

工業用水除濁処理への振動型膜分離装置

「VSEP」の適用紹介

Application of Vibratory Shear Enhanced Processing (VSEP)
for Turbidity Removal of Industrial Water



(環)製品開発室
藤 井 匡
Tadashi Fujii
(環)技術部計画第3課
山 地 洋 樹
Hiroki Yamaji
(環)製品開発室
山 本 和 良
Kazuyoshi Yamamoto

当社が販売を開始している振動型膜分離装置「VSEP」は、膜面に常に水平振動を与えることにより、膜の目詰まりや流路の閉塞を防止し、高透過流束の長期維持を可能とした膜分離装置である。

本稿ではVSEPの特長とともに、河川表流水を水源とする工業用水の精密除濁処理目的に納入した国内初の実績例を紹介する。

VSEP (Vibratory Shear Enhanced Processing) has high fouling- and plugging-resistance on the membrane surface because of the movement in a vigorous vibratory motion tangent to the face of the membrane, and can attain stable high flux continuously.

This paper introduces VSEP, and reports an example of application of VSEP for turbidity removal of industrial water originated from river water.

Key Words :

振 動 膜 ろ 過
V S E P
工 業 用 水
濁 質 除 去

Vibratory membrane filtration
VSEP
Industrial water
Turbidity removal

まえがき

当社は、米国 NEW LOGIC INTERNATIONAL 社により開発された振動型膜分離装置 (Vibratory Shear Enhanced Processing=VSEP) の国内販売を開始している。この装置は膜モジュールであるフィルターパックを水平円周方向に振動させることにより膜表面に高せん断力を与えるという特長ある機構を有しており、被処理液によるファウリング (膜の目詰まり) やプラッキング (流路の閉塞) を

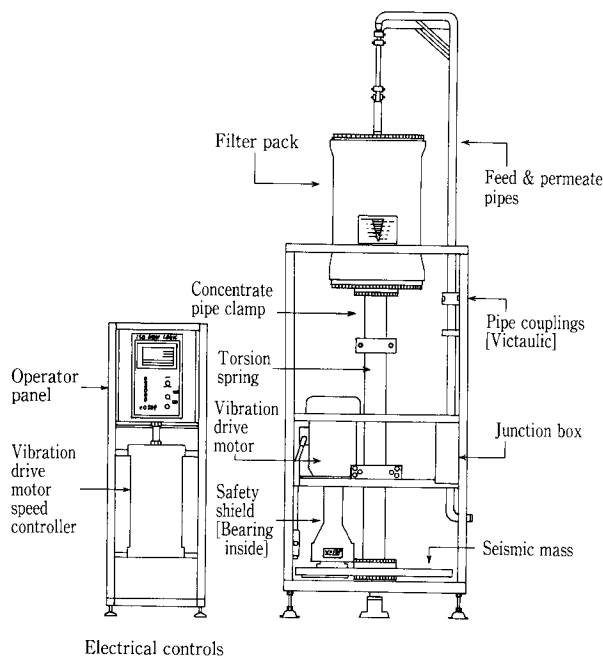
大幅に抑制することが出来ることを特長にしている。従って、従来型クロスフロー膜分離装置に較べて、高い透過流束の維持が可能であり、また従来型クロスフローろ過装置では処理が困難であった高濃度スラリーの処理が可能となっている。

本報では、高色度で年間を通して水質変動の激しい、北海道勇払川表流水を水源とする工業用水の除濁設備に VSEP を適用した国内初の実績例について、その設備概要と運転結果を報告する。

1. VSEP の概要

1.1 VSEP の構造、原理

第1図にVSEP Series iの模式図を示す。モーターの駆動軸には偏心ベアリングがとりつけられており、この軸を高速で回転させることにより軸下部に連結したサイズミックマス (Seismic mass) を水平方向に振動させる。この振動によるサイズミックマスの慣性力はトーシヨンスプリングのねじれを介して上部フィルターパックに伝達され、フィルターパックを水平円周方向に振動させる。この繰り返し振動は周波数約 50 Hz で連続的に行われ、フィル



第1図 VSEP Series iの外形図
Fig. 1 Outside view of VSEP Series i

ターパック内に多段に重ねられた平膜上に強力な水平せん断力を発生させ膜面のファウリングを低減させる。

第2図にフィルターパックの内部構造を示す。原水はフィルターパックの上部から供給され、各段の間隙を水平に流れてろ過され最終的に濃縮液としてフィルターパック下部より排出される。また膜によりろ過された清澄水はフィルターパック中心部へ流れその上部から排出される。

