

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04330

研究課題名（和文）二酸化炭素の回収に向けた有機/無機複合吸着材の開発

研究課題名（英文）Development of organic/inorganic composite adsorbent for carbon dioxide capture

研究代表者

森本 和也（Morimoto, Kazuya）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員

研究者番号：10565683

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：低濃度二酸化炭素の選択的な分離・回収技術の開発を目的として、アミン系有機分子と無機担体とを複合化することで固体として扱える二酸化炭素吸脱着材料の新規開発に取り組んだ。組成や結晶構造が異なる無機担体の種類の検討において、低温水熱合成により得られた比表面積が大きいアルミノケイ酸塩の鉱物材料がアミン系有機分子の担持後に低濃度二酸化炭素の条件で高い吸着量を示す結果が得られた。アミン系有機分子の無機担体への担持方法の最適条件の検討から、アミン系有機分子と無機担体を直接混練する反応溶媒を使用しない方法で行うことで溶媒使用時と同等の二酸化炭素吸着性を示す複合材料を合成することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

有機/無機複合吸着材の開発においては、有機物質および無機材料の単独では発揮できない二酸化炭素の吸脱着特性をもつ材料が合成できることが期待でき、既存技術と比較して性能面・コスト面で優位なより実用的な二酸化炭素分離・回収技術として提案できる。

研究成果を基に、将来的にCCU技術として展開することが期待され、吸着材によって回収した二酸化炭素をハウス栽培で作物に施用する農業分野での利用や、安定的な供給が危惧されている炭酸ガス製造への利用などにもつながる。

研究成果の概要（英文）：In order to develop a selective separation and recovery technology for low-concentration CO₂, we attempted to develop a new CO₂ adsorption/desorption material that can be handled as a solid by compositing amine-based organic molecules and an inorganic carrier. In the study of different types of inorganic carriers with different compositions and crystal structures, an aluminosilicate mineral material with a large specific surface area obtained by low-temperature hydrothermal synthesis showed a high adsorption capacity under low-concentration CO₂ conditions after loading with amine-based organic molecules. From an examination of the optimum conditions for the method of loading amine-type organic molecules onto the inorganic carrier, it was possible to synthesize a composite material that exhibits the same CO₂ adsorption properties as when using a solvent by using a reaction solvent-free method in which the amine-type organic molecules and inorganic carrier are directly blended.

研究分野：鉱物学

キーワード：二酸化炭素 吸着材 回収

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 地球温暖化対策として温室効果ガスの排出量削減の必要性が国際的に叫ばれており、中でも人為的に排出されている温室効果ガスとして二酸化炭素の影響量が最も大きいと見込まれている。二酸化炭素の分離・回収および貯留技術の開発が重要な課題であるが、同時にコストの低減も求められている。発電所や製鉄所などの産業プロセスから発生する燃焼排ガス中に含まれる二酸化炭素(20%以下程度の低濃度ガス)を対象に分離・回収する主な技術として、次のものが挙げられる。

・化学吸収液

アミン系の溶液を用い、二酸化炭素がアミン基と化学的に反応することを利用して二酸化炭素分離を効率よく行うことができる。実用化されているが、課題は、二酸化炭素を回収(取り出す)時に大きなエネルギーを必要とすること、使用アミン系溶液は劇物や危険物に指定され取り扱いに注意が必要なことである。

・固体吸着材

ゼオライトや活性炭などのミクロ孔への二酸化炭素ガスの物理的吸着反応を利用する。課題としては、水蒸気が共存する条件下では二酸化炭素吸着が著しく阻害されるため前段階で除湿の設備が必要となることがある。

(2) 既存技術にはそれぞれ長所・短所が見受けられるが、近年、化学吸収に使われるアミン系有機分子と固体吸着材で用いられるような無機多孔質材料を担体として組み合わせたハイブリッド材料による二酸化炭素分離・回収が報告されている(余語, 2020)。この複合化によって、化学吸収液で必要とされる二酸化炭素回収エネルギーが大幅に低減できることと、固体吸着材での除湿設備を必要としない点が見込まれる。一方で、既往研究では、使用無機材料・有機物質ともに非常に高価であるため、低コストの材料開発が不可欠とされている。

2. 研究の目的

(1) 本提案では、社会的課題である二酸化炭素排出量削減に寄与する二酸化炭素分離・回収技術の開発に向け、これまでに行ってきた鉱物材料開発や有機合成、吸着機構評価などの知見を活かし、低コストで合成できる新規の有機/無機複合吸着材の開発を目指した。

3. 研究の方法

(1) 無機担体の探索・合成：無機担体の設計では、既往研究で使用されているメソポーラスシリカのような高価な試薬や有機鋳型合成などではなく、ありふれた元素(コビキタス元素)を用いて、かつ担持させる有機分子がもつ官能基との親和性が高い組成の原料を使用した。担持量に直結する高い比表面積を有する材料を得るため、三次元的に多孔質構造を形成するよう溶液濃度と pH 条件を変化させて低温での合成を試みた。また天然に産する粘土鉱物等の性能も比較した。

