

令和 6 年 6 月 28 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05191

研究課題名（和文）超親油性ナノファイバー膜を用いたマイクロエマルジョンの合一分離プロセスの開発

研究課題名（英文）Development of coalescence process of microemulsion using super-lipophilic nanofiber membrane

研究代表者

向井 康人（Mukai, Yasuhito）

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30303663

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：マイクロサイズの油滴は高精度かつ効率的に分離することが困難である。合一分離は、水から油を分離するために適用される物理的方法であり、油のリサイクルにも有効である。本研究では、ポリアクリロニトリル（PAN）ナノファイバー基材層上に、極めて微細なナノファイバーからなるスキン層を積層させることにより、階層構造を有するナノファイバー膜を作製した。スキン層は表面粗さを向上させ、階層的な微細孔チャネルを構築し、油滴合一のための衝突サイトを増加させた。その結果、階層構造PANナノファイバー膜は、界面活性剤安定化エマルジョンに対して、99.4%以上の分離率と7,060 L/(m²・h)の透過流束を達成した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ナノファイバー膜を水処理に応用する研究が国内外で盛んに行われているが、本研究のようにナノファイバー膜をコアレスサー材として応用し、出口側で油相と水相の二相分離を行うというアプローチの研究は皆無であり、関連する産業や学術分野に多大なインパクトを与えた。

本研究は機能性ナノファイバーの開発とそれを利用したプロセス開発、さらには界面化学に立脚したアプローチで構成されているため、繊維工学・化学工学・界面化学の有意義な融合によって研究が完遂された。本研究を通して繊維工学・化学工学・界面化学の境界領域が拡張し、新たな学際領域が展開される契機にもなったため、学際的にも重要な役割を果たしたと評価している。

研究成果の概要（英文）：Oily wastewater poses a serious threat to the ecological environment due to the difficulty in efficiently and economically separating micron-sized oil droplets from the wastewater. Coalescence separation is an energy-efficient physical method used to separate oil from water and enable oil recycling. However, traditional coalescers are typically inadequate in effectively separating emulsified oil droplets in oil-in-water (O/W) emulsion. In this study, a hierarchically structured polyacrylonitrile (PAN) nanofibrous membrane was fabricated by depositing a skin layer with extremely fine nanofiber onto a common nanofiber substrate layer. The skin layer enhanced the surface roughness and provided hierarchical pore channels, which increased the effective collision positions for oil coalescence. The results revealed the PAN nanofibrous membrane with a skin layer exhibited a separation ratio of over 99.4% and a permeation flux of 7,060 L/(m²・h) for surfactant-stabilized emulsions.

研究分野：分離工学

キーワード：O/Wエマルジョン ナノファイバー膜 油水分離 合一分離 電界紡糸 階層構造

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、油田随伴水、金属切削液、食品・化粧品産業から発生する含油廃水が急速に増加している。含油廃水が環境中に排出されると、水質汚染が深刻化し、水道水源や生態系などに大きな脅威をもたらす。含油廃水の多くはエマルジョン化し、特に微細化したマイクロエマルジョンは完全に処理するのが困難である。そのため、水中油型 (O/W) マイクロエマルジョンの高精度かつ効率的な処理法の確立が急務とされている。

(2) 有力な処理法の一つがふるい機構を利用した膜濾過法である。油滴の直径より十分に小さな孔径をもつ膜を使用することで、油滴は膜面で確実に捕捉され、水相のみが排出される。最近では、複雑な三次元ネットワーク構造と高い空隙率をもつナノファイバー膜が、O/W マイクロエマルジョンの濾過に有効であるとして注目を集めている。しかし、従来の膜と同様に、ナノファイバー膜の微細孔が油滴によって塞がれたり、膜表面に流動抵抗と圧縮性が極めて高いケーキ層が形成されたりすることが避けられず、濾過がある程度進むと圧力損失の急激な増加や膜透過流束の急激な低下を引き起こす。

