

令和 5 年 6 月 4 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02505

研究課題名(和文) 超高透過性多孔性TiO₂-ZrO₂-有機複合膜による有機溶剤液相分離膜の創製研究課題名(英文) Development of microporous TiO₂-ZrO₂-organic composite membranes with ultra-high permeability for organic solvent liquid phase separation

研究代表者

吉岡 朋久 (Yoshioka, Tomohisa)

神戸大学・先端膜工学研究センター・教授

研究者番号：50284162

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：有機キレート剤(OCL)を用いることで、有機溶剤逆浸透性能を有するTiO₂-ZrO₂複合膜の作製に成功した。分子サイズや構造が異なるOCLを用い、製膜条件によって、膜の細孔径および溶剤分子との相互作用制御を行った。TiO₂-ZrO₂-OCL膜は、メタノール/トルエンの混合液の分離において、優れたメタノール透過選択性を示した。数種類の有機溶剤の透過実験から、溶剤粘度、溶剤分子占有面積に加えて、膜-溶剤分子間相互作用が透過性に影響を及ぼすことが示唆された。膜と溶剤分子の表面自由エネルギー差を透過に必要な活性化エネルギーとみなす新たな透過モデルを提案し、実験結果との良好な一致が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

低分子量の有機溶剤分子の液体混合物を相変化することなく「ろ過」できるのかという学術的な問いに対して、多孔性の分離膜を介することで可能であることを明らかとした。その際の選択透過成分の透過性の発現機構に寄与する、分子篩性、膜との親和性、および分離対象分子の物性などに関する知見が得られた。一方、有機溶剤分子混合液体の精製は、蒸発潜熱を必要とする蒸留法によって行われたため、一般にエネルギー消費の大きいプロセスである。本研究で開発したセラミックをベースとする多孔性分離膜を用いることで、蒸留法に替わって抜本的な省エネルギー化に繋がる、究極的には気化を伴わない理想的な分離操作の可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：TiO₂-ZrO₂ composite membranes with organic solvent reverse osmosis performance were successfully prepared by using organic chelating ligands (OCLs), and the pore size and interaction with solvent molecules were controlled by using OCLs with different molecular sizes and structures. The TiO₂-ZrO₂-OCL membrane showed excellent methanol permeation selectivity in the separation of methanol/toluene mixtures. The permeation mechanism was investigated by permeation tests of several organic solvents, and it was suggested that the interaction between the membrane and solvent molecules as well as the solvent viscosity and the area occupied by solvent molecules had an influence on the permeation mechanism. A new permeation model was proposed in which the difference in surface free energy between the membrane and solvent molecules was considered as the activation energy required for permeation, and the model showed good agreement with experimental results.

研究分野：化学工学，膜工学，ナノ材料工学

キーワード：膜分離 ナノろ過 逆浸透 セラミック キレート配位子 チタニア ジルコニア

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

一般に、有機溶剤分子混合液体の精製は蒸発潜熱を必要とする蒸留法によって行われる。一方、ナノろ過 (NF) 操作では液相のまま膜を介して、ナノ粒子や分子量 1,000 程度の分子を阻止することにより分離が行われるため、蒸発潜熱は必要ではない。特に、有機溶剤が関与する場合は、有機溶媒ナノろ過と呼ばれ、近年研究が活発化している[1]。このような液相状態でのろ過操作が、さらに低分子量有機溶剤混合物の分離へと応用が広がれば、究極的には気化を伴わない理想的な分離操作として、蒸留法に替わって抜本的な省エネルギー化をもたらすと期待される。この場合、NF 膜よりもさらに緻密な逆浸透 (RO) 膜相当の分離膜と高い操作圧力が必要とされるが、理論分離エネルギーの 2 倍程度のエネルギーを圧力という形で加えることで劇的な省エネルギー化 (1/100 程度) が可能であると言われている。しかし、例えばメタノール/トルエン混合液のような低分子量の有機溶剤分子の液体混合物を相変化することなく「ろ過」できるのかという根源的な問いに対する明確な回答は得られていない。選択透過成分の高透過性の発現機構はなにか、分離の主なメカニズムは分子篩なのか膜との親和性なのか、さらに分離対象分子の物性に由来する分子同士の相互作用はどのように影響するのかなど、まだ詳細なことはわかっていない。現在、商業的に広く実用化されている膜は「水処理」を対象とし、一方、化学的耐性が高く細孔径制御技術も高度化してきた多孔性無機膜が主に「気体分離」を目的として研究開発が進められており、有機溶剤というその物性が多岐にわたる分離対象については、実験的にも理論的にも液相での膜分離現象の理解が不十分であると考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、有機溶剤分子の液体混合物を対象として、ろ過分離に適する高性能セラミック多孔膜の創製を行い、有機溶剤分子混合物のろ過分離に関する学理の解明に取り組んだ。

