

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21111

研究課題名（和文）化学プロセス革新を実現する驚異的な省エネルギー性を有する有機溶剤超ろ過法の創出

研究課題名（英文）Creation of an organic solvent hyperfiltration method with remarkable energy efficiency for chemical process innovation

研究代表者

松山 秀人（Matsuyama, Hideto）

神戸大学・先端膜工学研究センター・教授

研究者番号：50181798

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、有機溶剤分離の大幅な省エネルギー化を目指して、有機溶剤系で直接溶剤-溶剤間の膜分離を行う新規有機溶剤超ろ過（Organic solvent Hyper Filtration; OHF）膜の創出を行った。耐溶剤性ポリマーにより、特性の異なる複数のOHF膜を作製し、溶剤分離性を評価した結果、脂肪族/芳香族、芳香族/芳香族など広範な溶剤分離が可能であることが確認され、本研究で創出されたOHF膜により、蒸留代替としての膜による溶剤分離プロセスの可能性を示すことができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で開発されたOHF膜は、これまで膜での分離が難しかった有機溶剤混合液からの溶剤間分離を可能とし、蒸留法の1/100以下の超省エネルギーで溶剤分離を行うことができる。このような溶剤-溶剤膜分離を可能にするOHF膜はこれまで世の中に無く、従来の蒸留技術による化学プロセスを未来型の革新的化学プロセスに変革し得るという点で、挑戦的研究にふさわしい成果と言える。

研究成果の概要（英文）：In this study, novel organic solvent hyperfiltration (OHF) membranes for direct solvent-solvent separation in organic solvent mixtures were created to enable significant energy reduction in organic solvent separation. Several OHF membranes with different properties were developed using organic solvent-resistant polymers, and their organic solvent separation performances were evaluated. The OHF membranes created in this study demonstrated the potential of the membrane-based organic solvent separation processes as an alternative to distillation.

研究分野：膜工学、化学工学

キーワード：膜分離 有機溶剤超ろ過（OHF） 耐溶剤性OHF膜 有機溶媒液-液分離 複合膜 逆浸透（RO）

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

化学品製造プロセスにおいて有機溶剤の分離・濃縮に多用される蒸留法は、多量の熱エネルギーを必要とする極めてエネルギー消費の大きいプロセスであり、蒸留に由来する CO₂ 排出量は化学産業の CO₂ 排出量の 40%にも達し、日本全体の総 CO₂ 排出量の実に 4%を占めるに至っている(環境省 2016 年度(平成 28 年度)温室効果ガス排出量データから試算)。一方、膜分離法は格段に省エネルギーな分離法ではあるものの、これまでは液相系のプロセスはほとんどが水処理プロセスに特化したもの(精密ろ過膜、限外ろ過膜、ナノろ過膜、逆浸透膜等)しかなく、有機溶剤分離を膜で行うことは難しかった。有機溶剤系で水処理用と同様に様々な分離が可能な膜の開発が求められている。

2. 研究の目的

本研究では、有機溶剤分離の大幅な省エネルギー化を目指して、有機溶剤系で直接溶剤-溶剤間の膜分離を行う新規有機溶剤超ろ過膜法(ここで Organic solvent Hyper Filtration: OHF と世界に先駆けて命名)の創出について検討を行う。最近、有機溶剤の膜分離法として、浸透気化(Pervaporation, PV、透過側を減圧にして気化)膜法が蒸留法の代替技術として検討されているが、PV 法では気化という相変化に伴うエネルギー(潜熱)が蒸留法と同様に必要である。従って、蒸留と比較した消費エネルギーはまだ 20-70%に留まっている。OHF 膜法では有機溶剤を液体のまま膜を透過させるため、蒸留法の 1/100 以下という圧倒的な省エネルギー化が達成可能である。このように本研究では、これまで世の中に無かった有機溶剤超ろ過膜(OHF 膜)の開発を行い、蒸留に代わり得る未来型の革新的化学プロセスの実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) OHF 膜の作製

(1-1) フッ素化界面重合ポリアミド複合膜(F-PA 膜)

耐溶剤性かつ高阻止性の OHF 膜として、CF₃ 基を導入した界面重合ポリアミド複合膜を作製した。我々はこれまでに有機溶剤分離用に界面重合ポリアミド複合膜を開発・報告しているが(ACS Appl. Mat. Interf. 12, 7586 (2020)、J. Membr. Sci. 618, 118710 (2021))、これは支持膜を耐溶剤性のポリケトンで作製する以外は、分離活性層であるポリアミド層は水処理膜と同じものを用いていた。このため、このポリアミド複合膜は耐溶剤性はあるものの、膜表面のポリアミド層自体は親水性が強いため、親水性溶剤には使えるが、低極性の溶剤に対しては使用が難しかった。そこでポリアミド層の合成原料として新たに 5-trifluoromethyl-1,3-phenylenediamine (TFMPD) を用いて 1,3,5-benzenetricarbonyl tri-chloride (TMC) と界面重合を行わせることで、ポリアミド層にフッ素置換基を導入した膜を作製した(図 1)。これにより膜表面を疎水性としたポリアミド複合膜(F-PA 膜)を創製した。

