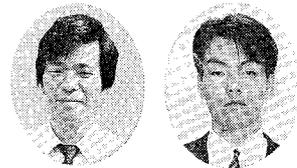


膜分離プロセスの高度浄水処理への適用

The Application of Membrane Technology to an Advanced Drinking Water Treatment Process



(環)技術部 製品開発課
西尾 弘 伸
Hironobu Nishio
水澤 秀 樹
Hideki Mizusawa

The recent eutrophication of lakes have caused an increasing growth of algae. The conventional sand filtration and advanced water treatment processes can hardly prevent the algae break through. Experiments using a membrane processes were conducted at a demonstration plant in comparison with sand filtration. The results showed the superiority of the membrane process in algae removal but showed nearly the same performance in the removal of heavy metals (Fe and Mn).

まえがき

現在の浄水プロセスは、凝集沈澱、砂ろ過といった処理技術が中心である。このシステムは、大量処理に適し、多種類の不純物質の除去に有効であること、また、衛生面で安全である等の利点を持っている。しかし、水道水源の悪化による濁質等の変化により、異臭味の改善やトリハロメタン等の有機物質の除去が問題となり、オゾン酸化処理及び活性炭吸着処理等を付加した高度浄水処理プロセスが、導入されつつある。

現在、水道法に定める水道事業者は、約12 000以上存在し、その大部分は小規模水道である。この小規模水道は、国の労働人口構成の変化と共に技術者の確保が困難になるものと考えられている。また、浄水施設の大半が更新期を迎え、さらに浄水施設の省力化、省スペース化が求められている。そこで、これらのことに対処するため水道の基本的な浄水処理である固液分離プロセスに膜分離技術の導入が検討されるようになった¹⁾。この膜利用型新浄水システムは、'91年度から、厚生省、国立公衆衛生院、大学、及び水道浄水プロセス協会において官学民一体の共同研究が始まっている。(MAC21計画：Membrane Aqua Cen-

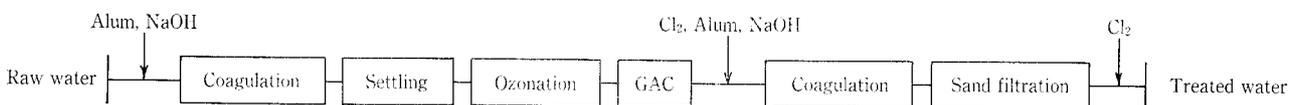
tery 21 Project) 当社においてもこの研究に参画し、現在、膜利用型浄水プロセスの実証実験を行っている。

本報では高度浄水プロセスにおいて、砂ろ過での除去が難しい藻類の除去を目的として行っている膜分離プロセスの適用実験の概要を報告する。(なお、実験装置は阪神水道企業団高度浄水処理実証プラント(第1図)²⁾内に設置)

1. 浄水の膜処理技術について

海水淡水化向けに開発された逆浸透法(RO)^{注1)}に代表される膜分離技術は、近年膜の開発が進み、超純水製造技術をはじめ、中水道設備・し尿処理設備等高濃度の汚染物質を含む排水処理へその用途開発が図られてきた。これは、膜の開発が速まり、その種類がROにとどまらず、限外ろ過膜(UF)^{注2)}、精密ろ過膜(MF)^{注3)}に及んだことが挙げられる。

従来の浄水プロセスは、大きく分けて凝集沈澱、砂ろ過であるが、これを膜分離単一操作で処理すると省スペースと省力化が可能となる。しかし、水道原水は、河川水または湖沼水であり、濁度が数 mg/l から数百 mg/l に変化するため、膜処理装置は閉塞しにくい構造とする必要がある³⁾。



第1図 高度浄水処理基本フロー

Fig. 1 Flow diagram of advanced water treatment system

注1) 逆浸透 (Reverse Osmosis: RO) ……逆浸透は、溶質を阻止する非対象構造膜や複合膜を用いて、処理対象原水にその浸透圧以上の圧力(10~60 kg/cm²程度)をかけ、水と溶質を分離する。

注2) 限外ろ過 (Ultrafiltration: UF) ……限外ろ過膜は、10~300 Å程度の孔径を有し、膜の孔径と溶質の分子の大きさによって分子レベルでふるい分け、溶質の分離、分画、濃縮、精製を行う。細菌やウイルスのような溶解性物質が除去出来る。