液体状分子混合物のろ過分離を行う場合、熱力学的には数十から数百気圧程度の圧力を加えることになるため、十分な強度を有する膜が必要である。また、有機溶媒に対して膨潤や溶解せず、高温での操作にも耐える膜が望ましい。このような膜として TiO_2 や ZrO_2 といったセラミック膜が適切であるが、これらは緻密な結晶性材料であり、細孔径をナノからサブナノサイズまで小さくすると、透過性が大きく低下してしまう[2]。以上の課題に対し、 TiO_2 および ZrO_2 という安定性の高いセラミック材料をベースとし、有機キレート剤が金属元素に配位し錯体形成することを利用して[3]、ゾル-ゲル法における製膜時の焼成によってキレートを分解・部分的に除去することでセラミック膜の細孔構造と膜の親疎水性の制御を行うことを試みた。

本研究では、 TiO_2 および ZrO_2 という安定性の高い材料をベースとする多孔性材料を有機キレート剤を利用して調製し、その特性評価を行い、その材料を分離層とする有機溶剤分離に応用可能な高空隙率かつ細孔径制御されたセラミック膜の作製を行い、各種液体の透過特性およびろ過分離特性を測定した。耐熱性・化学的安定、かつ特定溶媒分子の選択透過性に優れた新規サブナノ構造制御型セラミック薄膜を創製し、将来的な多孔性セラミック有機溶剤ろ過膜開発への指針を示すことを目的とする。

3. 研究の方法

(1) TiO_2 - ZrO_2 複合ゾル作製方法

Ti と Zr のアルコキシドと有機キレート配位子 (OCL) を用いて、 TiO_2 - ZrO_2 -OCL 複合ゾルを調製した。OCL としては、3,5-di-*tert*-butylcatechol (DTBC)、Ti、Zr などの二座配位子として知られている Acetylacetone (ACA) および ACA を骨格に有し、分子サイズが異なる化合物として、一つのイソブチル基が末端炭素と結合した 6-Methyl-2,4-heptanedione (ACAiB) と ACA の両端炭素に二つのイソプロピル基が結合した 2,6-Dimethyl-3,5-heptanedione (ACA2iP) を用いた。また、ACA、ACAiB、ACA2iP のように分子サイズが異なる OCL を用いることで、 TiO_2 - ZrO_2 -OCL 膜における OCL の影響を評価した。図 1 に OCL の構造式を示す。

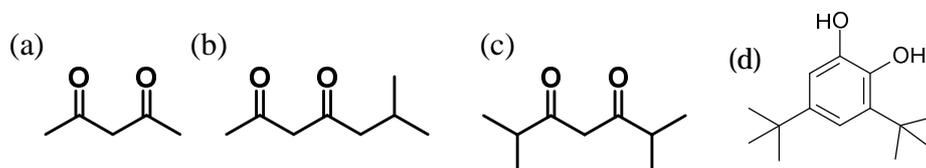


図1 (a) ACA, (b) ACAiB, (c) ACA2iP, (d) DTBCの化学構造

TiO_2 - ZrO_2 -OCL ポリマーゾルは次の手順で作製した。まず、Titanium (IV) propoxide ($\text{Ti}(\text{OC}_3\text{H}_7)_4$, TiTP), Zr (IV) butoxide ($\text{Zr}(\text{OC}_4\text{H}_9)_4$, ZrTB) (TiTP/ZrTB = 2/1 molar ratio) を 1-propanol (OCL/TiTP, ZrTB = 1/1 molar ratio) に溶解させて 5 分間攪拌し、図 1 に示した OCL のいずれかを加えさらに 5 分間攪拌した。その後、1-Propanol、塩酸 (0.1 wt%)、水の混合物 (TiTP, ZrTB/Water = 1/10) を 2 mL/min で加え、5 時間攪拌することで TiO_2 - ZrO_2 -OCL ポリマーゾルを得た。

