

# 佐用町本位田浄水場膜ろ過設備の運転状況

## Operating Report on Membrane Filtration Water Purification Plant



(環)技術部第2グループ  
佐藤 良 太  
Ryota Sato  
西尾 弘 伸  
Hironobu Nishio

兵庫県佐用町は、本位田浄水場水道原水へのクリプトスポリジウム混入の恐れなどから、膜ろ過設備（計画浄水量883.4 m<sup>3</sup>/d）を導入し、2000年3月より給水を開始している。本水源は濁度変動が大きく、降雨により100度を超えることもあるが、膜ろ過水濁度は、常に0.05度以下を示し、原水の水質変動によらず安定した処理をおこなっている。薬品洗浄は、ランニングコストの安い現地洗浄方式であり、半年に1回の頻度で実施、膜差圧は回復し安定運転を継続している。なお、これまでの運転結果から、薬品洗浄時期と原水濁度の相関を得ることができた。これにより、薬品洗浄時期を想定することができる。

A membrane filtration system applied to the water purification system with outlet design capacity of 883.4 m<sup>3</sup>/d in Hyogo Pref. to control cryptosporidium oosysts has started its supply since March 2000. The filtered water maintains its turbidity at 0.05 degree or below, although the intake water widely fluctuates in turbidity, exceeding 100 degree especially after rain. Relatively inexpensive in situ cleaning was conducted semiannually, recovering the transmembrane differential pressure for steady operation. The operating results reveals that opportune timing of chemical cleaning is anticipated with the turbidity and accumulated quantity of raw water.

### Key Words :

膜ろ過	Membrane filtration
逆圧空気洗浄	Gas backwashing
薬品洗浄	Chemical cleaning
高濁度	High turbidity
クリプトスポリジウム	Cryptosporidium

### まえがき

近年、中小規模水道を中心に膜ろ過の導入が進んでおり、設置件数は、建設中や通水予定を含め、2000年6月現在で、185件に達している<sup>1)</sup>。日量数百m<sup>3</sup>規模のものから、最大1万4千m<sup>3</sup>規模のものまで導入が進んでいるが、現在のところ簡易水道向け小規模施設が主体となっている。

膜ろ過は、膜の孔径よりも大きな懸濁物質（細菌等）を膜表面にて阻止し、孔径より小さなもののみを通過させる分離法であり、従来の凝集沈澱・砂ろ

過と比較して、次のような特長<sup>2)</sup>を有する。

(1) 処理水質の向上が図れる。

膜ろ過に使用されるろ過膜の細孔は、精密ろ過膜（0.1 μm ~ 0.3 μm）、限外ろ過膜（分画分子量千~200万 Da）と小さいため、濁度、大腸菌群、一般細菌の除去性が優れている。

(2) 浄水施設の自動化、無人化により、運転管理が容易となり、凝集剤などの薬品使用量が低減できる。

膜ろ過の場合、原則として凝集剤は不要、もし

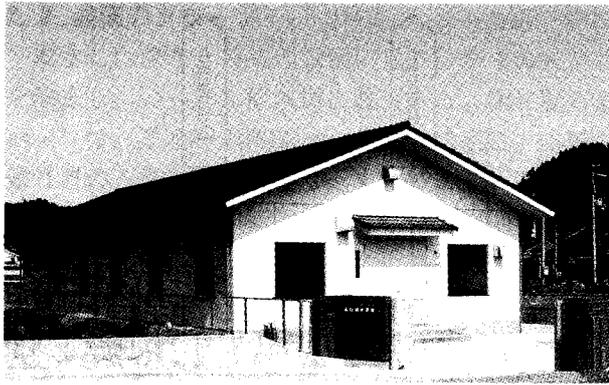


写真 1 膜ろ過施設外観  
Photo 1 Outside view of membrane filtration facility

くは微量の一定注入（マイクロフロック法）で処理がおこなえるため、ジャertestが不要となる。このため、設備の運転管理は、膜ろ過水の水質および膜の運転状況の監視だけとなり、設備の無人運転が可能となる。

