

溶液中の二酸化炭素濃度の光学的面計測法の開発

[研究代表者] 江上泰広（工学部機械学科）

[共同研究者] 鬼頭凌太、清田悠生（工学部機械学科）

[共同研究者] 西川雅喜、富田頌平（株式会社アイシン）

研究成果の概要

地球温暖化に対する各国の「2050 年カーボンニュートラル（CN）達成」の宣言を受け、カーボンニュートラルは製造メーカー間の取引の必須条件となってきた。本共同研究は、これまで実現できていなかった CO₂ 回収装置のアミン水溶液中の CO₂ 濃度の面分布計測を、蛍光体を用いて光学的に行う手法の開発を目指したものである。回収装置内のアミン水溶液に CO₂ が吸収・回収される際の CO₂ 濃度の面分布の時間変化を可視化する技術を獲得することで、効率的に CO₂ を回収する装置の開発を行うことが可能となり、低炭素社会に向けた製品づくりに貢献することが可能になる。

これまで細胞内の pH 計測（pH = 5~7）に蛍光体を適用する研究は多くなされてきている。しかし本研究で取り扱う塩基性の pH = 8 ~12 の範囲で pH 感応性をもつ蛍光体の報告は少ない。そのため、本研究ではまず塩基性で高い pH 感度を有する蛍光体の探索を行った。pH によって発光強度が変化する pH 感応蛍光体と、変化しない参照蛍光体を混合した溶液を作成し、カメラで計測したアミン水溶液中の 2 種類の蛍光体の発光強度の比から pH を求め、CO₂ 濃度を算出する計測法を調査した。様々な蛍光体を用いて pH 較正試験を行った結果、先行研究で用いられていた Fluorescein と Rhodamine B の組み合わせよりも pH=8~12 の範囲で pH 感度が高く、光安定性に優れ、温度変化の影響も小さい蛍光体の組み合わせを見出すことに成功した。これらの蛍光体は発光ピーク波長が十分離れているため、カラーCMOS カメラで容易に分光可能であるという利点も持つ。この新規の蛍光体の組み合わせを用いて容器内のアミン水溶液に CO₂ をバブリングした際の CO₂ 濃度変化をカラーCMOS カメラで計測する実証試験を行った。その結果、アミン水溶液に溶解する CO₂ 濃度分布の時間変化を高い空間分解能で計測可能であることを明らかにした。

研究分野： 流体力学、航空工学

キーワード： アミン水溶液、pH 計測、二酸化炭素、蛍光体、光学計測、面計測

1. 研究開始当初の背景

カーボンニュートラルを実現するために、CO₂ 回収・貯留への取り組みが加速している。混合ガスから CO₂ を選択的に分離し、高純度の CO₂ を回収する代表的な方法として、アミン水溶液を用いた化学吸収法であるアミンスクラビング法がある。これまでアミン水溶液中に溶解する CO₂ 濃度は pH センサやアミン水溶液の重量変化から計測する方法が一般的であった。しかし溶液中の濃度分布を高い時間分解能で面計測することはできていなかった。アミン水溶液に溶解する CO₂ 濃度の面分布を高い時間分解能で計測することは、回収装置の最適化を図るうえで重要で

あり、その実現が求められていた。

2. 研究の目的

本研究は、アミン水溶液中の CO₂ 濃度分布の時間変化を高い空間分解能で計測可能な、蛍光体を用いた光学的計測法の実現を行うことを目的としている。pH によって発光強度が変化する pH 感応蛍光体と、変化しない参照蛍光体を混合した溶液を作成し、カメラで計測したアミン水溶液中の 2 種類の蛍光体の発光強度の比から pH を求め、CO₂ 濃度を算出する計測法の実証試験を行った。また、実証試験を行い開発した pH 感応溶液の評価を行った。

3. 研究の方法

(1) CO₂ 濃度計測蛍光体調合の最適化と較正曲線の作製

アミン水溶液中に CO₂ をバブリングし pH を変化させる較正試験を行い、pH に応じて発光スペクトルや発光強度が変化する蛍光体の探索を行った。また pH に発光強度が依存しない参照用蛍光体の探索も併せて行った。アミン水溶液中に CO₂ をバブリングすると発熱して温度が変化する。そのため蛍光体の温度依存性も考慮した較正曲線を計測した。

(2) アミン水溶液中の CO₂ 濃度の動的計測法の実証

(1)で調査した pH 感受性が高く特性に優れた蛍光体の組み合わせを用いて、動的環境を模擬する実証試験を行う。容器内のアミン水溶液に CO₂ をバブリングして CO₂ 濃度の空間的・時間的变化を作り出し、カラーCMOS カメラを用いて計測する試験を行った。

