

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 1 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K05121

研究課題名（和文）種々のナノシート材料を駆使した超薄膜型水処理膜の創製

研究課題名（英文）Development of ultrathin separation membranes utilizing 2D nanosheet materials for water treatment

研究代表者

中川 敬三（Nakagawa, Keizo）

神戸大学・科学技術イノベーション研究科・准教授

研究者番号：60423555

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：無機膜は耐薬品性や機械的強度等に優れ、そのため用途範囲が広く膜寿命が長いこと、また分離性が比較的高いことが特徴であるが、透過性や製膜性、製造コストの点が課題となっている。本研究では種々の二次元ナノシート材料を積層した超薄膜型水処理膜の開発を行った。酸化グラフェンおよびニオブ酸ナノシートを利用した複合積層膜は、それぞれ単独のナノシート積層膜よりも高い塩阻止性を示すことがわかった。陽電子消滅法などの構造解析や分子動力学シミュレーションの結果より、異なるナノシート層の間で界面緻密層が形成されることにより、高い分離性能が発揮されることが明らかとなった。

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新規ナノシート複合膜は、過去に報告例のない異なる種類のナノシートで形成される超薄膜が形成されており、高い塩阻止性が得られている。このような結果は、水処理のみならずガス分離、有機溶剤ろ過への応用に展開でき、水や大気環境の改善、石油化学や医薬品産業等における溶剤濃縮の省エネルギー化に寄与することが期待される。本研究成果は、化学工学分野において重要な学術的知見であり、カーボンニュートラルの実現に貢献する。

研究成果の概要（英文）：Inorganic membranes have excellent chemical resistance and mechanical strength. Therefore, the inorganic membranes have a wide range of applications, a long membrane life, and relatively high separation property. However, there are problems in terms of permeance, membrane-forming, and manufacturing cost. In this study, we have developed ultrathin laminar membranes using graphene oxide and niobate nanosheets for water treatment. The composite membranes showed higher separation properties of salts than each single laminar membrane. From the results of structural analysis such as the positron annihilation method and molecular dynamics simulation, it was clarified that high separation performance is exhibited by the formation of an interfacial dense heterolayer between different nanosheet layers.

研究分野：膜分離工学，ナノ材料工学，触媒反応工学

キーワード：ナノシート 膜分離 水処理 ナノろ過膜 酸化グラフェン ニオブ酸ナノシート

### 1. 研究開始当初の背景

地球規模の気象変動や発展途上国の急激な人口増加・経済成長に伴い、世界各地で水不足が深刻化しており、世界人口の約半分にあたる 43 億人もの人々が水不足のリスクに直面している。そのような深刻な水不足問題を解決するためには、水の再利用技術や浄化技術の普及、海水淡水化技術などの造水技術の有効活用が必須であり、膜分離技術はそれらの根幹をなす。

シリカやゼオライトなどに代表される無機膜は、耐熱性や耐薬品性、機械的強度などに優れており、高分子膜では困難な高温下や有機溶剤中での分離に利用でき、用途範囲が広いことが特徴であり、薬品洗浄を利用する水処理分野においても重要である。その無機膜において、分離機能層を可能な限り薄く、またサブナノ～ナノオーダーで精密に制御された細孔構造を設計出来れば、高い透水性と分離性を両立する無機膜の開発に繋がる。

ナノシートは分子レベルの薄さを有する二次元物質であり、その薄さに関わらず高い機械的強度や柔軟性、大量製造が可能という特徴を有しており、超高速分離を可能にする理想的な膜材料と言える。ナノシート積層膜は、簡易な手法によりナノオーダーの膜厚を有する薄膜の形成が可能であり、高い透水性やナノシート層間で形成される二次元ナノチャネルを利用した高い分離性が期待できる。我々はこれまで、触媒機能や特異な酸特性を有する金属酸化物ナノシートに着目し、ニオブ酸ナノシート( $\text{HNb}_3\text{O}_8$  nanosheet: NbN)を利用して、水中で高い構造安定性と優れた分離性能を有するナノシート積層膜を開発している[1][2][3]。この NbN 積層膜は空隙チャネルを利用した透過パスとなっているため、分離性能を向上させるためには、より精密な二次元ナノチャネルの制御が必要である。

