

9103 モザイク膜システムによる新しい分離法に関する研究

井川 学(神奈川大学)

1. イオン交換膜は食塩製造と食塩電解のプロセスで主に用いられているが、イオン交換膜の持つ高いイオン交換特性はさらに多様な用途に利用される可能性がある。本研究は平成2年度の研究に引続き、イオン交換膜を用いる3つの新しい分離法について研究するものである。すなわち、1)ドナン透析の原理を応用し、濃度差のみを駆動力とする新しい脱塩法である中和透析法、2)電子選択透過性の膜を組み込んだモザイク膜システムによるイオン輸送と電子輸送のカップリング、3)イオン交換膜に担持したイオンとの特異的な反応を用いる非電解質の選択透過、というものであり、これらについての検討結果を報告する。

2. 実験で使用したセルは、シリコンあるいはバイトンゴムシートに長方形の穴を設けてこれを各室とし、各室間を膜で隔てる形でシートを重ね、それぞれの溶液をチューブポンプを用いて各室に循環させた。膜は市販のイオン交換膜を用いるが、電子輸送とイオン輸送をカップリングするときは白金板を電子選択透過性膜として用いた。なお、輸送速度はいずれかの室の濃度変化より求めた。

3. 1)の課題は、両側の酸溶液室とアルカリ溶液室との間をそれぞれ陽イオン交換膜と陰イオン交換膜で隔てた部屋を脱塩室とし、膜を通しての水素イオンと金属イオンとの交換および水酸化物イオンと陰イオンとの交換により脱塩するというものである。これまで、本法により得られる脱塩水の純度には限界があったが、このシステムの流路系をシリコンからバイトンおよびテフロンに変えることにより比抵抗はこれまでの2倍以上となり、8 Mohm・cm以上の超純水が得られた。また、この系で弱酸および弱塩基の分離が極めて有効に行なわれていたが、アルコールのような非電解質も強酸、強塩基性の膜の中でわずかに解離するために膜によって除去できることが明らかになった。2)の課題は、陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を組み合わせたマクロモザイクセルシステム中に、電子選択透過性の膜を一部の陰イオン交換膜の代わりに組み込むことにより、イオン輸送と電子輸送つまり酸化還元反応をカップリングさせるという全く新しいシステムである。これまで、生体膜と同様に多段階の酸化還元反応を組み合わせたときに効率が向上することが明らかになっていたが、さらに、光エネルギーを駆動力としてこの系による物質輸送の実現が可能となった。3)の課題は、ホルムアルデヒドについて、これと特異的に反応して付加物をつくる亜硫酸水素イオンを担持させた陰イオン交換膜により促進輸送させるとともに、このときの透過式を確立させた。糖についても、これと錯体をつくるほう酸イオンを陰イオン交換膜に担持させることにより、促進輸送が可能となった。このようにイオンの選択により様々な非電解質の選択的輸送が可能となる。

9103 モザイク膜システムによる新しい分離法に関する研究

井川 学(神奈川大学)

1. 研究目的

イオン交換膜は、海水から食塩を製造するプロセスと食塩電解プロセスで主に使われているが、イオン交換膜の持つ高いイオン交換特性はさらに多様な用途に利用される可能性がある。本研究は平成2年度の研究に引き続き、陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を交互に並べたマクロな意味でモザイクな全く新しい分離システムを開発、検討するものである。本法はかん水の脱塩、濃縮等に有効なので、海水脱塩濃縮の関連技術として貢献するところ大であろう。さらに、本法は濃度勾配のみを駆動力としているので、海水の持つ高い塩濃度はそれ自体で大きなエネルギー源となる可能性がある。

本研究では、イオン交換膜を用いる3つの新しい分離法について研究する。すなわち、

1) ドナン透析の原理を応用し、濃度差のみを駆動力とする新しい脱塩法である中和透析法、2) 圧透析の膜として使われるモザイク膜の原理をシステムとして新たに提案するマクロモザイクセル、3) 電解質との特異的な反応を用いる非電解質の選択的輸送、というものであり、これらの課題について並行して検討を進め、イオン交換膜を用いる新しい分離化学を確立することを目的としている。

2. 中和透析法による脱塩

2. 1 緒言

中和透析法とは、両側の酸溶液室とアルカリ溶液室との間をそれぞれ陽イオン交換膜と陰イオン交換膜で隔てた部屋を脱塩室とし、膜を通してのプロトンと金属イオンとの交換および水酸

