

# 振動型膜分離装置のパン酵母 培養廃液への適用

Application of Vibratory Shear Enhanced Processing to  
filtration of waste stream of yeast pharmenter



(技) 研究開発部  
谷 田 克 義  
Katsuyoshi Tanida  
竹 尾 由 重  
Yoshishige Takeo  
小 西 嘉 雄  
Yoshio Konishi  
高 田 一 貴  
Kazutaka Takata

パン酵母培養廃液は、従来の膜分離法では膜へのファウリングが激しく透過流束が小さいため、適用が困難であった。そこで耐ファウリング性に優れた振動型膜分離装置 VSEP のパン酵母培養廃液への適用が期待された。テストは VSEP Series L (膜面積0.045 m<sup>2</sup>, テスト機) と Series i (膜面積14.5 m<sup>2</sup>, 実機) を使用して行い、その結果、VSEP は従来の膜分離法と比較して数倍の処理能力を有することが確認された。しかし、Series L と Series i の間で透過流束の相違が確認されたため、テスト結果を用いてスケールアップ法則の検討を行った。その結果、せん断速度と膜モジュール構造の違いが透過流束の相違の大きな原因であり、せん断速度を合わせ、膜モジュールの構造を考慮することにより Series L のテスト結果から Series i の透過流束を予測できることが分かった。

It was difficult for traditional membrane separation to apply to filtration of waste stream of yeast pharmenter because of extreme fouling and low flux. Vibratory Shear Enhanced Processing (VSEP) has excellent fouling resistance, so VSEP is expected to apply to this application. As a result of the test using VSEP Series L (membrane area 0.045 m<sup>2</sup>, laboratory scale) and Series i (membrane area 14.5 m<sup>2</sup>, industrial scale), VSEP had several times flux to compare with traditional membrane separation system. But there was the difference of flux between Series L and Series i, so the scale up law from the flux of Series L to the flux of Series i was examined using the test results. As a result of examining the scale up law, the difference of shear rate and the configuration of the membrane module between Series L and Series i are the dominant factors of the difference of the flux. The flux of Series i is able to be estimated from the flux of Series L to accord both shear rate and to consider the configuration of the membrane module.

## Key Words :

膜 分 離	Membrane Separation
振 動	Vibration
せん断速度	Shear rate
スケールアップ	Scale up

## まえがき

パン酵母培養工程から排出されるパン酵母培養廃液は廃糖蜜に由来するメラノイジン等の色素により黒褐色に着色されており、活性汚泥法による生物処理を行っても水質を下水放流規制値以下にすることは困難である。

現在、色素物質除去のために全蒸発濃縮法、オゾン脱色、超臨界水による分解等の様々な方法が検討されているが、いずれの方法もコストの面から最適な方法とは言い難い。<sup>1)</sup> このような中で操作性とコストメリットに期待がかかる膜分離装置も検討されている。村上ら<sup>2)</sup> は従来型膜分離装置でパン酵母培養廃液への膜処理法の適用性の検討を行った。その結果、平均透過流束が10 L/m<sup>2</sup>/hr以下であり、また頻繁な洗浄を行ったが洗浄毎に平均透過流束が減少する傾向を示し、5～6回の洗浄で平均透過流束が5 L/m<sup>2</sup>/hrまで低下した。これらの点から、従来型膜分離装置ではファウリングによる透過流束の大きな低下に伴う高頻度の膜洗浄によって膜の劣化が激しく、膜交換のサイクルが短くなってコスト面で問題に直面した事例が報告されている。

VSEP は従来の膜分離法と比較して耐ファウリング性に優れており従来装置よりも大きな処理量が期待される。<sup>3,4)</sup> そこで、VSEP のパン酵母培養廃液処理への適用性を検討するため、透過流束の確認、振動が透過流束に及ぼす影響、Series L (テスト機) から Series i (実機) へのスケールアップ性の確認を目的としてテストを行った。テスト時の濃縮率は全固形物濃度3～5%のパン酵母培養廃液を回収率80%まで濃縮する。また透過液水質は下水放流規制値以下にすることを目的とした。

### 1. せん断速度とスケールアップ

VSEP は独自の振動機構<sup>3,4)</sup> により平膜を積層した膜モジュールを膜の水平方向に往復振動させ膜表面の流体にせん断力を与えることにより、従来型膜

分離法よりも大きな透過流束を得ることができ、また従来法では困難な高濃度までの濃縮を行うことができる。従来装置でせん断力を上げるにはポンプにより流量を増加させ膜面流速を上げる方法が採られるが、この方法ではエネルギーロスが大きくなる。VSEP により膜表面の流体に与えられるせん断力と透過流束の関係は処理対象液により異なるが、ラテックス等のアプリケーションでせん断力の有効性が確認されている。<sup>5)</sup> せん断力は通常せん断速度で評価し、せん断速度 $\dot{\gamma}$ は次式で表される。<sup>5)</sup>

$$\dot{\gamma} = \frac{4\pi f^{1.5} \rho^{0.5}}{\mu^{0.5}} P \quad (1)$$

$$\gamma_{ave} = \frac{8\pi^2 f^{1.5} \rho^{0.5}}{\mu^{0.5}} \frac{P_2}{r_2} \frac{r_2^3 - r_1^3}{3A} \quad (2)$$