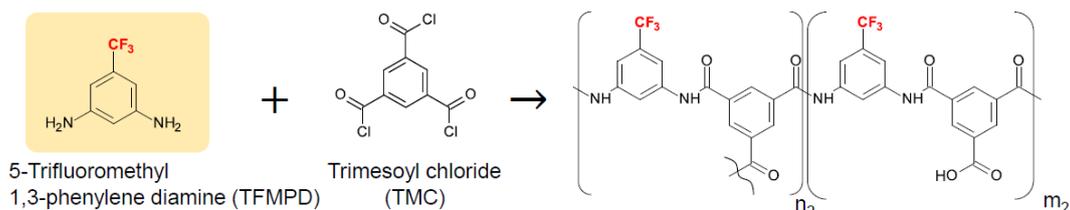


図 1 界面重合ポリアミド層へのフッ素含有基の導入による疎水化

(1-2) AF2400 コーティング膜

非常に低極性の有機溶剤の分離には、膜の極性をさらに下げた膜の開発が必要だと考えられた。そこで、置換基を全てフッ素としたポリマーである Teflon™ AF2400 (poly [4,5-difluoro-2,2-bis(trifluoromethyl)-1,3-dioxole-co-tetrafluoroethylene]) を用いて製膜を検討した。ポリケトン多孔膜を支持膜とし、その上に perfluoromethylcyclohexane に溶解した AF2400 をスピニングし、100°C で 16 時間乾燥することで、AF2400 コーティング膜を作製した(図 2)。

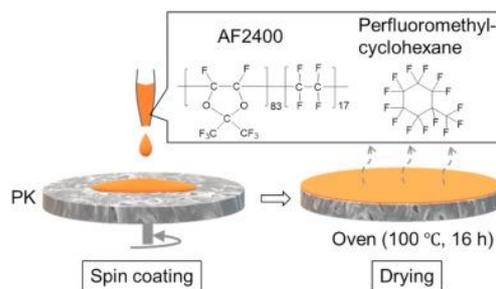


図 2 AF2400 コーティング膜の作製方法

(1-3) 架橋型ポリジメチルシロキサン膜(PDMS 膜)

ポリジメチルシロキサンは疎水性のコーティング剤として知られるが、そのままでは耐溶剤性が低い。そこで、ポリエーテルスルホンで作製した限外ろ過膜を支持膜とし、その上に両末端がビニル基の polydimethylsiloxane (PDMS)、dimethylsiloxane-methylhydrosiloxane copolymer (DMS-co-MHS)、platinum-divinyltetramethyldisiloxane complex (Pt-DMS)、

1,3,5,7-tetravinyl-1,3,5,7-tetra-methylcyclotetrasiloxane (TV-MCS)を含むヘキサン溶液をスピコートし、120°Cで16時間加熱することで架橋を行わせることで(図3)、耐溶剤性を高めた架橋型ポリジメチルシロキサンを分離層とするOFH膜(PDMS膜)を作製した。

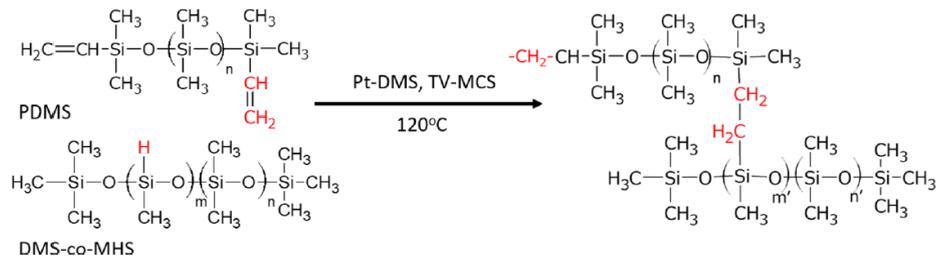


図3 溶剤耐性を高めるためのポリジメチルシロキサンの架橋

(1-4) 架橋型酸化グラフェンナノシート膜(GO膜)

酸化グラフェン(GO)ナノシートを用いた積層架橋型OHF膜(GO膜)の開発を行った。ポリケトンで作製した多孔支持膜上に、酸化グラフェンナノシート(大きさ約5μm四方)とエチレンジアミンの混合液を吸引ろ過で積層し、強度を高めるために80°Cで2時間熱処理を行うことでナノシート間をエチレンジアミンで架橋し、目的の積層型架橋ナノシート膜を作製した(図4)。

