

発表番号 20 (0309)

親・疎水性を制御可能なグラフト鎖を有する 高選択性陰イオン交換膜の開発

助成研究者:比嘉 充(山口大学工学部応用化学工学科)

共同研究者:松崎浩司、(山口大学大学院医学研究科)

:堀 憲次、上村明男、遠藤宣隆(山口大学工学部応用化学工学科)

【緒言】本研究では IPN 構造を有するイオン交換膜を合成し、ポリビニルアルコール(PVA)やポリスチレンなどの主鎖に N-イソプロピルアクリルアミドを重合し、高分子アニオンとブレンドすることで、荷電基の周りの親・疎水性雰囲気を温度により制御可能なグラフトポリマーを合成する。そしてこのポリマーの荷電基の種類や共重合組成、グラフト重合における疎水性側鎖の種類、グラフト長さ、及びこのポリマーを用いて製膜したときの架橋条件などの重合及び製膜条件と、膜抵抗、電気透析や拡散透析系におけるイオン選択透過特性の評価を行うことで、より高効率、高選択透過性を有する陰イオン交換膜の開発を行う。

【実験】〈製膜〉PVA [Aldrich Chemical Co.]の DMSO 溶液に NIPAAm[和光純薬]モノマーを所定量入れ、過硫酸カリウムを重合開始剤として *in situ* 重合した。このポリマーと PVA、ポリアリルアミン塩酸塩を DMSO に溶解してキャスト製膜した。この膜をグルタルアルデヒド溶液に浸漬させることで架橋処理を行った。

〈膜荷電密度の測定〉試料膜を濃度の異なる KCl 溶液中で膜電位を測定することで膜荷電密度を算出した。

〈透過実験〉作製した温度応答性ゲル膜のイオン透過の温度制御を行うために、10°C、50°Cで拡散透析実験を行った。両セルの間に膜を挟み、Cell IIには $1 \times 10^{-2} \text{M}$ NaF-NaNO₃ 混合水溶液を、Cell Iには $1 \times 10^{-4} \text{M}$ NaF-NaNO₃ 混合水溶液を入れた系における Cell Iの F⁻イオンと NO₃⁻イオン濃度の時間変化をイオンクロマトグラフにより測定した。

【結果と考察】NO₃⁻イオンの透過係数 P_{NO_3} 、F⁻イオンの透過係数 P_F と PVA 含有量(C_{PVA})との関係を検討した結果、10°Cの場合においては、低 PVA 含有量では $P_F > P_{NO_3}$ 、高 PVA 含有量では $P_F < P_{NO_3}$ となり、これらのイオン間の選択透過性が大きく変化することが判明した。これは PVA 含有量の増加につれて膜含水率が低下し、イオン移動度の寄与が強くなることで、水和半径の大きな F⁻イオンに対する NO₃⁻イオンの透過性が高くなったことが考えられる。また PVA 含有量が低い場合は $P_F > P_{NO_3}$ 、高い場合は $P_F < P_{NO_3}$ という異なった選択透過性を示すことの原因として分配係数の寄与が大きいと考えられる。これは PVA 含有量により膜とイオン間の親和性が大きく変化するため、PVA 含有量が低い場合、NO₃⁻イオンよりも F⁻イオンの分配係数が高くなり、PVA 含有量が高い場合は F⁻イオンよりも NO₃⁻イオンの分配係数が高くなった結果、PVA 含有量により選択透過性が大きく変化したと考えられる。これまで F⁻イオンと NO₃⁻イオンの選択透過性を有するイオン交換膜がいくつか研究報告されているが、選択透過性が大きく変化する膜の作製は報告されていない。さらにこの膜の親水性度を大きく変化させることで、より大きく選択透過性を制御できると考えられる。

以上の結果から、PVA、NIPAAm、PAAm から温度応答性正荷電膜を作製し、この膜の含水率と荷電密度を温度とポリマー組成の両方で制御できることが確認できた。ポリマー組成と温度により膜の親水性を温度制御するのみでなく、荷電密度も制御することにより、透過溶液に適した荷電密度で効率よく選択的にイオンを分離できることが期待できる。