(3) 浄水施設の省スペース化が図れる。

膜ろ過は原水の直接ろ過をおこなうので、沈澱池が不要となる。また砂ろ過のような2次元的ろ過ではなく、中空糸型膜を使用することで3次元的ろ過となり、設備がコンパクトになる。

このことから、浄水場の技術者不足、水源が山間地にあり十分な用地確保ができないといった問題や、クリプトスポリジウムによる新たな水源汚染に対して、膜ろ過が注目され、膜ろ過設備の導入が進んでいる。

本報では、2000年3月兵庫県佐用町本位田浄水場に納入した膜ろ過設備の運転状況を報告する。

## 1. 膜ろ過設備の導入の経緯

佐用町は兵庫県の南西部に位置する人口約9000人、総面積116 km<sup>2</sup>の町である。古くから出雲街道、

因播街道が交わる交通の要所として栄え、現在では中国自動車道や智頭急行の駅が整備されており交通の便がよいところである。また星を美しく見ることができるところでも知られる自然豊かな町である。

本位田浄水場では、佐用川の伏流水を水源として取水し、緩速ろ過で処理してきたが、原水の濁度変動が大きいこと、上流に農業集落排水処理場や養鶏、畜産などの施設を有し、原水へのクリプトスポリジウム混入の恐れがあることなどから今回設備更新にあたって膜ろ過設備を導入するに至った。写真1に膜ろ過施設の外観を示す。

