

重金属，臭化物の除去および油水分離の特性を有するセラミック膜の開発と特性評価

新潟大学 工学部工学科 化学システム工学プログラム
准教授 狩野 直樹

2025年9月25日

はじめに

昨年度は、「セラミック膜を用いた新規汚水処理法(油水分離および重金属除去)の開発」というタイトルで発表しました。

研究背景や趣旨は前年度と重なる部分はあるものの、本年度において新たな技術的進展や知見が得られ、そのため本年、新たに**PCT出願(国際特許)**を行いました。

本年度は実用的な用途をさらに意識しながら、多種の**機能を備えた新規セラミック膜の創製**とその応用試験を行ったので、以下に説明いたします。

研究背景

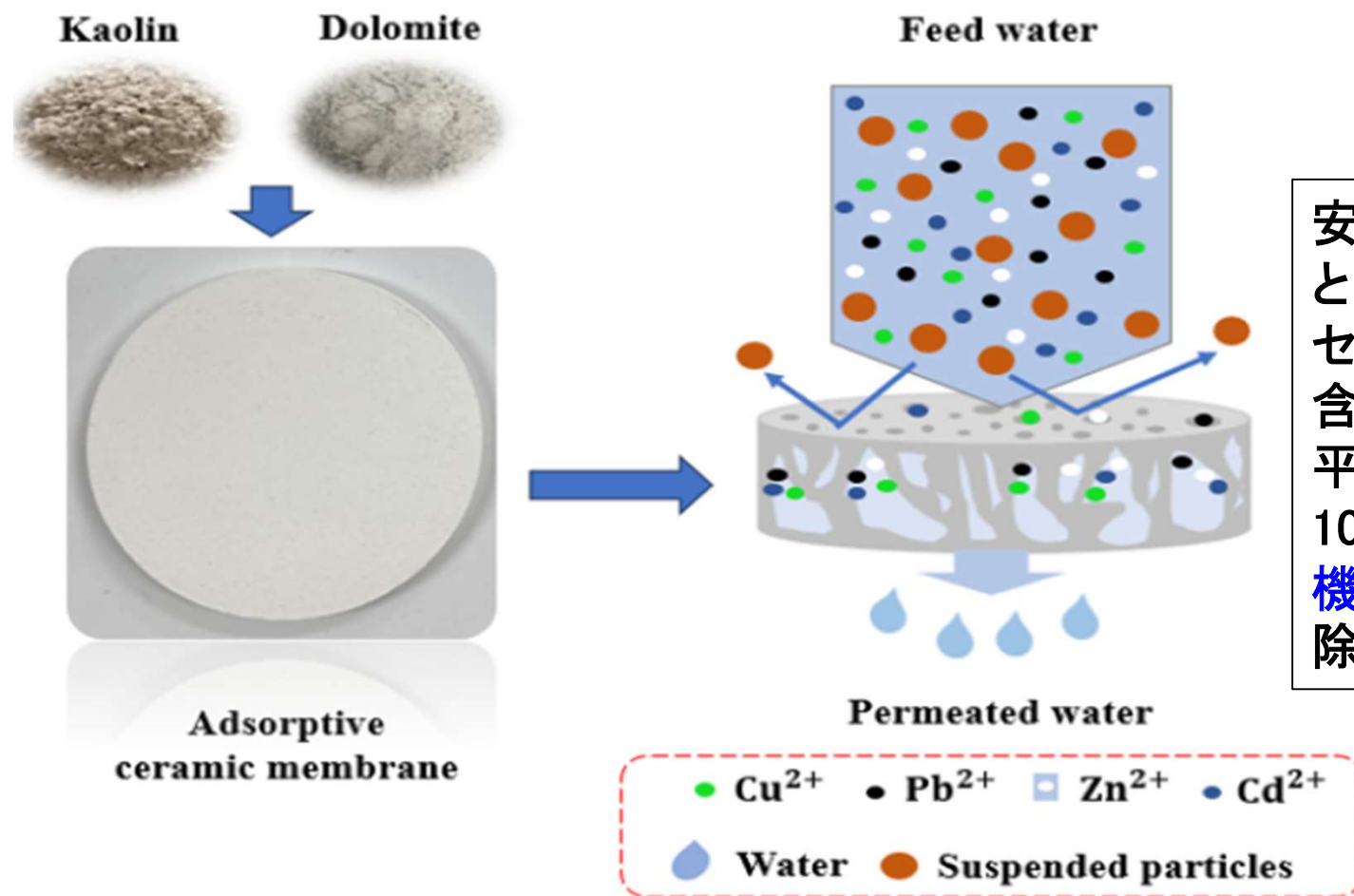
(1) 家庭用浄水器では、現在主として中空糸膜と活性炭を組み合わせたカートリッジが使用されている(例: 東レ, パナソニック等)。ところが、価格やハロゲン除去性能の面で課題があり、消費者からは寿命の短さについての指摘があった。そこで、現行の活性炭よりも安価で長寿命な吸着剤をベースにした膜を開発することを検討した。また、構造を簡素化し、スリムで低コストの浄水器フィルターに適したセラミック膜の開発を行った。

