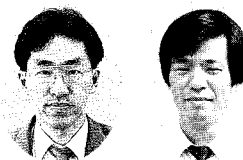


# 膜利用型浄水装置の紹介

Drinking water treatment using membrane separation technology



(環) 製品開発室  
松井 日出夫  
Hideo Matsui  
(環) 技術部計画第2課  
西尾 弘 伸  
Hironobu Nishio

1991年より3年間、厚生省、国立公衆衛生院及び(社)水道浄水プロセス協会により「MAC 21計画」が実施されたが、当社も実験参画し、当社の膜ろ過装置が浄水処理システムとして実用可能である事を証明した。

浄水膜ろ過施設は、無人運転による維持管理の容易さ、設備の省スペース化等の有用性から、従来の凝集沈澱砂ろ過法に替わる浄水システムとして今後発展していくものと思われる。また、近年、クリプトスポリジウムが飲料水に混入し感染症が発生する事例があり、膜ろ過はこの対策としても効果があることが認められている。

本報では、当社の膜ろ過設備 (SP - MEMCOR) の内容と、実証プラントとしての事例、クリプトスポリジウムの除去例について述べる。

A national research project "Membrane Aqua Century 21 (MAC 21)" was carried out for three years from 1991 by The Water Purification Process Association at the initiative of The Ministry of Health and Welfare.

SHINKO PANTEC participated in this project with its membrane filtration system. The system proved in a demonstration plant the efficiency over the conventional coagulation/sedimentation/filtration system for the advantages as easy maintenance or unmanned operation, smallspace requirement, etc. It also confirmed the effectiveness as a preventive measure for disease caused by pathogenic protozoa as Cryptosporidium possibly mixed in drinking water. For these reasons, the system is expected to replace the existing system.

This paper introduces the SHINKO PANTEC membrane filtration system (SP-MEMCOR), the results of pilot plant, and the removal of Cryptosporidium.

