

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。プラスチックの資源循環を目的としたケミカルリサイクルのための、ゼオライト触媒開発およびリサイクルプロセスの開発を行った。また、CO₂ 資源化反応の効率化（収率向上、反応温度低下）を目的として、CO₂ 転換反応（逆水性ガスシフトやメタノール合成、Fischer-Tropsch 反応）に応用可能なゼオライト分離膜および膜反応器の開発を行った。

2. 主な研究成果

2.1 プラスチックケミカルリサイクルのためのゼオライト触媒およびリサイクルプロセスの開発

プラスチックの資源循環を目指し、プラスチック（ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン）を触媒分解し、化学品原料に転換するゼオライト触媒およびプロセスの開発を行った。

石油系の炭化水素を溶媒としたプラスチックの触媒分解プロセスを検討しており、ゼオライトを固体酸触媒とすることで、プラスチックを石油化学原料に転換できることを示した。また、ゼオライト触媒の特性（細孔構造、酸特性、表面積等）や反応条件（温度、時間、圧力、反応器形状等）が各種プラスチックの分解挙動に与える影響について詳細に検討した。

2.2 CO₂ 転換反応の効率化に資するゼオライト膜および膜反応器の開発

カーボンニュートラル社会実現のため、CO₂ の回収および再資源化技術の開発が求められている。本研究では、CO₂ 転換反応（逆水性ガスシフトやメタノール合成、Fischer-Tropsch 反応）に資するゼオライト膜および膜反応器の開発を行った。上記の反応はいずれも CO₂ を H₂ で還元する反応であり、その過程で多量の水が生成する。反応系内で副成した水を直接除去することができれば、反応の効率化（収率向上、反応温度低下）が期待できる。

親水性の多孔質材料であるゼオライトを薄膜化することで、CO₂ 転換反応系内から直接水を引き抜くことが可能な分離膜を開発した。図 1 に脱水用ゼオライト分離膜の電子顕微鏡像と膜反応器の構造を示す。開発した膜反応器を用いて、逆水性ガスシフトおよび Fischer-Tropsch 反応を行い、収率および反応速度が従来型の反応器と比較して大幅に向上することを明らかにした。

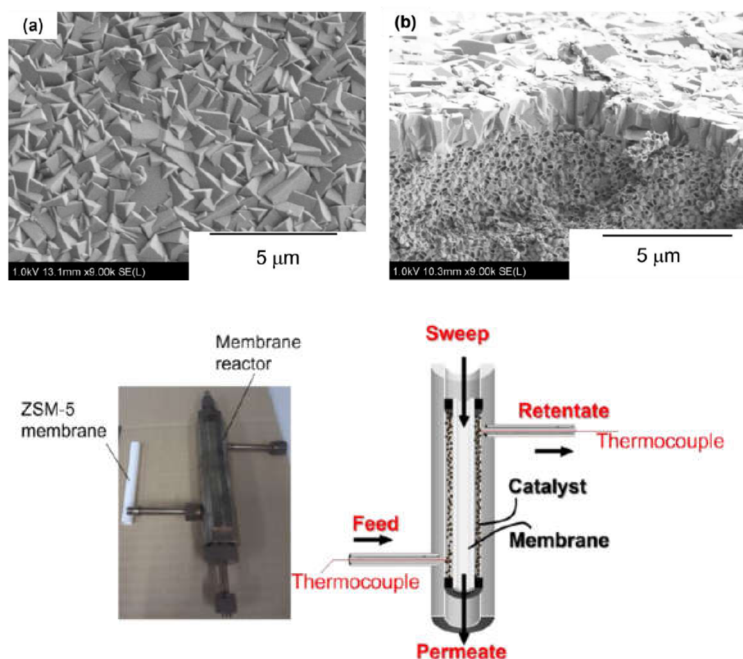


図 1 CO₂ 転換反応の効率化に資するゼオライト膜および膜反応器

3. 共同研究者

酒井 求 (ナノライフ創新研究機構 次席研究員)

加茂 徹 (ナノライフ創新研究機構 主任研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

R. Kukobat, M. Sakai, H. Tanaka, H. Otsuka, F. V.-Burgos, C. Lastoskie, M. Matsukata, Y. Sasaki, K. Yoshida, T. Hayashi, and K. Kaneko, “Ultrapervious 2D-channelled graphene-wrapped zeolite molecular sieving membranes for hydrogen separation” *Sci. Adv.* 8, eabl3521 (2022).