(2) 食品会社やレストラン(集合住宅を含む)の生活排水では、油水混合による排水管の閉塞の問題があり、油水分離と同時に重金属やハロゲン、不純物を除去できる技術(膜)が求められている。そこで、油水分離機能に加え、重金属や臭化物も除去できる膜を開発することにした。

(3) シェールオイルやガス田開発において、油田の生産活動に伴い大量に発生する油田随伴水の処理が課題であることが明らかになった。また、水圧破砕によるシェールオイル採取の際に発生する大量の油田随伴水を再利用したいという要望や、高濃度の重金属を含む油田随伴水を無害化処理して放水したいという要望が確認された。そこで、油田随伴水を油水分離処理し、さらに多量に含まれる重金属を除去できる膜を開発することにした。

上記の(1)-(3)の課題は、規模の違いはあるものの、いずれも、油水分離しながら廃水に含まれる重金属や臭化物を除去できる安価な分離フィルターがあれば、解決できると考えられる。

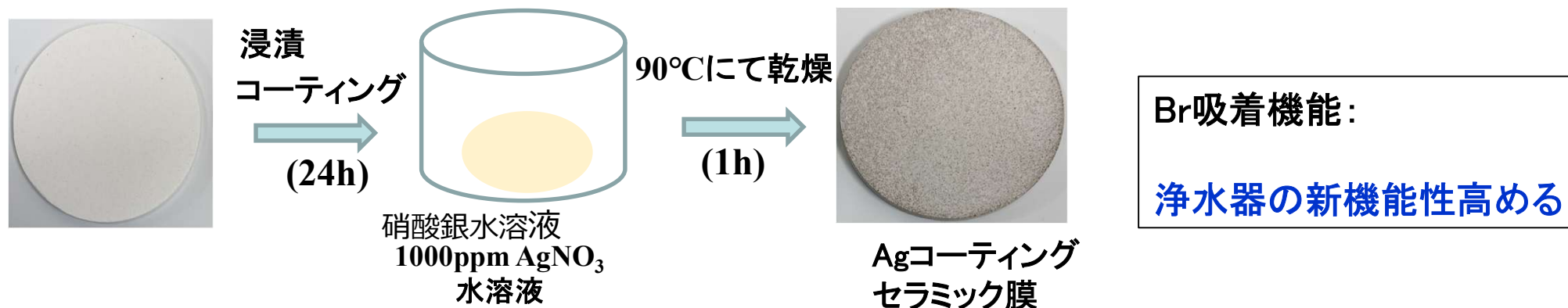
研究概要



安価な材料である**カオリン**と**ドロマイト**, さらにメチルセルロース等の結着剤を含む混合物を焼成して, 平均開孔径が $0.1 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ の細孔を持つ**無機材料層**を有する重金属除去用の膜を作製

