

図2 浸漬型MF膜装置の運転状況 (No.1膜モジュール)

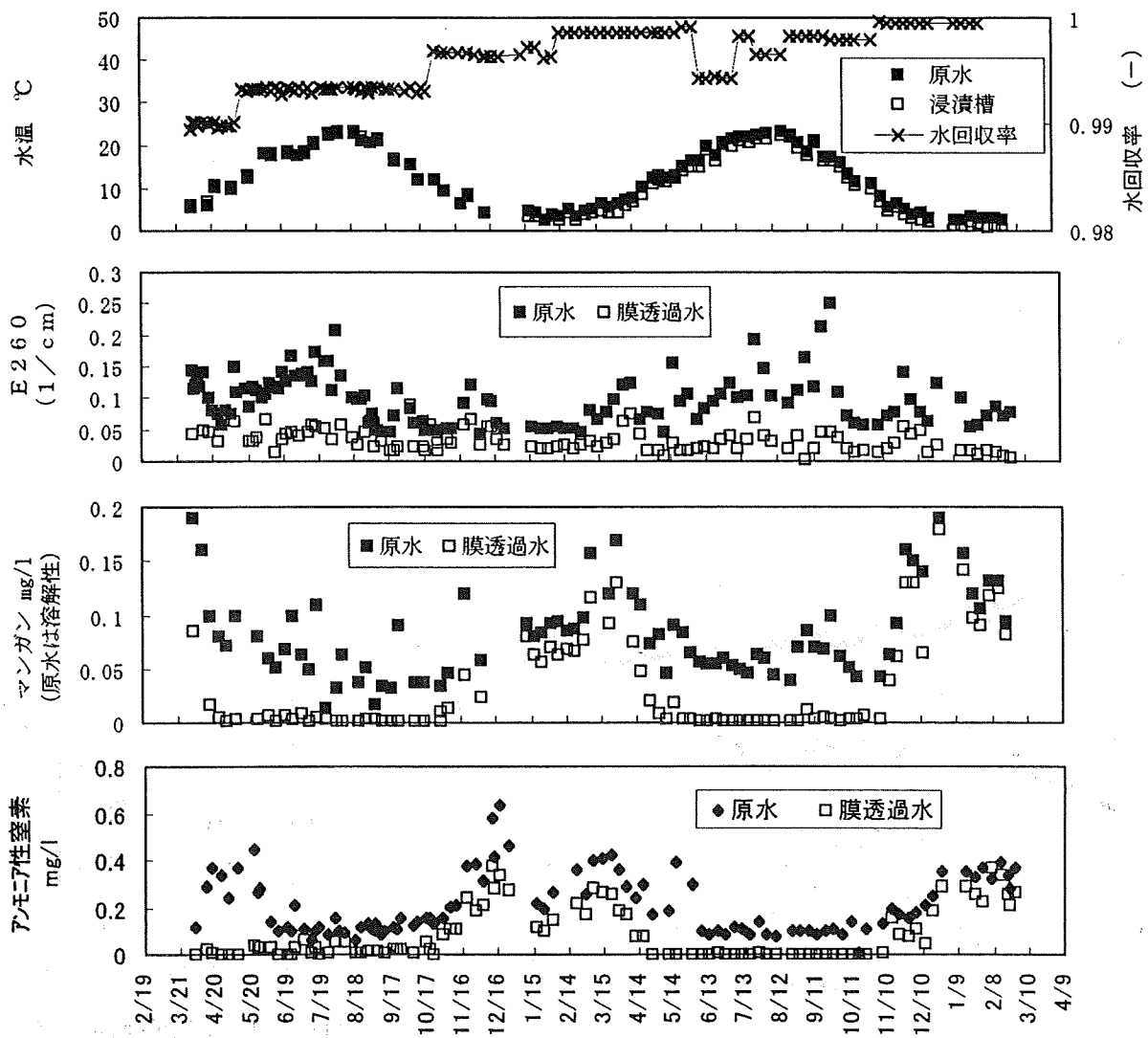


図3 ハイブリッド膜装置実験プラントで水質の経日変化

2. 給水管末端でのルーズ RO 膜処理に関する研究の経過報告

(1) 実験概要

給水管末端でのルーズ RO 処理として、水道水を原水として 2 インチの膜モジュールでの連続運転を実施している。実験設備のフローは図 4 に示すとおりである。膜は耐塩素性のあるポリエーテルスルホン系のもので、公称脱塩率 10%と 50%の 2 種類の膜を用いて運転を行っている。平成 12 年度は水回収率を変化させて膜の運転性についての検討を主に実施した。なお、膜はいずれも既に平成 8 年度から 4 ケ年間使用してきた膜モジュールである。

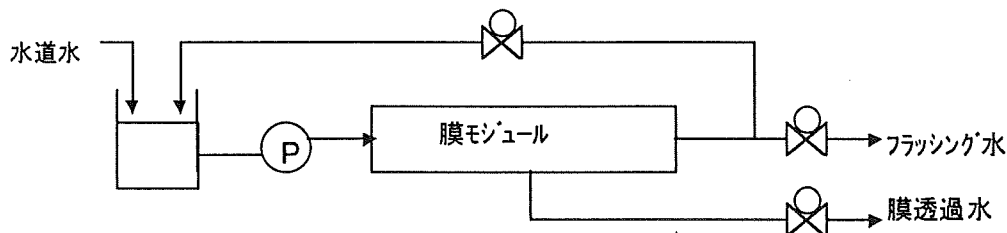


図 4 給水管末端でのルーズ RO 膜処理 実験設備フローシート (実験設備は 2 系列)