(3) 油滴の分離方法として、フィルターの他にコアレッサーがある。O/W エマルジョンがコアレッサーを通過すると、合一分離機構により油滴は油相へと変化し、水相とともに系外へ排出される。排出された油相は水相に対する相対密度により浮上し、水相から容易に分離されるため、上面で回収されリサイクルに供することができる。しかし、従来のコアレッサーは、10 μm 以下の微小油滴を含むマイクロエマルジョンの処理には適さず、合一分離後も多数の微小油滴が水相中に残存する場合が多い。

2. 研究の目的

(1) 10 μm 以下の微小油滴を含むマイクロエマルジョンの高精度かつ効率的な合一分離のため、ナノファイバー膜をコアレッサー材に適用した新しい合一分離システムを提案する。

(2) 複雑な微細孔構造と油滴衝突機構をもつ膜を構築することで、微小油滴を効果的に合一させることができると考えられる。本研究では、ナノファイバー膜の表層としてスキン層を形成させて階層構造化することで、高透過流束と高分離度の両立を達成する。

(3) 界面活性剤を含まないエマルジョン (SFE) と界面活性剤で安定化したエマルジョン (SSE) を供給試料に用いてナノファイバー膜に通過させ、合一分離特性に及ぼす各操作パラメータの影響を明らかにし、高精度・高効率分離および長期連続分離のための操作指針を得る。

3. 研究の方法

(1) 単層 PAN ナノファイバー膜の作製：ポリアクリロニトリル (PAN) を N,N-ジメチルホルムアミド (DMF) に溶解し、濃度 8 wt% の PAN 溶液を調製した。その後、電界紡糸装置 ((株)メック製 NANON-03) を用い、25 kV の電圧を印加しつつ 1.0 mL h⁻¹ の流量で PAN 溶液を注入し、電界紡糸を 3 時間実施した。こうして得られた PAN ナノファイバー膜を PAN-3 と表記する。

(2) 二層構造 PAN ナノファイバー膜の作製：濃度 1 wt% の PAN 溶液を用い、流量 0.1 mL h⁻¹、印加電圧 25 kV で 4 時間電界紡糸を行い、PAN-3 基材層上にスキン層を形成させた。これを 80 °C で 12 時間乾燥し、残留溶媒を除去した。こうして作製された二層構造の PAN ナノファイバー膜を PAN-D と称する。

(3) O/W エマルジョンの調製：超純水を入れたフラスコにドデカン 10 mL を加え、ホモジナイザーを 20 kHz の周波数で 3 分間作動させて乳化を促進させた。調製したエマルジョンを超純水で希釈して目的の濃度に調整した。界面活性剤安定化エマルジョンを調製するため、100 ppm のドデシル硫酸ナトリウム (SDS) を含む超純水をフラスコに入れ、ドデカン 2 mL を加えた。調製したエマルジョンの油分濃度と粒子径分布を一定の間隔で測定した。

(4) 合一分離実験：図 1 に合一分離実験装置を示す。スターラー、チューブポンプ、ピエゾメーター、ナノファイバー膜、フィルターホルダー、出口液コレクターによって本装置を構成した。供給液を適切な速度で攪拌するマグネチックスターラーを採用し、実験期間中、クリーミング効果を抑制して供給液の特性を一定に保った。ナノファイバー膜を直径 25 mm の円形に切断し、濾過面積 3.4 cm² の PP 製フィルターホルダー中に固定し、コアレッサーを構成した。また、ピエゾメーターをコアレッサーとチューブポンプの間に設置し、圧力損失を測定した。分離性能に及ぼす油分濃度および流量の影響を調べるため、230~2,700 ppm の油分濃度、10~160 mL min⁻¹ の流量で合一分離実験を行った。

