食品加工への膜利用

野村男次*

膜を利用して物質の分離を行なう技法は人工高分子物質膜の開発によって急速に進歩した。熱変性を伴わない、酸素の影響も少ないなど食品の加工にうってつけの性格を持つが、実用化するには解決すべき問題が残されている。膜汚染とそれに伴う対策などが第一にあげられる。そのような問題点を指摘して、今後の開発に対処することが将来の利用に必要であろう。

膜を利用した物質の分離・濃縮技術（膜法）は広範な物質分離に適用されているが、今日、食品加工領域で注目されている膜法としては、逆浸透、限外濾過、電気透析などがあげられる。このうち限外濾過はかなり古くから知られているが、逆浸透は 1950 年の後半、海水の淡水化法として生まれ、以来急速に研究が進み、今日ではすでに実用化の段階に入っている。この逆浸透の研究の発展は、限外濾過の研究にも影響を与え、とくに実用化の研究を一段と伸展させた。また、透過性のよい膜の開発、耐圧性をもつモジュールの作製は、これらの方法の発展を早めた。電気透析法も、1940 年に多室電気透析の概念が発表され、その概念に合ったイオン選択性透過膜としてのイオン交換膜が誕生し(1950年)、以来脱塩装置として開発が進んでいる。現在、これら 3 つの分離技術は単独で、また組み合わせた形で、水を含めて多くの物質の分離に使用されつつある。

食品加工方面においても、これらの技術は非常に関心をもたれているが、1, 2 の領域を除いては、まだまだ見るべき成果は少ない。食品は構成成分が多く、その構造も複雑であり、また加工・製造法も必ずしも定っておらず、個々において別別の方法が求められているという事情がある。それらについては個別の解決が必要であり、また課題も多い。膜分離の技術、方法は将来に期待を残しつつ、研究が進められているというのが今日の

段階である。筆者も 10 年あまり膜法の食品工業への応用を課題として研究を進めてきた。しかし、まだこの技術および食品工業領域への応用の将来を、自信をもって語るまでに至っていない。その理由をも含めて、この稿を乞われるまでに綴ってみたい。

なお、本誌でも膜法（膜分離技術）については 2 回ほど紹介されている (Vol. 16, 708 (1978), Vol. 17, 704 (1979))。重複はできるだけ避けるつもりであるが、止むを得ない場合は御容赦願いたい。

膜法のもつ魅力

膜法がもつ食品工学単位操作としての魅力をいくつかあげてみよう。

① 熱を加えることなく分離濃縮が実施でき、かつ閉鎖回路中で酸素の影響を防ぎながら運転が

表 1 各種濃縮法のエネルギー必要量
(橋本：“食品と膜”)

濃 縮 法	エ ネ ル ギ ー
限 外 濾 過 法	2.5 kg/cm ² , 効率 75% 0.001
逆 浸 透 法	75 kg/cm ² , 効率 75% 0.028
凍 結 濃 縮 法	$\Delta T=20^{\circ}\text{C}$ 0.090
	$\Delta T=40^{\circ}\text{C}$ 0.196
	$\Delta T=60^{\circ}\text{C}$ 0.386
パーバロリセーション	効率 90% 1.111
発 蒸 法	一重効用, 効率 90% 1.111
	二重効用, 効率 90% 0.555
	三重効用, 効率 90% 0.370

エネルギー比較： $\frac{\text{水 1 トンを取り去るに必要な経費}}{\text{蒸気 1 トンの費用}}$
電力は 1 トンの蒸気 の値 = 143 kWh の値として求めた。

* Danji NOMURA, 九州大学農学部

水溶性魚肉タンパク質製造用限外濾過装置
Amicon 社製。(下関市, 下瀬食品株式会社)

水溶性魚肉タンパク質製造用逆浸透装置
Du Pont 社製。(下関市, 下瀬食品株式会社)