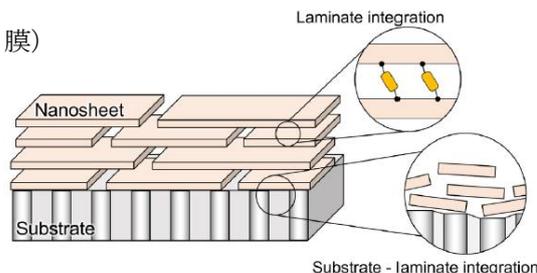


図4 架橋型酸化グラフェンナノシート膜の構造模式図

(2) OHF膜の性能評価

作製した各OHF膜は、RO性能評価装置を用いて、各種の有機溶剤溶液中での阻止性と溶剤透過性を評価するとともに、有機溶剤混合液を用いて溶剤-溶剤分離性についても評価した。

4. 研究成果

(1) OHF膜の性能評価

(1-1) フッ素化界面重合ポリアミド複合膜(F-PA膜)の評価

界面重合ポリアミド複合膜のポリアミド層へのフッ素含有基の導入による膜表面の疎水化を、接触角の測定で確認した。図5に接触角測定結果を示すように、F-PA膜の水接触角は105°となり、疎水化されたことが確認された(一般に90°以上で疎水性)。フッ素含有基導入ポリアミドの割合を50%とした膜(F-PA-50)では水接触角は65°であることから、膜表面を疎水化するにはフッ素含有基導入ポリアミドの割合をほぼ100%とする必要があることが分かった。

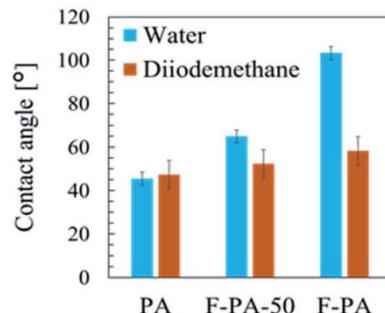


図5 F-PA膜の水接触角

次に各種有機溶剤に対する透過性を調べた(図6)。F-PA膜は従来のポリアミド膜(PA)と比べ、何れの有機溶剤においても透過性が向上していた。特に、炭素数3以上のアルコール、脂肪族炭化水素、芳香族炭化水素は従来のPA膜では透過しないが、フッ素化により透過するようになったことが確認された。

また、溶剤-溶剤混合液での分離性能評価結果を図7に示す。トルエンと種々の炭化水素の混合液における評価の結果、F-PA膜はトルエンと炭素数7~8以上の脂肪族との分離、トルエンと炭素数12以上の芳香族との分離において60%以上の阻止性を有することが分かった。これにより、ポリアミド系膜で芳香族/脂肪族、芳香族/芳香族の分離に世界で初めて成功した。

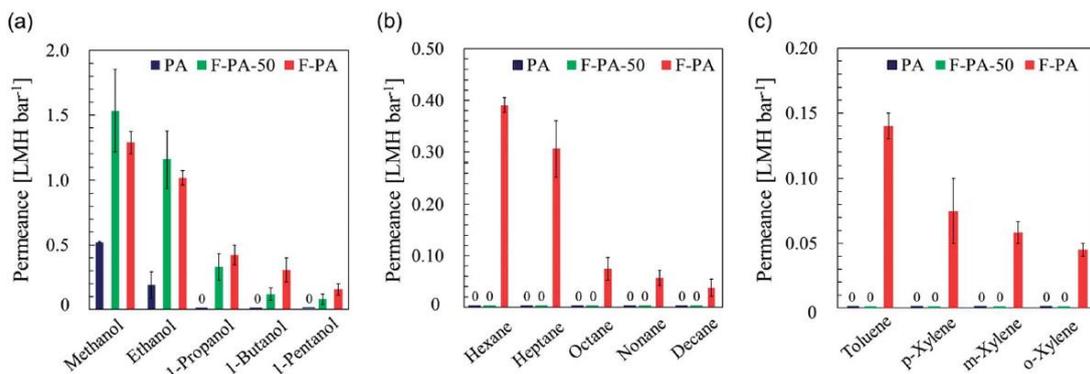


図6 F-PA膜の有機溶剤透過性(アルコール類(a)、脂肪族炭化水素(b)、芳香族炭化水素(c))

(1-2) AF2400 コーティング膜の評価

フッ素系ポリマーAF2400 でコーティングした膜はコーティング層の厚さは $2.5\sim 3\mu\text{m}$ で、水接触角は 115° であり、上記 F-PA 膜よりも膜表面がさらに疎水性であることが確認された。この膜の各種有機溶剤に対する透過性を調べた結果を図 8 に示す。アルコール類は全く透過せず、疎水性溶剤のみが透過した。最も良く透過したのは hexane で、次いで heptane、toluene の順であった。このことから、AF2400 コーティング膜は疎水性が非常に強く、疎水性溶剤の選択透過性が予想された。

