

# 浄水用富士膜ろ過システム

特集

久保田 康幹 (くぼた こうかん)

角川 功明 (かどかわ なるあき)

本山 信行 (もとやま のぶゆき)

## ① まえがき

1980年代末に欧米において浄水プロセスに膜分離技術が導入され始め、さまざまな利点を有することが明らかとなった。この成功に刺激され、日本では1991年から産官学が一体となったナショナルプロジェクト「膜利用型新浄水システム開発研究 (MAC21 計画)」が行われた。この成果を受けて、1995年にガイドラインが作成され、水道膜ろ過施設導入体制が整えられた (膜ろ過については231ページの「解説」参照)。

当初は、施設更新、施設改良に伴い省スペース化、省力化が図れることから、維持管理技術者の不足問題を抱える小規模浄水施設での導入が中心であった。その後、1996年の埼玉県越生町でのクリプトスポリジウムによる感染事故も膜ろ過設備導入の促進要因となり、2003年6月時点での導入数は328か所にも及んでいる。このうち約半数は処理水量が250m<sup>3</sup>/日未満の規模であるが、2004年3月には国内最大の3万m<sup>3</sup>/日の中規模浄水場が稼動した。欧米では、すでに処理水量10万m<sup>3</sup>/日規模の浄水場で導入されており、今後、日本国内においても伸展が見込まれている。

本稿では、欧米で豊富な実績を有するオランダ X-Flow 社の先進技術と富士電機のプラントエンジニアリング技術を融合した浄水用富士膜ろ過システムについて、岡山市三野浄水場における河川表流水を原水とした実証実験結果などを交えて紹介する。

## ② 富士膜ろ過システム

### 2.1 膜エレメント

富士膜ろ過システムは、X-Flow 社製の膜エレメント (図1、表1) を用いている。この膜エレメントは、表2に示す欧米の MF/UF (精密ろ過/限外ろ過) 膜処理設備の処理水量上位リスト<sup>(3)</sup>にあるように海外において豊富な実績を有するものである。内圧式中空系タイプの MF 膜で、中空系膜内径の違いにより膜面積が 35m<sup>2</sup> と 20m<sup>2</sup> のもの

がある。特徴として以下の点が挙げられる。

一つは、膜材質が有機性のポリエーテルスルホンとポリビニルピロリドンの混合物からなり、親水性、耐薬品性、耐熱性および機械的強度に非常に優れていることである。もう一つは、その構造にあり、膜モジュール内に均一に原水および逆洗水が分配されるようになっており、ろ過および膜洗浄効率が高いことである。

図2に膜モジュールの内部構造を示す。原水は、膜モジュール端部に設けられた原水入口から流入し、中空系膜でろ過される。ろ過された水は、集水板に沿って膜エレメントの中央に集められ、膜モジュールの両端から流れてい

図1 膜エレメントの外観

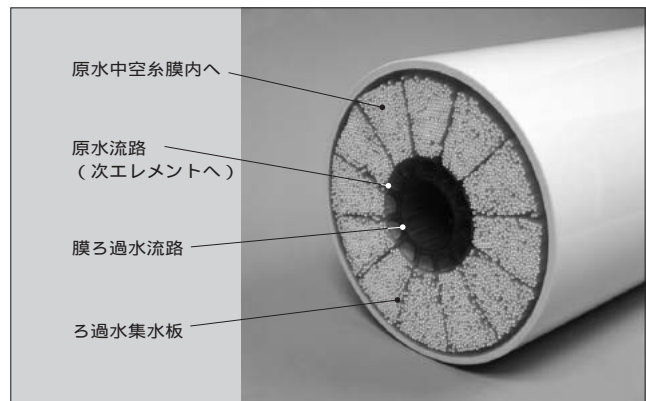


表1 膜エレメントの仕様

項目	仕様	
膜の種類	中空系MF膜	
ろ過方式	内圧式全量ろ過	
膜材質	ポリエーテルスルホン/ ポリビニルピロリドン混合物	
分画分子量	150,000 ~ 200,000 Da (ダルトン)	
公称孔径	0.025 ~ 0.030 μm	
中空系膜内径	0.8 mm	1.5 mm
膜ろ過面積	35 m <sup>2</sup>	20 m <sup>2</sup>
膜エレメント寸法	200 mm x 長さ1,500 mm	



