

浸透圧の新たな測定方法の検討

ものづくり先端技術研究室 1170143 前田 真次

1. 緒言

世界規模の人口増加に伴い、水不足の問題は今後さらに深刻になるといわれている。この問題を解決する技術の一つとして、RO(Reverse osmosis)膜による逆浸透法が用いられている。この方法は、膜と海水に圧力を付加させるポンプで構成されており、最も効率の良い海水淡水化技術である。現在は付加する圧力を低くしても、透過効率が低下しないRO膜の開発が進められている¹⁾。

一方、本研究では、正浸透法と呼ばれる圧力を付加させない膜にて海水淡水化が行える技術の構築に取り組んでいる。正浸透法を海水淡水化に用いるためには、駆動溶液の研究開発も必要である。駆動溶液には、浸透圧が海水より高いこと、純水と溶質の分離が容易なこと、溶質の再利用が可能で製造が容易であることなどの特性が必要であり、これらの中で高い浸透圧を有することは重要な項目である。これを調べるために、現在主に用いられる浸透圧測定方法は凝固点降下法や蒸気圧法である、しかし、これらの方法は、高濃度溶液やコロイド溶液の浸透圧を測定することが困難であり、測定する際の溶液温度が決められているなど、実際の使用条件下での浸透圧を得ることは難しい。そのため本研究では、簡便な方法でありながら高濃度溶液やコロイド溶液の浸透圧を測定する方法の確立を目指した。

2. 実験

2.1 実験方法

実験は図1のように、圧力センサーとバルブのついた駆動溶液側にNaCl溶液を入れ、バルブを閉める。正浸透膜を挟んで操作溶液側に蒸留水を入れると、NaCl溶液側への水の浸透が起こり、圧力が発生する。この圧力を圧力センサー(KEYENCE TH-08, AP-14)で測定し、データロガー(KEYENCE NR-500)を介して記録する。データのサンプリング周期は1sとした。使用した膜は、Hydration Technology Innovations社製である。また、膜の変形を抑えるために、焼結金属(SUS 304 濾過径 100 μ m)を支持体として用いた。

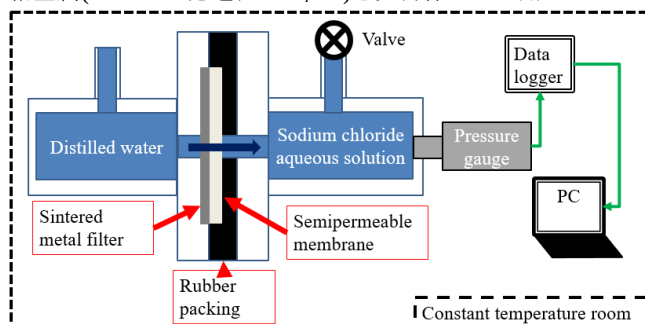


Figure 1 Experimental apparatus sectional view

本実験では、駆動溶液のNaCl水溶液の濃度を1 wt%, 1.5 wt%, 2 wt%, 2.5 wt%, 3 wt%, 3.5 wt%, 5 wt%, 7 wt%, 10 wt%とした。各溶液量は、駆動溶液が約88 mLで操作溶液が約98 mLである。雰囲気温度の変化による液体の膨張、収縮が発生して内圧が変化してしまう可能性があるため、雰囲気温度を15℃に設定された恒温槽で実験を行うこととした。

実験は各濃度につき3回行った。同濃度の実験は同じ膜を

使用することで、膜の性能変化が測定値に影響しないようにした。

測定終了後のNaClの透過を確認するため、NaCl溶液の塩分濃度、蒸留水の塩分濃度、焼結金属に保持された溶液の塩分濃度を実験終了時に確認した。このとき、焼結金属に保持された溶液の塩分濃度は、蒸留水側の液体を取り除いた後、図2に示すように、コンプレッサーエアーで押し出した溶液の測定を行った。

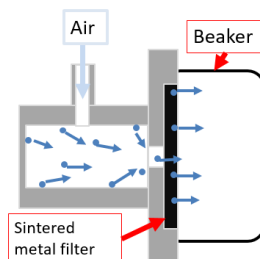


Figure 2 Sampling method flow

2.2 実験結果と考察

図3と4は、塩分濃度2 wt%と7 wt%の測定結果である。図3では、3回の測定値がほぼ一致しており、約1MPa付近で収束している。しかし、NaCl水溶液の濃度2 wt%の場合、理論上の浸透圧は1.5MPaであるのに対し、圧力の最大値が浸透圧に到達していない。図4では、3回の最大圧力が異なり、圧力が最大値に達した後、減少している。また、3回の最大圧力は、すべて理論上の浸透圧に到達していない。したがって、本方法により計測した圧力から直接浸透圧を求めることはできない。

