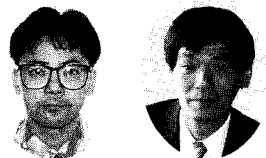


# 神戸市水道局向 浄水膜ろ過実験概要

## Membrane Filtration for Drinking Water Experiment for Kobe City Water Works



(環)製品開発室  
田路 明 宏  
Akihiro Tohji  
西尾 弘 伸  
Hironobu Nishio

The Kobe City Water Works constructed an experimental plant for membrane filtration and has been operating the plant since April 1993 to realize unmanned automatic at small-scale water purification plants. Four kinds of ultrafiltration and two kinds of microfiltration processes were tested for respective characteristics including treatability at this plant. All these membrane filters proved the feasibility of almost 100% removal of suspended solid and long-term safety through automatic control. This paper describes the details of the test.

### まえがき

近年、水道水源の水質悪化から、高度浄水処理を導入する事業体が増加の傾向にある。また、浄水場用地取得難、技術者確保の困難等水道を取り巻く環境の変化の対応として、よりコンパクトで効率的な浄水技術の開発が必要とされる状況になっている。

このような背景のもと、1991年度から1993年度の3年間実施された厚生省、国立公衆衛生院及び(株)水道浄水プロセス協会共同によるプロジェクト「膜利用型新浄水システム開発研究：MAC21計画」を契機に、わが国の水道界においても浄水処理に膜処理を適用しようとする試みが盛んに行われている。<sup>1), 2)</sup>

神戸市水道局は、神戸市内に小規模浄水場が多数点在していることから、浄水施設の省力化及び自動化無人運転可能な浄水プロセスを検討している。このため、1993年3月に精密ろ過膜(Microfiltration：MF膜)2系列、限外ろ過膜(Ultrafiltration：UF膜)2系列から成る実験設備を住吉浄水場内に建設し、1993年4月から2カ年計画で膜ろ過施設を導入する際に必要な設計及び維持管理に関する諸元を得るための調査実験を行なっている。

本報では、神戸市水道局の膜ろ過実験設備の概要を紹介し、現在までに得られた実験成果の一部を報告する。

### 1. 膜ろ過実験設備概要<sup>3), 4), 5)</sup>

#### 1.1 実験場所

神戸市東灘区住吉山手8丁目2

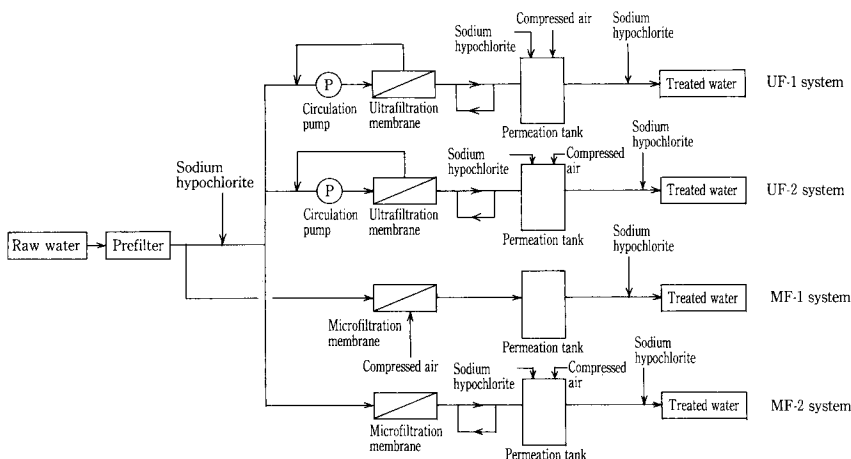
神戸市水道局住吉浄水場内

#### 1.2 実験装置及び運転方法

第1図に実験フローを、第1表に各系列の膜仕様を示す。本実験では、UF膜を用いた2系列(UF-1系、UF-2系：写真1)及びMF膜を用いた2系列(MF-1系：写真2、MF-2系：写真3)の計4系列にて同一原水を膜ろ過し、各系列の処理性能を評価する。

UF-1系では二酢酸セルロース膜(CDA)\*<sup>1</sup>、UF-2系ではポリエーテルサルフォン膜(PES：1993年6月～12月)、ポリアクリロニトリル膜(PAN：1993年12月～1994年4月)、三酢酸セルロース膜(CTA)\*<sup>2</sup>：1994年4月～)の3種類、MF-1系ではポリプロピレン膜(PP)、MF-2系ではセラミック膜を用いた。

本実験に供した水は、住吉浄水場原水である六甲山系地獄谷川より取水し沈澄池を経由したものを原水とした。本実験設備では、膜ろ過に必要な駆動圧力は沈澄池から浄水場までの水位差(240 kPa)とし、これを有効に利用し、原水ポンプを用いることなく膜ろ過を行うことを特長としている。



第1図 実験フロー  
Fig. 1 Schematic flow diagram.