久保田 康幹

りん酸形燃料電池発電装置の開発、水処理プロセスの開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー(株)環境技術研究所グループマネージャー。化学工学会会員。



角川 功明

膜を用いた上水の高度処理技術開発に従事。現在、富士電機アドバンステクノロジー(株)環境技術研究所。



本山 信行

オゾン、膜を用いた上水の高度処理技術開発に従事。現在、富士電機システムズ(株)環境システム本部新事業統括部膜事業推進プロジェクト部担当課長。工学博士。日本水道協会会員。

表2 欧米のMF/UF膜処理設備の処理水量上位リスト

設置箇所	国名	処理水量 (m <sup>3</sup> /日)	稼動年 (年)	膜の種類	膜メーカー
Minneapolis	アメリカ	265,000	2004	UF	X-Flow
Cray Lane	イギリス	160,800	1999	UF	X-Flow
Roetgen (Kreises Aachen)	ドイツ	144,000	2005 予定	UF	X-Flow
Sandhurst	オーストラリア	126,000	2000	MF	ベオリア
Olivehain	アメリカ	108,000	1996	UF	ゼノン
Del Rio, Texas	アメリカ	105,000	2000	UF	アクアソース
Keldgate	イギリス	98,400	1999	UF	X-Flow
California	アメリカ	94,625	2000	MF	ゼノン
Appleton	アメリカ	90,840	2000	UF	コーク
Pittsburg	アメリカ	75,700	2000	MF	ポール
Lausanne	スイス	70,000	2001	UF	アクアソース
Homesford-Seven Trent	イギリス	65,000	1999	MF	ベオリア
Ennerdale-NW Water	イギリス	60,000	1999	MF	ベオリア
Heemskerk (PWN)	オランダ	60,000	1998	UF	X-Flow
Vigneux-sur-Seine	フランス	55,000	1997	UF	アクアソース

図3 膜ろ過ユニットの外観



特集

図4 膜ろ過ユニットと配管イメージ図

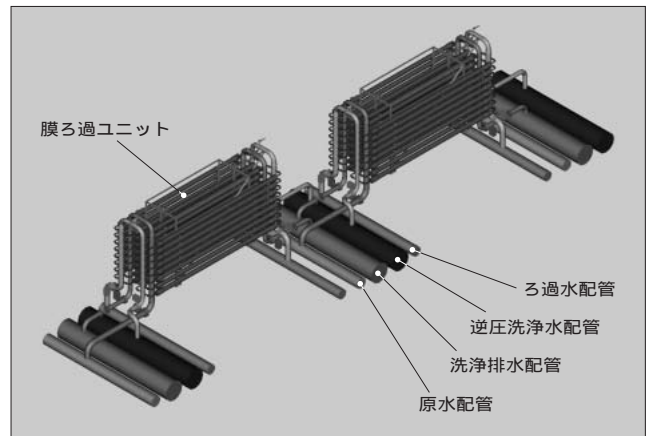
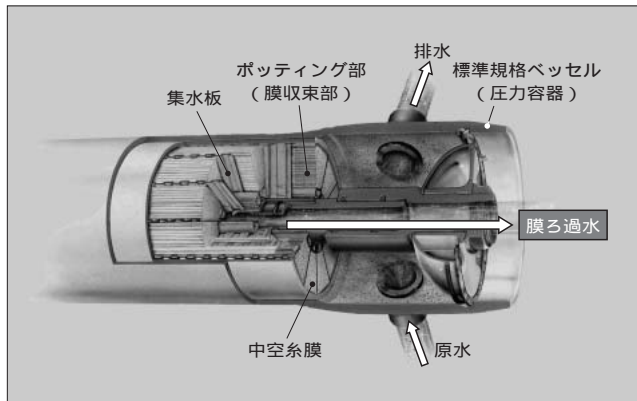