1.2 VSEP の特長

1) ファウリング低減による高透過流束の維持

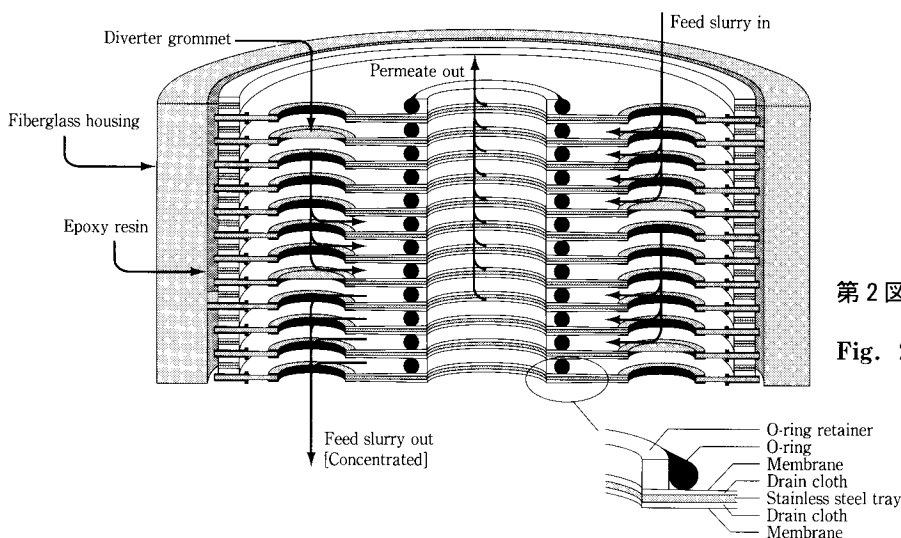
フィルターパックに水平円周振動を与え、膜面に高せん断力を発生させることによりファウリングを防止し、膜面が常にろ過容易な状態に保たれる。従って、従来型クロスフローろ過装置にみられるファウリングによる流束低下が少なく、長期間安定した高流束の維持が可能となっている。

2) 高濃縮が可能

従来型クロスフローろ過装置では処理液の粘性 (スラリー濃度) が大きくなると膜面のせん断力が低下するため膜面にファウリングを生じる。VSEP では膜面に振動を与え、膜面に高せん断力を発生させファウリングを防止すると同時に高濃縮スラリーの流動性を助長するため、高濃縮が可能となっている。

3) 高効率

従来のクロスフローろ過装置の場合、循環ポンプによる送液エネルギーが膜面のファウリングを防止するせん断力へ変換される効率は約10%程度と小さい。VSEP では膜面に与えられる振動エネルギーの大半が膜面近傍の流体にせん断力と

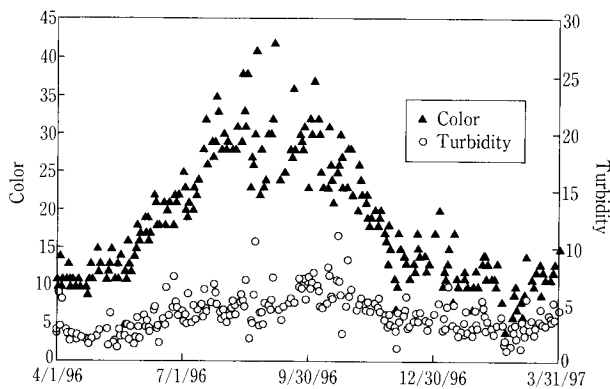


第2図 VSEP Series iのフィルターパックの内部構造
Fig. 2 Cross sectional view of filter pack for VSEP Series i

第1表 工業用水除濁設備の設計諸元

Table 1 Design condition of the plant for turbidity removal of industrial water

Quality		Industrial water	Treated water
Temperature	(°C)	0~15	<17
pH	(-)	6.3~6.9	5.8~6.9
SS	(mg/ℓ)	—	—
TS	(mg/ℓ)	70~116	—
Color	(unit)	16~67	<1
Turbidity	(unit)	4~16	<0.1
Permanganate value	(mg/ℓ)	2.1~4.1	<1
M-alkalinity	(CaCO ₃ , mg/ℓ)	19~25	—
Chloride ion	(mg/ℓ)	4.6~6.0	—
Nitrate and nitrite ion	(mg/ℓ)	0.1~0.6	—
Total hardness	(CaCO ₃ , mg/ℓ)	25~27	—
Calcium hardness	(CaCO ₃ , mg/ℓ)	14.8~16.8	—
Total iron	(mg/ℓ)	0.2~1.9	<0.05
Solubility iron	(mg/ℓ)	0.12~1.2	—
Aluminum	(mg/ℓ)	—	<0.05
Ionic silica	(mg/ℓ)	39~43	—
SDI	(-)	—	<2



