

膜技術プロセスの開発と 応用展開

住友化学(株) 生産技術センター
車谷昌彦
北浦武明

Process Development and Application of Membrane Technology

Sumitomo Chemical Co., Ltd.
Process and Production Technology Center
Masahiko KURUMATANI
Takenori KITAURA

Membrane separation is the separation from a mixture, of components of different molecular weights or different chemical properties utilizing the separation ability of membranes. It is a far less energy intensive process than distillation because it doesn't involve any phase changes. Furthermore, the application of membrane technology is not limited to just separation ; emulsifications and reactions are also possible. The authors of this paper are currently working to develop processes based on such technologies and here they introduce some new technologies and report on their progress in applying these technologies to the separation of resin solutions, effluent treatment and the advanced purification of pigments.

はじめに

近年、分子分画を意識した機能性分離膜や薬品耐性を強化した膜が上市され、工業プロセスや環境処理など膜分離の適用範囲が拡がりつつある。また、相変化を伴わない（加熱を行わない）ので省エネルギープロセスであり、熱安定性の悪い化合物に適している。

各種膜分離技術を、透過に必要な推進力で分類すれば、圧力差を利用する精密ろ過・限外ろ過・ナノろ過・逆浸透・浸透気化など一群のろ過膜分離と、電気ポテンシャル差を利用する電気透析とに大別される。圧力駆動の膜プロセスは連続相中の分離対象物質の濃度を通常20重量%以下に設定する。また、適切な分画分子量（孔径、孔径分布）を持つ膜を選定することで、幅広い分子量分布に対して適用可能である（分子量10～10万程度、Fig. 1）。一方、電気透析はイオン交換膜と電場を利用する分離法である。イオン交換膜は電荷をもつ多孔質膜であり、陽イオンまたは陰イオンのみを通す性質をもつ（陽イオン交換膜、陰イオン交換膜と呼ぶ）。電気透析ではこれらを組み合わせて、水のイオン成分の除去や濃縮を行う。分離の駆動力は電位差であり、イオンの移動

量は流れた電気量に比例する。電気透析は逆浸透などの圧力駆動の膜分離法に比較して、除去率、濃縮倍率が高いのが特長である。

以下、筆者らが行ってきたろ過膜分離、電気透析のプロセス開発と、応用展開について述べる。

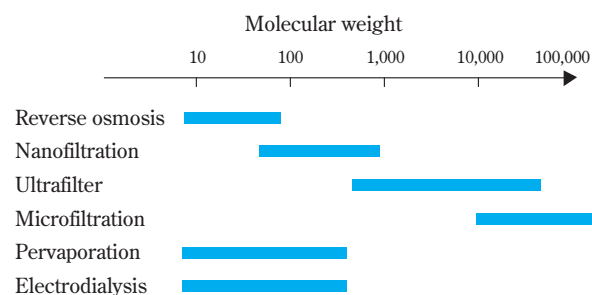


Fig. 1 Applicable ranges of separation membranes [Data from reference 1]]

膜分離技術

1. ろ過膜分離

(1) 原理

圧力差を推進力として、膜の細孔径と分子サイズ

の違いを利用して分離する方法である。膜の細孔径により逆浸透膜（RO膜）、ナノろ過膜（NF膜）、限外ろ過膜（UF膜）、精密ろ過膜（MF膜）と分けることができ（Fig. 1）それぞれ分離対象物質の分子量、分離モデルが異なっている。

(2) ろ過方法

ろ過方法には、処理液を膜面に対し平行に流すクロスフロー型ろ過と、処理液を膜面に対し垂直に透過させるデッドエンド型ろ過とがある（Fig. 2）。デッドエンド型ろ過には平面の膜（平膜）を用い、クロスフロー型ろ過には膜面を流れ方向に水平にしたエレメントを使用する。クロスフロー型ろ過は処理液の流れに起因するせん断力により膜表面でのゲル層の形成を抑制できる点で優れており、連続式、回分式プロセスの両者に適用可能である。

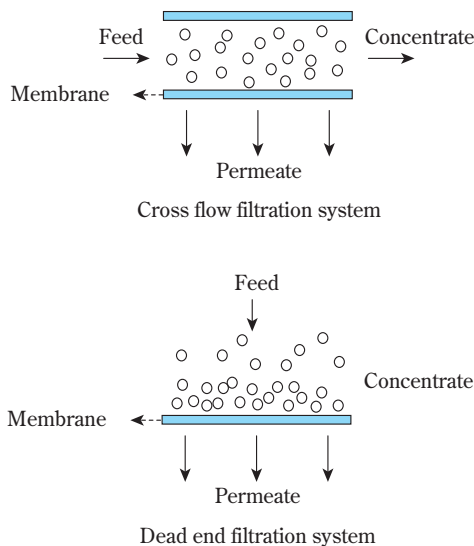


Fig. 2 Membrane separation system schemes

(3) 用途²⁾

一般的に膜を通過した透過液を製品とする精製用途、逆に濃縮液を製品とする濃縮用途、膜の選択透過性を利用して目的対象物を阻止するか透過させることにより、どちらか（あるいは両者）を製品とする分画用途の三つに分類できる。