## Key Words :

膜ろ過  
クリプトスポリジウム

membrane filtration  
Cryptosporidium

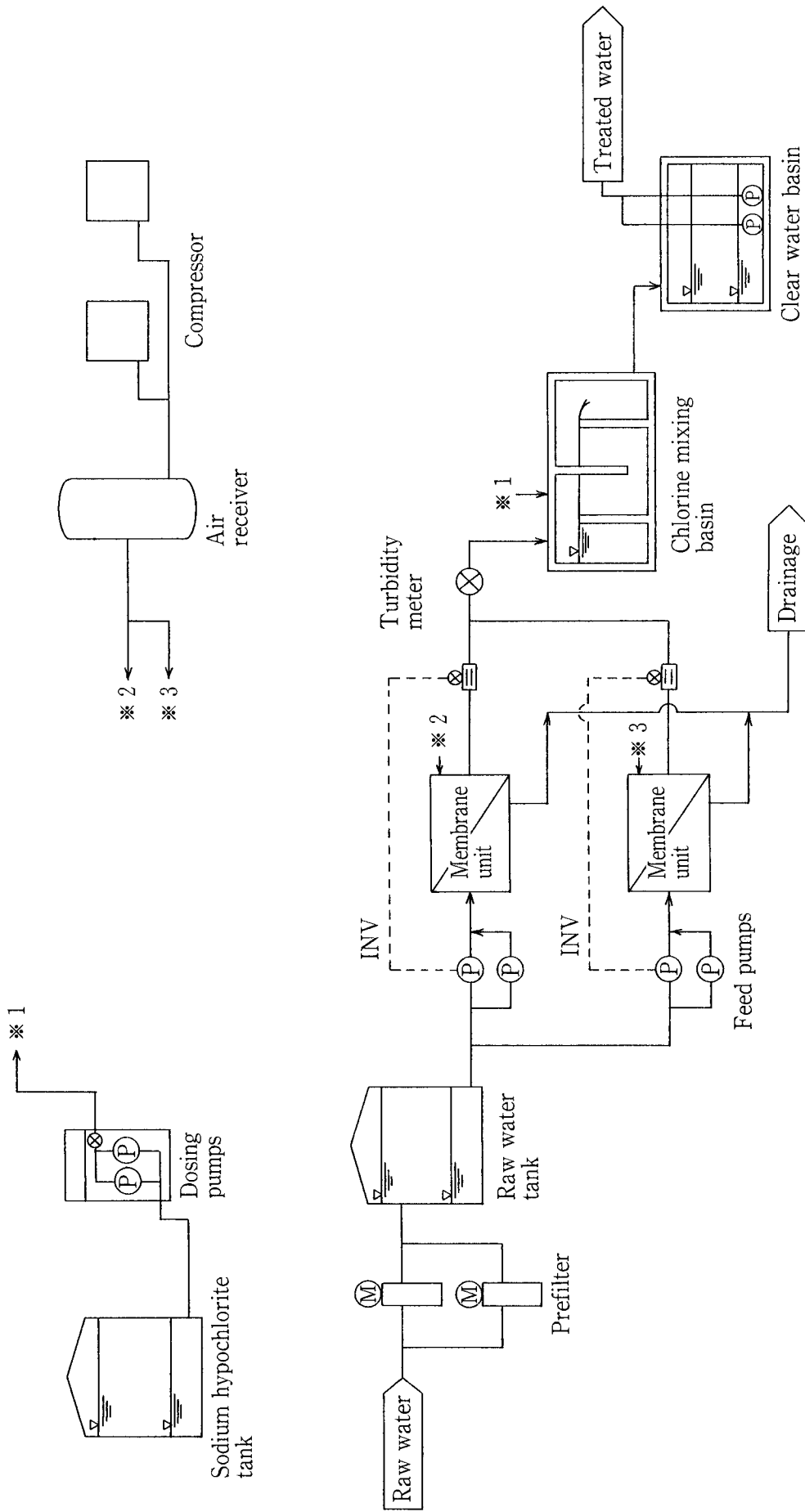
## まえがき

1991年より3年間、浄水分野での膜分離技術の実用化を目指した厚生省、国立公衆衛生院及び(社)水道浄水プロセス協会\*1による「膜利用型新浄水システム開発研究：MAC 21計画\*2」が実施され、膜による浄水システムはその実用性が実証された。当社もMAC 21計画に実験参画し、当社の膜ろ過装置が浄水処理システムとして実用可能である事を証明した。

また近年、飲料水にクリプトスポリジウムが混入したことによる感染症が発生した事例があり、厚生省は平成9年度の厚生白書にて、クリプトスポリジウム問題など水道水に起因する新たな健康障害に対し、水道水の水質保全、浄水処理の高度化、水道の水質管理の強化等の対策が強く求められていると述べ、クリプトスポリジウム等の病原性原虫を確実に除去する膜ろ過施設の整備を推進する旨を明らかにした。

注釈\*1 1996年9月より(財)水道管路技術センターと合併し(財)水道技術研究センターとなる

\*2 Membrane Aqua Century 21 project



第 1 図 SP-MEMCOR 標準フロー  
 Fig. 1 SP-MEMCOR standard schematic flow diagram.

浄水膜ろ過施設は、クリプトスポリジウム等病原性原虫の除去に効果的であり、無人運転による維持管理の容易さ、設備の省スペース化等の有用性から従来の凝集沈澱砂ろ過法にかわる浄水システムとして今後発展していくものと思われる。

