

耐汚染性を示す陰イオン交換膜の開発とファウリング機構の解明 (II)

比嘉 充¹, 堀 憲次¹, 上村 明男², 遠藤 宣隆¹

¹山口大学大学院理工学研究科, ²山口大学大学院医学研究科

概要 【研究目的】 電気透析 (ED) は海水からの製塩や淡水化、食品の脱塩、有害イオンの除去など幅広い分野において応用されている。この中で特に食品分野などにおいて ED 装置を運転する場合、膜汚染 (ファウリング) が問題となっている。そこで本研究では、耐ファウリング性に優れた膜の開発のために、膜構造や膜マトリクスの異なる陰イオン交換膜を用いて有機汚染物質の汚染挙動について検討する。

【実験】 陰イオン交換膜 (Neosepta AMX, ASM, CMS, GMA 膜) 膜の膜含水率、膜抵抗、動的輸率を既存の測定方法で評価した。また、ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (DBS) を膜汚染物質として含む NaCl 溶液を使用した電気透析中の電極間電位の経時変化および DBS の膜への分配係数の測定を行った。

【結果と考察】 本研究で使用したすべての膜で有機汚染物質濃度、電流密度の増加に伴い $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きが促進された。有機汚染物質濃度の増加に伴い膜表面に付着する DBS が増加したためだと考えられる。また、電流密度の増加に伴い単位面積あたりに付着する DBS の量が増加したためだと考えられる。

また、同条件で膜ごとの比較を行うと、芳香族系膜では膜含水率の増加に伴い電極間電位の上昇率が減少した。これは膜含水率の増加に伴い膜構造がルーズとなりファウラントである DBS の膜透過性が増加したためだと考えられる。ほぼ同じ膜含水率を有する ASM 膜と GMA 膜では、GMA 膜の方が $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きが抑制された。

さらに、DBS の分配係数を測定すると、芳香族系膜では膜含水率の減少に伴い DBS の分配係数は増加した。これは膜含水率の減少に伴い膜構造が緻密になり、分子サイズの大きな DBS が膜表面に付着するためと考えられる。ASM 膜と GMA 膜を比較すると GMA 膜の方が低い分配係数を示した。ASM 膜は $\pi-\pi$ 相互作用によりファウリングが促進されるが、脂肪族系膜である GMA 膜は芳香族系膜よりもベンゼン環を有する DBS との親和性が低いためと考えられる。今回使用した 4 種類の膜の中で GMA 膜が最も耐ファウリング性に優れた膜だという事が判明した。

本研究において、ファウリング挙動は膜とファウラント間の相互作用により変化することが判明した。そして膜構造にファウラントとの相互作用の弱いマトリクスを使用することで耐ファウリング性を持つ膜が作製できることが示された。今後、作製条件を検討することによりさらなる耐ファウリング性に優れた膜の作製に期待できる。

1. 研究目的

電気透析 (ED) は海水からの製塩や淡水化、食品の脱塩、有害イオンの除去など幅広い分野において応用されている¹⁻¹²⁾。この中で特に食品分野などにおいて ED 装置を運転する場合、時間とともに印加電圧の上昇や電流効率の低下が生じることが多い。これは被処理液中の不純物による膜面の汚れが原因で膜抵抗が上がるためである。膜面の汚れには、スケール発生や、有機酸が膜面に付着

や閉塞を起こす有機ファウリングなどがある。Korngold ら¹⁰⁾はこのような膜汚染を機構の違いによって区別し、多価イオンや高分子量イオンの膜への不可逆的吸着や閉塞による汚染を「poisoning」とよび、コロイド粒子や泥状物の膜面への付着による汚染を「fouling」と呼んでいる。スケール発生は陽イオン交換膜、有機物ファウリングは陰イオン交換膜において多く生じる。しかしながら実際の膜汚染では、いずれの機構にもとづく汚染も同時に存在すると考え

られる。そこでここでは上記の膜汚染を総称してファウリングと呼ぶ。このようなファウリングが発生すると、重度の場合は膜の再生は不可能となるが、軽度の場合は分解して物理的に除去すると膜抵抗が低下する。**Fig. 1** にファウリング現象の模式図を示す。

前述のように膜のファウリングの原因は、水溶液中の電解質や、溶解している界面活性剤、微生物、微生物が生産する糖タンパク質など様々な物質(ファウラント)が膜に吸着することで起こる。イオン交換膜におけるファウリング対策として、膜表面の改質、薬液の投与、機械的除去等のアイデアが提案されたが未だファウリングによる問題解決が十分になされたとは言えない。

そこで本研究では、耐ファウリング性に優れた膜の開発のために、膜構造や膜マトリクス異なる陰イオン交換膜を用いて有機汚染物質の汚染挙動について検討するために、有機汚染物質濃度、電流密度変化における電極間電位の経時変化を測定する。そしてこの結果に基づいて膜の有機汚染メカニズムについて検討する。