(2) TiO₂-ZrO₂-OCL 複合膜作製方法

TiO₂-ZrO₂-OCL 複合膜は支持体の上に粒子層, 中間層, 分離層が積層した多層構造となっている. α -Al₂O₃ 多孔管 (細孔径 2 μ m, 外径 1 cm, 長さ 5 cm) を支持体として用いて, その上に TiO₂-ZrO₂-OCL 複合膜を作製した. TiO₂-ZrO₂-OCL ポリマーゾルを基材に塗布した後, 空気雰囲気下 500 °C, 350 °C, 300 °C, 窒素雰囲気下 300 °C のいずれかの条件で, 15 分間焼成を行った.

(3) TiO₂-ZrO₂-OCL 複合膜の性能評価

作製した TiO₂-ZrO₂-OCL 複合膜の親疎水性評価は, アルミナ板上に作製した TiO₂-ZrO₂-OCL 複合膜の水接触角測定を用いて分析した. 透過性能試験ではメタノール, エタノール, 1-プロパノール, 2-プロパノール, ヘキサン, オクタン, デカン, メチルシクロヘキサンを用いた. 阻止性能試験では, 水溶媒中でポリエチレングリコール (PEG) (M_w : 2000, 1000, 600, 400, 200), メタノール溶媒中ではエバンスブルー (EB) (M_w : 960.79), アシッドレッド (AR) (M_w : 635.59), メチルオレンジ (MO) (M_w : 327.34), および阻止対象溶剤としてのエタノール, イソプロピルアルコール (IPA), またはトルエンの各混合溶剤を用いた.

4. 研究成果

(1) TiO₂-ZrO₂-OCL 複合膜の性能評価

図 2 に TiO₂-ZrO₂-DTBC 膜の水の接触角画像を示す. 水の接触角は焼成温度が低くなるほど大きくなった. また, 焼成雰囲気は空気中よりも窒素中の方が大きくなった. これは膜表面の炭素残存量が影響していると考えられる. 熱重量分析結果より, 常温時を 1 とした場合の各温度における材料の相対質量は, M-300N (0.754) > M-300A (0.532) > M-350A (0.346) > M-500A (0.209) であった. 相対質量が大きいほど, 材料中に炭素が多く残存しており, より疎水的になると考えられるため, 水の接触角が M-300N > M-300A > M-350A > M-500A となったと考えられる. 参照溶剤としてジヨードメタンの接触角を測定し, 膜の表面自由エネルギーの値を算出したところ, 焼成温度が低いほど, また焼成雰囲気が窒素の場合で膜の表面自由エネルギーが小さくなった. したがって, 膜が溶剤を引き付ける力は, M-500A > M-350A > M-300A > M-300N の順に高いといえる.

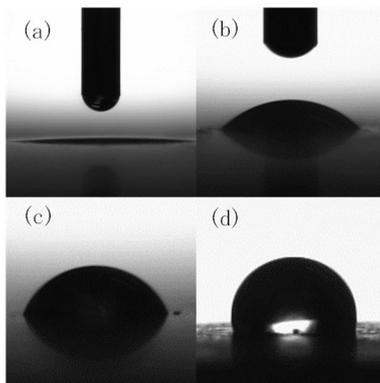


図 1 TiO₂-ZrO₂-DTBC 膜表面上の水の接触角 (a)M-500A (空気中 500 °C 焼成), (b)M-350A (空気中 350 °C 焼成), (c)M-300A (空気中 300 °C 焼成), (d)M-300N (窒素中 300 °C 焼成)

同様に窒素中 300 °C で焼成した TiO₂-ZrO₂-ACA 膜 (M-ACA), TiO₂-ZrO₂-ACAiB 膜 (M-ACAiB), TiO₂-ZrO₂-ACA2iP 膜 (M-ACA2iP) の膜表面上の水の接触角を図 2 に示す. それぞれ OCL が膜表面に存在することにより, 疎水的な表面を有していた. M-ACA は残存する OCL が少なく, M-ACAiB, M-ACA2iP は同程度の OCL が残存していることが示唆される. また, メタノール接触角, トルエン接触角はすべての膜で 0° であった.