親・疎水性を制御可能なグラフト鎖を有する 高選択性陰イオン交換膜の開発

助成研究者：比嘉 充（山口大学工学部応用化学工学科）

共同研究者：松崎浩司（山口大学大学院医学研究科）

共同研究者：堀 憲次（山口大学工学部応用化学工学科）

共同研究者：上村明男（山口大学工学部応用化学工学科）

共同研究者：遠藤宣隆（山口大学工学部応用化学工学科）

【緒言】

都市への人口集中が進む現在、飲料水の確保は世界中で大きな問題となっている。これに対して、過剰肥料の施肥、畜産廃棄物の農地還元などによる硝酸イオン、ガラス加工などから排出されるフッ化物イオン等、これら人間活動の結果による地下水などの水資源の汚染は深刻である¹⁾。硝酸イオンはメトヘモグロビン血症、フッ素イオンは斑状歯などの原因となる²⁾。そのためこれら有害イオンの地下水からの除去が強く望まれている。現在沈殿法、イオン交換法、吸着法による有毒イオン除去の研究が行われている。より省エネルギーである電気透析法が最近注目されているが、従来の陰イオン交換膜はこれらの有害イオンの透過性が低く高効率の除去が困難であった³⁻¹²⁾。また製塩では塩化物イオンを選択的に透過させることが出来ればエネルギー効率を高めることが出来る。これらのことから高選択性陰イオン交換膜の開発が強く求められている。

申請者はこれまで荷電基を有するポリビニルアルコール（PVA）と、N-イソプロピルアクリルアミド（NIPAAm）をPVAにグラフトしたポリマーが相互貫入網目（IPN）構造を形成するイオン交換膜を作製した。この膜は32を境としてポリNIPAAm(PNIPAAm)の親・疎水性が変化するため¹³⁻¹⁶⁾、温度変化により、膜中への各種陰イオンの分配係数が大きく変化し、この膜におけるこれ

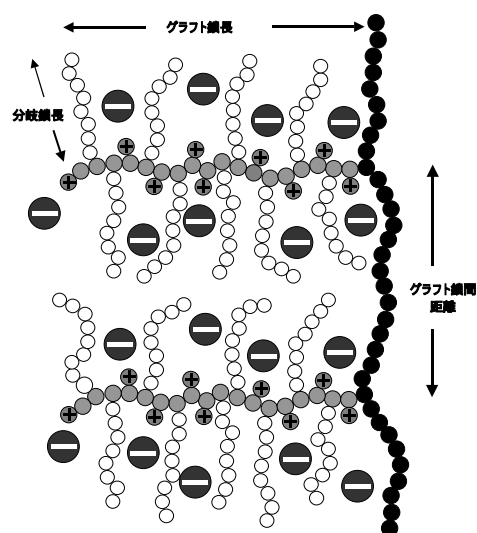


Fig. 1 Schematic diagram of an anion-exchange membrane prepared from a graft polymer with hydrophilic segments.

ら陰イオンの選択透過性が制御可能であることが判明した。

本研究ではこの結果に基づいて、IPN構造を有するイオン交換膜を合成し、さらに図1に示すようにPVAやポリスチレンなどの主鎖にNIPAAmと荷電基を有するモノマーを共重合することで、荷電基の周りの親・疎水性雰囲気をも温度により制御可能なグラフトポリマーを合成する。そしてこのポリマーの荷電基の種類や共重合組成、グラフト重合における疎水性側鎖の種類、グラフト長さ、及びこのポリマーを用いて製膜したときの架橋条件などの重合及び製膜条件と、膜抵抗、電気透析や拡散透析系におけるイオン選択透過特性の評価を行うことで、より高効率、高選択透過性を有する陰イオン交換膜の開発を行う。

【実験】

ポリマー合成 PVA [Aldrich Chemical Co.]のDMSO溶液にNIPAAm[和光純薬]モノマーを所定量入れ、重合開始剤として過硫酸カリウムを入れた。30分間アルゴンガスでバブリングした後、この溶液を40℃、20時間 *in situ* 重合した。得られた反応溶液を80℃のイオン交換水中に沈殿させることで未反応のNIPAAmモノマーを除去し、得られたポリマーを50℃で乾燥させた。

製膜1 - 温度応答性ゲル膜 *in situ* 重合により得られたポリマー(所定量)とPVA(所定量)をDMSOに2日間加熱攪拌により溶解させた。その後、攪拌しながら室温で放冷し、直径15cmのガラスシャーレにキャストした。50℃で乾燥後、得られた膜を160℃、20minで熱処理し、乾燥重量(D_w)、乾燥膜厚(D_d)を測定した。2M NaCl水溶液に一晩浸漬させた後、0.1M HCl - 2M NaCl - 0.01vol%GA水溶液に浸漬させることで、架橋処理を行った。その後、イオン交換水に4日間浸漬させた。