注3) 精密ろ過 (Microfiltration: MF) ……精密ろ過膜は、粒径が数100 μm から0.01 μm程度までの液体中に含まれる懸濁質、コロイド粒子を分離除去する。⁴⁾ 参考文献4)はこの欄を示しています。



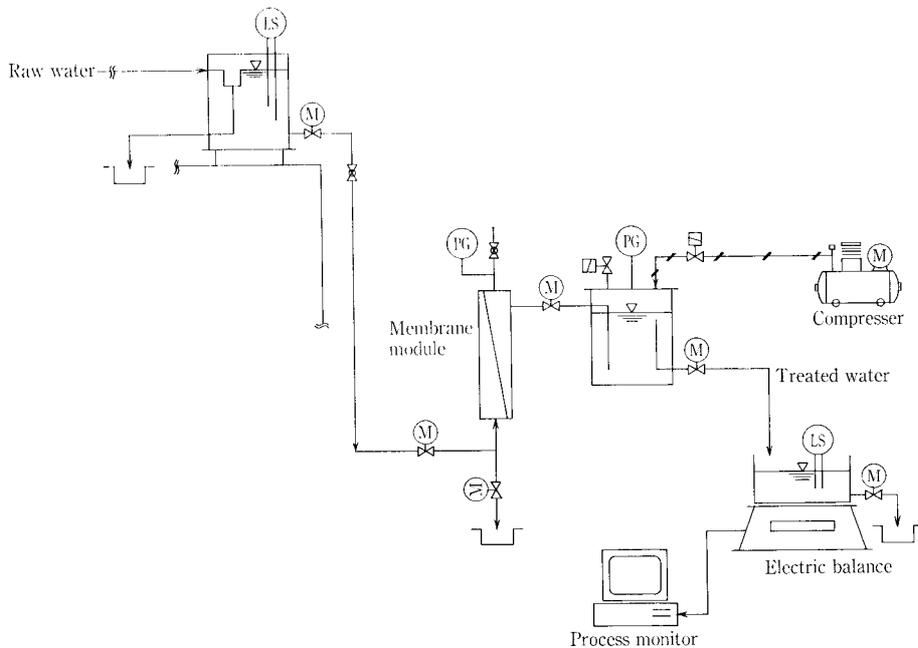
写真1 ミクロキスティス (藍藻類)×700
(写真提供: 阪神水道企業団)
Photo. 1 Microcystis ×700

第1表 膜モジュールの仕様
Table 1 Membrane module specification

Membrane type	Multi-lumen (Internal pressure type) (Ceramic)
Membrane square area	0.1 m ²
Housing	φ38 mm × 491 mm ^L
Diameter of membrane element	φ4 mm × 19 pieces
Membrane element length	425 mm
Pore size	0.1 μm

第2表 実験条件
Table 2 Operating parameters

Parameters	
Filtration style	Dead end filtration
Operating pressure	29.4 kPa
Back wash pressure	490.3 kPa
Back wash time	120 sec
Back wash interval	0.5 hr



第2図
実験フロー
Fig. 2
Scheme of the experimental equipments

2. 膜処理実験について

阪神水道企業団は、水源を淀川としている。この淀川は、流量の7割を琵琶湖に依存しているが、近年、琵琶湖の富栄養化が進行し藻類の増殖が多くなった。この藻類の中でも *Microcystis* (写真1) は、汙濁障害 (汙濁池からのブレイクスルー) を起こすことがあり、現在の浄水プロセス及び高度浄水プロセスでは、除去が困難であると思われる。そこで、高度浄水プロセスの砂汙過に代わり、藻類の細胞径より小さい孔径である膜 (MF) による分離処理を行い、膜は、細孔分布の特性、耐薬品性等からセラミック膜を採用した。

既存の浄水プロセスは、自然流下 (ポンプを介さず、高低差を利用する) で浄水処理されることが多い。従って実験装置の操作圧力は、既存浄水施設に適用可能な水頭差 (29.4 kPa) とした。

2.1 実験装置

第2図に実験フローを示し、第1表に膜モジュールの仕様を、第2表に運転条件を示す。実験に供した水 (以下原水と略す) は、第1図に示した実証プラントの2度目の凝集を行った中間塩素処理水である。通水方式は全量汙過方式とし、操作圧力は、ヘッドタンクの水頭差を利用し 29.4 kPa で一定とした。膜分離を継続するにつれて膜の目詰まりが生じるため、一定の間隔で圧力透過水による逆洗を行った。