ここで式(1)は膜面の任意の点でのせん断速度であり、式(2)はせん断速度を膜面全体で積分し膜面積で除した物であり、膜全体での平均せん断速度である。せん断力と透過流束の関係を評価する場合、通常は平均せん断速度を使用する。

VSEP Series L で得られる透過流束は実機である Series i の透過流束よりも大きくなる。この要因の1つとして両者のせん断速度の違いがある。VSEP Series L と Series i のせん断速度の計算結果を第1表に示す。第1表から分かるように、振幅が同じ場合 Series i の平均せん断速度は Series L の平均せん断速度の約90%となっている。せん断速度の差がどの程度透過流束に影響するかは処理対象液、固形物濃度により異なるため、Series L, Series i を用いてテストを行いせん断速度の影響を評価する必要がある。

もう1つ要因としては膜モジュール構造の違いがある。Series L の膜モジュールには一枚の膜しか装着されていないが、Series i の膜モジュールは膜

第1表 Series L と Series i のせん断速度  
Table 1 Shear rate of Series L and Series i

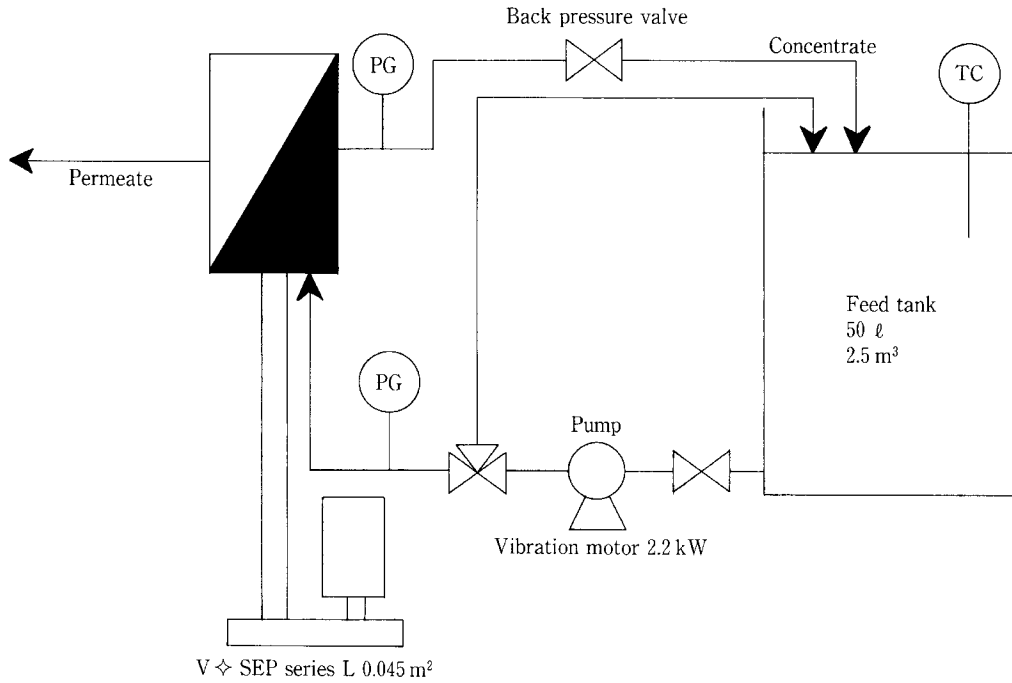
VSEP	Amplitude at the rim of the membrane module [mm]	Frequency [Hz]	Average shear rate [1/s]	Maximum shear rate [1/s]	Minimum shear rate [1/s]
Series L	22	59.44	77 089	104 233	40 886
	19	59.30	65 843	89 027	34 922
	12	59.04	43 607	58 962	23 128
Series i	22	51.03	68 660	88 411	34 357

が積層された棚段構造であり、この棚段を仕切板で仕切り1パスで高濃縮が可能な構造となっている。このため、Series LとSeries iでは1パスでの濃縮率が異なり、1パスでの透過流束に違いが生じる。Series iでは、膜モジュール内における複雑な濃度