製膜2 - 温度応答性正荷電膜 *in situ* 重合により得られたポリマー(所定量)とPVA(所定量)、ポリアリルアミン塩酸塩(PAAm)(所定量)のポリマー溶液を温度応答性ゲル膜の場合と同じ手順でガラスシャーレにキャスト後、熱処理し、グルタルアルデヒド架橋した。

含水率の測定 作製した膜の含水率(H)は、熱処理後の乾燥重量 D_w [g]と各温度のイオン交換水中における膨潤平衡時の湿潤重量 W_w [g]を式(1)に代入することで算出した。

$$H = \frac{(W_w - D_w)/1.0}{(W_w - D_w)/1.0 + (D_w/1.3)} \quad (1)$$

ここで 1.0 と 1.3 はそれぞれ水とポリマーの比重を示している。

分配係数の測定 所定温度において 100ml の 1.0×10^{-3} M NaF-NaNO₃ 混合水溶液に作製した膜を 1h 浸漬させ、さらに同じ濃度の NaF-NaNO₃ 混合水溶液に膜を移し変えて 15h 浸漬させた。その後、25 ℃ で 1.0×10^{-3} M Na₂SO₄ 水溶液 30ml に膜を 15h 浸漬させた。F-イオンと NO₃-イオンの濃度決定をするために、イオンクロマトグラフを用いた。

分配係数 K_i は式 (2) と式 (3) から算出した。

$$K_i = \frac{\bar{C}_i}{C_i} \quad (2)$$

$$\bar{C}_i = \frac{V \times C}{W_w - D_w} \quad (3)$$

ここで式 (2) において、 \bar{C}_i は膜中のイオン濃度 [mol dm⁻³]、 C_i は外部溶液イオン濃度 [mol dm⁻³] を示している。また式 (3) において水の比重を 1.0 とし、 C はイオンクロマトグラフを用いて測定した F-イオン、NO₃-イオン濃度 [mol dm⁻³]、 V は Na₂SO₄ 水溶液体積 [ml]、 W_w は膜の湿潤重量 [g]、 D_w は膜の乾燥重量 [g] を示している。

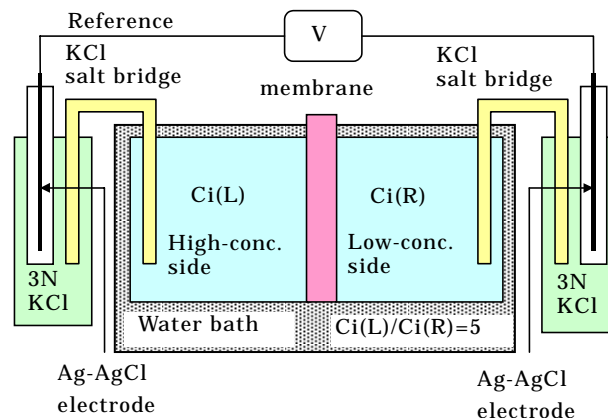


Fig.2 Apparatus of membrane potential measurements.

膜荷電密度の測定 試料膜を図 2 に示す測定装置を構成する 2 つのセルの間に挟み、その 2 つのセルに濃度の異なる KCl 水溶液を入れた。そして、両セルの濃度比 $r = 5$ に保ったまま、両セルの濃度を変化させて膜電位を測定した。このとき電位は高濃度側を基準とした。低濃度側 KCl 濃度、 C_o と測定膜電位 $\Delta\phi$ との関係は Teorell-Meyer and Sievers 理論¹⁷⁻¹⁸⁾により以下の理論式 (4) で与

えられる。

$$\Delta\phi = -\frac{RT}{F} \ln \left(r \cdot \frac{\sqrt{C_x^2 + (2C_o)^2} - C_x}{\sqrt{C_x^2 + (2rC_o)^2} - C_x} \right) - \frac{RT}{F} W \ln \left(\frac{\sqrt{C_x^2 + (2rC_o)^2} - C_x W}{\sqrt{C_x^2 + (2C_o)^2} - C_x W} \right) \quad (4)$$