(4) 性能評価

ろ過膜分離における性能評価は、分離対象物質の阻止率 R (Eq. 1) と、透過液の透過流束 F (Eq. 2) の2つで行う。膜の阻止率は供給液側の対象物質の濃度 C_b と透過液側の対象物質の濃度 C_p で定義され、分離性能が評価出来る。通常阻止率が90%程度の対象物質の分子量を分画分子量としている。

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_b} \tag{Eq. 1}$$

透過流束は単位時間 t 、単位面積 A 当たりの溶液の透過量 W_p であり、膜の処理能力が評価出来る。

$$F = \frac{W_p}{t \cdot A} \tag{Eq. 2}$$

2. 電気透析

電気透析は陽イオン交換膜と陰イオン交換膜を一对として複数配置し、両端に電場をかけてイオン性物質の濃縮、除去あるいはイオン性物質と非イオン性物質の分離を行う。通常陽イオン交換膜は負の電荷を有するスルホン酸基³⁾が膜に結合している。したがって陽イオン交換膜内に入るのはほとんど陽イオンのみである。膜の両側に電場をかければ膜内の陽イオンは水和した水分子とともに陰極側に移動して陽イオンの選択的透過が起こる。陰イオン交換膜は4級アンモニウムイオン基のような正の固定電荷を有し、陰イオンを選択的に透過させるので、Fig. 3に示すように陽イオン交換膜と組み合わせて使用することにより、塩の濃縮や脱塩が可能となる。

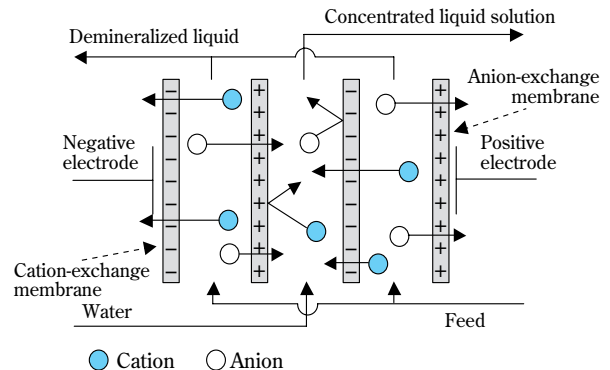


Fig. 3 The principle of electro dialysis membranes

膜技術プロセスの開発

1. ろ過膜分離

最初に被分離液の液性（濃度、pH、SS成分の有無等）を調査した後、分離対象物質の分子量をもとに最適な膜の選定を行い、次にプロセス設計に必要なエンジニアリングデータを取得し、それをもとに分離プロセス設計を行う。

(1) 膜の選定（Dead-End型ろ過実験）

膜の選定のポイントは、分離対象とする物質が阻止でき、且つ設計に必要な透過流束が得られること

である。ろ過実験はデッドエンド型平膜テスト機にて実施するが、実験前に分離対象物の分子量をもとに候補となる膜を数種類に絞り込む。市販されている各種の膜（RO膜、NF膜、UF膜、MF膜）は、NaClの阻止率、分画分子量、細孔径により膜の性能を公表しているが、それらは膜細孔径の大小を比較するための参考値とはなるものの分離対象物質に対する阻止率が分からないため、それだけで膜を絞り込むのは難しい。そのため筆者らは、膜のモデル物質（数種の分子量）に対する阻止率を表した分離性能マップ（Fig. 4）を作成し、各種膜の膜性能を同一基準で把握している。これにより、分離対象物質の分子量が1万程度までは、分離性能マップより候補膜の絞り込みが可能となった。

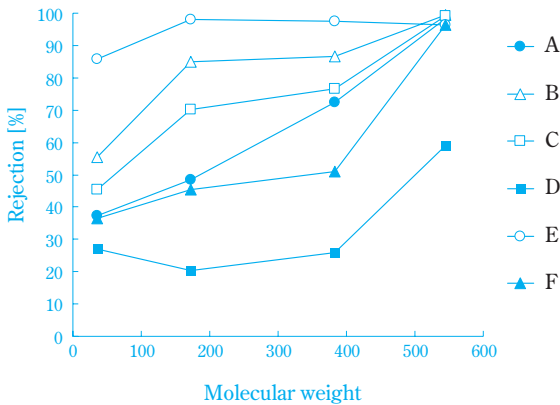


Fig. 4 Relationship between molecular weight and rejection

次に、候補となる膜を使用し、デッドエンド型ろ過実験（0.1～3MPa）により分離対象物質の阻止率、透過流束を測定し有望な膜を選定する。

(2) エンジニアリングデータの取得⁴⁾（クロスフローテスト型ろ過実験）

デッドエンド型ろ過実験で選定した膜を用いて、クロスフロー型ろ過器にて実用化の可否を見極めるとともに、プロセス設計（膜面積、膜エレメントの配列（Fig. 5））に必要なエンジニアリングデータを取得する。実験は、実機と同様のタイプのエレメン