## 2. 設備概要

### 2.1 設備の構成

第1図に設備のフローを、第1表に設備仕様を示す。

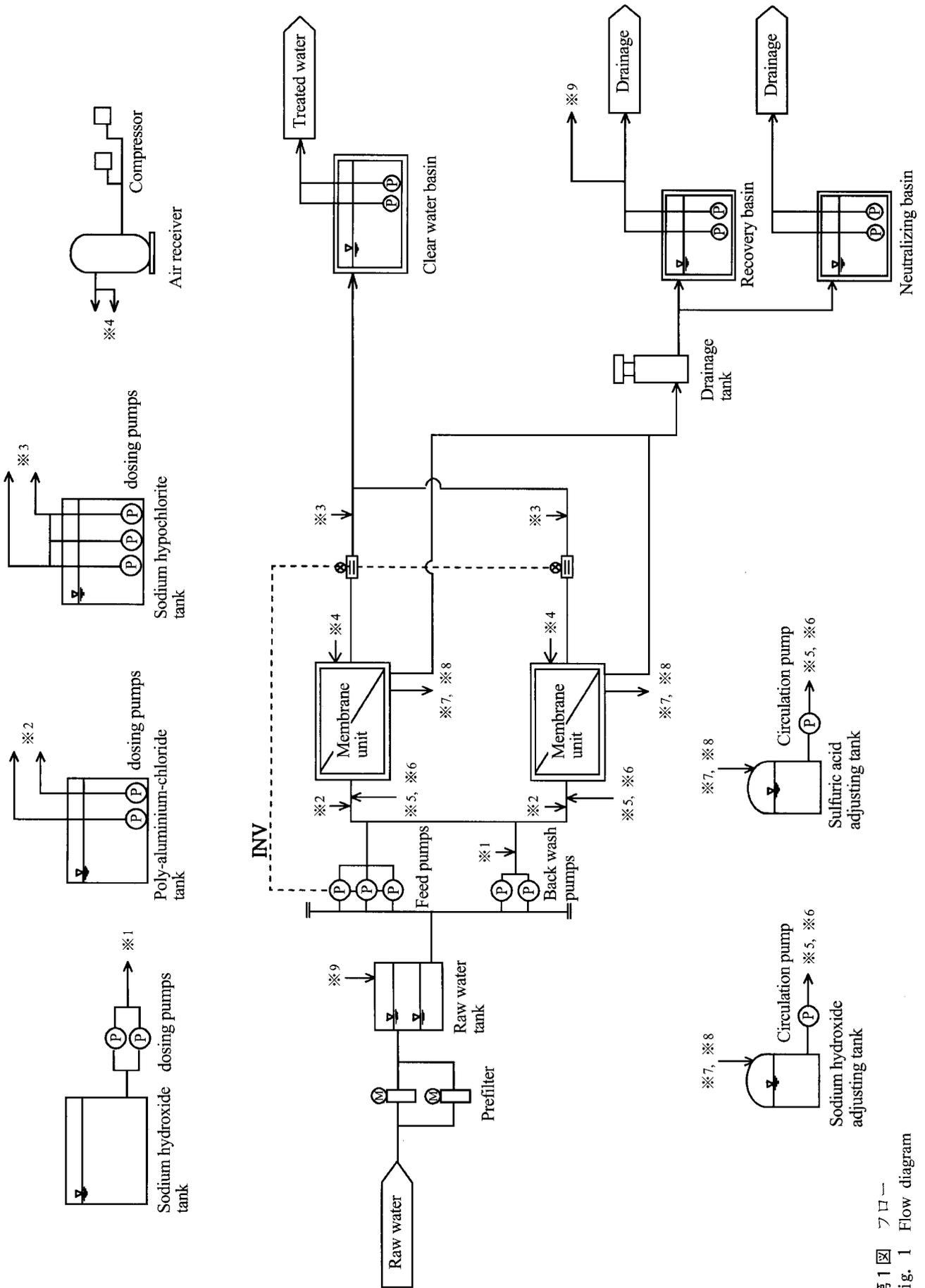
膜ろ過設備は

- ①前処理設備
- ②原水槽
- ③膜ろ過ポンプ
- ④膜モジュール
- ⑤逆洗ポンプ
- ⑥空気圧縮機
- ⑦空気槽
- ⑧逆洗排水槽
- ⑨薬品注入設備（次亜塩素酸ソーダ、苛性ソーダ、ポリ塩化アルミニウム）
- ⑩回収ポンプ
- ⑪回収槽
- ⑫薬品洗浄設備（硫酸調整槽・硫酸循環ポンプ・苛性ソーダ調整槽・苛性ソーダ循環ポンプ・中和槽・排水移送ポンプ）
- ⑬浄水池

から構成される。

第1表 設備仕様  
Table 1 Specification of equipment

Item	Specification
Design filtration flow	883.4 m <sup>3</sup> /d
Type of membrane	Micro filtration (MF)
Nominal pore size	0.2 μm
Material	Organic (polypropylene)
Series	2
Total number of modules	60 (30/series)
Design flux	1.0 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
Effective membrane surface area	900 m <sup>2</sup> (15 m <sup>2</sup> /module)
Type of filtration	Dead end constant flow filtration
Physical cleaning	Gas backwashing (600 kPa)
Chemical cleaning	In situ cleaning



第1図 フロー  
Fig. 1 Flow diagram

## 2.2 設備のフロー

取水した原水を前処理設備に送り、水中の夾雑物を除去し、いったん原水槽に貯留する。次に膜ろ過ポンプで、原水を膜モジュールへ供給する。本膜ろ過装置のろ過方式は全量ろ過方式である。運転方式は膜ろ過ポンプの回転数をインバータ制御する定流量運転である。膜ろ過装置は2系列で構成され、1系列停止時は、残りの系列で計画浄水量の75%を自動的に確保できるようになっている。

本膜ろ過装置の物理洗浄方式は、逆圧空気洗浄であり、逆洗ポンプ、空気槽を使用して、57分に1回の頻度で洗浄をおこなっている。また逆洗排水は、逆洗排水槽に受けた後、回収槽に貯留する。回収槽では、回収ポンプで逆洗排水を原水槽に回収することで、設備全体の回収率を上げることができる。

本原水には、有機物（フミン酸）由来と考えられる色度があるため、これを除去するために、凝集剤（ポリ塩化アルミニウム：PAC）を10 mg/L 定量注入し、マイクロフロックを形成させた後、膜ろ過をおこなっている。また凝集剤の注入による膜差圧の上昇を防ぐため、逆洗時に苛性ソーダを注入できる設備を備えている。

膜ろ過水は、次亜塩素酸ソーダを注入した後、浄水池へ送られる。

薬品洗浄設備では、膜差圧が100 kPa 程度に達したとき、現地洗浄を実施する。薬品洗浄排水は、中和槽に排出し、中和処理をおこなう。中和後の排水は、排水移送ポンプにより放流する。

