

修士論文概要書

Master's Thesis Summary

Date of submission: 01 / 17 / 2023

専攻名 (専門分野) Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	毛 孟傑	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	CD 5221B091-1		
研究題目 Title	未利用排熱を用いたアミン-CO ₂ サイクル発電システムにおける凝縮吸収器の性能に関する研究				



1. 緒言

近年深刻化する地球温暖化とそれに伴う異常気象が問題視される中、原因となる CO₂ 排出量削減のため、省エネルギー技術の開発が急がれている。低温未利用排熱の有効利用として低沸点ランキンサイクルが適しているが、その中でもアミン-CO₂ ランキンサイクルは、作動流体としてアミン-CO₂ 水溶液を利用しており、その CO₂ 放出吸収作用と陰圧での運転により、従来技術に比べ高い発電端効率が期待されている。本研究では、本システムの主機の一つとなる凝縮吸収器開発支援のため、実機相当の長さを持つ平行平板型凝縮器の設計・製作し、熱電対による温度測定や液膜からのサンプリングによる CO₂ ローディング分析などを通して、凝縮器内で生じる CO₂ 吸収と水蒸気凝縮の複合的な挙動を明らかにする。また、水蒸気凝縮量および CO₂ 凝縮量を予測する 1D モデルを作成し、予測式の補正によってフィッティングした上で、実機の凝縮器の概念設計を目指した。

2. 基礎特性試験

凝縮器内の CO₂ 吸収挙動を模擬するにあたって、アミン水溶液の CO₂ 吸収に関する速度式(1)を採用する。そのため、吸収速度模擬のため、濡れ壁塔試験装置を用いて、液側物質移動係数および平衡分圧を取得した。液側物質移動係数の全体的な傾向として温度が高い方が大きく、また高ローディングでは低アミン濃度の方が大きい傾向があった。以上より物質移動係数には粘度の影響が高い可能性が示唆された。

$$r_{CO_2}^i = K_{l-CO_2} (P_{CO_2}^i - P_{CO_2}^e) \quad (1)$$

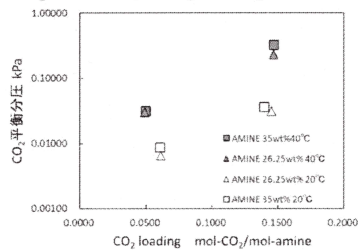


図1 CO₂ 平衡分圧

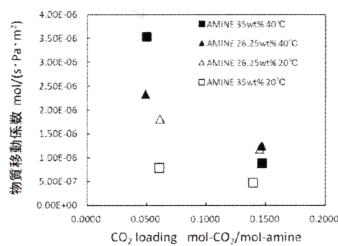


図2 物質移動係数

3. 可視化凝縮試験

本試験装置は、ギアポンプ、蒸気発生部、差圧調整用の流調弁、可視化凝縮吸収器、ドレンタンクおよび予備凝縮、吸収塔で構成されている。

可視化凝縮吸収器では、観察窓からの液膜観察、各部の熱電対による温度分布

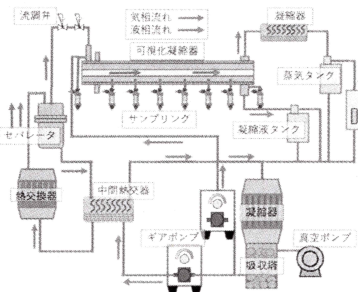


図3 試験装置概要図

と局所熱流束の測定、流路各部の細孔からのサンプリングと全有機炭素分析による液膜組成の分析を実施した。予備試験として実施した純水を用いた凝縮試験により、真空下での凝縮液膜は、蒸気からの運動量供給に比べ、粘性による抵抗が大きく、流路全体で液膜