分布を考慮して透過流束を考えなければならない。

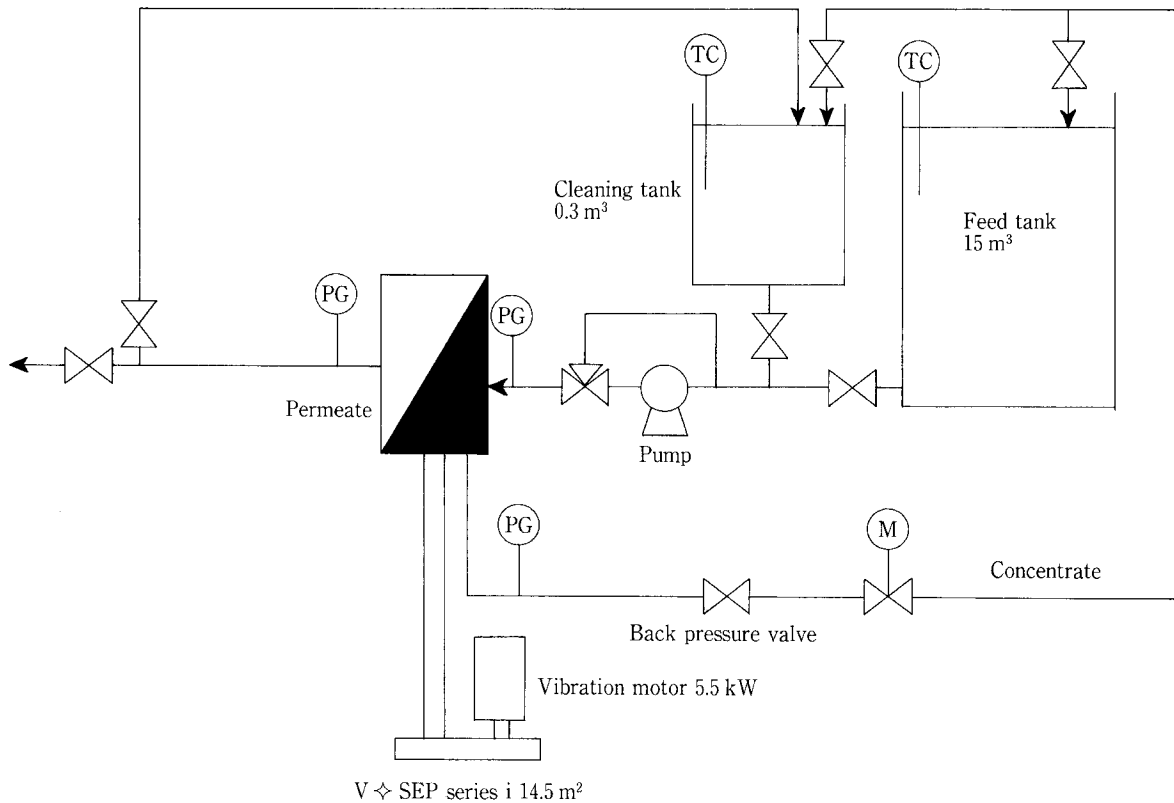
## 2. テスト方法

テストにはVSEP Series LとSeries iを使用した。次にそれぞれのテスト装置のフローとテスト方法について述べる。



第1図 VSEP Series L テストフロー

Fig. 1 Block flow diagrams of VSEP Series L test



第2図 VSEP Series i テストフロー

Fig. 2 Block flow diagrams of VSEP Series i test

## 2.1 Series L テスト

Series L テストは原液を原液タンクからポンプを用いてVSEPの膜モジュールに供給し、濃縮液を循環させ透過液を抜いて濃縮を行う循環濃縮方式で行った。Series L テストで使用したフローを第1図に示す。VSEPの膜面積は0.045 m<sup>2</sup>、振動用モーターの容量は2.2 kW、原液タンクの容量はバッチ濃縮テスト時は50 L、連続通水テスト時は2.5 m<sup>3</sup>である。ポンプ出口には圧力調整弁を設け膜モジュールの入口圧力を制御し、出口圧力の制御は濃縮液配管上に設置した背圧バルブにて行った。圧力は、膜モジュール入口と出口にて測定しその平均値を操作圧力とした。温度は、原液タンク内の原液の温度を測定した。

テストはバッチ濃縮をバッチ毎に膜を交換して行ったバッチ濃縮テストと1枚の膜を洗浄して使用する連続通水テストを行った。洗浄を行う際は、2.5 m<sup>3</sup>のタンクを50 Lのタンクに交換して全循環で行った。なお、連続通水テスト時、原液量に対して透過量が微量のため、原液濃度の変化はほとんどない。

## 2.2 Series i テスト

Series i テストはSeries L テストと同様に循環濃縮方式にてバッチ濃縮を繰り返し行った。Series i テストで使用したフローを第2図に示す。VSEPの膜面積は14.5 m<sup>2</sup>、振動用モーターの容量は5.5 kW、原液タンクの容量は15 m<sup>3</sup>である。Series L では透過量が微量であるので設置していなかったが、

Series i の場合は透過液配管上にも圧力計を設け透過液圧力の測定を行い、膜モジュール入口と出口の平均値から透過液圧力を引いた値を操作圧力とした。また膜洗浄を行うために洗浄用タンクとして300 Lのタンクを設置し、バッチ毎に膜洗浄を行った。

## 2.3 膜選定

膜の選定では様々な種類のUF膜、NF膜、RO膜を候補に上げて予備テストを行った。UF膜は透過流束は大きい透過液水質が下水放流規制値を満足せず、RO膜は透過液水質は下水放流規制値を満足するが、透過流束が小さかった。そこで、テストでは透過液水質が下水放流規制値を満足し、透過流束が大きいNF膜を使用することに決定した。テストで使用したNF膜の仕様を第2表に示す。

## 2.4 操作条件

第3表に操作条件を示す。操作圧力は透過流束が圧力に比例して直線的に増加するため、装置と膜の最高使用圧力を考慮して決定した。また操作温度に関してはパン酵母培養廃液が排出された温度そのまま温度調整を行わずテストを行ったため温度に幅がある。振動条件はSeries L では振幅の透過流束に及ぼす影響を測定するため、振幅を12、19、22 mmと変えて行ったが、Series i では装置の最大振幅である22 mmで行った。