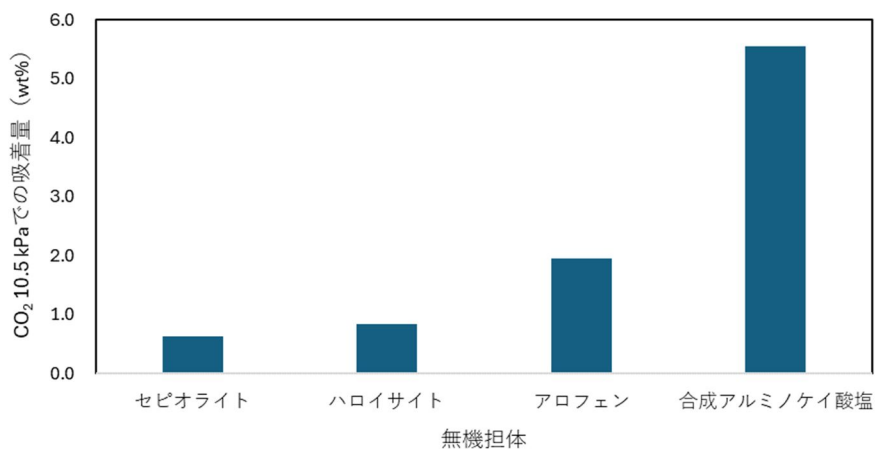
(2) 有機分子の担持と性能評価：二酸化炭素の選択的吸着に作用するアミノ基を持った有機物質を用い、かつ無機担体への強い結合性が予測される官能基をもつアミン系有機分子に着目した。強い結合性には官能基を構成する元素のイオンポテンシャルの高さが関係することを既往研究で明らかにしており、この知見からアミン系有機分子を選択した。アミン系有機分子と無機担体を複合化させ、複合吸着材の二酸化炭素吸脱着特性を二酸化炭素ガス吸脱着等温線の測定により評価した。

4. 研究成果

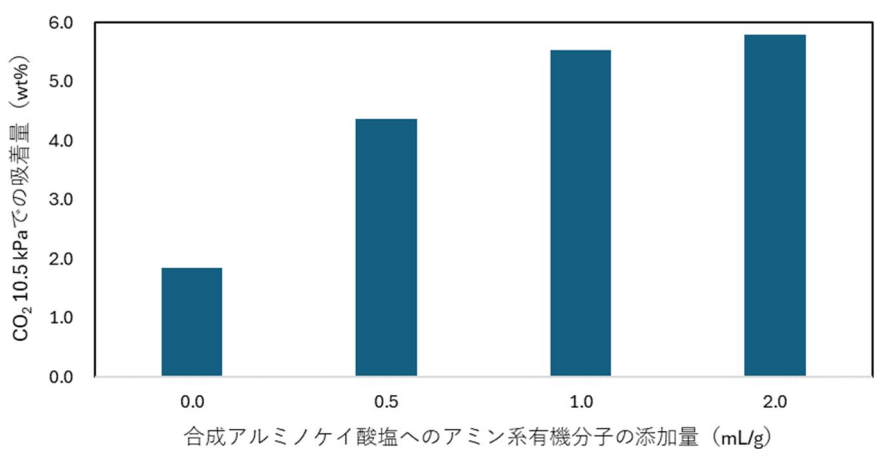
(1) 組成や結晶構造が異なる無機担体の種類の検討において、天然に産する比較的比表面積の大きい鉱物各種(粘土鉱物)と低温水熱合成により得られた比表面積が大きいアルミノケイ酸塩の鉱物材料を比較した結果、合成したアルミノケイ酸塩の鉱物材料の方がアミン系有機分子の担持後に低濃度二酸化炭素の条件で高い吸着量を示すことが確認された。これは合成鉱物材料の方が天然鉱物に比べてより大きい比表面積を有することに起因していると推察され、外表面の面積が大きい無機担体の方がアミン系有機分子の担持に適しているものと考えられた。

(2) アミン系有機分子の無機担体への担持方法の最適条件の検討においては、当初に行っていた反応溶媒を用いた系での担持に替わり、アミン系有機分子と無機担体を直接混練する反応溶媒を使用しない方法で行うことで溶媒使用時と同等の二酸化炭素吸着性を示す複合材料を合成することができた。これにより、溶媒の使用や加温、pH 調整などを行う必要がなくなり、反応を大幅に単純化することができた。

(3) 詳細な条件の検討と性能の評価を実施した。反応溶媒を使用せずに行ったアミン系有機分子と合成鉱物材料の複合材料の二酸化炭素吸脱着特性をガス吸脱着等温線の測定により評価し、アミンの担持量と二酸化炭素吸着量には正の相関が認められた。



アミン系有機分子を同条件で担持した無機担体の二酸化炭素吸着量



アミン系有機分子の担持量の異なる合成アルミノケイ酸塩の二酸化炭素吸着量

<引用文献>

余語克則、固体吸収材を用いた省エネルギー型 CO₂ 回収技術の開発、ゼオライト、37 巻、2020、47-58

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Kazuya Morimoto, Masumi Kamon, Kenji Tamura
2. 発表標題 Exfoliation and Liquid Crystal Formation of Hydroxide Nanosheets with Large Aspect Ratio
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023（国際学会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森本 和也
2. 発表標題 セリサイト（絹雲母）の活用に向けた鉱物学的基礎研究
3. 学会等名 鉱物新活用研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森本 和也
2. 発表標題 アミン担持による二酸化炭素固体収着剤の開発
3. 学会等名 鉱物新活用研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

第37回 地質調査総合センターシンポジウム 令和4年度 地圏資源環境研究部門 研究成果報告会開催
<https://unit.aist.go.jp/georesenv/information/20221207.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------