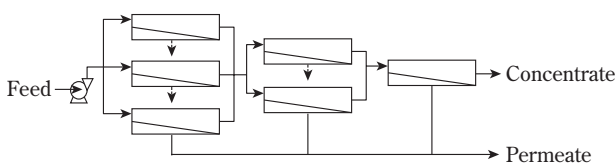


Fig. 5 An example of an element sequence (Christmas tree sequence)

トを用い、実機とできるだけ近い条件（運転圧力、濃度、流量）で測定することが重要である。必要なエンジニアリングデータはプロセスによって様々であるが、主要なものを下記に示す。

- ・運転圧力と透過流束の関係
- ・エレメントへの供給流量と透過流束の関係
- ・供給液の分離対象物質濃度と透過流束の関係

(3) 膜プロセス設計

① 膜処理方式の選択

連続方式（リサイクル有り、無し）、回分方式、ダイアフィルトレーション方式（Fig. 6）があり、プロセスの特徴（供給液量、稼働率、設置面積、経済性）に応じて最適な方式を選択する。一般的に、処理量が多い場合は連続方式、処理量が少ない場合は回分方式を選択する。

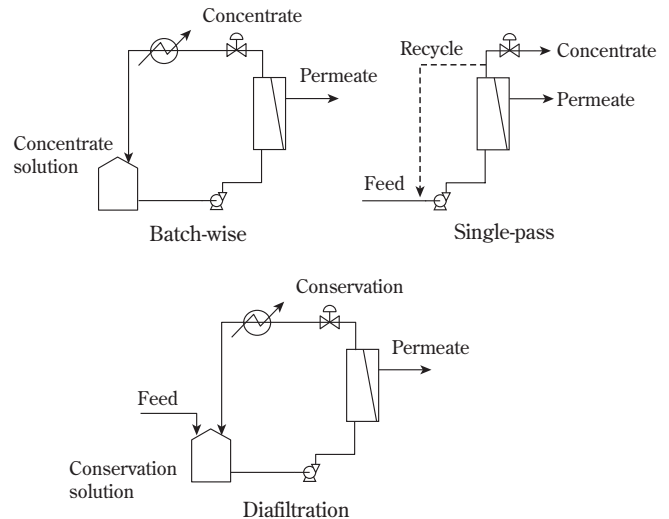


Fig. 6 Filtration system

② 必要膜面積の算出、膜エレメントの配列設計

必要膜面積の算出には運転圧力における、供給液の分離対象物質濃度と透過流束の関係式を使用する。必要膜面積は、膜エレメントの配列の組み方（並列数、直列数）によっても多少変化する。並列数を多くすると、透過流束を大きくすることができ膜面積が小さくなるが、ポンプの必要能力（流量）が高くなる。一方、直列数を多くするとポンプの必要能力は小さくて済むが、必要膜面積、圧力損失が大きくなる。

次に、膜エレメントの配列の組み方であるが、エレメントは膜保護（破裂、過濃縮防止）のため最大供給液量、最小濃縮液量が決められている。よって、各エレメントがその値に納まるように配列（ツリー構造）を組む。

2. 電気透析

電気透析のプロセス開発の手順も、ろ過膜と同様に、膜の選定、エンジニアリングデータの取得、プロセス基本設計となる。

(1) 膜の選定

膜選定のポイントは、分離対象イオンの単位セルにおける透過流束 [$\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{hr})$] が設計に十分な値 (必要膜面積が大きくなり過ぎない) であり、目的物以外の物質の透過液へのロスが少ない (阻止率が高い) ことである。筆者らは、各種イオン交換膜の性能を、各種モデル物質 (1価イオン) の透過流束で評価した分離性能マップにまとめている。その一例として、Fig. 7 に各アニオン交換膜のp-トルエンスルホン酸 (分子量: 約172) の透過流束のデータを示す。