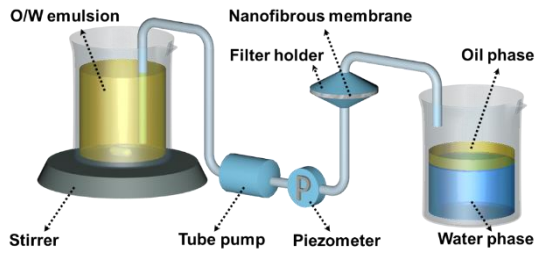


図1 ナノファイバー膜コアレスを用いた O/W エマルション合一分離システム

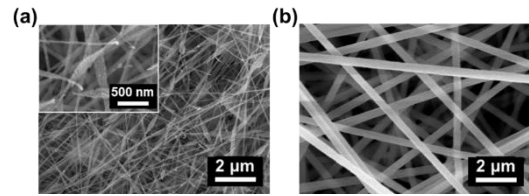


図2 PAN-D ナノファイバー膜の SEM 画像 (a)スキン層 (b)基材層

4. 研究成果

(1) PAN ナノファイバー膜の特性評価

微小油滴の有効な衝突サイトを増やすため、図 2 に示す繊維径が極めて細かいスキン層を導入した。スキン層の平均繊維径は 59.1 nm で、PAN-3 基材層の平均繊維径 277 nm よりかなり小さく設計した。PAN-D 膜は複雑かつ階層的で空隙率の大きな多孔質構造を有し、高い液体透過流速を示すことが期待される。

実用性を評価するため、膜の機械的特性を調べた。図 3 は、単層および二層 PAN 膜の引張応力-ひずみ挙動を示している。図より、高い引張強度 (14 MPa 以上) を示すことから、実用に適している可能性が示唆される。また、組成が類似しているため、単層膜と二層膜の間で大きな違いは見られなかった。膜の細孔構造についてさらに定量的に調べた。図 4 には孔径分布を示した。PAN-D 膜は PAN-3 膜に比べて孔径がわずかに減少しただけであった。これはスキン層の薄さが膜全体の構造に大きな影響を与えなかったためと考えられる。

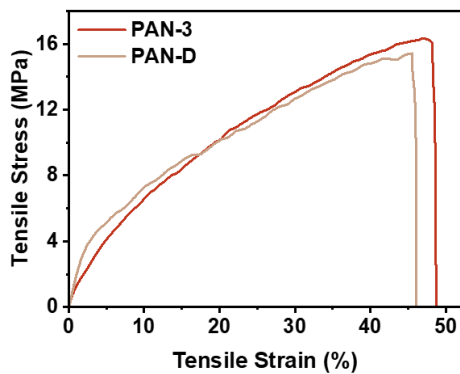


図3 膜の引張応力-ひずみ曲線

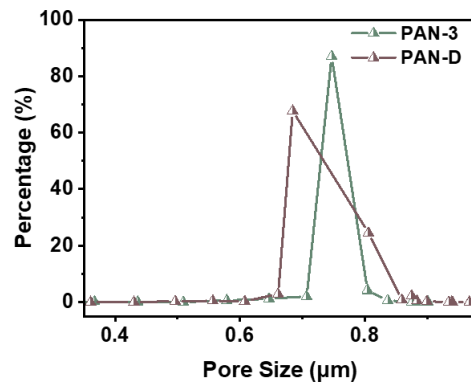


図4 膜の孔径分布

スキン層を形成することで、表面粗さと有効な衝突サイトを増加させることができ、微小な油滴を合一させるのに有効であると考えられる。表面粗さを定量的に調べるため、対応する算術平均粗さ Ra 値を測定した。また、膜の 3D 表面形態画像を観察した (図 5)。単層膜および二層膜の基材層の Ra 値は、構造が類似しているため 61.0~63.4 nm で、大きな違いは見られなかった。しかし、二層膜のスキン層の Ra 値は 121.4 nm で、単層膜の 2 倍であった。この Ra 値の差は、スキン層の形成により表面粗さが著しく増大したことを意味しており、油滴の効果的な衝突が促進されることを示唆している。