図2 膜モジュールの内部構造



く。所定時間のろ過が経過したところで逆洗工程が実施される。膜の二次側（ろ過水側）から、ろ過とは逆方向に膜ろ過水を流すことにより膜表面に付着、堆積（たいせき）した汚濁物質を洗い流し、膜モジュール端部の排水出口から排水される。

2.2 膜ろ過装置

以下に富士膜ろ過システムの特徴を述べる。また、図3に膜ろ過ユニットの外観を、図4に膜ろ過ユニットと配管のイメージ図を示す。

1) 豊富な実績

欧米各地で多数の実績を有するオランダ X-Flow 社の先進技術と、富士電機のプラントエンジニアリング技術と

融合している。

2) 完全自動運転

ろ過および逆圧洗浄（物理洗浄）工程はもとより独自のオンライン薬品添加逆洗法により、全工程を全自動で行うことが可能である。一般的には、逆圧洗浄を行っても膜間差圧が回復しない場合、酸、アルカリ、酸化剤などを用いて数日間装置を停止して行う、いわゆる「薬品洗浄」を数箇月に1回程度行うことになるが、本システムでは不要とすることが可能である。

3) 省スペース

使用する膜モジュールは、逆浸透などで用いられる水平設置式の標準規格8インチベッセルに膜エレメントを充てんする構造となっており、従来の縦置きタイプの装置よりも集積度の向上とメンテナンスゾーンの省スペース化を実現している。中・大規模浄水場でのメリットが大きい。

4) 建設工期の短縮

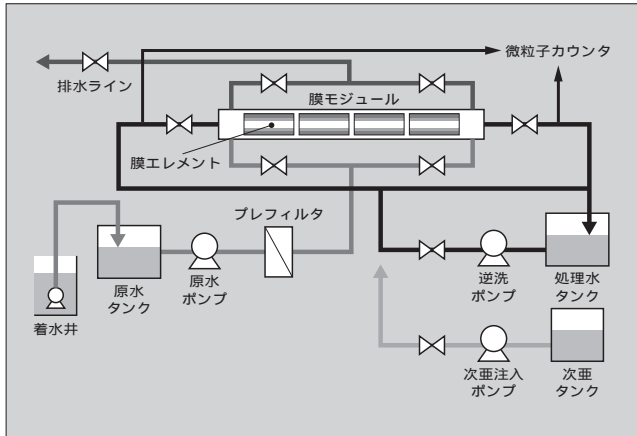
膜ろ過システムはユニット化されているため現地での据付け・配管工事が低減され、建設工期の短縮が図れる。

5) 省電力

全量ろ過方式を採用していることで、エネルギー消費量が少なく省電力化が図れる。

図5に富士膜ろ過システムフロー図を示す。ろ過工程は、着水井から取水した原水を、まず、プレフィルタ（孔径100～200μm）できょう雑物を除去する。その後、膜モジュールの両端から供給された原水は中空糸膜（孔径

図5 装置フロー図(例)



0.025 ~ 0.03 μm) でろ過された後、集水板を経て膜モジュールの両端から処理水タンクへ流入する。ここで、本システムは全量ろ過方式を採用しており、原水ポンプの動力は膜ろ過のみに使用されるためエネルギー効率が低い。

所定時間のろ過を行ったところで、逆洗ポンプにより処理水タンクの水を用いた逆洗を実施する。さらに、所定のろ過回数を行ったところで、薬品添加逆洗を実施する。

薬品を添加して逆洗を行う方法としては、逆洗水に塩素水を添加する方法、塩素水を逆洗させて、一次側に所定時間保持する方法、塩素または酸化剤を逆洗水に添加して流した後、所定の休止時間を設けてから逆洗する方法などが開発されている。