2. 研究方法

2.1 使用試薬

Sodium Chloride [NaCl: ナカライテスク(株)]

Sodium linear-Alkyl-benzensulfonate

[DBS: 和光純薬工業(株)]

2.2 使用膜

○陽イオン交換膜

Neosepta CMX [CMX: (株)アストム]

○芳香族系陰イオン交換膜

Neosepta AMX [AMX: (株)アストム]

Neosepta ASM [ASM: (株)アストム]

CMS [試作膜]

○脂肪族系陰イオン交換膜

GMA [試作膜]

2.3 膜含水率測定

AMX、ASM、CMS、GMA 膜を 25°C で、0.5 mol dm⁻³ NaCl 水溶液に 24 時間浸漬させた。それらの膜から NaCl を取り除くために一度脱イオン水に浸漬させ、取り出した膜表面の水分をろ紙でふき取り、膜湿潤重量 W_a (g) を測定した。その後、膜を 60°C で 24 時間乾燥させ膜の乾燥重量 W_b (g) を測定した。膜含水率 W (-) は(1)式から求めた。

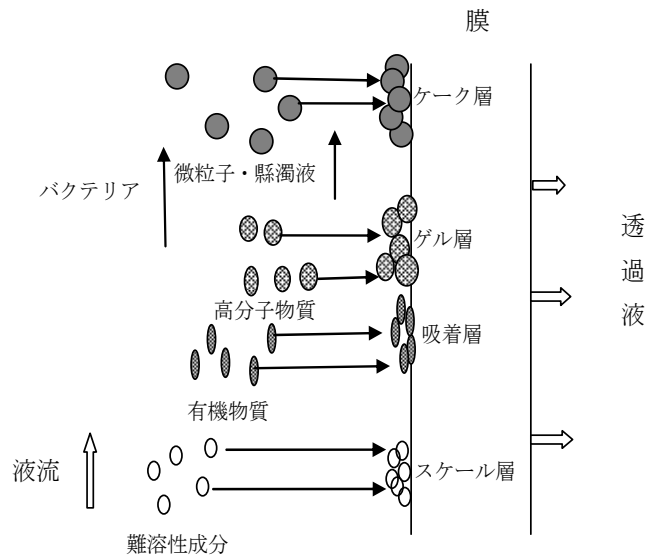


Fig. 1. Suggested mechanism of fouling on an ion exchange membrane

$$W = \left(\frac{W_a - W_b}{W_b} \right) \quad (1)$$

2.4 膜抵抗

測定する膜を有効膜面積 (1 cm²) に切り取り、0.5 mol dm⁻³ NaCl 水溶液に 2 時間浸漬させた。その後膜を **Fig. 2** に示す電気抵抗測定セルの白金黒電極間にはさみ、25°C 雰囲気下で溶液抵抗 (r_1) を測定した。その後膜を戻し、ブランク抵抗 (r_0) を測定した。これらの値と式(2)から膜抵抗 R_m を算出した。

$$R_m = r_1 - r_0 \quad (2)$$

r_0 : ブランク抵抗, r_1 : 溶液抵抗, R_m : 膜抵抗

2.5 動的輸率

動的輸率は、**Fig. 3** に示す自作二室セル(有効膜面積 8.0 cm²)に測定膜を挟み、所定時間 t 、所定電流密度 J (10 mA cm⁻²)の電流密度で電気透析を行った。その後、測定溶液を取り出し、その溶液を 300 ml メスフラスコにて希釈した。希釈溶液の伝導度は伝導度計を用いて測定した。得られた伝導度から算出した移動当量 (Δm) を式(3)に代入することで動的輸率 (t) を算出した。

$$t = \Delta m / Ea \quad (3)$$

t : 動的輸率, Ea : 理論当量 $= I \cdot t / F$, Δm : 移動当量, F : Faraday 定数

2.6 電気透析実験

4 種類の陰イオン交換膜 AMX、ASM、CMS、GMA を用い、市販の陽イオン交換膜 CMX と交互に 10 対並べ、Fig. 4 に示すような電気透析装置[マイクロ・アシライザー

S3:(株)アストム]に挟み、脱塩側に $0.1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaCl}$ 水溶液とドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム(DBS, Fig. 5) 水溶液の混合溶液を、濃縮側に $0.1 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaCl}$ 水溶液、電極液に $5\% \text{ Na}_2\text{SO}_4$ 水溶液を用いて、測定温度 25°C 、定電流で電気透析実験を行った。そして、電極間電位変化の経時変化を測定した。

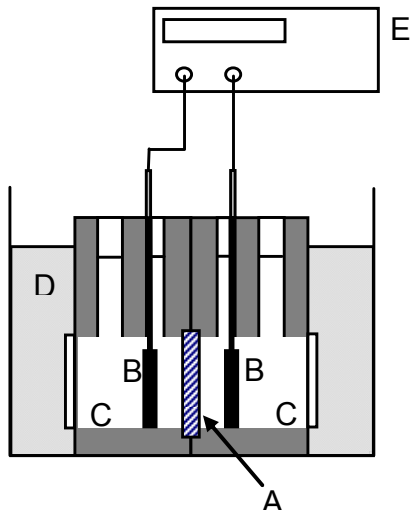


Fig. 2. Apparatus for membrane resistance. A, sample membrane; B, Pt electrodes; C, NaCl solution; D, water bath; E, LCR meter. The effective area of the cell is 1.0 cm^2 .