そこで、アルコール類と疎水性溶剤の混合液を用いて、溶剤-溶剤分離性を検討した。結果を図 9 に示すように、脂肪族系と芳香族系のどの疎水性溶剤でも、アルコールとの間の溶剤-溶剤分離性が確認された(アルコール透過を阻止)。以上から、AF2400 コーティング膜はアルコールなど親水性溶剤と疎水性溶剤の分離に有用であることが示された。

また、図 10 に AF2400 コーティング膜でのトルエンと各種疎水性溶剤間の分離性を調べた結果を示した。本膜はトルエンと脂肪族疎水性溶剤の混合液(9:1)において、脂肪族疎水性溶剤の透過を阻止した。また、トルエンと他の芳香族疎水性溶剤の混合液(9:1)においては、トルエンよりも分子量が大きい溶剤に対し、分子量依存的な選択阻止性を示した。以上の結果から、AF2400 コーティング膜は疎水性と親水性溶剤の混合液の分離に加え、疎水性溶剤間の分離も可能であることが示された。

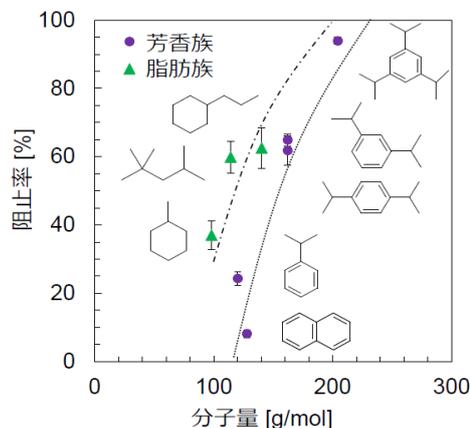


図 7 F-PA 膜のトルエンと各種疎水性溶剤 (9:1) との分離性

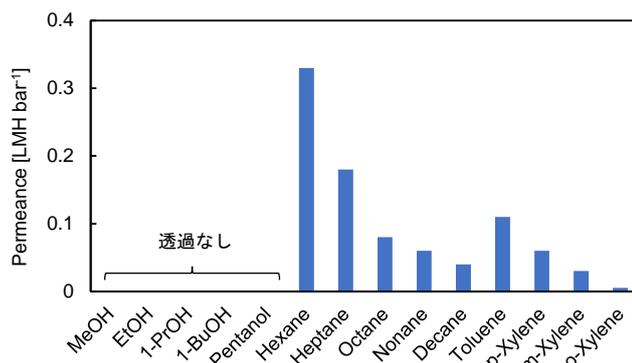


図 8 AF2400 コーティング膜の各種有機溶剤透過性

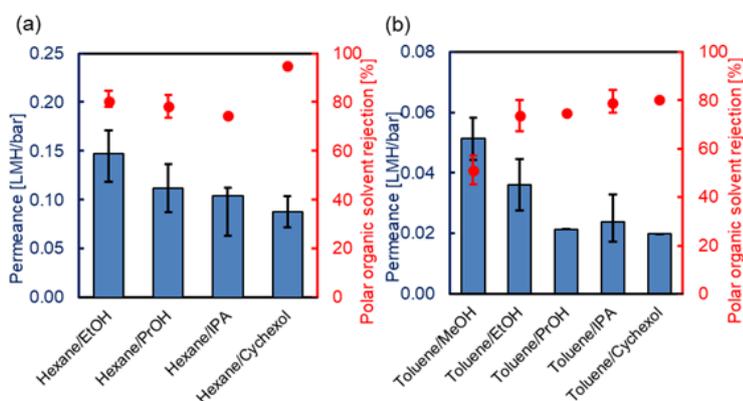


図 9 AF2400 コーティング膜の疎水性溶剤とアルコール類混合液 (9:1 重量比) における疎水性溶剤の選択透過

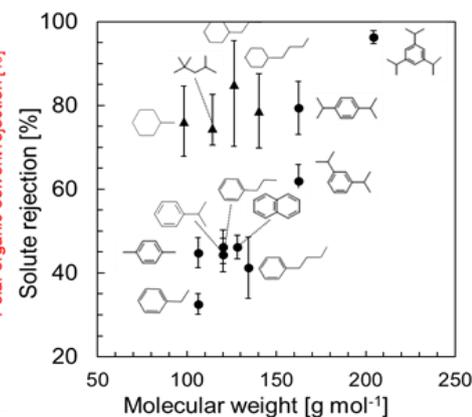


図 10 AF2400 コーティング膜のトルエンと各種疎水性溶剤(9:1 重量比) との分離性

(1-3) 架橋型ポリジメチルシロキサン膜(PDMS 膜)の評価

ポリエーテルスルホン製支持膜上にポリジメチルシロキサンをスピニング後、熱処理でポリジメチルシロキサンの架橋処理を行って作製した PDMS 膜について、ヘキサン-EtOH 混合液を用いて、溶剤-溶剤分離性を調べた結果を図 11 に示す。PDMS 膜は膜表面が疎水性であるため、極性溶剤である EtOH の透過を阻止した。重量比 1:1 の同混合液において、67%の EtOH 阻止率が得られた。