第 1 表 膜仕様

Table 1 Membrane specifications

	UF-1	MF-1	MF-2
Type of membrane	Ultrafiltration (UF)	Microfiltration (MF)	Microfiltration (MF)
Material	Organic cellulose diacetate	Organic polypropylene	Inorganic ceramic
Molecular weight cutoff	150 000	-	-
Pore size	-	0.2 $\mu$ m	
Type of module	Internal pressure type Hollow fiber type	External pressure type Hollow fiber membrane Rotating flat-sheet membrane	
Total membrane surface area	5 m <sup>2</sup>	2 m <sup>2</sup>	1.17 m <sup>2</sup>
UF-2			
Type of membrane	Ultrafiltration (UF)		
Material	Organic polyethersulfone	Organic polyacrylonitrile	Organic cellulose triacetate
Molecular weight cutoff	10 000	13 000	150 000
Type of module	Internal pressure type Hollow fiber type	External pressure type Hollow fiber type	Internal pressure type Hollow fiber type
Total membrane surface area	5 m <sup>2</sup>	5 m <sup>2</sup>	5 m <sup>2</sup>

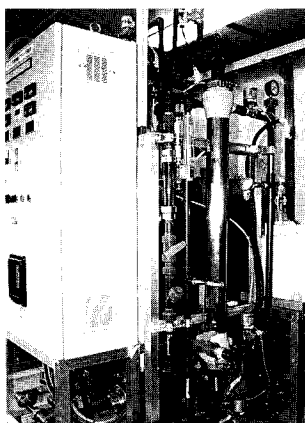


写真 1 中空糸型 UF 膜装置 (UF-1、2)

Photo. 1 Ultrafiltration equipment (UF-1, 2) (hollow fiber membrane).

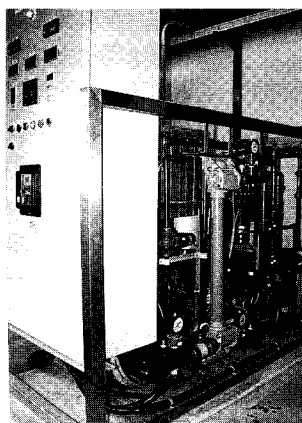


写真 2 中空糸型 MF 膜装置 (MF-1)

Photo. 2 Microfiltration equipment (MF-1) (hollow fiber membrane).

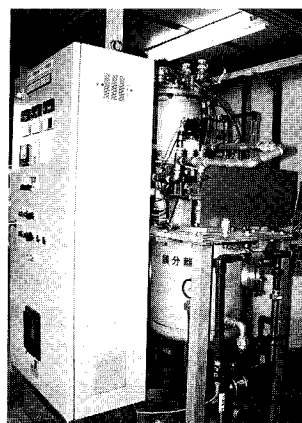


写真 3 回転平膜型 MF 膜装置 (MF-2)

Photo. 1 Microfiltration equipment (MF-2) (rotating flat-sheet membrane).

本原水は、平均濁度が2.5度と比較的清浄であるため、前処理としては、UF膜、MF膜ともに膜の保護を目的としたプレフィルター（目開き：0.8mm）のみで、凝集剤の注入は行わない。しかし、本原水は原水濁度が高くなると、原水溶解性マンガン濃度も増加し、膜ろ過水のマンガン濃度は快適水質項目目標値（0.01 mg/L）を満足しなくなる。このため、原水濁度が4度を越える場合のみ、膜ろ過水の水質向上を図るため、溶解性マンガンを酸化する目的で前塩素処理を行うこととしている。

第2表に各系列の運転方法を示す。

本実験装置は、各系列とも全自動運転による定流量ろ過方式（流入原水流量を制御）とし、UF-1系、UF-2系はクロスフローろ過方式、MF-1系、MF-2系は全量ろ過方式とした。

