

“ナノスケールバンドエイド”による市販の逆浸透膜の簡易修復

山口大学大学院 理工学研究科 環境共生系学域

鈴木 祐麻

要旨

本研究の目的は、市販の RO 膜に存在するナノスケールレベルの欠陥を簡易に修復し、移流による汚染物質の膜透過を減少させることで水透過流速を損なうことなく効果的に汚染物質の透過量を減少させることである。本研究では PVA およびフルボ酸を用いてナノスケールレベルの欠陥を修復することを試みた。その結果、フルボ酸を用いることで移流による汚染物質の膜透過を大幅に減少することができた。

1. 研究目的と成果

1. 1. 目的

市販の逆浸透膜(RO膜)の活性層は 150 nm 以下と非常に薄い。そして、その薄さゆえに、活性層にはナノスケールレベルの欠陥が存在し、そこからウイルスなどの汚染物質が移流により RO 膜を透過してしまうことは、市販の RO 膜が抱える大きな問題点の 1 つである。このことを踏まえ、本研究の目的は、市販の RO 膜に存在するナノスケールレベルの欠陥を簡易に修復し、移流による汚染物質の膜透過を減少させることで水透過量を損なうことなく効果的に汚染物質の透過量を減少させることである。

1. 2. 実験方法

本研究で使用した RO 膜は、界面縮合反応により作製された芳香族ポリアミド複合膜である。RO 膜の透過流速と Cl⁻、NO₃⁻および As(III)の除去率は Osmonics 社の SEPA CF-HP 平膜試験セルを用いて測定した。供給水の Cl⁻、NO₃⁻および As(III)の濃度はそれぞれ 1000mgCl/L (NaCl として供給)、1000mgNO₃⁻/L (NaNO₃ として供給)そして 88mgAs/L とし、pH は HCl/NaOH を必要に応じて添加することにより pH = 5.2 あるいは 10.2 に調節した。As(III)の酸解離定数 pKa は 9.2 であるため、pH = 5.2 では中性の H₃AsO₃が支配的化学種である。なお、申請時の計画ではローダミン-WT を対象物質とする予定であったが、予備実験の結果、本研究で用いた膜は非常にローダミン-WT 除去率が高く、膜を透過したローダミン-WT を精度よく定量するためには高濃度のローダミン-WT を原液に添加する必要があった。この結果を踏まえ、本研究では Cl⁻、NO₃⁻および As(III)を対象汚染物質として実験を行った。

1. 3. 透過データのモデリング

ろ過実験で得られたデータは、式(1)に示す濃度分極を考慮した溶解/拡散-移流モデルを用いて解析を行った。

$$\frac{1}{Re} = \left(\frac{\alpha}{1-\alpha} + \frac{B}{1-\alpha} \frac{1}{J_v} \right) e^{x \left(\frac{J_v}{P_k} \right)} + 1 \quad (1)$$

ここで Re は汚染物質の除去率、 J_v は水の透過流速 (m/d)、 α は移流により RO 膜を透過する水の割合、 B (m/d)は汚染物質の透過係数、そして k は汚染物質の境膜物質移動係数で

ある。膜を透過した汚染物質全体に占める移流で透過した汚染物質の割合(f_{adv})は、式(2)により計算した。

$$f_{adv} = \frac{C_b \alpha J_v}{C_p J_v} = \frac{\alpha}{1 - Re} \quad (2)$$

ここで C_b と C_p はそれぞれ原水と透過水に含まれる汚染物質の濃度である。

2. まとめと今後の課題

2. 1. 実験結果

予備実験として今回使用した市販の RO 膜を用いてろ過実験を行った結果、移流により RO 膜を透過する水の割合 α は全ての汚染物質および処理条件において 0.0005 となった。つまり、今回使用した RO 膜についてはナノスケールレベルの欠陥を通して膜を通過する水の割合は全体の 0.05% と非常に小さく、99.5% の水は溶解/拡散により膜を透過していることが分かった。次に、モデリングによって得られた $\alpha=0.0005$ の値を用いて式(2)に従って膜を透過した汚染物質全体

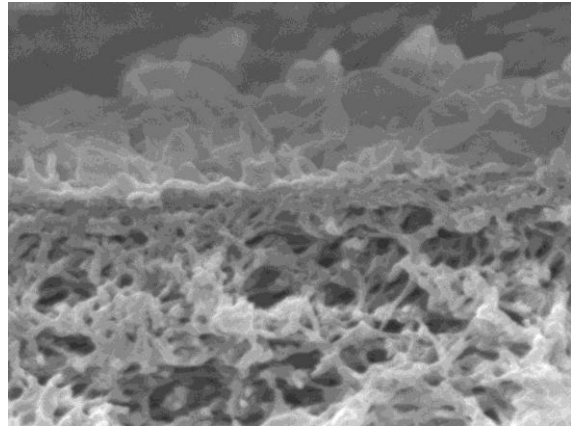


図1 フルボ酸をろ過した後の RO 膜の断面画像

に占める移流で透過した汚染物質の割合(f_{adv})を計算した。その結果、Cl⁻では最大 65%程度が、NO₃⁻では最大 15%が、そして As(III)では最大 5%が移流により膜を透過していることが分かった。

この結果を踏まえ、PVA およびフルボ酸を用いてナノスケールレベルの欠陥を修復することを試みた。しかし、PVA を使用した場合は水透過流速が著しく減少してしまい、ナノスケールレベルの欠陥を選択的に修復することはできなかった。その一方、市販培養土からの抽出・精製を経て得たフルボ酸を活性炭により塩素を除去した水道水に 5mgC/L になるように加え、0.5MPa で 5 分間ろ過を行い、その後、純水で膜の表面を洗浄してから同様のろ過実験を行った結果、 $\alpha=0.0001$ となり、移流による汚染物質の膜の透過を大幅に減少することができた。また、図1に示したフルボ酸によりナノスケールレベルの欠陥を修復した RO 膜の断面画像からも分かるように、膜の表面にフルボ酸のケーキ層は形成されておらず、水透過速度は修復前とほぼ同じであった。このことからフルボ酸によりナノスケールレベルの欠陥を効果的に修復できていることが分かる。

2. 2. 今後の課題

今後の課題は下記の項目を含む。

- ・修復条件の最適化
- ・欠陥修復を行った RO 膜の安定性評価
- ・スケールアップを念頭においた修復方法の簡易化