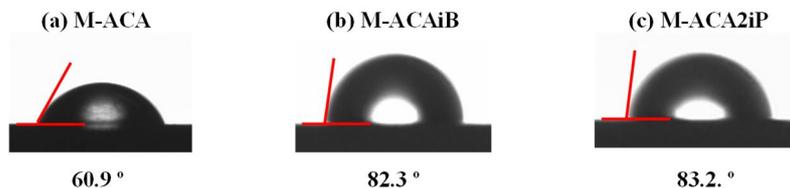


図 2 ACA 系 TiO₂-ZrO₂-OCL 膜表面上の水の接触角

図 3(a)に PEG を用いた TiO₂-ZrO₂-DTBC 膜の阻止性能試験の結果を示す. M-300A, M-300N では 600 以上, M-350A では 1000 以上, M-500A では 2000 以上の分子量で阻止率が 90 % 以上となった. また, 分画分子量曲線と阻止率 90 % 直線の交点を MWCO と定義したところ, M-500A で 1680, M-350A で 890, M-300A で 535, M-300N で 480 となった. PEG 相当径から細孔径を評価し

たところ，M-500A で 2.1 nm, M-350A で 1.5 nm, M-300A で 1.1 nm, M-300N で 1.1 nm となった．

図 3(b)にメタノール溶媒中での EB, AR, MO の阻止試験の結果を示す．M-500A の膜で EB が, M-350A, M-300A で AR が, M-300N で MO がそれぞれ阻止率 90 % 以上となった．阻止した色素の分子量の大小関係は，PEG の分画分子量測定結果とおおむね一致した．M-300A が M-300N ほど高い阻止率が得られなかったのは，製膜時に局部的に高温の部分ができてしまい，その部分の DTBC が CO₂ として抜け，ピンホールとなり色素が漏れてしまったのではないかと考えられる．M-300N は窒素雰囲気下焼成であり，局部的に高温な部分ができた場合でも，DTBC は CO₂ として抜けることなく炭素として膜表面に残存するため，ピンホールができにくく，高い阻止率を維持できたと考えられる．

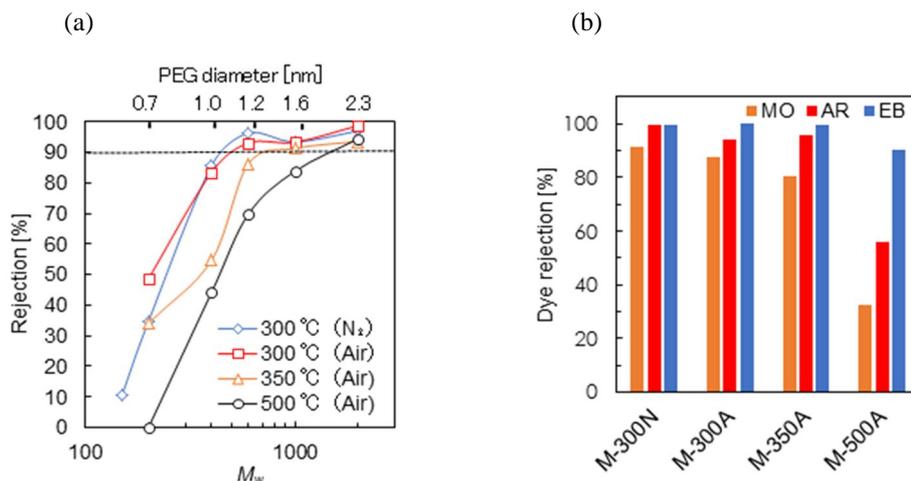


図 3 TiO₂-ZrO₂-DTBC 膜の分離性能：(a)分画分子量曲線，(b)色素阻止性能

TiO₂-ZrO₂-ACA 系膜の阻止性能は TiO₂-ZrO₂-DTBC 膜に比べて高く，その分画分子量を評価するために，PEG よりも低分子量の分子を阻止対象として異なる溶媒や色素について分離試験を行った．図 4(a)に 10 wt. % エタノール (M_w = 46.07)，2-プロパノール (M_w = 60.10)，トルエン (M_w = 92.14) および溶質として 10 ppm メチルオレンジ (MO, M_w = 327.3)を用いた場合の各阻止率を示す．90%阻止した点を分画分子量 (MWCO) とみなすと，M-ACAiB の MWCO は 80 程度，M-ACA2iP の MWCO は 150 程度であると推定できる．SiO₂ を使用していないセラミック膜であるにも関わらず，非常に緻密な細孔を有することが示された．