物理洗浄方法は、UF-1（CDA）、UF-2系（PES、CTA）の場合、塩素含有（遊離型残留塩素濃度として5 mg/L）圧力透過水逆流洗浄を約70 sec間、UF-2系（PAN）の場合、塩素含有（遊離型残留塩素濃度として5 mg/L）圧力透過水逆流洗浄を約70 sec間と週1回のエアースクラビングを約120 sec間、MF-1系（PP）の場合、圧縮空気（600 kPa）による逆圧空気洗浄を約70 sec間、MF-2系（セラミック）の場合、ブラシ洗浄と塩素含有（遊離型残留塩素濃度として1 mg/L）圧力透過水逆流洗浄の併用を約60 sec間行った。

薬品洗浄は、各系列とも運転条件の変更時及び、UF-1系、UF-2系、MF-2系の場合、操作圧力が200 kPaに達した時点、MF-1系の場合、操作圧力が100 kPaに達した時点で、各々所定の薬品を用いて実施した。

第 2 表 運転方式  
Table 2 Operating system

	UF-1		UF-2	
Material	Cellulose diacetate	Polyethersulfone	Polyacrylonitrile	Cellulose triacetate
System of filtration	Cross-flow constant-flow filtration			
System of physical cleaning	Back washing			
	MF-1		MF-2	
Material	Polypropylene		Ceramic	
System of filtration	Dead-end constant-flow filtration		Dead-end constant-flow filtration	
System of physical cleaning	Air back washing		Brushing + back washing	

## 2. 実験結果

### 2. 1 連続通水実験結果

1993年6月26日から1994年8月31日までの各系列の連続通水実験結果について述べる。

#### 2. 1. 1 UF-1系

第2図にUF-1系(CDA)の流束と操作圧力の経日変化を、第3図に回収率の経日変化を示す。

設定流束を $1.44 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 、物理洗浄頻度を120 minに1回とした場合、77 day以上安定運動が可能であり、この運転期間中の平均操作圧力は、28 kPaであった。

設定流束を $1.92 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ とした場合、物理洗浄頻度を40 minに1回及び30 minに1回の条件で実験を行った。この結果、運転期間中の単位膜面積当たりの積算膜ろ過水量は、物理洗浄頻度を40 minに1回とした場合が $63 \text{ m}^3/\text{m}^2$ であった。一方、30 minに1回とした場合が約4倍の $252.6 \text{ m}^3/\text{m}^2$ であった。また、物理洗浄頻度を40 minに1回とした場合、35 day経過後、操作圧力が200 kPaに達したのに対して、30 minに1回とした場合、140 day経過後であった。

さらに、設定流束を $2.4 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ と増加させた場合、物理洗浄頻度を15 minに1回とした場合においても、50 day程度で操作圧力が200 kPaに達した。特に100 kPaを越えると操作圧力は急激に上昇し、短時間で200 kPaにまで達した。

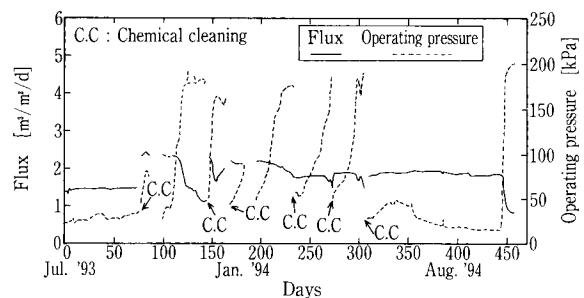
今回実施した前述の実験条件の中で、長期間安定運転が可能であった設定流束 $1.44 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ の場合の平均回収率は96.7%、設定流束 $1.92 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ の場合の平均回収率は88.3%であった。

このことから、本原水にUF-1系(CDA)を適用する場合、設定流束は $1.44 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 、物理洗浄頻度を120 minに1回する運転条件の場合に77 day以上の長期間安定運動ができ、かつ回収率も96.7%の高率を得ることが出来た。

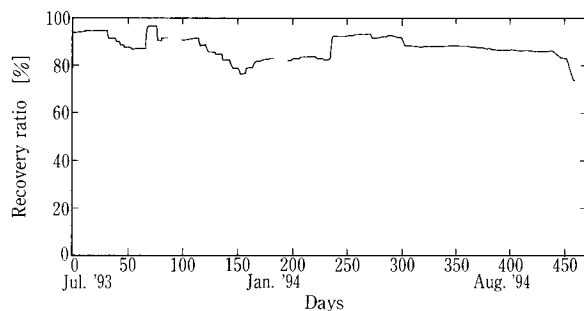
#### 2. 1. 2 UF-2系

第4図にPES、PAN、CTAを使用した場合の流束と操作圧力の経日変化を、第5図に回収率の経日変化を示す。

PESに関しては、設定流束を $0.72 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 、物理洗浄頻度を30 minに1回とした場合、30 dayの長期間安定運転



第2図 流束と操作圧力 (UF-1)  
Fig. 2 Flux and operating pressure (UF-1).