2.2 測定項目及び測定方法

フラックスは単位膜面積、単位時間当たりの処理量であり、電子天秤を用いて当社のプロセスモニタ (PMX-98) による連続自動測定とした。生物数、トリハロメタン、全有機ハロゲン化合物、全有機炭素、鉄、マンガン の測定は、上水試験方法に準拠した。

第3表 各処理水の生物数 (データ提供: 阪神水道企業団)
Table 3 Algae of treated water

Date		'91						'92			Average
		7/24	8/21	9/19	10/17	11/11	12/19	1/23	2/13	3/25	
The total of algae (n/l)	Raw water	9 360	41 380	13 660	8 380	8 580	14 100	10 060	6 620	10 560	13 633
	Membrane-filtration treated water	0	3	8	6	4	7	4	0	2	4
	Sand filtration treated water							10	32	23	22

2.3 実験結果

2.3.1 フラックスについて

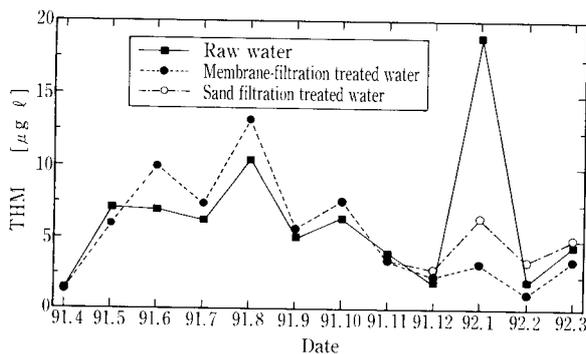
フラックスの経日変化を第3図に示す。通水当初は、逆洗頻度を1回/2hとしたが、フラックスの低下を防ぐため、7月から逆洗頻度を1回/0.5hとした。5月から10月の平均フラックスは60.4 l/m²/hである。

通水開始より6カ月が経過し、フラックスの回復を確認するため膜モジュールの薬液洗浄を行った。薬液洗浄後のフラックスは、132.1 l/m²/hであり、通水初期のフラックスまで回復した。11月から1月では、水温が低下するにつれてフラックスも低下し、平均フラックスは49.7 l/m²/hであった。

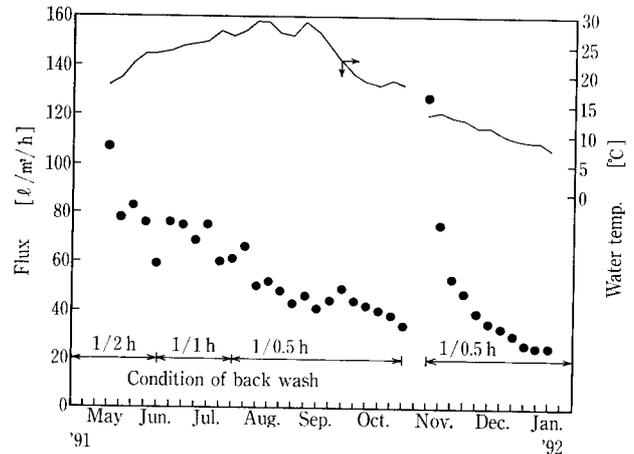
本装置を砂濾過池の代替施設とするためには、より大きなフラックスが必要となる。砂濾過池と同等の敷地面積となるフラックスは、膜面積0.2 m²の膜モジュールを使用した場合、110 l/m²/hである。操作圧力29.4 kPaの時、平均フラックスは60.7 l/m²/hとなっており、フラックスの向上を図る必要がある。現在、操作圧力の変更(49~196 kPa)、実験装置原水の凝集剤注入量の変更、攪拌強度の変更等を実施し、より大きなフラックスを得ることを目的とし、実験を行っている。