## 2.3 膜および膜モジュール

膜は、ポリプロピレン製の公称孔径 $0.2\mu\text{m}$ の中空糸型精密ろ過膜（MF膜）であり、膜モジュール

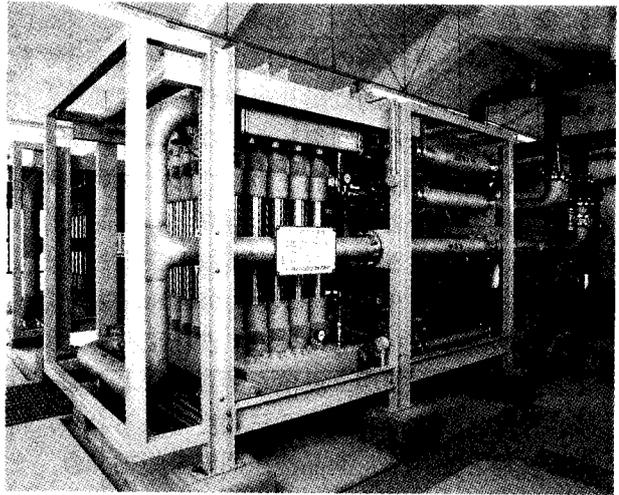
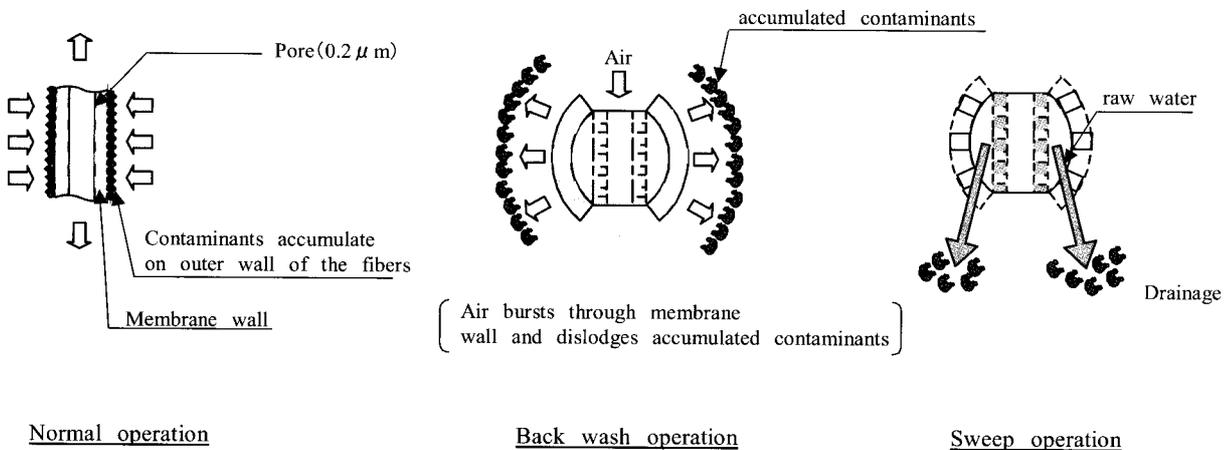


写真 2 膜ろ過装置外観  
Photo 2 Membrane stack

は、膜面積 $15\text{m}^2$ （モジュール1本当たり）である。本装置には、各系列に30本ずつ膜モジュールを装備し、1系列の膜面積は $450\text{m}^2$ である。写真2に、膜ろ過装置の外観を示す。

## 2.4 物理洗浄<sup>3)</sup>

本膜ろ過装置の物理洗浄方式は、膜材質がポリプロピレン製で膜強度が高く、伸縮性に富んでいることから、洗浄回復性に優れた逆圧空気洗浄方式を採用している。第2図に逆圧空気洗浄の模式図を示す。この逆圧空気洗浄方式は、600 kPaの無菌圧縮空気を膜ろ過側から加えて膜を膨張させ、膜壁に向けて瞬間的に逆流させ、膜の外壁に蓄積した物や、膜の細孔内に付着した物質を勢いよく吹き飛ばし、瞬時に取り除く逆洗方式である。



