

超低圧高透水性 CNF/PA 複合 RO 膜・モジュールの開発と NSF インターナショナル(米国認証機関)の認証取得

発表者；遠藤守信 (COI 拠点研究リーダー、信州大学特別特任教授／特別荣誉教授)、前田潤 (COI 拠点特任助教)、柳澤奈緒美 (COI 拠点研究支援推進員)、Rodolfo Cruz-Silva (信州大学先鋭材料研究所特任教授)、竹内健司 (COI 拠点サブ研究リーダー、信州大学工学部准教授)

1. 発表のポイント

◇信州大学は、POU (Point of use) や浄水器用に新規に開発したセルロースナノファイバー (CNF) / 芳香族ポリアミド (PA) 複合逆浸透 (RO) 膜モジュールが米国認証機関である NSF (National Sanitation Foundation) International の浄水膜規格である「ANSI58」認証 (浄水器)を取得しました (2021年9月17日付、認証先；信州大学 (松本市)、アクア・イノベーション拠点 (長野市))。

◇①NSF インターナショナル認証

②認証を受けた超低圧高透水性 CNF/PA 複合逆浸透 (RO) 膜

③対象の超低圧高透水性逆浸透膜開発の科学と技術、研究経緯について説明します。

2. 発表の概要

2. 1 NSF インターナショナル認証取得

NSF インターナショナルは、1944年に米国ミシガン州で設立された非営利機関 (NPO 団体) であり、公衆安全衛生の分野で国際的に認められた第三者認証機関で非営利団体です。特に科学の進歩を促し、健康、繁栄、福祉を推進し、未来を変える知識を生み出すための基礎研究を支援している機関です。NSF インターナショナルは過去 50 年以上にわたって、各業界、政府関係者及び関係団体などと協力して、公衆安全衛生に係わる規格を制定し、これらの規格をもとに製品認証業務を行っているほか、マネジメントシステム審査・登録、教育・訓練、検査や研究業務などを実施しています。

NSF 規格の中で浄水規格は「ANSI58」(Reverse Osmosis Drinking Water Treatment Systems)であり、今回の開発技術である CNF/PA 複合 RO 膜モジュールに対して (図 1)、下記の 7 段階のステップを順次クリアーして認証を取得しました (図 2)。当 COI 拠点が我が国第 1 号の認証取得になりました (図 3)。

①登録申請手続き → ②全薬品のレシピ（全ての薬品の重量%）と全部品名とその材料内容の提出 → ③薬品と部品の書類審査（安全性に問題あるものが使われていないかをチェック） → ④現場監査（申請された薬品、部品が管理された状態で使用されているか現場を見てチェック、於;信州大学 COI 拠点） → ⑤申請された薬品、部品で作製したサンプルを提出し透水・抽出テスト（311 試験項目）と鉛のテスト → ⑥総合評価 → ⑦認証



図 1 認証対象の CNF/PA 製 RO 膜モジュール(左) とベッセルに装填した超低压高透水性浄水器(右)



図 2 NSF ANSI58 認証の構成要件と審査手順（NSF Web サイトより引用）

NSF/ANSI 58 (Reverse Osmosis Drinking Water Treatment Systems)
 国別認証機関数（2021年9月17日現在、NSF web site より遠藤作成）

企業数：138	
国名	企業数
アメリカ	59
中国	26
台湾	18
韓国	8
トルコ	9
インド	4
デンマーク	3
サウジアラビア	2
フランス	1
ベトナム	1
イタリア	1
キプロス	1
日本	1 (信州大)
台湾	1
マレーシア	1
メキシコ	1
カナダ	1

工場数：146	
国名	工場数
中国	52
アメリカ	33
台湾	25
韓国	12
トルコ	6
インド	4
メキシコ	2
デンマーク	1
サウジアラビア	1
フランス	1
イタリア	1
日本	1 (信州大)
イギリス	1
不明	6