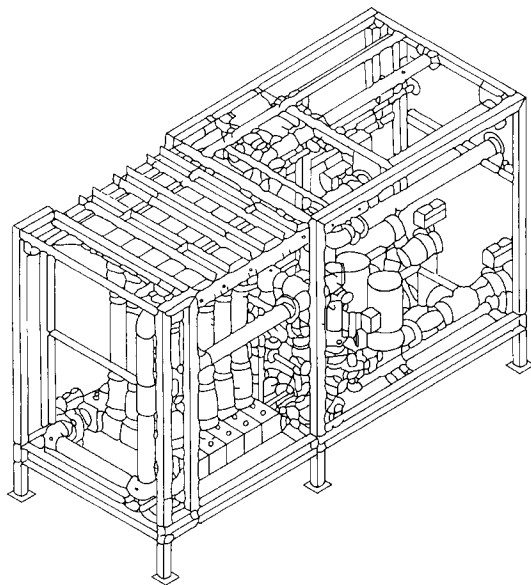
本報ではこの浄水ろ過膜装置 (SP-MEMCOR<sup>®</sup>) の内容と、実証プラントの例、クリプトスポリジウムの除去例を報告する。

## 1. 膜ろ過装置の概要

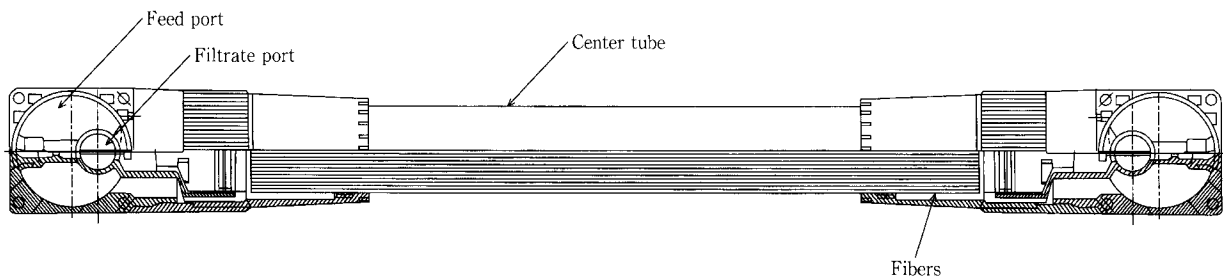
### 1.1 構成機器

第1図に標準的なフローシートを示す。膜による浄水装置の標準的な構成機器は次の通りである。

- ①プレフィルタ
- ②原水槽
- ③原水ポンプ
- ④逆洗ポンプ  
(流束<sup>\*1</sup>  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ ,  $450 \text{ m}^3/\text{日}$ 以上の場合設置)
- ⑤膜モジュール (詳細は, 1.2 参照)



第2図 SP-MEMCOR (180~360  $\text{m}^3/\text{日}$ )  
Fig. 2 SP-MEMCOR (180~360  $\text{m}^3/\text{d}$ )



第3図 膜モジュール外形図 (M10C)  
Fig. 3 A cross section of a MEMCOR M10C module

- ⑥逆洗排水受槽
- ⑦コンプレッサー
- ⑧空気槽
- ⑨制御盤及び電磁弁盤
- ⑩消毒用次亜塩素酸ナトリウム注入設備
- ⑪原水・ろ過水電磁流量計, 濁度計, 圧力計  
必要に応じて, 次の機器を加える。
- ⑫プロセスモニター (遠隔地監視装置)
- ⑬薬品注入装置 (凝集剤, PH調整剤)
- ⑭薬品洗浄装置 (酸・アルカリ槽とそれらの注入装置, 及び中和槽)

第2図に処理水量  $180 \sim 360 \text{ m}^3/\text{日}$  (流束  $1 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{日}$ ) の膜ろ過装置を示す。このタイプはユニットに原水ポンプ, 膜モジュール (12~24本), 電磁弁盤が含まれている。概略寸法は幅  $1.6 \text{ m}$ , 高さ  $2.5 \text{ m}$ , 長さ  $3.6 \sim 4.2 \text{ m}$  である。原水ポンプを別置きにするタイプもある。