富士膜ろ過システムは、薬品を逆洗水に添加して膜モジュールへ供給し、膜モジュール内を所定の薬品濃度にする薬品添加工程、所定の薬品濃度にて所定時間保持する休止工程および休止後に膜ろ過水を二次側から一次側へ流し、膜モジュール内の薬品濃度が所定濃度未満となるようにするリンス工程から構成される。また、使用する薬品の種類および濃度は原水水質に応じて適宜選定する。これにより、従来の薬品洗浄を実施することなく長期安定運転を可能としている。

2.3 実証実験

岡山市三野浄水場において西川表流水を原水として、2003年1~7月にかけて実証実験を行った。膜モジュールは、中空糸内径1.5mmの膜エレメントを4本充てんした膜面積80m<sup>2</sup>タイプを用いた。

運転条件は、膜ろ過流速1.5m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>・日)の定流量全量ろ過方式とし、逆洗間隔は45分とした。また、薬品添加逆洗は、次亜塩素酸ナトリウム(次亜)と硫酸を用いて適宜実施した。

実証実験中、原水および処理水の水質分析として、濁度、色度、pH、過マンガン酸カリウム消費量、マンガン、鉄、一般細菌および大腸菌群を、1回/週の頻度で測定した。

① 運転性能評価

図6に、補正膜差圧(25基準)、原水濁度および水温の経時変化を示す。

図6 膜ろ過装置実証実験における連続運転結果

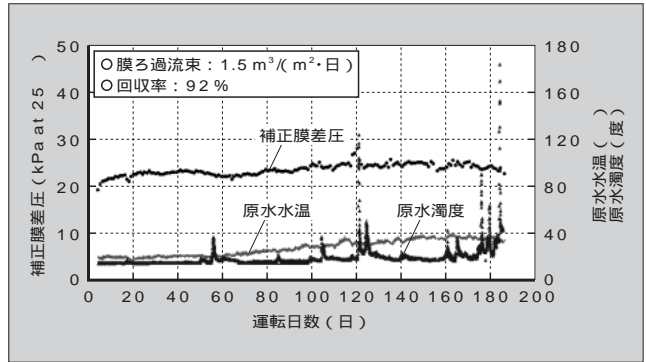


表3 膜ろ過装置実証実験における水質分析結果

分析項目	単位	原水			膜ろ過水	
		最大値	最小値	平均値	平均値	平均除去率(%)
濁度	度	27.8	0.7	3.5	0.1未満	100
色度	度	53	3	11	3	64
pH	-	7.3	6.9	7.1	7.1	-
KMnO <sub>4</sub> 消費量	mg/L	11.60	2.5	4.9	3.2	31
マンガン	mg/L	0.116	0.004	0.026	0.004	78
鉄	mg/L	0.75	0.03	0.17	<0.01	>94
一般細菌	個/mL	14,000	130	2,424	0	100
大腸菌群	MPN/100mL	28,000	290	4,972	0	100

実験期間中、一時的な膜差圧の上昇は見られたが、次亜塩素酸ナトリウム添加逆洗および硫酸添加逆洗を適宜実施したことにより、膜差圧はほとんど変化せず常に安定しており、いわゆる装置停止を伴う薬品洗浄を不要にできることが示された。

② 処理水質

表3に膜ろ過装置実証実験における水質分析結果を示す。処理水はおおむね良好であったが、色度などの溶解成分に関しては別途処理が必要であった。

③ 膜破断検知装置

膜ろ過システムの普及に伴い、大規模な膜ろ過システムでは膜破断の対応が重要となってくる。富士電機では、さまざまな膜破断検知方法について技術開発を行ってきており、安全な水の供給のため、水質に応じた最適な膜破断検知システムを提供する。