ここで、

$$W = \frac{\omega_c - \omega_a}{\omega_c + \omega_a}$$

- $\Delta\phi$: 膜電位 [V]
- C_x : 膜荷電密度 (荷電基の符号を含む) [mol m⁻³]
- C_o : 低濃度側セルの塩濃度 [mol m⁻³]
- ω_c, ω_a : カチオン、アニオンの移動度 [mol m² J⁻¹s⁻¹]
- F : ファラデー定数 [C mol⁻¹]
- R : ガス定数 [J K⁻¹ mol⁻¹]
- T : 絶対温度 [K]

拡散透析実験 作製した温度応答性ゲル膜のイオン透過の温度制御を行うために、Fig.3 に示す系で 10、50 で拡散透析実験を行った。両セルの間に温度応答性ゲル膜を挟み、Cell には 1 × 10⁻²M NaF-NaNO₃ 混合水溶液を 400ml、Cell には 1 × 10⁻⁴M NaF-NaNO₃ 混合水溶液を 100ml 入れた。Cell における F⁻イオンと NO₃⁻イオン濃度の時間変化はイオンクロマトグラフにより測定した。

透過係数 P_i [m² s⁻¹]を式 (5) から算出した。

$$P_i = \frac{V_0 \cdot d \cdot \Delta C_i^I}{(C_{i,0}^L - C_{i,0}^R) \cdot S \cdot \Delta t} \quad (5)$$

ここで V は Cell の体積[m³]、 d は膜厚[m]、 C_i^L 、 C_i^R はそれぞれ Cell 及び Cell のイオン濃度[mol dm⁻³]、 S は有効膜面積[m²]、 C_i / t は初期濃度勾配[mol dm⁻³ s⁻¹]である。

選択透過係数()は式(6)に F⁻イオンの透過係数(P_F)、NO₃⁻イオンの透過係数(P_{NO_3})を代入することにより算出した。

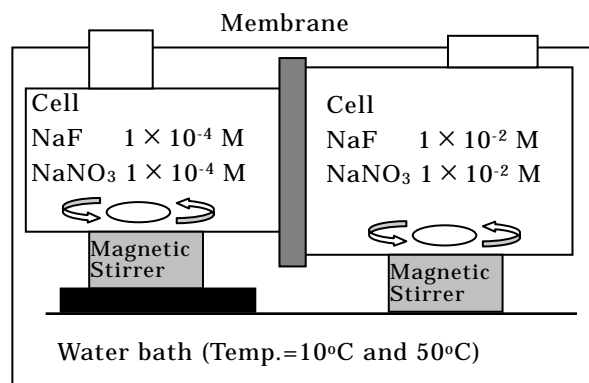


Fig.3 Apparatus for permeation experiment.

$$\alpha \frac{P_{NO_3}}{P_F} \quad (6)$$

【結果と考察】

Fig.4 に温度応答性ゲル膜の PVA 含有量 (C_{PVA}) と含水率 (H) との関係を示す。この膜の含水率はどのポリマー組成においても 10 の方が 50 より高かった。これは膜中に含有される PNIPAAm が昇温により親水性から疎水性へ変化するためである。10 では PVA 含有量が増加するにつれて含水率が減少した。これは 10 では PNIPAAm より PVA の方が親水性が低いためである。一方、50 では PNIPAAm よりも PVA の親水性が高いため、PVA

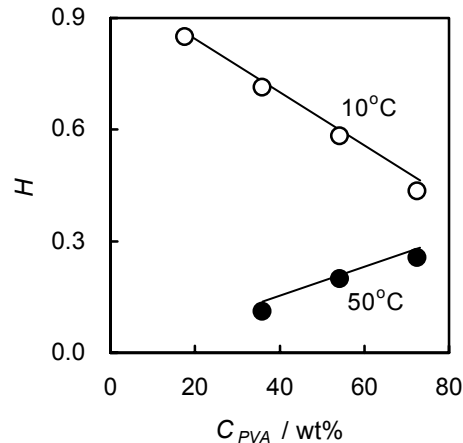


Fig.4 The water content, H , as a function of PVA content, C_{PVA} . Glutaraldehyde concentration is 0.01vol%.