第3図 勇払川の水質
Fig. 3 Water quality of Yufutsu river

して変換されるため、高効率である。

4) 高い機械的信頼性と簡単なメンテナンス

駆動部分はトーションスプリング（寿命は半永久）と偏心ベアリング（自動潤滑）の2箇所だけであり、メンテナンスが簡単である。

5) コンパクトなデザイン

84m²の膜面積をもつVSEPの本体設置スペースは1.2m×1.2mであり省スペースである。

6) 低コストの実現

前述の特長のため省エネルギー、膜面積の減少、膜寿命の延長、設置面積の減少を実現しており経済的である。

2. 除濁設備概要

2.1 設計諸元とVSEP適用背景

今回、VSEPを適用した工業用水除濁設備の設

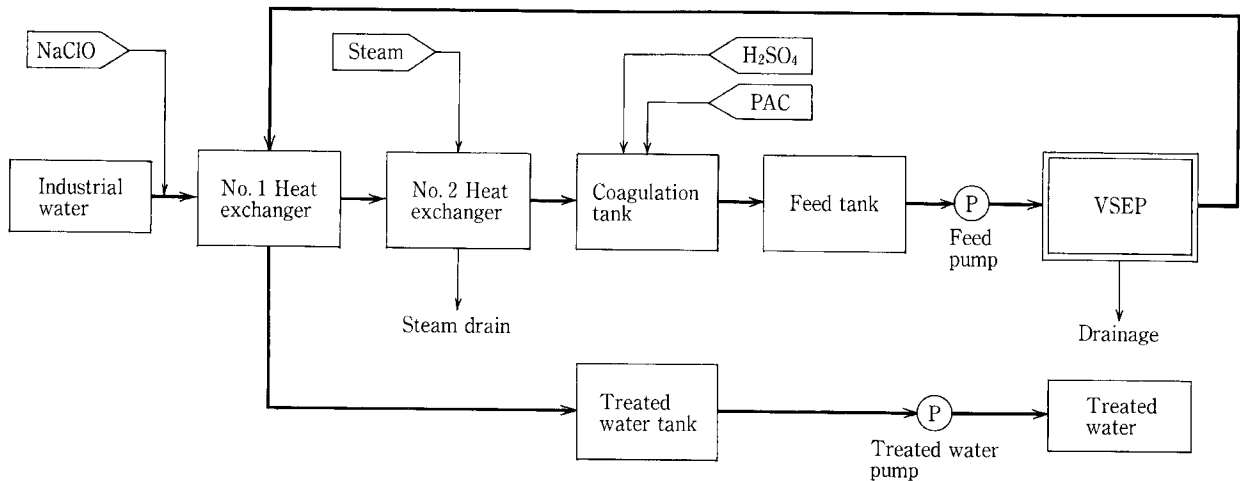
計諸元を第1表に示す。この設備の処理水は、純水装置の原水として使用される他、直接、電子材料等の精密部品の洗浄水としても使用されるため、微粒子数及び有機成分の少ない高レベルな水質が要求されている。

この工業用水は北海道の勇払川表流水を水源としている。勇払川は比較的濁度であるが北海道の河川に多い有機色度成分であるフミン質を多く含有した河川である。また雪解け時には濁度、色度等の水質指標が急激に悪化する等、年間を通じての水質変動が激しい（第3図）。このような特性を有する河川表流水の除濁設備を計画するにあたり、次の理由によりVSEPが最適と考えられ採用されるに至った。

① 変動の激しい原水水質に対し、年間を通じて設計処理水質を安定して得るには膜処理の適用が必要である。当工場では従来稼働の凝集砂ろ過処理では設計処理水の確保は困難で、更に夏期の高濁度、高色度時に処理水質が大幅に悪化するという問題があった。

② 一般にUF膜では分画分子量が数万以上であるため、フミン酸等の低分子量域の有機色度成分は有効に除去されない。そのため凝集剤により有機成分をUF膜で分離可能なように凝集フロックとして捕捉させることが必要である。

③ 原水中の有機色度成分が高濃度であるため、高濃度の凝集剤添加が必要である。一般的な中空糸UF装置では、高濁度凝集水を直接膜装置に供給すると、膜の目詰まりによる流束低下、流路の閉