### 2. 研究の目的

ナノシート積層膜の更なる性能向上を目的として、異種ナノシートを利用した複合ナノシート積層膜の開発を目指した。本研究では、酸化グラフェン(GO)を新たに選定して、様々な NbN-GO 複合膜の作製を試み、得られたナノシート複合積層膜における積層構造の違いが及ぼす膜性能やチャネル構造への影響について検討した。

### 3. 研究の方法

ナノシートには NbN および GO を用い、架橋剤としてトリエタノールアミン(TEOA)を所定濃度で混合させた 3-アミノプロピルトリエトキシシラン(APTES)で修飾した混合ニトロセルロース支持膜上に、各種ナノシートコロイド溶液を予め混合させ吸引する過により積層させた Mixed type 複合膜、NbN および GO を順に吸引する過によって層状に積層させた Layered type (GO/NbN)複合膜を作製した。比較として NbN および GO のみを用いたナノシート積層膜を作製した(それぞれ NbN+TEOA 膜, GO+TEOA 膜と表記)。全ての膜のナノシート量は 0.14 mg、複合膜のナノシート重量比は NbN/GO = 55/45 とした。分離性能はクロスフロー式透水試験装置を用いて、分離対象にアニオン性色素の Evans Blue (EB, Mw: 960.8) や Acid red 265 (Mw: 635.6)、また NaCl,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  の塩類を用い、各種阻止性能は紫外可視分光光度計やナトリウムイオン測定器にて測定した。

### 4. 研究成果

#### (1) 各種ナノシート複合積層膜の作製

SEM により支持膜上に 45 ~ 55 nm 程度の薄膜の形成が確認された(図 1a, 1d)。Layered type (GO/NbN)複合膜では、STEM により膜断面構造を観察したところコントラストの異なる層の形成が確認でき、元素分析より下層から Nb が検出された(図 1e, 1f)。また XPS 測定では表面に Nb は検出されなかった。これらのことから、Layered type (GO/NbN)複合膜では製膜法とおり下層に NbN 層、上層に GO 層が形成していると考えられる。また XRD により積層構造を評価したところ、NbN+TEOA 膜および GO+TEOA 膜の両方の膜に起因するピークが見られたことから、両膜の特徴を有した膜が形成していると考えられる。

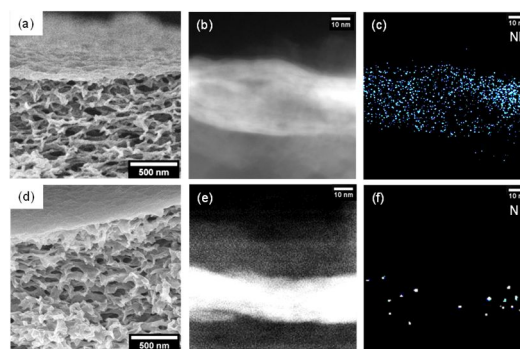


図 1 NbN+TEOA 膜(a, b, c)と layered type (GO/NbN)複合膜(d, e, f)の断面 SEM 像(a, d), STEM 像(b, e) および EDS マッピング (Nb)

#### (2) 各種ナノシート複合積層膜の膜性能

図 2a に各種ナノシート積層膜の透水性, および NaCl, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の阻止率を示す. Mixed type 複合膜では NbN+TEOA, GO+TEOA よりも高い透水性 (20.2 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> bar<sup>-1</sup>) を示し, 塩阻止性も同程度であることがわかる. これは NbN+TEOA と同様の空隙構造[1]を有しており, GO の複合により細孔径が増加したことで透水性が向上し, またより負荷電を有する GO の影響により膜荷電とアニオン種間の静電反発の効果が高められ (Donnan 排除), Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> で 60% ほどの阻止率が保持されたと考えられる.

一方, Layered type (GO/NbN) 複合膜では透水性は NbN+TEOA と同程度であるものの (3.1 L m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> bar<sup>-1</sup>) Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> で 94.0%, NaCl で 40.0% と高い塩阻止性が得られた. ポリエチレングリコール (PEG) を利用した分画曲線の結果 (図 2b) から分画分子量は 700 Da であり, アインシュタイン・ストークスの式より細孔径 (ストークス径) がわずか 1.3 nm と見積もられ, 他の比較膜よりも明らかに小さい細孔が形成されていることが示唆された.