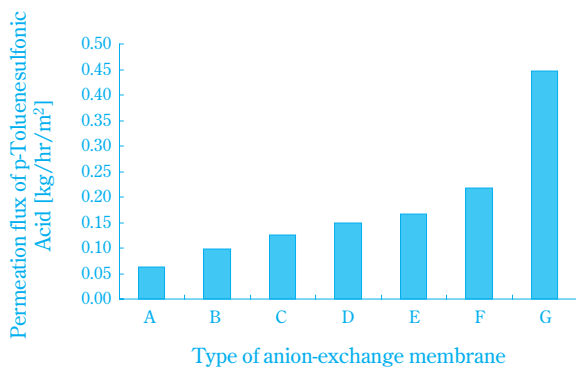


Fig. 7 Rate of desalination of anion-exchange membrane

(2) エンジニアリングデータの取得

選定した膜を用いて、小型電気透析装置 (マイクロ・アシライザー3S、アストム社) にて実用化の可否を見極めるとともに、プロセス設計に必要なエンジニアリングデータ (下記参照) を取得する。

- ・印加電圧と透過流束の関係
- ・供給液の濃度と透過流束の関係
- ・限界電流密度の把握

(3) 膜プロセス設計

運転方式としては連続方式、リサイクル連続方式、回分方式があり脱塩率や処理量により使い分けを実施する。一般的に、処理量が多い場合は連続、リサイクル連続方式、処理量が少なく (1Ton/hr程度まで)、高い脱塩率を求められる場合は回分方式を選択するのが望ましい。

各種プロセスへの展開

各種プロセスへの膜処理プロセスの検討、適用し

た代表例をTable 1に示す。ろ過膜による分別用途、ろ過膜・電気透析による精製 (脱塩) 用途、ろ過膜による濃縮用途について検討した事例を紹介する。

Table 1 A summary of processes based on membrane technology and some examples of their application

Application	Type of membrane ^{*)}	Detail of separation process
Purification	ED	Separation of alcohol and sodium formate
	ED, UF	Desalination of pigment
	ED	Organic acid purification from drainage
Fractionation	UF	Separation of polymer and monomer
	UF	Separation of polymer and organic acid
	UF	Organic recovery from emulsion
Concentration	RO	Concentration of COD component from drainage

^{*)} RO : reverse osmosis membrane, UF : ultrafilter membrane, ED : electrodialysis membrane

1. ろ過膜 (UF膜) による分別

(1) レゾルシン (1,3 - Benzenediol)・低級アルデヒドのノボラック樹脂の精製

レゾルシンとホルムアルデヒドなどの低級アルデヒドとを水溶液中で縮重合して得られる樹脂は添加剤、接着剤、接着促進剤などに広く利用されている。レゾルシンとホルムアルデヒドを縮重合させて得られる樹脂は、ゴム中に練り込むことでゴム組成物と繊維との接着性が向上する。しかし、樹脂中に存在する未反応のレゾルシンが多量であると、ゴム表面にブルーム現象を起こす等の問題がある。レゾルシンを取り除く方法としては、有機溶剤を添加してレゾルシンを抽出する方法があるが、筆者らはろ過膜による、未反応のレゾルシンと樹脂とを分別するプロセスを開発した⁵⁾。

(2) ろ過膜による分別

レゾルシン・低級アルデヒドを酸触媒のもと縮重合させた樹脂の平均分子量は300~1,000程度である。またレゾルシンの分子量は110であるため、この両者を分離すべく分画分子量が100~300程度である芳香族ポリアミド製限外ろ過膜を分離性能マップより選定した。分離方式としては、レゾルシン・低級アルデヒド樹脂の水溶液 (RF樹脂、Fig. 8参照) を膜分離しながら、RF樹脂の濃度を一定に保つために水を連続的に添加するダイアフィльтраーション方式を採用した。これにより、透過液に未反応のレゾルシン、濃縮液に樹脂が保持される。Fig. 9に膜分離前後での重合マスの分子量分布を示す。膜分離後の樹脂は分子量100付近の割合が低下しており、レゾルシン

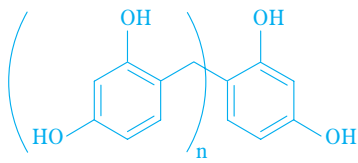


Fig. 8 Structural formula of RF-resin

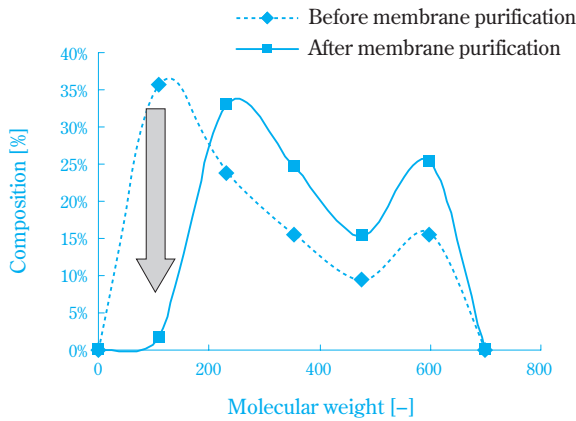


Fig. 9 Change of distribution of molecular weight

の含有率を低減させたレゾルシン・低級アルデヒド樹脂水溶液が得られた。

2. ろ過膜による濃縮分離(逆浸透膜を用いた排水処理)