(2) 実験結果

各水回収率の時の膜ろ過圧の変化を示すと図 3 のとおりである。公称脱塩率 10%のルーズ RO 膜では回収率 95%の運転 (平均膜フラックス 0.40m/day) ではろ過の継続に伴い徐々に膜ろ過圧は上昇するが、回収率 70%の運転 (0.41m/day) ではほとんど膜ろ過圧の上昇がない運転が行える。公称脱塩率 50%のルーズ RO 膜では回収率 90%の運転 (平均膜フラックス 0.35m/day) と回収率 80%の運転 (0.33m/day) ではろ過の継続に伴い徐々に膜ろ過圧が上昇するが、回収率 50%の運転 (平均膜フラックス 0.30m/day) ではろ過圧の上昇は 180 日間の運転では観察されない。これらより、膜回収率を各々 70%、50%とする事で薬液洗浄頻度が非常に少ないルーズ RO 膜の運転が行えると考えられる。

またこの時の、処理性として TOC の除去率を示すと図 4 のとおりである。TOC 除去率は公称脱塩率 10%のルーズ RO 膜で約 10~15%、公称脱塩率 50%の膜で約 34~45%である。またいずれの膜でも、回収率が低くなると TOC 除去率が若干高くなる。

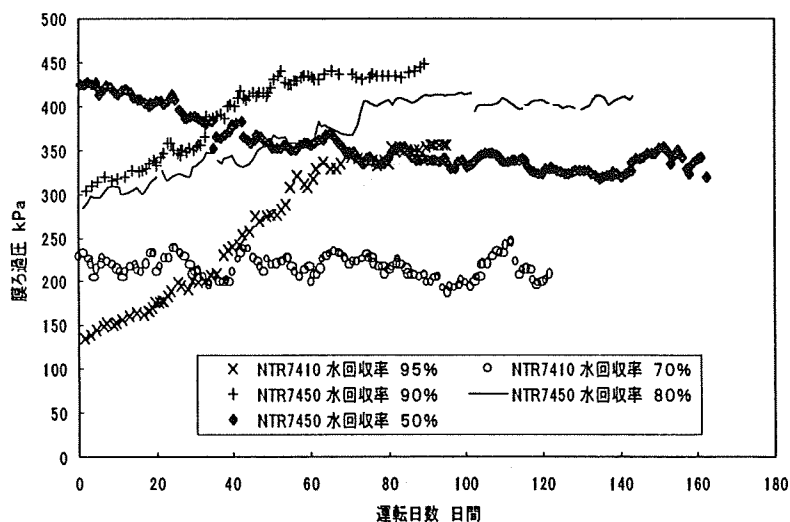


図 5 ルーズ RO 膜のろ過圧の変化

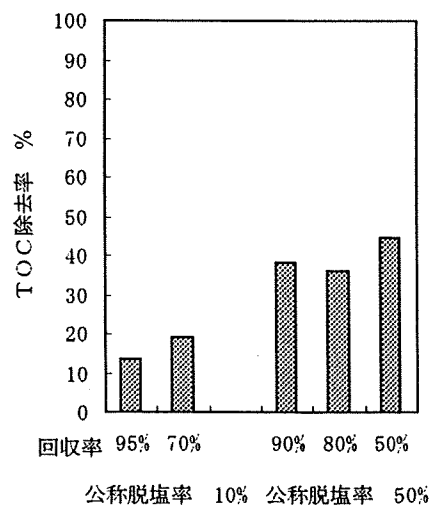


図 6 ルーズ RO 膜による TOC 除去性

ACT21 第3研究グループ
平成12年度 持ち込み研究報告書
高速繊維ろ過を前処理とした高効率 UF 膜浄水システムの開発

岐阜大学
住友重機械工業(株)

1 はじめに

膜ろ過は運転管理が比較的容易で濁質や細菌類を完全に除去できることから、浄水分野でも有効な処理として期待され、膜ろ過施設の稼働件数も増加している。しかし膜ろ過運転に関しては膜閉塞の問題があり、安定した運転を行い膜の長寿命化を図るためには膜閉塞への対策が重要である。これまでの研究では、濁質や有機物の多い原水を直接膜ろ過すると膜閉塞がおきやすく膜の薬品洗浄頻度や交換頻度に影響することが報告されており、安定運転するためには前処理で濁質や有機物等をある程度除去して膜の負荷を低減することが重要であると思われる。本試験では濁質と高分子有機物の除去を目的に凝集と高速繊維ろ過で前処理を行い、その効果の実証を行ってきた。以下に結果を報告する。

2 実験概要

2-1 実験期間：1999.9～2001.3

2-2 実験場所：岐阜県山之上浄水場

2-3 原水：飛騨川表流水

表1に原水の水質を示す。濁度は低い、色度は常に若干高い特徴がある。図1に原水の濁度と色度の相関を示す。濁度と色度の相関は小さく、低濁度でも色度は比較的高い。図2に色度とE260の相関を示す。色度とE260にはある程度の相関が見られることから、色度は河川水中のフミン質由来のものが多いと予想される。