2.3.2 生物総数(藻類)について

原水と各処理水の測定結果を第3表に示す。生物総数約13 000 (ヶ/l)の原水に対して、膜処理水はほぼ100%の除去率が得られた。



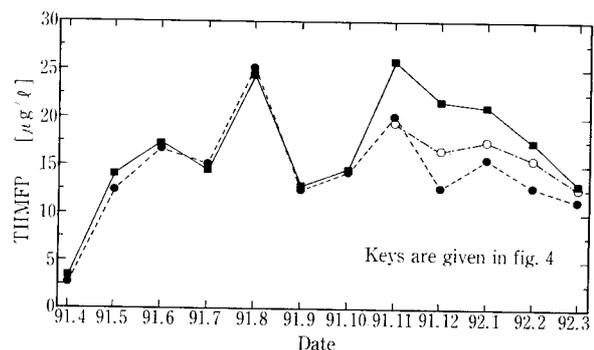
第4図 THMの経日変化 (データ提供: 阪神水道企業団)
Fig. 4 THM concentrations



第3図 Fluxの経日変化
Fig. 3 Changes in the flux

2.3.3 トリハロメタン、トリハロメタン生成能^{注4}について

トリハロメタン(以下THMと略す)の経日変化を第4図に、トリハロメタン生成能(以下THMFPと略す)の経日変化を第5図に示す。原水中に存在する溶解性のTHM、THMFPは、除去することが出来ない。また、原水を塩素処理しているため、原水中に生成されているTHMの割合が高いと思われる。各処理水のTHMFPの平均除去率を比較すると、膜処理水12.8%、砂濾過水10.4%となっている。

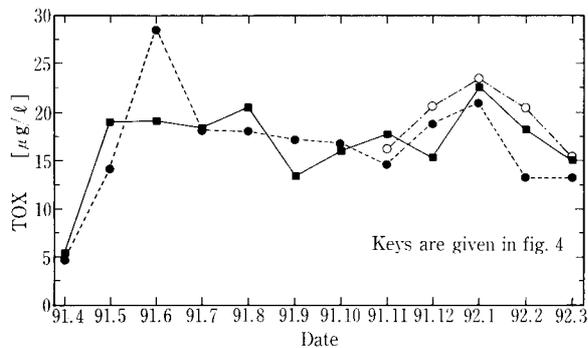


第5図 THMFPの経日変化 (データ提供: 阪神水道企業団)
Fig. 5 THMFP concentrations

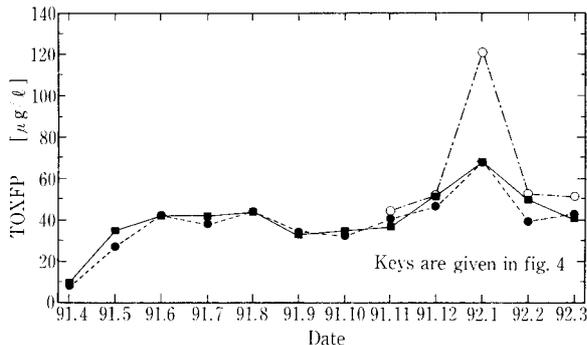
注4) THM : 微量有機塩素化合物であるTHMは、塩素消毒と浄水処理で除去対象となる色度成分の組み合わせにより発現する。日本では、THMの制御目標値として年間平均値0.10 mg/lとしている。

THMFP : 塩素と反応し、THMとなりうる物質を表す1つの指標である。

注5) TOX, TOXFP : THMだけでなく、大分子量の有機塩素化合物を含めた有機ハロゲン化合物の総量をハロゲン量として表している。TOXFPは、TOXとなりうる物質の量である。



第6図 TOXの経日変化
Fig. 6 TOX concentrations



第7図 TOXFPの経日変化
Fig. 7 TOXFP concentrations

2.3.4 全有機ハロゲン化合物, 全有機ハロゲン生成能^{注5}について

全有機ハロゲン化合物(以下TOXと略す)の経日変化を第6図に, 全有機ハロゲン生成能(以下TOXFPと略す)の経日変化を第7図に示す。THMFPPと同様に, SS性のものは除去されるが, 本実験では, TOXFPの原水の平均値 40.6 μg/ℓ に対して膜処理水 39.3 μg/ℓ, 砂濾過水 50.7 μg/ℓ となっており膜処理水, 砂濾過水共に除去が認められなかった。

2.3.5 全有機炭素について

全有機炭素(以下TOCと略す)の経日変化を第8図に示す。各処理水について除去率を比較すると, 膜処理水の除去率 22%, 砂濾過水の除去率が 20%であり, 膜処理水は砂濾過水と同等の除去率が得られた。