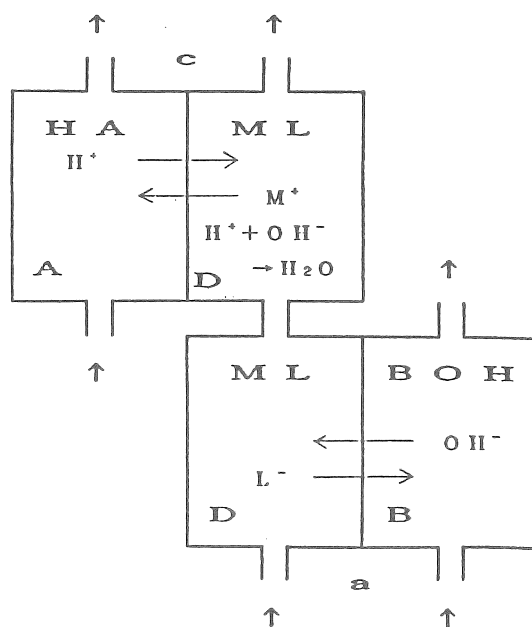


Fig. 1. Diagrammatic representation of neutralization dialysis. A: acid compartment, B: base compartment, D: desalination compartment, a: anion exchange membrane, c: cation exchange membrane, \uparrow : solution flow.

化物イオンと陰イオンとの交換により脱塩するというものである¹⁾。本法は、イオン交換樹脂法に代わり得る連続的な脱塩法として期待できる。平成2年度においては、このシステムの流路系の材質によって超純水の純度が影響を受けることと、この系で弱酸および弱塩基の分離が極めて有効に行なわれることが明らかになった。平成3年度は、脱イオン水の純度の向上のためにシステムの流路系を改善し、また分子量の小さい親水性有機物の除去について検討したので結果を報告する。

2. 2 実験方法

中和透析法の原理は、塩溶液を陽イオン交換膜によって酸溶液と隔てると陽イオンと水素イオンが、また陰イオン交換膜によってアルカリ溶液と隔てると陰イオンと水酸化物イオンがそれぞれ交換し、塩溶液内の塩が脱塩されると同時に中和反応により水を生じるというものである。この脱塩速度はイオン交換速度に依存し、これを速めるためにはポンプ流量を大きくして膜表面の濃度分極を低下させるとともに膜面積を大きくする必要があるが、従来用いていた3室型セルでは困難であった。

そこで本研究では、脱塩室の陰イオン交換部と陽イオン交換部を分離し、これらを直列につないだ図1に示したセルを作製し、さらに脱塩室系を全てテフロン製（一部バイトン製）にすることで、材質自身からの汚染物質の混入を防いだ。このセルの膜面積はそれぞれ60cm²、膜間距離は1.0mmであり、溶液は純窒素ガスでバブリングしながら流量110 mL/minで接液部テフロンポンプにより循環させ、一定時間ごとに脱塩室溶液の比抵抗を伝導度比抵抗計で測定した。また脱塩室、酸、アルカリ室中の有機物濃度は全有機炭素計及びガスクロマトグラフィーで測定した。

2. 3 結果と考察

昨年度までの中和透析法により得

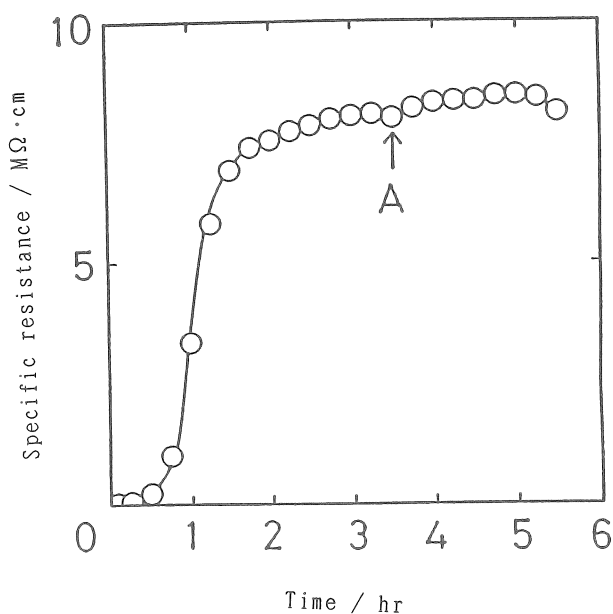
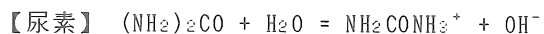


Fig. 2. Specific resistance change as the function of time. Desalination compartment: 1 mM KCl (100 mL), Base compartment: 15 mM NaOH (1 L), Acid compartment: 15 mM HCl (1 L), A: deionized water was flowed to acid and base compartments.