表1 原水の水質 (全期間分析値)

項目	最小値	最大値	平均値
水温(°C)	4.3	25.0	16.0
pH(-)	6.9	7.6	7.4
アルカリ度(mg/l)	10.5	19.9	15.8
濁度(度)	0.6	25.0	3.9
色度(度)	2	14	5
過マンガン酸消費量(mg/l)	1.2	7.4	2.7
TOC(mg/l)	0.4	4.1	1.0
E260(5cmセル)	0.039	0.226	0.075
E390(5cmセル)	0.006	0.076	0.013

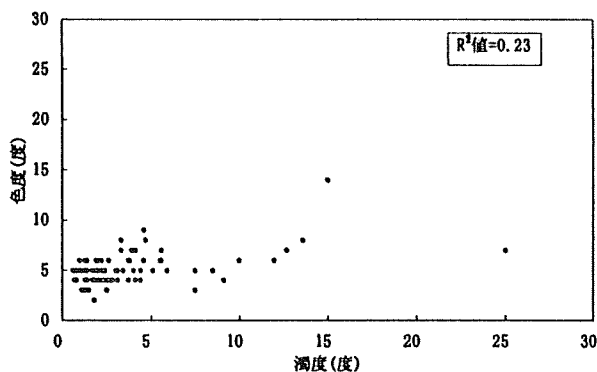


図1 濁度と色度の相関

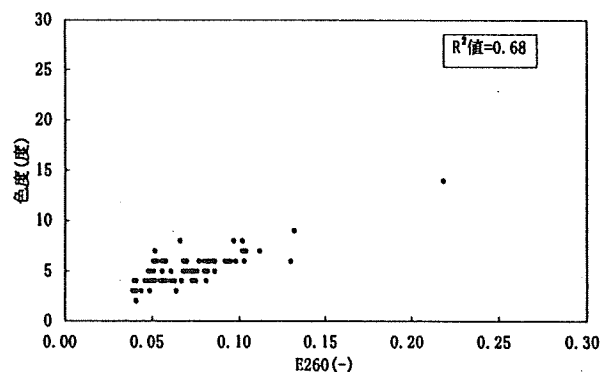


図2 E260(5cmセル値)と色度の相関

2-4 実験装置

図3に装置のフローを示す。また、表2に装置の仕様を、表3に装置の運転条件を示す。膜ろ過単独のA系列と高速繊維ろ過で前処理した後に膜ろ過するB系列について水質や膜閉塞の比較を行うことにより前処理の効果を検討した。膜の運転方法は比較のためA,B両系列とも同じ条件で運転したが、はじめの8ヶ月はクロスフローろ過を行い、その後両系列とも膜の薬品洗浄を行った後にデッドエンドろ過で運転を行った。過去に同浄水場で同じ膜を使用して行った研究の中で、膜ろ過流速 1.5m/d では膜単独での安定運転が難しいとの報告があるので膜ろ過流速は 1.3m/d で行った¹⁾。

また、デッドエンドろ過での比較試験で前処理の効果が確認された後、平成12年11月中旬からA系列も前処理を行った後に膜ろ過を行い（膜ろ過流束1.3m³/d）、その後平成13年1月中旬からはA系列の膜ろ過流束を2.2m³/dまで上げて運転を行った。それにあわせて前処理である繊維ろ過のろ過速度は720m³/dから1200m³/dに増加させて運転した。なお、前処理での塩鉄凝集はpH5.8付近に制御すると制御しない場合(pH6.2~7.0)より処理水質が向上したのでpHは5.8に制御した²⁾。

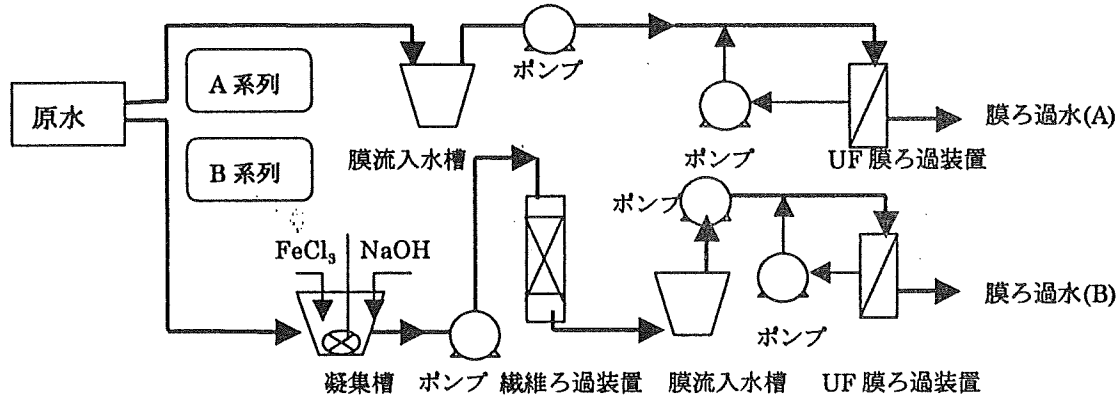


図3 実験装置のフロー

表2 実験装置の仕様

高速繊維ろ過	ろ材	長繊維ろ材
	材質	ポリプロピレン
	繊維径	約40μm
	繊維長	100cm
膜ろ過	種類	内圧式UF中空系
	材質	酢酸セルロース
	分画分子量	100,000Dalton
	膜面積	7.2m ²
	中空系内径	0.93mm
	モジュール長	130cm