## 2.5 原液性状

使用した原液はパン酵母を培養し遠心分離器にてパン酵母を分離した後の糖蜜である。第4表に原液

第2表 NF膜仕様

Table 2 Specifications of NF membrane

Material	Backing	Membrane Class	Temperature [°C]	Pressure [MPa]	pH
SPS*	PS/PE**	15~30% NaCl rejection	80	3.0 (5.0)	2~11

\*SPS : Sulfonated Polysulfone

\*\*PS/PS : Polysulfone/Polyester

第3表 操作条件

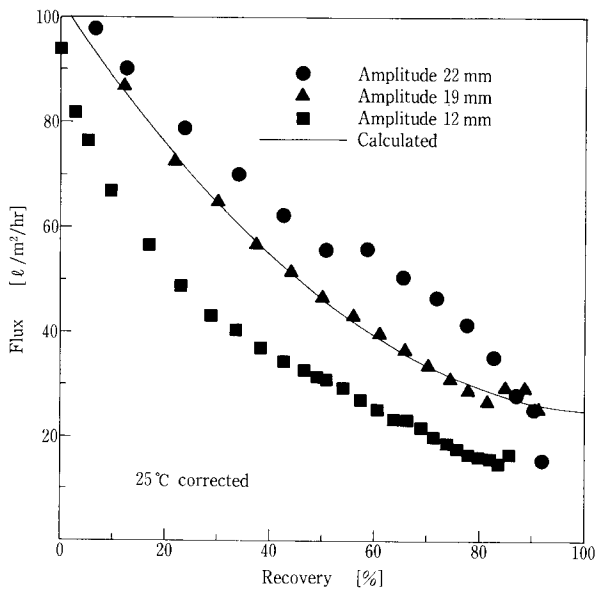
Table 3 Operating condition

VSEP	Pressure [MPa]	Temperature [°C]	Amplitude at the rim of the membrane module [mm]
Series L	2.76	20~30	22
			19
			12
Series i			22

第4表 パン酵母培養廃液の全固形物濃度と吸光度

Table 4 Total solid and absorbance of waste stream of yeast pharmenter

	Total Solid [%]	Absorbance [470 nm]
Series L test	5.23~7.09	21.0~31.7
Series i test	3.45~5.82	15.0~27.6



第3図 透過流束に及ぼす振幅と回収率の影響 (VSEP Series L)

Fig. 3 Effects of amplitude and recovery ratio on flux (VSEP Series L)

の全固形物濃度と吸光度 (470 nm) を示す。パン酵母培養廃液は通常、遠心分離器にてパン酵母を分離した全固形物濃度が7%程度の糖蜜廃液に、装置の水洗廃水を混合するため全固形物濃度が3~5%の範囲で変動する。

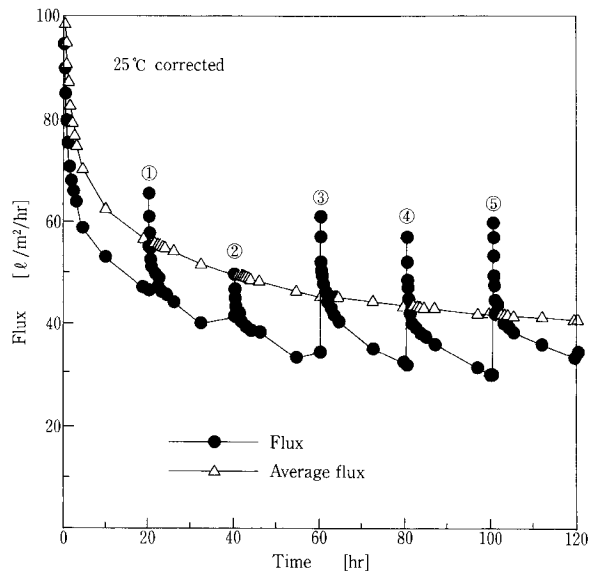
### 3. テスト結果

#### 3.1 Series L テスト結果

第3, 4図に Series L テストの結果を示す。第3図はバッチ濃縮テストの結果であり、第4図は連続通水テストの結果である。図中の●は透過流束、△は平均透過流束であり、両図中のデータは25°Cに換算した値である。

第3図に結果を示したバッチ濃縮テストは膜を変えて3回行った。テストは振動、回収率と透過流束の関係を得るため、振幅を22 mm, 19 mm, 12 mm と変えて行った。図から振幅を変えると透過流束が変化し、振幅が大きいほど透過流束が大きくなること分かる。振幅22 mm の透過流束に対して、振幅19 mm の透過流束は約85%, 振幅12 mm の透過流束は約55%となっており、第1表に示した振幅と平均せん断速度の関係と対応している。この結果から、パン酵母培養廃液のようにファウリングの激しい処理液に対しても VSEP の振動により透過流束が増加していることが分かる。また、このテスト結果はせん断速度の異なる Series L と Series i で透過流束が異なることも示唆している。

