

戦略的創造研究推進事業(ALCA)

技術領域（革新技術領域）

「革新的省・創エネルギー化学プロセス」

課題名「相転移型ナノゲルの pK_a 制御による CO_2
分離膜・プロセスの開発」

技術領域（実用技術化プロジェクト）

「炭素循環化学システムの高効率化」

課題名「アミン含有ゲルによる省エネルギー且つ低
コストな CO_2 分離濃縮材料・プロセスの開発」

終了報告書

研究開発期間 平成26年10月～令和 4年 3月

研究開発代表者：星野 友

（国立大学法人 九州大学 大学院工
学研究院 応用化学部門、教授）

○報告書要約（和文）

研究開発代表研究者：九州大学 教授 星野 友

研究開発課題名：アミン含有ゲルによる省エネルギー且つ低コストな CO₂ 分離濃縮材料・プロセスの開発

1. 研究開発の目的

本課題では、地球規模の高効率な炭素循環化学システムを実現するために中低圧の燃焼後排ガス中の CO₂ を回収する省エネルギーな CO₂ 分離プロセスを開発することを目標とした。具体的には、代表者らが開発したアミン含有ゲルの pK_a 設計技術を駆使して小さな圧力差で高速に CO₂ のみを透過する膜、膜モジュールおよび膜分離装置、小さな圧力差で高速に CO₂ を吸収脱着可能な CO₂ 可逆吸収材を開発することを目的とした。本研究により省エネルギーな CO₂ 分離プロセスが実現すれば中低圧の燃焼後排ガスから低コストに CO₂ を分離し、有用物質に変換・再利用することが可能になる。

2. 研究開発の概要

本課題は、平成 26 年 10 月に JST-ALCA 革新技術領域、革新的省・創エネルギー化学プロセスの『相転移型のゲルの pK_a 制御による CO₂ 分離膜・プロセスの開発』課題として開始された。2 度のステージゲートを経て、平成 29 年の 11 月から JST-ALCA 実用技術化プロジェクト炭素循環化学システムの高効率化の『アミン含有ゲルによる省エネルギー且つ低コストな CO₂ 分離濃縮材料・プロセスの開発』課題に移行された。その後 2 度のステージゲート通過を経て令和 4 年 3 月に完了した。革新技術領域研究に於いては、九州大学の星野友の研究代表グループ、谷口育雄（複合膜開発）、三浦佳子（支持膜開発）の各共同研究グループ、東京工業大学の小玉聡（プロセス開発）の共同研究グループが研究開発を実施した。実用技術化プロジェクト研究においては、九州大学の井上元（プロセス計算）、中村大輔（表面加工）、旭サナック（株）の宮地計二（スケールアップ）、日揮グローバル（株）の佐藤厚徳（プロセス評価）の共同研究グループで研究開発を実施した。

(1)内容：固体 CO₂ 吸収材および CO₂ 選択透過膜を用いた分離プロセスの開発を行った。固体 CO₂ 吸収材については、合成方法や加工方法を検討し、可逆吸収速度を限界まで加速した。分離膜については、ゲル粒子を多孔性支持膜上に塗布した複合膜の開発を行った。ゲル粒子の組成、合成条件、ゲル粒子に加える添加剤の種類や量を検討すると同時に支持膜の構造、素材、加工方法を検討した。また、膜分離モジュールやこれを用いた真空蒸気スweepによる CO₂ 分離濃縮装置の開発を行った。

(2)成果：アミン含有ゲル粒子の組成、pK_a、構造、加工プロセスを最適化し、僅かな温度変化に応答して高速に CO₂ を可逆吸収可能な新規固体吸収材料の開発に成功した。同様にアミン含有ゲルを最適化することで CO₂ を選択的に高速透過する分離膜の開発に成功した。さらにこの膜を積層した CO₂ 分離膜モジュールや水蒸気スweep型 CO₂ 分離濃縮装置を開発し、石炭火力や LNG 火力発電所の排ガスを模擬した低濃度、高湿度の CO₂ 含有ガスから 1 段の膜分離で 95%以上の純度の CO₂ を分離濃縮する装置の開発に成功した。

(3)今後の展開：ALCA 研究の成果展開企業であるベンチャー企業(株式会社日本炭素循環ラボ)に技術移転を実施し、市場原理により資金調達して成果の社会実装を加速させる。

○Report summary (English)

Principal investigator: Kyushu University, professor Yu Hoshino

R & D title: Development of energy-saving and low-cost CO₂ separation materials and processes using amine-containing gels

1. Purpose of R & D

The purpose of this project was to develop an energy-saving and low cost CO₂ separation process that captures CO₂ from the post combustion exhaust gas in order to realize a highly efficient carbon cycle chemical system on a global scale. Specifically, the purpose was to develop a solid CO₂ absorbent, membranes that allows fast and selective CO₂ permeation, membrane modules and process consisting of the membranes by making full use of the pK_a tuning of amine-containing gels. This research realizes an energy-efficient and low-cost CO₂ separation from medium- and low-pressure post-combustion exhaust gas, and enables CO₂ conversion and recycle as a useful substance.

2. Outline of R & D

This project started in October 2014 as "Development of CO₂ separation membrane / process by pK_a control of phase transition type gel" in JST-ALCA Innovative Technology Area. After passing through the two stage gates, from November 2017, the project was transferred to the JST-ALCA Practical Technology Project "Development of energy-saving and low-cost CO₂ separation and concentration materials and processes using amine-containing gels". The project was completed in March 2022 after passing through the stage gate twice. In the first half of the research period, research and development was carried out by the Hoshino team, the Taniguchi team (composite membrane) and the Miura team (supporting membrane) of Kyushu University and the Kodama team of Tokyo Institute of Technology (process development). In the latter half of the research period, research and development was carried out by Hoshino team, Taniguchi team (module development), Miura team (support film development), Inoue team (process simulation), Nakamura team (surface processing) of Kyushu University, Kodama team (process simulation) of Tokyo Institute of Technology, Asahi Sunac Miyachi team (scale up), JGC co. Sato team (process evaluation).

(1) Contents:

For solid absorbent, the synthesis and processing method were examined, and the reversible absorption kinetics was accelerated to the limit. As for the separation membrane, we developed a composite membrane in which gel particles were coated on a porous support membrane. Separation membrane that selectively permeates large amount of CO₂ was developed by optimizing the composition, pK_a, structure, and coating process of the amine-containing gel particles. We also developed a separation module with membranes stacked and a CO₂ separation device using a vacuum steam sweep.

(2) Achievements:

By optimizing the composition, pK_a, structure, and manufacturing process of the amine-containing gel, we succeeded in developing a solid CO₂ absorbent that can reversibly absorb CO₂ at high speed in response to small temperature changes. We also succeeded in developing a separation membrane that selectively permeates large amount of CO₂ by optimizing the composition, pK_a, structure, and film formation process of the amine-containing gel. Furthermore, we have developed a CO₂ separation membrane module with this membrane stacked and a steam sweep type CO₂ separation and concentration system. It was demonstrated that this system can separate and concentrate CO₂ with a purity of 95% or more from low-concentration, high-humidity CO₂-containing gas that simulates the exhaust gas of coal-fired power plants and LNG-fired power plants.

(3) Future developments:

Transfer technology to start-up companies (Japan Carbon Circulation Lab Co., Ltd.), raise funds based on market principles, and accelerate social implementation of results.