表3 実験装置の運転条件

系列	処理水量	操作項目	操作条件
A	10m ³ /d	UF膜	ろ過方式 : クロスフローろ過(→全量ろ過) 膜ろ過流束: 1.3~2.2m ³ /d クロスフロー流速: 0~0.45m/s 流量制御 : 定流量制御 膜差圧 : 20~60kPa 逆洗頻度 : 1回/1h 逆洗水量 : 40 L/回
		凝集	凝集剤 : 塩化第2鉄 注入方式 : 層 急攪時間 : 15分
B	10m ³ /d	高速繊維ろ過	ろ過方式 : 下向流 ろ過速度 : 720m ³ /d(→1200m ³ /d) 逆洗方式 : 水・空気併洗+水洗逆洗 逆洗頻度 : 差圧20kPaで逆洗 逆洗水量 : 250 L/回
		UF膜	A系列と同じ

3 運転結果

3-1 高速繊維ろ過による濁度除去性

図4に高速繊維ろ過の運転結果を示す。H11年10月から1年半程度の連続運転を行ったが、原水濁度の変動、水温の変動にかかわらず濁度の除去は安定して行えた。これにより膜への濁質負荷は安定して低いレベルに抑えることができた。

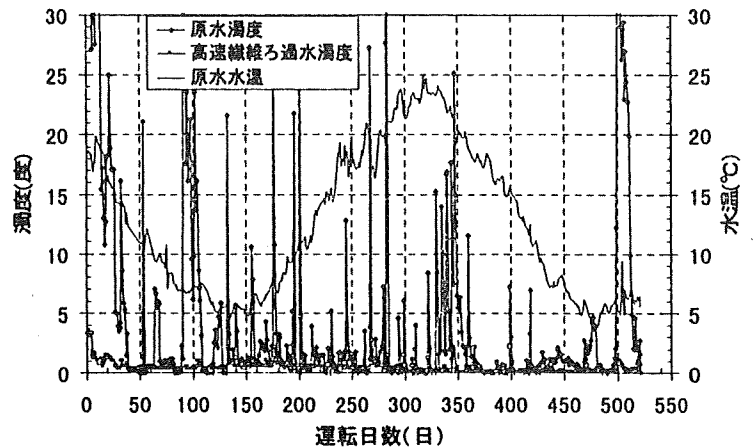


図4 前処理による濁質除去の結果

3-2 水質

表4に水質分析の結果を示す。前処理によって濁度のみならず、紫外吸光度やトリハロメタン生成能等の値も低減されることが確認された。フミン質等の有機物が除去されていると考えられる。

凝集剤として添加した鉄については凝集の状態にもよるが、凝集が良好な時には高速繊維ろ過水中の全鉄濃度は定量下限値未満であった。また、高速繊維ろ過水から鉄が検出された時でも膜ろ過水中の全鉄濃度は常に定量下限値未満であった。

図5にTOCとE260の相関図を、表5にTOC/E260の値の結果を示す。TOC/E260は有機物の分子量に相関のある値であり、この値が大きい水ほど高分子有機物の含有量が高い水であるといわれている²⁾。水質分析の結果では、TOC/E260の値は前処理を行ったB系列の方が膜ろ過単独のA系列の約半分になっていた。これは前処理で高分子有機物が除去されていることを示している。

表4 水質の結果

分析項目	膜原水A(原水)	膜ろ過水A	膜原水B(高速繊維ろ過水)	膜ろ過水B
濁度(度)	1.54	0.00	0.02	0.00
色度(度)	5	3	2	1
E260(5cmセル)	0.059	0.057	0.019	0.019
E390(5cmセル)	0.009	0.008	0.002	0.002
過マンガン酸消費量(mg/l)	2.1	1.6	0.9	0.7
TOC(mg/l)	0.5	0.5	0.4	0.4
THMFP(mg/l)	0.011	0.011	0.005	0.005
全鉄(mg/l)	0.04	0.02未満	0.03	0.02未満
全マンガン(mg/l)	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満

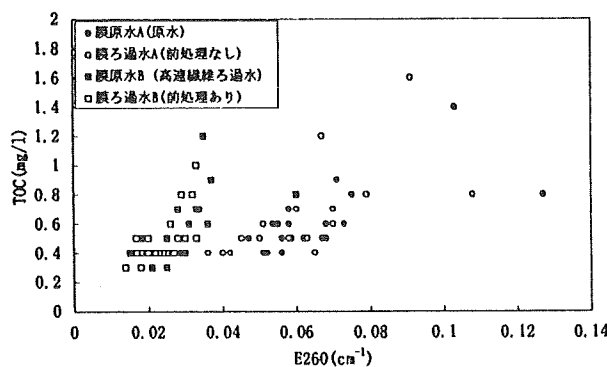


図5 TOCとE260の相関

表5 TOC/E260の結果

	最大値	最小値	平均値
膜原水A(原水)	68	31	46
膜ろ過水A(前処理なし)	103	31	55
膜原水B(高速繊維ろ過水)	171	60	98
膜ろ過水B(前処理あり)	152	74	104