### 1.2 膜モジュール標準仕様

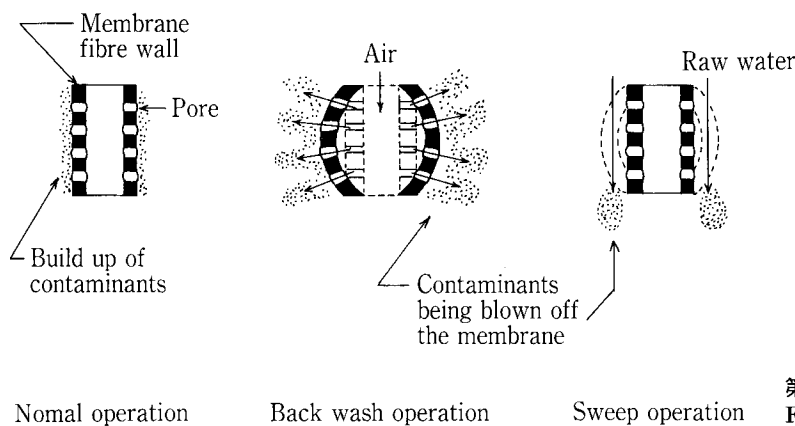
膜モジュールの標準仕様を第1表に, 外形図を第3図に示す。膜はポリプロピレン製の公称孔径  $0.2 \mu\text{m}$  の中空糸型MF膜であり, 膜モジュールは膜面積  $15 \text{ m}^2$  (M10C型, モジュール1本当たり) である。その他の仕様は次のとおりである。

第1表 標準仕様 (SP-MEMCOR)  
Table 1 Standard specifications (SP-MEMCOR)

Type of membrane	Microfiltration (MF)
Material	Organic (polypropylene)
Pore size	$0.2 \mu\text{m}$
Type of module	External pressure type hollow fiber membrane
Membrane surface area	$15 \text{ m}^2$ per module
System of filtration	Dead end constant flow filtration
System of physical cleaning	Air back washing

注釈\*3 Shinko Pantec-MEMCOR, MEMCOR は Memtec Limited の登録商標

\*4 単位面積, 単位時間当たりの膜ろ過水量:  $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{日}$



第4図 物理洗浄（ガスバックウォッシュ）操作  
Fig. 4 Back wash operation

- ・膜ろ過流束：0.75～2.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/日（標準 1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/日）
- ・回収率：原水水質、流束及び物理洗浄頻度によって異なるが、1 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/日の流束の場合、1時間に1回の物理洗浄では約92%である。
- ・（財）水道技術研究センター認定番号：  
膜モジュールはMEMCOR膜モジュールの名称として第005号、膜ろ過装置は水道用精密ろ過膜装置の名称として第005号の認定を受けている。

### 1.3 プロセスフロー

#### 1.3.1 ろ過

原水は前処理として0.2 mmの目幅のプレフィルタで夾雑物を除去され、膜モジュールに送られる。ろ過方式は、全量ろ過方式である。膜ろ過水量が一定になるように、原水ポンプをインバータにより流量制御を行っている。このため、膜の目詰まり（ファウリング）は、原水側圧力とろ過水側圧力の差（膜差圧）の上昇として確認できる。ろ過、物理洗浄の切替はタイマーにより空気式自動弁で行うが、自動弁の作動と膜の物理洗浄のための空気源として、コンプレッサー、0.2 μmの除菌フィルター、空気槽を備えている。

#### 1.3.2 物理洗浄

物理洗浄は圧縮空気による逆圧空気洗浄方式であり、洗浄頻度は1時間に1～2回を標準としている。第4図に洗浄工程の模式図を示す。洗浄工程は次の三段階で行う。

- (1) 膜モジュールのケーシング出入口を全閉にし、ろ過水側から中空糸内に600 kPaの空気圧をかける。
- (2) 原水側の弁を一気に開放する事により中空糸内の加圧空気を原水側（洗浄排水ライン）に噴出させる。この時の空気の衝撃とポリプロピレンの延伸性による中空糸の膨脹、振動により膜外面の汚れを剥離させる。
- (3) 原水を流し、剥離された懸濁成分を排出する。