含有量が増加するにつれて含水率は増加した。この結果は、温度応答性ゲル膜の親水性度が温度とポリマー組成の両方により制御可能であることを示し、この両方のパラメータにより F^- イオンと NO_3^- イオンの選択透過性を制御できることが予想される。

次に、Fig.5 に PVA 含有量と分配係数との関係について示す。10 では PVA 含有量が低い場合、 F^- イオンの分配係数の方が NO_3^- イオンよりも高かった。一方、PVA 含有量が高い場合、 NO_3^- イオンの分配係数の方が F^- イオンよりも高かった。PVA 含有量が少なくなるにつれて膜の親水性が高くなるため、膜と F^- イオンの親和性が増加すると考えられる。一方 50 の場合、PVA 含有量に関わらず、 NO_3^- イオンの分配係数の方が F^- イオンよりも高かった。50 の場合、膜の親水性が低くなるため、膜と NO_3^- イオンの親和性が高くなる。また PVA 含有量が増加するにつれて F^- イオンの分配係数に比べ NO_3^- イオンの分配係数が大きく減少した原因は、PVA 含有量が増加するにつれて、膜の親水性が高くなったからと思われる。以上の結果からも、温度と PVA 含有量によりイオン選択透過性を制御可能であることが予想される。

温度応答性ゲル膜を用いて 10 で透過実験を行った時のイオン濃度の時間変化を Fig.6 に示す。濃度 時間曲線の傾きからそれぞれのイオンの透過係数 (P_i)を算出した。

Fig.7 は 10、50 での透過係数と PVA 含有量 (C_{PVA}) との関係を示す。PVA

含有量が増加するにつれて、10 では F⁻イオンの透過係数(P_F)、NO₃⁻イオンの透過係数(P_{NO_3})共に減少したが、50 では増加した。透過係数は拡散係数の関数であるため、Mackie and Mares 理論式¹⁹⁾に依存する。

$$\bar{\omega}_i = \frac{H^3}{(2-H)^2} \omega_i \quad (7)$$

この理論式は膜中のイオン移動度は膜含水率に依存することを示唆し、Fig.4 で示したように、PVA 含有量が増加するにつれて、10 では含水率が低下し、50 では増加したため、透過係数も同じ傾向を示したと考えられる。

Fig.8 は選択透過性()と PVA 含有量(C_{PVA})との関係を示す。50 に比べ、10 の場合、選択透過性が PVA 含有量が低い場合は 1 以下、高い場合は 1 以上と大きく変化した。上述したように PVA 含有量の増加につれて拡散係数が減少し、透過性が減少した結果、F⁻イオンに対する NO₃⁻イオンの選択透過性が高くなったことが考えられる。PVA 含有量が低い場合は $P_F > P_{NO_3}$ 、高い場合は $P_F < P_{NO_3}$ となるように選択透過性を大きく制御できることは、Fig.5 で示した分配係数の寄与が大きいと考えられる。これは、PVA 含有量が低い場合 NO₃⁻イオンよりも F⁻イオンの分配係数の方が高くなり、PVA 含有量が高い場合は F⁻イオンよりも NO₃⁻イオンの分配係数の方が高くなるように、膜とイオンの親和性が大き

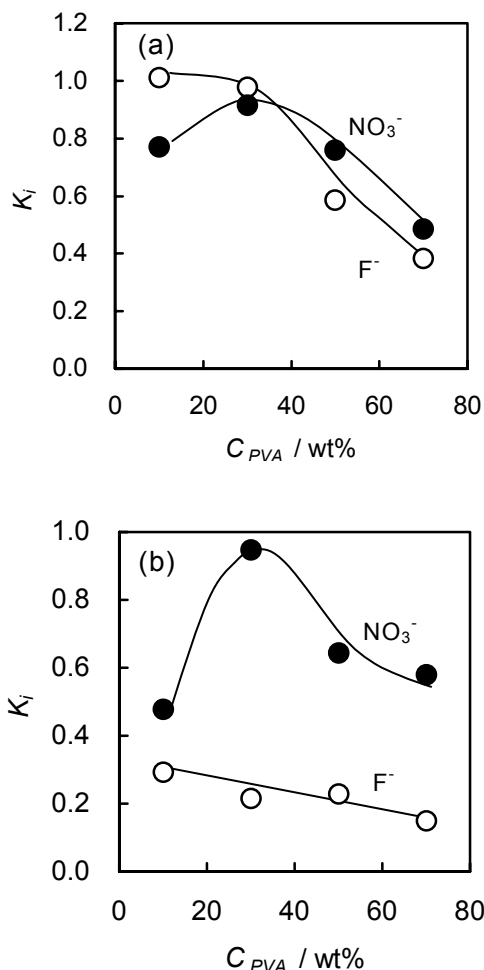


Fig.5 Partition coefficient, K_i , as a function of PVA content, C_{PVA} . (a) 10°C, (b) 50°C.