(1) 概要

当社バルク工場におけるプロセス排水は、COD成分およびBT負荷成分が高く、排水負荷を軽減する必要があった。そこで筆者らは、排水中のCOD成分および、BT負荷成分を膜濃縮で除去することにより、排水負荷を低減することを見出し膜処理プロセス検討を行った。

(2) 想定プロセス

当該プロセスからの排水は16.4Ton/hr発生している。筆者らは、膜処理による排水負荷を低減するプロセスとして、当該排水中のCOD成分を膜濃縮し、濃縮液を炉焼却、透過液をBT処理するプロセス (Fig. 10) を考案した。

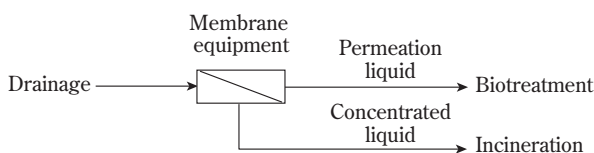


Fig. 10 Membrane process of drainage

(3) 検討内容

プロセスが成り立つためには、排水のCOD成分を良好に阻止し、排水16.4Ton/hrを炉の焼却能力である1.1Ton/hrまで15倍濃縮(濃縮倍率=供給液量/濃縮液量)が可能であること、またファウリングの影響を確認し、長期連続運転が可能であることが求められる。

① 膜の選定

排水中のCOD成分を調べたところ、分子量は40~200程度の物質であった。これらを阻止する可能性の高い膜の候補として、RO膜~NF膜の4種類を選び、デッドエンド型ろ過実験を行った(ろ過圧2.5MPa)。その結果をTable 2に示す。

Table 2 Result of Dead-end filtration experiment

Name of membrane	Type of membrane	Permeation flux [kg/(m ² ·hr)]	Rejection of COD component [%]	Highly loaded components of Biotreatment
BW-30	RO	23.9	97.5	Blocked
XLE	RO	84.3	97.0	Permeates
NF-90	NF	84.0	79.1	Permeates
DK	NF	154.4	46.0	Permeates

実験の結果RO膜の一種であるBW-30 (Film Tech、Dow社) がCOD成分およびBT負荷成分を良好に阻止している結果となりこの膜を選定した。またBW-30のみで目標の15倍濃縮が達成できず、BW-30以上の高度濃縮が必要な場合は、BW-30と同じ阻止率を有する高圧タイプのSW-30 (Film Tech、Dow社) を選定する。

② エンジニアリングデータの取得

(i) 目標濃縮倍率の確認

BW-30、SW-30でのスパイラル型エレメントを用いたクロスフロー型ろ過実験を行い、設計に必要なエンジニアリングデータを取得するとともに、膜処理の適用可否判断を実施した。

Fig. 11にBW-30、SW-30を使用したクロスフロー型ろ過実験時の濃縮倍率と透過流束の関係を示す。この結果から、15倍濃縮時の透過流束は10kg/(m²·hr)確保できており、設計に有効な透過流束が得られていることからBW-30、SW-30による2段濃縮にて目標の濃縮倍率が達成できることを確認した。