#### 1.3.3 薬品洗浄

薬品洗浄は、膜差圧が100～150 kPaに達した時点で行うことを標準としている。薬品は無機物（金属）除去とし

て硫酸（1%）を有機物除去として苛性ソーダ（2%）を標準使用としている。

### 1.4 適用水質

原水の水質は濁度、細菌類を除いては、水質基準に適合しているのが望ましい。原水濁度は標準として懸濁物質濃度（SS）50 mg/L以下としている。膜ろ過水濁度は0.1度以下としている。一般細菌は、膜ろ過水で100個/mL以下であり、大腸菌群は、膜ろ過水では検出されない。

溶解性マンガン、溶解性鉄、色度、アンモニア性窒素など溶解性の物質は膜では除去できない。これらの溶解性の物質を除去するためには、生物処理、オゾン・活性炭処理、接触酸化等の前処理並びに後処理が必要である。

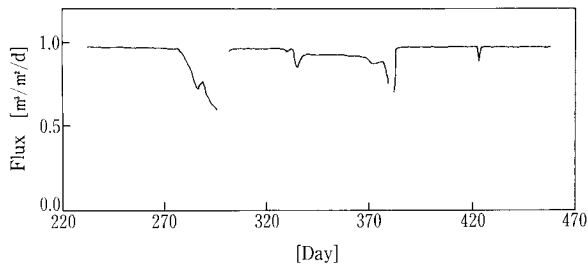
### 1.5 装置の特長

SP - MEMCORの特長を次に示す。

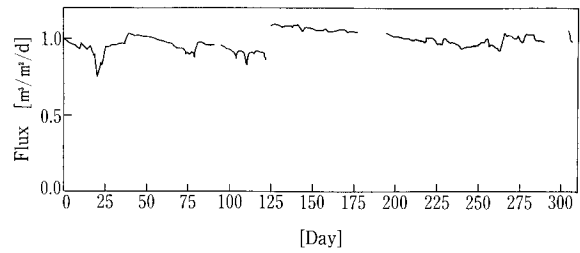
- ① 海外において浄水分野に豊富な実績がある。  
全世界でMEMCOR膜は多数稼働しており、1996年7月までで完成予定も含み34件の実績がある。このうち1000 m<sup>3</sup>/日以上設備は24件であり、最大は76000 m<sup>3</sup>/日の設備である。
- ② 安全性を重視した膜ろ過システムである。  
膜破損に対する検知システムとしてメンブレンテスト<sup>\*5</sup>と膜ろ過水の濁度常時モニター（低濁度レーザー濁度計）の二重の安全対策を施している。また、万が一膜の破損を検知した場合、緊急にその系列のみ停止するシステムとなっている。
- ③ 長期安定運転が可能である。  
膜ろ過装置を長期間安定に運転するためには、膜に生じるファウリングを効率よく除去する洗浄方法が重要な因子となる。SP - MEMCORはその膜の特性（延伸性）を生かし、物理洗浄には洗浄回復性に優れた逆圧空気洗浄を採用している。
- ④ 維持管理が容易である。  
主要機器がポンプとコンプレッサーのみのため、維持管理が容易である。更にオフライン<sup>\*6</sup>による薬品洗浄等で膜モジュールを取り外す場合、有機膜を乾燥あるいは損傷させることなく、専用ツールを用いてケーシングと膜エレメントを短時間で脱着するこ