次に、アルコールの種類を変えてヘキサンとの混合液の溶剤-溶剤分離性を調べた結果を図 12 に示す。アルコールの濃度が上がるに従い、透過液(ヘキサン)の透過速度が減少した(図 12(a))。アルコール濃度増加により溶液の粘度が上がるためと考えられる。また、EtOH に比べ、PrOH、pentanol、hexanol では分離性がやや低下した(図 12(b))。アルコール分子の鎖長が長くなると疎水性が強ま

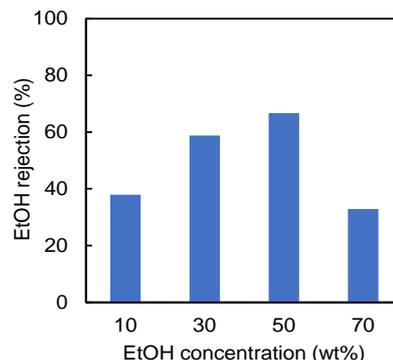


図 11 ヘキサンと EtOH の混合液における PDMS 膜の溶剤-溶剤分離

り、PDMS 膜との親和性が上がって透過し易くなるためと考えられる。以上より、PDMS 膜は疎水性溶剤と親水性溶剤の混合液系において、親水性溶剤の透過を阻止することによる溶剤-溶剤分離が可能であることが明らかとなった。

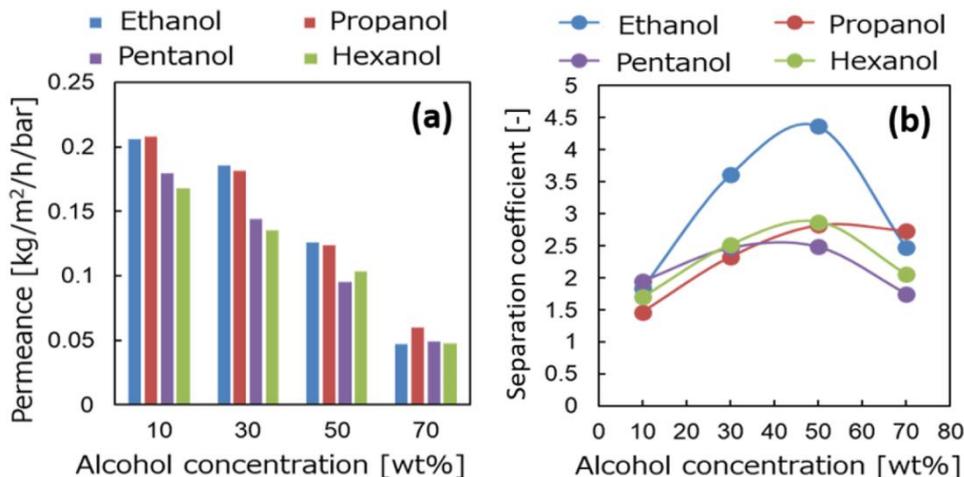


図 12 PDMS 膜によるヘキサンとアルコール類混合液の溶剤-溶剤分離

(1-4) 架橋型酸化グラフェンナノシート膜(GO 膜)の評価

ポリケトン支持膜上にグラフェンナノシートを積層し、ナノシート間をエチレンジアミンで架橋することで製膜した架橋型酸化グラフェンナノシート積層膜 (GO 膜) は、ナノシート層間の隙間 (約 1nm) が溶液の流路となるためナノレベルで透過性を制御することができる。得られた GO 膜の分離層の厚さは約 180nm で (図 13(a))、親水性の性質を持つことから水や親水性溶剤を透過させることができ、分画分子量は約 400 であった (図 13(b))。架橋を行っていない膜の分画分子量は約 800 であったことから、エチレンジアミンの架橋により、安定性ととも膜の緻密さも向上したことが分かった。また、本膜の有機溶剤中での分離性を低分子化合物の acid red (AR、分子量 635) を用いて測定したところ、MeOH、EtOH、PrOH のどの有機溶剤においても 90%以上の高い阻止性を示した。

酸化グラフェンナノシート積層膜はこれまで水系での分離膜に用いられた報告は多数あるが、有機溶剤中では安定性は高くないため有機溶剤分離への応用例は少ない。有機溶剤中で安定な酸化グラフェンナノシート積層膜の報告はこれまでなく、本研究により有機溶剤分離に使用し得る酸化グラフェンナノシート積層膜の作製が初めて可能になったと言える。