重金属除去の概要

臭化物の除去



銀イオン(Ag⁺)をコーティング→臭化物イオン(Br⁻)も吸着除去

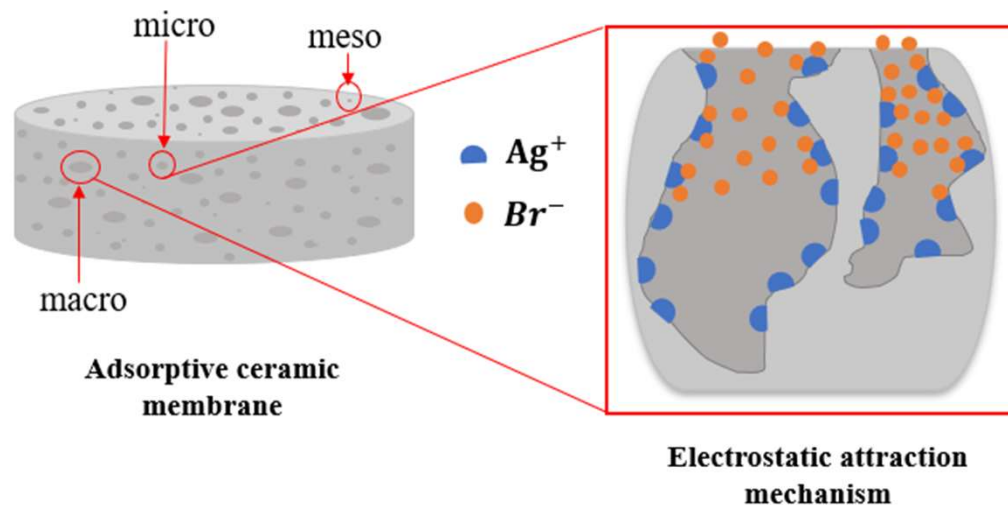
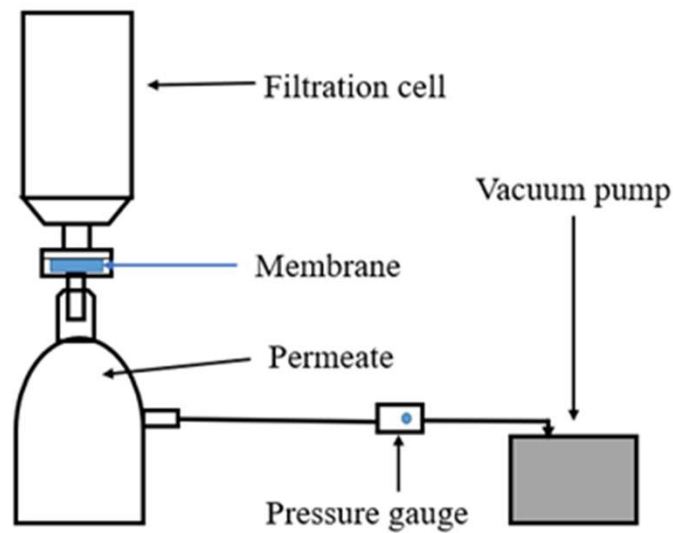


Fig. Possible mechanism of bromide removal on silver modified membranes.

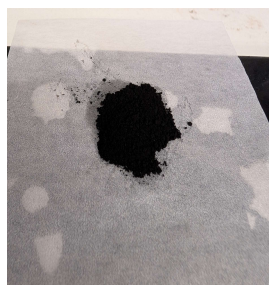
Wang, T. et al., *Journal of Chemical & Engineering Data* 2020, 66, 535-543, doi:10.1021/acs.jced.0c00774.

臭化物の吸着実験



- ・ **実験条件**
- ・ 膜面積 $0.855 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
- ・ 温度 室温
- ・ 膜間圧 0.03 MPa
- ・ 供給液Br濃度(NaBr水溶液) 100 ppm
- ・ 供給液体積 50 mL

比較実験: 活性炭によるBr⁻吸着



活性炭

(FUJIFILM Wako Pure
Chemical Corporation)



振盪

(24h)