図 3 に Layered type 複合膜における各層の厚み (ナノシート重量) を変化させた場合の膜性能を示す. ここでは上記に示した Layered type (GO/NbN) 複合膜の層厚みを基準とする. NbN 層 (下層, NbN(bottom)) のみでは塩の阻止性は非常に低いが, その上に基準の半分の厚みの GO 層が形成した膜 (L-type (half-GO/NbN)) では阻止性は向上し, 基準膜とほぼ同等の阻止性になることがわかった. 一方, 下層の NbN 層が半分の場合は阻止性がやや低く, またエラーバーも大きくなった (L-type (GO/half-NbN)). 透水係数の値から膜抵抗を見積もった場合, Layered type (GO/NbN) 複合膜の膜抵抗は, NbN 層 (下層) と GO 層 (上層) の膜抵抗の和よりも 2 倍高い値を有することがわかった. このことから Layered type (GO/NbN) 複合膜において NbN 層 (下層) と GO 層 (上層) の間の界面に緻密層が形成していることが考えられる.

### (3) ナノシート層間におけるイオン透過挙動

ナノシート層間におけるイオンの透過挙動を明らかにするために, Materials studio を用いて GO-GO モデルおよび GO-HNb<sub>3</sub>O<sub>8</sub> モデル (図 4) を構築し, 分子動力学シミュレーションを用いて Layered type 複合膜における層間隔や各種イオン (Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) の拡散性を解析した. 異なる層間隔の GO-HNb<sub>3</sub>O<sub>8</sub> モデルを作製し相互作用を評価したところ, 層間隔 (d) 1.0 nm が最も安定であることがわかり, 実験結果の妥当性が示された. またナノシート層間に存在する各種イオンは各ナノシートの相互作用を受け, 特に GO-HNb<sub>3</sub>O<sub>8</sub> モデルにおいては拡散係数が大幅に減少することが明らかとなった. この結果より, GO ナノシート層と HNb<sub>3</sub>O<sub>8</sub> ナノシート層の間に緻密な界面が形成され, これが Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> の高阻止率に影響したと考えられる.

### (4) まとめ

本研究では, 異なる種類のナノシートを利用したナノシート複合積層膜を開発した. 複合方法を変えることによって, 透過性または阻止性を大きく向上させることに成功した. 特に Layered type (GO/NbN) 複合膜では, NbN 層と GO 層間に界面緻密層が形成され, 塩の分離に重要な役割を果たすことが明らかとなった. このように, ナノシート積層膜は異なる種類のナノシートを

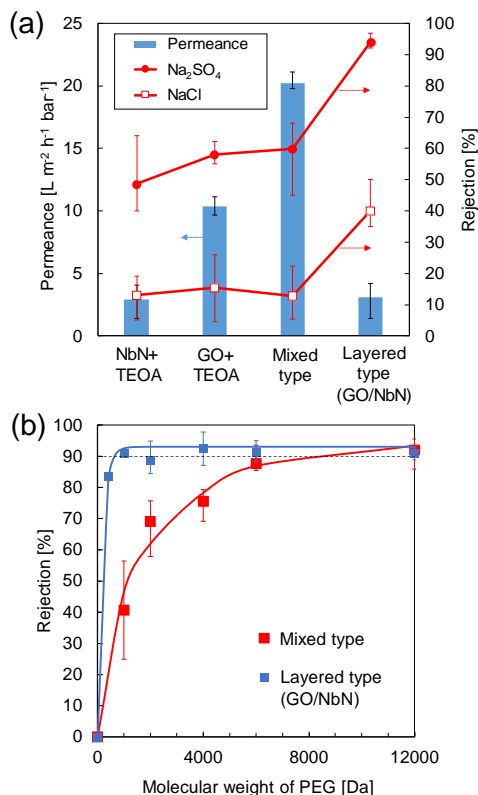


図 2 (a) 作製した膜の透水係数および Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NaCl の阻止率, (b) 各種複合膜の PEG を用いた分画分子量の結果

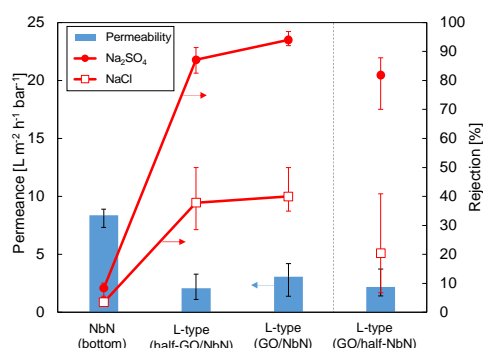


図 3 異なる複合パターンの Layered type (GO/NbN) 複合膜における透水係数および Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> と NaCl の阻止率 (L-type: layered type)