実験終了時の塩分濃度測定から焼結金属に残った溶液にNaClが存在することが分かった。このNaClの透過流量とNaCl溶液濃度の関係を図5に示す。

しかし、圧力が上昇している部分において、同濃度の実験で同じ勾配を示している。これに着目し、圧力勾配と浸透圧の相関を調べ、浸透圧を推定することとした。実験データより圧力の上昇部の最大勾配を求め、溶液濃度とその勾配の関係を図6に示す。この結果より、10 wt%までの勾配の近似式として

$$\Delta P / \Delta t = 0.0979x + 0.0007 \quad (1)$$

を得た。これを3.5 wt%のNaCl溶液の浸透圧が2.4MPaという既知の値を用いて²⁾

$$\pi = 56.94x + 0.4071 \quad (2)$$

を導いた。

圧力勾配は図6より、NaCl濃度が3.5 wt%までの間で線形的に上昇している。図7はその部分を拡大したものである。さらに図5より、NaClの操作溶液への侵入は、濃度が3 wt%までの間でほとんどない。このことから、3 wt%までの濃度と圧力勾配の関係から近似式を求めた方がより正確になると考えた。図7より、近似式は上記と同様にして、

$$\Delta P / \Delta t = 0.176x - 0.0009 \quad (3)$$

を得た。これを3.5 wt%のNaCl溶液の浸透圧が2.4MPaという既知の値を用いて²⁾

$$\pi = 80.30x - 0.4106 \quad (4)$$

を導いた。

各濃度ごとの式(2), 式(4)の計算値及び実際の浸透圧を表 1, 2 に示す。計算値と実際の浸透圧を比較すると、濃度 10 wt% で浸透圧が計算値との違いが大きいことが分かる。これは、NaCl 溶液の浸透圧は、低濃度では、濃度に対して線形に近い形で上昇するが、高濃度になるにつれて、線形的な上昇から外れるため、その影響が表れたことが考えられる。一方で、濃度 3 wt%以下から求めた式(4)の計算値が低濃度での実際の浸透圧と異なっている。これについては、図 3 と図 4 を比べると、低濃度では圧力上昇が始まるまでに、時間がかかっていることが分かる、このことから、透過の際の膜及び焼結金属の圧力抵抗の影響で、実際の浸透圧以下になったものと考えられる。

また、図 4 より高濃度の NaCl 溶液を用いた実験について、時間が経過すると、圧力が下がり始める傾向が見られた。これは蒸留水側に NaCl が透過したことにより、浸透圧差が小さくなったからだと考えられる。