可能であること。したがって、熱や酸素の影響が大きい食品の製造への利用に期待がもたれる。

② 操作が加圧, 移送, 循環のみで非常に簡単である。そのため, 食品工業領域への利用に適している。

③ 水を分離する場合, すなわち濃縮において, この方法は相の変化を伴わないので, エネルギーの損失が少なく操作も簡単で, 運転費用も蒸発法や凍結法に比べて $1/2 \sim 1/5$ ですむ。なお, 装置はコンパクトで取付けが容易である。

④ 希薄溶液中の微量成分の回収や低濃度溶液の濃縮など, 今までの方法では実施が困難であったものへの応用が可能である。

⑤ 物質の移動がわずか 1 mm 以内という短い距離において分離が行なわれるため, 移動に伴う変化がない。

このように, 膜法には従来の方法にはみられない特別な効果が期待できる。とくに, 省エネルギーに繋がる方法であるという点は, 直接製造コストに大きな影響を与えるエネルギー費が高騰している今日, 大きな魅力である(各種濃縮法のエネルギー必要量を表1に示した)。しかし, 今日の膜法では, 依然として膜汚染に対する処理や洗浄による機能回復において多量のエネルギー消費があり, せっかくの省エネルギー法も十分な成果をあげ得ていない。膜法を省エネルギー法として十分に機能させるには, このあたりの問題解決を急がねばならない。

食品加工への応用

食品加工において膜法を利用できる分野は非常に広いと思われるが, 現在, 実際に成果をあげているものは比較的少なく, 適用範囲も限られている。その中で最も期待されているのは, タンパク質食品の製造・加工への利用である。この分野では, 逆浸透よりも限外濾過が中心となり, とくにチーズホエー回収に現在最も広く用いられ, 効果をあげている。米国をはじめ, ヨーロッパ, ニュージーランドなどではかなりの規模の装置が運転されている。また, 大豆タンパク質製造時に生ずる大豆ホエーの回収への利用も注目されている。現在, 大豆タンパク質工業は急速に成長しており, 日本でも大豆タンパク質の製造, 豆乳製造が盛んになってきている。こうした状況もあって, この領域での膜の利用はいろいろと考えられているようであるが, まだ十分な成果はあげ得ていないようである。このほか, ジャガイモデンプン製造時に生ずるジャガイモタンパク質の回収, スリ身製造時に生ずる可溶性魚肉タンパク質の回収などが試みられている。これらは, 水質汚染防止の面からも注目されているもので, いくつかの研究が行なわれているが, まだ決定的成果は得られていない。これに関連して, 筆者らは, 魚肉を加圧分解して得た可溶性魚肉タンパク質を膜法で分離・濃縮することに成功した。これは天然調味料として製品化されている。

逆浸透を利用するものとしては, 果汁類の濃縮

がある。この場合、加熱すると、果汁の新鮮味が失われることが多く、またいろいろな変質反応が助長されるので、無加熱濃縮法である膜法に関心が集まっている。日本でも膜法によるみかん果汁の濃縮や加工についての研究が進められているが、まだこれといった成果は得られていない。これには、果汁のもつ高い浸透圧とペクチン質を中心とした成分による膜汚染が原因となっている。そこで筆者らは、膜法と凍結濃縮法の併用による果汁の無加熱濃縮法を開発・完成した。この方法は、高濃度部分の濃縮には凍結法を、低濃度部分の濃縮、すなわち凍結法において分離した氷晶部に混入してくる果汁成分の回収には逆浸透を用いるというものである。このほか逆浸透を用いての濃縮に成功しているものに、カナダのメープルシロップの濃縮があるが、これもやはり濃度の低い領域における濃縮である。

以上は濃縮についての例であるが、高分子物質と低分子物質との分離・精製にも膜法が利用されている。この場合には、限外濾過を利用することが多いが、逆浸透を利用する場合もある。よく知られているものに、乾燥卵製造時のブドウ糖および食塩の除去がある。乾燥卵中にブドウ糖が存在すると製品は褐変を起こし、品質が悪化するのので、それを防ぐために除去が行なわれるのである。同じ理由で、大豆タンパク質や豆乳製造時に混在するラフィノースやスタキオースの分離、またカラメル色素に混在する 4-メチルイミダゾールの除去などにも利用されている。