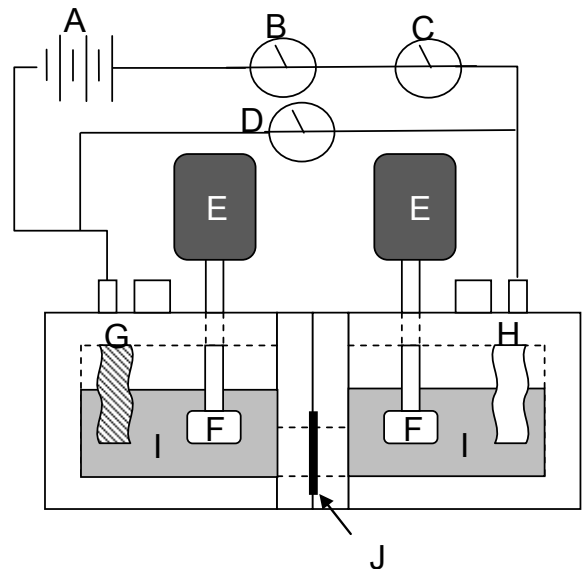


Fig. 3. Apparatus for measuring transport number. A, power supply; B, ampere meter; C, coulomb meter; D, voltmeter; E, motor; F, stirrer; G, cathode electrode; H, anode electrode; I, $0.5 \text{ mol dm}^{-3} \text{ NaCl}$ solution; J, sample membrane. The effective area of the cell is 8.0 cm^2 .

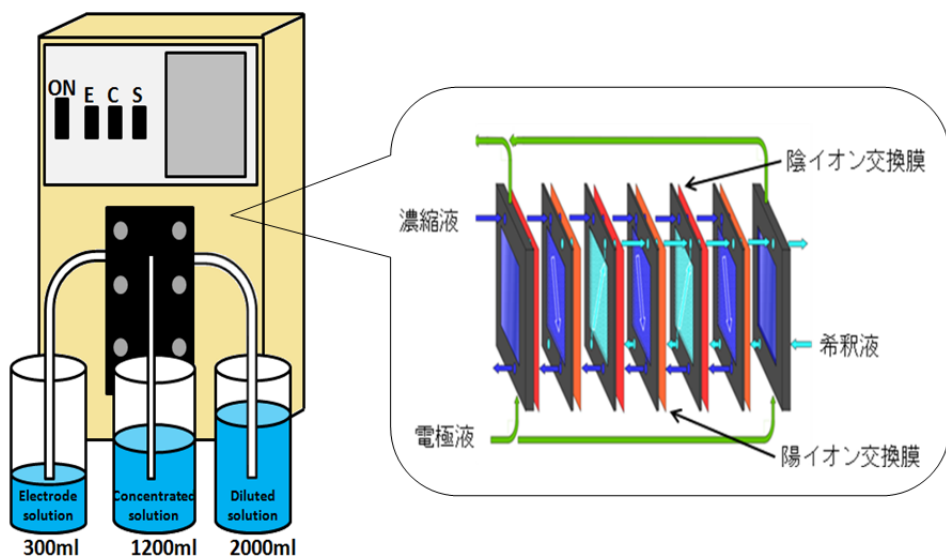


Fig. 4. Electro dialysis system. The effective area of cell: 55 cm^2 .

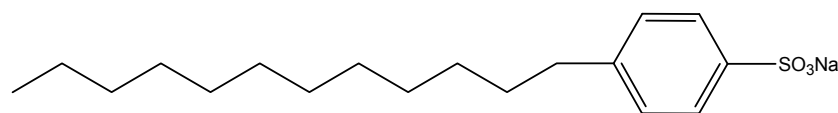


Fig. 5. Chemical structure of DBS

2.7 分配係数測定

分配係数及び DBS 透過量を測定するための電気透析測定装置図を Fig. 6 に示す。測定膜を、銀-塩化銀電極のついた二室セル間に挟み、陽極側に 0.1 mol dm^{-3} NaCl 水溶液を、陰極側に 500 ppm ドデシルベンゼンスルホン酸ナトリウム (DBS) と 0.1 mol dm^{-3} NaCl 水溶液の混合液と 0.1 mol dm^{-3} NaCl 水溶液の混合液を入れ、1 時間電気透析を行った。電気透析実験終了後、 $3 \times 3 \text{ cm}^2$ の測定膜の接液部分 (有効膜面積 $2 \times 2 \text{ cm}^2$) を素早くカットし、 0.1 mol dm^{-3} KCl 水溶液に浸し軽くすすいだ後、膜表面に付着した溶液を十分に取り除いた。測定膜を洗浄液 60 ml を入れたサンプル管に入れ、測定した重量増加を湿潤重量とした。その後、 25°C で 2 日間恒温振とう機内で振とうさせ、これを試料溶液とした。この試料溶液を $500 \mu\text{l}$ 採取し、高速液体クロマトグラフを用いて DBS 濃度を定量した。分配係数は(4)式を用いて算出した。