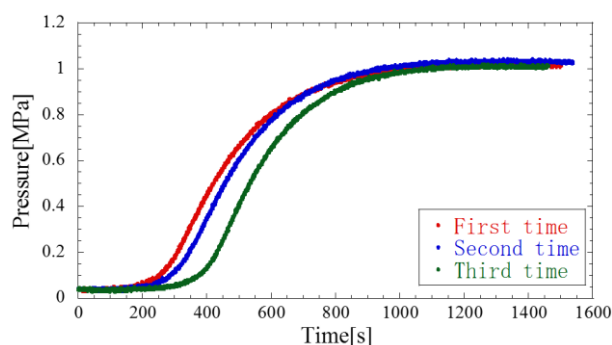


Figure 3 2% pressure measurement

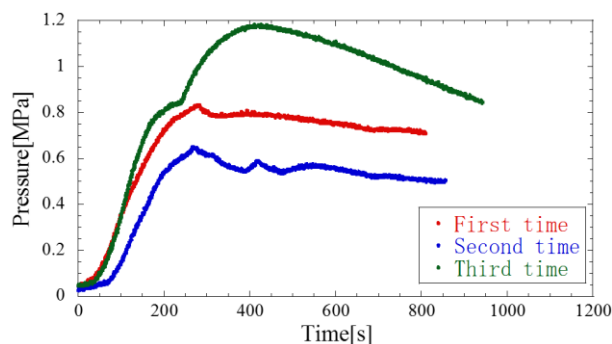


Figure 4 7% pressure measurement

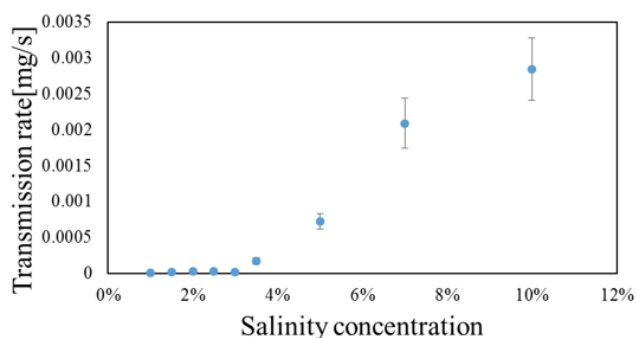


Figure 5 The permeation rate of sodium chloride to concentration

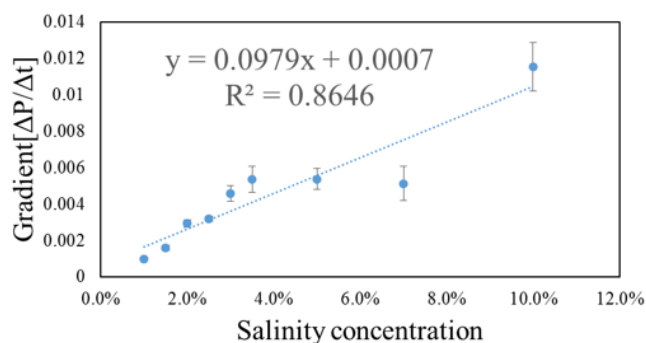


Figure 6 Pressure gradient to concentration

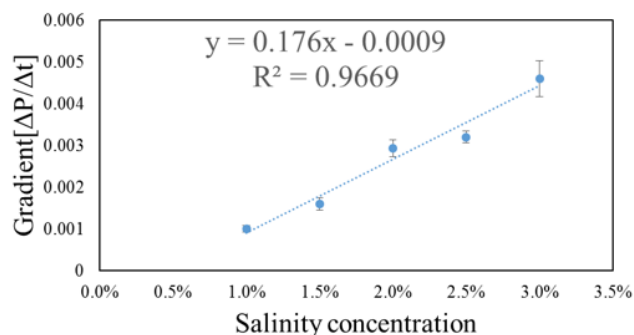


Figure 7 Pressure gradient to concentration

Table 1 Osmotic pressure and calculated value for each concentration

Salinity concentration	1.0%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%
Calculated value Eq.(2) [MPa]	1	1.3	1.6	1.8	2.1
Calculated value Eq.(4) [MPa]	0.4	0.8	1.2	1.6	2
Osmotic pressure [MPa]	0.8	1.1	1.5	1.9	2.1

Table 2 Osmotic pressure and calculated value for each concentration

Salinity concentration	3.5%	5.0%	7.0%	10.0%
Calculated value Eq.(2) [MPa]	2.4	3.3	4.4	6.1
Calculated value Eq.(4) [MPa]	2.4	3.6	5.2	7.6
Osmotic pressure [MPa]	2.4	3.9	5.5	8.3

3. 結言

本研究では、膜法浸透圧測定法を用いて、高濃度溶液の浸透圧を直接測定する方法について検討および実験を行った。実験結果より、圧力は理論上の浸透圧まで上がらなかった。そこで、NaCl 溶液について測定結果の圧力勾配から、浸透圧を求める方法について検討を行った結果、浸透圧の算出を行える可能性を示せた。また、データ数を増やすことで計算値の精度を上げることが可能と考える。今後の課題として、圧力測定値のばらつきを抑えるために、溶質の透過がないことや透過流束の大きいことなど、測定に最適な膜の選定が必要であり、溶液の攪拌や膜面積の増加などの実験装置の改良も必要である。また、駆動溶液(NaCl 溶液)、操作溶液(蒸留水)を変更した場合の実験による測定値の傾向を得る必要がある。

参考文献

- 1)熊野淳夫, 田中利考, 中空糸型海水淡水化用逆浸透膜の開発事例と実プラントの運転事例, 日本海水学会誌第 67 巻第 5 号 (2013)
- 2)科学工学資料のページ, <http://chemeng.in.coocan.jp/>