られた純水の比抵抗は約 $4.0\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ であったが、図1に示した装置を用いることにより、純水の純度は大きく改善された。図2に結果を示すが、約 $8.0\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ までの比抵抗が得られている。膜による共イオンのもれの影響を防ぐために、比抵抗の変化が小さくなった後に酸・アルカリ室にイオン交換水を流し、膜へイオン交換吸着させることによって比抵抗値はさらに上昇し、現在までの最高値は $16\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ に達している。図2の実験で用いた膜は炭化水素系の膜(旭ガラス社製セレミオンAMV、CMV)であるが、フッ素系の膜は耐酸、耐アルカリ性が高いので、本法に用いるなら膜の単価という点を除けば有効である。そこで、フッ素系陰イオン交換膜(東ソー社製TOSFLEX IE-SF34-5)とフッ素系陽イオン交換膜(デュポン社製Nafion 117)を用いた脱塩実験も行なったが、得られた純水の比抵抗値はほぼ同じであった。

また、昨年度までに弱酸が本法で有効に除去されることが明らかになっているので、 pK_a 値がさらに大きい親水性有機物の膜透過について測定した。図3に結果を示すが有効に除去されている。これは膜内では交換基濃度が高いので、非常に弱い塩基あるいは酸も次の式のように解離し、輸送されることによる。



分子量の小さい親水性有機物は限外ろ過法やイオン交換樹脂法等では除去が困難なので、このような物質を超純水製造過程で塩と同時に除去できることは、本法の大きな特徴であろう。

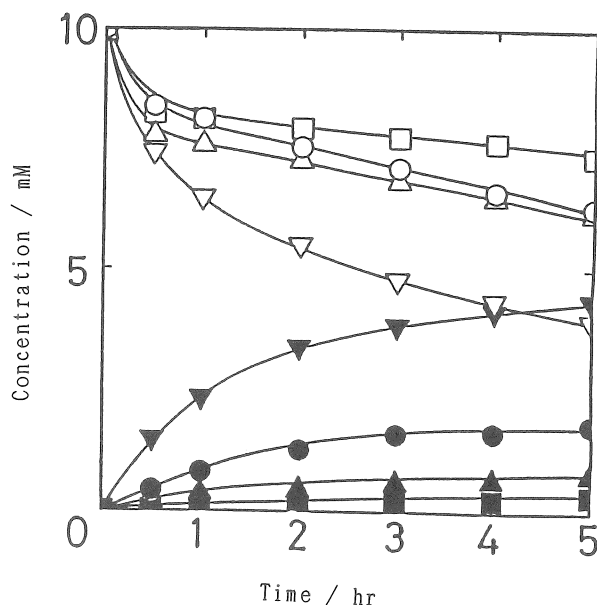


Fig. 3. Concentration change as the function of time. Source phase solution : 10 mM methanol(○), ethanol(△), 1-propanol(□), urea(▽) (100 mL), receiving phase solution: 10 mM NaOH (●, ▲, ■) and HCl(▼) (100 mL).

3. マクロモザイクセルによる
イオン輸送と電子輸送のカ
ップリング

3. 1 緒言

イオン交換膜を組み合わせたマクロモザイク膜システム内では、循環電流の生成のためにイオン輸送が促進される²⁾。この系に電子選択透過性の膜を組み込むと、イオン輸送と電子輸送つまり酸化還元反応をカップリングすることができる³⁾。本研究は、このシステムの輸送機構を解明し、光合成類似反応を人工的に生起させるシステムへと発展させるものである。これまでの研究により既に、生体膜と同様に多段階の酸化還元反応を組み合わせたときに効率が向上することが明らかになって

いる。そこで、このようなモザイク膜システム内での生体膜類似の電子輸送の挙動について詳細に検討するとともに、その応用として光エネルギーによる輸送について検討した結果を報告する。

3. 2 実験方法

セルは、厚さ3mmのシリコンゴムシートに長方形の穴をもうけてこれを各室とし、各シートを膜で隔てて重ねたものである。それぞれの濃度に調製した塩溶液をチューブポンプを用いてセルの各室に循環させ、塩溶液で短絡させることにより系内に循環電流を発生させた。イオン交換膜はいずれもフッ素系のイオン交換膜であり、電子透過膜には白金板を用いた。カリウムイオン濃度の変化は炎光光度法により測定し、得られた濃度の経時変化よりイオン流束を求めた。同時に酸化還元電位を測定し、電位差と溶液抵抗から循環電流の理論値を算出し、イオン流束の実測値から計算される循環電流と循環電流の理論値との比を効率として定義し、各系について算出した。なお、光エネルギーによる輸送実験では