第4図 工業用水除濁設備のフローシート

Fig. 4 Schematic diagram of the plant for turbidity removal of industrial water

塞を起こす可能性があるが、VSEPではその特長により高濁度凝集水の直接ろ過が可能である。

- ④ VSEPの高い耐濁質性能により、従来の膜処理設備に必要な濁質除去のための前処理設備（凝集沈澱池、砂ろ過器等）が不要であり、全体設備費、設備面積の低減、工期の短縮が可能である。

2.2 設備概要

工業用水除濁設備のフローシートを第4図に示す。

次にそれぞれのプロセス、システムの概要を説明する。

2.2.1 凝集プロセス

比較的低濁度で高色度の河川表流水を水源とする工業用水に凝集剤（PAC）を添加し、凝集槽（急速攪拌機付）にて凝集反応の促進、原水槽（緩速攪拌機付）にてフロックの形成とSS沈降防止を行い、膜のファウリング要素である有機成分をフロック中に充分に取り込む。PACの注入量は現地テスト及びラボテスト実績より、第1表を満足する処理水を得るには、硫酸によるpH調整と共に40~60 mg/lの注入が必要であった。

2.2.2 ろ過プロセス

凝集された工業用水は、UF膜を装着したVSEP（Series i：膜面積84 m²/基）に供給され濁質を除去される。VSEP外観を写真1に示す。VSEP基数は1基洗浄停止時に設計水量60 m³/hを満足することを条件に6基とした（設計流束143 l/m²/h×膜面積84 m²/基×常用基数5基=60 m³/h）。VSEPは処理水槽の水位に従い供給ポンプに連動して自動起動-停止運転を行う。また頻繁な起動-停止を避けるため、供給ポンプ吐出量は処理水槽の水位に従いイ

ンバータによるモータ回転数制御を行う。

当設備のVSEP装着膜には、分画分子量100 000のセルロース系UF膜を用いた。当膜種はラボ機（Series L¹：膜面積0.045 m²）による膜選定テスト、及び実機スケールのテスト機（Series i：膜面積28 m²）による現地テストにより、高い透過流束が安定して得られ、且つ目標処理水質を満足する膜として選定された。セルロース膜へのバクテリアアタックを防止するため、膜供給水にはあらかじめ塩素を