注釈\*5 透過側に空気にて一定の圧力（120 kPa）をかけ、単位時間における圧力の低下によって膜の破損を検知するシステム

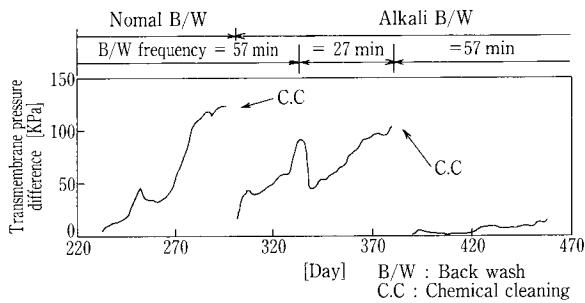
\*6 膜モジュールを浄水工程から遮断すること



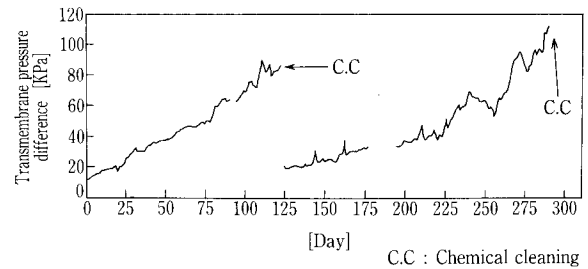
第 5 図 流束 (A 村)  
Fig. 5 Flux (A Village)



第 7 図 流束 (B 町)  
Fig. 7 Flux (B Town)



第 6 図 操作圧力 (A 村)  
Fig. 6 Transmembrane pressure difference (A Village)



第 8 図 膜差圧 (B 町)  
Fig. 8 Transmembrane pressure difference (B Town)

第 2 表 水質分析結果 (A 村)  
Table 2 The analysis results of water quality (A Village)

Parameter	Raw water			Filtrated water			Standard water quality
	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	
Turbidity (unit)	1	0.1	0.38	<0.1	<0.1	<0.1	<2
Color (—)	6	3	4.3	4	1	1.6	<5
Permanganate value (mg/L)	4	1.2	2.6	2.7	1	1.5	<10
E <sub>260</sub> , 50 mm cell (—)	0.128	0.057	0.09	0.1	0.014	0.05	—
Total manganese (mg/L)	0.009	0.001	0.004	0.006	0.001	0.004	<0.05
Total iron (mg/L)	0.068	0.011	0.028	0.003	0.001	0.002	<0.3
Aluminium (mg/L)	0.05	0.01	0.02	0.05	0.01	0.03	<0.2
THMFP (mg/L)	60	21.8	42.1	47.1	14.7	29.6	—
General Bacteria (N/mL)	1 100	14	139	37	0	16.5	<100
E coli group (MPN/100 mL)	7 900	9	871	0	0	0	No detection

第 3 表 水質分析結果 (B 町)  
Table 3 The analysis results of water quality (B town)

Parameter	Raw water			Filtrated water			Contact Filtrated water			Standard water quality
	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	Max.	Min.	Ave.	
Turbidity (unit)	0.9	0.5	0.44	0	0	0	0.1	0	0.01	<2
Color (—)	2	1	1	1	1	1	1	1	1	<5
Permanganate value (mg/L)	1.6	<1	<1	<1	<1	<1	1.1	1	1.05	<10
E <sub>260</sub> , 50 mm cell (—)	0.066	0.011	0.03	0.001	0.014	0.05	0.342	0.003	0.037	—
Total manganese (mg/L)	0.087	0.063	0.062	0.092	0.034	0.06	0.031	0.001	0.009	<0.05
Total iron (mg/L)	0.096	0.084	0.028	0.02	0.001	0.004	0.003	0.001	0.002	<0.3
Aluminium (mg/L)	0.83	0.3	0.47	0.21	0.03	0.08	0.13	0.01	0.05	<0.2
THMFP (mg/L)	30.8	<5	15.6	34.8	<5	9.1	17.9	5.1	10.3	—
General Bacteria (N/mL)	110	27	10.8	9	0	1.7	—	—	—	<100
E coli group (MPN/100 mL)	130	33	25.6	0	0	0	—	—	—	No detection

とが可能である。

⑤ 経済性に優れている。

SP - MEMCOR は全量ろ過方式を採用しているため、クロスフロー方式（原水循環方式）に比べて消費電力が少なく、維持管理費が安い。また、膜モジュール間の配管が不要のため設備がコンパクトになり、設置面積が従来の凝集沈澱砂ろ過の半分程度になる。