最近、連続的酵素反応を用いての各種有用物質の製造がいろいろと試みられている。そのためには、連続的に酵素反応を進める酵素反応器が必要とされるが、これには膜を組み込んだメンブラン・エンチウム・リアクターがよい。実際に、このリアクターを利用して、セルラーゼによるセルロースの分解、アミラーゼによるデンプンの分解、プロテアーゼによるタンパク質の分解、ヌクレアーゼによる核酸の分解、フィターゼによるフィチン酸の分解などが試みられている。

膜汚染（フォリング）

膜法が十分な効果をあげ得ない原因に、膜のもつ流束が小さいこと、およびその流束がさらに汚染（膜吸着）によって減ずることがあげられる。この汚染は装置の能力を減ずるだけでなく、分画性能をも変えるので、期待したようには膜分離も進まなくなる。さらには微生物の繁殖をも招き、衛生的にも問題を生ずるわけで、この問題は食品加工に膜法を応用する場合にとくに重大である。

膜の汚染がどのように膜処理に影響するか、一つの数値で示してみよう。透過流束の対数値を操作時間に対してプロットすると直線が得られる。この時、膜の汚染度 α は一つの因子としてこの関係に関与する。いま、始動時の透過流束を F_0 、 t 時間後の透過流束を F_t とすると、

$$\ln \frac{F_t}{F_0} = -\alpha t \quad \frac{F_t}{F_0} = e^{-\alpha t}$$

となる。この式を時間で積分すると、単位膜面積の t 時間までの全透過量 Q_t が求められる。

$$Q_t = \int_0^t F dt = F_0 \int_0^t e^{-\alpha t} dt = \frac{1 - e^{-\alpha t}}{\alpha} F_0$$

いま、 $\alpha=0$ であるとする、 $Q_t = tF_0$ となる。 $\alpha \neq 0$ とすると、 $(1 - e^{-\alpha t})/\alpha$ 時間運転したと同じ結果となる。たとえば、 $\alpha=0.01$ とすると、20 時間後の透過流束 F_{20} は運転開始時の F_0 の 81.9% となる。また、20 時間後の全透過量 Q_{20} は $\alpha=0$ の時の 90.6% となる。 $\alpha=0.05$ では、 F_{20} は 36.8%、 Q_{20} は 63.2% となる。汚染が膜透過においていかに大きな影響を示すか、この数値から理解できよう。

この膜汚染については、食品加工領域では理論的研究はあまり行なわれていない。しかし、医学領域では人工臓器などの研究に関連していろいろと研究が進められており、その研究成果はある程度食品領域にも応用できる。筆者らもこうした成果を踏まえて、タンパク質の膜吸着について研究を行ってきたので、これを中心にこの問題を考えてみよう。

1. タンパク質の膜への吸着

タンパク質の膜への吸着は、タンパク質のもつ生化学的特性とも関係があるはずであるが、これは後にまわし、純粋な物理化学的過程として、膠質学で広く用いられている凝集理論や安定性理論からまず考えてみた。その結果、それらで十分説明できることがわかった。すなわち、膜表面へのタンパク質の吸着の難易度、吸着の安定度は、接着仕事、拡張係数、界面圧、界面自由エネルギーをもって説明できるが、吸着には自由エネルギーの変化が負であることが必要である。また、吸着が進むためには自由エネルギーが負でなければならない。したがって、吸着では接着仕事 > 0 、拡張係数 > 0 、界面圧 > 0 が満足されることが必要である。なお、接着仕事は吸着全過程の自由エネルギーの変化であり、拡張係数は吸着タンパク質が薄膜であると仮定した時の単位面積当りの吸着に伴う自由エネルギー変化を表わし、界面圧はタンパク質が吸着した材料表面の界面エネルギーの減少量を示すものである。一般に、親水性の重合体はタンパク質を吸着しにくい。また、超疎水性重合体は界面においてタンパク質の濃縮が起こるので、吸着力は弱いとされている。