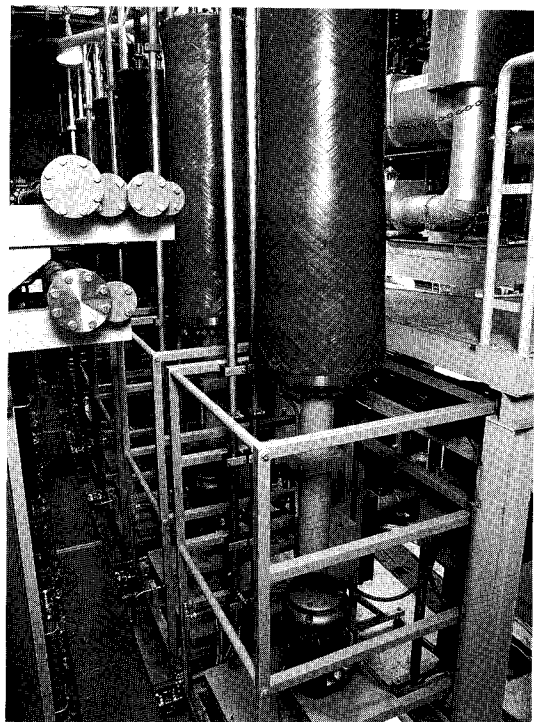
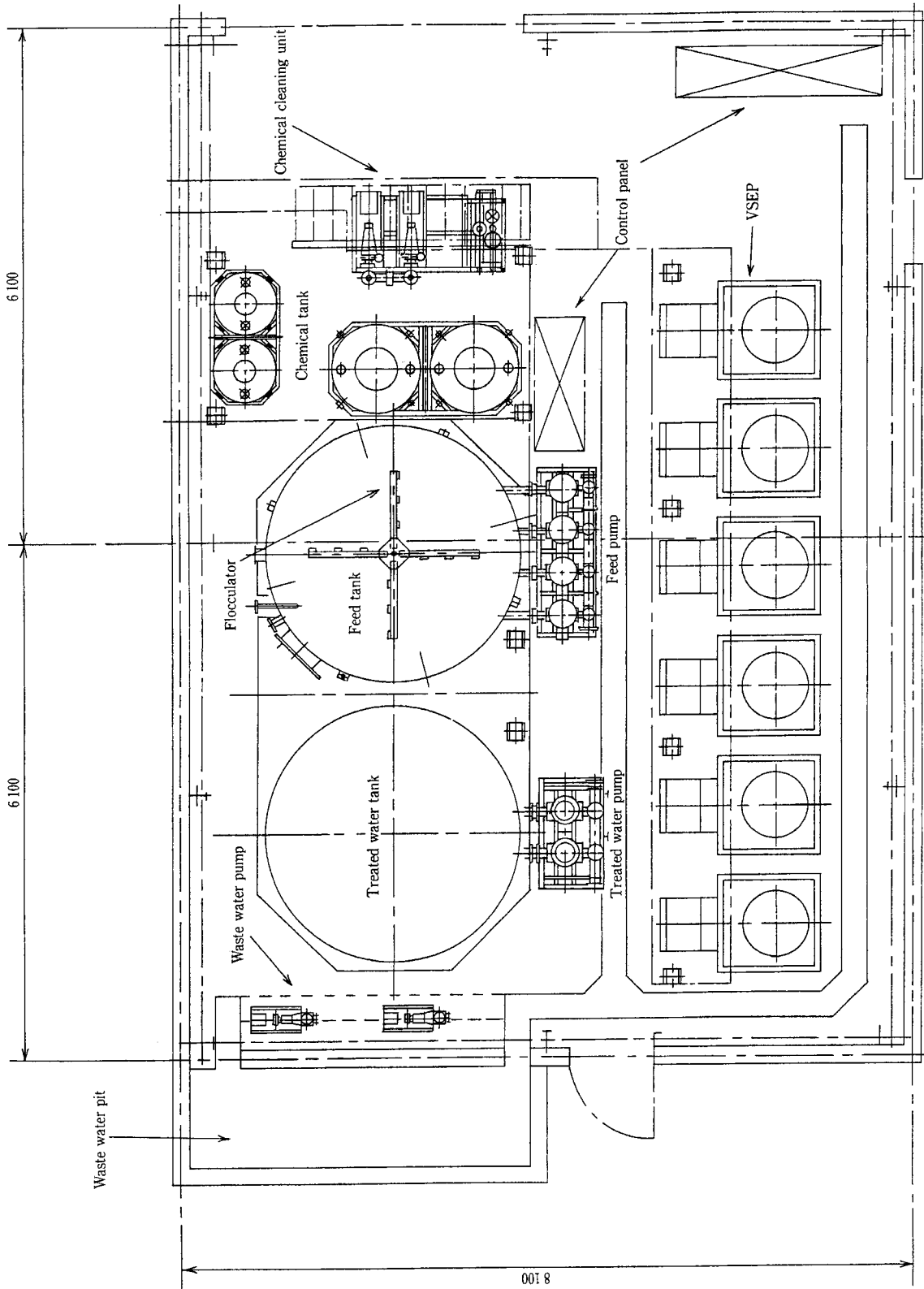


写真1 VSEP Series i (84m²×6基)

Photo.1 VSEP Series i (84m²×6 machines)



第5図 工業用水除濁設備の配置図
 Fig. 5 Layout drawing of the plant for turbidity removal of industrial water

注入し殺菌を行っている。

2.2.3 加温システム

年間を通じて0~15℃まで変動する工業用水は、2段のプレート熱交換器により30℃まで加温されVSEPに供給される。前段熱交換器では熱源としてVSEP処理水(30℃)の顕熱を利用し、処理水を設計条件である17℃以下に下げ、一定とすると同時に工業用水をある程度の温度まで加温する。後段熱交換器では熱源として蒸気を利用し、30℃まで加温する。

VSEP原水を30℃まで加温することにより、膜透過流束は冬期(0℃)で2.1倍、夏期(15℃)で1.4倍となると想定され、必要膜面積の低減を実現している。

2.2.4 洗浄システム

工業用水水質の悪化等で膜への負荷が増大し、膜汚染が進行した場合には、自動で酸及びアルカリにより薬液洗浄が可能である。酸洗浄には硫酸(pH:1.0~1.5)を使用し、膜表面に付着した水酸化アルミニウムが主体の金属水酸化物等の溶解除去を膜透過側を遮断して行う。アルカリには苛性ソーダ(pH:11.5~12.0, 40℃加温)を使用し、膜内部に侵入したフミン酸等の有機成分の溶解除去を行う。洗浄周期や薬液循環時間は工業用水の水質状況に応じユーザー側で調節容易なシステムとなっている。