$$K = \frac{C_1 \times V}{C_2 \times (W_w - W_D) / 1000} \quad (4)$$

K : 分配係数, C_1 : 測定 DBS 濃度 (mol dm^{-3}), V : 0.5 mol dm^{-3} NaCl の体積 (l), C_2 : 測定溶液濃度 (mol dm^{-3}), W_w : 湿潤重量 (g), W_D : 乾燥重量 (g)

また、測定後の陽極側溶液を $500 \mu\text{l}$ 採取し、液体クロマトグラフを用いて透過した DBS 量を算出した。

高速液体クロマトグラフ測定条件

オートサンプラー: UltiMate 3000 Autosampler

検出器: UltiMate 3000 Rs Fluorescence Detector

ポンプ: UltiMate 3000 left Pump

カラムコンパートメント: UltiMate 3000 Columnn

Compartment

カラム: Acclaim[®] 120 C18, $3 \mu\text{m}$ 120 \AA ($3.0 \times 250 \text{ mm}$)

カラム温度: 40°C

測定流速: 0.5 mL/min

溶離液: 0.1 mol dm^{-3} ClNaO_4 (溶媒: 65% アセトニトリルおよび 35% 超純水)

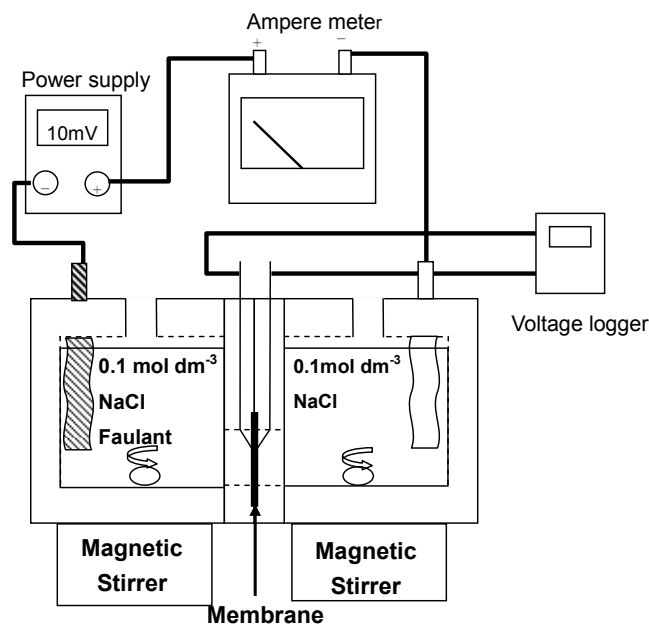


Fig. 6. Apparatus for electro dialysis experiment. One chamber of the cell was filled with a solution of 0.1 mol dm^{-3} NaCl and the other was filled with a mixed solution of 0.1 mol dm^{-3} NaCl and faultant.

3. 研究結果と考察

3.1 陰イオン交換膜の構造とファウリング挙動の関係

Fig. 7 に AMX (Δ)、ASM (\circ)、CMS (\square)、GMA (\diamond) 膜の 500 ppm DBS を含む溶液で電気透析を行った時の電極間電位変化と時間の関係を示す。ここで、電気透析は定電流条件下で実験を行っているため、電気透析中の膜の電極間電位 ($\Delta\phi$) と時間 (t) 曲線の傾きが急になるほど汚染物質の吸着により起きる膜抵抗が増加することを示す。そのため膜抵抗の増加率が低いほど膜の耐ファウリング性は高いと考えられる。

Fig. 7 より、芳香族系膜である AMX、ASM、CMS 膜を比較してみると、膜含水率の増加に伴い、 $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きが減少することが判明した。これは、膜含水率の増加に伴い、膜表面に付着する DBS の量が減少したためだと考えられる。またほぼ同じ膜含水率を有する ASM 膜と GMA 膜を比較してみると GMA 膜の方が $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きが小さ

いことが判明した。これは、脂肪族系膜である GMA 膜は芳香族系膜である CMS 膜よりも芳香環を有する DBS との親和性が低いためであると考えられる。Fig. 8 にはそれぞれの陰イオン交換膜と DBS とのファウリング挙動の模式図を表している。以上より今回使用した 4 種類の膜の中では、GMA 膜が最も高い耐ファウリング性を示すことが判明した。