タンパク質は親水性表面では、吸着されにくく脱離されやすいこと、および変性も少ないことが知られている。これに対して疎水性表面では、吸着量も多く脱離も難しく、変性も大きいことが認められている。これらの性質は使用膜の選定において非常に参考になる。実際に、膜として酢酸セルロース膜、ポリスルホン膜を、またタンパク質としてウシ血清アルブミンを使用して、膜へのタンパク質の吸着を調べたところ、その吸着量はギブスの吸着式（下式）によって求めることができた。（ Γ は吸着量、 θ は接触角、 γ は表面張力、 C は濃度。 θ は膜を真空乾燥器で乾燥した後、液滴形成法で求めた）

$$\Gamma = -\frac{C}{RT} \frac{d(\gamma \cos \theta)}{dC}$$

この結果、血清アルブミンの濃度が 0.005%～0.1% の範囲では、 Γ の値は酢酸セルロース膜で $1.06 \times 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、ポリスルホン膜で $1.94 \times$

表 2 各種の限外濾過膜の吸着性と分離率

膜の種類	吸着による損失 (%)	チトクローム c の分離率 (%)
Nuclepore C-10	0.8	97
Amicon YM-10	2.3	97
Amicon UM-10	4.3	26
Millipore PTGC	11.3	>99
Nuclepore A-10	12.4	85
Nuclepore F-10	22.5	>99
Amicon PM-10	24.6	53

実験：分画分子量 10,000、径 43 mm の膜を使用。

150 $\mu\text{g/ml}$ のチトクローム c 液 50 ml を 10 ml に濃縮して測定。

図 1 2～3 の材質の異なった限外濾過膜を用いた大豆ホエーの濃縮（管状膜モジュール使用）
a：酢酸セルロース膜、b：ポリスルホン膜、c：フッ化ビニリデン膜、d：アクリロニトリル膜

$10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{cm}^{-2}$ であった。この値からして、酢酸セルロース膜よりポリスルホン膜において、ウシ血清アルブミンはよく吸着されるはずであり、事実その通りであった。ポリスルホン膜は、この吸着によって大きく透過流束を減じた。また、膜材質によってタンパク質の吸着量が異なることについては、Nuclepore 社のカタログにも明記されている（表 2）。このことは実際に大豆ホエーを透過した時、はっきりと認められた（図 1）。

2. 膜への吸着の防止

膜材質には一般に化学構造からみた場合、水素結合をつくるものが多く、溶液中に極性基をもった物質があると吸着が起こる。筆者は膜材質の水素結合を起こす能力のある化学構造部分を、膜全体の構造にあまり影響を与えないような比較的小さい分子の化合物で覆い、これによって膜材質と溶液の極性基との反応を防ぎ、膜吸着、すなわ

ち汚染を少なくすることを考えた。たとえば、ポリスルホン膜を用いてウシ血清アルブミン溶液を濃縮した場合、膜に対しウシ血清アルブミンよりも強い水素結合能をもつ界面活性剤 Tween 80 を用いて前処理を行ない、膜面にあらかじめ保護膜をつくっておいてから、ウシ血清アルブミン溶液を処理すると、ウシ血清アルブミンの膜への吸着量は非常に減少した。この方法によれば、透過流束の急激な減少も防止できるが、Tween 80 は水に可溶であるため、その効果はまもなく失われた。そこで、水に溶けない界面活性剤の1つである大豆レシチンに注目し、そのアルコール 200 ppm 液を用いて膜面にレシチンの保護膜をつくった。この場合、ポリスルホン膜よりもポリアクリルアミド膜のほうが効果が大きかった。現在、豆乳濃縮にこの方法を使用することを考えている。

膜面にあらかじめ保護膜をつくっておき、膜面と処理溶液中の溶質との反応を防止するという方法は、酵素剤処理において広く用いられている。この処理によって、酵素の膜処理時の失活が防止される。したがって、酵素を用いることは膜材質とタンパク質の吸着との関係を調べるのに有効である。また、この方法は、膜面への酵素の固定化の研究としても役立つものである。