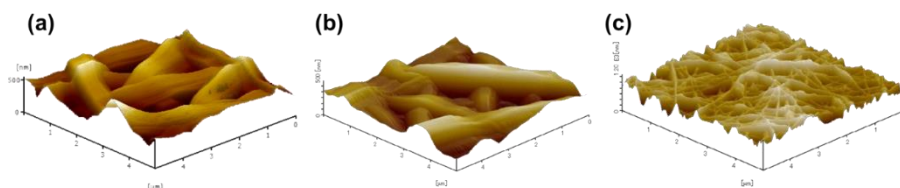


図5 三次元表面形態 : (a) PAN-3 (b) PAN-D の基材層 (c) PAN-D のスキン層

(2) 界面活性剤を含まないエマルションの分離性能

作製された SFE の油滴は主に $0.7\sim 13.2\mu\text{m}$ の範囲に分布した。合一分離性能は、膜の特性、エマルションの特性、プロセスパラメータなど、さまざまな要因に影響される。

まず、 40 mL min^{-1} の流量で油分濃度約 680 ppm の SFE について、膜の合一分離性能を調べた。結果として、単層膜と二層膜はいずれも 99.9% を超える優れた分離率を示し、油滴を確実に合一させる能力を示した。PAN-D 膜は PAN-3 膜と同様の圧力損失を示し、スキン層の存在が圧力損失に顕著な影響を及ぼさないことが示唆された。これらの結果は、単層および二層 PAN 膜の両方が、高い透過流束下で高い分離性能を達成できることを示唆している。

次に、単層膜を用い、 40 mL min^{-1} の流量で油濃度の影響を調べた。その結果、図 6 に示すように、広範な初期油濃度 ($230\sim 2,700\text{ ppm}$) で、 99.9% 以上の分離率を達成した。さらに、高速処理の可能性を調べるため、油分濃度 680 ppm のエマルションを、 $10\sim 160\text{ mL min}^{-1}$ のさまざまな流量で分離した。その結果、図 7 に示すように、各流量における分離度は常に 99.9% 以上を維持し、圧力損失はわずかに増加したものの安定した状態を維持した。この結果は、本研究により SFE に対して極めて優れた分離度と顕著に高い透過流束とを両立できたことを示している。

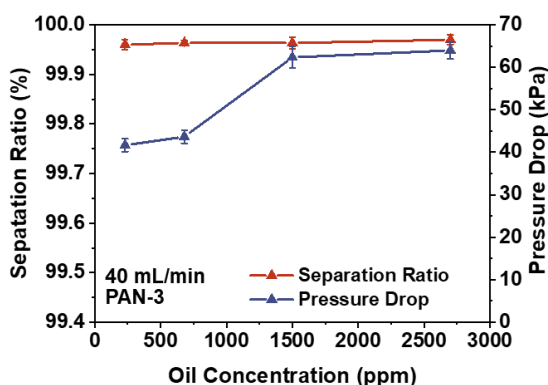


図 6 流量 40 mL min^{-1} 、初期油分濃度 $230\sim 2700\text{ ppm}$ における PAN-3 膜の分離度と圧力損失

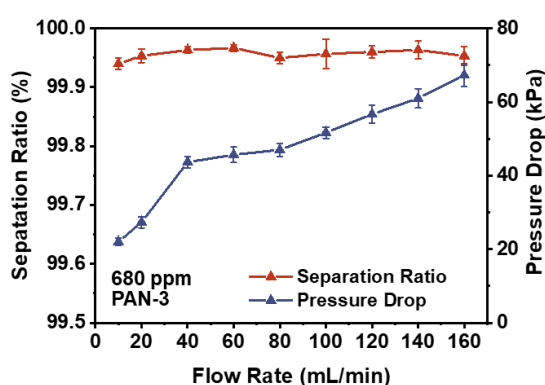


図 7 初期油分濃度 680 ppm 、流量 $10\sim 160\text{ mL min}^{-1}$ における PAN-3 膜の分離度と圧力損失

さらに、油分濃度 900 ppm のエマルションを 80 mL min^{-1} の流量で連続的に分離する実験を実施した。連続分離性能の評価は、安定した透過流束と分離度によって決定される。図 8 に示す結果は、分離度と圧力損失が一定であることを示している。しかも、実験中に洗浄を行わなかったにもかかわらず、安定した分離度と圧力損失を維持しており、洗浄工程が不要であったことは注目に値する。実験後、合一分離された油相が水相の表面に浮上し、油の再利用が促進された。