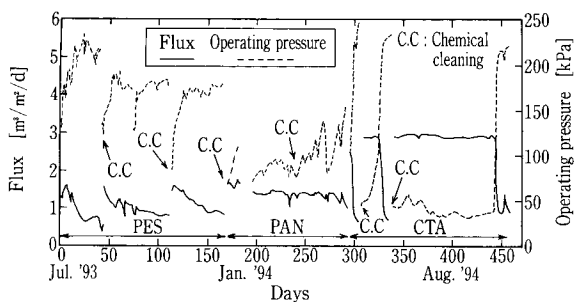
第3図 回収率 (UF-1)  
Fig. 3 Recovery ratio (UF-1).

が可能であった。この運転期間中の平均回収率は85.5%であり、平均操作圧力は、66.7 kPaであった。

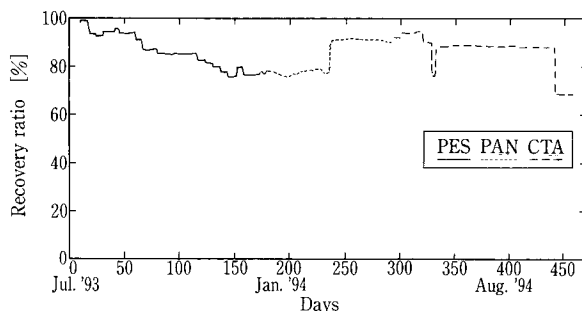
PANに関しては、設定流束を $1.44 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 、物理洗浄頻度を15 minに1回とした場合、57 dayの長期間安定運転が可能であった。この運転期間中の平均回収率は77.9%であり、平均操作圧力は、88 kPaであった。物理洗浄頻度を30 minに1回とし、回収率を90%以上とした場合、長期間安定運転することは困難であった。

CTAに関しては、設定流束を $2.88 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$ 、物理洗浄頻度を30 minに1回した場合、108 dayの長期間安定運転が可能であった。この運転期間中の平均回収率は88.9%であり、平均操作圧力は、41 kPaであった。

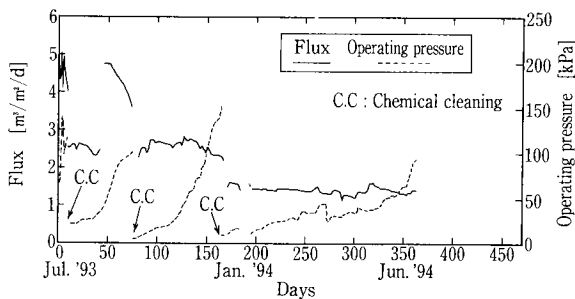
本実験で使用したPES、PANは、分画分子量が10 000、13 000と小さい膜である。このように分画分子量の小さいUF膜を浄水処理に適用した場合、回収率90%以上で運転を行うと、分画分子量の大きいUF膜(例えばCTA)に



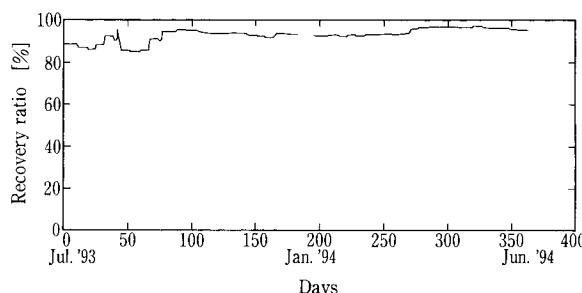
第4図 流束と操作圧力 (UF-2)  
Fig. 4 Flux and operating pressure (UF-2).



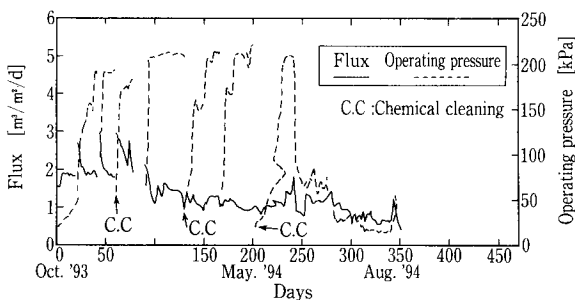
第5図 回収率 (UF-2)  
Fig. 5 Recovery ratio (UF-2).