T. Yamaki, M. Sakai, M. Matsukata, S. Tsutsuminai, N. Sakamoto, N. Toratani, and S. Kataoka, “Impact of process configuration on energy consumption and membrane area in hybrid separation process using olefin-selective zeolite membrane” *Sep. Purif. Technol.* 294, 121208 (2022).

M. Sakai, K. Tanaka, and M. Matsukata, “An Experimental Study of a Zeolite Membrane Reactor for Reverse Water Gas Shift” *Membranes* 12, 1272 (2022).

M. Sakai, H. Hori, M. Matsukata, “Alkaline-treatment with pore-filling agent for defect-healing of zeolite membrane” *Micropor. Mesopor. Mater.* 336, 111901 (2022).

Sekine, M. Sakai, M. Matsukata, “Esterification of Acetic Acid by Flow-Type Membrane Reactor with AEI Zeolite Membrane” *Membranes* 13, 111 (2023).

4.2 総説・著書

酒井求、セラミックデータブック 2022/23、“有機物添加アルカリ処理法によるゼオライト膜の分離機能向上” 2022 年 12 月、共著

4.3 招待講演

M. Sakai, M. Matsukata, “CO₂ hydrogenation membrane reactor with zeolite membrane” 化学工学会第 88 年会、2023 年 3 月 15 日、東京（招待講演）

酒井求、“高温水蒸気分離ゼオライト膜を用いた CO₂ 転換反応の効率化” 石油学会九州・沖縄支部第 48 回講演会、2023 年 3 月 2 日、オンライン（依頼講演）

酒井求、“膜反応器の最新技術動向” 第 38 回ニューメンブレンシンポジウム 2022、2022 年 11 月 22 日、オンライン（依頼講演）

M. Sakai, K. Tanaka, T. Matsumoto, Y. Sugiura, T. Asano, M. Matsukata, “Development of membrane reactor for reverse water gas shift by ZSM-5 membrane” 15th International Conference on Catalysis in Membrane reactor, 2022 年 8 月 4 日, Tokyo. (Keynote)

松方正彦、“分離工学が築く 2050 年の未来” 新化学技術推進協会第 1 回 GSC イノベーションプラットフォーム出版記念シンポジウム「分離工学の革新がカーボンニュートラルにいかに関与するか」2022 年 4 月 15 日、東京（招待講演）

松方正彦、“NEDO プロジェクト：「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」とケミカルリサイクル技術の開発状況” JPI 日本計画研究所、2022 年 5 月 11 日、東京（依頼講演）

松方正彦、“ケミカルリサイクルの技術開発と最新動向” 野村証券スピーカーシリーズ、2022 年 6 月 6 日、オンライン（依頼講演）

松方正彦、“カーボンニュートラルの実現に向けて” 第 11 回 JACI/GSC シンポジウム、新化学技術推進協会、2022 年 6 月 16 日、東京（招待講演）

松方正彦、“平衡制約からの解放を可能とするメンブレンリアクター” 第 1 回 FlowST サマー・ワークショップ、長野、2022 年 7 月 15 日、長野（招待講演）

松方正彦、“メンブレンリアクターの開発状況とカーボンリサイクルへの貢献の期待” 第 44 回高分子と水分離研究会講座、高分子学会、2022 年 7 月、オンライン（依頼講演）

Masahiko Matsukata, “How do chemical engineers contribute to the future by implementing the Sapporo Declaration?” APCChE2023, Kuala Lumpur, Malaysia, Aug, 12, 2022 (Keynote)

Masahiko Matsukata, “Nanotechnology for zeolite catalyst and membrane design” International Particles Nanotechnology Forum (IPNF2022), IChemE, Frankfurt, Germany, Aug, 23, 2022 (Invited)

松方正彦、“膜分離プロセスの基礎と最新動向” R&D 支援センター、2022 年 8 月 31 日、オンライン（招待講演）

松方正彦、“プラスチックの熱・触媒分解挙動とプラスチックリサイクル技術” サイエンス & テクノロジー、2022 年 9 月 8 日、オンライン（招待講演）

松方正彦、“高度資源循環と環境負荷低減の両立を目指した革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発の取り組みの全体像 および ケミカルリサイクル、エネルギー回収に関する最先端技術動向について” 高分子学会高分子同友会第 143 回研究開発部会、2022 年 9 月 2 日、オンライン（招待講演）

松方正彦、“革新的な分離技術がカーボンニュートラル実現に大きく貢献します” 分離技術の最前線～分けましておめでとうございます！SDGs もよろしく申し上げます～、第 12 回

CSJ 化学フェスタ 2022、2022 年 10 月 18 日、東京（基調講演）

松方正彦、プラスチックの資源循環～マテリアルからエネルギー～、中国地区化学工学懇話会 2022 年度セミナー、化学工学会、広島、2022 年 11 月 11 日（招待講演）