移動が層流であるため、圧力や流動状態の異なる冷凍空調機器の文献の推算式によるボイド率とは合致しなかった。よって層流仮定の下で液膜厚みを予測し、液膜の熱伝導支配として熱伝達率を予測した。また、本凝縮吸収器では、CO₂ 吸収と同時に水蒸気も凝縮するため、液膜表面ではアミンが希釈され、CO₂ 吸収効果が小さくなるおそれがあると予想されている。そこでアミン水を用いた凝縮吸収試験では、蒸気の凝縮による液膜表面のアミン希釈に伴う吸収速度低下効果を評価した。

4. 数値計算

凝縮吸収器の複合挙動を予測する 1D モデルとして、本研究では混相流モデルを採用して Modelica 上に構築した。図 4 のように、気相を水蒸気と CO₂ の 2 成分とし、水蒸気の気相中物質移動、CO₂ の液膜への物質吸収および凝縮潜熱・吸収熱の液膜中熱移動を模擬する。また、水蒸気の凝縮量が十分大きく、CO₂ が界面付近に平衡濃度よりも高く溜まると仮定した。気相温度は、水蒸気分圧より決定される飽和蒸気温度、液相温度は熱移動と物質移動のバランスより決定される界面温度と壁面温度の平均温度とそれぞれ仮定した。また、流動は極めて緩慢であり、可視化凝縮吸収試験の結果を基に各移動式の熱伝達率および物質移動係数を決定し、図 4 のコントロールボリュームを流路順方向にタンク&チューブ型モデルとして計算した。可視化凝縮試験装置の装置・流量条件を適用したシミュレーション結果を図 5 および図 6 に示す。同図を可視化凝縮吸収試験と比較して、本予測モデルの妥当性を確認した。[1] 小山繁, 二成分非共沸調合冷媒の水平平滑管内凝縮-局所熱伝達・物質伝達特性の予測計算法, 冷凍, 第 17 巻, 1 号, 2000 年

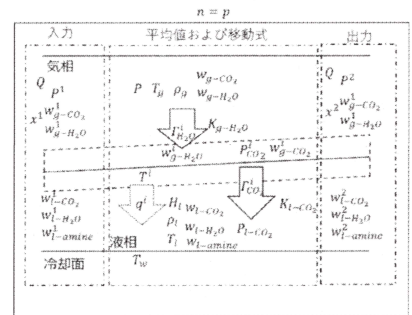


図4 数値計算モデル図

$$\frac{Q}{A} (x w_{g-k})_{out} - (x w_{g-k})_{in} = -r_k^i \quad (2)$$

$$\frac{Q}{A} \frac{((1-x)w_{l-k})_{out} - ((1-x)w_{l-k})_{in}}{\Delta z} = r_k^i \quad (3)$$

$$\left(\frac{Q}{A}\right) \frac{\left(\frac{x}{\alpha_g \rho_g}\right)_p (x_{out} - x_{in}) + \left(\frac{(1-x)}{(1-\alpha_g)\rho_l}\right)_p (x_{out} - x_{in}) + \frac{P_{out} - P_{in}}{\Delta z} = \tau_w \quad (4)$$

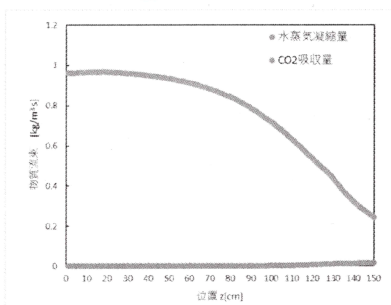


図5 凝縮器内温度分布

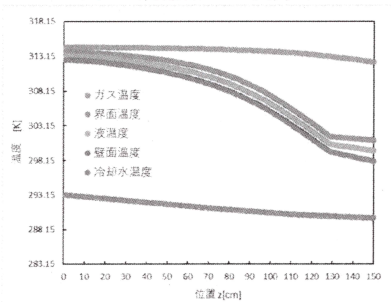


図6 凝縮器内物質流束

[1] 小山繁, 二成分非共沸調合冷媒の水平平滑管内凝縮-局所熱伝達・物質伝達特性の予測計算法, 冷凍, 第 17 巻, 1 号, 2000 年