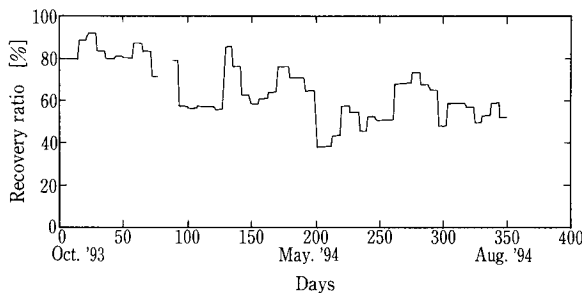
第6図 流束と操作圧力 (MF-1)  
Fig. 6 Flux and operating pressure (MF-1).



第7図 回収率 (MF-1)  
Fig. 7 Recovery ratio (MF-1).



第8図 流束と操作圧力 (MF-2)  
Fig. 8 Flux and operating pressure (MF-2).



第9図 回収率 (MF-2)  
Fig. 9 Recovery ratio (MF-2).

比べて、かなり設定流束を小さくする (約1/2~1/3) 必要があるものと考えられる。

### 2. 1. 3 MF-1系

第6図にMF-1系 (PP) の流束と操作圧力の経日変化を、第7図に回収率の経日変化を示す。

設定流束を2.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、物理洗浄頻度を30 minに1回とした場合、90 dayの長期間安定運転が可能であった。この運転期間中の平均回収率は94.3%であった。操作圧力は運転開始時5 kPaであり、90 day経過後に操作圧力が100 kPaに達した。この運転期間中の平均操作圧力は54.5 kPaであった。

設定流束を1.44 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、物理洗浄頻度を50 minに1回とした場合、187 dayの長期間安定運転が可能であった。この運転期間中の平均回収率は93.6%であった。操作圧力は運転開始時10 kPaであり、187 day経過後に操作圧力が100 kPaに達した。この運転期間中の平均操作圧力は35 kPaであった。

設定流束が2.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dと1.44 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dとを比較すると、設定流束2.4 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dの場合、90 dayで操作圧力が100 kPaに達したのに対して、設定流束1.44 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dの場合187 dayであった。

従って、本原水にMF-1系 (PP) を適用する場合、設定流束を1.44 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、物理洗浄頻度を50 minに1回とすることで187 dayの長期間安定運転が可能である。

### 2. 1. 4 MF-2系

第8図にMF-2系 (セラミック) の流束と操作圧力の経日変化を、第9図に回収率の経日変化を示す。

設定流束を0.72 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、物理洗浄頻度を30 minに1回した場合、170 day以上安定運転が可能であった。しかし、この運転期間中の平均回収率は54.8%とかなり低率となった。また、平均操作圧力は62 kPaであった。

### 2. 1. 5 各系列の運転性能

第10図に各系列の単位膜面積当たりの積算膜ろ過水量と積算運転日数の関係を示す。

第 3 表 最適運転条件

Table 3 Optimum operating conditions

	UF-1	UF-2			MF-1	MF-2
Material	CDA	PES	PAN	CTA	PP	Ceramic
Filtration type	Cross-flow filtration				Dead-end filtration	
Flux (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)	1.44	0.72	1.44	2.88	1.44	0.72
Physical cleaning interval (min)	120	30	30	30	50	30
Operating day (days)	>77	>30	>59	108	187	175
Water temperature (degrees)	19.4	16.4	6.1	21.4	9.5	20.0
Recovery ratio (%)	96.7	85.5	77.9	88.7	93.6	54.8

薬品洗浄から薬品洗浄までの単位膜面積当たりの積算膜ろ過水量は、UF-2系 (CTA) が290.9 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>、MF-1系 (PP) が280 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>、UF-1系 (CDA) が252.6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>、MF-2系 (セラミック) が87.8 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>、UF-2系 (PAN) が72.3 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>、UF-2系 (PES) が53.2 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>となり、酢酸セルロース系 (UF-1系 : CDA、UF-2系 : CTA) のUF膜で高い流束が得られた。

