

# 膜利用による分離・濃縮技術について

大堀 忠志  
野 俣 洋

はじめに

膜利用による物質の分離・濃縮技術は、一九六〇年に逆浸透膜が開発されて以来、海水の淡水化をはじめとして、超純水の製造、バルブ廃水の処理などにおいて確立された技術となつています。食品工業の分野においても、チーズホエーの処理にはじまり、卵白の濃縮、リンゴ果汁の清澄化、トマトジュースの濃縮、酵素の精製、でん粉廃水の処理など実用化例も多く、近年では新しい膜の開発により、その応用範囲も広がってきています。また、一九八二年には農林水産省により「食品産業膜利用技術研究組合」が設立され、膜による分離・濃縮技術の実用化に向けて活発な研究が行われています（表1）。

膜とは何か

現在、利用されている主な膜技術としては、電気透析（ED）、精密濾過（MF）、限外濾過（UF）、逆浸透（RO）があります。このうち、電気透析は電位差を利用するもので、わが国では海水からの食塩の製造に使わ

れているほか、減塩醤油の製造やチーズホエーからの塩分の除去にも利用されています。これに対して、精密濾過、限外濾過、逆浸透は微細孔をもつ膜を用いて溶液中の物質を圧力差により分離するものであります。

物質の大きさと分離方法を図1、膜の断面模式図を図2に示しました。精密濾過は数ミクロンから $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 程度の物質を分離することができ、例えば細菌や酵母などの微生物やウイルス、赤血球、白血球は精密濾過により分離されます。このため、生ビールや生酒の除菌など食品から微生物を取り除く場合に精密濾過が使われています。

限外濾過と逆浸透は、精密濾過よりもさらに小さい物質を分子レベルで分離する技術で、膜を透過した物質は膜の内部では目詰まりしない構造になっています。これらの技術は、最近食品工業の分野において非常に注目されており、チーズホエーの処理や卵白の濃縮など先に紹介した多くの実用化例があります。限外濾過と逆浸透の違いは、簡単にいうと膜の細孔の大きさの違いであると考えられ、

限外濾過膜は逆浸透膜よりも細孔が大きい。また、濾過の圧力は、限外濾過は $1\sim 10\text{ kg/cm}^2$ と低圧ですが逆浸透では $20\sim 50\text{ kg/cm}^2$ と高圧で行います。

限外濾過の場合、たん白質や多糖類などの高分子物質は膜を透過しませんが、アミノ酸や塩類などの低分子物質は膜を透過します。一方、逆浸透では主に水だけを透過し、アミノ酸や塩類などはほとんど膜を透過しません。

濾過の形式と膜の形状

濾過形式の模式図を図3に示しました。一般に用いられている垂直流濾過（デッドエンド型）の場合は、膜を透過しない物質が膜の表面に堆積するため、目詰まりなどによって濾過の速さが低下します。これに対して、十字流濾過（クロスフロー型）の場合は、膜表面に平行な流れをもたせることにより、膜面に堆積した物質を流し去りながら濾過を行うもので、垂直流濾過に比べ目詰まりが防止され効率的に濾過が行われます。このため、限外濾過や逆浸透においてはクロスフロー型による濾過が用いられます。

各種膜モジュールの構造を図4に示しました。限外濾過や逆浸透はクロスフロー型という特殊な濾過方式を用いるため、様々な形状の膜モジュールが開発されており、溶液の性状や目的に応じて膜モジュールを選定します。膜の形状には次の四つがあります。管型モジュール管の内側が膜になってお