第2図 逆圧空気洗浄模式図  
Fig. 2 Model of the gas back washing mechanism

## 2.5 薬品洗浄

膜ろ過では、長時間の運転により、懸濁成分が膜表面に付着し、間欠的に繰り返される物理洗浄だけでは、膜差圧が十分に回復しなくなる。この場合には、薬品による洗浄（薬品洗浄）をおこない、ろ過性能を回復させる必要がある。写真3に薬品洗浄設備を示す。使用する薬品は、有機物除去を目的として苛性ソーダ（2%）、無機物（金属）除去を目的として硫酸（1%）をもちいる。洗浄工程では薬品によるろ過循環、循環、浸漬を半自動でおこなう。

現地洗浄に要する日数は3日程度であるため、持ち帰り洗浄と比べて、薬品洗浄期間を短縮でき、またこれに要する費用は、持ち帰り洗浄よりも安くなる。

## 2.6 膜破断、凍結対策

本設備は、膜破断に対する検知システムとして、メンブレンテストと膜ろ過水濁度を常時監視する（設定警報濁度0.05度）二重の安全対策を施している。メンブレンテストとは、モジュールの膜ろ過側から圧縮空気（100 kPa）を加えこの圧力の保持期間を測定し、膜の異常を検知するテストであり、一定時間ごとに自動でおこなっている。万が一、膜の破断を検知した場合、その系列を自動停止するようになっている。

また本設備は、冬期水温の低下による膜モジュールの凍結を防止するシステムを備えている。これは、膜ろ過設備の運転待機中、水温の低下（2℃以下）を検知すると、自動で膜モジュール内の水を排水し、凍結を防止する。

## 2.7 維持管理

施設の主な維持管理は、テレメータでの膜ろ過設備の遠方監視、現場での薬品補充、薬品洗浄などである。テレメータでは、原水流量、膜ろ過流量、原水濁度、ろ過水濁度、膜差圧、水温、浄水 pH、浄水残留塩素の測定値および機器故障などの警報信号を送っている。通常、施設は無人で運転管理されている。

## 3. 運転結果

### 3.1 高濁度時における安定した運転

第3図に原水濁度の経日変化を示す。原水は降雨の影響を受けやすく、濁度が50度以上を記録した日が20日間あった。期間中（2000年3月6日～2001年4月21日）の原水濁度の最大値は100度以上（濁度計の測定上限は100度）、最小値は0.4度、平均値は7.1度であった。原水濁度は表面散乱光方式による連続測定をおこない、データは連続測定値の瞬時値

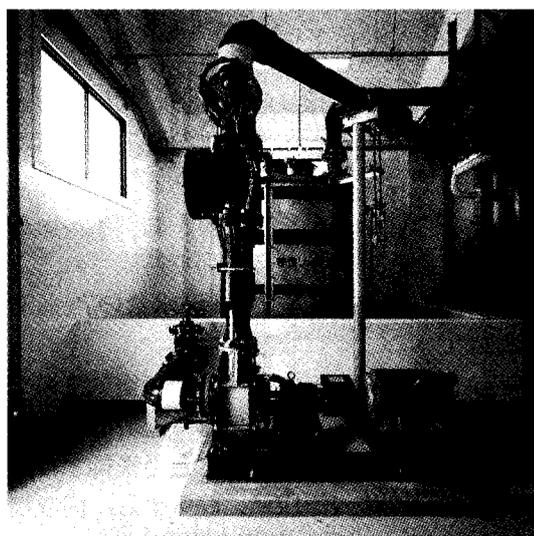
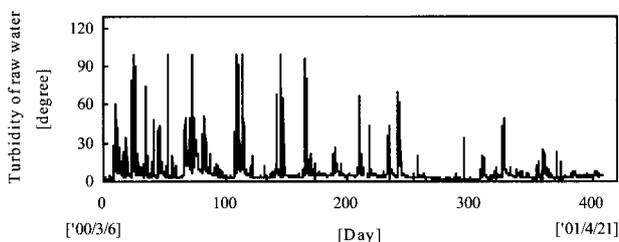