3. 2 基礎特性とファウリング挙動の関係

Table 1 に、AMX、ASM、CMS、GMA 膜の膜含水率、

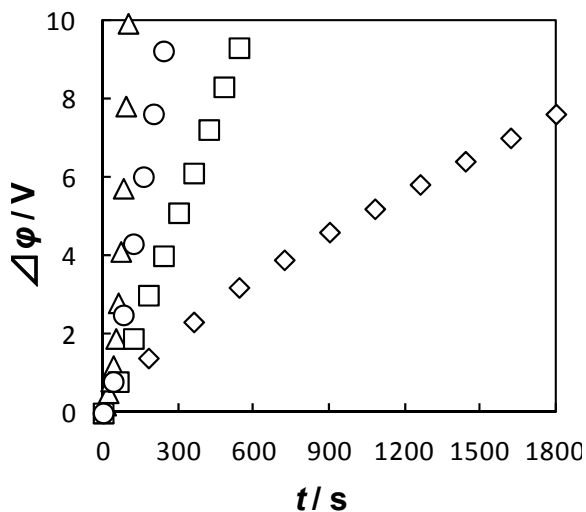


Fig. 7. Electric potential between the probe electrodes, $\Delta\phi$, as a function of measuring time, t . Current density: 10 mA cm^{-2} . DBS concentration: 500 ppm. Sample membrane: Δ , AMX; \circ , ASM; \square , CMS; \diamond , GMA

膜抵抗、膜厚、動的輸率を示す。Table 1、Fig. 6 より、AMX、ASM、CMS 膜では膜含水率が增加し、膜抵抗が減少するとともに $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きが小さくなった。これは、膜含水率の増加に伴い、膜構造がルーズになり、ファウラントであるドデシルベンゼンスルホン酸イオンの膜透過性が向上したと考えられる。そのため、膜抵抗が低い膜ほど $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きが小さくなったと考えられる。GMA 膜においては、ASM 膜とほぼ同等な膜含水率、膜抵抗を有しているが、 $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きが抑制された。これは、膜マトリクスの違いによるものだと考えられる。GMA 膜は脂肪族系膜であるため主鎖骨格に芳香環を持たない膜構造をしている。そのため、芳香環を有する DBS との親和性が低くなり、膜表面への吸着が妨げられたと考えられる。この結果から、膜含水率の高い膜ほど $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きの増加が抑制されることが判明した。また、膜マトリクスもファウリングに大きな影響を与えることも判明した。

3. 3 有機汚染物質濃度変化と電流密度変化におけるファウリング挙動

Fig. 9、Fig. 10 は ASM 膜における有機汚染物質濃度と電流密度を変化させたときのファウリング挙動を表している。各グラフのプロットは Fig. 9 では DBS 500 ppm (Δ)、300 ppm (\square)、100 ppm (\circ)、Fig. 10 では電流密度 10 mA/ cm^2 (Δ)、6 mA/ cm^2 (\square)、2 mA/ cm^2 (\circ) の条件で電気透析を行った結果である。上述したように電気透析中の $\Delta\phi-t$ 曲線の傾きが増加するほどファウリングが顕著といえる。

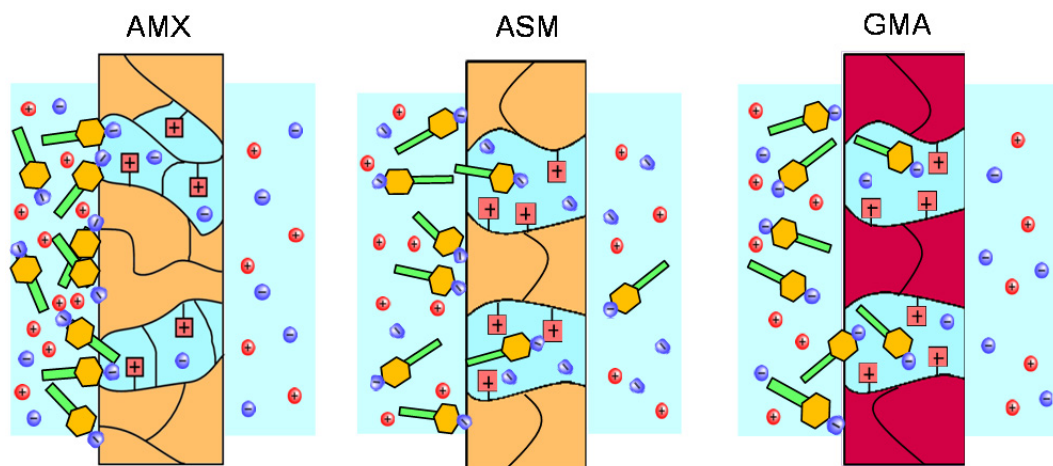


Fig. 8. Fouling behavior of DBS on the sample membranes

Table 1. Water content, H , membrane resistance, R_m , membrane thickness, d , transport number, t , of anion exchange membranes