逆浸透膜水処理システムに関してNSFの認証で我が国の先鞭をつけることができた。

図 3 NSF/ANSI58 の国別認証機関数（NSF Web サイトより集計）
 信州大学 COI 拠点が我が国第 1 号の認証取得を得た

2. 2 RO 膜浄水器と新市場開拓への期待 《COI 超低压高透水性 RO 膜・モジュール》

浄水器の世界市場規模は、2020 年に約 3.5 兆円であり、年々、拡大を続けています。浄水器は、水に含まれる各種の有害物質、細菌、浮遊粒子などの様々な含有物を取り除く目的で使用されます。アジアの途上国では水道水質が劣悪なケースが多く、消化器系の病気で命を落とすことも多くあります（インドでは年間 4000 人にも上る）。水道インフラの改善も困難で、浄水器で水質を改善することが各国で進む都市化と工業の進展、気候変動等を背景にますます普及している状況です。原水の水質劣化も一要因ですが、健康志向や脱ペットボトル文化の高まりにより世界中でますます浄水器需要が高まっています。RO 膜浄水器の世界の市場は、2020 年に約 1 兆円、2027 年には約 2 兆円に達し、2027 年までは 11.5% の CAGR で成長すると見られています。

家庭用浄水器は、一般に活性炭ろ過と逆浸透膜などが有り、高度な技術が導入されたものです。日本で広く普及している浄水器は、その高度な水道水質もあって活性炭等を用いて含まれている残留塩素等を除去しておいしく改質するのが目的です。一方、RO 膜浄水器は、RO 膜（逆浸透膜）によってほぼ水分子だけを通過させることができ、海水の淡水化で大きな実績があります。RO 膜浄水器はまったく飲用できない水質レベルの水も浄化できます。この RO 膜浄水器の優れた機能が、現在、家庭用の浄水器として商品化されるようになってきており、我が国では JIS 規格も制定されています。

この RO 膜浄水器は、例えば中国では、生活レベルの向上で飲用水の質が重視される状況を反映して、RO 膜浄水器が人気を集め、市場シェアは約 60% にまで達し、年間販売台数は 1000 万台になると見積もられています。しかし、問題も出ています。市場で販売されている RO 膜浄水器の浄水回収率が 20% 以下の製品が 40% 近くを占め、大量の水道水が無駄に排水されて水浪費の点で問題化しています。現在、同国で法整備が進んでおり、それによって浄水器、温水便座、洗濯機、シャワ - 等でさらに着実に大きく普及する環境が整ってきました。当拠点開発 RO 膜浄水器はその点でも極めて先進的で、水道水圧程度の超低压でオフグリッド使用が可能です。回収率は 60% 以上と高く、浄水に伴う水の無駄が最小限にでき、優れた不純物除去、化学的安定性、耐ファウリング性などの優れた機能を有し、新市場を創出して浄水器市場の大きな進歩を創出するものと期待されます。今回の NSF 認証取得はそのスタート地点に立つものです（図 4）。