フィルターで
活性炭を除去

初期濃度からの減少量より
活性炭による吸着量を算出

実験結果

Table Experimental conditions for each sample

条件	吸着剤	焼成温度or重量
1	銀修飾膜	1100℃
2	銀修飾膜	1250℃
3	活性炭	0.10g
4	活性炭	0.50g
5	活性炭	1.0g

臭化物除去効率

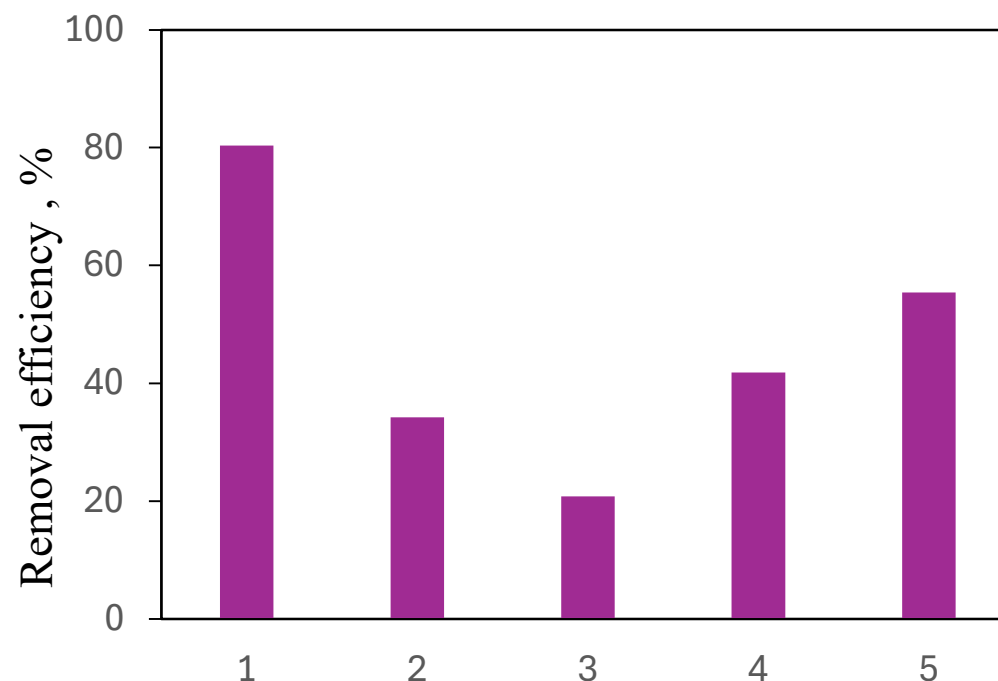


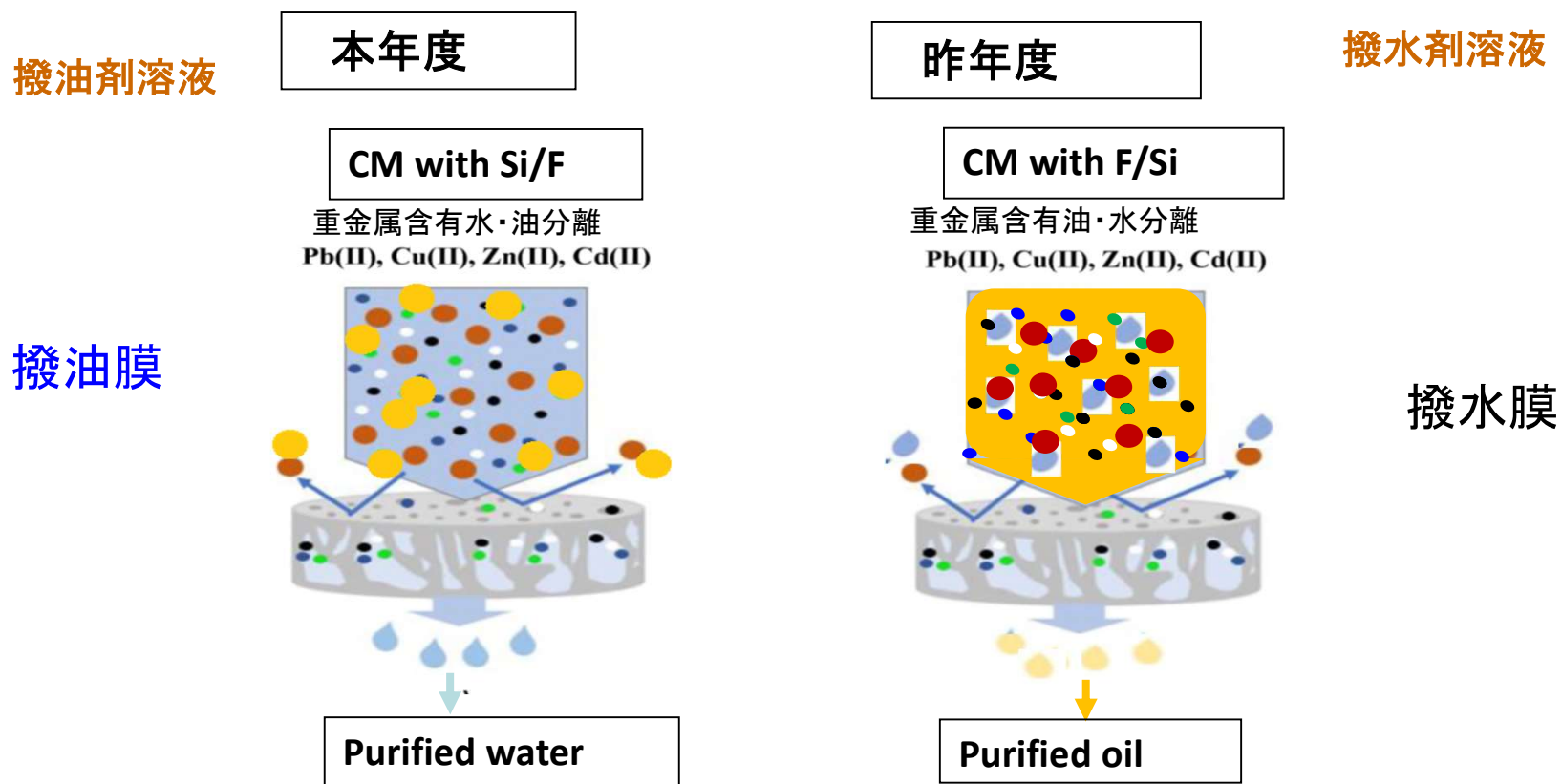
Fig. Effect of sintering temperature on bromine removal rate and comparison with activated carbon removal performance

除去性能に関して、重金属と同様に焼成温度1100℃が優位であった。