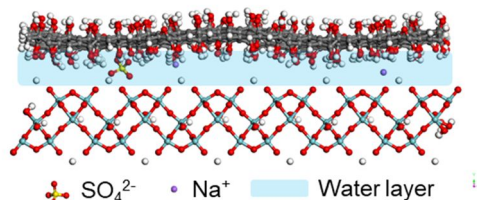


図 4 GO/HNb<sub>3</sub>O<sub>8</sub> モデル (d = 1.0 nm) のスナップショット

駆使することにより二次元細孔を精密に制御できることがわかった。今後水処理のみならず、ガス分離や有機溶剤ろ過への応用が期待される。

<引用文献>

- [1] K. Nakagawa, H. Yamashita, D. Saeki, T. Yoshioka, T. Shintani, E. Kamio, H.T. Kreissl, S.C.E. Tsang, S. Sugiyama, H. Matsuyama, Niobate nanosheet membranes with enhanced stability for nanofiltration, *Chem. Commun.* 53 (2017) 7929–7932.
- [2] K. Nakagawa, T. Sera, M. Kunimatsu, H. Yamashita, T. Yoshioka, T. Shintani, E. Kamio, S.C.E. Tsang, H. Matsuyama, Two-dimensional niobate nanosheet membranes for water treatment: Effect of nanosheet preparation method on membrane performance, *Sep. Purif. Technol.* 219 (2019) 222–229.
- [3] K. Nakagawa, Metal Oxide Nanosheets Synthesized by Bottom-up Approach: Applications to Catalyst and Separation Membranes, *J. Japan Pet. Inst.* 62 (2019) 53–60.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 5件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Nakagawa Keizo, Kunimatsu Misato, Yasui Kengo, Yoshioka Tomohisa, Shintani Takuji, Kamio Eiji, Tung Kuo-Lun, Tsang Shik Chi Edman, Matsuyama Hideto	4. 巻 640
2. 論文標題 Laminar HNb308-based membranes supported on anodic aluminum oxide with enhanced anti-swelling property for 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 119799 ~ 119799
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.memsci.2021.119799	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 Nakagawa Keizo, Araya Shintaro, Ushio Kai, Kunimatsu Misato, Yoshioka Tomohisa, Shintani Takuji, Kamio Eiji, Tung Kuo-Lun, Matsuyama Hideto	4. 巻 276
2. 論文標題 Controlling interlayer spacing and organic solvent permeation in laminar graphene oxide membranes modified with crosslinker	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Separation and Purification Technology	6. 最初と最後の頁 119279 ~ 119279
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.seppur.2021.119279	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 Nakagawa Keizo, Kunimatsu Misato, Yasui Kengo, Yoshioka Tomohisa, Shintani Takuji, Yasui Tomoki, Kamio Eiji, Hung Wei-Song, Lee Kueir-Rarn, Edman Tsang Shik Chi, Matsuyama Hideto	4. 巻 4
2. 論文標題 HNb308 Nanosheet-Graphene Oxide Composite Membranes for Molecular Separation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Applied Nano Materials	6. 最初と最後の頁 3455 ~ 3466
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnm.0c03348	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 Loske Lara, Nakagawa Keizo, Yoshioka Tomohisa, Matsuyama Hideto	4. 巻 10
2. 論文標題 2D Nanocomposite Membranes: Water Purification and Fouling Mitigation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Membranes	6. 最初と最後の頁 295 ~ 295
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/membranes10100295	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 Kunimatsu Misato, Nakagawa Keizo, Yoshioka Tomohisa, Shintani Takuji, Yasui Tomoki, Kamio Eiji, Tsang Shik Chi Edman, Li Jianxin, Matsuyama Hideto	4. 巻 595
2. 論文標題 Design of niobate nanosheet-graphene oxide composite nanofiltration membranes with improved permeability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Membrane Science	6. 最初と最後の頁 117598 ~ 117598
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/J.MEMSCI.2019.117598	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 Nakagawa Keizo	4. 巻 47
2. 論文標題 Organic Solvent Nanofiltration of Laminar Membranes Utilizing Two-dimensional Nanosheets	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MEMBRANE	6. 最初と最後の頁 76 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5360/membrane.47.76	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 Nakagawa Keizo	4. 巻 44
2. 論文標題 Two-dimensional Nanosheet Membranes for Liquid Separation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 MEMBRANE	6. 最初と最後の頁 115 ~ 120
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5360/membrane.44.115	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31件(うち招待講演 5件/うち国際学会 9件)