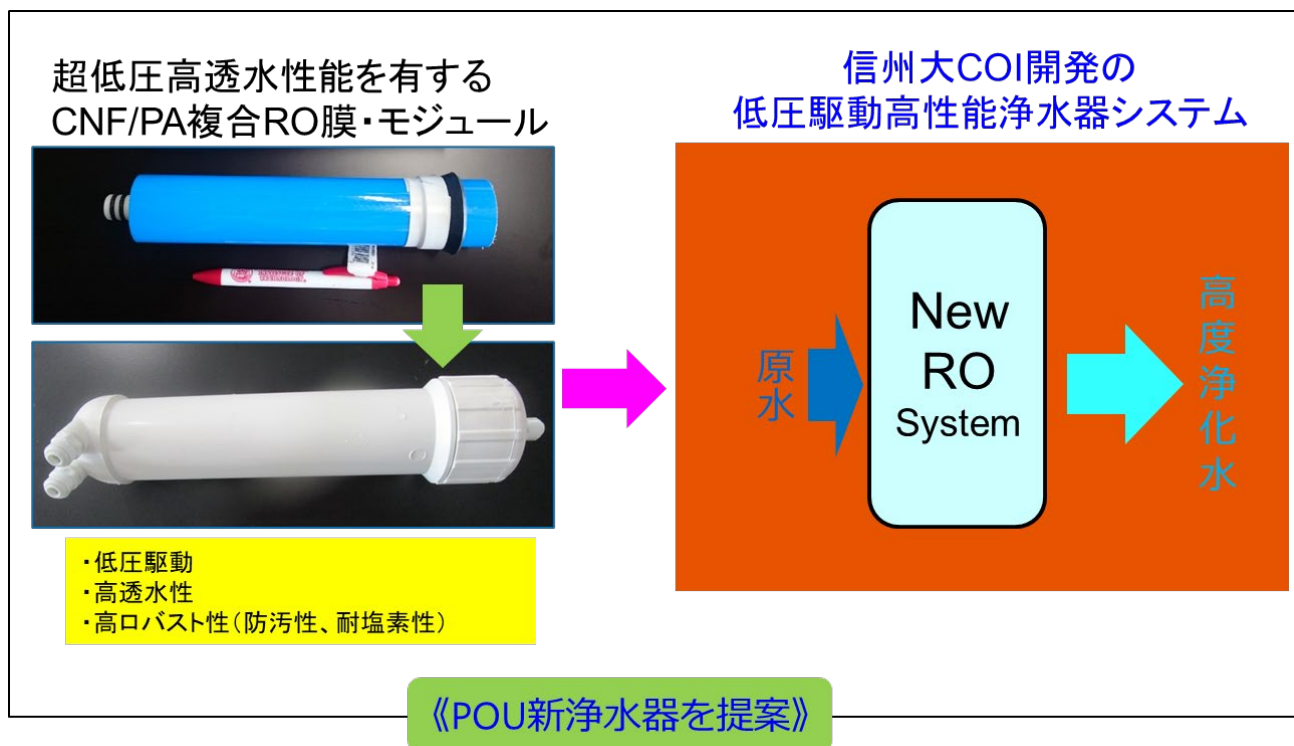


図4 超低圧高透水性 RO 膜モジュールを使った新しい浄水器の提案

3. 発表の背景

当研究成果は、科学技術振興機構（JST）が推進するセンター・オブ・イノベーション（COI）プログラム「世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点」のプロジェクトから得られた成果です。当プロジェクトは、「活気ある持続可能な社会の構築」という将来ビジョンの下、信州大学を中核機関として、革新的な造水・水循環システムの構築を目指し、我が国産業や SDGs への貢献を通じた広範な人類への寄与を目指して研究開発を推進しています。

プロジェクトチームが、世界的な水不足を解消するために注目したのが、海水、石油随伴水、かん水¹という3つの水源利用で、これらはすべて塩分を含んでいます。脱塩のためにキーテクノロジーとして取り組んでいるのが、ナノカーボンを使った新たなコンセプトによる逆浸透（RO）膜やナノ濾過膜等の研究開発です。今回はそこで得られた知見を新たな革新的膜開発に展開したものです。

遠藤守信 信州大学特別栄誉教授を中心とする研究グループは、主にナノカーボンやセルロースナノファイバー複合膜や酸化グラフェンを用いた RO 膜、またモジュールの構成部材である CNT 複合スペーサーなどについて広範囲に研究を推進して国際誌に論文発表を実施しています。

4. 今後の展開

今回、超低圧高透水性 CNF/PA 複合 RO 膜の NFS 認証（「ANSI58」認証（浄水器））が得られたことにより、途上国を中心に需要が急速に進んでいる POU 関連への応用が期待されます。集合住宅、地域等にも対象を広げることができます。今後、この認証を契機に広範なユーザーと共に様々な用途展開を進めます。プロジェクトの目標である「地球上の誰もが十分なきれいな水を手に入れ