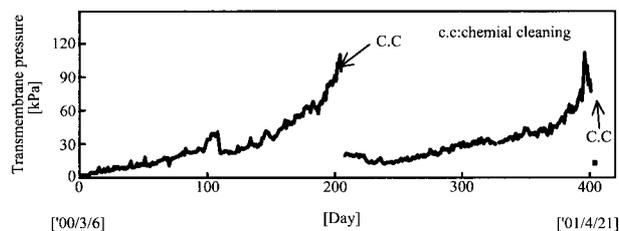
写真3 薬品洗浄設備外観

Photo 3 Chemical cleaning equipment



第3図 原水濁度の経日変化

Fig. 3 Change of turbidity of raw water



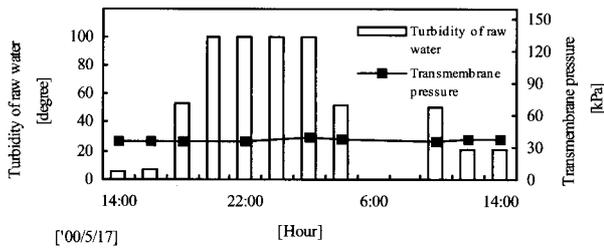
第4図 膜差圧の経日変化

Fig. 4 Change of transmembrane pressure

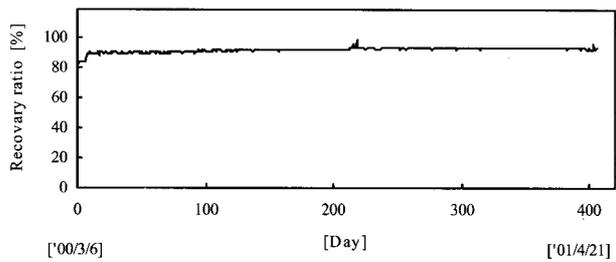
を示す。

第4図に、膜差圧の経日変化（日平均）を示す。膜差圧は、運転開始当初（2000年3月6日）の1 kPa程度から緩やかに増加を示し、213日後には100 kPa程度に達した。また薬品洗浄後も、同様に緩やかな上昇傾向を示し、193日後に、100 kPa程度に達した。

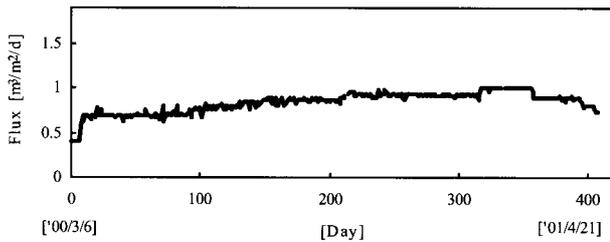
本原水は、運転期間を通して100度以上の高濁度を示すことが多かったが、膜差圧の急激な上昇は認められなかった。



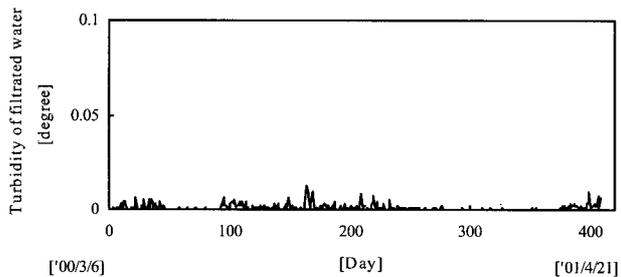
第5図 原水濁度と膜差圧の経時変化  
Fig. 5 Change of turbidity of raw water and transmembrane pressure



第7図 回収率の経日変化  
Fig. 7 Change of recovery ratio



第6図 流束の経日変化  
Fig. 6 Change of flux



第8図 膜ろ過水濁度の経日変化  
Fig. 8 Change of turbidity of filtrated water

第2表 薬品洗浄排水分析結果 (2000年10月5, 6日)  
Table 2 Quality of chemical cleaning wastes

Item	Units	Alkali waste	Acid waste
pH	—	>12.0	<2.00
Soluble iron	mg/L	0.95	25.6
Soluble manganese	mg/L	<0.50	8.80
Aluminum	mg/L	317	156
SS	mg/L	11.0	9.00
Dissolved organic carbon	mg/L	295	<10.0