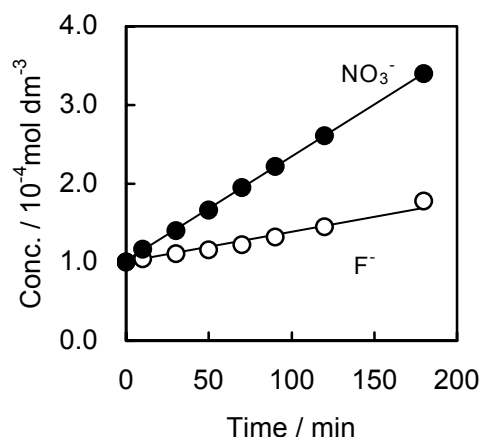


Fig.6 Time-concentration curves through the temperature-responsive gel membrane at 10°C. C_{PVA} , 54wt%; Glutaraldehyde concentration, 0.01vol%.

く変化した結果、低 PVA 含有量の場合に $P_F > P_{NO_3}$ となったと考えられる。これまで F⁻イオンと NO₃⁻イオンの選択透過性を有するイオン交換膜がいくつか研究報告されているが、選択透過性が大きく変化する膜の作製は報告されてない。さらにこの膜の親水性度を大きく変化させることで、より大きく選択透過性を制御できる膜の作製が期待できる。

本研究では架橋時におけるグルタルアルデヒド濃度と透過性との関係についても調べた。ここでは図は示さないが、グルタルアルデヒド濃度が増加するにつれて、 P_F 、 P_{NO_3} は共に減少した。グルタルアルデヒド濃度が増加するにつれて、PVA のヒドロキシル基が減少し、膜の親水性が低下するためだと考えられる。

以上の結果より、本研究では膜マトリクスの親水性を制御することによりイオン選択透過性が大きく変化することを明らかにすることができた。この膜は中性膜であるが、正荷電膜にすることにより、アニオンのみを選択的に分離できる膜を作製することが期待できる。そこで、我々は温度応答性ゲル膜に高分子カチオンである PAAm を加えた温度応答性正荷電膜を作製し、その膜の含水率、荷電密度が温度とポリマー組成によりどのように変化するか調べた。

Fig.9 は温度応答性正荷電膜の含水率(H)と PAAm 含有量(C_{PAAm})との関係を示す。PAAm 含有量が増加するにつれて、低温、高温共に含水率は増加することが判明した。これは PAAm 含有量が増加するにつれて、膜内の浸透圧が増加するためである。この結果から、PAAm 含有量の増加につれて、膜の親水性が増加することを確認できた。また 25 の含水率の方が 50 よりも高いことが

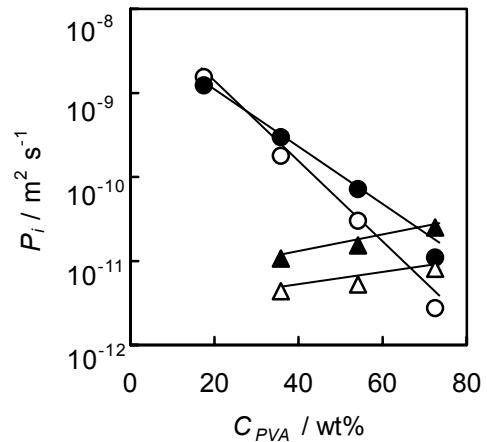


Fig.7 Permeability coefficient of anions, P_i , vs. PVA content, C_{PVA} .
Glutaraldehyde concentration, 0.01vol%.
●: NO₃⁻ ion at 10°C, ○: F⁻ ion at 10°C,
▲: NO₃⁻ ion at 50°C, △: F⁻ ion at 50°C.