1. 発表者名 上野拓洋, 中川敬三, 新谷卓司, 松岡 淳, 神尾英治, 松山秀人, 吉岡朋久
2. 発表標題 加圧ろ過法を用いたMoS <sub>2</sub> ナノシート積層膜の作製と芳香族化合物還元反応への応用
3. 学会等名 日本膜学会第43年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中川敬三, Kecheng Guan, 松山秀人
2. 発表標題 2次元ナノチャンネルを有するナノシート積層膜の開発
3. 学会等名 第15回酸化グラフェンシンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Keizo Nakagawa
2. 発表標題 Two-dimensional nanomaterial-based membranes for water treatment and organic solvent filtration
3. 学会等名 Online Lecture Series on "Nanoscience and Nanotechnology" in The Hong Kong Polytechnic University (招待講演) (国際学会)
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 井元誠志, 中川敬三, Chechia Hu, 新谷卓司, 松岡淳, 神尾英治, 松山秀人, 吉岡朋久
2. 発表標題 カーボンナイトライド/ニオブ酸ナノシート複合膜の光触媒特性と耐ファウリング性の評価
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 Keizo Nakagawa
2. 発表標題 Advancing Metal Oxide-based Laminar Membranes:Water treatment and Organic Solvent Filtration (Plenary Lecture)
3. 学会等名 International Membrane Conference in Taiwan 2021 (招待講演) (国際学会)
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 上野拓洋, 中川敬三, 新谷卓司, 松岡 淳, 神尾英治, 松山秀人, 吉岡朋久
2. 発表標題 二硫化モリブデンナノシート積層型膜反応器の作製と芳香族ニトロ化合物還元反応への応用
3. 学会等名 分離技術会年会2021
4. 発表年 2021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 ジアミン化合物で架橋されたGO積層膜の有機溶剤ナノろ過特性
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 采尾崇哉, 中川敬三, Jiri Kulhavy, Shik Chi Edman Tsang, 新谷卓司, 神尾英治, 松山秀人, 吉岡朋久
2. 発表標題 二硫化モリブデンナノシート積層膜の加圧処理によるナノろ過特性の向上
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 中川敬三, 國松美里, 吉岡朋久, 新谷卓司, 神尾英治, 松山秀人
2. 発表標題 界面緻密層を有するレイヤー型複合ナノシート積層膜の作製とナノろ過特性
3. 学会等名 膜シンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Nakagawa, M. Kunimatsu, T. Yoshioka, T. Shintani, E. Kamio, H. Matsuyama
2. 発表標題 Fabrication of niobate nanosheet-graphene oxide composite membranes and their organic solvent nanofiltration performance
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 上野拓洋, 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 二硫化モリブデンナノシート積層型膜反応器における芳香族化合物還元反応の検討
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 井元誠志, 中川敬三, Hu Chechia, 新谷卓司, 神尾英治, 松山秀人, 吉岡朋久
2. 発表標題 カーボンナイドライド/ニオブ酸ナノシート複合膜の作製とナノろ過特性の評価
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 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 加圧ろ過法で作製した酸化グラフェン積層膜の積層構造制御と有機溶剤ナノろ過性能
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 中川 敬三, 國松 美里, 荒屋伸太郎, 吉岡 朋久, 新谷 卓司, 神尾 英治, 松山 秀人
2. 発表標題 架橋型酸化グラフェン積層膜および酸化グラフェン/ニオブ酸化物ナノシート複合積層膜の作製とナノろ過性能の比較検討
3. 学会等名 日本膜学会第41年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 國松 美里, 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 ニオブ酸化物ナノシート/酸化グラフェン複合膜の作製とナノろ過特性の評価
3. 学会等名 分離技術会年会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakagawa
2. 発表標題 Development of Stacked Metal Oxide Nanosheet Membranes for Water Treatment
3. 学会等名 Advanced Hybrid Materials and Membrane Separation Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kunimatsu, K. Nakagawa, T. Yoshioka, T. Shintani, E. Kamio, H. Matsuyama
2. 発表標題 The nanofiltration property of stacked nanosheet composite membrane incorporating graphene oxide into metal oxide membrane
3. 学会等名 12th Conference of the Aseanian Membrane Society (AMS12) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川敬三
2. 発表標題 二次元無機ナノシートを利用した積層型分離膜の開発