3-3 分子量分布の測定

各系の原水と膜ろ過水について分子量分布をHPLCクロマトグラムで確認した。HPLCはLC-10AD(島津製作所)、充填カラムはGL-W520-X(日立製作所、長さ450mm、直径10.7mm)、分光光度計はSPD-10A(島津製作所)を使用した。移動相溶媒はリン酸緩衝液(0.02M- Na_2HPO_4 +0.02M- KH_2PO_4)を用い、流量0.5mL/minの条件で通水した。検量線の標準物質はポリエチレングリコールを用いた。図6に結果を示すが、保持時間30分辺りからいくつかのピークが現れたがそれぞれのピークが前処理でカットされていた。特に早く出現するピークは非常に良く除去されていることが確認された。

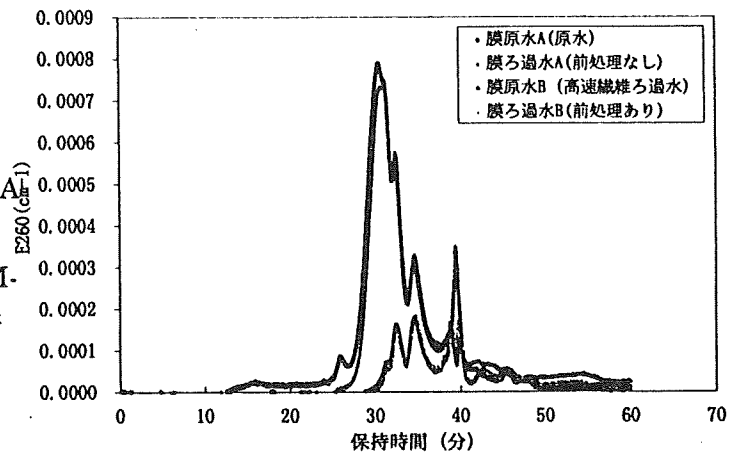


図6 原水と膜ろ過水の分子量分布

3-3 膜閉塞に対する安定性

3-3-1 クロスフローろ過運転の結果

図7、図8にクロスフローろ過での補正膜ろ過流束の結果を示す。膜ろ過単独のA系列では8ヶ月間連続運転を行い、前処理のあるB系列は前処理の特性調査実験の実施後、4ヶ月間の連続運転を行った。膜ろ過流束を1.3m/dにすると、循環流速0.45m/sのクロスフロー運転で両系列とも比較的安定した運転ができた。それでも前処理のあるB系列では補正膜ろ過流束は試験開始当初から高い値を安定して保ち、膜閉塞がほとんど進んでいないことが認められた。

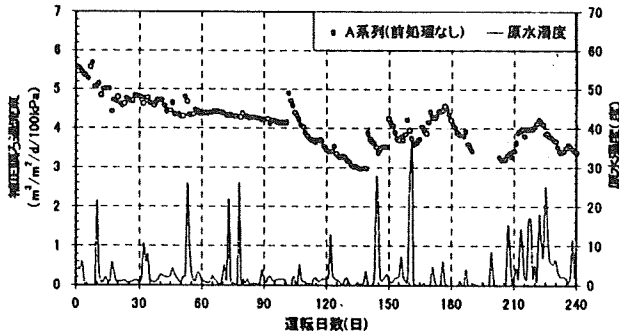


図7 補正膜ろ過流束の結果 (A系列)

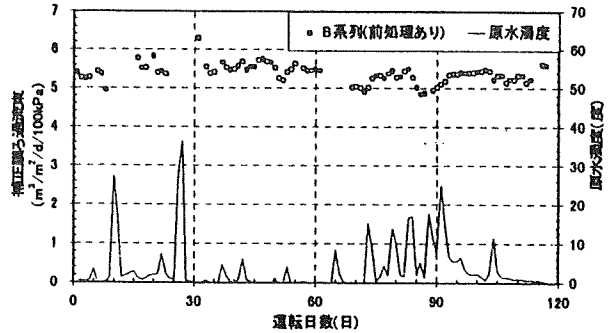


図8 補正膜ろ過流束の結果 (B系列)

3-3-2 デッドエンドろ過運転の結果

図9にデッドエンド膜ろ過運転の結果を示す。膜ろ過単独のA系列では約45日で薬品洗浄が必要なほど膜閉塞が進んだが、前処理を行ったB系列では約6カ月間ほとんど膜閉塞することなく安定していた。また、A系列でも閉塞した膜を薬品洗浄した後、前処理を行ってから膜ろ過するとB系列と同様に膜閉塞はほとんど進まなかった。100日目寄りからは、A系列の膜ろ過流束を2.2m/dに上げたが、冬季の低水温時にもかかわらず非常に安定した運転が行えた。

