

正浸透法における透過現象の評価法の開発

ものづくり先端技術研究室 1170037 小野京志朗

1. 緒言

近年、地球規模での水不足が懸念されている。この問題を解決するにあたって、海水の活用や排水、汚染河川水の再利用が必要である。その方法の一つである膜分離技術とは、水の中に含有する成分を分離膜と呼ばれる一定の細孔が開いているフィルムで濾過する技術である。例えば、逆浸透法での海水の淡水化では、低コスト化、高効率化など実用化の研究が行われており、海水淡水化プラントの建設が加速的に進んでいる⁽¹⁾。また最近では、膜分離の次世代技術として正浸透膜を用いた正浸透法が注目されている。正浸透法は、逆浸透法のように塩水側に力を加える必要がなく、エネルギーコストが非常に低いのが特徴である。正浸透法では、駆動溶液の膜近傍に操作溶液から透過してきた水によって部分的な低濃度の領域いわゆる濃度分極層が形成され、透過が阻害されていると考えられる⁽²⁾。本研究では正浸透法における透過流量の向上を目的としている。まずこの濃度分極層を可視化することにより透過に影響を及ぼす分布とその大きさを確認し、次にこの濃度分極を抑える方法を検討する。

2. 透過の可視化実験 (実験 1)

2-1. 実験方法

図 1 に示す 2 つの条件について温度計測を行った。計測は赤外線サーモグラフィ (testo 社 885) を用いて、塩水側の膜表面から 6mm までの時間的な温度変化をみた。初めに図 1(A) に示すように両側に温度だけが異なる (25°C, 15°C)、同濃度の塩水 3.5%, 7%, 10.5% を入れて測定し、続いて図 1(B) に示すように片側に 15°C の蒸留水と反対側に 25°C で 3.5%, 7%, 10.5% の塩水を入れた場合の測定を行った。測定時間は 15 分間でサンプリング間隔は 3 秒とした。両者の測定結果より塩水と蒸留水の測定値 (図 1 (B)) から塩水同士の場合の熱移動の測定値 (図 1 (A)) の差から熱伝導による熱移動を無視し、透過した水による熱移動のみが得られると考えた。この熱移動による温度差の温度差が収束するポイントまでが透過した水によって形成された濃度分極層だと考えると、時間経過に従い温度差が現れるポイントの変化を調べることで濃度分極層の成長速度が求められると考えた。