また、本図の傾きは、実験期間中の平均流束を表し<sup>6)</sup>、各々の平均流束は、UF-2系 (CTA) が2.46 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、UF-1系 (CDA) が1.86 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、MF-1系 (PP) が1.81 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、UF-2系 (PAN) が1.26 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、UF-2系 (PES) が0.83 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d、MF-2系 (セラミック) が0.77 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dであった。

第3表に各系列の長期安定運転が可能な最適運転条件を示す。

これより流束に関しては、UF-2系 (CTA) が2.88 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/dと高い流束が得られた。

薬品洗浄実施のインターバルに関しては、MF-1系 (PP) が187日と約半年間であった。

回収率に関しては、UF-1系 (CDA) が96.7%と高い回収率であった。

以上のことから、浄水処理に膜ろ過を適用する場合、その運転性能 (流束、回収率、運転日数、積算膜ろ過水量) を考慮すると、UF膜ではUF-2系 (CTA) またはUF-1系 (CDA)、MF膜ではMF-1系 (PP) を選定するのが望ましいといえる。

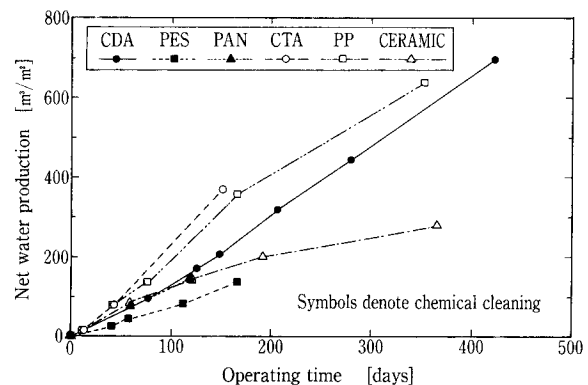
## 2.2 汚染物質の除去性能

第4表に本実験期間中の原水及び各系列毎の膜ろ過水の水質分析結果を示す。

原水濁度は最大値5.5度、最小値0.8度、平均値2.5度に対して、各系列とも膜ろ過水の濁度は、原水水質の変動に関係なく0.1度以下であり、ほぼ100%の除去が可能であった。

原水の色度は最大値16度、最小値1度、平均値6度に対して、膜ろ過水の色度は最大4度、平均約2度で安定している。各膜ろ過水の除去率は66.7~83.3%であった。

原水の鉄濃度は最大値2.08 mg/L、最小値0.020 mg/L、平



第10図 積算膜ろ過水量と積算運転日数  
Fig. 10 Net water production per unit surface area of membrane.

均値0.16 mg/Lに対して、膜ろ過水の濃度は最大0.022 mg/Lであった。各膜ろ過水の鉄の濃度の平均値は、最大0.005 mg/L、最小0.001 mg/Lであり、各膜ろ過水の除去率は96.9~99.4%であった。

原水のマンガン濃度は最大値0.128 mg/L、最小値0.003 mg/L、平均値0.021 mg/Lに対して、各膜ろ過水のマンガンの濃度の平均値は、最大0.007 mg/L、最小0.003 mg/Lであり、各膜ろ過水の除去率は66.7~85.7%であった。

原水の過マンガン酸カリウム消費量は最大値16.5 mg/L、最小値1.0 mg/L以下、平均値3.3 mg/Lに対して、各膜ろ過水の過マンガン酸カリウム消費量の平均値は、最大7.8 mg/L、最小1.9 mg/Lであり、各膜ろ過水の除去率は42.4~63.6%であった。

原水のトリハロメタン生成能の濃度は最大値35.1 μg/L、最小値19.5 μg/L、平均値25.4 μg/Lに対して、各膜ろ過水のトリハロメタン生成能濃度の平均値は、最大22.6 μg/L、最小21.4 μg/Lであり、各膜ろ過水の除去率は、11~15.7%と原水より若干低くなった。これは懸濁成分の除去に起因するものと考えられる。

原水の一般細菌は最大値800個/ml、最小値6個/ml、平均値160個/mlであり、原水の大腸菌群は最大値24000 MPN/100 ml、最小値33 MPN/100 ml、平均値2900 MPN/100 mlであった。膜ろ過水の一般細菌は、最大12個/mlであり、