第4図に結果を示した連続通水テストでは、時間



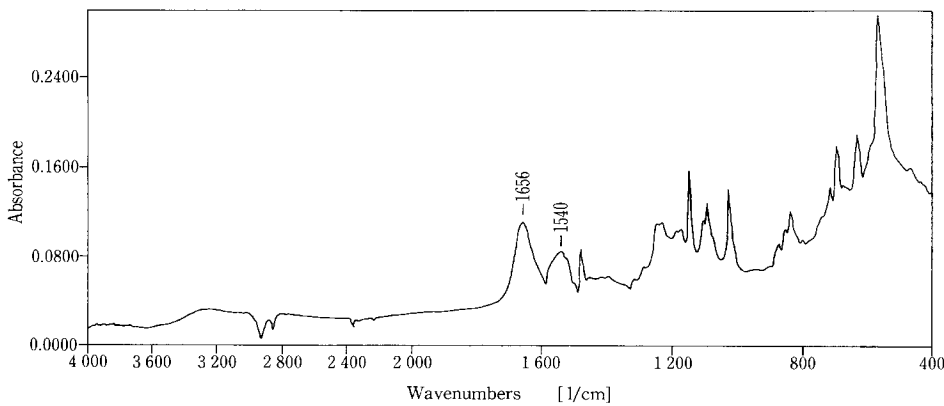
第4図 透過流束の時間依存性 (VSEP Series L)

Fig. 4 Dependence of flux on Time (VSEP Series L)

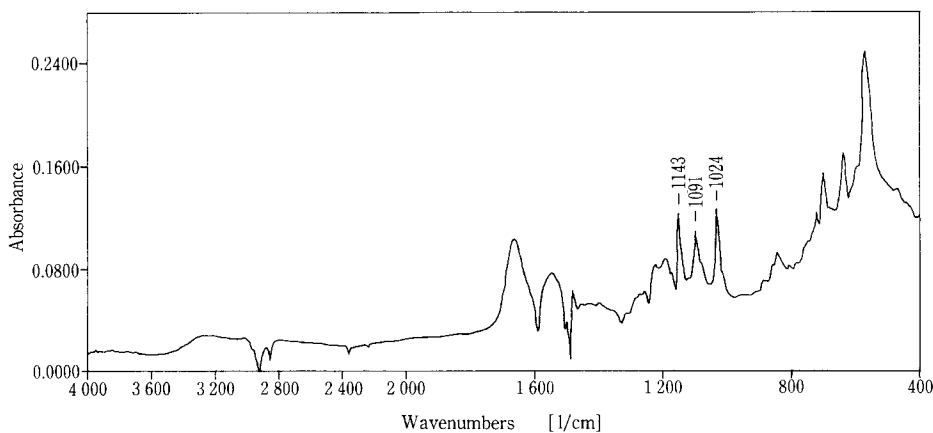
の経過とともに透過流束が低下し、運転開始後20時間で透過流束が初期の約50%まで低下した。この結果から、耐ファウリング性に優れた VSEP を使用してもパン酵母培養廃液の膜面へのファウリングを完全に防止することはできず、定期的な洗浄が必要であることが分かり、洗浄方法の検討を行った。

洗浄に使用する洗浄液は、膜表面のファウリング物質を調査し、膜の耐薬品性を考慮して決定した。ファウリング物質の調査は赤外分光分析 (FTIR) にて行い、ファウリングさせた膜をサンプルとして用いた。赤外吸収スペクトルの測定結果を第5, 6図に示す。第5図に認められる1656, 1540  $\text{cm}^{-1}$  の吸収から、ファウリング物質中に蛋白質をベースとする物質が付着していることが分かった。同様に第6図に認められる1143, 1091, 1024  $\text{cm}^{-1}$  の吸収から、ファウリング物質中に糖類をベースとする物質が付着していることが分かった。前述の結果から、洗浄条件は45°Cの温水+45°C, pH=11のNaOH水溶液とした。温水は糖質の洗浄, NaOH水溶液は蛋白質の洗浄を考慮して選択した。また、NaOH水溶液のpHは膜の使用pH範囲を考慮して決定した。

第4図に示した連続通水テストではこのようにして決定した洗浄液にて、原液を20時間通水した後に膜の洗浄を行った。洗浄は水でフラッシングを行った後、洗浄液を1時間循環させて行った。洗浄液量は約20Lである。図中の①, ②は温水による洗浄、



第5図 赤外吸収スペクトル測定結果（蛋白質）  
Fig. 5 Result of spectrum measurement of infrared absorbance for protein



第6図 赤外吸収スペクトル測定結果（糖類）  
Fig. 6 Result of spectrum measurement of infrared absorbance for saccharide

第5表 代表的なパン酵母培養廃液の原液と透過液の水質分析結果

Table 5 Typical analysis results of water quality of feed and permeate water of waste stream of yeast parmenter

Sample	pH [—]	Total Solid [mg/L]	Iodine consumption [mg/L]	COD [mg/L]	BOD [mg/L]	TOC [mg/L]
Feed	5.5	46 400	1 590	13 900	24 000	17 300
Permeate	5.5	8 760	172	3 700	4 430	2 860