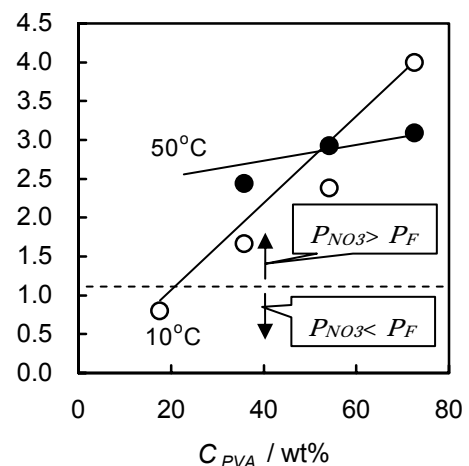


Fig.8 The permselectivity between nitrate and fluoride ions, $\frac{P_{NO_3}}{P_F}$, as a function of PVA content, C_{PVA} .
Glutaraldehyde concentration, 0.01vol%.

ら、低温の方が膜の親水性が高いことも確認できた。

Fig.10 は温度応答性正荷電膜の荷電密度(C_x)と PAAm 含有量(C_{PAAm})との関係を示す。PAAm 含有量が増加するにつれて、25 では荷電密度はほぼ一定の値を示したが、50 では大きく減少した。25 に比べ 50 の場合は含水率が低いため、PAAm 含有量による荷電密度の変化が大きくなると考えられる。また、含水率と同様、荷電密度も温度により制御できることがわかった。

以上の結果から、PVA、NIPAAm、PAAm から温度応答性正荷電膜を作製し、この膜の含水率と荷電密度を温度とポリマー組成の両方で制御できることが確認できた。ポリマー組成と温度により膜の親水性を温度制御するのみでなく、荷電密度も制御することにより、透過溶液に適した荷電密度で効率よく選択的にイオンを分離できることが期待できる。

【結論】

本研究では、PVA、NIPAAm から温度応答性ゲル膜を作製し、この膜の親水性度がポリマー組成と温度により制御可能であることを明らかにし

た。PVA 含有量が低い場合は $P_F > P_{NO_3}$ 、高い場合は $P_F < P_{NO_3}$ となるように、膜とイオンの親和性を制御することにより、選択透過性を大きく変化させることができた。さらに、PVA 含有量が低い場合は 50 では $P_F < P_{NO_3}$ 、10 では $P_F > P_{NO_3}$ となり、温度変化のみで選択透過性を制御することができた。

さらにアニオンのみを選択的に分離するために、PVA、NIPAAm、PAAm から膜の親水性と荷電密度をポリマー組成と温度により制御可能な温度応答性正荷電膜を作製することができた。この膜を用いることにより、より効率の高い

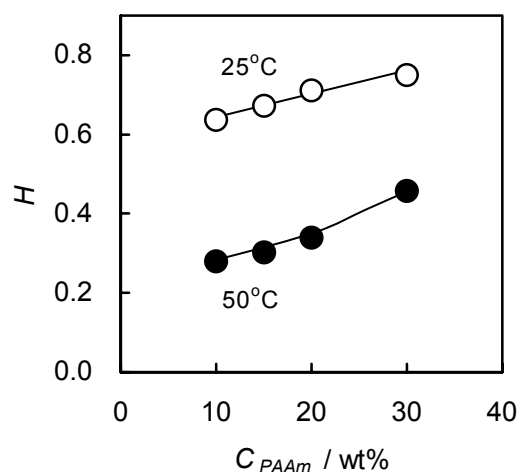


Fig.9 The water content, H , as a function of PAAm content, C_{PAAm} .

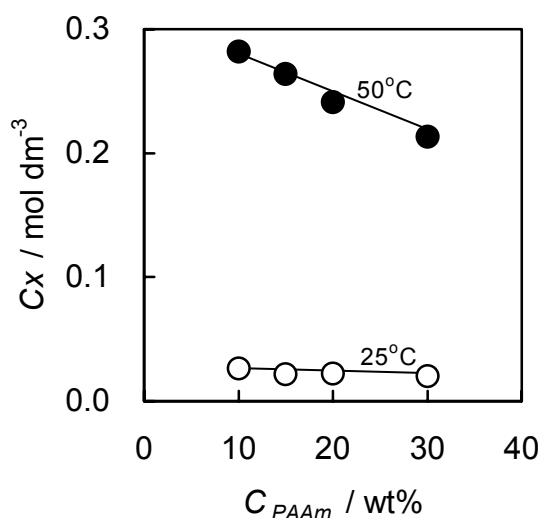


Fig.10 The charge density, C_x , as a function of PAAm content, C_{PAAm} .

