

資源鉱物を主とする高度物質循環型環境制御技術の開発

研究代表者 山崎 淳司
(創造理工学部 環境資源工学科 教授)

1. 研究課題

本プロジェクト研究の目的は、未利用の資源鉱物および各種生産プロセスから大量に排出される廃棄物をグリーンプロセスで改質し、さらに対象により実質的に利用可能な無機系の原料素材を組み合わせることで、イオン・分子の高選択吸着性・触媒分解性を有する素材を創製し、ゼロエミッションを基本とする高度循環型の環境浄化・制御技術を構築し、SDGsの実現に寄与する社会実装の実現を目指すことである。本プロジェクトでは、前プロジェクト研究からの継続テーマも含めて、主に(1)高機能性の規則的ナノ細孔質アルミノケイ酸塩物質、(2)メソ細孔質のアルミノケイ酸塩ポリマー(ジオポリマー)硬化体、(3)金属ケイ酸塩または金属シリサイドおよびそれらを2次処理することによって得られる複金属酸化物などの物質系を中心に、既存のイオン・分子ふるい材料、触媒材料、マクロ構造材料より特異な高機能物性を有する無機系の素材・材料を創製し、さらにこれらの素材・物質を対象サイトに合わせて選択・組合せることにより、低コストで現実的な土壌・水環境の浄化・改善技術を提案する。さらに、2次的に産生する廃材のカスケード利用や再生・循環利用法の開発により、極力環境に低負荷で省エネルギーの資源循環システムを構築することにより、地球環境および生活環境に調和した持続的な社会発展へ要素技術の確立に資することを目標とする。

2. 主な研究成果

非晶質粘土を主原料としたゼオライトの OSDA-free 合成

本研究では、岡山県倉吉地域に産する非晶質粘土鉱物を主成分とする「倉吉粘土」を出発物質として、単相かつ高結晶性の LTA, FAU 及び MOR 型ゼオライトを、OSDA (Organic structure-directing agent) -free の種結晶添加法で水熱合成し、とくに各種ガスの吸着特性を調べた。倉吉粘土は、白山火山噴出物の軽石層が変成したもので、非晶質粘土鉱物(allophane)を主成分とし、斜長石(Albite)が共生する(図1)。本研究では、元々混在する黒ボクや腐植を分離精製したものを使用した

目的ゼオライトに応じて、精製倉吉粘土、シリカゲルを所定比で混合した粉末試料を所定濃度の NaOH 水溶液に溶解し、各目的ゼオライトの種結晶粉末を5 wt%~10 wt%添加して調製した原料溶液を、回転式オートクレーブにて、50 °C~180 °C、5 h~24 h の水熱処理を行った。水熱処理後の試料は、口径0.2 μm のメンブレンフィルターを用いた吸引ろ過にて固液分離、温湯洗浄し、60 °Cで乾燥して、各生成試料を得た。得られた生成試料は、X線回折(XRD)測定

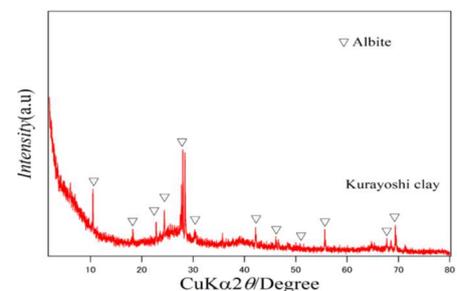


図1 精製倉吉粘土のXRDパターン

(図2) 及び SEM-EDX による形態・化学組成分析の結果、LTA (Na-A) 型, FAU (Na-X, Na-Y) 型及び MOR (Mordenite) 型ゼオライトの単相かつ比較的高結晶質の粒径2~20 μm 粉末試料であることがわかった。また、出発原料の精製倉吉粘土に共存していた斜長石は、水熱処理プロセスで溶解消失したことが示唆された。

得られた合成試料のうち、Na-X、Na-Y 及び Mordenite ゼオライト試料について、(株)大熊設計事務所製の PSA (圧カスイング吸着) 装置 AET-040を用いて、CO₂、Ar、N₂、He、O₂ガスの100~-100 KPaG での吸着挙動を測定した (図3)。