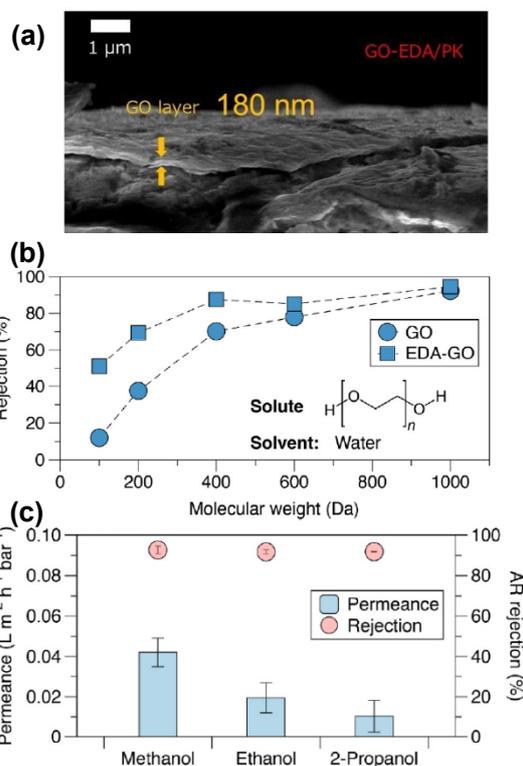


図 13 GO 膜の断面走査型電子顕微鏡写真(a)、分画分子量(b)、有機溶剤中における分離性(c)

(2) 開発膜を用いた有機溶剤分離プロセス

本研究で開発した OHF 膜を用いた有機溶剤分離プロセスの適用範囲を表 1 にまとめた。F-PA 膜と AF2400 コーティング膜は溶剤分離性能が非常に高く、脂肪族/芳香族、芳香族/芳香族など広範な溶剤分離に使用が可能である。PDMS 膜と GO 膜はやや分離性が落ちるが、それぞれの特徴に応じた溶剤分離プロセスが可能である。以上より、本研究で創出された OHF 膜により、蒸留代替としての膜による溶剤分離プロセスの可能性を示すことができた。

表 1 開発 OHF 膜を用いた有機溶剤分離プロセス

開発膜	分離対象	
	有機溶剤中の低分子化合物	溶剤-溶剤分離 異種極性間 同種極性間
(1) F-PA膜	←→	←→
(2) AF2400膜	←→	←→
(3) PDMS膜	←→	←→
(4) GO膜	←→	←→

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 C. Liu, L. Cheng, T. Shintani, H. Matsuyama	4. 巻 628
2. 論文標題 AF2400/polyketone composite organic solvent reverse osmosis membrane for organic liquid separation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 119270
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.memsci.2021.119270	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 Q. Shen, Y. Lin, P. Zhang, J. Segawa, Y. Jia, T. Istirokhatun, X. Cao, K. Guan, H. Matsuyama	4. 巻 635
2. 論文標題 Development of ultrathin polyamide nanofilm with enhanced inner-pore interconnectivity via graphene quantum dots-assembly intercalation for high performance organic solvent nanofiltration	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 119498
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.memsci.2021.119498	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 C. Wang, M.J. Park, D.H. Seo, S. Phuntsho, R.R. Gonzales, H. Matsuyama, E. Drioli, H.K. Shon	4. 巻 642
2. 論文標題 Inkjet printed polyelectrolyte multilayer membrane using a polyketone support for organic solvent nanofiltration	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 119943
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.memsci.2021.119943	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 W. Kushida, R.R. Gonzales, T. Shintani, A. Matsuoka, K. Nakagawa, T. Yoshioka, H. Matsuyama	4. 巻 10
2. 論文標題 Organic solvent mixture separation using fluorine-incorporated thin film composite reverse osmosis membrane	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Materials Chemistry A	6. 最初と最後の頁 4146-4156
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D1TA09192A	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 R.R. Gonzales, N. Kato, H. Awaji, H. Matsuyama	4. 巻 285
2. 論文標題 Development of polydimethylsiloxane composite membrane for organic solvent separation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 120369
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2021.120369	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 Q. Shen, Y. Lin, Y. Kawabata, Y. Jia, P. Zhang, N. Akther, K. Guan, T. Yoshioka, H. Shon, H. Matsuyama	4. 巻 12
2. 論文標題 Engineering Heterostructured Thin-film Nanocomposite Membrane with Functionalized Graphene Oxide Quantum Dots (GOQD) for Highly-efficient Reverse Osmosis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACS Applied Materials and Interfaces	6. 最初と最後の頁 38662?38673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsami.0c10301	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 K. Guan, L. Zhang, S. Wang, R. Takagi, H. Matsuyama	4. 巻 611
2. 論文標題 Controlling the formation of porous polyketone membranes via a cross-linkable alginate additive for oil-in-water emulsion separations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 118362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2020.118362	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 L. Zhang, Y. Lin, S. Wang, L. Cheng, H. Matsuyama	4. 巻 613
2. 論文標題 Engineering of ultrafine polydopamine nanoparticles in-situ assembling on polyketone substrate for highly-efficient oil-water emulsions separation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 118501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2020.118501	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 Y. Jia, K. Guan, L. Zhang, Y. Lin, Q. Shen, P. Zhang, H. Matsuyama	4. 巻 618
2. 論文標題 Enabling polyketone membrane with underwater superoleophobicity via a hydrogel-based modification for high-efficiency oil-in-water emulsion separation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 118705
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2020.118705	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 C. Liu, R. Takagi, D. Saeki, L. Cheng, T. Shintani, T. Yasui, H. Matsuyama	4. 巻 618
2. 論文標題 Highly improved organic solvent reverse osmosis (OSRO) membrane for organic liquid mixture separation by simple heat treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 118710
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2020.118710	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 L. Zhang, R. Takagi, S. Wang, Y. Lin, K. Guan, L. Cheng, H. Matsuyama	4. 巻 619
2. 論文標題 In situ formation of ultrathin polyampholyte layer on porous polyketone membrane via a onestep dopamine co-deposition strategy for oil/water separation with ultralow fouling	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 118789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2020.118789	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 C. Liu, G. Dong, T. Tsuru, H. Matsuyama	4. 巻 620
2. 論文標題 Organic solvent reverse osmosis membranes for organic liquid mixture separation: A review	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 118882
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2020.118882	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