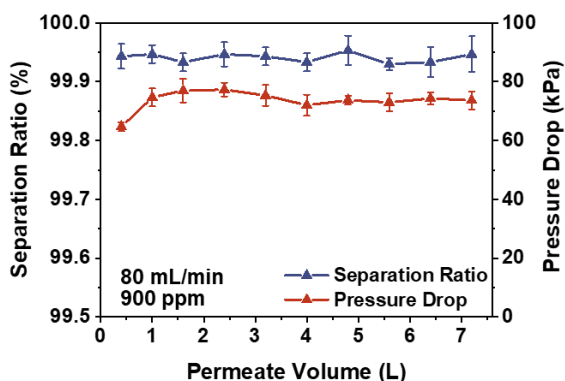


図 8 長期連続 SFE 分離における透過液量に対する分離度と圧力損失の変化

(3) 界面活性剤で安定したエマルションの分離性能

SSE における油滴の分離は、主に界面活性剤によって誘起される低い界面張力のために、重要な課題となっている。この低い界面張力は、油滴の合一を著しく困難にし、高度な分離技術が必要とする。そこで、PAN-3 単層膜と PAN-D 二層膜による合一分離性能を評価した。

図9には、圧力損失の変化を示した。PAN-3 および PAN-D 膜の圧力損失は約 80 kPa で安定している。図10には、PAN-3 膜と PAN-D 膜の透過液量の増加に伴う分離度の変化を示した。いずれの膜も、最初の分離で 97% という高い分離度を示した。その後、2 時間の静置後に分離度を再度測定した。図10に示すように、PAN-3 の分離度はほとんど変化しなかったが、PAN-D 膜では、2 時間の静置後に分離率は 97.3% から 99.4% 以上に上昇した。この現象は、合一した油滴のサイズが比較的小さく、浮上するのにさらに時間を要することに起因すると考えられる。

連続分離の観点からは、SSE が膜のファウリングを引き起こし、透過流束の減少につながる傾向があることを考慮することが極めて重要である。従来の膜は、その性能を維持するために頻繁な洗浄が必要であった。本研究では、SSE を効率的に分離するための高透過流束コアレスサーの開発を目指した。40 mL min⁻¹ の流量 (7,060 L m⁻² h⁻¹ の透過流束に相当) での SSE の長期分離性能を図11に示す。この膜は、180 分間の合一分離において安定した分離性能を示し、99.4% 以上の高い分離度を達成した。さらに、圧力損失は分離期間を通して安定しており、膜が長時間にわたって分離性能を維持したことを示している。これらの結果は、PAN-D 膜が SSE の分離に有望な性能を示し、より効率的で高い信頼性が要求される分離プロセスに適用可能であることを示唆している。今後、各種産業での実用性を確立するために、より広範な操作条件下での性能を探索し、さらなる研究が必要である。