2.2.5 水質監視, 制御システム

VSEPの処理水水質は、膜の損傷等の万一のトラブルを早期に発見するためレーザー式濁度計(測

定範囲0.0001~1度)により常時監視, 記録するシステムとなっている。

また全設備は自動化されており, 運転, 監視, 設定値変更のすべてがひとつのタッチパネル上で可能となっている。

2.2.6 設備レイアウト

工業用水除濁設備の配置図を第5図に示す。全設備が12.2mW×8.1mL×5.9mHの建屋内に配置されている。凝集槽及び熱交換器の配置場所は, 原水ポンプ及び処理水ポンプ上のスペースを有効に利用しており, コンパクトで合理的な設計となっている。

2.3 主要機器仕様

次に本設備の主要機器仕様を示す。

1) VSEP (設計処理水量 60 m³/h)

型式: 振動型膜分離装置

寸法: 1 194 mmW×1 194 mmL×
5 175 mmH

基数: 6基

(膜仕様)

膜種: セルロース系UF膜

分画: 100 000 MWCO

膜型式: 多段平膜型

膜面積: 84 m²/基

2) 凝集槽 (設計流入水量 70 m³/h)

型式: 鋼製円筒型

寸法: 1 400 mmφ×1 530 mmH

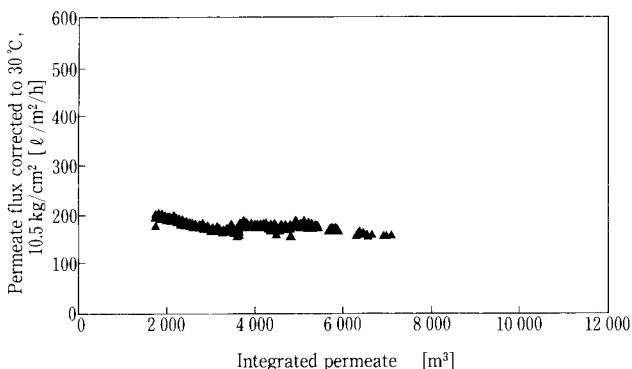
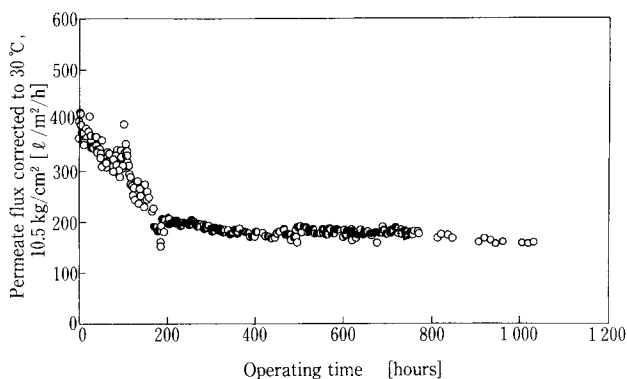
(有効容量 1.8 m³)

滞留時間: 1.5 min

第2表 試運転時の水質分析結果

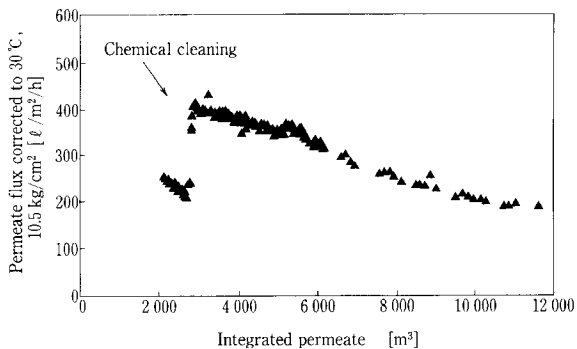
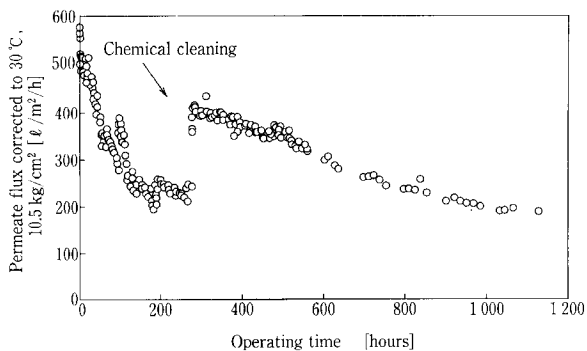
Table 2 Analysis result of water quality at test-run