⑥ 遠隔地からの監視が可能である。

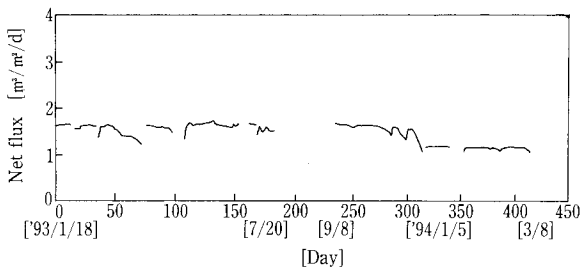
SP - MEMCOR は無人運転を標準としているが、当社のプロセスモニターを採用することにより、市販のパソコンで遠隔地からの監視ができる。

2. 実証プラントの事例紹介

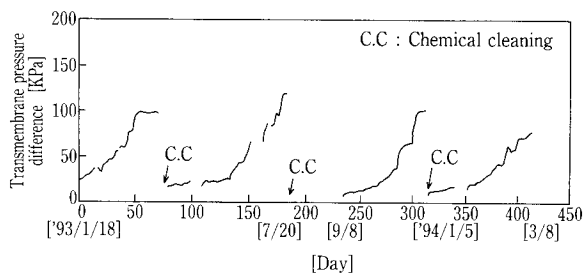
2.1 低濁度原水の事例

原水が低濁度である実証プラントの事例を次に示す。

A村の場合の流束、膜差圧の経日変化をそれぞれ第5、



第9図 流束 (MAC 21)  
Fig. 9 Flux (MAC 21)



第10図 操作圧力 (MAC 21)  
Fig. 10 Transmembrane pressure difference (MAC 21)

6図に、水質分析結果を第2表に示す。また、B町の場合の流束、膜差圧の経日変化をそれぞれ第7、8図に、水質分析結果を第3表に示す。

A村の場合、膜ろ過水量は30 m³/日、設定流束は1.0 m³/m²/日である。原水は若干色度が高いため、PACを10 mg/L 注入し膜ろ過を行う事で、色度を除去している。実験は1996年3月から開始し、現在480日間稼働中である。

B町の場合、膜ろ過水量は15 m³/日、設定流束は1.0 m³/m²/日である。原水は溶解性マンガンを含み、膜では除去できないため膜ろ過の後にマンガン砂による接触酸化槽を設けて除去している。実験期間は1996年7月～1997年5月の307日間である。原水はA村、B町とも表流水である。

A村、B町とも、流束は期間を通して安定している。また薬品洗浄を行うと膜差圧は下がり、膜差圧が回復しているのがわかる。

膜ろ過水の水質は水質基準値内であり、膜ろ過の効果が実証されている。

また、A村においては色度除去のためのPACがファウリングの原因となり、膜差圧の急な上昇を引き起こしたため、物理洗浄時に苛性ソーダを添加する方式を用いている。これは、膜表面から剥離した物質を原水で排水する時に苛性ソーダで膜表面を洗う方式であり、苛性ソーダは一定時

第4表 水質分析結果 (MAC 21)

Table 4 The analysis results of water quality (MAC 21)

Parameter	Raw water	Filtrated water	Removal ratio
Turbidity (unit)	13.6	0.0	100 %
Color (unit)	12	3	73.1 %
Permanganate value (mg/L)	6.7	2.6	61.7 %
E <sub>260</sub> , 50 mm cell (—)	0.150	0.120	19.8 %
Ammonia nitrogen (mg/L)	0.23	0.17	25.1 %
Total manganese (mg/L)	0.049	0.017	64.4 %
Total iron (mg/L)	0.79	0.01	98.7 %
Aluminum (mg/L)	0.69	0.04	94.9 %
THMFP (mg/L)	0.040	0.026	34.7 %