③, ④, ⑤はNaOH水溶液による洗浄である。図から分かるように、洗浄後の透過流束の回復率は初期透過流束の約50%であるが、20時間毎に洗浄を行うことにより透過流束を約40 L/m<sup>2</sup>/hrの一定値に保つことができることが分かった。従来の膜分離法では透過流束が10 L/m<sup>2</sup>/hr以下<sup>2)</sup>であるのに対し、この連続通水テストの結果からVSEPでは従来型膜分離装置よりも大きい透過流束が得られることが分かった。

第5表にパン酵母培養廃液と透過液の代表的な水質分析結果を示す。透過液のヨウ素消費量が172 mg/Lであり、下水放流規制値である220 mg/L以下を満足しており、使用した膜が求められる分離性能を有していることが分かる。

### 3.2 Series i テスト結果

第7図にSeries i テストの結果を示す。図中の●は透過流束、△は平均透過流束である。テストではバッチ毎に洗浄を行い、同じ膜を使用して9回の

バッチ濃縮テストを行った。1回のテストの濃縮時間は20時間、サンプル量は $10\text{ m}^3$ とした。ただし、9回目のテストのみ濃縮時間36時間、サンプル量 $13\text{ m}^3$ とした。

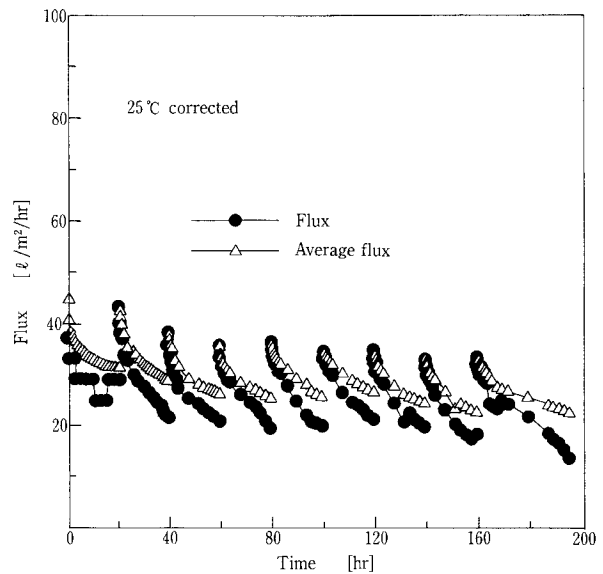
テストではバッチ毎に洗浄を行ったが、回収率80%で透過流束が初期 $40\text{ L/m}^2/\text{hr}$ から $33\text{ L/m}^2/\text{hr}$ に低下し、平均透過流束も $30\text{ L/m}^2/\text{hr}$ から $23\text{ L/m}^2/\text{hr}$ に低下した。この平均透過流束の値は第4図に示したSeries Lの平均透過流束と比較して5~6割程度である。Series iの透過流束がSeries Lの透過流束よりも小さくなる要因の1つとして両者のせん断速度の違いが挙げられる。テストはSeries L, Series iともに振幅22 mmで行ったが、第1表に示したように振幅が同じ場合せん断速度はSeries Lの方が大きくなり、振幅22 mmでのSeries iのせん断速度はSeries Lの振幅19 mmに相当する。第3図に示したようにSeries Lの振幅22 mmと19 mmを比較すると振幅19 mmの方が透過流束が15%程度小さくなっており、これと同様にせん断速度の小さいSeries iの透過流束が振幅22 mmのSeries Lの透過流束よりも小さくなったと考えられる。もう1つの要因はSeries LとSeries iのフィルターパック構造と膜面負荷の違いである。

バッチ毎の洗浄では、第4図に示したSeries Lの連続通水テストで得られた洗浄回復性が5~6割程度であったのに対して、Series iの透過流束は初期透過流束 $40\text{ L/m}^2/\text{hr}$ に対して7~8割程度まで回復しており、良好な洗浄結果が得られた。これはSeries Lでは洗浄液である温水、NaOH水溶液を1つづつしか使用しなかったが、Series iでは2つを同時に使用したため、洗浄の相乗効果が得られたためと考えられる。

また、透過液の水質はSeries Lのテスト結果とほぼ同程度の水質であった。

#### 4. スケールアップ検討

3.2で述べたようにSeries iの透過流束がSeries Lの透過流束よりも5~6割程度低くなるというテスト結果が得られた。テスト結果からせん断速度が透過流束に及ぼす影響は大きく、様々なアプリケーションで両者のせん断速度の違いから、Series iの透過流束がSeries Lの透過流束よりも小さくなることは定性的には予測できるが、定量的にはSeries iを用いてテストを行いSeries Lのテスト結果と比較する必要がある。しかしSeries Lのテスト結果からSeries iの透過流束を予測する



第7図 透過流束の時間依存性 (VSEP Series i)  
Fig. 7 Dependence of flux on time (VSEP Series i)

ことができれば、従来のようにSeries iでのテストを行う必要が無くなる。そこでSeries LからSeries iへのスケールアップ方法を確立するため、本テストで得られた結果を基にSeries LのテストデータからSeries iの透過流束を予測するためのスケールアップ方法の検討を行った。