3.1 膜破断検知方法

以下に代表的な膜破断検知方法を記す。

① 膜ろ過水の濁度と微粒子数の測定

高感度の濁度計または微粒子カウンタなどを用いて膜ろ過水中の濁度または微粒子数を連続的に監視する方法で、装置の停止を伴わない。

2) 圧力保持試験

膜モジュール内部の水を排出し、膜の一次側から空気を供給して所定圧力とした後、空気供給を停止して、所定時間における圧力降下量を測定することにより膜の破断を検査する方法である。試験時にはろ過工程を停止する必要があり、その間は処理水が造水されないこととなる。

3) 拡散空気流量試験

膜モジュール内部の水を排出した後、膜の一次側から空気を供給し、膜の二次側における空気の流出量を測定することにより膜の破断を検査する方法である。試験時にはろ過工程を停止する必要がある。

3.2 実証実験

富士膜ろ過システムにおける濁度・微粒子監視、圧力保持試験および拡散空気流量試験による膜破断検知方法に関する結果を表4に示す。各方式を比較するうえで中空系膜1本が破断したときの測定値を正常時の測定値で除した値(以下、Sと記す)を示しており、Sが3以上であれば膜破断検知可能と定義している。

実験には中空系内径0.8mmの膜エレメントを4本充てん(膜面積140m<sup>2</sup>、中空系本数約4万本)するタイプを用い、破断膜エレメントを圧力容器内の右側に設置し実験した。なお、濁度・微粒子監視は微粒子カウント式高感度濁度計を使用し、0.5μm以上の粒子数を測定対象とした。

本実証実験では、原水濁度が0.6~0.8度と低く、さらに全量ろ過方式がクロスフロー方式と比較して膜供給水の粒子数が少ないため、膜破断検知としては厳しい条件であるにもかかわらず、すべての方式において4万本(膜面積140m<sup>2</sup>)あたり1本の破断を検知することができた。

また、本実証実験においては、濁度測定時のSは4~5であり、異常検知可能膜面積は140m<sup>2</sup>が限界に近いが、微粒子のSは9~25であり、420m<sup>2</sup>相当の膜面積に対して異常検知可能と推定できる。検出感度は、拡散空気流量試験が最も高くなっているが、試験中は膜ろ過工程を停止する必要があり、試験頻度に制約が生ずる。

膜破断検知は、常時監視で、かつ原水水質を問わず確実に破断を検知することが必要であり、その意味では常時連

表4 膜破断検知実証実験結果(S値)

破断位置	連続測定		間欠測定	
	濁度	微粒子	圧力保持試験	拡散空気流量試験
右端	5	25	11	28
中央	4	9	6	14

続監視可能な「微粒子計測」と、間欠監視ではあるが感度が最も高い「拡散空気流量試験」を必要に応じて組み合わせる方法が適用されていくものと考えられる。

4) あとがき

海外で豊富な実績を持つX-Flow社の膜エレメントを用いた膜ろ過システムについて、河川表流水を直接膜ろ過した場合の実証実験結果を交え紹介した。また、膜ろ過システムとしての水質の安全性を確保するうえで重要となる膜破断検知方法についても併せて紹介した。

今後は、河川水のほか、湖沼水、地下水などさまざまな水道原水に適応した膜ろ過システムを提供していく所存である。

なお、本実証実験は、岡山市水道局殿および(株)水環境総合研究所殿と共同で実施したものであり、ここに感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) Crapper, J. et al. CMF-S Microfiltration Plant to Treat 126ML/day. 第2回国際水道膜フォーラム講演要旨集. 2001, p.13-27.
- 2) States, S. et al. Membrane filtration as posttreatment. JWQA. vol.92, 2000, p.59-68.
- 3) 永井康敏. 膜ろ過装置の調査結果報告. 水道技術ジャーナル. no.23, 2002, p.4-9.
- 4) 膜の洗浄方法. 特許第3198923号. 2001-6-15 登録.
- 5) Luitweiler, J. P. et al. Performance Testing of Hollow Fiber Membrane on a Groundwater. Proc. Memb. Technol. Water. Ind. 1991, p.403-425.



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。