第3表 薬品洗浄排水分析結果 (2001年4月18, 19, 20日)  
Table 3 Quality of chemical cleaning wastes

Item	Units	Alkali waste	Acid waste
pH	—	>12.0	<2.00
Total iron	mg/L	1.09	12.2
Total manganese	mg/L	0.23	4.91
Aluminum	mg/L	125	119
SS	mg/L	80.0	10.0
Dissolved organic carbon	mg/L	153	24.7

第5図に、降雨時(2000年5月17日)の急激な原水濁度の変化に対する膜差圧の経時変化を示す。この図において原水濁度が短時間に急激に上昇し、100度以上に達していることがわかるが、膜差圧は、ほぼ一定値(平均37 kPa)を示し、急激な上昇は認められなかった。これは、本膜ろ過設備が膜の目詰まりに対して強い外圧式中空糸を使用していることおよび逆圧空気洗浄が洗浄回復性に優れていることによる。

これらのことより本膜ろ過設備は、高濁度時においても、安定した運転を継続できることが検証でき

た。

第6図に、実流束(日平均)の経日変化を示す。

実流束は2000年3月6日から3月15日までは平均0.4 m³/m²/d、3月16日から2001年4月21日までは平均0.85 m³/m²/dで推移している。実流束が徐々に増加しているのは、必要水量に合わせて、設定膜ろ過流量を段階的に設定変更しているためである。

第7図に回収率の経日変化を示す。膜ろ過設備の回収率は平均92%であった。

第8図に精密濁度計によって測定した膜ろ過水濁度の経日変化(日平均)を示す。運転期間を通して

膜ろ過水濁度は常に0.05度以下であり、原水の水質変動によらず安定した処理性能を示した。

### 3.2 薬品洗浄効果

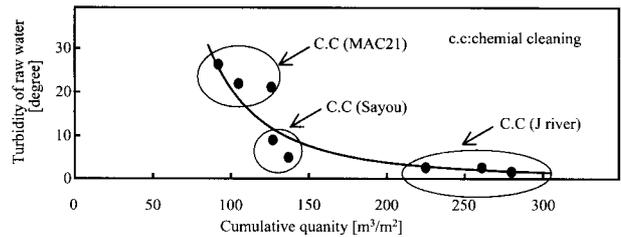
第4図に示すように、運転期間中（2000年3月6日から2001年4月21日）、約半年に1回の頻度で薬品洗浄を実施した。薬品洗浄では苛性ソーダによる膜の浸漬時間を12時間程度、硫酸による膜の浸漬時間を1時間程度とした。これらの結果、薬品洗浄前には、100 kPa程度であった膜差圧が、運転開始当初の膜差圧まで回復した。

第2、3表に、それぞれ2000年10月5、6日、2001年4月18、19、20日に実施した薬品洗浄の洗浄排水分析結果を示す。苛性ソーダによる洗浄では、溶存有機態炭素（DOC）がそれぞれ295 mg/L、153 mg/L含まれている。これより膜に付着した有機物が、除去されていることがわかる。硫酸による洗浄では、鉄、マンガンが多く含まれている。これより膜に付着した金属成分が除去されていることがわかる。これらのことから、ろ過を継続していくと、原水中に含まれる有機物や鉄、マンガンなどの金属成分が、通常の物理洗浄では完全に除去できず、膜面に蓄積し、膜差圧の上昇を引き起こすことがわかる。

第4表に、2000年10月5、6日に実施した薬品洗浄の洗浄水中和放流水の水質分析結果を示す。中和放流水は、中和をおこなうことで、排水基準を満たし、放流できることが検証できた。

### 3.3 薬品洗浄頻度

第9図に、薬品洗浄ごと（膜差圧が100 kPaに達したとき）の単位膜面積あたりの積算膜ろ過水量と、原水平均濁度を示す（第9図は、他の水源である



第9図 原水濁度と積算膜ろ過水量の関係  
Fig. 9 Relation of turbidity of raw water and cumulative quantity