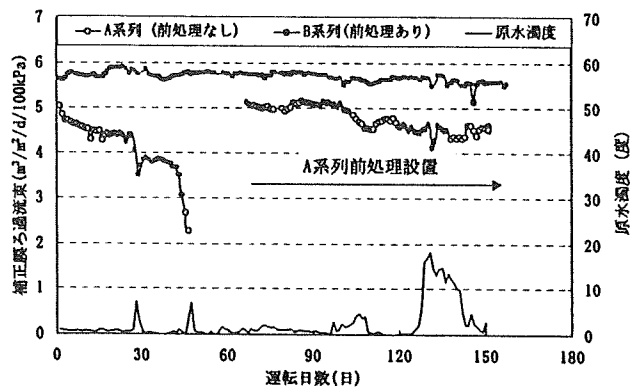


図9 補正膜ろ過流束の結果 (デッドエンドろ過)

4 まとめ

塩化第2鉄凝集と高速繊維ろ過による前処理を行うことにより、原水水質の変動にかかわらず濁質や高分子有機物の膜への負荷が低減され、その結果デッドエンドろ過でしかも高い膜ろ過流束という高効率システムとして長期安定運転が可能となることが示された。膜ろ過水の水質も色度や有機物の低い良好な水質となり水質的にも有効であった。

<参考文献>

- 1)伊藤健造他「内圧中空糸UF膜の閉塞に及ぼすクロスフロー流速の影響」
第50回全国水道研究発表会
- 2)真鍋教市他「高速繊維ろ過を前処理とした高効率UF膜浄水システムの開発」
ACT21 中間報告書(平成18年1月)
- 3)峰岸進一他「中空糸UF膜の全量ろ過試験における膜ファウリングの解析」
水道協会雑誌 第69巻 第3号

「高効率浄水技術開発研究」
第3研究グループ持ち込み研究
平成12年度成果報告書

平成13年3月
株式会社 石垣

1. 研究テーマ

効率的な前処理技術の開発に関する研究

2. 実験目的

有機物等で原水の汚染が進んでいる浄水場では前処理や高度処理の導入を検討しているところが多い。新たに膜ろ過法を計画する場合には汚濁物質による膜の早期目詰まりが懸念されるため、目詰まり起因物質を前処理で除去し、膜ろ過への負荷を軽減し、運転の長期安定化をはかることが検討されている。

そこで本研究では、繊維ろ材による高速ろ過装置と膜ろ過装置を組み合わせた浄水システムを用いて、高速ろ過装置による汚濁物質の除去性と膜ろ過への影響を調査することを目的として、実証実験を実施している。

3. 実験概要

3-1 実験場所

福岡市 番托取水場

3-2 実験期間

平成11年11月～平成13年3月（予定）

3-3 実験フロー

実験装置の処理フローを図1に示す。供試原水は番托取水場で取水され除塵機を通過した河川表流水を用いている。

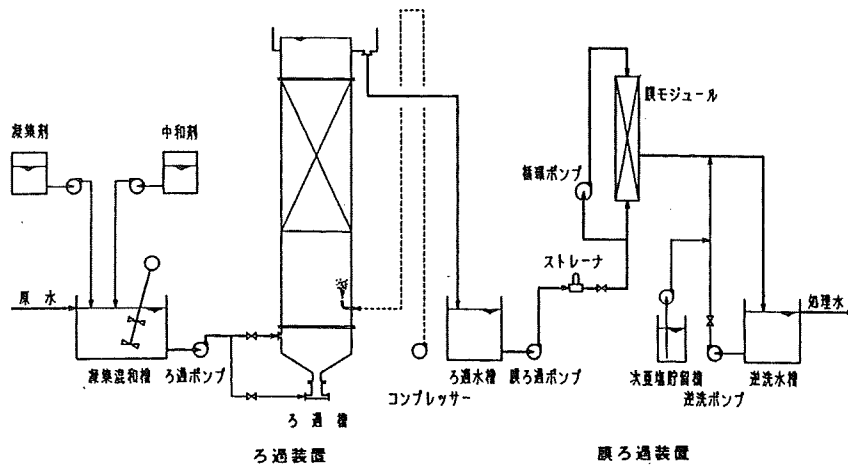


図1 実験フロー

3-4 実験装置

(1) 高速ろ過装置

ろ過方式	上向流
ろ材形式	浮上性繊維ろ材
ろ過面積	0.28 m ²

(2) 膜ろ過装置

膜型式	内圧型中空糸限外ろ過膜
膜材質	セルロース系化合物
分画分子量	100,000
ろ過面積	7.2m ²
ろ過方式	全量・クロスフロー自動切替

4. 実験結果

4-1 原水性状

原水の実験値で代表的な項目を表1に示す。濁度、色度、一般細菌、有機物の他に微量の鉄、マンガンが除去が必要である。

濁度は降雨時には150度を超える場合もあった。

表1 原水水質分析値 (H11/12/10~H13/1/16, N=29)

項目	単位	最大値	最小値	平均値
一般細菌	個/ml	24000	160	1856
大腸菌群	-	検出	検出	検出
pH値	-	8.2	6.7	7.4
色度	度	15	3	8.0
濁度	度	52.5	2.9	10.7
アンモニア性窒素	mg/l	0.34	<0.02	0.07
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素	mg/l	1.03	0.29	0.72
鉄	mg/l	1.41	0.09	0.42
マンガン	mg/l	0.33	0.01	0.07
有機物等(過マンガン酸カリウム消費量)	mg/l	11.4	4.1	7.3
TOC	mg/l	3.4	0.8	1.7
E260 (50mmt/l)	-	0.41	0.13	0.22