¹ 湖沼や地下にある塩分を含んだ水のこと。

られる社会」の実現に寄与するべく、産学官の連携によってさらに研究を推進してまいります。

5. 参考

5. 1 超低压高透水逆浸透膜開発の科学と技術、研究経緯

近年の途上国の経済成長・人口増加そして気候変動等により世界的な水資源不足が顕在化しています。造水におけるコスト、効率および操作性の簡便さから、RO膜による水の浄化が主要なプロセスとなっています。現在、RO膜の活性膜は界面重合で合成される芳香族架橋ポリアミド（PA）膜で1970年代に技術確立され、海水淡水化を中心に人類貢献を果たしてきています。このRO膜は当初は日本の得意分野でしたが、技術のコモディティ化が進み世界膜市場においては中国企業などが優位に事業展開しています。かかる劣勢を打破するためには、膜技術のイノベーションが必須です。信州大学COI（Center of Innovation）*¹研究拠点が目指す革新的RO膜の先進科学と技術の開拓は、まさに膜技術の革新によって産業やSDGsへの貢献を果たそうとするものです。今回、開発に成功してNSFインターナショナルの認証を受けた超低压高透水性RO膜・モジュールは、当拠点プロジェクトの中心課題である海水淡水化用RO膜開発の成果を発展させたもので、水道水圧の超低压で稼働でき、高透水性能を発現するRO膜です。世界の劣化する水道水質や汚れた飲料水を浄化する優れた機能を発現します。*²。

例えば、水道水が直接飲用できる国は世界でも10数か国に過ぎず、アジア、アフリカをはじめ多くの国々では水道水の水質レベルが飲用に適さない問題をかかえています。特に細菌類の混入による感染事例も報告されています。そのため、近年では関連国では富裕層を中心にRO膜を用いた家庭向けPOU（Point of use）浄水器の需要が前述したように急速に伸びています。

海水淡水化に比べてPOU用途の浄水膜開発は必ずしも十分に進んでおらず、浄水装置の製造が中心であり、POU用水処理膜はこれまでの技術の転用であり、多くの問題点があります。すなわち、①透水性が基本的に低い、②超低压力駆動が困難、③低压動作で膜分離性能が大幅低下、④膜表面が汚れ易い、⑤水消毒に使われる塩素による膜劣化（短寿命、高コスト）、⑥浄水回収率が低く水の無駄が多い、などの課題が挙げられます。

そこで、当プロジェクトでこれまでに蓄積してきた海水淡水化用RO膜の知見を基に超低压高透水性RO膜を芳香族架橋ポリアミド（PA）にセルロースナノファイバー（CNF）を複合したナノ複合RO膜の開発に成功いたしました（図5、図6）。

<発表論文>

R. C.-Silva, K. Izu, J. Maeda, S. Saito, A. M.-Gomez, C. Aguilar, Y. Takizawa, A. Yamanaka, S. Tejima, K. Fujisawa, K. Takeuchi, T. Hayashi, T. Noguchi, A. Isogai, M. Endo, Nanocomposite desalination membranes made of aromatic polyamide with cellulose nanofibers: synthesis, performance, and water diffusion study, *Nanoscale*, 12, 38 (2020)

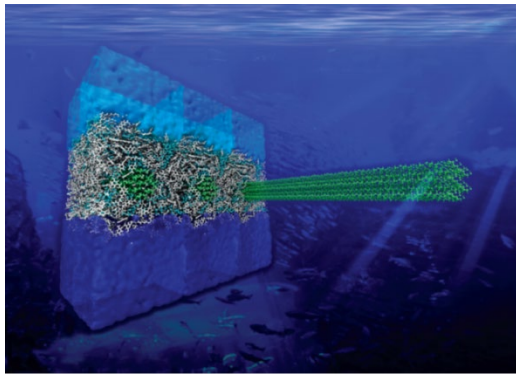


図5 CNF/PA 複合 RO 膜の構造モデル
(Nanoscale 中表紙掲載)

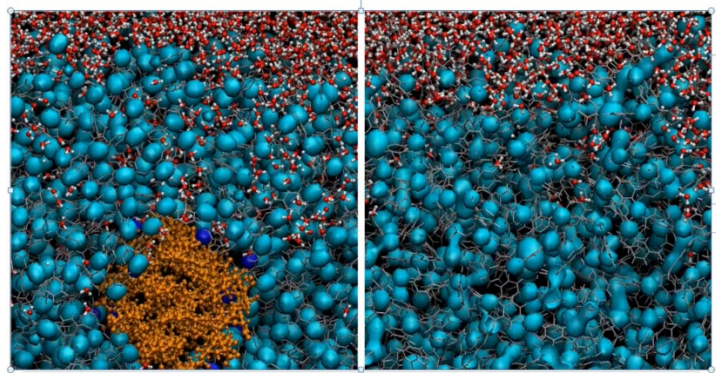


図6 優れた透水機能のシミュレーション
左；新開発の CNF/PA 複合 RO 膜
右；従来の PA 製 RO 膜
(水分子が赤-白点で示されている)

