

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01/15/2020

専攻名 (専門分野) Department	総合機械工学専攻	氏名 Name	長谷川 大介	指導 教員 Advisor	中垣 隆雄 印 Seal
研究指導名 Research guidance	エクセルギー工学	学籍番号 Student ID number	CD 5218B065-2		
研究題目 Title	CO ₂ 吸収塔からの微量アミン蒸気の回収技術に関する研究				

1. 緒言

地球温暖化の原因と考えられる CO₂排出の抑制手段として期待される CCS は、主にアミンを用いた化学吸収法が実用化段階にある。しかしながら、CCS 設備における吸収塔の脱炭素ガスに微量のアミン成分が混在して大気放散される「アミンエミッション」の懸念が報告されている。その中には、人体および生態系に悪影響を及ぼすニトロソアミンなどが含まれる可能性があることから排出抑制のための技術が必要である。

アミンエミッションの対策として、ミスト状アミンについてはデミスタなどで実績があるが、アミン蒸気についても吸収塔排ガスを充填層型の洗浄塔に送気し、向流接触で純水に物理吸収させる方法が有望視されている。本研究では、ppm オーダーのアミン蒸気のベンチスケールでの洗浄試験を通して洗浄塔設計の基礎データを取得するとともに、従来のガス-液間における物理吸収の理論に基づく設計法の適用可能性について、モノエタノールアミン(MEA)を始めとした数種のアミンについて物性値と無次元数を用いた数値計算と試験結果の比較によって検証した。

2. 従来研究

充填塔を用いたガスの物理吸収は、物質移動係数と拡散係数の関係等を Re 数や Sc 数などの無次元数で整理した既往の実験式が使われてきた。恩田らが提案した整理式^[1]は任意の充填物において有効で、適用可能範囲が広いことから、本研究では本式を用いて数値計算を実施した。液相と気相における物質移動係数を式 (1)、(2) に示す。

$$k_L \left(\frac{\rho_L}{\mu_L g} \right)^{1/3} = 0.0051 Re_L^{2/3} Sc_L^{-1/2} (a_t d_p)^{0.4} \quad (1)$$

$$\left(\frac{k_G RT}{a_t D_G} \right) = 2.00 Re_G^{0.7} Sc_G^{1/3} (a_t d_p)^{-0.2} \quad (2)$$

3. 試験装置と試験方法

本研究で用いた試験装置を図 1 に示す。アミンガス洗浄試験装置は主に条件設定部(吸収塔)テストセクション部(洗浄塔、濡れ壁塔)および分析計測部(フーリエ変換赤外分光光度計、FT-IR)で構成され、キャリアガスは純空気である。ガスは吸収塔でアミン水溶液との向流接触でアミン蒸気を含有し、洗浄塔に送気されて純水との向流接触でアミン蒸気を純水に吸収・回収する。洗浄塔のガスの入口および出口のアミン濃度を FT-IR 装置により計測し、洗浄塔におけるアミン濃度の差 ΔC と定常試験中の洗浄水中のアミン増加量を全有機炭素計で測定することで、洗浄量を定量化する。試験は、(1)洗浄水アミン濃度、(2)ガス流量、(3)洗浄水流量、(4)アミン水溶液の CO₂ ロードインの 4 つをパラメータとした 7 条件で実施した。

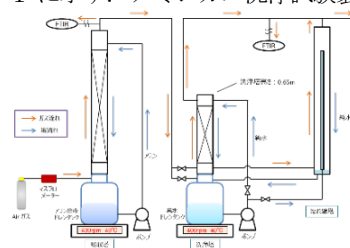


図 1 アミン洗浄試験装置

4. 数値計算

洗浄塔は式(1)、(2)から算出されるアミンの気相基準総括物質移動係数 K_G を用いて、高さ方向を正に取った一次元の移流方程式 (3)

でモデル化する。試験条件を代入した式(3)を離散化することで数値解を得て、アミン濃度分布で整理した。

$$U_G \frac{\delta C}{\delta z} = K_G a_w (p - p^*) \quad (3)$$

5. 試験結果とフィッティング

5.1 洗浄試験の結果

物性値の報告が多い MEA 水溶液 (60wt%) で試験を実施したところ、出口濃度は数値計算と試験結果で概ね傾向が一致した。比較的感度の高い液流量を変化させた試験結果を図 2 に示す。図 2 より、実験値からの計算値の乖離は、FT-IR 装置の測定精度 (最大 ± 20 ppm) を考慮すれば、ppm オーダーのアミンガスも従来のガス吸収理論に従うことが実験的に示されたといえる。試験と計算モデルの妥当性が MEA で得られたことから、追加の試験対象アミンとして比較的蒸気圧の高い 2-アミノ-2-メチル 1-プロパノール (AMP), 2-(ジメチルアミノ)エタノール (DMAE), 1-メチルピペラジン (1-MePZ) を選定し同様の試験を実施した。各アミンの全 7 条件における試験結果値と計算値の乖離分布について [(計算値-実験値)/入口濃度] で求めた乖離度として図 3 に示す。同図から MEA 以外のアミンについても数値計算は概ね試験結果を模擬しており、既往の理論式はアミン洗浄塔の設計に有用であるといえる。また、乖離の傾向に差があることから、物性値の変化が出口濃度の結果に影響していると考えられる。

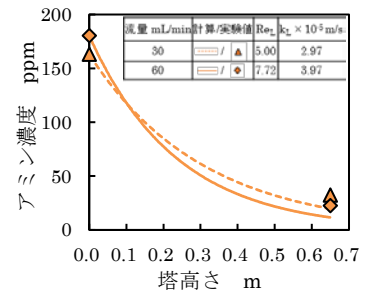


図 2 MEA のアミン濃度分布

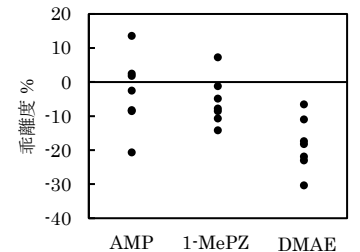


図 3 実験値と計算値の乖離分布

5.2 パラメータフィッティング

数値計算において使用するアミンガスの物性値の中で、真値と異なる場合に最も出口濃度に影響を与えるパラメータを調査した。精度の低い拡散係数 D とヘンリー定数 H の 2 つを選定し、出口濃度が合うようにフィッティングした値を元の値の倍数として図 4 に示す。同図から、ヘンリー定数はアミン種によって差はあるが $\times 10 \sim 10^2$ 程度であるのに対し、拡散係数は約 0.6~0.8 倍である。これらの結果から、設計にはアミンガスの拡散係数の正確な評価の値が重要であり、ヘンリー定数の寄与は小さいといえる。

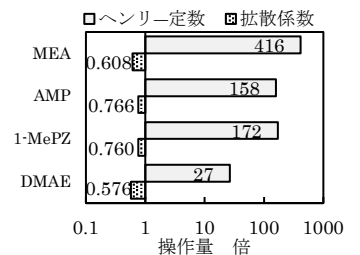


図 4 物性値によるフィッティング

[1] Kakusaburo Onda et al. Mass Transfer Coefficients between Gas and Liquid Phases in Packed Columns, Journal of Chemical Engineering of Japan, Vol 1, No. 1, 1968