3. 学会等名 第10回無機膜懇話会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakagawa, M. Kunimatsu, T. Yoshioka, T. Shintani, E. Kamio, H. Matsuyama
2. 発表標題 Fabrication of niobium oxide based nanosheet membranes and their nanofiltration performance in water and alcohol
3. 学会等名 18th Asina Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Kunimatsu, K. Nakagawa, T. Yoshioka, T. Shintani, E.Kamio, H. Matsuyama
2. 発表標題 Effect of composite membrane structure on performance of graphene oxide/metal oxide nanosheets composite membranes
3. 学会等名 18th Asina Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Shiono, K. Nakagawa, T. Shintani, E.Kamio, H. Matsuyama, T. Yoshioka
2. 発表標題 Fabrication of graphene oxide membranes on porous $\gamma$ -alumina support by pressure assisted method
3. 学会等名 18th Asina Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Onoyama, K. Nakagawa, T. Shintani, E.Kamio, H. Matsuyama, T. Yoshioka
2. 発表標題 Fabrication and separation performances of stacked CuBDC MOF nanosheet membranes by vacuum filtration method
3. 学会等名 18th Asina Pacific Confederation of Chemical Engineering Congress (APCCHE2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中川敬三
2. 発表標題 液系分離への応用を目指した2次元ナノシート膜の開発
3. 学会等名 先端膜工学研究拠点 第5回ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K. Nakagawa
2. 発表標題 Development of metal oxide nanosheet membranes: Separation performance in water and organic solvent
3. 学会等名 石油学会山形大会 (第49回石油・石油化学討論会) [若手研究者・技術者によるインターナショナルセッション] (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 塩野 颯斗, 中川 敬三, 新谷 卓司, 神尾 英治, 松山 秀人, 吉岡 朋久
2. 発表標題 Pt含有酸化グラフェン積層膜の作製とp-ニトロフェノール還元反応における触媒活性評価
3. 学会等名 膜シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小野山 真之, 中川 敬三, 田中 俊輔, 新谷 卓司, 松山 秀人, 吉岡 朋久
2. 発表標題 二次成長法によるナノシート膜上へのCuBDC MOF膜の作製
3. 学会等名 膜シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 采尾 崇哉, 中川敬三, Shik Chi Edman Tsang, 新谷卓司, 松山秀人, 吉岡朋久
2. 発表標題 MoS <sub>2</sub> ナノシート積層膜の作製と加圧処理が及ぼす膜性能への影響
3. 学会等名 膜シンポジウム2019
4. 発表年 2019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 アミン系架橋剤を利用した積層型酸化グラフェン膜の作製と有機溶剤ナノろ過特性の評価
3. 学会等名 第22回化学工学会学生発表会(岡山大会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 采尾 崇哉, 中川 敬三, Shik Chi Edman Tsang, 新谷 卓司, 神尾 英治, 松山 秀人, 吉岡 朋久
2. 発表標題 圧力支援法によるMoS2ナノシート積層膜の作製とナノろ過特性の評価
3. 学会等名 化学工学会第85年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 中川敬三, その他49名	4. 発行年 2020年
2. 出版社 株式会社エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 448
3. 書名 ポストグラフェン材料の創製と用途開発最前線 ~二次元ナノシートの物性評価、構造解析、合成、成膜プロセス技術、応用展開~ 担当:分担執筆, 範囲:第III編 第3章 第3節 金属酸化物ナノシートを利用した積層型分離膜の開発	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 可視光応答型ナノシート複合光触媒膜とその作製方法	発明者 中川敬三, 井元誠志, 吉岡朋久, 新谷卓司, 胡哲嘉	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-019998	出願年 2022年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

神戸大学大学院科学技術イノベーション研究科 中川敬三  
<https://kuid-rm-web.ofc.kobe-u.ac.jp/profile/ja.a1ea8968e41175ff520e17560c007669.html>  
 researchmap 中川敬三  
<https://researchmap.jp/7000017383>

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	松山 秀人  (Matsuyama Hideto)  (50181798)	神戸大学・先端膜工学研究センター・教授   (14501)	
研究分担者	吉岡 朋久  (Yoshioka Tomohisa)  (50284162)	神戸大学・先端膜工学研究センター・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			
英国	University of Oxford			
台湾	Chung Yuan Christian University	National Taiwan Univ	National Taiwan Univ of Sci and Tech	
香港	City University of Hong Kong			