第 4 表 汚染物質の除去

Table 4 Result of contaminant removal

		Raw water	Filtrated water						
			UF-1	UF-2				MF-1	MF-2
				CDA	PES	PAN	CTA		
Turbidity (degree)	maximum	5.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
	minimum	0.8	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
	average	2.5	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
Color (Pt Co unit)	maximum	16	4	4	3	3	4	3	
	minimum	1	1	1	1	1	1	1	
	average	6	2	2	1	2	2	1	
Total manganese (mg/L)	maximum	0.128	0.053	0.052	0.004	0.019	0.053	0.008	
	minimum	0.003	<0.001	<0.001	<0.001	0.002	<0.001	<0.001	
	average	0.021	0.005	0.005	0.003	0.007	0.004	0.002	
Total iron (mg/L)	maximum	2.08	0.010	0.022	0.004	0.002	0.010	0.017	
	minimum	0.021	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	
	average	0.16	0.003	0.005	0.002	0.001	0.003	0.001	
Permanganate value (mg/L)	maximum	16.5	7.8	7.4	1.9	3.4	7.5	3.1	
	minimum	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	
	average	3.3	1.9	1.8	1.2	1.9	1.8	1.5	
THMFP ( $\mu$ g/L)	maximum	35.1	28.0	25.4	23.0	—	28.4	34.9	
	minimum	19.5	14.3	19.4	22.2	—	18.0	18.2	
	average	25.4	22.2	22.0	22.6	—	21.4	23.8	
E coli group (MPN/100ml)	maximum	24000	1	0	0	1	1	1	
	minimum	33	0	0	0	0	0	0	
	average	2900	0	0	0	0	0	0	
General bacteria (colonies/ml)	maximum	800	800	7	2	1	12	4	
	minimum	6	6	0	0	0	0	0	
	average	160	160	0	0	0	1	0	

膜ろ過水の大腸菌群は、最大 1 MPN/100 ml であった。これら膜ろ過水からの検出は、採水時の汚染が原因であると考えられる。各膜ろ過水の除去率は、一般細菌で 99.4~100 % であり、大腸菌群は 100 % であった。

第 11 図に、各膜 (CDA、PES、CTA、PP、セラミック) の濁度、色度、過マンガン酸カリウム消費量、鉄及びマンガン除去性能を示す。

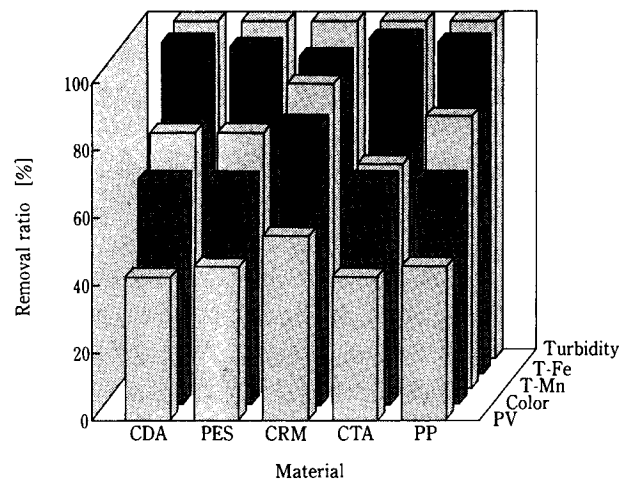
これより、膜材質 (有機、無機) 及び膜分離性能 (MF、UF) では、これら汚染物質の除去性能に有意差は認められなかった。なお、いずれの膜を使用しても懸濁成分については 100 % の除去が可能であるが、溶解性成分の除去は困難であった。

### 3. 3 薬品洗浄効果

膜ろ過法では長期間運転すると、汚染物質の膜への蓄積により、通常の間欠的に繰り返す物理洗浄のみでは操作圧力が十分に回復せず、設定の流束が得られなくなることがある。この場合には薬品による洗浄を行い、その膜処理性能を回復させる。

薬品洗浄を実施する場合、洗浄効果、膜材質の特性 (耐薬品性) から、決められた種類及び濃度の薬品を使用しなければならない。

第 12 図に UF-1 系 (CDA) の薬品洗浄における全洗浄排出量の成分別全排出量に対する各薬品洗浄工程毎の排水中に含まれる成分別排出量の比率を、第 13 図に MF-1



第 11 図 各種膜による汚染物質の除去

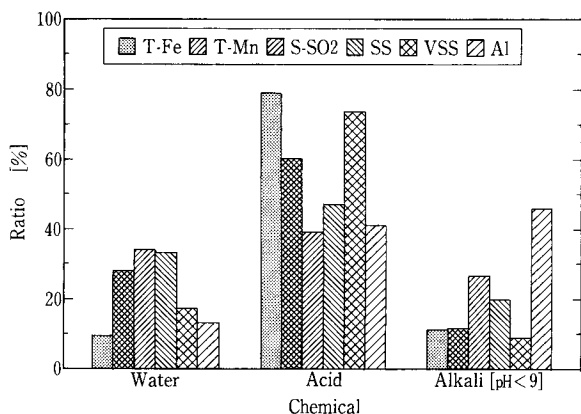
Fig. 11 Contaminant removal by membranes.