TOCとE260のとの関係では、他の水道水源と比べ同じTOCにおけるE260がやや大きく、直接膜ろ過すると早期に目詰まりしやすい原水と考えられる。

藻類は冬季に少なく、春から夏にかけて増加した。4月は珪藻類(優占種はCyclotella pseudostelligeraやStephanodiscus hantzschii等)と緑藻類(優占種はMicroactinium pusillum)が大半を占め、6月は珪藻類(優占種はCyclotella pseudostelligera)だけで80%近くを占めていた。8月は珪藻類(優占種はCyclotella pseudostelligeraやCyclotella atoms)だけで90%以上を占めていた。

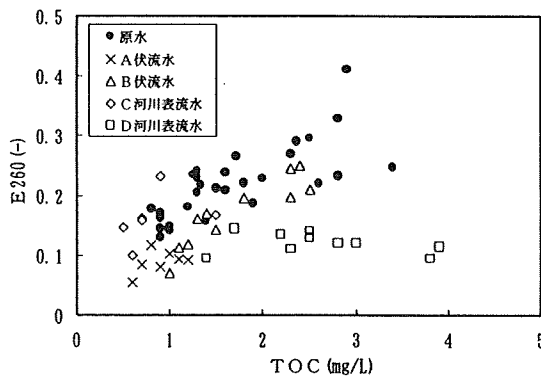


図2 原水のTOCとE260

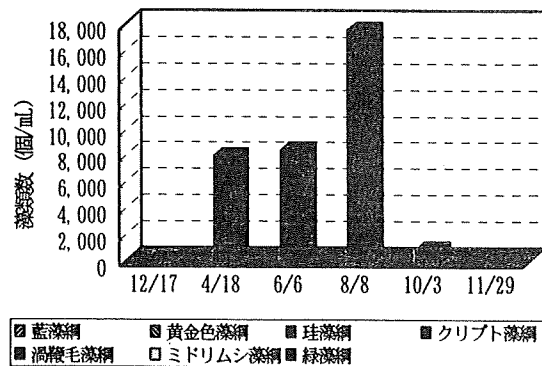


図3 藻類調査結果 (H11/12~H12/11)

4.2 運転条件

平成11年12月より実験を開始し、当初は適切な運転条件を把握するために、高速ろ過ではPAC添加と無添加について、ろ過速度を変化させて検討した。同時に、膜ろ過の運転条件も検討した。

高速ろ過でのPAC添加が膜ろ過への負荷軽減と、膜の目詰まり防止に効果があることが図4で分かった。また、濁度、色度、有機物等の除去率が向上することが図5で確認された。なお、高速ろ過および膜ろ過での全除去率では、高速ろ過の条件変化による大きな差はなかった。

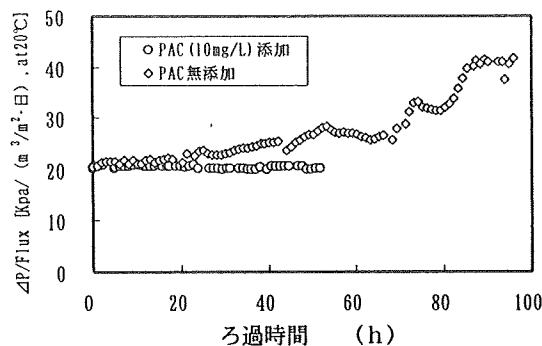


図4 前処理の違いによる膜ろ過運転

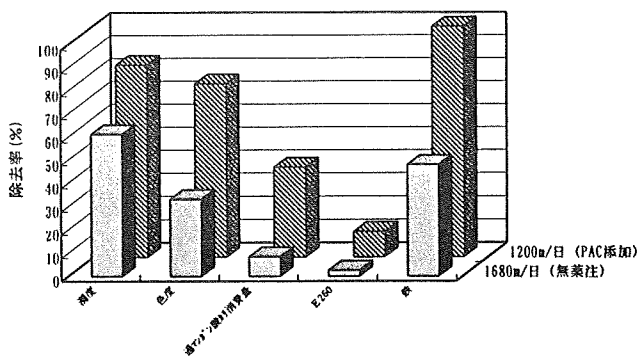


図5 高速ろ過の除去率の比較

以上の結果をふまえ、以下の条件で連続実験を開始した。

【連続実験条件】

実験期間	平成12年2月～平成13年1月
高速ろ過	
ろ過速度	1200m/日
PAC添加率	AL/T=0.02～0.05 (濁度10～50度)
膜ろ過	
Flux	1 m ³ /m ² ・日

4.3 連続運転での処理性能

連続実験における代表的な水質項目の分析値の平均値とその除去率を表2に示す。

表2 主要水質分析結果 (H12/2/15～H13/1/16, N=21)