表1 食品産業膜利用技術研究組合（研究課題名と研究組合）

業種別	試験研究課題	実施企業	
		食品企業	膜及びエンジニアリング企業
乳加工	1 UFによる全乳及び脱脂乳の濃縮	雪印乳業(株)	三井石油化学工業(株)
	2 ROによるホエーの濃縮	森永乳業(株)	帝人エンジニアリング(株)
	3 乳又はホエーの成分分画	協同乳業(株)	岩井機械工業(株)
	4 発酵乳から目的外物質の除去	明治乳業(株)	栗田工業(株)
	5 発酵乳製造に係る濃縮	全国酪農協同組合連合会	アルバックサービス(株)
	6 膜法による原料乳品質の向上	日本酪農協同(株)	久保田鉄工(株)
果実加工	7 柑橘果実の特定成分分画	愛媛県青果農業協同組合連合会	㈱イズミフードマシナリ
	8 ペクチン等の回収及びその有効利用	青旗缶詰(株)	東レ・エンジニアリング(株)
	9 りんごの透明果汁と濃縮果汁の製造	寿高原食品(株)	住友ベークライト(株)
たんぱく質加工	10 卵白の濃縮・成分分画	キューピー(株)	日東電気工業(株)
	11 食肉たんぱく質の分離・濃縮	伊藤ハム栄養食品(株)	日本酪農機械(株)
	12 廃糖蜜の脱色	オリエンタル酵母工業(株)	㈱クラレ
	13 酵素分解液の成分分画	森永製菓(株)	倉敷紡績(株)
	14 HVP（大豆系）調味液の脱色・脱塩	味の素(株)	日東電気工業(株)
	15 豆乳の濃縮	㈱紀文	三菱レイヨンエンジニアリング(株)
	16 豆乳中の不快成分の除去	朝日食品(株)	テクノユニバース(株)
	17 生揚げ醤油ろ過における膜利用技術の開発	サンピシ(株)	アルバックサービス(株)
	18 膜法による火入醤油ろ過技術	正田醤油(株)	栗田工業(株)

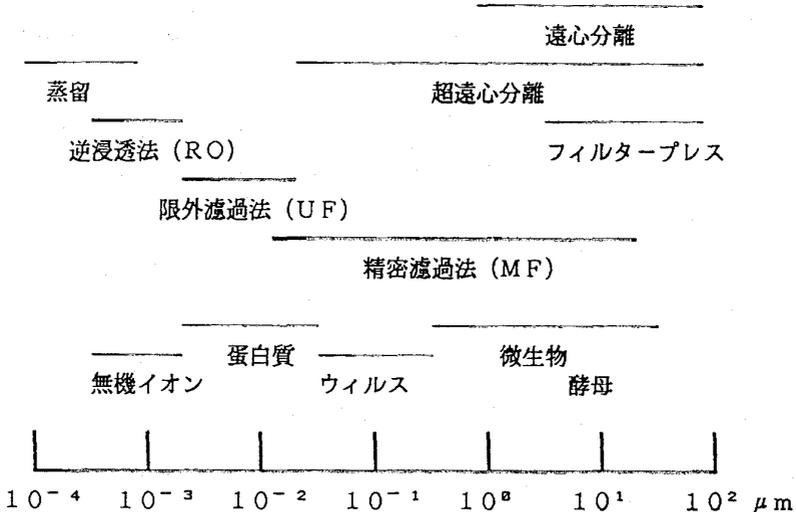
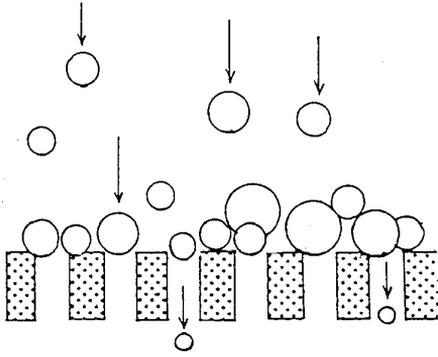
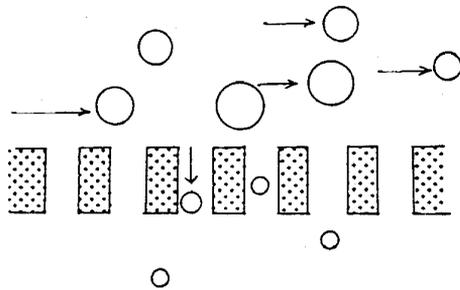