(PP) の薬品洗浄における全洗浄排出量の成分別全排出量に対する各薬品洗浄工程毎の排水中に含まれる成分別排出量の比率を示す。

この結果、酸洗浄により、重金属 (鉄、マンガン) が良く除去でき、全排出量の 60~90 % を占めた。

### む す び

本報告では、神戸市水道局の膜ろ過実験設備の概要とこれまで得られた実験成果の一部を紹介した。



第 12 図 薬品洗浄効果 (CDA)  
Fig. 12 Effect of chemical cleaning (CDA).

本実験では、材質及び孔径（もしくは分画分子量）のことなる 6 種類の膜（UF 膜 4 種類、MF 膜 2 種類）を使用し、それぞれの運転性能及び汚染物質の除去性能の調査を実施した。

その結果、適切な設定流速及び物理洗浄頻度を設定することにより、全自動無人化運転が可能であることを確認した。

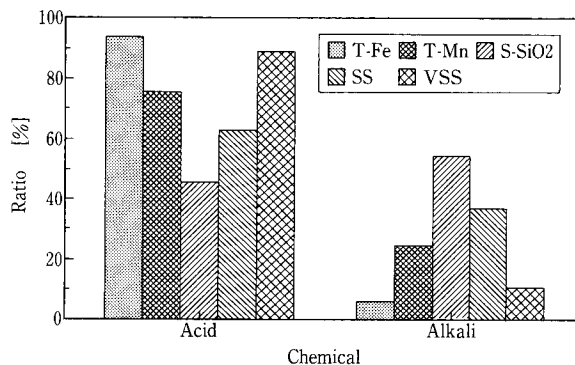
運転性能に関しては、UF 膜では分画分子量の大きい UF-2 系 (CTA)、UF-1 系 (CDA) が、MF 膜では MF-1 系 (PP) が高い流速、高い回収率で、長期安定運転が可能であった。

汚染物質の除去性能に関しては、懸濁成分については、ほぼ 100% の除去が可能であったが、溶解性成分については、その除去は困難であった。また、膜材質及び膜分離性能では、処理水質に有意差は認められなかった。

なお、本報におけるデータ（運転結果、水質分析結果等）は、神戸市水道局が日本水道協会関西地方支部第 37、38 回研究発表会、日本水道協会第 45 回全国水道研究発表会で発表されたものを引用した。

（注 釈）

- \*1 セルロースの 3 箇所の水酸基の内 2 箇所を酢酸エステルにしたものである。<sup>7)</sup>
- \*2 セルロースの 3 箇所の水酸基すべてを酢酸エステル



第 13 図 薬品洗浄効果 (PP)  
Fig. 13 Effect of chemical cleaning (PP).

にしたものであり、二酢酸セルロースに比べて生物的強度に優れている。<sup>7)</sup>

#### 【参考文献】

- 1) 藤田賢二：“膜分離技術による浄水場の試設計”、(水道協会雑誌)、第 59 巻、第 4 号、(1990)、日本水道協会、P. 10
- 2) 藤田賢二：“膜ろ過技術と浄水処理”、(工業用水)、第 389 号、(1991)、工業用水協会、P. 9
- 3) 武永真徳ほか：“神戸市における膜処理実験について”、(第 37 回研究発表会発表概要集)、(1993)、(株)日本水道協会関西支部、P. 198
- 4) 武永真徳ほか：“MF 膜、UF 膜を使った河川水の浄水処理に関する調査”、(第 45 回全国水道研究発表会講演集)、(1994)、(株)日本水道協会、P. 104
- 5) 灘重樹ほか：“神戸市における膜処理実験について (第 2 報)” (第 38 回研究発表会発表概要集)、(1994)、(株)日本水道協会関西支部
- 6) Shoichi Kunikane et al. : Comparative study on application of membrane technology to public water supply, Engineering of Membrane Processes II, (19449)
- 7) (株)日本化学会：化学便覧応用編改訂 2 版、(1973)、(株)丸善、P. 852、1148