第5表 MEMCOR膜によるジアルジアとクリプトスポリジウムの除去例

Table 5 The removal of Giardia and Cryptosporidium by MEMCOR membrane

The source of watersupply	Temperature (°C)	Turbidity (NTU)	pH	TOC (mg/L)	E coli group (cfu/100mL)	Kind	cyst/L oocyst/L	removal (Log)
U. S. A California (Lake Elsman)	13	3.4	7.9	2.6	13	Giardia Criptosporidium	2.8E+4 7.4E+4	> 6.4 > 6.9
U. S. A Oregon (Bull reservoir)	15	0.7	7.8	1.3	9	Giardia Criptosporidium	7.9E+4 1.3E+4	> 6.9 > 6.1
France (Seine River)	18	15.4	8.2	3.0	47 700	Giardia Criptosporidium	1.3E+4 2.3E+4	> 7.0 > 6.3

間毎の物理洗浄時に洗浄排水の pH に影響がない程度に添加される。これによって膜差圧の上昇が抑えられているのがわかる。

この方式は、低濁度の原水において、例えば色度除去のために PAC を多量注入する場合のアルミ成分によるファウリングを抑制することができ、薬品洗浄までの期間を延ばす方式として有効である。

## 2.2 高濁度水の事例

当社が参加した MAC 21 の実証プラントの事例を次に示す。実験期間は 1993 年 1 月～7 月及び 1993 年 9 月～1994 年 3 月で、膜ろ過水量は 34 m<sup>3</sup>/日、設定流束は初期 1.7 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/日、後期 1.0 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/日である。原水は表流水である。流束、膜差圧の経日変化をそれぞれ第 9、10 図に、水質分析結果を第 4 表に示す。この場合のろ過方式は、クロスフロー方式であり膜供給水の濁度が原水濁度より高くなる事例であるが、2.1 の例と同じように安定した流束と、薬品洗浄における膜差圧回復効果が実証されている。

膜ろ過水水質については、溶解性マンガ、アンモニア性窒素等の溶解性成分は除去率が低く除去できないのがわかる。他の成分は水質基準値内にあり膜ろ過の効果があることがわかる。

## 2.3 クリプトスポリジウムの除去例

クリプトスポリジウムのオーシスト（包囊）は 4～6 μm の大きさであり、大腸菌の数十万倍の耐塩素性があるため、

従来の凝集沈澱＋砂ろ過＋塩素消毒処理では除去率が 1 log (90%) にとどまっている。1993 年に米国 Milwaukee 市でおきたクリプトスポリジウムの集団感染が契機となり、米国では表流水水質規制で、クリプトスポリジウムの除去率を 4 log (99.99%) 以上を要求している。

Memtec 社の MF 膜によるクリプトスポリジウムの除去例を第 5 表に示す。この表に示したように、孔径 0.2 μm の MF 膜ではほぼ 100% (6 log 以上) の除去率が得られており、その有効性が実証されている。（なお、表中のジアルジアはクリプトスポリジウムより大きく、耐塩素性の低い原虫である。）

## むすび

前述のとおり、当社浄水用膜ろ過装置（SP-MEMCOR）と、実証プラントの事例について述べた。

当社膜ろ過装置は、MAC 21 等の実証プラントで浄水設備としての有効性を実証する事ができた。今後、クリプトスポリジウム対策や既設凝集沈澱砂ろ過設備の代替設備の要求に応じて普及することが期待できると考えている。

## [参考文献]

- 1) 神鋼パンテック技報：Vol. 38, No. 3 (1994), P26
- 2) 西尾弘伸ほか：“アメリカでの精密ろ過膜による原虫クリプトスポリジウムの除去に関して”，（第 40 回研究発表会概要集），（1996），日本水道協会関西地方支部

## 連絡先

松井 日出夫 環境装置事業部  
製品開発室

TEL 078-992-6532

FAX 078-992-6503

E-mail h.matsui@pantec.co.jp

西尾 弘伸 環境装置事業部  
技術部  
計画第 2 課

TEL 078-232-8103

FAX 078-232-8057

E-mail h.nishio@pantec.co.jp