Sample	H [-]	R_m [Ωcm^2]	d [μm]	t [-]
AMX	0.24	2.3	140	0.98
ASM	0.38	1.4	160	0.98
CMS	0.52	1.2	170	0.97
GMA	0.41	1.3	170	0.95

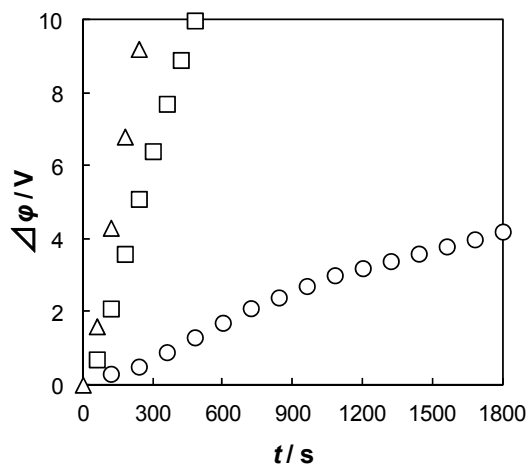


Fig. 9. Voltage difference between the electrodes, $\Delta\phi$, of the sample membranes as a function of measuring time, t , in the membranes. Current density: 10 mA cm^{-2} . DBS concentration: \triangle , 500 ppm; \square , 300 ppm; \circ , 100 ppm.

Fig. 9 では DBS 濃度の増加に伴い $\Delta\phi$ - t 曲線の傾きが増加した。これは、DBS 濃度の増加に伴い膜に付着する DBS の量が増加したためだと考えられる。Fig. 10 では電流密度の増加に伴い $\Delta\phi$ - t 曲線の傾きが増加した。これは、電流密度の増加に伴い、単位時間、単位面積あたりに付着する DBS の量が増加したためだと考えられる。

今回は ASM 膜の結果だけを示しているが、AMX 膜などの他の膜でも同じような結果が得られた。

3. 4 各膜における DBS との親和性

Fig. 11 は、各膜における動的分配係数と膜含水率の関係を示している。グラフのプロットは AMX (\triangle)、ASM (\circ)、CMS (\square)、GMA (\diamond) を示している。ファウリングの要因として、①ファウラントとイオン交換基の静電的相互作用、②ファウラントと膜との相互作用、③分子・膜孔サイズによることが考えられる。今回、芳香族系膜で比較すると膜含水

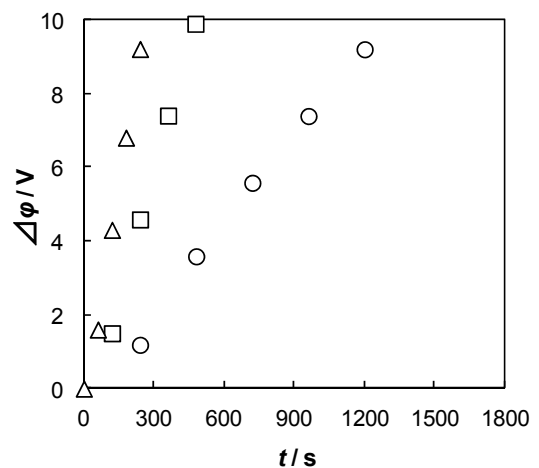


Fig. 10. Voltage difference between the electrodes, $\Delta\phi$, of the sample membranes as a function of measuring time, t , in the membranes. DBS concentration: 500 ppm. Current density: \triangle , 10 mA cm^{-2} ; \square , 6 mA cm^{-2} ; \circ , 2 mA cm^{-2} .

率の増加に伴い動的分配係数は増加した。これは、③である膜孔サイズによる影響が大きいと考えられる。つまり膜含水率の減少に伴い膜構造が緻密になるため分子サイズの大きな DBS が膜表面上に付着し易いためであると考えられる。

次にほぼ同じ膜含水率を有する ASM 膜と GMA 膜を比較すると GMA 膜の動的分配係数が ASM 膜よりも低い値を示した。両者はほぼ同じ膜含水率を有しているため今回は①、③で考えられるファウリングはほぼ同等と考えられる。そのためであるファウラントと膜との相互作用による違いがこの様な結果をもたらしたと考えられる。それぞれの膜の構造は Fig. 12 に示す。脂肪族系膜である GMA 膜は膜骨格に芳香環を持たない膜構造をしている。このため、ASM 膜では佐田ら¹³⁾が報告した π - π 相互作用が大きく寄与していると考えられる。ファウラントと膜の間に π

$-\pi$ 相互作用が働くことでファウリングが促進されるため、芳香環を有する芳香族系膜において動的分配係数が高い値を示したと考えられる。そのため、芳香環の少ない膜構造を使用することにより耐ファウリング性を示す陰イオン交換膜の作製が期待できると考えられる。