図1 物質の大きさと分離方法



垂直流濾過（デッドエンド型）



十字流濾過（クロスフロー型）

図3 濾過形式の模式図



精密濾過膜



限外濾過膜



逆浸透膜

図2 膜の断面模式図

膜の材質  
限外濾過膜の材質としては、酢酸セルロース、ポリアクリロニトリル、ポリオレフィン、ポリスルホンなどが用いられ、この中でポリスルホン膜は、耐熱性、耐薬品性、耐pH性に優れているため広く使われています。また、最近では九八℃の高温に耐えるポリエーテルサルホン膜やセラミックスなど無機質の限外濾過膜も開発されています。

平面型モジュールは平膜を平面状に使用するモジュールで、通常はプレートを使用し多数の膜を重ねて用います。このモジュールは、膜だけを交換できる利点があり、内部構造が単純なので洗浄が簡単です。

スパイラル型モジュールはシート状の膜をのり巻状に成型したもので、膜の間はスペーサーにより溶液の流路が確保されます。このモジュールは体積あたりの膜面積が広くとれます。

中空糸型モジュールは中空糸（細管状の繊維）の内側が膜になっているもので、高密度に束ねることにより膜面積が大きくとれるため、たいへんコンパクトな膜モジュールです。

り、溶液は管の内側を流れるため透過液は管の外側にてきます。管型モジュールの特徴は、粘性をもった液や粒子が混ざった液でも処理ができ、膜の洗浄も比較的簡単なことです。

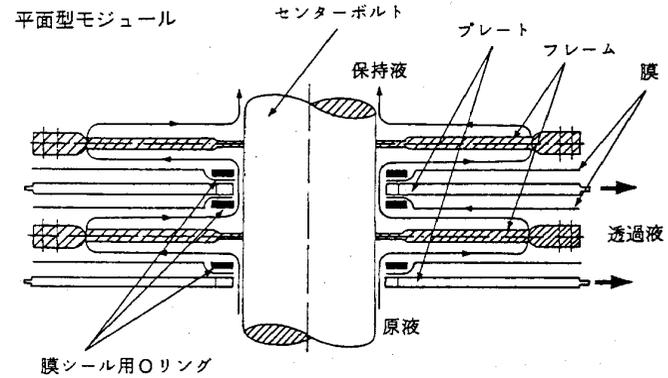
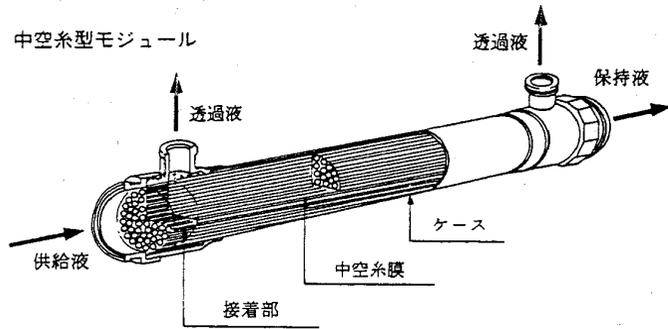
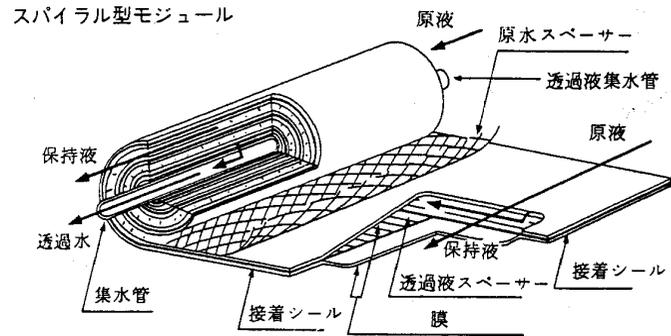
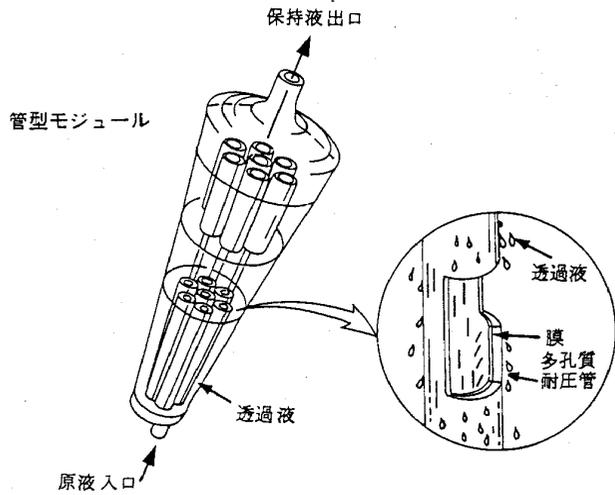