##### 4.1 スケールアップ方法

Series LからSeries iへスケールアップする場合、両者の大きな違いであるせん断速度とフィルターパックの構造の違いを考慮する必要がある。せん断速度の違いに関して、3.2で述べたようにSeries iの振幅22 mmでのせん断速度はSeries Lの振幅19 mmのせん断速度と対応している。そこで両者のせん断速度の違いを考慮して、Series Lの振幅19 mmのテストデータを基準としてスケールアップ計算を行った。

フィルターパックの構造の違いは膜モジュール内の棚段構造を考慮して計算を行う必要がある。簡単のため、膜モジュール内では各棚段では均一に処理液が流入、流出すると仮定して計算を行った。第8図に膜モジュール内での流れのイメージを示す。

今回のSeries LからSeries iへのスケールアップの検討で行った計算の方法のフローチャートを第9図に示す。次に第9図に従って具体的な方法を述べる。

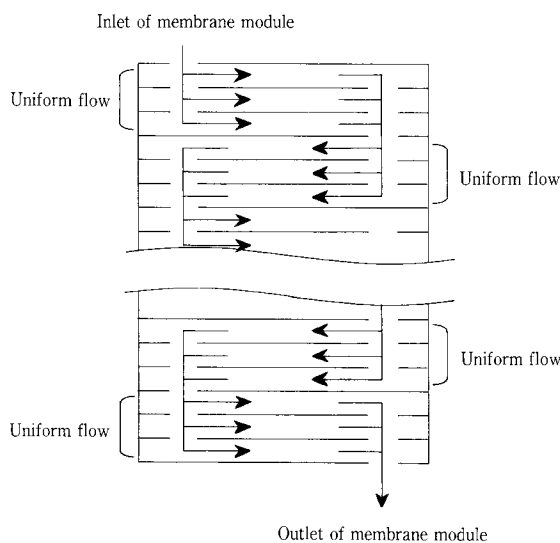
- ① Series iとせん断速度が同じであるSeries Lの振幅19 mmのテスト結果が回収率と透過流束の関係を表しているの、このテストデータ

を計算が行い易いように簡単な数式で表した。  
 相関で得られた式は次の通りである。

$$\text{透過流束} = 102.9 - 1.48 \times C + 0.07 \times C^2 \quad (3)$$

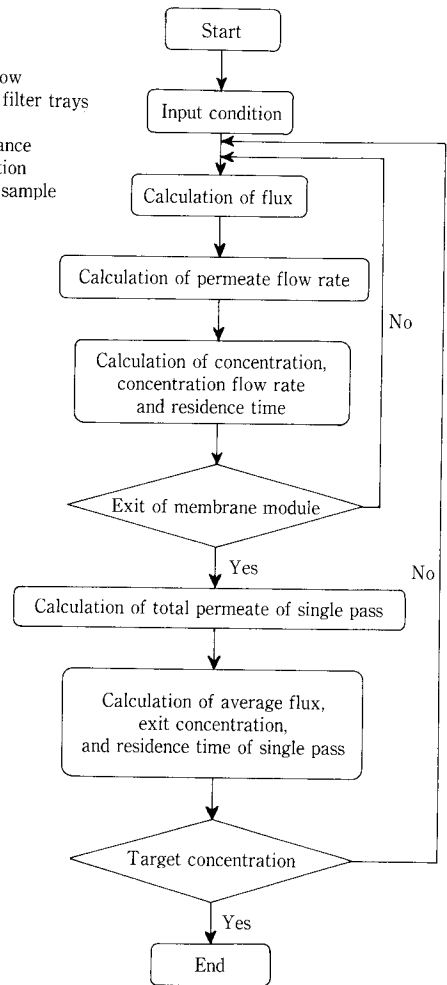
ここでCは濃度である。テスト結果は回収率であるが、回収率を濃度に換算して上式を導いた。上式の計算結果を第3図に示しているが、図からテストデータを良好に相関できていることが分かる。

- ② 初めに計算に必要な条件を入力する。条件は①で得られた数式、膜モジュールへの処理液の流入流量、棚段構造、膜面積、膜間スペース、処理液初期濃度、原液量である。
- ③ 第8図に示したように棚段には均一に処理液が流入すると考え、濃度から透過流束を計算する。
- ④ 計算した透過流束と膜面積からその棚段での透過流量を計算する。
- ⑤ ④で計算した透過流量からその棚段の出口濃度、濃縮液出口濃度、棚段内での処理液の滞留時間を計算する。
- ⑥ 次の棚段へは⑤で計算した条件で処理液が流入するとして②～④の計算を行い、これを膜モジュール出口まで繰り返す。
- ⑦ 膜モジュール出口までの計算を終了した後、膜モジュール全体での総透過流量を計算し、この総透過流量から膜モジュール1パスでの平均透過流束、出口濃度、滞留時間を計算する。
- ⑧ 原液総量と総透過流量、滞留時間から処理液の濃度を計算し、③～⑦までの計算を処理液が目



第8図 膜モジュール内の流体の流れのイメージ  
 Fig. 8 Flow image inside membrane module

- Input condition
1. Flux =  $f(C)$
  2. Flow rate of inflow
  3. Configuration of filter trays
  4. Membrane area
  5. Membrane clearance
  6. Initial concentration
  7. Gross volume of sample