5. 2 説明

*1 センター・オブ・イノベーション (COI) プログラム

科学技術振興機構 (JST) による公募型研究開発プログラムの 1 つです。将来社会に潜在する課題とあるべき社会の姿、暮らしの在り方を見据えたビジョンに基づき、企業だけでは実現できない革新的なイノベーションを創出すると共にイノベーションプラットフォームを整備することを目的として、産学連携による研究開発に取り組んでいます。

信州大学は、ビジョン3「活気あふれる持続可能な社会の構築」の1つで、「世界の豊かな生活環境と地球規模の持続可能性に貢献するアクア・イノベーション拠点」の中核機関です。

- ・プロジェクトリーダー(PL) 大西真人(株式会社日立製作所 水・環境ビジネスユニット CTO)
- ・研究リーダー(RL) 遠藤守信(信州大学特別栄誉教授)
 - 《中核機関》 国立大学法人信州大学
 - 《中心企業》 株式会社日立製作所、東レ株式会社
 - 《サテライト機関》 国立研究開発法人理化学研究所
 - 《共同実施機関》 一般財団法人高度情報科学技術研究機構、昭和電工株式会社、北川工業株式会社、トクラス株式会社、栗田工業株式会社、株式会社 LIXIL
 - 《COI-S 機関》 国立研究開発法人海洋研究開発機構
 - 《共同実施機関》 学校法人中央大学
- ・研究開発期間 平成 25 年度～令和 3 年度

*2 セルロースナノファイバー (CNF) と芳香族ポリアミド (PA) で作られたナノコンポジット RO 膜：

セルロースは、最も豊富な天然高分子の 1 つです。それは、衣服などさまざまな方法で何千年もの間使用されてきました。セルロースを使用した水の処理は、綿の布を通過して水をろ過した人類の歴史で数千年にまでさかのぼります。しかし、近年、セルロースは魅力的な特性を持つセルロースナノファイバー (CNF) と呼ばれる新しい形で製造できるようになりました。この CNF は、材料

化学におけるナノスケールのビルディングブロックとして使用できます。ここでは、食品添加にも用いられる CNF を使用して芳香族 PA と複合して水処理膜として優れた機能を実現しました。特に脱塩膜としての性能を向上させる方法を開拓しました。得られた CNF ナノコンポジット膜は、プレーンな PA 材料と比較して、耐塩素性、防汚性、透水性が高くすることができました。さらに膜構造を精緻に制御して超低压高透水性 RO 膜を開発しました。この研究は、芳香族 PA 膜の添加剤としてすでに大きな可能性を示している CNT などの複合膜で培った科学的知見の反映で成功しました。これらのタイプの水処理 RO 膜は、海水淡水化から飲料水用浄水器、食品、工業用水、排水の再利用など広範な分野での応用が期待されます。

6. お問い合わせ先

〈研究に関すること〉

竹内健司 COI 拠点サブ研究リーダー、信州大学工学部准教授

前田 潤 COI 拠点特任助教

金井 均 COI 拠点コーディネーター(知財戦略)

TEL 026-269-5656, FAX 026-269-5667

E-mail takeuchi@endomoribu.shinshu-u.ac.jp

〈プロジェクトに関すること〉

田中厚志 COI 拠点研究推進機構・副機構長(戦略支援統括)、信州大学先鋭材料研究所教授

TEL 026-269-5766 or 5747, FAX 026-269-5710

E-mail attanaka@shinshu-u.ac.jp

〈報道に関すること〉

信州大学アクア・イノベーション拠点 宇田(広報担当)、竹内(研究担当)

〒380-8553 長野県長野市若里 4-17-1 長野(工学)キャンパス 国際科学イノベーションセンター

TEL 026-269-5773 FAX 026-269-5710

E-mail s_uda@shinshu-u.ac.jp

以上