Parameter	8/26/97			9/16/97			Designed water quality
	Industrial water	Coagulated water	Treated water	Industrial water	Coagulated water	Treated water	
pH (-)	7.1	6.6	6.5	6.9	7.1	6.4	5.8~6.9
SS (mg/ℓ)	2	19	—	3	20	—	—
TS (mg/ℓ)	94	124	98	102	120	96	—
Color (unit)	28	28	<1	28	28	<1	<1
Turbidity (unit)	2.0	4.2	<0.1	2.2	5.2	<0.1	<0.1
Permanganate value (mg/ℓ)	6.8	7.0	<1.0	5.9	6.2	<1.0	<1
M-alkaline (CaCO ₃ , mg/ℓ)	27.7	12.9	12.7	27.7	13.7	13.9	—
Total hardness (CaCO ₃ , mg/ℓ)	10.5	10.2	12.6	24.2	24.0	24.2	—
Calcium hardness (CaCO ₃ , mg/ℓ)	3.9	3.8	5.0	16.2	15.8	16.4	—
Total iron (mg/ℓ)	1.00	0.89	0.002	0.99	1.09	0.001	<0.05
Total manganese (mg/ℓ)	<0.10	<0.10	0.005	<0.10	<0.10	0.007	—
Aluminum (mg/ℓ)	0.21	3.41	<0.01	0.17	3.54	0.01	<0.05
Ionic silica (mg/ℓ)	44.9	39.6	41.5	44.9	41.1	41.8	—
E ₂₆₀ , 50mm cell (-)	0.430	0.564	0.075	0.227	0.084	0.040	—
Abs ₂₆₀ , 50mm cell (-)	0.028	0.025	0.002	0.027	0.012	0.006	—
TOC (mg/ℓ)	1.4	1.0	0.5	0.9	1.0	<0.5	—
DOC (mg/ℓ)	1.3	0.6	—	0.9	0.6	—	—
Humic group (mg/ℓ)	2.1	1.3	<0.4	1.2	1.4	<0.4	—
SDI (-)	—	—	1.56	—	—	—	<2



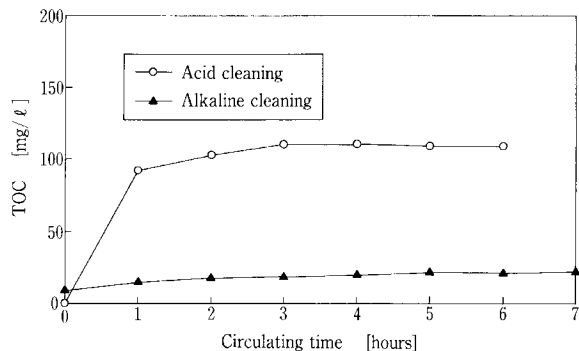
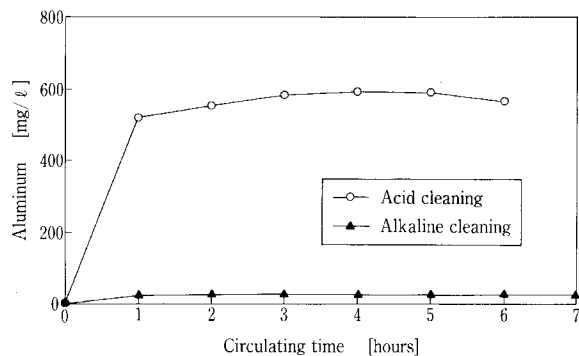
第 6 図 透過流束と運転時間、積算流量の関係 (No. 6 VSEP)

Fig. 6 Flux VS operating time, integrated permeate (No. 6 VSEP)



第 7 図 透過流束と運転時間、積算流量の関係 (No. 4 VSEP)

Fig. 7 Flux VS operating time, integrated permeate (No. 4 VSEP)



第 8 図 洗浄液中へのアルミニウム、TOC 成分の溶出
Fig. 8 Aluminum and TOC in chemical cleaning solution

第 3 表 膜洗浄結果と条件の一例

Table 3 An example of membrane cleaning result and condition

	Step 1 Acid cleaning	Step 2 Alkaline cleaning
Species of chemical	Sulfuric acid	Sodium hydroxide
Circulating time (hours)	6.0	7.0
pH of cleaning solution	1.0~1.1	12.0
Permeate flux (ℓ/m²/h at 30 °C, 150 psi)		
before cleaning	241	363
after cleaning	363	387