図 4(b)に TiO₂-ZrO₂-ACA 系膜を用いて有機溶剤逆浸透 (OSRO) 試験として，メタノール (90 wt%) とトルエン (10 wt%) の混合液からメタノールを透過，トルエンを濃縮した実験結果を示す．浸透圧を考慮して十分に高い圧力として，膜間圧力は 5 MPa に設定した．M-ACAiB は透過性能は低かったが，分離性能が高く 100 に近い分離係数を示した．一方，M-ACA2iP は分離性能が低く，透過性能が高かった．M-ACA では 9 MPa (実験装置の上限膜間圧力) においても透過が認められなかった．OCL の分子サイズが OSRO 性能にも影響を及ぼしたと思われる．

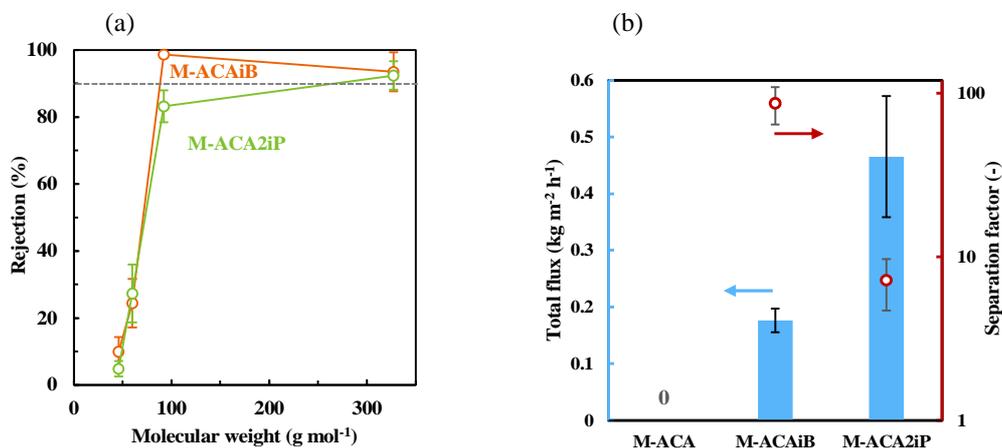


図 4 TiO₂-ZrO₂-ACA 系膜の分離性能：(a)メタノール中 10 wt% エタノール，IPA，トルエンの混合液の阻止率とメタノール中 MO (10 ppm) の阻止率，(b)メタノール (90 wt%)，トルエン (10 wt%) の混合物について，膜間圧力 5 MPa での全透過流束と分離係数

(3)TiO₂-ZrO₂-DTBC 膜の有機溶剤透過性評価

表 1 に TiO₂-ZrO₂-DTBC 膜における各種有機溶剤透率をまとめた .

表 1 TiO₂-ZrO₂-DTBC 膜における有機溶剤透過性

Solvent	Permeance (L/(m ² h bar))			
	M-500A	M-350A	M-300A	M-300N
Methanol	5.49	3.07	1.77	2.82
Ethanol	1.80	0.57	0.49	0.83
1-propanol	0.71	0.22	0.13	0.23
2-propanol	0.57	0.09	0.11	0.19
nHexane	4.94	1.22	0.62	0.84
nOctane	2.03	1.13	0.15	0.45
nDecane	0.35	0.39	0.11	0.18
Methylcyclohexane	0.06	0.41	0.04	0.21

これまでに、多孔性セラミック膜やポリアミド膜における有機溶剤の透過率 P について、以下の関係式が提案されている [4],[5] . しかし、(1)式には膜のパラメータが含まれておらず、溶剤-膜の相互作用が無視されている .そこで本研究では、この相互作用を表すパラメータとして、 δ_{tot} に替えて膜の表面自由エネルギーと溶剤の表面自由エネルギー差 $\Delta\gamma$ を導入した . $\Delta\gamma$ が大きいほど、膜が溶剤を引き付ける力が強く、 $\Delta\gamma$ が小さいほど、溶剤が膜からの影響を受けにくくなることを示し、 $\Delta\gamma$ は透過の活性化エネルギーに関連すると考えられる . そのエネルギーを疑似的に $\Delta\gamma$ で表せるとし、 A を定数として次の(2)式を提案した .