活性炭と比較しても、銀修飾膜の方が臭化物の除去効率が高いことがわかった。

油水分離の研究概要

重金属吸着膜にシリカ系(フッ素化合物も可能)物質をコーティングし、撥水または撥油処理を施す



油水分離の概要

実験方法：セラミック膜（親水撥油膜）の創製



エマルジョン化：洗剤



セラミック膜

浸漬によるコーティング

(12h)

撥油剤

室温にて乾燥

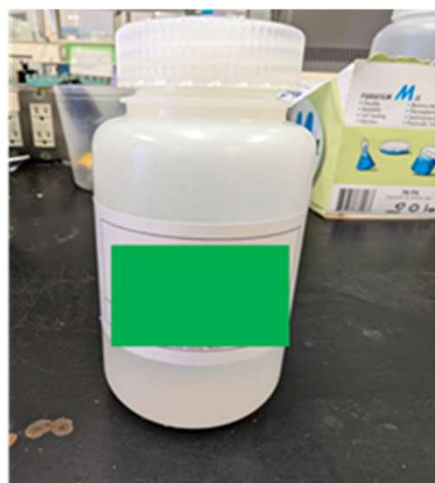
(24h)

供給液（ケロシン/
重金属水溶液）

油水分離実験

実験条件

膜面積	$0.855 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
温度	室温
膜間圧	0.03 MPa
供給液（ケロシン/重金属水溶液）	1:1 with 0.05g洗剤
供給液重金属濃度	100 ppm
供給液体積	50 mL