図4 各種膜モジュールの構造

「食品の未来学 バイオテクノロジーは食卓を変える」読売新聞社より転載

逆浸透膜の材質としては、酢酸セルロースやポリアミドが多く用いられているが、酢酸セルロース膜は使用pH範囲が三と八と狭く、耐熱性が四〇℃程度までと低い欠点があります。最近では耐熱性に優れた複合膜が新しく開発されています。

#### 膜利用の特徴と問題点

膜利用の特徴としては次のものがあります。

(1) 熱や薬品による影響が少なく迅速に処理ができるため、目的物質の変性が少ない。

(2) 濃縮と精製、反応と分離など複数の機能を同時に処理することができるため、工程の合理化が可能である。

(3) 操作が簡単で省エネルギーであり、スケールアップが容易である。

また、膜の利用については解決しなければならぬ点も多く、問題点としては次のものがあります。

(1) 目的に適した性能の膜を選定するのに手間がかかる。

(2) 溶液の浸透圧や粘度、温度などの関係から、分離や濃縮に限界がある。

(3) 膜のファウリング(目詰まり)により透過流速の低下や分画性能が変化する。

(4) 膜モジュールや膜装置の洗浄や殺菌を行う場合、耐薬品性や耐熱性に問題がある。

#### 新しい膜技術について

今後、実用化が期待されている新しい膜技術の一つとして、「ダイナミック膜」があります。これは、多孔性セラミックスや焼結ステンレスなどの支持体の上に加圧しながら濾過を行い、溶液中の成分やある種のコロイドを付着または目詰まりさせ、この付着層に限外濾過膜と同様の阻止性能を持たせるものです。ダイナミック膜は、膜の形成、除去が容易であり、支持体がセラミックスや焼結ステンレスのため耐久性や耐熱性、耐薬品性に優れているため、膜装置の衛生管理が容易である特徴を持っています。ダイナミック膜については、水産ねり製品廃水や甘藷デンプン廃水などからの有機成分の回収を目的として研究が行われており、その成果が期待されています。

#### おわりに

これまで膜技術を中心に紹介しましたが、膜技術はバイオテクノロジーにおいても有効な補助技術として注目されています。現在、いろいろな工業で行われている酵素反応や微生物反応は回分式反応ですが、これらに膜装置を結合させることにより、連続反応システムが可能となります。この膜装置をもつ反応器はメンブレリアクターとよばれ、メンブレリアクターの一つに遊離酵素膜分離方式(遊離酵素型)があります。遊離酵素型リアクターは、たん白質やセルロース、デンプン

などの高分子物質の酵素分解に利用されており、現在、釧路水試加工部においても、イワシ煮汁からの天然調味料製造試験の中で遊離酵素型リアクターについて検討を行っているところであります。

膜とバイオテクノロジーを組合わせた研究は始まったばかりであり、今後、新しい膜技術の開発により、バイオテクノロジーの技術もさらに発展するものと思われまます。

(おおほりただし・のまたひろし 加工部)

#### 参考文献

津村信蔵・他二名(一九八七)「食品の未来学」バイオテクノロジーは食卓を変える 読売新聞社

中島光敏・渡辺敦夫(一九八六)「食品工業への膜利用の現状と課題」フードケミカル

五月号 四三〜四九