Masahiko Matsukata “Innovative Separation Technology Makes a Major Contribution to Achieving Carbon Neutral” CEREC Seminar, UBC, Canada, Nov. 14, 2022 (Invited)

松方正彦 “カーボンリサイクルに貢献するメンブレンリアクター技術の概要ニューメンブレンテクノロジーシンポジウム 2022” 「S4 膜反応器による省エネ、省資源、CCU」 2022 年 11 月 22 日（依頼講演）

松方正彦、“廃プラスチックの石油精製プロセスを活用した石油化学原料化技術開発” CMC リサーチウェビナー、2022 年 11 月 24 日、オンライン（依頼講演）

松方正彦、“学会の現状と未来について：カーボンニュートラルに向けた学会の取組” 第 30 回静岡フォーラム・第 55 回研究交流セミナー、静岡化学工学懇話会創立 30 周年記念事業：「脱炭素社会の実現に向けて」、2022 年 11 月 25 日、浜松、静岡（将来講演）

松方正彦、“NEDO プロジェクト：「革新的プラスチック資源循環プロセス技術開発」とケミカルリサイクル技術の開発状況” JPI 日本計画研究所、2022 年 12 月、東京（依頼講演）

松方正彦、“カーボンニュートラルへ貢献！「膜分離プロセス」の基礎と応用および最新技術” 日本テクノセンター、2022 年 12 月 7 日、オンライン（依頼講演）

松方正彦、“日本における廃プラスチックのリサイクルについて” 早稲田大学循環型環境技術研究会、2022 年 12 月 6 日、東京（依頼講演）

松方正彦、“CO₂の資源化技術の動向と膜分離、触媒材料の開発の取り組み” CO₂資源化技術の展望とカーボンプライシングの動向、技術情報協会、2022 年 12 月 13 日、オンライン（依頼講演）

Masahiko Matsukata, “New Developments in Chemical Recycling of Plastics” CHEMCON2022, Kanpur, India, Dec. 28, 2022, (Invited)

Masahiko Matsukata and Motomu Sakai, “Zeolite Membranes for Gas Separation and Membrane Reactors” 5th Euro Asia Zeolite Conference, Busan, Korea, Feb, 6, 2023 (Keynote)

松方正彦、“革新的プラスチック資源化プロジェクトの進捗とカーボンニュートラル社会への位置づけ” TH 企画セミナー、2023 年 1 月 11 日、オンライン（依頼講演）

松方正彦、“NEDO プラスチック資源化 PJ の概要とケミカルリサイクル技術の進捗” 合成樹脂工業協会環境・リサイクル研究部会、2023 年 3 月 13 日、オンライン（依頼講演）

松方正彦、“カーボンニュートラルに対する組織的な取り組みの必要性” 化学工学会第 88 年会 HC-12 CCUS 検討委員会シンポジウム、2023 年 3 月 17 日、東京（展望講演）

4.4 受賞・表彰

藤本早希、酒井求、松方正彦、Ag-X 膜中のプロピレンの透過挙動、日本膜学会大 44 年会学生賞、2022 年 6 月

根岸恵利、酒井求、松方正彦、果汁脱水濃縮用 Na-ZSM-5 正浸透膜の開発、第 11 回 JACI・GSC シンポジウムポスター賞、2022 年 6 月

Y. Sekine, M. Sakai, M. Matsukata, Development of methanol selective zeolite membrane for transesterification membrane reactor, ICCMR-15 Student Poster Award, Aug. 2022.

N. Chinara, M. Sakai, M. Matsukata, Development of ZSM-5 membrane for dehydration

from the products of Fischer-Tropsch synthesis, ICCMR-15 Student Poster Award, Aug. 2022.

根岸恵利、酒井求、松方正彦、ゼオライト正浸透膜を用いた水中からの重金属除去法の提案、膜シンポジウム 2022 ポスター賞、2022 年 11 月

関根悠真、酒井求、松方正彦、フロー型エステル化膜反応器の開発、化学工学会第 88 年会優秀学生賞、2023 年 3 月

千原直人、酒井求、松方正彦、Direct CO₂ Fischer-Tropsch 合成用膜反応器における運転条件の検討、化学工学会第 88 年会優秀学生賞、2023 年 3 月

松本莉奈、酒井求、松方正彦、MFI 型ゼオライト分離膜におけるカチオン位置と透過選択性の関係、化学工学会第 88 年会最優秀学生賞、2023 年 3 月

4.5 学会および社会的活動

公益社団法人化学工学会 会長、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。