撥油剤

実験結果

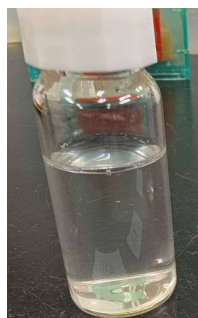
重金属含有水・油分離実験



エマルジョン前



エマルジョン後



油水分離後

使用膜の焼結温度: 1100°C, 1250°C

油水分離と同時に重金属の除去にも成功した。

金属除去効率: 1100°C > 1250°C
透過流束: 1100°C < 1250°C

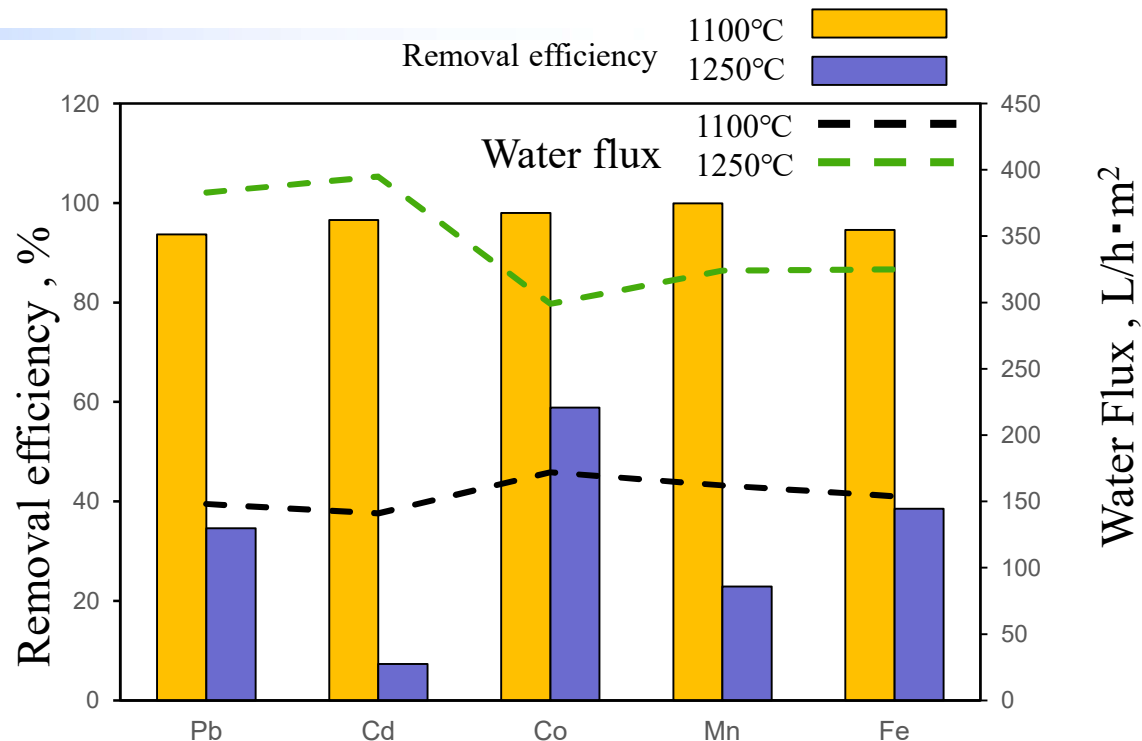


Fig. Removal efficiency and water flux (sintering temperature 1100°C and 1250°C) of each heavy metal

← 前回(改質前のセラミック膜で重金属分離のみ)と同様の傾向

従来技術とその問題点

(1) 汚水・排水に含まれる重金属の処理方法として、イオン交換、膜処理法をはじめ、活性炭等の吸着剤を用いて、重金属を吸着して除去する手法がある。重金属を吸着除去しうるが、吸着剤による油水分離に係る着目はない。

(Sharma et al., 2017; Pal et al., 2017; Keshtkar et al., 2013)。

(2) 一方、水と油が混合している廃水进行处理する際、油水分離膜に関しては、例えば、アルミナ粉末を高濃度で分散させたポリスルホンを相分離法で膜化し、焼成して得た細孔を有するアルミナマイクロシート膜が提案されている。油分によるファウリング抑制等の課題があるうえ、重金属の除去に係る着目はない。

(長澤, 膜(MEMBRANE), 45(1), 35-40 (2020), Ahmadun et al., Journal of Hazardous Material, 170 (2009) 530-551)。

従来技術とその問題点

(3) 排水処理方法として、珪藻土とベントナイト(主成分はモンモリロナイト)とを用いたセラミックス材料をベースに作製されたセラミック体多孔体に好気性又は嫌気性微生物を吸着させて、水中に含まれる有機物の分解を行う先行研究がある。