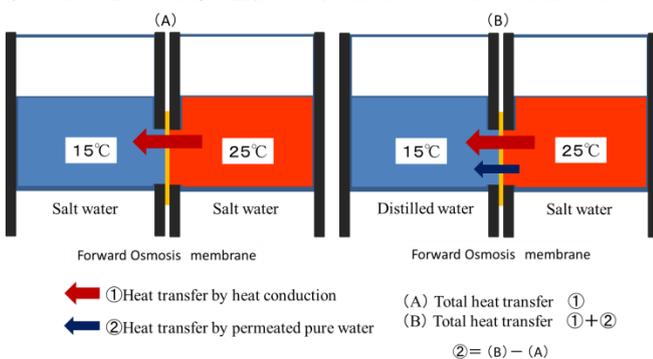


Fig.1 Heat transfer in experiment equipment

2-2. 実験結果と考察

図 2 に赤外線サーモグラフィの撮影画面、図 3 から図 5 に 3.5% から 10.5% までの塩水側に形成された濃度分極層と時間の関係を示す。

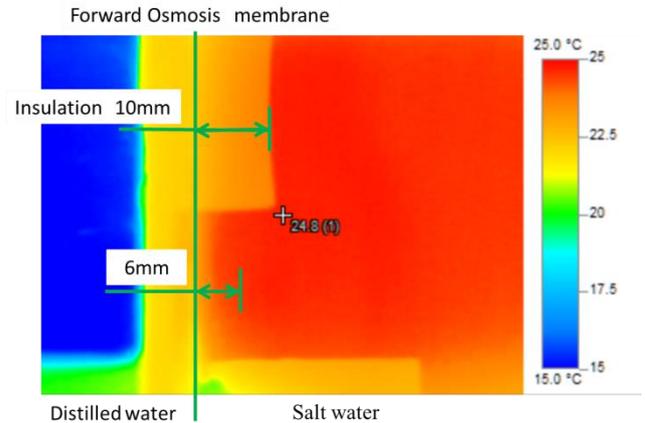


Fig.2 Infrared thermography shooting screen

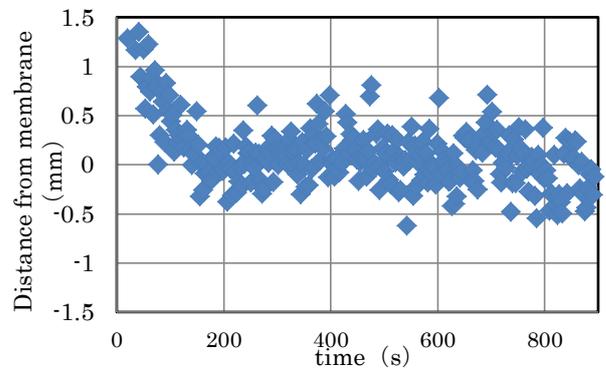


Fig.3 Relationship between concentration polarization layer and time at salinity concentration of 3.5%

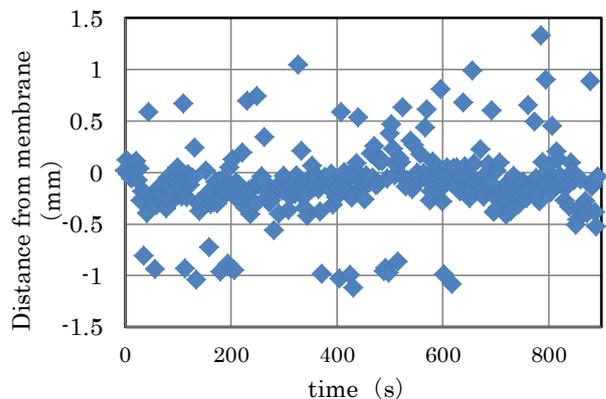


Fig.4 Relationship between concentration polarization layer and time at salinity concentration of 7%

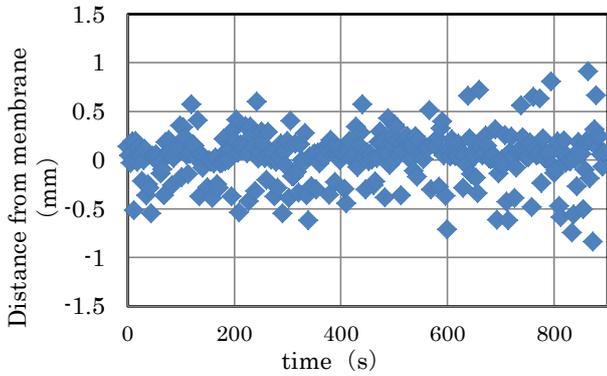


Fig.5 Relationship between concentration polarization layer and time at salinity concentration of 10.5%

塩分濃度 3.5% で 100 秒までに違いが見られたが、それ以降では温度変化が無くなるまでの距離の変位がほぼ見られず、分極厚さの値はほぼ一定であった。分極厚さが測定できなかった原因について、透過流速が小さく水の透過による熱移動が熱伝導によるものより非常に小さく、時間的及び距離的に微小な変化であったので赤外線サーモグラフィでは測定できなかったからだと考えられる。

3. 透過量の測定(実験 2)

3-1. 実験方法

本実験では濃度分極層の影響を得るために透過流量を求めた。手法として水の透過による塩分濃度の変化を利用した。しかし、透過量が微量であると予測され分解能が低い塩分濃度計では測定を行うことができないため、分解能の高い電気伝導度の変化より塩分濃度の変化を求めた。図 6 に示すように塩分濃度と電気伝導度には低濃度では比例関係があることが分かっている。測定前後の塩分濃度を S 、 S' 、溶液質量を Q 、 Q' 、塩の質量は一定であるので