第4表 洗浄水中和放流水の水質分析結果（2000年10月5、6日）  
Table 4 Quality of neutralized effluent water of chemical cleaning

Item	Units	Alkali neutralized effluent water	Acid neutralized effluent water	Effluent standard
pH	—	6.9	6.9	5.8~8.6
COD	mg/L	42.5	9.8	<160
BOD	mg/L	6.4	<2.0	<160
SS	mg/L	142	95	<200

第5表 水質分析結果  
Table 5 Analysis of water quality

Item	Units	Slow sand filtration (11th Aug. 1999)		Membrane filtration (16th Aug. 2000)		Water quality standards
		Raw water	Filtrated water	Raw water	Filtrated water	
Turbidity	degree	0.8	<0.1	1.1	<0.1	<2
Color	degree	6	1	7	1	<5
pH	—	7.7	7.7	8.2	7.7	5.8~8.6
Potassium permanganate consumption	mg/L	5.6	2.8	5.3	3.0	<10
Nitrate nitrogen and Nitrite nitrogen	mg/L	0.38	0.45	0.21	0.29	<10
Total iron	mg/L	0.12	<0.03	0.11	<0.03	<0.3
Total manganese	mg/L	0.01	<0.001	0.007	<0.001	<0.05
General bacteria	N/mL	18 000	16	1 200	0	<100
Total coliforms	N/100mL	11 000	0	13 000	0	Not detected

MAC21での実証実験結果、J川における実験結果を示す)。

本設備では、単位膜面積あたりの積算膜ろ過水量が、 $120\text{ m}^3\sim 140\text{ m}^3$ で薬品洗浄を実施した。当社ではMAC21計画での実証実験結果より、原水平均濁度と、薬品洗浄までの単位膜面積あたりの積算膜ろ過水量には、相関関係があることを報告<sup>3)</sup>しているが、今回の結果と、ほぼ一致した。

このことより、本位田浄水場において、薬品洗浄までのおよその単位膜面積あたりの積算膜ろ過水量が把握でき薬品洗浄時期が想定できる。さらに設定した流束から、薬品洗浄頻度を想定できる。

### 3.4 処理水質

第5表に、緩速ろ過水と膜ろ過水の水質分析結果を示す。膜ろ過では、一般細菌、大腸菌群が100%除去されていることが確認された。色度は、凝集剤(PAC)を定量注入(注入率 $10\text{ mg/L}$ )することで、効果的に除去されていることがわかる。緩速ろ過と同等以上の水質である。

### 3.5 ランニングコスト

本位田浄水場全体(取水設備、膜ろ過設備、送水設備)のランニングコスト(2000年5月～7月の平均値)は、 $7791\text{円/d}$ ( $18.1\text{円/m}^3$ )であった。

このうち膜ろ過設備のランニングコストは、およそ $10\text{円/m}^3$ である。

### むすび

本膜ろ過設備は、2000年3月に給水を開始して以来大きなトラブルもなく順調に安定した運転をおこなっている。この運転結果より、次のことが確認できた。

- (1) 本膜ろ過装置は、原水濁度が100度を超えるような高濁度時においても、膜差圧の急激な上昇、膜ろ過水濁度の悪化もなく、長期安定した処理をおこなえる。
- (2) 約半年に1回の頻度で現地薬品洗浄を実施することで、膜差圧は回復し安定運転をおこなえる。また洗浄排水は、中和することで、排水基準を満たし、放流がおこなえる。
- (3) 原水濁度と薬品洗浄までの積算膜ろ過水量から薬品洗浄時期を想定できる。

### [参考文献]

- 1) 渡辺義公：水道協会雑誌，Vol.69，No.9(2000)，p.6-7
- 2) 西尾弘伸：神鋼パンテック技報，Vol.38，No.3(1994)，p.27-28，p.33
- 3) 西尾弘伸：環境技術，Vol.25，No.4(1996)，p.206

### 連絡先

佐藤良太 環境装置事業部  
環境本部  
技術部  
第2グループ  
TEL 078-232-8102  
FAX 078-232-8057  
E-mail r.sato@pantec.co.jp