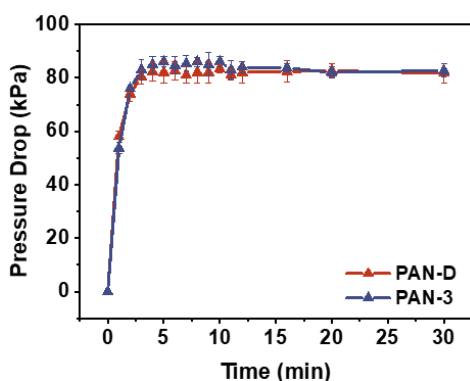


図9 SSE 分離における圧力損失の経時変化

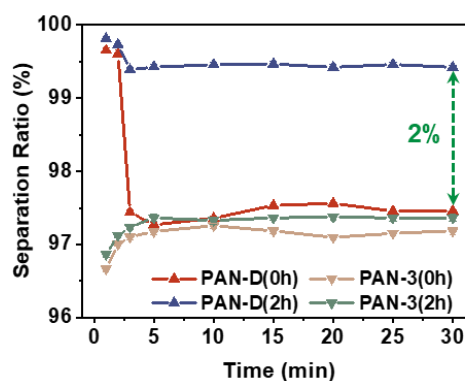


図10 SSE 分離における分離度の経時変化

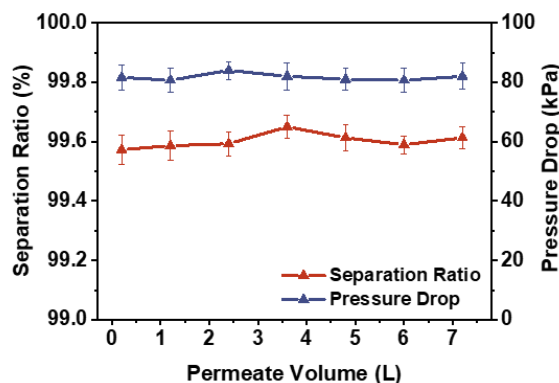


図11 長期 SSE 分離における透過液量に対する分離度と圧力損失の変化

5. 結論

本研究では、電界紡糸法を用いて、O/W エマルションの高効率合一分離に適用可能な PAN ナノファイバー膜を作製した。ナノファイバー膜は SSE に対して優れた分離性能を示し、分離度は単層膜、二層膜ともに 99.9% を超えた。膜はさまざまな流量下で高い分離度を維持し、160 mL min⁻¹ までの高流量では性能の低下は観察されなかった。80 mL min⁻¹ の流量で実施した連続分離実験では、90 分間で 7.2 L の透過量に対し、99.9% の安定した分離度と 74 kPa の安定した圧力損失を達成し、このコアレスサーの連続分離の可能性が実証された。平均繊維径 59.1 nm のスキン層を有する二層構造の PAN-D 膜は、SSE に対して 97.4% の分離度であった PAN-3 膜と比較して、99.4% という著しく高い分離度を示した。この結果は、スキン層が有効な衝突サイトと階層的な細孔チャンネルの増加に寄与し、油滴の合一を促進したことを示している。40 mL min⁻¹ の流量の下で、PAN-D 膜は 99.4% 以上の分離度を維持し、連続分離において 80 kPa の安定した圧力損失を維持した。研究全体を通じて、この膜は顕著な合一分離性能を示すことが実証され、各種産業分野への実用可能性が強調された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 MUKAI Yasuhito, YUE Yunpeng, TAKAHASHI Aya	4. 巻 331
2. 論文標題 Wet classification behavior of bidisperse colloidal particles through nanofibrous membrane	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 125658
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2023.125658	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 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhito	4. 巻 688
2. 論文標題 In situ growth of ZIF-8 on nanofibrous membrane for long-term ultra-high flux coalescence separation of oil-in-water emulsion	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 133681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2024.133681	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 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhito	4. 巻 322
2. 論文標題 Electrospun hierarchically structured nanofibrous membrane for highly efficient oil-in-water emulsion coalescence separation	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 124331
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2023.124331	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 向井康人	4. 巻 46
2. 論文標題 濾過・濾材技術の概要と最近の濾材開発事例	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 PETROTECH	6. 最初と最後の頁 809 ~ 814
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 YUE Yunpeng, HARA Motoki, MUKAI Yasuhito	4. 巻 657
2. 論文標題 Continuous coalescence and separation of oil-in-water emulsion via polyacrylonitrile nanofibrous membrane coalescer	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	6. 最初と最後の頁 130626
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.colsurfa.2022.130626	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 向井康人	4. 巻 75
2. 論文標題 「安全な水」と「リサイクル」に向けた機能性ナノファイバー不織布の活用	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 繊維機械学会誌	6. 最初と最後の頁 192 ~ 198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 向井康人	4. 巻 79
2. 論文標題 ナノファイバー不織布の水浄化プロセスへの応用	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 繊維学会誌	6. 最初と最後の頁 182 ~ 187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 Liu Song, Mukai Yasuhito	4. 巻 13
2. 論文標題 Selective Adsorption and Separation of Proteins by Ligand-Modified Nanofiber Fabric	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 2313
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/polym13142313	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 該当する