〔学会発表〕 計30件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 串田航, 新谷卓司, 中川敬三, 佐々木雄史, 松岡淳, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 新規フッ素含有ポリアミド膜の作製と有機溶剤混合系の分離における特性評価
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川敬三, Kecheng GUAN, 吉岡朋久, 新谷卓司, 松岡淳, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 酸化グラフェン積層膜の有機溶剤ナノろ過性能に及ぼす支持膜構造の影響
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋涼佑, 吉岡朋久, 新谷卓司, 佐々木雄史, 松岡淳, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 多孔性TiO ₂ -ZrO ₂ 基材を用いたポリアミド複合薄膜の有機溶剤透過特性
3. 学会等名 化学工学会第52回秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Qin Shen, Yuqing Lin, Hideto Matsuyama
2. 発表標題 Graphene quantum dots (GQD) engineered the polyamide nanofilms for highly-permeable organic solvent nanofiltration (OSN)
3. 学会等名 膜シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 牛尾海, 中川敬三, Kecheng Guan, 吉岡朋久, 新谷卓司, 松岡淳, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 酸化グラフェンを利用した有機溶剤ナノろ過膜: 支持膜構造制御による阻止性能の向上
3. 学会等名 膜シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 串田航, 新谷卓司, 中川敬三, 松岡淳, 佐々木雄史, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 フッ素含有モノマーを用いた新規ポリアミド膜の開発と混合有機溶剤分離への応用
3. 学会等名 膜シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 細川華, 松岡淳, 新谷卓司, 中川敬三, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 ポリアミド系有機溶媒ナノろ過膜の透過性に対する分画分子量の影響
3. 学会等名 第24回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Qin Shen, Yuqing Lin, Hideto Matsuyama
2. 発表標題 Graphene quantum dots engineered thin-film nanocomposite membrane for high-performance organic solvent nanofiltration
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 Hideto Matsuyama
2. 発表標題 Advanced Membranes and Membrane Processes for Global Separations Challenges
3. 学会等名 Pacifichem 2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新谷卓司, 中川敬三, 吉岡朋久, 松山秀人
2. 発表標題 有機膜および無機膜を用いた有機溶剤のNF / RO分離
3. 学会等名 日本膜学会第42年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 串田航, 新谷卓司, 中川敬三, 佐々木雄史, 長谷川進, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 界面重縮合反応を用いた新規フッ素含有ポリアミド膜の開発と特性評価
3. 学会等名 日本膜学会第42年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 牛尾海, 中川敬三, 吉岡朋久, 新谷卓司, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 アミン系架橋剤を用いた積層型酸化グラフェン膜の作製と有機溶剤ナノろ過への応用
3. 学会等名 日本膜学会第42年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Qin SHEN, Yuqing LIN, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Tuning the functional groups of quantum dots (QDs) in thin film nanocomposite(TFN) membranes for reverse osmosis
3. 学会等名 日本膜学会第42年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuandong Jia, Kecheng GUAN, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 PK membrane modified by hydrophilic calcium alginate hydrogel for ultrahigh-performance oil-water emulsion separation
3. 学会等名 日本膜学会第42年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Liu Cuijing, 高木良助, 新谷卓司, 松山秀人
2. 発表標題 Organic liquid mixture separation using a polyketonesupported organic solvent reverse osmosis (OSRO)membrane
3. 学会等名 日本膜学会第42年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kecheng GUAN, Lei ZHANG, Shengyao WANG, Ryosuke TAKAGI, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Controlling the formation of porous polyketone membranes via a cross-linkable alginate additive for oil-in-water emulsion separations
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 Yuandong Jia, Kecheng GUAN, Lei ZHANG, Yuqing LIN, Qin SHEN, Pengfei ZHANG, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Enabling polyketone membrane with underwater superoleophobicity via a hydrogel-based modification for high-efficiency oil-in-water emulsion separation