特定イオンの選択的な分離が期待できる。

【参考文献】

- [1] <http://www2.water-forum3.com/survey/files/E063.doc>
- [2] <http://www.uwsp.edu/water/portage/undrstnd/blbaby.htm>
- [3] T. Sata, *J. Membrane Sci.*, **93**, 117 (1994).
- [4] M. Nishimura, M. Sugihara, M. Morioka, and M. Okita, *Kogyo Kagaku Zasshi*, **70**, 1040 (1967).
- [5] Y. Kosaka and H. Shimidzu, Jpn. Pat. 294, 387 (1961).
- [6] T. Kawahara, H. Ihara and Y. Mizutani, *J. Appl. Polym. Sci.*, **33**, 1343 (1987).
- [7] T. Sata, T. Funakoshi and K. Akai, *Macromolecules*, **29**, 4029 (1996).
- [8] T. Sata, T. Yamaguchi, K. Matsusaki, *J. Membrane Sci.*, **100**, 229 (1995).
- [9] T. Sata, K. Teshima and T. Yamaguchi, *Journal of Polymer Science: Part A: Polymer Chemistry*, **34**, 1475 (1996).
- [10] M. Higa and Y. Tagami et al., *Trans. Mat. Res. Soc. J.*, **24**(2), 187 (1999).
- [11] T. Sata and K. Mine et al., *J. Chem. Soc., Faraday Trans.*, **94**(1), 147 (1998).
- [12] H. Ohotani, Hydration of Ions, Kyoritsu Shuppan, Tokyo, 30 (1992).
- [13] S. Kurihara, S. Sakamaki, S. Mogi, T. Ogata and T. Nonaka, *Polymer*, **37**, 1123 (1996).
- [14] G. Chen, A. S. Hoffman, *Nature*, **373**, 49 (1995).
- [15] T. Shimizu, M. Yamato, A. Kikuchi, T. Okano, *Biomaterials*, **24**(13), 2309 (2003).
- [16] H. Kanazawa, Y. Matsushima, T. Okano, *Source Adv. Chromatogr*, **41**, 311 (2001).
- [17] T. Teorell, *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, **33**, 282(1935).
- [18] K. H. Meyer and J.-F. Sievers, *Helv. Chim. Acta*, **19**, 649(1936).
- [19] J.S. Mackie and P. Meares, *Proc. R. Soc. London*, **232**, 498A (1955).

Permselectivity between anions through anion exchange membranes whose graft chains can control their hydrophobicity

Mitsuru Higa¹, Koji Matsusaki², Kenji Hori¹, Akio Kamimura¹ and Nobutaka Endo¹

¹Department of Applied Chemistry and Chemical Engineering, Yamaguchi University

²Applied Medical Engineering Science, Graduate School of Medicine, Yamaguchi University

Summary

We made hydrogel membranes that has permselectivity between nitrate and fluoride ions. A temperature-responsive polymer was obtained by *in situ* polymerization of *N*-isopropylacrylamide in a poly(vinyl alcohol)(PVA) solution. A non-charged membrane was prepared from the polymer and by crosslinking it with a glutaraldehyde(GA) solutions, changing PVA content, C_{PVA} , and GA concentration, C_{GA} , in order to investigate the effect of hydrophilicity of the membrane on the permeability of nitrate and fluoride ions. An anion exchange membrane was also prepared from the polymer obtained and poly(allylamine). The permeation experiment in a dialysis system consisting of the non charged membrane and mixed salt solutions shows that the permeability coefficient of fluoride ions, P_F , is higher than that of nitrate ions, P_{NO_3} , when C_{PVA} is low. On the other hand, P_{NO_3} is higher than P_F when C_{PVA} is high because the hydrophilicity of the membrane decreases with C_{PVA} . Both P_{NO_3} and P_F decrease with increasing C_{GA} because the hydrophilicity of the membrane decreases with increasing C_{GA} . These results indicate that the permselectivity of anions with same sign and same valence through a membrane can be controlled by changing the hydrophilicity of the membrane.

The water content of the anion exchange membrane at 25°C has higher values than that at 50°C and the values both at 25°C and at 50°C increase with increasing of the PAAm content in the membrane, C_{PMAA} . The membrane potential experiments show that the membrane charge density of the anion exchange membrane at 50°C has higher values than that at 25°C because of the difference of the water content at the two temperatures. The permselectivity across the anion exchange membrane will also be controlled by changing temperature.