1. 著者名 Mukai Yasuhito, Liu Song, Takayama Yoshihiro, Hayashi Yui, Mano Kakeru, Takahashi Shigenori, Wahyudiono, Kanda Hideki, Goto Motonobu	4. 巻 6
2. 論文標題 Improvement in the Filtration Performance of an Ultraporous Nanofiber Membrane by Atmospheric Pressure Plasma-Induced Surface Modification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Omega	6. 最初と最後の頁 28038 ~ 28048
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsomega.1c04044	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 該当する

1. 著者名 MUKAI Yasuhito, HARA Motoki	4. 巻 66
2. 論文標題 Coalescence and Separation Properties of Fine Oil Droplets by Lipophilic Nanofiber Membrane	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Textile Engineering	6. 最初と最後の頁 87 ~ 91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4188/jte.66.87	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 LIU Song, SUMI Takuro, MUKAI Yasuhito	4. 巻 76
2. 論文標題 Development of Cibacron Blue-Enhanced Affinity Nanofiber Fabric for Protein Adsorption	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Fiber Science and Technology	6. 最初と最後の頁 327 ~ 334
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2115/fiberst.2020-0035	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 該当する

1. 著者名 LIU Song, MUKAI Yasuhito	4. 巻 67
2. 論文標題 Dynamic Adsorption Behaviors of Protein on Cibacron Blue-Modified PVA Nanofiber Fabrics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Textile Engineering	6. 最初と最後の頁 1 ~ 11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4188/jte.67.1	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 該当する