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 Qin SHEN, Qin SHEN, Yuqing LIN, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Custom-Tailoring of Zero-Dimensional Graphene Oxide Quantum Dots Incorporated Thin-film Nanocomposite Membranes for Highly-Permeable Reverse Osmosis
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 阿波治宏樹, 加藤典昭, 松山秀人
2. 発表標題 混合有機溶媒分離を目指したシリコン膜の開発
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 Yuandong JIA, Kecheng GUAN, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Enabling polyketone membrane with underwater superoleophobicity via a hydrogel-based modification for high-efficiency oil-in-water emulsion separation
3. 学会等名 膜シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Qin Shen, Yuqing LIN, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Engineering Heterostructured Thin-film Nanocomposite Membrane with Functionalized Graphene Oxide Quantum Dots (GOQD) for Reverse Osmosis
3. 学会等名 膜シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuqing Lin, Qin SHEN, Tomohisa YOSHIOKA, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Graphene Quantum Dots (GQDs)-Assembled Membranes with Intrinsic Functionalized Nanochannels for High-Performance Nanofiltration
3. 学会等名 膜シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川端優希, Nawshad Akther, Hokyong Shon, 新谷卓司, 中川敬三, 松山秀人, 吉岡朋久
2. 発表標題 酸化グラフェンQuantum dotを複合させたポリアミド膜の分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 膜シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 阿波治宏樹, 加藤典昭, 松山秀人
2. 発表標題 混合有機溶媒分離を目指したシリコン複合膜の開発
3. 学会等名 膜シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kecheng GUAN, Lei ZHANG, Shengyao WANG, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Cross-linkable alginate additive modulates the formation of porous polyketone membrane
3. 学会等名 International Congress on Membranes & Membrane Processes 2020 (ICOM2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡辺 智貴, 中川敬三, 新谷卓司, 佐々木雄史, 吉岡朋久, 神尾 英治, 松山秀人
2. 発表標題 多孔性ポリケトン膜の表面構造が及ぼす油水分離性能への影響
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小田悠介, 新谷卓司, 中川敬三, 佐々木雄史, 松山秀人
2. 発表標題 フッ素含有物質を用いた界面重合膜の作製とナノろ過分離
3. 学会等名 第23回化学工学会学生発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Qin SHEN, Qin SHEN, Yuqing LIN, Yuki KAWABATA, Tomohisa YOSHIOKA, Hideto MATSUYAMA
2. 発表標題 Engineering Heterostructured Thin-film Nanocomposite Membrane with Functionalized Graphene Oxide Quantum Dots (GOQD) for Highly-efficient Reverse Osmosis
3. 学会等名 化学工学会第86回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 串田航, 新谷卓司, 中川敬三, 佐々木雄史, 神尾 英治, 松山秀人
2. 発表標題 界面重合反応を用いた新規フッ素含有ポリアミド膜の開発と有機溶剤分離への応用
3. 学会等名 化学工学会第86回年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松山秀人
2. 発表標題 水処理膜および有機溶媒分離に関する神戸大学先端膜工学研究センターの取り組み
3. 学会等名 第59回機能研究発表・講演会 ~新たな機能紙の提案に向けて~ (招待講演)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計4件

産業財産権の名称 ポリアミド多孔膜及びその製造方法	発明者 松山秀人、他 4 名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/035113	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 ナノ濾過膜及びその製造方法	発明者 松山秀人、他 4 名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2021/035114	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 フッ素含有ポリアミド層を有する複合半透膜	発明者 松山秀人、他 2 名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-195912	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ポリアミド多孔膜及びその製造方法	発明者 松山秀人、他 4 名	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-165096	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

神戸大学先端膜工学研究センター
<http://www.research.kobe-u.ac.jp/eng-membrane/center/>
神戸大学大学院工学研究科応用科学専攻 膜工学グループ
<http://www2.kobe-u.ac.jp/~matuyama/cx14HP/>

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	佐々木 雄史 (Sasaki Yuji) (60821618)	神戸大学・先端膜工学研究センター・助教 (14501)	削除：2022年3月28日

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
---------	---------