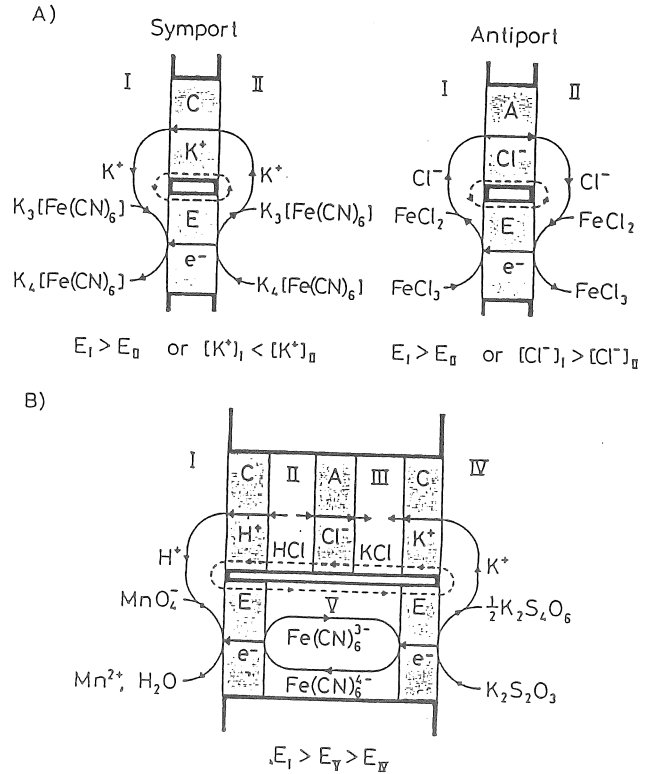


Fig. 4. Flows of electrons and ions in mosaic membrane (A) and in mosaic membrane system (B). A: Anion-exchange membrane, C: Cation-exchange membrane, E: Electron-transport membrane, I—V: Compartment number, ---: Circulating current, E_I — v : Redox potential.

3室型セルを用い、光源として250Wキセノンランプを用いた。

3. 3 結果と考察

図4に2室型のセルとイオン交換膜と電子選択透過性の膜からなるモザイク膜と、5室型セルとイオン交換膜と電子選択透過性の膜からなるモザイク膜システムの電子とイオンの輸送メカニズムを示す。図5はモザイク膜の場合の、イオンと電子の同方向輸送の実験結果を示す。この場合はI室とII室間の酸化還元電位差を駆動力として循環電流が流れる。実線は理論値であるが実験値とよく一致している。このような理論値との一致は、この場合の電位差が約0.1V

と非常に小さいことによっており、電位差が大きくなると理論値との差が大きくなる。5室型のモザイク膜システムの場合はI室とIV室間の酸化還元電位差を駆動力としてイオンが輸送される。5室型セルにおいて、V室にI室とIV室の中間の電位をもつヘキサシアノ鉄(III)酸カリウムとヘキサシアノ鉄(II)酸カリウムの混合溶液を用いているが、この部屋を除いて4室型セルとして循環電流を発生させることもできる。この2つの場合を比較したのが図6であるが、駆動力となる電位差は等しいにもかかわらず5室型では効率が低い。これは5室型とすることにより1枚の電子選択透過性膜を介した電位差が小さくなるためであり、電位差が小さくなるほど効率は増大する。また、IV室あるいはIV室の濃度が低く電流値が小さいときは2段階の酸化還元反応とすることの効果は小さくなることが明らかになった。

また、EDTA、硫酸プロフラビン共存下で感光体のメチルピオローゲンを含む溶液に、光を照射すると光酸化還元反応が生起されることが知られており、液膜系で電子輸送の系としての報告がなされている⁴⁾。そこでマクロモザイク膜システム内の駆動力としてこの酸化還元反応を組み込んだところ、図7のように光を照射したときは未照射時に比して、カリウムイオンが輸送されることが確認された。

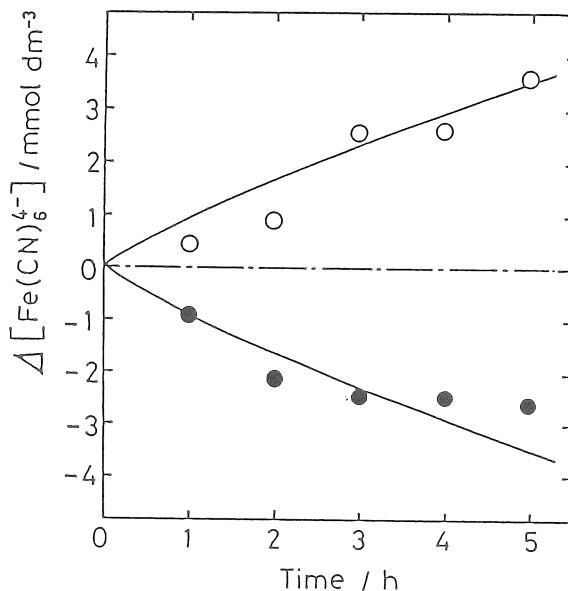


Fig. 5. Coupling of ion transport to electron transport in a mosaic membrane. O: Concentration change in compartment I, ●: Concentration change in compartment II, —: Calculated values, compartment I: 2.94 mmol dm⁻³ K₄Fe(CN)₆ and 29.4 mmol dm⁻³ K₃Fe(CN)₆, compartment II: 23.3 mmol dm⁻³ K₄Fe(CN)₆ and 2.33 mmol dm⁻³ K₃Fe(CN)₆, each membrane area: 7 cm², each solution volume: 50 cm³.