筆者らは、水溶性魚肉タンパク質粉末の製造に膜法の使用を試みているが、この場合の膜選択において、この理論を用いた。現在使用しているのは、Amicon 社の GM-80 膜（限外濾過用）と、Du pont 社の B-9 膜（逆浸透用）である。これらの膜はまだ完全とはいえないが、洗浄が割合容易で特種洗剤に対しても抵抗があり、流束の変化も割合少ないので、さらに研究が進み、より効率のよい膜が得られるまでは、当分の間これを用いることにしている。

膜 の 洗 浄

膜ないしは膜装置の洗浄には2つの目的がある。1つは装置内の衛生状態を保持すること、もう1つは膜機能の回復である。最近では膜材質の研究も非常に盛んになり、とくに膜の洗浄に使用で

きる薬剤の幅が広がってきた。

1. 吸着物の脱離

膜洗浄について考えることは、結局は吸着物の脱離について考えることである。吸着物の膜脱離については、2相構造体の界面剥離現象の説明に広く用いられているフラクチャーメカニクス理論を用いることができる。これによると、タンパク質吸着膜からタンパク質を剥離するのに要する力は、接着仕事の増大、すなわち疎水性の増大によって大きくなる。親水性高分子物質では接着仕事は小さい上に、界面のヤング率も小さいので、この2つの重ね合わせによって脱離は容易になる。したがって、洗浄効果は酢酸セルロース膜のような親水性膜において良好である。しかしながら、あまりに親水性の大きい膜は、含水率が大きくなって膜自体が弱くなる。

2. タンパク質の変性

ここで注意しなければならないのは、膜へのタンパク質の付着、吸着による変性の問題である。先に吸着の説明で、タンパク質の膜吸着は構造差や化学的特性などに関係があると述べた。膜材質が同じであっても、タンパク質が異なると吸着

図2 ポリスルホン膜への2~3のタンパク質の吸着（流束低下）（D. N. Lee 氏：J. Dairy Sci., Vol. 58）
a：ラクトアルブミン，b：ウシ血清アルブミン，c：γ-グロブリン，d：ラクトグロブリン，e：牛乳ホエー

量が異なることは、図2に示すポリスルホン膜による2~3のタンパク質の透過流速の変化をみてははっきりしている。膜吸着タンパク質の変性の問題は洗浄にも大きく関係するが、タンパク質のもつ生化学的特性とも関係する。タンパク質が膜に吸着される時、吸着熱が発生するはずであり、この発熱はコンホメーションの変化や界面圧の上昇によって生まれる。界面圧は親水性高分子材質では小さいが、疎水性材質では大きい。β-ガラクトンダーゼ、グルコースイソメラーゼが疎水性の限外濾過膜に接する時、その失活が大きいことはよく知られているが、この失活は発熱と関係があるものと思われる。

一般に、タンパク質は疎水性の高分子材質の膜表面では凝集・変性を起こしやすく、このことが洗浄を困難にする。このタンパク質の変性は先に述べた事実から、吸着時の発熱量を調べることににより、推定することができる。なお、この時のタンパク質の変性は、前述のように、吸着熱による瞬時の変性と、吸着タンパク質が界面自由エネルギーをできるだけ小さくしようとするコンホメーションの変化、および界面圧によって生ずるものである（ただ、たとえばテフロンのような非常に疎水性の高い高分子材質では変性の減少がみられた）。このタンパク質の変性は、タンパク質の凝固不溶化を招くので、付着物はできる限りコロイド状態を保ち、膜表面からはずれやすい状態にあることが望まれる。それには前処理が重要となる。前処理を行なうと割合により状態になるものに、牛乳ホエーの処理がある。先に図2において示したように、牛乳タンパク質は非常に膜に吸着される。吸着防止には、一定のpHのもとで熱処理を行ない、前もって集合体をつくっておくという方法が広く行なわれている。またこれとは別に、pHを下げてリン酸カルシウムの沈殿の生成を防いだり、酸凝固法でタンパク質を前もって沈殿させ、さらに残ったタンパク質を加熱で完全に凝固させたりすることも行なわれている。しかし、いずれの方法もまだ完全であるとはいえない。