(ii) ファウリングの影響

次に、BW-30を用いて20日間の連続運転を行い、ファウリングによる、透過流束と阻止率の経時変化を確認した (Fig. 12)。その結果、透過流束は初期に

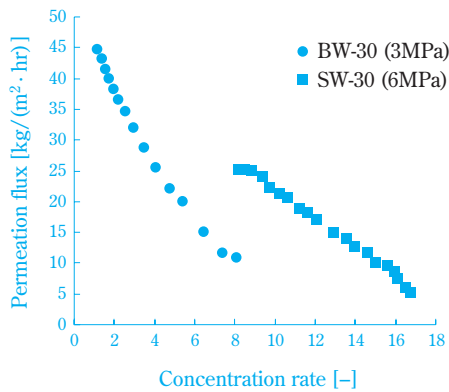


Fig. 11 Relationship between concentration rate and permeation

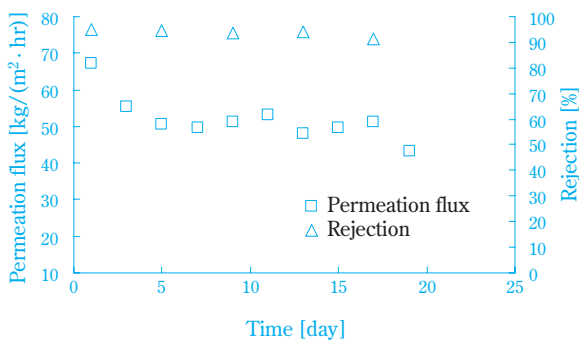


Fig. 12 Result of tests under continuous operation

若干の透下がみられるものの、その後は一定であり、またCOD成分の阻止率も常に90%以上を維持していることより、膜の長期連続運転の可能を確認できた。

③ 膜処理プロセスの設備設計

エンジニアリングデータをもとに、膜処理プロセスの基本設計を行った。

(i) 濃縮方式、膜面積、膜配列の設計

濃縮方式は連続濃縮方式、リサイクル連続濃縮方式、回分濃縮方式それぞれについて、必要膜面積の算出、膜配列（クリスマスツリー配列）を設計する。

Table 3 Details of the membrane process

	BW unit	SW unit
Element	BW30-365 (8inch)	SW30HR-380 (8inch)
Membrane area [m ²]	813.6	423.6
Arrangement	4inline×3parallel+4inline×2parallel+4inline	4inline×2parallel+4inline
Pumping ability		
Pump head [MPa-A]	5.2	8.5
Feed rate [Ton/hr]	24	12
Concentration rate [-]	5.5	2.7
Feed rate		
Provision [Ton/hr]	19.4	9
Concentrate [Ton/hr]	9	7.1
Recycle [Ton/hr]	6	6
Permeate [Ton/hr]	10.4	1.9

その結果、設備費を最小にできるリサイクル連続濃縮方式（Fig. 13、Table 3）を採用した。

3. 色素の脱塩による高度精製

(1) 概要

フタロシアニン系色素（分子量約1400）の精製工程においてTable 4に示した各イオンを目標値まで分離するプロセスを開発する必要があった。被処理液は10wt%水溶液であり、特に、約1%のSO₄²⁻を約100ppmまで脱塩することがポイントとなる。そこで、ろ過膜（ダイアフィルトレーション方式）および電気

Table 4 Ion content of the process liquid and the required specification

Ion	Content [ppm]	
	Process liquid	Required specification
Cu ²⁺	22	15
Li ⁺	3410	2500
NH ₄ ⁺	13	600
Na ⁺	8	100
SO ₄ ²⁻	11100	100
Cl ⁻	264	100

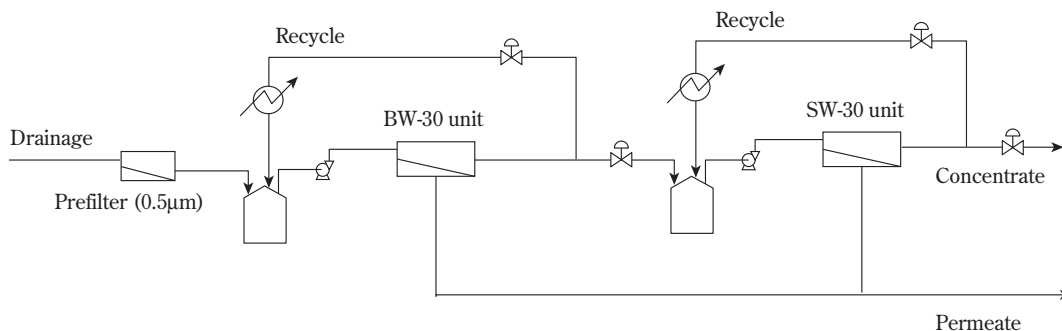


Fig. 13 Flow diagram of a membrane process

透析による脱塩検討を実施した内容を以下に述べる。

(2) ろ過膜による脱塩検討

① 膜の選定

まずろ過膜による脱塩可否を判断すべく、デッドエンド型ろ過実験を実施した。分離性能マップより、ナノろ過膜および限外ろ過膜数種類を候補として、ろ過実験を行った。その結果、限外ろ過膜であるG-10 (Desal社、材質：架橋全芳香族ポリアミド)がSO₄²⁻阻止率40%、透過流束50kg/(m²・hr)となり選定した。

② 脱塩可否検討

選定膜を用いて目標値まで脱塩するために、クロスフロー型ろ過器によりダイアフィルトレーション方式による脱塩を実施した。

ろ過器内の処理液量が一定になるように系外に排出した透過液分の溶媒(本系ではイオン交換水)を添加した。透過倍率を(Eq. 3)のように定義する。ここでSは透過倍率、W_dは加えた溶媒量、W₀は処理液量を表す。

$$S = \frac{W_d}{W_0} \quad (\text{Eq. 3})$$

Fig. 14に10wt%色素水溶液での脱塩挙動を示す。透過倍率25倍で目標値までの脱塩が達成でき、有効な透過流束25kg/(m²・hr)が得られていることから、膜ろ過による脱塩が可能である。