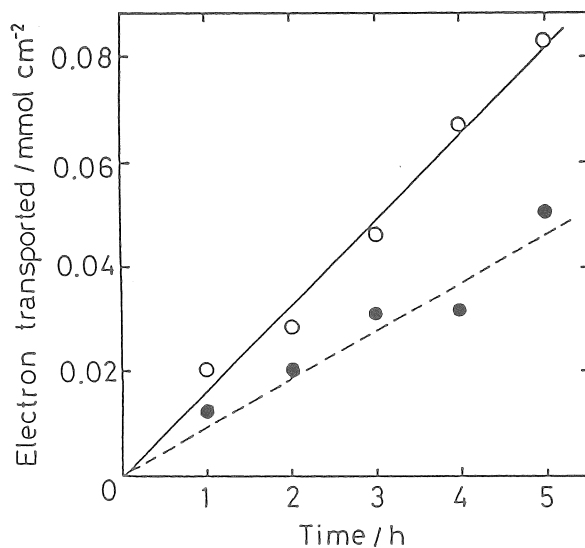


Fig. 6. Redox chain reaction in mosaic membrane system. O: Electron transported in the five-compartment system with compartment V, (—): Calculated values assuming the coupling efficiency to be 0.17, ●: Electron transported in the four-compartment system without compartment V, (---): Calculated values assuming the coupling efficiency to be 0.10, compartment I: 10 mmol dm^{-3} KMnO_4 and 90 mmol dm^{-3} HCl , compartment II: 100 mmol dm^{-3} HCl , compartment III: 100 mmol dm^{-3} KCl , compartment IV: 50 mmol dm^{-3} $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_3$, compartment V: $18.2 \text{ mmol dm}^{-3}$ $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$ and 182 mmol dm^{-3} $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$, each membrane area: 7 cm^2 , each solution volume: 50 cm^3 .

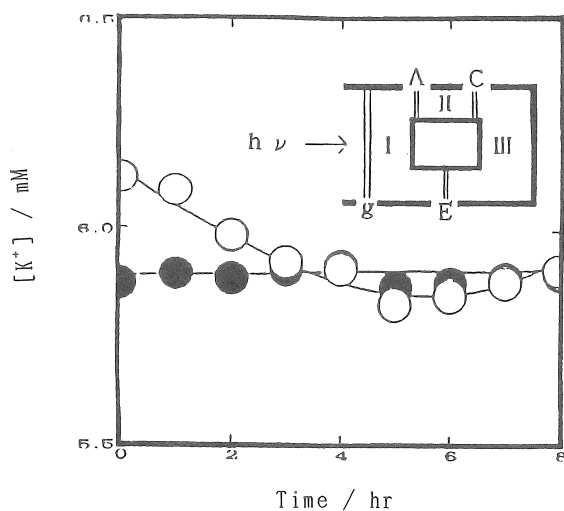


Fig. 7. Transport of potassium ion in compartment II. ●: in the dark, ○: under irradiation, A: anion exchange membrane, C: cation exchange membrane, E: electron transport membrane, g: glass, I: EDTA + proflavine + methyl viologen, II: KCl , III: $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, light source: 250 W xenon lamp.

4. 陰イオン交換膜を用いるアルデヒドの輸送

4. 1 緒言

膜による物質の識別と選択的輸送は、分析化学的にも、分離プロセスとしても、さらに生体膜との関連においても重要である。本法は有機非電解質を対象として、特異的な反応によってこれを識別し、新しいイオン交換膜輸送システムを設計することを目的としている。本研究は、亜硫酸水素イオンとの特異的な反応を用いて、アルデヒドをイオン交換膜によって促進輸送させるときの輸送式を確立するとともに、その他の系として糖とほう酸との反応を利用した系について検討し、このシステムの一般化を試みた。

