

ミクロ多孔体の特異な機能を活用した資源循環化学の開拓

研究代表者 松方 正彦
(先進理工学部 応用化学科 教授)

1. 研究課題

ゼオライトおよび金属有機構造体 (Metal-Organic Framework, MOF) を中心としたミクロ多孔体を材料として、資源循環に貢献する化学の開拓を目指す。環境調和型かつ低コスト、スケーラブルなミクロ多孔体合成手法の開発を行った。また、ミクロ多孔体の触媒や吸着材、分離膜としての応用に関する研究を行った。

2. 主な研究成果

2.1 環境調和型低コスト合成ゼオライト

従来型のゼオライト触媒合成において、高価な有機物の使用が課題であった。本研究では、有機物を使用せずにゼオライトを合成し、その固体酸触媒特性（細孔容積、酸量、酸強度等）について評価を行った。有機物を用いずに合成したゼオライトは、従来法で合成したゼオライトと比較し、高い結晶性・細孔容積を有していた。また、得られたゼオライトに適切な後処理を施すことで、プラスチックの分解反応に適した性質をもつ触媒を調製することができた。

これらの成果は、今後共同研究先企業と特許化を進めるとともに、各種触媒反応への応用を予定している。

2.2 環境調和型低コスト連続合成 MOF

MOF 合成は多量の有機溶媒を用いたバッチ式合成で行われており、溶媒による高いコストと低い生産性が実用化に向けた課題である。本研究では、溶媒に有機物の代わりに水を使用し、連続槽型反応器で合成することで、低コストかつ高い生産性を実現する。合成条件を種々に検討した結果、複数種類の MOF において連続合成に成功し、従来品と同等の特性を有することを明らかにした。

これらの成果は、今後共同研究先企業と特許化を進めるとともに、各種アプリケーション（ガス吸着等）への応用を予定している。

2.3 ミクロ多孔体による資源循環のためのアプリケーション開拓

ゼオライトおよび MOF による吸着材、触媒、分離膜を開発し、資源循環のためのアプリケーション開拓を行った。例えば、MOF 吸着材による CO₂回収や、ゼオライト触媒による CO₂転換・プラスチック分解、分離膜による水処理等において、その有効性を示した。これらの成果は、学術論文として国際誌に掲載されている（4. 研究業績）。

3. 共同研究者

酒井 求 (応用化学科 講師 (任期付き))

山崎 康夫 (招聘研究員)

中田 修一 (招聘研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

1. Motomu Sakai, Ayaka Ito, Takaya Matsumoto, Masahiko Matsukata, One-pot synthesis of HKUST-1 monolith for CO₂ adsorption. *Chem. Lett.* **53** (2024) upae109.
2. Kazuya Hashimoto, Motomu Sakai, Masahiko Matsukata, Exploring Spinel Oxide for CO₂ Hydrogenation in Tandem Reaction with SSZ-13 Catalyst. *J. Jpn. Petrol. Inst.* **67** (2024) 230.
3. Motomu Sakai, Saki Moriya, Rina Matsumoto, Takumi Kondo, Masahiko Matsukata, Tailoring Nanochannel in ZSM-5 membranes via Al Distribution Control. *ACS Appl. Mater. Interfaces* **7** (2024) 12399.
4. Mahiro Matsushita, Motomu Sakai, Eri Miura, Takumi Omata, Tohru Kamo, Masahiko Matsukata, Polypropylene Decomposition in Hydrocarbon Solvents: Zeolite-Catalyzed Chemical Recycling. *ACS Sustainable Resour. Manage.* **1** (2024) 2539.
5. Eri Negishi, Motomu Sakai, Masahiko Matsukata, Fouling-resistant Na-ZSM-5 zeolite membrane for fruit juice concentration in forward osmosis process. *Appl. Food Res.* **4** (2024) 100487.
6. Motomu Sakai, Eri Negishi, Masahiko Matsukata, Rejection of heavy metal ions in water by zeolite forward osmosis membrane. *Sep. Purif. Technol.* **357** (2025) 130163.

4.2 総説・著書

1. 酒井求、松方正彦、骨格中の Al およびカチオンの位置制御によるゼオライト膜の透過分離性能の向上、膜、**50** (2025) 112.
2. 酒井求、松方正彦、水処理・脱水濃縮用ゼオライト正浸透膜の開発、膜、**49** (2024) 228.

4.3 招待講演

1. (Keynote) M. Sakai, The contribution of zeolite membrane reactor for CO₂ utilization (英語), 10th IUPAC ICGC, Oct. 2024.
2. 酒井求、CO₂ 資源化のためのゼオライト膜反応器の開発、第 1 回環境調和材料研究会、2024 年 12 月
3. 酒井求、水処理用ゼオライト正浸透膜の現在地と展望、2024 年度膜工学サロン、一般社団法人先端膜工学研究推進機構、2024 年 9 月
4. (Keynote) Masahiko Matsukata, Motomu Sakai, Olefin/paraffin separation through Ag-exchanged zeolite membranes, 14th Aseanian Membrane Society, July 2024.

4.4 受賞・表彰

松方正彦、2024 年度（第 65 回）石油学会賞、ゼオライト分離膜の合成技術と応用に関する研究

剣持薫、酒井求、松本隆也、松方正彦、優秀学生賞、直接転換法における合成条件が MIL-96 膜の性能に与える影響、化学工学会第 90 年会、2025 年 3 月

酒井求、ナノテクノロジーフォーラム賞、マイクロ多孔体の合成手法開発と分離膜としての機能開拓、早稲田大学、2024 年 10 月

4.5 学会および社会的活動

公益社団法人石油学会 理事、一般社団法人日本膜学会 理事、公益社団法人日本工学会 フェロー

周南コンビナート脱炭素推進協議会グランドデザインワーキング議長

公益社団法人新化学技術推進協会グリーン・サステイナブルケミストリーネットワーク運営委員長

5. 研究活動の課題と展望

2050 年にカーボンニュートラル社会を実現するため、化学工学分野における学術とプロセスの創成を引き続き目指す。新規 CO₂ 資源化プロセスや実廃プラスチックのケミカルリサイクルを実現する触媒分解プロセスの開拓にさらに注力して研究を推進する。