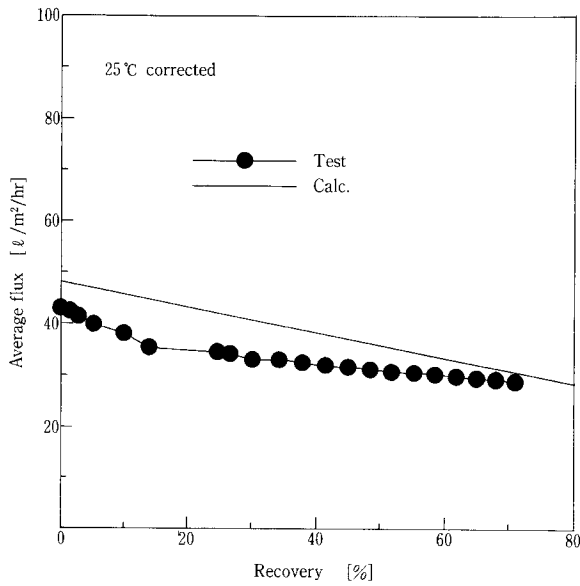
第9図 スケールアップ計算フローチャート  
 Fig. 9 Flow chart of scale up calculation

標の回収率になるまで計算を繰り返す。  
 次に検討結果について述べる。

#### 4.2 スケールアップ計算結果

第10図にスケールアップ計算結果と Series i の実測値を比較した結果を示す。低回収率時(10~20%付近)には約20%の誤差があるが、高回収率(80%)時には10%以下の誤差となった。運転初期の誤差が大きい原因としては、Series Lと Series iの膜面流速の違いと単位膜面積あたりの負荷の違いが考えられる。ファウリングのほとんどないラテックス<sup>5)</sup>の場合程の一致は得られなかったが、パン酵母培養廃液のようにファウリングの激しいアプリケーションに対して膜モジュール全体で評価した場合、実用上問題とならない精度の計算結果が得られており、本方法が Series L から Series i の性能を予測するための有効な方法であることが確認できた。今後はファウリングの影響を考慮し、さらに精度の良い計算を行えるように検討する必要がある。





第10図 スケールアップ検討結果  
Fig. 10 Result of scale up examination

### むすび

VSEP のパン酵母培養廃液処理への適用性についての検討を行った。VSEP Series L と Series i を用いてテストを行った結果、VSEP は従来の膜分離法と比較して数倍の処理能力を有することが確認された。また Series L と Series i の間で透過流束の相違が確認されたため、Series L のテスト結果を用いて Series L から Series i へのスケールアップ法則の検討を行った。その結果、せん断速度と膜

モジュールの構造の違いが透過流束の相違の大きな原因であり、せん断速度を合わせ、膜モジュールの構造を考慮することにより Series L のテスト結果から Series i の透過流束を運転開始初期ではあるが実用に供する精度で予測できることが分かった。

最後にパン酵母培養廃液の処理テストを実施するのに際し、多大なご協力をいただきました中越酵母工業(株)の武田係長に厚くお礼申し上げます。

<記号の説明>

$A$ : 膜面積	[ $m^2$ ]
$C$ : 固形物濃度	[ $\%$ ]
$f$ : 振動数	[Hz]
$P$ : 振幅	[m]
$P_2$ : 膜外周部振幅	[m]
$r$ : 膜半径	[m]
$r_1$ : 膜内周半径	[m]
$r_2$ : 膜外周半径	[m]
$\dot{\gamma}$ : せん断速度	[1/s]
$\dot{\gamma}_{Ave}$ : 平均せん断速度	[1/s]
$\mu$ : 粘度	[Pa · s]
$\rho$ : 密度	[ $kg/m^3$ ]

### [参考文献]

- 1) 武田 毅: イースト技報, Vol. 67 (1997), p.7.
- 2) 村上勝志ほか: イースト技報, Vol. 57 (1987), p.7.
- 3) 高田一貴ほか: 神鋼パンテック技報, Vol. 40, No.1 (1996), p.28.
- 4) 高田一貴ほか: 神鋼パンテック技報, Vol. 41, No.2 (1998), p.47.
- 5) 小西嘉雄ほか: 神鋼パンテック技報, Vol. 42, No.2 (1999), p.28.

### 連絡先

谷田 克義 技術開発本部  
研究開発部

TEL 078 - 992 - 6525

FAX 078 - 992 - 6504

E-mail k.tanida@pantec. co.jp

竹尾 由重

技術開発本部  
研究開発部

TEL 078 - 992 - 6525

FAX 078 - 992 - 6504

E-mail y.takeo@pantec. co.jp

小西 嘉雄

技術開発本部  
研究開発部

TEL 078 - 992 - 6525

FAX 078 - 992 - 6504

E-mail y.konishi@pantec. co.jp

高田 一貴 技術開発本部  
(工学博士) 研究開発部  
主任研究員

TEL 078 - 992 - 6525

FAX 078 - 992 - 6504

E-mail k.takada@pantec. co.jp