$$SQ = S'Q'$$

また電気伝導度は濃度に比例するので透過前後の電気伝導度を C 、 C' 比例定数を a とすると

$$C' = \frac{S}{S'} C$$

上の 2 式より

$$Q' = \frac{S}{S'} Q = \frac{C}{C'} Q$$

となるので、電気伝導度の変化比と塩水の初期質量の積の値が透過後の質量とおくことができる。

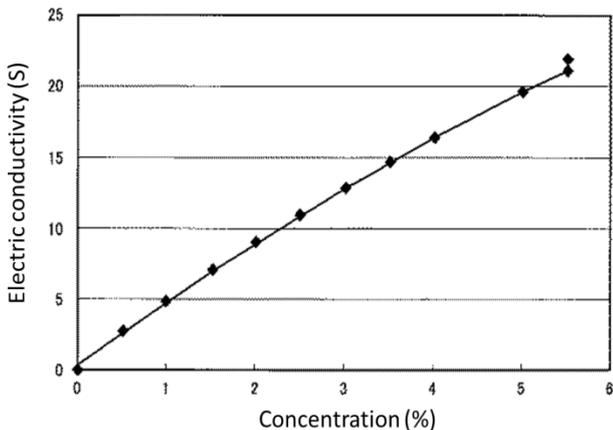


Fig.6 Relationship between conductivity and salt concentration⁽³⁾

実験 1 と同様に正浸透膜を挟んで濃度 7% の塩水と蒸留水を入れ、塩水側を攪拌機で回転させながら電気伝導度の測定を行った。測定時間は 300 分で間隔は 10 分で行い、攪拌回転数は 30rpm、330rpm、430rpm、660rpm、800rpm とした。

3-2. 結果と考察

図 7 に攪拌回転数を変えた透過量と時間変化を示す。

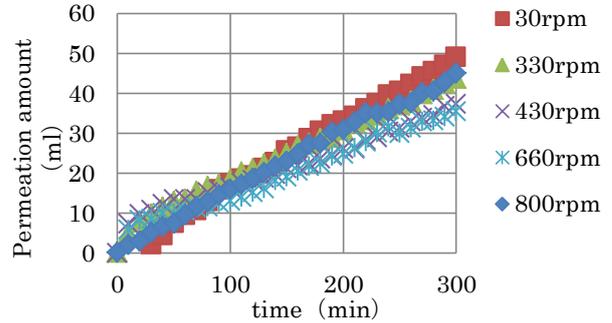


Fig.7 Relation between permeation amount and time

実験結果より透過量が時間経過に対しほぼ線型的に上昇していることが分かった。また、攪拌回転数を上げれば濃度分極の崩壊が促され透過流量が大きくなると考えられるが、本実験ではその傾向が見られなかった。ここで本実験装置の回転翼について攪拌レイノルズ数を算出してみると

$$Re = \frac{\rho nd^2}{\mu}$$

ρ : 密度 [kg/m^3] $\dots 1.05 \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$

d : 翼スパン [m] $\dots 40 \times 10^{-3} \text{m}$

n : 回転数 [rps]

μ : 粘度 [$\text{mPa} \cdot \text{s}$] $\dots 1.122 \times 10^3 \text{Pa} \cdot \text{s}$

30rpm : $Re=717$ 330rpm : $Re=7882$ 430rpm : $Re=10270$

660rpm : $Re=15765$ 800rpm : $Re=19109$

攪拌回転数 430rpm 以上で乱流状態 ($Re > 10000$) である為、十分に攪拌ができていると考えられる。したがって、攪拌回転数の上昇に伴う膜に加わる静圧の増加が原因だと考えた。つまり濃度分極の崩壊による影響に比べ静圧の増加の影響が大きかったと考えられる。

4. 結言

透過量の測定の実験結果の透過液の流速 $0.0682 \text{mm}/\text{min}$ より、透過の可視化実験の測定時間である 15 分の移動量を求めると 1.023mm であることが分かる。つまり、可視化実験のばらつきの幅と近い値が得られた。したがって、分極層は非常に小さく 1mm 未満だと考えられる。また、攪拌回転数と透過量に単純な相関が見られなかったことから流動状態が及ぼす濃度分極の崩壊以外の影響も考慮する必要があると考えられる。今回の実験装置では膜の面積が小さいため過量が小さくその影響を見るのが難しかった。今後は有効面積の大きい装置での実験による検証と有効な測定レンジである微小領域で高精度の測定を行うことや長いスパンでの変化を計測する方法が有用だと考えられる。

参考文献

- (1) ここまで来た膜分離プロセス—基礎から応用—
- (2) 神戸大学膜工学サロン 株式会社廣瀬製紙提供
- (3) astamuse 株式会社アタゴ濃度測定装置特許要項より