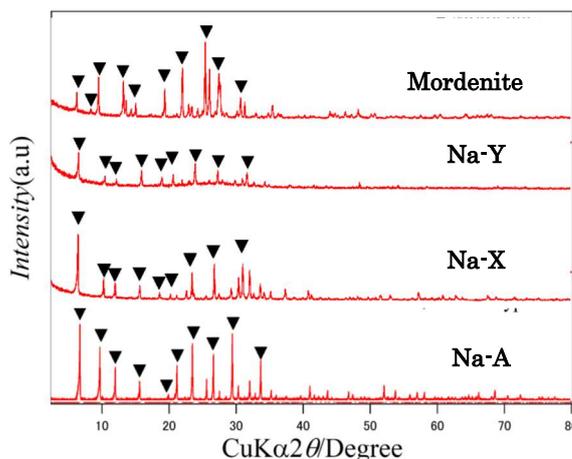


図2 水熱合成による生成試料の XRD パターン

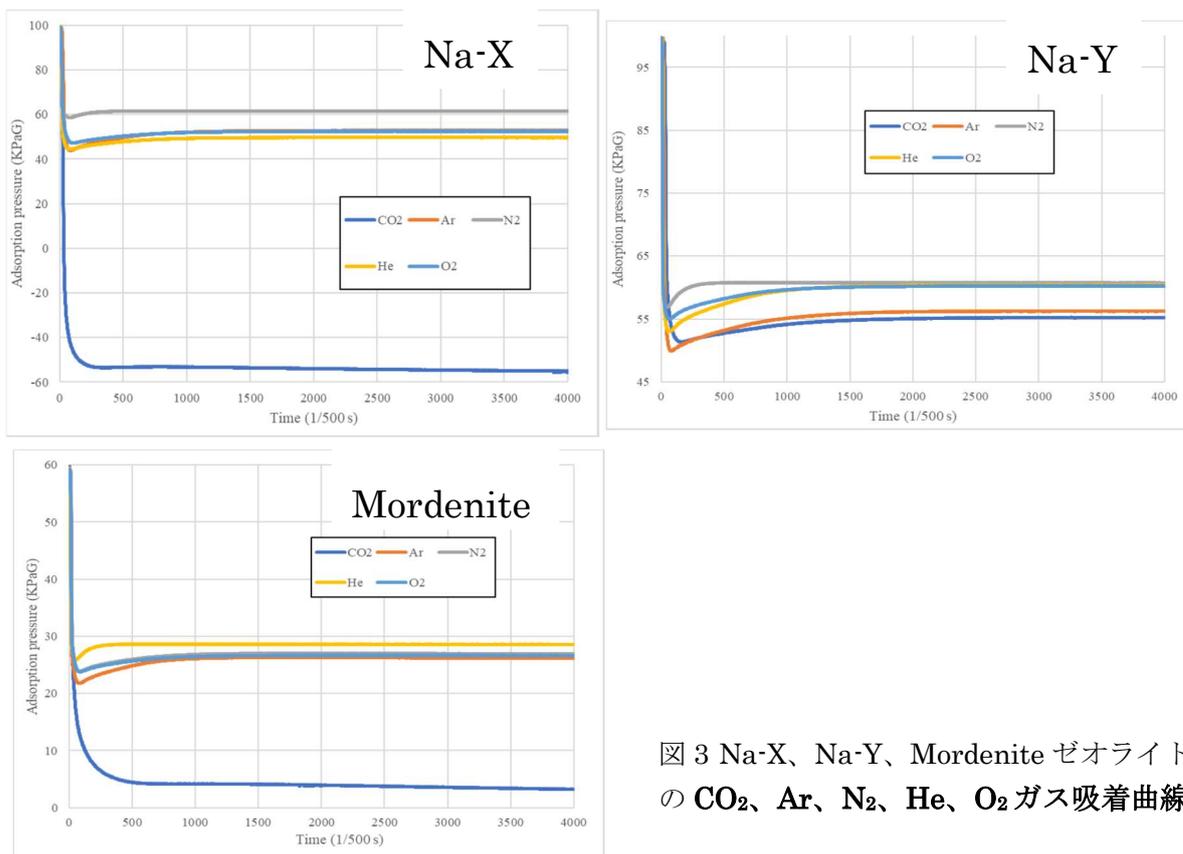


図3 Na-X、Na-Y、Mordenite ゼオライトの CO₂、Ar、N₂、He、O₂ ガス吸着曲線

測定したゼオライト3試料の単位質量当たりの各種ガス吸着量 (序列) および吸着速度が異なるが、いずれも CO₂の吸着量が多い (選択性がある) ことがわかった。一般的な細孔質親水性物質の吸着量の序列は、分圧一定条件で H₂O>CO₂>N₂>O₂>Ar となるとされている。このうち H₂O 分子には双極子があるが、CO₂、N₂、O₂分子は四重極子のみで、Ar は非極性である。また、四重極子モーメントの大きさは CO₂>N₂>O₂であり、これは各ゼオライトの吸着量の序列とおおよそ一致することがわかった。今回、精製倉吉粘土を主原料として OSDA-

free 水熱合成法で調製したゼオライトでは、Na-X ゼオライトが最も CO₂の吸着量が大きくガス選択性も大きいことから、大気中の CO₂の PSA 濃縮に適していることが示された。

参考文献

- 1) K. Iyoki, K. Itabashi, T. Okubo, Progress in seed-assisted synthesis of zeolites without using organic structure directing agents, *Microporous and Mesoporous Materials*, 189, 22–30 (2014)
- 2) Structure Commission of the International Zeolite Association, “Database of Zeolite Structures”

3. 共同研究者

安井 万奈 (理工学総合研究所 招聘研究員)

林 政彦 (理工学総合研究所 招聘研究員)

劉 兆涛 (理工学総合研究所 嘱託研究員)

4. 研究業績

4.1 総説・著書

4.2 招待講演

4.3 受賞・表彰

4.4 学会および社会的活動

資源・素材学会 代議員

無機マテリアル学会 理事

日本繊維状物質研究協会 理事

日本ゼオライト学会 編集委員

5. 研究活動の課題と展望

出来る限り非金属無機原料を用い、界面活性剤等の薬剤や貴金属等の高コストの構造規定剤や触媒を使わない、低エネルギー、カーボン・ニュートラルで環境負荷の少ない高機能性素材の製造のプロセスの構築は、各種工業、環境浄化用途のみならず元素戦略上でもますます重要性が高まっていると推測できる。とくに国内の天然に大量に賦存しながらほとんど未利用または低付加価値利用にとどまっている資源鉱物を主原料として、安価で簡易かつグリーンな反応で大量製造できるプロセスの構築は、社会実装を可能とする必要条件を満たす上で必要不可欠である。この課題を先行して解決するために、国内に止まらず近隣諸国の対象となる（工業プロセスからの排出物質も視野においた）原料資源鉱物の探索をさらに進めていく。さらに新規の資源鉱物の探索と循環システムの構築研究を基盤として、より高度で現実的な環境浄化・制御システムと SDGs を実現するためのマテリアルフロー技術の開発研究を実施する予定である。