3) 原水槽

型 式 : 鋼製円筒型

寸 法 : 3 000 mmφ × 3 800 mmH

(有効容量 25 m³)

滞留時間 : 21 min

4) 処理水槽

型 式 : F R P 製円筒型

寸 法 : 3 000 mmφ × 3 870 mmH

(有効容量 25 m³)

滞留時間 : 25 min

- 5) 前段熱交換器
 型式：プレート式
 材質：SUS 304
- 6) 後段熱交換器
 型式：プレート式
 材質：SUS 316
- 7) 供給ポンプ
 仕様：24 m³/h×139 mAq×15 kw
 (インバータ制御付)
 基数：4基 (1基予備)
- 8) 処理水ポンプ
 仕様：60 m³/h×40 mAq×11 kw
 基数：2基 (1基予備)

3. 運転結果

3.1 原水、処理水水質状況

試運転時の原水及び処理水の水質分析結果を第2表に示す。試運転実施時期が水質の悪化する夏期に重なり、原水の色度が比較的高かったため、PACの添加量を60 mg/lに調整した。処理水水質は各項目とも設計値を満足していることが確認された。処理水濁度はオンラインのレーザー式濁度計においても常時0.0015以下を示しており、微粒子除去が確実に行われていた。また、当処理で重要な因子である有機色度成分除去の効果を確認するため、有機色度成分の指標となるE₂₆₀値(紫外外部吸光度260nm)、TOC濃度、フミン酸類の分析を行った。何れも原水に対して高い除去効果を示し、PAC凝集+VSEP(UF膜)処理により有機色度成分の除去が有効に行われていることが確認された。

3.2 膜透過流束の経時変化

試運転開始からのVSEPの透過流束変化の一例を第6図に示す。透過流束は設備フル稼働時の供給条件として、膜最大操作圧150 psi(10.5 kg/cm²)、水温30℃に換算して示した。通水開始後、透過流束は低下傾向を示したが約200時間(採水量約2000 m³)後からはほぼ安定することが確認された。他の5基のVSEPについても、150~200 l/m²/hの

高い透過流束で安定し、設備計画値の143 l/m²/h(1基洗浄時、5基で60 m³/h)を十分に満足することが確認された。

3.3 膜洗浄の結果例

試運転期間中に膜洗浄を実施したVSEPの透過流束変化を第7図に、膜洗浄結果、洗浄条件の一例を第3表に示す。酸洗浄は透過側を閉止し膜表面に付着したアルミニウムフロク等のファウリング物質の除去を目的に行い、アルカリ洗浄は膜内に蓄積されたフミン質等の有機系ファウリング物質の除去を目的に行った。洗浄中の循環薬液中のアルミニウム、TOC濃度変化を第8図に示す。酸洗浄により、膜表面に付着したアルミニウムフロクが除去されていることが確認された。また、酸洗浄液中にはTOC成分も高濃度に含まれており、PAC凝集によるフロクにフミン質等の有機成分が十分に捕捉されていることがわかる。アルカリ洗浄では、膜内に蓄積しているわずかな有機成分が溶出されると推察される。

むすび

当社の新製品である振動型膜分離装置(VSEP)の国内1号機として納入したこの工業用水除濁設備は、試運転完了後も設計条件を満足し安定した運転を継続している。またVSEPも高い透過流束を維持できることが確認され、その特長を十分に生かすことができた。この設備の導入によりユーザーは年間を通じて安定した良質の処理水が得られ、製品品質の安定化、純水装置供給原水水質の向上、市水使用量の低減等が実現された。この設備はすでに製造ライン増設による要求水量の増加に伴いVSEP 3基の増設工事中であり、今後も最適膜洗浄周期や膜寿命の把握のために運転データの蓄積、解析を行っていく所存である。また、本事例の紹介が他分野でのVSEPの適用の参考になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 高田一貴ほか：神鋼パンテック技報, Vol. 40, No. 1 (1996), p.28

連絡先

藤井 匡	環境装置事業部 製品開発室	山地 洋樹	環境装置事業部 技術部計画第3課	山本 和良	環境装置事業部 製品開発室 担当次長
	TEL 078-992-6532		TEL 078-232-8105		TEL 078-992-6532
	FAX 078-992-6503		FAX 078-232-8056		FAX 078-992-6503
	E-mail td.fujii@pantec.co.jp		E-mail h.yamaji@pantec.co.jp		E-mail kz.yamamoto@pantec.co.jp