逆浸透では濃縮液を押し出す時、かなりの浸透

圧が液に加わっているので、透過液からかなりの流速をもった正浸透の流れが起こる。したがって、透過液側の配管には十分な量の液を保っておくことが必要で、そうでないと局部的に膜が乾燥する。しかし、この現象は、うまく利用すると洗浄用薬剤の膜への浸透を可能にするので、有効な洗浄手段として用いられている。この場合、後で洗剤を除去することが必要となる。したがって、洗剤を用いた場合は、洗剤を除去するためにどの程度の水が必要であるか、その水量を求めておくことが大切となる。

3. 膜装置の洗浄・殺菌

膜装置の洗浄には先述のように、装置内の衛生状態の保持と膜機能の回復との2つの目的がある。衛生状態の保持は食品加工装置において洗浄に共通したものであるが、膜装置では通常の加工装置と異なり困難な問題が多い。つまり、透過には普通十字流様式が使用されているので、通常の配管内での流体輸送よりも溶質が壁部に強固に吸着され、しかも膜には耐熱性や耐薬品性において制約もある。したがって、過激な洗浄殺菌条件は使用できず、また装置内から完全に溶質を除去することもなかなか難しい。ここに膜洗浄の困難さがある。さらに、膜は常に湿潤状態で保っておくことが求められるので、運転休止時においても水

表3 膜処理装置の洗浄法
(野村, 大矢編: “食品工業と膜利用”)

物理的 洗浄法	(a) 機 械 的	スポンジボール, 流動層
	(b) 水 力 学 的	接線方向への速度変動 乱流促進 間けつ瞬間フラッシュ
	(c) 逆 洗	圧力開放下での長透流れ, 透過液側からの加圧
	(d) 気・液混合流	圧力開放下の気・液混合フラッシュ
	(e) 音 波	超音波
化学的 洗浄法	(a) 添加物添加 (原液中)	pH調整 酵素剤 キレート剤 分散剤
	(b) フラッシング液 への添加物添加	凝集剤 洗 剤 酸化剤 プレコート剤 高濃度塩

を充満しておくことが必要である。そのために装置内の除去できなかった溶質成分に微生物が増殖することが多くある。一般に膜法は、加熱を避けるのが望ましい食品の分離・精製・濃縮の方法として用いられるのが普通であり、常温付近での使用が多く、処理中にデッドスペース内の滞留部分に微生物が増殖しやすい。これは運転の制約ともなる。以上の理由から、膜装置での衛生状態の保持は大変困難であるといえよう。

洗浄法には表3に示すようなものがある。その中で食品工業への利用が考えられ、研究が進められている代表的なものとしては、(1)スポンジボール洗浄法、(2)流動層洗浄法、(3)乱流促進洗浄法、(4)間けつ瞬間フラッシュ洗浄法、(5)回転膜洗浄法、(6)流れ方向への速度変動法、(7)逆洗法などがある。

4. 洗 浄 剤

洗浄では洗浄剤の使用はできるだけ避けるべきであるが、どうしても使用しなければならないこともある。このような場合は、使用に当って、先に述べた膜汚染の機構をよく把握することが大切である。また、洗浄剤の選定に当っては、膜の化学的安定性をとくに考慮に入れる必要がある。すでにふれたように、膜汚染は汚染物質が変性して不溶化することに第一の原因があるのであるから、汚染物のもつコロイド性はできるだけ破壊することなくそれを保ちつつ、膜表面からはずす努力が大切である。エマルジョンは均一に溶解して洗い流すのがよい。しかしこの場合、強引な洗い流しがよく試みられるが、この方法は注意しないとこえって膜の透過速度を下げ、一時的な透過流束の回復はあっても、再びその膜を用いた時、洗浄前よりもさらに流束の下がることもある。また洗剤の選び方を間違えると、膜表面に薄膜が強固に付着し、膜面の構造を破壊することがある。よく用いられている次亜塩素酸処理の場合に、こうした現象がみられることがあるので注意が必要である。苛性ソーダもよく洗浄に用いられるが、酢酸セルロース膜では膜面変質が起こるので、使用にはやはり注意が必要である。しかしながら、近年洗剤