ただし、上記研究におけるセラミックス材料(焼成物)の細孔径は最大0.6mm, 最小0.2mm径であるため、細孔径の大きさに起因して、透水性が大きいため、油水分離及び重金属の除去という機能を有し得ない。

Malika, N. et al., *Ceramics International* 46 (2020) 6889–6898

新技術の特徴・従来技術との比較

本技術の独自性・先進性は以下の点にある。

1) **油水分離と重金属除去を同時に可能にする膜**：油水分離をしながら混合水（油）に含まれる重金属を効率的に除去できる機能を備えている。

2) **低コストなセラミック膜**：主成分として安価な材料（カオリンやドロマイト）を使用し、構造や製造手法も簡素化されているため、経済的に優れている。

3) **高い重金属吸着性能と新機能性を有する膜**：活性炭の3～4倍の重金属吸着性能を持ち、さらに臭素（Br）も除去可能である。

- ・ 油水分離と重金属除去を同時に実現する膜は存在せず、加えて活性炭は重金属と臭素を同時に除去することができない。
- ・ 微細な細孔を有しながらも、流速密度が大きいことで、油水分離及び水中の重金属の除去を効率的に行うことができる。

想定される用途

- ・ 家庭用浄水器では、現在主として中空糸膜と活性炭を組み合わせたカートリッジが使用されている。価格やハロゲン除去性能の利点を活かし浄水器メーカーへの用途が期待される。
- ・ 食品会社やレストラン等の生活排水での排水管における分離膜としての用途が期待される。
- ・ 油田随伴水の無害化処理や再利用に寄与できる可能性があるため、シェールオイルやガス田開発への応用が期待される。

実用化に向けた課題

- 主としてラボスケールでの検討に留まっているので、今後実用化に向けて、スケールアップ実験も含め、実試料についての実験データを数多く取得し、本研究で開発したセラミック膜を各用途に適用していく場合の条件設定を詳細に行う。また、さらなる除去効率や分離効率の増加を確立し、同時に精度の向上ができるような技術を構築する。

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装へ取り組みについて記載
基礎研究	・セラミックメンブレン膜の作製（特性評価, 機械的強度確認）	
現在	・セラミックメンブレン膜の性能評価（重金属・臭化物除去, 油水分離）	
1年後	・スケールアップ実験（実用化に向けての課題解決: 詳細な条件設定, 除去効率や分離効率の向上）	顧客ヒアリング JST事業へ応募し研究資金獲得
2年後	・セラミック膜の設計（OEM製造先: レンガ工場等の探索）	OEM製造
5年後	・カートリッジの作製（OEM販売依頼先: 販売先の探索）	OEM販売

企業への期待

- 排水処理に係る企業や浄水器メーカー，食品メーカー，あるいはまた油田開発関連企業との共同研究を希望いたします。
- 現況は実試料への応用が不十分なので，試料のご提供のサポートも希望いたします。

企業への貢献、PRポイント

- 本研究で開発したセラミック膜は、微細な細孔を有しながらも、流速密度が大きいことで、油水分離及び水中の重金属の除去を効率的に行うことができる。さらにコーティングを施すことにより臭化物の除去も確認できている。浄水器メーカー、水処理分野への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 分離フィルタ、及び分離フィルタの製造方法
- 出願番号 : PCT出願 国際出願番号:
PCT/JP2025/002319 (2025年1月24日)
特願 2024-009042 (出願日2024年1月24日)
- 出願人 : 新潟大学, 工学院大学
- 発明者 : 狩野 直樹, Bat-Amgalan Munkhpurev、
金 熙濬

産学連携の経歴

- 2015年-2016年 ダイニチ工業株式会社と共同研究実施 「燃焼凝縮水の無害化に関する研究」
- 2022年-2023年 西松建設株式会社と共同研究実施 「汚泥灰からのリン回収技術の開発」

お問い合わせ先

新潟大学 社会連携推進機構

T E L 025-262 - 7554

F A X 025-262 - 7513

e-mail onestop@adm.niigata-u.ac.jp