2.3.6 鉄, マンガンについて

鉄の経日変化を第9図に, マンガンの経日変化を第10図に示す。原水の鉄, マンガンは, それぞれ 0.02 mg/ℓ (平均値)である。膜処理水は 0.01 mg/ℓ 以下となっており, 砂濾過と同等の処理性が得られた。

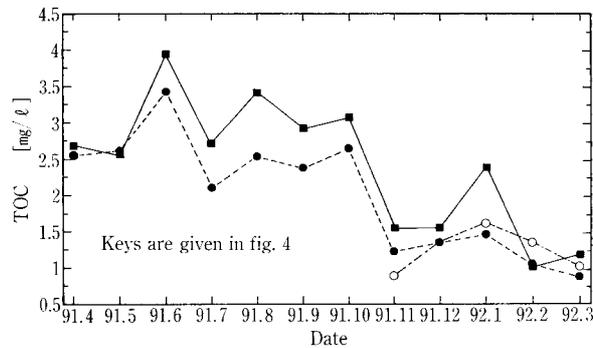
2.3.7 薬液洗浄について

膜モジュールの薬液洗浄について述べる。使用薬液は, 硝酸溶液(2%)とし, 膜モジュールを硝酸溶液に48時間浸漬した後, 膜処理水に24時間浸漬した。

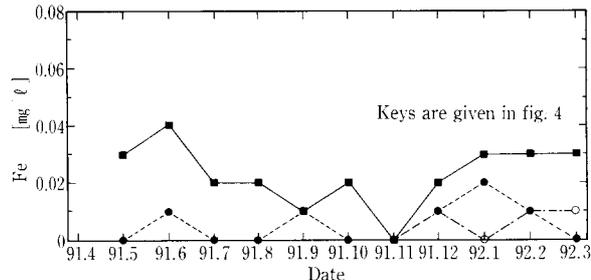
その結果, 洗浄排液中に鉄(2.8 mg)及びマンガン(6.5 mg)が検出された。この鉄, マンガンの微細な酸化物が膜細孔に付着し, 目詰まりの原因になっていることが考察される。

2.4 まとめ

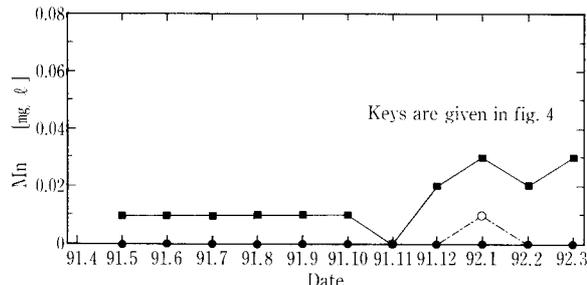
- (1) 藻類の除去は膜孔径 0.1 μm のセラミック膜によりほぼ100%除去できた。



第8図 TOCの経日変化(データ提供: 阪神水道企業団)
Fig. 8 TOC concentrations



第9図 鉄の経日変化(データ提供: 阪神水道企業団)
Fig. 9 Fe concentrations



第10図 マンガンの経日変化(データ提供: 阪神水道企業団)
Fig. 10 Mn concentrations

(2) THMは, 制御目標値(0.1 mg/ℓ)以下の水質を得ている。

(3) 鉄, マンガンの除去は, 砂濾過と同等であることが確認された。

むすび

主目的である藻類の除去は, 膜孔径 0.1 μm のセラミック膜により, ほぼ100%除去でき, 他の水質項目についても砂濾過と同等であることが確認出来た。将来, 浄水処理プロセスは, より効率的にかつ効果的に行うことが求められ, おいしい水, 安全な水に対する要望及び, 本実験で行ったような高品質な水に対する要望も高まるものと思われる。

当社では, 今後更に研究開発を続け, 21世紀に向けてよりおいしく, 安全な水造りを追求したいと考えている。

最後に本実験を行うにあたり, 豊富な水質データのご提供並びに多方面からのご指導を頂いた阪神水道企業団殿に謹んで御礼申し上げます。

〔参考文献〕

- 1) 真柄基ほか, 用水と廃水, Vol. 34, No. 10, (1992), p. 3
- 2) 神鋼パナテック技報: Vol. 34, No. 2 (1990), p. 37
- 3) 藤田賢二, 工業用水, 1991, Vol. 389, p. 9
- 4) 中垣正幸, 膜処理技術大系上巻, 1991, フジテクノシステム