に抵抗力のある膜が開発されてきているので、近い将来、この面ではかなり優れた膜が現われることが期待される。しかし、食品加工面では洗剤の装置内残存は食品衛生との関係もあり、十分注意する必要がある。

膜法の問題点と将来への展望

食品加工への膜法の利用は非常に期待されながら、今日まだ十分に目的を達し得ていない。それは、膜汚染、洗浄の問題が解決していないからである。

膜法が開発されて10年後にいくつかのチーズホエーの回収工場が建てられたが、その後10年間、拡大はみられなかった。製品の用途拡大が十分にできなかったことも原因の1つであったが、最大の理由は膜汚染が原因となり、経済性が悪いためであった。膜法によるチーズホエーの処理においては、溶質が膜に付着し透過流束を減ずるため、一定の能力を維持するには、膜面積の拡大が求められた。そこで装置が大型化し、価格も上昇した。また、膜交換による経済負担も大きいものであった。最近の膜汚染防止のための前処理法研究の進展は、チーズホエーの膜処理法の成功を通して、食品加工への膜法の利用に対し希望を与えてくれている。しかし、まだこの膜法は、一般的にいて省エネルギー法としての効果を十分に発揮するまでには至っていない。

表 4 蒸発法、膜法で酵母タンパク質液を濃縮する場合の経費略算

方 法	装置費 (万円)	消却費 (7年) A (万円)	運転費 (1ケ年) B (万円)	年間全 運転費 A+B (万円)
蒸 発 法				
三重効用法	8,400	1,200	5,757	6,957
機械的蒸気圧縮法	13,200	1,887	2,387	4,274
膜 法 ^{c)}				
限 外 濾 過	9,600	1,371	1,238 ^{a)}	2,609
逆 浸 透 [*]	15,000	2,143	1,237 ^{b)}	3,380

4% 液→12% 液に濃縮。処理量、1日当り 100m³

* 逆浸透については限外濾過液を5倍濃縮するとして計算した。

^{a)} 電気料金 38 万円、膜交換費 1,200 万円。

^{b)} 電気料金 350 万円、膜交換費 887 万円。

^{c)} 膜法では両装置併用となるため運転費は 5,989 万円となる。また設置費も 24,600 万円となる。

実際に筆者らが限外濾過法を用いて酵母タンパク質溶液(4%)を濃縮(12%)した際のコスト面のデータを示しておこう。この時用いた限外濾過装置は、1日当り100m³の液を33m³にまで濃縮することができる装置であったが、この装置費および運転費などを求め、蒸発法による濃縮と比較した結果を表4に示す。これより明らかなように、限外濾過法の装置費は蒸発法と同程度であったが、運転費は三重効用蒸発法を用いた時の1/3、蒸気圧縮法を用いた時の1/2と安価であった。しかし、限外濾過法では高濃度濃縮は困難であった。理由は透過流束の低下による運転能力の下降であり、酵母タンパク質処理においてその関係がはっきりとみられた。また、限外濾過法では透過液を再度処理する必要があることが多く、そのために逆浸透装置の併設が求められた。そうすると、両装置併設による設置費はいよいよ高価となり、ここに新たな問題が生じた。この問題についてはさらに研究が必要である。なお、表4の費用算定には、筆者らがつくりあげた“粉末水溶性

魚肉タンパク質製造施設”運転において得た数値を基礎にしたが、算定に用いた数値はここでは省略した。この装置は、恐らく日本で動いている膜法利用の食品加工装置の中では、大きいほうではないかと思っている。この装置中に組み込まれている限外濾過、逆浸透、両装置の写真を167頁に示しておいた。

