

都留 稔了

広島大学大学院工学研究院
教授

多様な水源に対応できるロバスト RO/NF 膜の開発

§ 1. 研究実施体制

(1) 都留グループ

- ① 研究代表者: 都留 稔了 (広島大学大学院工学研究院, 教授)
- ② 研究項目
 - 1. (1) Robust 膜の開発
 - ①-b シリコン系 RO/NF 膜の作製と評価
 - ③ 気相蒸着系膜
 - 1. (2) 計算機による製膜支援
 - ① 分子動力学法を用いた膜構造および透過シミュレーションによる製膜支援
 - 1. (3) Robust 性とファウリング性評価と製膜へのフィードバック

(2) 大下グループ

- ① 主たる共同研究者: 大下 浄治 (広島大学大学院工学研究院, 教授)
- ② 研究項目
 - 1. (1) Robust 膜の開発
 - ①-a シリコンモノマー・オリゴマーの構造制御と評価
 - 1. (2) 計算機科学による製膜支援
 - ② 密度汎関数を用いた分子設計による製膜支援

(3) 西嶋グループ

- ① 主たる共同研究者: 西嶋 渉 (広島大学環境安全センター, 教授)
- ② 研究項目
 - 2. 多様な水源での Robust 性の評価
 - 3. (2) Robust 膜モジュールの実証

(4)新谷グループ

① 主たる共同研究者:新谷 卓司 (日東電工株式会社 メンブレン事業部 開発部, 部長)

② 研究項目

1. (1)Robust 膜の開発

② 炭化水素・ハイブリッド系

1. (3) Robust 性とファウリング性評価と製膜へのフィードバック

3. (1)Robust 膜モジュールの製造

(5)堤グループ

① 主たる共同研究者:堤 行彦 (福山市立大学都市経営学部, 教授)

② 研究項目

3. (3) システム評価

§ 2. 研究実施の概要

1. Robust 膜の開発

(1)Robust 膜の創製と Robust 性・ファウリング性評価

シリコン系については, 新規なシリコンモノマーとして剛直な極性基(ピリミジン環)や高親水性の架橋基(オキサリルウレア環)を持つアルコキシシランを合成し製膜を行った。また, これまでに実績のあるエタン型架橋基を有する BTESE 膜について, ゼル調製時のアルコキシド/水モル比, 焼成温度, 焼成雰囲気等の製膜条件の詳細検討を行い, 高透水化を試みた。さらに, ナノ濾過レベル高分子基材への製膜を行い, Layered-hybrid 型膜の製膜が可能であることを明らかにした。炭化水素・ハイブリッド系膜については, 製膜実機を用いたメートル幅ポリアミド膜の, 数 100 m 規模の長尺製膜を達成した。気相蒸着系については, プラズマ CVD 製膜法で作製した膜の水透過特性を評価し, シリコン系膜と同様に水の選択透過が分子ふるい的に行われることを確認した。

(2)計算機による製膜支援

3つの異なる有機架橋基(C₂H₄, C₂H₂, C₂)を有するオルガノシリカ膜の構造モデルを構築し, 各種ガス分子および水分子の透過性の予測と実測値との比較を行った。炭素三重結合を有する BTESA シリカは比較的ルースな構造を有し, 水分子の吸着量も多く, 水透過性が高いことを明らかにした。また, 密度汎関数法により各種のシリカモノマーの最適構造を求め, 有機架橋基と細孔径の関連を明らかにした。

(3)Robust 性とファウリング性評価と製膜へのフィードバック

シリコン系膜に関しては, アルブミンおよびアルギン酸を用いたファウリング試験を実施し, いず

れのファウラントにおいても、顕著なファウリングが無いことを確認した。炭化水素系に関しては、後述する東広島浄化センターにおけるフィールド実証試験を開始した。

2. 多様な水源での Robust 性の評価

本研究で開発した顕微鏡撮影と画像解析を組み合わせた視覚的手法によるバイオフィルムの定量法を用いて、膜の洗浄やバイオフィウリングの防止に有効な塩素洗浄条件の検討を行った。下水二次処理水を用いて評価を行った結果、塩素濃度 10 mg/L で 12 時間あるいは 6 時間毎に洗浄を行うことで、バイオフィウリングをほぼ完全に抑制できることが確認され、耐塩素膜の具体的な耐塩素濃度の開発目標値を 10 mg/L と設定できた。また、塩素による膜劣化について、溶存金属イオン等の水質項目が劣化速度に及ぼす影響を定量的に明らかにした。

3. Robust 膜モジュールの製造と実証

(1) Robust モジュールの製造

開発した耐塩素 Robust 膜の長尺化を行い、耐塩素性ポリアミド膜の 4 inch モジュール化(膜面積 7.0 m²)を達成した。また、フィールド実証試験に向けたモジュールの基礎評価を行い、NF 膜レベルの性能を発現することを確認した。

(2) Robust モジュールの実証

上記 Robust 膜モジュールを用いて、東広島浄化センターに設置した NF 膜評価装置において、下水二次処理水を用いたフィールド実証試験を開始した。約 2 週間の連続試験を行った結果、開発膜は既存膜より有機物によるファウリングが起りにくくなる可能性が示された。また、多様な水源に関する検討を促進するため、同様のパイロットプラントを環境安全センターに設置し、広島大学の実験系洗浄廃水を対象としたフィールド実証試験を行う準備を進めている。

(3) システム評価

国内外の MBR 施設および RO 施設に関するコスト・エネルギー等の情報収集を行った結果をもとに、処理水量 2,000~35,000 m³/d の範囲で要求されるキャピタルコスト及びランニングコストの定量化を行った。

【代表的な原著論文】

1) “Synthesis and characterization of a layered-hybrid membrane consisting of an organosilica separation layer on a polymeric nanofiltration membrane”

G. Gong *et al.*, *J. Membr. Sci.*, 472 (2014) 19-28.

2) “Preparation and separation properties of oxalylurea-bridged silica membrane”

T. Mizumo *et al.*, *Appl. Organomet. Chem.*, in press.

3) “New Insights into the Microstructure-Separation Properties of Organosilica Membranes with Ethane Ethylene, and Acetylene Bridges”

R. Xu *et al.*, *ACS Appl. Mater. & Interface*, 6 (2014) 9357-9364.