4. 研究成果

(1) CO₂ 濃度計測蛍光体調合の最適化と較正曲線の作製

はじめに、先行研究で用いられた pH 感応蛍光体の Rhodamine B と参照色素の Fluorescein を組み合わせた溶液の pH 感度を調査した。図 1 に Rhodamine B の発光強度を Fluorescein で除した発光強度比の pH 変化を示す。Rhodamine B は pH 9.5 以下で pH 感度が低く、CO₂ 濃度の高い pH = 8~9 の領域での計測が困難であることが分かった。また、Fluorescein は励起光を照射すると劣化し発光強度が大きく低下し光安定性が低いことがわかった。また、温度感度はどちらの蛍光体も -1.30 %/°C と高く、温度が大きく変化する CO₂ 吸収試験では大きな計測誤差が生じる恐れがある。一方、様々な蛍光体を探索した結果、新たに pH 感応蛍光体 A と参照色素の B の組み合わせを見出した。蛍光体が濃度消光を起こさず、A と B の発光強度比が同程度になる色素濃度を調査し、最適な値を見出した。得られた蛍光体 A と B を混合し pH 較正試験を行った、蛍光体 A と B の発光強度比の pH 変化を図 1 に示す。従来の Rhodamine B / Fluorescein と比較して、より幅広い pH 範囲で pH 感度が高いことがわかる。また、光安定性も高く、温度感度が -0.11 %/°C と低く、アミン溶液中の CO₂ 濃度の計測に適していることがわかった。

(2) アミン水溶液中の CO₂ 濃度の動的計測法の実証

(1)で見出した蛍光体 A と B を混合した pH 反応溶液を用いて、カラーCMOS カメラでアミン水溶液中の CO₂ 濃度の動的計測法の実証試験を行った。図 2 にその結果を示す。CO₂ はボンベからチューブを介してバブルストーンから容器内に供給された (図 2(a))。CO₂ がアミン水溶液に吸収されると pH が下がる。(a)図ではバブルストーン周辺の pH が周囲と比較して低くなっていることが分かる。また時間の経過とともに全体の pH が下がる様子が高い空間分解能で計測することができた。今後は pH と CO₂ 濃度を関係づけることで CO₂ 濃度を求める。

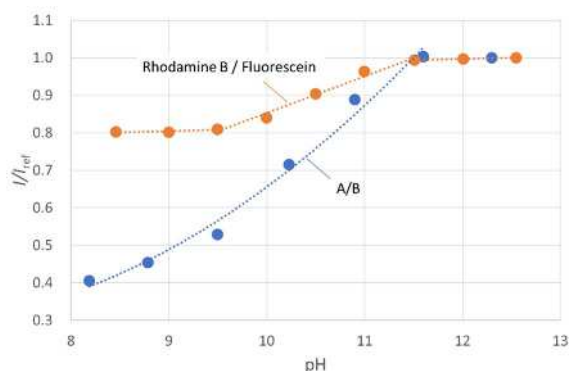


図 1 pH 較正曲線

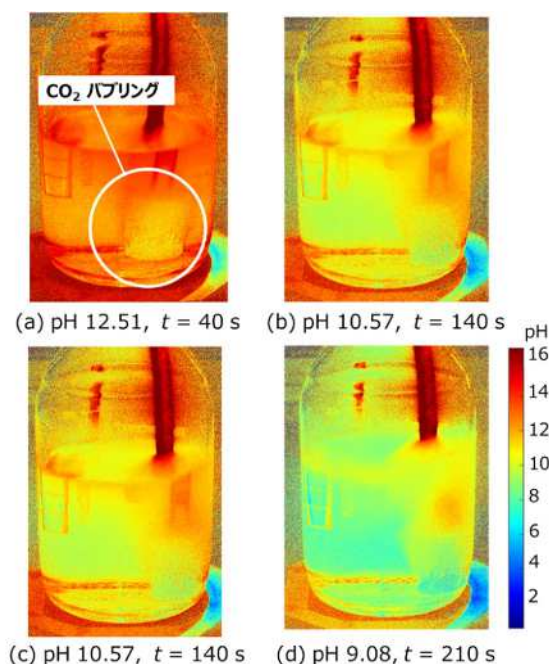


図 2 pH 分布の動的計測試験の結果

5. 本研究に関する発表

なし