] Inna Kim, Karl Anders Hoff, Thor Mejdell. (2014). Heat of absorption of CO₂ with aqueous solutions of MEA: new experimental data. Energy Procedia 63. 1446 - 1455.
[3] Sai Hema Bhavya Vinjarapu, Teresa Regueira, Randi Neerup, Nicolas von Solms, Philip Loldrup Fosbol. (2024). Heat of absorption of CO₂ in 30 wt% MEA with monoethyleneglycol and urea as vapour reduction additives. Energy. 293. 130609.