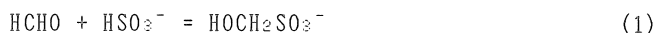
4. 2 実験方法

実験には2室型セル、あるいはpH変動を避ける目的で3室型セルを用いた。2室型セルでは原相溶液と受相溶液が陰イオン交換膜によって隔てられており、3室型セルでは原相溶液は陽イオン交換膜によって酸溶液と隔てられ、陰イオン交換膜によって受相溶液であるアルカリ溶液と隔てられている。3室型セルでは酸溶液室よりプロトンが供給され、原相室内の水酸化物イオンと中和反応が起こるので原相室のpHは自動的に調整される。

いずれのセルにおいても膜面積 10cm²、各溶液室の厚さは1.0mmであり、イオン交換膜には旭硝子社製セレミオンAMVとCMVを用いた。実験開始後一定時間毎に試料を採取し、アルデヒド、硫黄(IV)、糖等の濃度をそれぞれ、3-メチル-2-ベンゾチアゾロトリアジン(MBTH)を用いたMBTH法⁵⁾、パラローズアニリン塩酸塩(PRA)を用いた呈色法⁶⁾、イオンクロマトグラフィーにより測定した。

4. 3 結果と考察

非電解質であるアルデヒドは式(1)のように亜硫酸水素イオンと反応して強酸の共役塩基であるHASAとなる⁷⁾。



この反応を利用するなら、陰イオン交換膜によりアルデヒドを識別して選択的に透過させることが可能となる⁸⁾。そこで、この系の透過式を検討した。なおこのとき、膜界面においては平衡状態にあり、膜内の濃度勾配に基づく物質拡散により輸送量が制御されていると仮定する。

ホルムアルデヒドの透過式は式(2)のように導かれる。

$$J_s = \frac{D_{ab}}{L} \times (AB_1 - AB_2) + \frac{D_a}{L} \times (A_1 - A_2) \quad (2)$$

ここで J_s は流束、 D_a はホルムアルデヒドの拡散係数、 D_{ab} は付加物の拡散係数、 L は膜厚、 AB_1 と AB_2 は原相と受相界面の膜内付加物濃度、 A_1 と A_2 は原相と受相界面の膜内ホルムアル

デヒド濃度である。受相界面での膜内付加物濃度とホルムアルデヒド濃度は、非常に低い値となるので無視できる。

$$J_s = \frac{D_{ab}}{L} \times AB_1 + \frac{D_a}{L} \times A_1 \quad (3)$$

膜界面において平衡状態にあると仮定すると、ホルムアルデヒドの分配係数 K_m は

$$K_m = \frac{A_1}{A_s} \quad (4)$$

ここで A_s は原相溶液中のホルムアルデヒド濃度である。原相界面の膜内亜硫酸水素イオン濃度を B_1 とすると付加物生成定数 K_{ab} は

$$K_{ab} = \frac{AB_1}{A_1 \cdot B_1} \quad (5)$$

膜内交換基濃度 X と AB_1 および B_1 の間には次の関係式が成り立つ。

$$X = AB_1 + B_1 \quad (6)$$

この式に式(4)と(5)を代入すると

$$X = AB_1 + \frac{AB_1}{K_{ab} \cdot K_m \cdot A_s} \quad (7)$$

AB_1 について整理すると

$$AB_1 = \frac{X}{1 + 1/(K_{ab} \cdot K_m \cdot A_s)} \quad (8)$$

これを式(3)に代入すると透過式は最終的に次のようになる。

$$J_s = \frac{D_{ab}}{L} \times \frac{X}{1 + 1/(K_{ab} \cdot K_m \cdot A_s)} + \frac{D_a}{L} \times K_m \cdot A_s \quad (9)$$

透過式(9)において第一項は付加物となったホルムアルデヒドの流束、第二項は付加物とならなかったホルムアルデヒドの流束、すなわち漏れによる流束を表わしている。さらに透過式(9)は、 $1 \gg 1/(K_{ab} \cdot K_m \cdot A_s)$ のとき、すなわち原相濃度が大きいときは式(10)のように近似できる。

$$J_s = \frac{D_{ab} \cdot X}{L} + \frac{D_a}{L} \times K_m \cdot A_s \quad (10)$$

この流束は、一定の大きさの付加物の流束と濃度に比例する漏れの流束の和となっている。また、 $1 \ll 1/(K_{ab} \cdot K_m \cdot A_s)$ のとき、すなわち原相濃度が小さいときは(11)式のように近似され、付加物生成の寄与が大きくなり漏れの流束より大きな流束となって濃度に比例する。

$$J_s = \frac{D_{ab} \cdot X}{L} \times K_{ab} \cdot K_m \cdot A_s + \frac{D_a}{L} \times K_m \cdot A_s \quad (11)$$