〔学会発表〕 計26件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 Application of nanofiber nonwoven fabric to solid-liquid separation
3. 学会等名 The IFES East Asia Special Symposium on "Advanced Functional Materials" by Internationally Recognized Scholars (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 向井康人
2. 発表標題 膜濾過で形成されるケーキの評価と制御
3. 学会等名 第4回先端膜工学研究推進機構特定テーマフォーラム～膜分離と固液分離～ (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 In-situ grown ZIF-8/PAN nanofibrous membrane for ultra-high flux oil-water coalescence separation
3. 学会等名 日本繊維機械学会第77回年次大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 Development of ZIF-8/polyacrylonitrile nanofibrous membrane for efficient coalescence separation of oil-in-water emulsion
3. 学会等名 2023年繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhiro
2. 発表標題 Effective separation of emulsified oil droplets based on ZIF-8/pan nanofiber membrane coalescer
3. 学会等名 日本膜学会第45年会・膜シンポジウム2023合同大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhiro
2. 発表標題 Enhanced oil-in-water emulsion separation using nanofibrous membrane coalescers
3. 学会等名 The 12th International Conference on Separation Science and Technology (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhiro
2. 発表標題 Efficient steady-state coalescence separation of emulsified oil droplets using electrospun dual-layered nanofibrous membranes
3. 学会等名 化学工学会第54回秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhiro
2. 発表標題 Enhancing coalescence performance of micron-sized oil droplets by polyacrylonitrile nanofibrous membrane
3. 学会等名 The 50th Textile Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 Fabrication of double-layered nanofiber coalescer with superior separation efficiency and permeation flux for oil-in-water emulsion
3. 学会等名 The 50th Textile Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 Nanofiber-based coalescer for enhanced separation of oil-in-water emulsion
3. 学会等名 The 14th International Symposium on High-Tech Fiber Engineering for Young Researcher (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 Electrospun hierarchical structured nanofibrous coalescing media for highly efficient separation of oil-in-water emulsion
3. 学会等名 日本繊維機械学会第76回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, HARA Motoki, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 Continuous coalescence and separation of oil-in-water emulsion via polyacrylonitrile nanofibrous membrane
3. 学会等名 49th Textile Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, HARA Motoki, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 Highly efficient coalescence and separation of oil-in-water emulsion by polyacrylonitrile nanofibrous membrane
3. 学会等名 6th International Conference on Materials Science & Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, GONG Xiaobao, YANG Yang, DING Bin, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 In-situ electrospinning of polyurethane fibrous membranes for waterproof and breathable wound dressing application
3. 学会等名 日本繊維機械学会 第75回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, HARA Motoki, MUKAI Yasuhito
2. 発表標題 Continuous coalescence and separation of oil-in-water emulsion via polyacrylonitrile nanofibrous membrane
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 向井康人, 原 幹, 岳 云鵬
2. 発表標題 ナノファイバー不織布によるエマルション廃液中の微小油滴の合一分離特性
3. 学会等名 日本水環境学会 第57回年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhiro
2. 発表標題 Electrospun hierarchical structured nanofibrous coalescing media for highly efficient separation of oil-in-water emulsion
3. 学会等名 日本繊維機械学会 第76回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhiro
2. 発表標題 Fabrication of double-layered nanofiber coalescer with superior separation efficiency and permeation flux for oil-in-water emulsion
3. 学会等名 50th Textile Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 YUE Yunpeng, MUKAI Yasuhiro
2. 発表標題 Enhancing coalescence performance of micron-sized oil droplets by polyacrylonitrile nanofibrous membrane
3. 学会等名 50th Textile Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 向井康人, 劉 松
2. 発表標題 リガンド修飾ナノファイバー不織布によるタンパク質の選択的吸着分離
3. 学会等名 日本繊維機械学会第74回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 向井康人
2. 発表標題 機能性ナノファイバー不織布を利用した「安全な水」の確保への取り組み
3. 学会等名 日本繊維機械学会第74回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林燎平, 岳 云鵬, 原 幹, 向井康人
2. 発表標題 ナノファイバー不織布による水中微小油滴の合一・浮上分離特性
3. 学会等名 繊維系三学会東海支部共催第34回東海支部若手繊維研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yue Yunpeng, Mukai Yasuhito, Gong Xiaobao and Yang Yang
2. 発表標題 In-Situ Electrospinning of Thymol-Loaded Polyurethane Fibrous Membranes for Waterproof, Breathable, and Antibacterial Wound Dressing Application
3. 学会等名 繊維系三学会東海支部共催第34回東海支部若手繊維研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 向井康人
2. 発表標題 フィルター技術による効率的な粒子・液体分離プロセスの開発
3. 学会等名 2021年度粉体の機械的単位操作に関する討論会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 向井康人, 原 幹
2. 発表標題 親油性ナノファイバー膜による微小油滴の合一分離特性
3. 学会等名 日本繊維機械学会第73回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 向井康人
2. 発表標題 機能性ナノファイバーフィルターの開発と応用
3. 学会等名 繊維加工技術研究会第58回講演会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計4件

1. 著者名 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 ネットワーク会議編, 著者多数 (向井康人分担執筆)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 学术研究出版	5. 総ページ数 236
3. 書名 化学技術のフロンティアシリーズ サークュラー・バイオエコノミーを支える分離技術	

1. 著者名 松山秀人監修, 著者多数 (向井康人分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 320
3. 書名 水処理用分離膜の開発最前線	

1. 著者名 山下義裕監修，著者多数（向井康人分担執筆）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 341
3. 書名 エレクトロスプレー／スピニング法とその応用 材料合成・成形・加工技術	

1. 著者名 矢井田修監修，著者多数（向井康人分担執筆）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 307
3. 書名 不織布の最新開発動向	

〔産業財産権〕

〔その他〕

向井研HP - 研究紹介 https://www.material.nagoya-u.ac.jp/Mukaiken/sub1.html 向井研HP - 研究業績 https://www.material.nagoya-u.ac.jp/Mukaiken/sub2.html
--

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

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