$$P \propto \frac{\delta_{tot}}{\mu S} \quad (1), \quad P \propto \frac{\exp\left(-A \frac{\Delta\gamma}{RT}\right)}{\mu S} \quad (2)$$

δ_{tot} : 溶剤の溶解度パラメータ (Pa^{0.5}) , μ : 溶剤の粘度 (Pa s) , S : 溶剤分子専有面積 (m²)

図 5(a), (b)にそれぞれ各種溶剤の透過率と(1)式, (2)式によるフィッティング結果を示す . (2)式を用いることで多くの膜において有機溶剤の透過率をより良好に表現できたことから(2)式が妥当であり、膜と溶剤分子の相互作用が透過の活性化エネルギー的に透過機構に影響を及ぼすことが示唆された . また、この時の A の値は、膜細孔径が大きな膜ほど小さくなったことから、細孔径が小さくなるほど $\Delta\gamma$ の与える影響が大きくなると思われる .

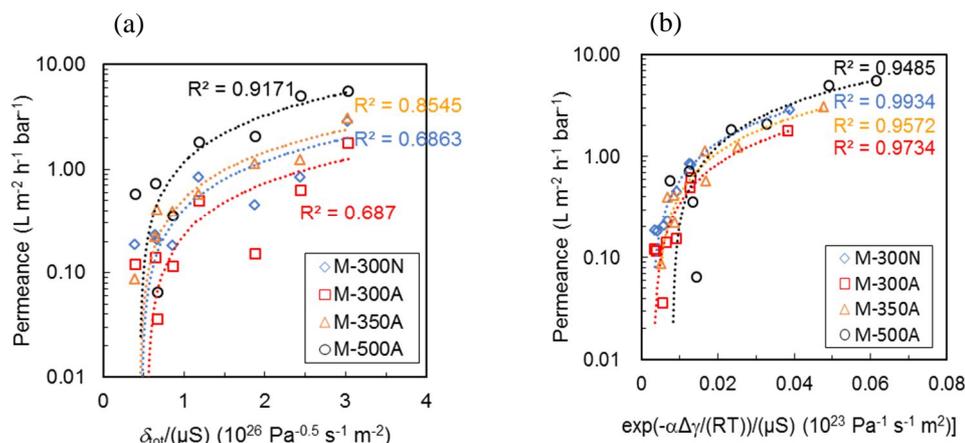


図 5 各種有機溶剤透過率と透過モデルとの相関 (a) (1)式 , (b) (2)式

< 引用文献 >

- [1] P. Marchetti, M. F. J. Solomon, G. Szekely, A. G. Livingston, Molecular Separation with Organic Solvent Nanofiltration: A Critical Review, *Chem. Rev.*, **114**, 10735-10806 (2014)
- [2] 都留稔了, 水処理のための無機膜を展望する, *膜*, **35**, 175-181 (2010)
- [3] Y. Sada, T. Yoshioka, K. Nakagawa, T. Shintani, R. Iesako, E. Kamio, H. Matsuyama, Preparation and characterization of organic chelate ligand (OCL)-templated TiO₂-ZrO₂ nanofiltration membranes, *J. Membr. Sci.*, **591**, 117304 (2019)
- [4] A. Buekenhoudt, F. BIsignano, G. De Luca, P. Vandezande, M. Wouters, K. Verhulst, Unravelling the solvent flux behaviour of ceramic nanofiltration and ultrafiltration membranes, *J. Membr. Sci.*, **439**, 36-47 (2013)
- [5] S. Karan, Z. Jiang, A. G. Livingston, Sub-10 nm polyamide nanofilms with ultrafast solvent transport for molecular separation, *Science*, **348**, 1347-1351 (2015)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yuqing Lin, Qin Shen, Yuki Kawabata, Junpei Segawa, Xingzhong Cao, Kecheng Guan, Titik Istirokhatun, Tomohisa Yoshioka, Hideto Matsuyama	4. 巻 420
2. 論文標題 Graphene quantum dots (GQDs)-assembled membranes with intrinsic functionalized nanochannels for high-performance nanofiltration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 127602
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.cej.2020.127602	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Takashi Tachibana, Tomohisa Yoshioka, Keizo Nakagawa, Takuji Shintani, Eiji Kamio, Hideto Matsuyama	4. 巻 10
2. 論文標題 Gas permeation characteristics of TiO ₂ -ZrO ₂ -aromatic organic chelating ligand (aOCL) composite membranes	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Membranes	6. 最初と最後の頁 388
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/membranes10120388	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Iesako Ryosuke, Yoshioka Tomohisa, Nakagawa Keizo, Shintani Takuji, Matsuoka Atsushi, Kamio Eiji, Matsuyama Hideto	4. 巻 297
2. 論文標題 Organic solvent permeation characteristics of TiO ₂ -ZrO ₂ composite nanofiltration membranes prepared using organic chelating ligand to control pore size and surface property	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 121458
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.seppur.2022.121458	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kitamura Shunsuke, Yoshioka Tomohisa, Nakagawa Keizo, Kitagawa Tooru, Okamoto Yasunao, Matsuoka Atsushi, Kamio Eiji, Matsuyama Hideto	4. 巻 315
2. 論文標題 Organic solvent reverse osmosis characteristics of TiO ₂ -ZrO ₂ -organic chelating ligand (OCL) composite membranes using OCLs with different molecular sizes	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 123576