4. 結言

本研究では、様々な膜構造、膜マトリクスを有する陰イオン交換膜における有機汚染物質の汚染挙動について検討するために、これらの膜における膜含水率、膜の分

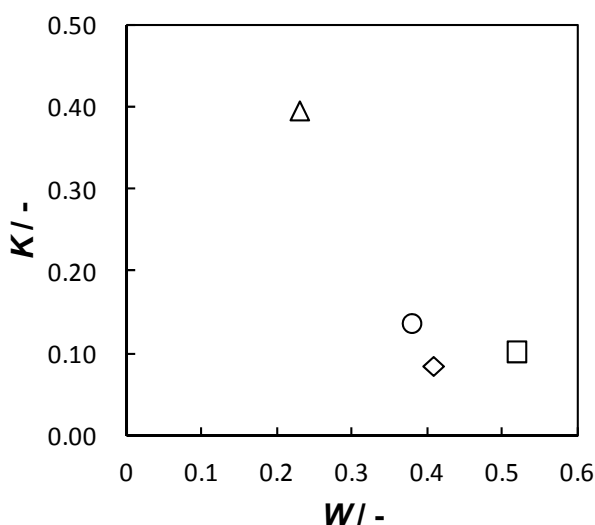


Fig. 11. Dynamic distribution coefficient, K , of the sample membranes as a function of measuring water content, W , in the membranes. DBS concentration: 500 ppm. Current density: 10 mA cm⁻². Sample membranes: △, AMX; ○, ASM; □, CMS; ◇, GMA

配係数の測定、及び小型電気透析装置(S3)において有機汚染物質濃度や電流密度を変化させたときの電極間電位変化の経時変化の評価を行った。これらの結果より膜構造や膜マトリクスの違いが有機汚染物質のファウリング特性に与える影響について検討した。

本研究で使用したすべての膜で有機汚染物質濃度、電流密度の増加に伴い電位—時間曲線の傾きが増加した。これは有機汚染物質濃度の増加に伴い膜表面に付着する DBS が増加したためだと考えられる。また、電流密度の増加に伴い、単位時間、単位面積あたりに付着する DBS の量が増加したためだと考えられる。

また、同条件における各膜の比較を行うと、芳香族系膜では膜含水率の増加に伴い電位—時間曲線の傾きが減少した。これは膜含水率が高い膜ほど膜構造がルーズとなりファウラントである DBS の膜透過性が増加したためだと考えられる。また、ほぼ同じ膜含水率を有する ASM 膜と GMA 膜を比較してみると GMA 膜の方が電位—時間曲線の傾きが抑制された。これは脂肪族系膜である GMA 膜が芳香族系膜よりも芳香環を有する DBS との親和性が低いためと考えられる。

分配係数はファウラントである DBS が膜汚染にどのくらい寄与するかを表す指標となる。芳香族系膜では膜含水率の減少に伴い分配係数は増加した。これは、膜含水率の減少に伴い膜構造が緻密になり、分子サイズの大きな DBS が膜表面に付着するためと考えられる。ASM 膜と GMA 膜を比較すると GMA 膜の方が低い分配係数を示した。これは、膜とファウラントとの相互作用の差により ASM 膜はファウリングが促進され分配係数が増加したと考えら

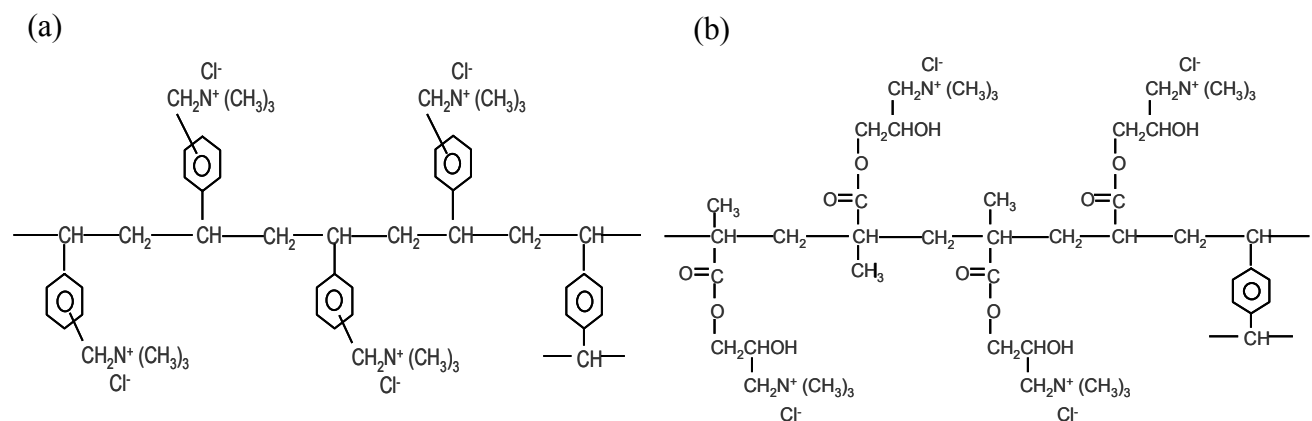


Fig. 12. Chemical structure of prepared anion exchange membrane: (a) CMS-DVB, (b) GMA-DVB