糖も亜硫酸水素イオンやホウ酸と反応して錯体を生成し、陰イオンとなることから⁹⁾、アルデヒドと同様にイオン交換膜を介して糖を促進輸送することができる。図8、9は2室型セルを用いて陰イオン交換膜に様々なイオンを保持し、グルコースの輸送速度を測定した結果である。相互作用のない Cl^- 型の膜よりも、糖が膜内のイオンと相互作用して透過

する HSO_3^- 、 SO_3^{2-} 、 OH^- 、 $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$ 型の膜の方が流束は大きくなっている。しかし、アルデヒドの場合と比べて透過する分子が大きいので、拡散係数が小さくなり流束は低い値となっている。

糖の透過機構および透過式はアルデヒドと同様に考えることができる。図10は原相の糖濃度と流束の関係を示している。糖もアルデヒドと同様に HSO_3^- と付加物をつくるので、原相の糖濃度が低い範囲において Cl^- 型の膜よりも HSO_3^- 型の膜の流束の方が大きくなり、糖濃度が高くなると Cl^- 型の膜も HSO_3^- 型の膜も流束がほぼ等しくなった。 SO_3^{2-} 型の膜では錯生成定数が小さいために一定の流束となる濃度が高いので、 Cl^- 型の膜よりも常に流束が大きくなっている。また、 OH^- 型の膜では常に漏れの流束以上となり原相濃度に比例して流束も増加した。

以上のように、非電解質との特異的な反応を利用した膜透過システムにより有機物質の選択的な透過、濃縮が可能なことが明かとなった。

5. 今後の課題

本研究は上記のように、3つの分離システムの検討を行なったが、今後の検討課題は以下の通りである。

中和透析法：平成3年度までの研究においては、このシステムの流路系を改善することにより比抵抗 $8\text{ Mohm}\cdot\text{cm}$ 以上の超純水が得られることと、この系で弱酸および弱塩基の分離が極めて有効に行なわれ、アルコールのような非電解質も強酸、強塩基性の膜の中でわずかに解離するために膜によって除去できることを明らかにした。平成4年度は、このシステムをイオン交換樹脂塔に代わる純水製造装置として実用化するために、これまでの研究を総まとめするとともに、連続運転を行ない問題点を検討する。

イオン輸送と電子輸送のカップリング：平成3年度までの研究により、生体膜と同様に

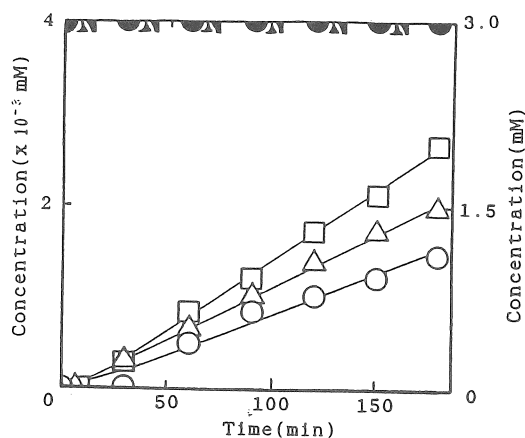


Fig. 8. Glucose transport through anion-exchange membrane fixed some anion: ●○, Cl^- -type membrane; ■□, SO_3^{2-} ; ▲△, HSO_3^- ; source phase, 3mM Glucose (● ■ ▲); receiving phase, pure water (○ □ △)

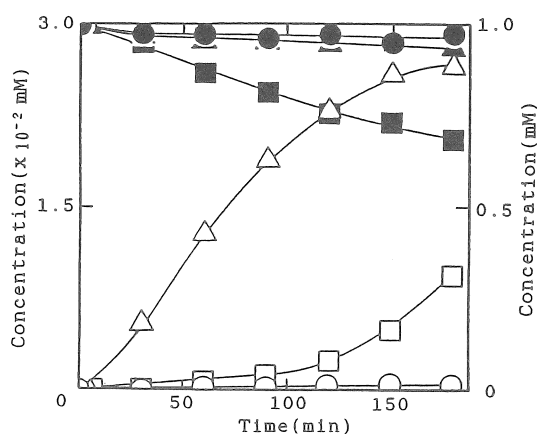


Fig. 9. Glucose transport through anion-exchange membrane fixed some anion: ●○, Cl^- -type membrane; ▲△, OH^- ; ■□, $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$; source phase, 1mM Glucose (● ▲ ■); receiving phase, pure water (○ △ □)

多段階の酸化還元反応を組み合わせたとときに効率が向上することを明らかにするとともに、予備的な段階ではあるが、光エネルギーを駆動力とする輸送現象を実現した。平成4年度はこれまでの研究を総まとめし、定量化していくとともに、光エネルギーを駆動力とする物質輸送を詳細に検討する。