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.seppur.2023.123576	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 吉岡朋久
2. 発表標題 非平衡分子動力学法によるミクロ多孔性膜における 分子輸送現象の解明とセラミック多孔膜の開発
3. 学会等名 化学工学会第87年会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北村俊介, 吉岡朋久, 中川敬三, 新谷卓司, 松岡淳, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 TiO ₂ -ZrO ₂ -有機キレート配位子(OCL)複合膜におけるナノ濾過特性に及ぼすOCLの影響
3. 学会等名 化学工学会第87年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohisa Yoshioka, Takashi Tachibana, Keizo Nakagawa, Takuji Shintani, Eiji Kamio, Hideto Matsuyama
2. 発表標題 Gas permeation characteristics of TiO ₂ -ZrO ₂ composite membranes prepared by using aromatic organic chelating ligand (aOCL)
3. 学会等名 International Congress on Membranes & Membrane Processes 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 家迫遼介, 吉岡朋久, 中川敬三, 新谷卓司, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 TiO ₂ -ZrO ₂ -有機キレート配位子(OCL)複合膜の各種有機溶剤透過特性
3. 学会等名 化学工学会第51回秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomohisa Yoshioka
2. 発表標題 Gas permeation characteristics of microporous TiO ₂ -based ceramic membranes
3. 学会等名 2020 Dalian University of Technology- Overseas Partner Universities Series Online Exchange Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohisa Yoshioka
2. 発表標題 TiO ₂ -based microporous ceramic-organic chelating ligand (OCL) composite membranes for gas separation and nanofiltration
3. 学会等名 化学工学会第86年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomohisa Yoshioka, Yuya Ohara, Yuto Ihara, Keizo Nakagawa, Takuji Shintani, Hideto Matsuyama
2. 発表標題 Molecular Dynamics Simulation Study of Liquid Permeation through Nano Scale Pores on Ceramic Membranes
3. 学会等名 The 16th International Conference on Inorganic Membranes (ICIM-16) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Shunsuke Kitamura, Tomohisa Yoshioka, Keizo Nakagawa, Takuji Shintani, Atsushi Matsuoka, Eiji Kamio, Hideto Matsuyama
2. 発表標題 Pore size control of TiO ₂ -ZrO ₂ -organic chelate ligand (OCL) composite membranes for organic solvent nanofiltration (OSN)
3. 学会等名 The 16th International Conference on Inorganic Membranes (ICIM-16) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohisa Yoshioka
2. 発表標題 Molecular transport phenomena and development of microporous ceramic membranes
3. 学会等名 The 13th Conference of the Aseanian Membrane Society (AMS13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北村俊介, 吉岡朋久, 中川敬三, 北河享, 岡本泰直, 松岡淳, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 TiO ₂ -ZrO ₂ -有機キレート配位子(OCL)複合膜における有機溶剤逆浸透分離
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomohisa Yoshioka
2. 発表標題 Nanofiltration and gas permeation characteristics of TiO ₂ -based microporous composite membranes prepared by addition of organic chelating ligands
3. 学会等名 化学工学会第53回秋季大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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
研究 分担者	中川 敬三 (Nakagawa Keizo) (60423555)	神戸大学・科学技術イノベーション研究科・准教授 (14501)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究 分 担 者	新谷 卓司 (Shintani Takuji) (90607574)	神戸大学・科学技術イノベーション研究科・特命教授 (14501)	

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