れる。これらの結果より、今回使用した 4 種類の膜の中で GMA 膜が最も耐ファウリング性に優れた膜だという事が判明した。

ファウリングを抑制する方法として膜孔サイズを大きくすることや薄膜の反対荷電層を形成させることがある。しかし、この方法では電流効率の減少やファウラントの透過、大きなイオン性物質の残存などの問題点が挙げられる。しかし、膜構造に芳香環を持たないマトリクスを使用することによりこの様な問題が生じることなく膜の耐ファウリング性を向上させることが可能になると考えられる。今後、作製条件を検討することによりさらなる耐ファウリング性に優れた膜の作製に期待できる。

参考文献

- 1) K. Yoshie, *MRC News*, 36 (2006) 33-35.
- 2) M. Iwahara, C. Taniguchi and E. Asada, *Japan Patent*, JP 4284452 (2009).
- 3) N. Tanaka, *MRC News*, 40 (2008) 72-73.
- 4) N. Tanaka, K. Yoshie, T. Aritomi, N. Kanayama and H. Kanayama, *Japan Patent*, JP H20-295330 (2008).
- 5) Y. Kuboi, *Hyomengijyutsu*, 50, 8 (1999) 678-682.
- 6) A. Pujadas, *Pint. Acabados Ind.*, 38, 230 (1996) 25-31.
- 7) U. B. Ogutveren, S. Kopalal and E. Ozel, *J. Environ. Sci. Eng. Toxic Hazard. Subst. Control*, A32, 3 (1997) 749-761.
- 9) R. Takeshita, M. Niimoto, T. Aritomi and T. Kobayashi, *Japan patent*, JP H21-39672 (2009).
- 10) K. Steenivasarao, F. Patsiogiannis and J. N. Hryn, *Light Met. (Warrendale Pa.)* (1997) 1153-1158.
- 11) E. Korngold, F. D. Körösy, R. Rahav, and M. F. Taboch, *Desalination*, 8 (1970) 195-220.
- 12) C. Ueno and M. Sagara, *Japan patent*, JP H09-262588 (1997).
- 13) Y. Hirose, *Japan patent*, JP H08-299962 (1996).
- 14) T. Sata, "Ion Exchange Membranes", *The Royal Society of Chemistry* (2004) pp.60-64.

Examination of Fouling Mechanism on Ion-Exchange Membranes and Development of Ion-Exchange Membranes with High Anti-Fouling Properties (II)

Mitsuru Higa¹, Kenji Hori¹, Akio Kamimura² and Nobutaka Endo¹

¹ Applied Fine Chemistry, Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

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

Summary

Fouling of an ion-exchange membrane is one of the most serious problems in their application to many industrial fields such as water treatment, food industry, medical supplies and waste water treatment. In case that electrodialysis (ED) consisting of an ion-exchange membrane and aqueous solutions of salts containing organic substances, particularly macromolecules, organic fouling of the membrane occurs and deteriorates a performance of the membrane.

In this study, novel aliphatic-hydrocarbon-based anion-exchange membranes (AEMs) were prepared from glycidyl methacrylate (GMA)/divinylbenzene (DVB). Their ion-transport and anti-organic fouling properties were compared with those of aromatic-hydrocarbon-based AEMs prepared from chloromethylstyrene (CMS)/DVB copolymers and also with commercially-available AEMs, Neosepta ASM. We have measured the time-voltage curves in an ED system consisting of an sample AEM, Neosepta CMX and NaCl aqueous solutions containing sodium dodecylbenzene sulfonate (DBS) as an aromatic foulant, changing DBS concentration and the value of the constant current during ED period.

The slopes of the voltage difference between the electrodes of the ED system with all the AEMs at 500 ppm of DBS are higher than those at 200 ppm. The higher current density the system has, the steeper slope the time-voltage curves have in all the AEMs. The slope of the voltage-time curve of the aliphatic AEM, GMA-AEMs is gentler than that of the aromatic one, CMS-AEM and AMX. The slope increases when organic fouling occurs during ED period. This implies that the DBS affinity factors for the aliphatic AEMs are much lower than those for the aromatic AEMs and the commercially available ones. The aliphatic AEMs have lower numbers of benzene rings than the aromatic AEMs and the commercially available AEMs; this indicates that aromatic interactions (or π - π interactions) are an important factor in organic fouling between aromatic foulants and AEMs with an aromatic matrix.