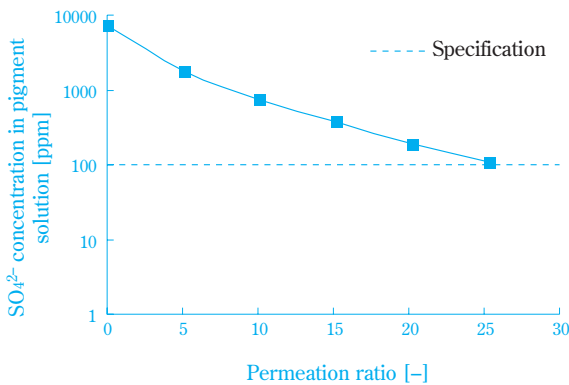


Fig. 14 Desalination performance of cross-flow filtration

(3) 電気透析による検討

① 膜の選定

膜の選定のポイントとしては、主要な除去対象陽イオンのLi⁺、陰イオンのSO₄²⁻の透過流束が十分であり、且つ色素のロスが最小限であることである。分離性能マップより、陽イオン交換膜としてはCIMS

(アストム社) 陰イオン交換膜についてはA201 (アストム社)を候補とした。

② 脱塩可否検討

上記の電気透析膜を用いた場合の各種測定データ(電流値、処理液・透過液導電率、透過液pH)をFig. 15に、実験条件をTable 5に示す。Fig. 15のように脱塩が進むにつれて処理液の導電率が減少し、透過液の導電率が増加する(塩が処理液から透過液へ移動していることを示す)。また、脱塩が進むに従い電流値の低下が見られた(透過している塩が減少していることを示す)。なお透析時間45minの時点で処理液中のSO₄²⁻濃度は100ppmから10ppmになり、目標値に到達しているため電気透析で脱塩が可能である。

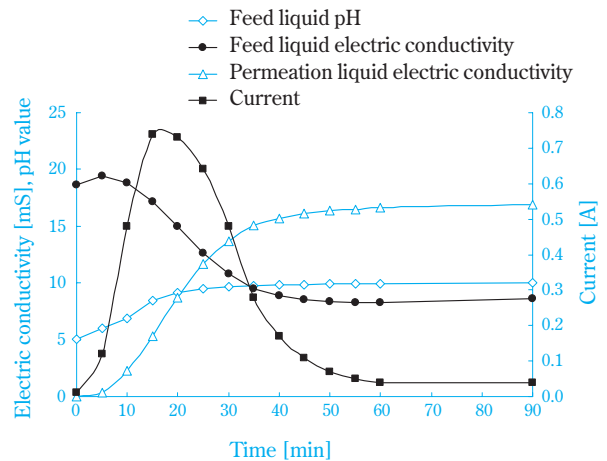


Fig. 15 Desalination behavior of electro dialysis

Table 5 Comparison of filtration membranes and electro dialysis membranes

	Filtration membrane	Electro dialysis membrane
Desalination ability (SO ₄ ²⁻) [ppm]	100	10
Required necessary membrane area [m ²]	840	50
Capital-investment [M¥]	70	50

③ ろ過膜と電気透析の比較

限外ろ過膜および電気透析を用いた脱塩精製の検討事例を述べた。本検討のように脱塩スペックが100ppm前後であればろ過膜分離の適用も可能であるが、それ以下になると必要透過倍率が非常に大きくなり適用困難となる。一方電気透析では、数10ppmのオーダーまで容易に脱塩することが可能であり、またろ過膜に比べて必要膜面積が小さく設備がコンパクトになる(Table 5)ため、スペックが厳しい品目に対しては非常に有望なプロセスであるといえる。

新規技術

1. 膜乳化への展開

これまで、分離技術としての膜の利用について述べてきた。しかし、膜はその特性を利用することにより、分離技術以外のプロセスでも適用が可能である。一例として、膜乳化法を紹介する。

(1) 膜乳化法⁶⁾

膜乳化法の原理は、分散相液体（水相、油相）を多孔質膜の細孔を通して微小液滴として連続相中に分散させてエマルションを得る方法（Fig. 16）である。従来の機械的物理手法（攪拌乳化機、高圧ホモジナイザー等）と比較して、膜細孔の均一性を利用していることから単分散で安定なエマルション生成が可能、乳化エネルギーが低い等の利点がある。筆者らは、膜乳化法の微細、単分散液滴が調整可能な点に着目し、晶析技術等への応用を検討中である。