膜法は、最近連続式酵素反応器：メンブランリアクターとしての利用が進められているが、これも新しい利用法の1つである。この場合、酵素の膜への固定化の研究成果が将来の発展の鍵をにぎっている。また、ここではふれなかったが、電気透析法も最近食品加工への利用が注目されており、食品の脱塩への利用など、種々計画され、研究が進められている。このように膜法の将来には大きな夢があり、今後の発展を見守りたい。

なお、本稿は、筆者らの編集による“食品工業への膜利用”(幸書房, 1983)をもとにしている。文献などはそれを参照願いたい。

プロフィール

平井 正志(Masashi Hirai) 昭和22年1月19日生<略歴>昭和44年名古屋大学農学部農芸化学科卒業後、同大学大学院修士および博士課程を経て、49年農林省果樹試験場興津支場育種研究室勤務。現在にいたる<研究テーマと抱負>ミカン、ビワなどの果実の成熟生理、ソルビトール代謝、カンキツ類の分類<趣味>絵をかくこと、山登り、鳥を見ること

堀口 雅昭(Masaaki Horiguchi) 昭和2年7月21日生<略歴>昭和29年東京大学農学部農芸化学科卒業/35年同大学大学院化学系研究科修了/同年同大学農学部助手/44年東北大学農学部助教授/57年同教授。現在にいたる<研究テーマと抱負>家畜の成長の栄養によるコントロール、ホスホン酸の生理機能<趣味>風物、絵画などの鑑賞

松谷 武成(Takeshige Matsutani) 昭和26年7月8日生<略歴>昭和51年東北大学農学部水産学科卒業/53年同大学大学院修士課程修了/同年福井県栽培漁業センター勤務/55年東北大学農学部助手。現在にいたる<研究テーマと抱負>

海産貝類の生体制御機構、特に神経系、内分泌系の生殖に果たす役割の解明<趣味>テニス、野球 etc. と酒

御園 邦雄(Kunio Misono) 昭和21年11月21日生<略歴>1978年米国バンダービルト大学医学部生化学科卒業/1979年米国デューク大学にて研修(Dr. T. C. Vanaman, Dr. R. L. Hill)/1980年バンダービルト大学助手/1981年同大学講師。現在にいたる<研究テーマと抱負>血圧調節に関与する酵素、蛋白、ペプチド因子の構造、機能と調節、またそれらの因子との循環器障害との関連性。現在、レニン、アンジオテンシン、および心房のナトリウム排泄因子(atrial natriuretic factor)を研究中<趣味>音楽、雑誌、山登り

飯 哲夫(Tetsuo Meshi) 昭和30年4月19日生<略歴>昭和54年東京大学理学部生物化学科卒業/56年同大学理学部大学院修士課程修了/57年同大学理学部助手。現在にいたる<研究テーマと抱負>植物ウイルスおよびウイロイドの複製と遺伝子構造に関する研究<趣味>一

応山とスキー、それに猫遊び

山形 秀夫(Hideo Yamagata) 昭和17年10月29日生<略歴>昭和41年東京大学理学部生物化学科卒業/46年同大学大学院理学系研究科博士課程修了/同年同大学医科学研究所助手/47年名古屋大学農学部助手。現在にいたる。この間、54~56年米国ニューヨーク州立大学留学<研究テーマと抱負>*Bacillus brevis*47菌における遺伝子操作、細菌における蛋白質の分泌機構。今後は微生物ばかりでなく動植物をも材料として、広い視野から基礎、応用にまたがる研究を行ないたい<趣味>将棋、テニス

四方治五郎(Harugoro Yomo) 大正8年4月1日生<略歴>昭和16年京都大学理学部化学科卒業後、宝酒造(株)研究所、米国ニューヨーク・ブルックリン植物園付属研究所を経て琉球大学農学部農芸化学科教授。現在にいたる<研究テーマと抱負>生理活性を有する南方植物、植物花器の受精能力の人工変換<趣味>散歩、旅行