非電解質の選択的輸送：平成3年度までは膜内での反応機構とその輸送に影響する要因について検討を進めたが、平成4年度は同様な原理に基づいて様々な非電解質の選択輸送を実現するとともに、これまでの研究をまとめて定量化する。

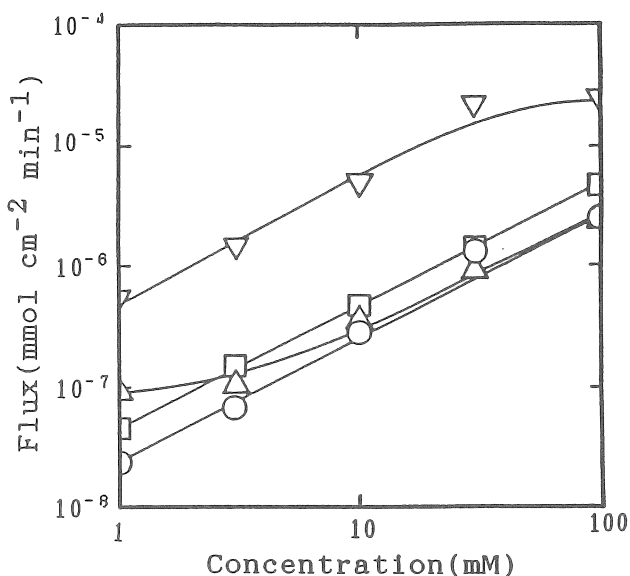


Fig. 10. Relationship between concentration of glucose and flux:
 Membrane: ○, Cl⁻ type; △, HSO₃⁻ type
 □, SO₃²⁻ type; ▽, OH⁻ type
 Source phase: 1, 3, 10, 30, 100, mM Glucose
 Receiving phase: Pure water

文献

- 1) M. Igawa, K. Echizenya, T. Hayashita, M. Seno: Bull. Chem. Soc. Jpn., **60**, 381 (1987).
- 2) M. Igawa, T. Tachibana, I. Ueki, M. Tanaka, M. Seno: I&EC Fundamentals, **29**, 485 (1985).
- 3) M. Igawa, Y. Takabayashi, T. Koizumi: Bull. Chem. Soc. Jpn., **65**, 1561 (1992).
- 4) J. J. Grimaldi, S. Boileau, J-M. Lehn: Nature, **265**, 229 (1977).
- 5) E. Sawicki, T. R. Hauser, T. W. Stanley, W. Elbert: Anal. Chem., **33**, 93 (1961).
- 6) P. K. Dasgupta, K. Decesare, J. C. Ullrey: Anal. Chem., **52**, 1912 (1980).
- 7) J. W. Munger, C. Tiller, M. R. Hoffmann: Science, **231**, 247 (1986).
- 8) M. Igawa, Y. Fukushi, T. Hayashita, M. R. Hoffmann: I&EC Research, **29**, 857 (1990).
- 9) T. Burkhalter, D. Peabock: Anal. Chem., **28**, 1186 (1956).

New Separation Methods of Mosaic Membrane Systems

Manabu IGAWA

Faculty of Engineering, Kanagawa University

Summary

New separation methods using mosaic membrane systems, (1) neutralization dialysis, (2) coupling of electron transport with ion transport, and (3) selective transport of non-electrolyte, were investigated and reported in this paper.

(1) Neutralization dialysis is a very effective deionization method. The salt solution in the deionization compartment is separated from an acid solution and a base solution by a cation-exchange membrane and an anion-exchange membrane, respectively. The cations are exchanged with proton, the anions are exchanged with hydroxide ion across each membrane, and the deionization and neutralization occur simultaneously in the deionization compartment. The pure water with the specific resistance of over $10 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ was obtained and very weak acids and bases were also removed from the deionization compartment by this method.

(2) A circulating current enhances transports of ions and electrons in a mosaic membrane system with ion-exchange membranes and electron-transport membranes. Electron transport is readily coupled to ion transport in a new mosaic membrane with electron-transport regions and ion-exchange regions. Electrons and ions are transported by the driving forces of the redox potential gradient or the concentration gradient. Redox chain reactions are generated in the mosaic membrane system as the electron flow in biological membranes and electrons were transported in this system by the visual light irradiation.

(3) Aldehydes and sugars were selectively transported across an anion-exchange membrane via their adduct-formation reactions with bisulfite ion, the complex-formation reaction of sugars with borate ion, and their acid-dissociation reactions. The aldehyde flux was dependent on the aldehyde concentration in the source phase solution and the existence of a limiting value was predicted and confirmed experimentally. Organic solutes can be selectively transported or concentrated via this method by specific reactions of the organic solutes with inorganic ions.