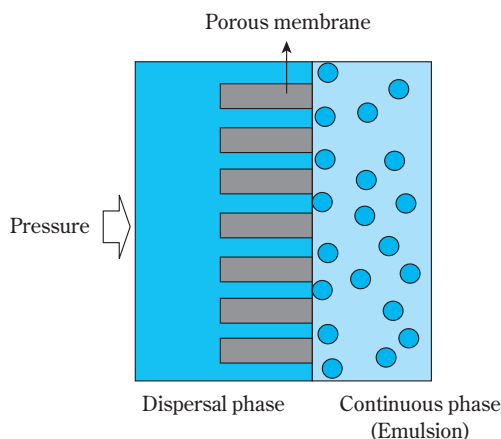


Fig. 16 Principle of membrane emulsification

2. 特有イオンの誘導技術

これまで電気透析の用途として、脱塩などのイオン種の分離について述べてきた。しかし電気透析は分離以外にもイオン交換法として利用が可能である。筆者らは各種イオン交換膜の性能を利用し、効率的なイオン交換法による有価物の生成方法を見出した。一例としてフッ化有機4級アンモニウム⁷⁾の生成について述べる⁷⁾。

(1) フッ化有機4級アンモニウム

フッ化テトラ-n-ブチルアンモニウム（Fig. 17）などのフッ化有機4級アンモニウムは、保護基であるシリル基の脱離剤、相間移動触媒、フッ素化剤など有機反応の反応試剤として極めて有用な化合物である。フッ化有機4級アンモニウムの製造方法としては、有

機アンモニウムの塩と、フッ化カリウムなどのフッ化金属塩とを反応させる方法が多用されているが、他のハロゲン化塩や硫酸塩などの塩を多量に含んでしまうという問題がある。筆者らは、電気透析によるイオン交換法で、有機アンモニウムの塩とフッ化金属塩のイオン交換を行い、フッ化有機4級アンモニウムを生成するプロセスを開発した。

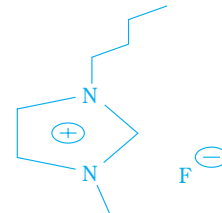


Fig. 17 Structural formula of tetra-n-butylammonium

(2) 電気透析によるイオン交換法

Fig. 18のように、陽イオン交換膜、陰イオン交換膜を配置させて供給室、処理室、廃液室の3室を作る。供給室にはフッ化金属塩水溶液、処理室には有機アンモニウム塩水溶液、廃液室には水を流し、両端に電圧をかけると供給室のフッ化物イオンが処理室に移動すると同時に、処理室の陰イオンが廃液室に移動するため、処理室においてアニオンの交換が行われフッ化テトラ-n-ブチルアンモニウムが得られる。収率は約80%であった。

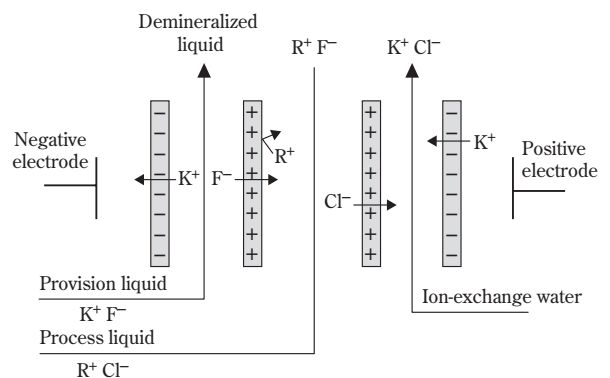


Fig. 18 Ion exchange dialysis

まとめ

本稿で述べたように、ろ過膜、電気透析は対象プロセス、物質に応じて適切な膜の選定、処理方法の選択により高度分離プロセスを構築することが可能である。また、膜の特性を活かすことにより、分離以外の用途の適用も可能である。近年は、耐薬品性、

耐熱性、高耐久性の膜や、刺激（温度pH）応答性、光機能性などの機能を付与した膜も開発されており、その適用範囲が広がっている。本稿がこれらの膜の特性を利用した、膜技術プロセスの開発の一助となれば幸いである。

引用文献

- 1) 松本 幹治, “ユーザーのための実用膜分離技術”, 初版, 日刊工業新聞社 (1996), p.5 .
- 2) 澤田 繁樹, “現場で役立つ膜ろ過技術”, 初版,

(株)工業調査会 (2006), p.14 .

- 3) 妹尾 学, 谷岡 明彦, 糸井 滋, 山内 昭, 吉田 章一郎, “イオン交換膜の機能と応用”, 初版, (株)アイピーシー (2004), p.61 .
- 4) 大矢 晴彦, 渡辺 敦夫, “食品膜技術”, 初版, (株)光琳 (1999), p.206 .
- 5) 住友化学(株), 特開2002-327034 (2002) .
- 6) 大矢 晴彦, 渡辺 敦夫, “食品膜技術”, 初版, (株)光琳 (1999), p.503 .
- 7) 住友化学(株), 特開2006-306753 (2006) .

PROFILE



車谷 昌彦
Masahiko KURUMATANI
住友化学株式会社
生産技術センター
主席研究員



北浦 武明
Takenori KITAURA
住友化学株式会社
生産技術センター
研究員