項目	原水	ろ過水	膜ろ過水
一般細菌 個/ml	971	316 (67.4%)	0 (100%)
pH 値	7.4	7.4 (-)	7.4 (-)
色度 度	9.0	5.1 (42.6%)	1.2 (86.8%)
濁度 度	10.2	2.0 (80.9%)	0 (100%)
アンモニア性窒素 mg/l	0.05	0.03 (50.4%)	0.02 (68.4%)
硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素 mg/l	0.72	0.74 (-2.4%)	0.76 (-4.9%)
鉄 mg/l	0.386	0.088 (77.3%)	0 (100%)
マンガン mg/l	0.077	0.024 (69.2%)	0.011 (85.5%)
有機物等(過マンガン酸カリウム消費量) mg/l	7.7	4.6 (40.5%)	3.6 (53.3%)
TOC mg/l	1.8	1.2 (29.5%)	1.1 (39.0%)
E260 (50mmt/l)	0.220	0.135 (38.5%)	0.121 (44.8%)

() 内の数値は原水に対する除去率を示す。

高速ろ過での除去率は濁度、鉄が約 80%、マンガン、一般細菌が約 70%、色度が約 40%、TOC が約 30% であり、前処理として十分効果があった。膜ろ過後では濁度、鉄、一般細菌が約 100%、マンガン、色度が約 85%、TOC が約 40% の除去率で、いずれの項目も水道水質基準を満足していた。

また、図 6 に示すとおり高速ろ過で TOC が 2 mg/L 以下、E260 がほぼ 0.25 以下となり、膜ろ過への有機物負荷が軽減されていることが確認された。さらに膜ろ過では E260 が 0.2 以下となった。

原水の藻類が 4、6 月は約 8000 個/ml、8 月では 18000 個/ml あったが、高速ろ過でいずれも 1500 個/ml 以下と膜ろ過への負荷軽減が確認できた。なお、膜ろ過では完全に除去された。

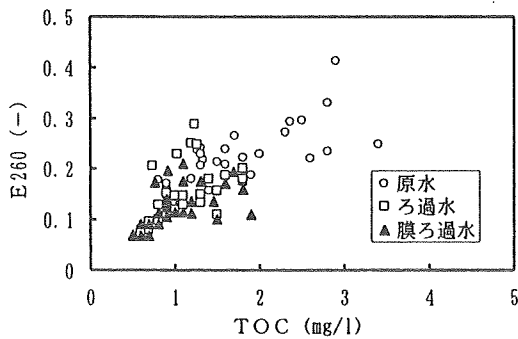


図 6 TOC と E260 の変化

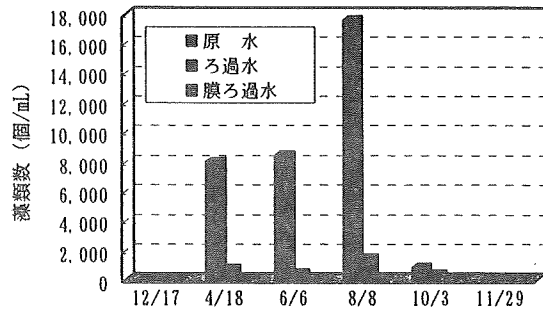


図 7 藻類の除去性 (H11/12~H12/11)

2 月上旬から連続実験を実施したが、その時の水温と運転経過を図 8 に示す。

途中補正 Flux が変動したが、クロスフロー流速等の運転条件を修正することで、約 1 年間薬品洗浄を行わずに安定した膜ろ過運転が継続できることを確認できた。

また、高速ろ過による前処理が膜ろ過の運転に対し十分効果があることが分かった。

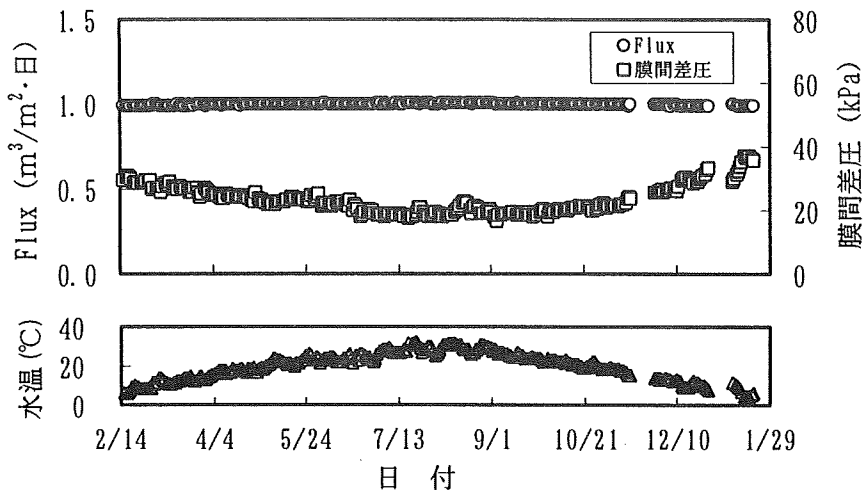


図 8 水温と膜ろ過の運転経過 (H12/2/15~H13/1/20)

5. まとめ

有機物がやや多い原水に対し繊維ろ材を用いた高速ろ過による前処理とセルロース系中空糸限ろ過膜を用いた膜ろ過を組み合わせた浄水システムで、前処理で PAC を併用すると膜ろ過の負荷をより軽減でき、膜ろ過では Flux $1 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{日}$ で安定した運転が継続できることが確認できた。

6. 今後の予定

現在、実証実験は前処理を「繊維状ろ材による生物ろ過」に切り替えて継続中である。

ACT第3研究グループ

平成12年度持ち込み研究報告書

中大規模浄水場へのセラミック膜の適用研究

平成13年3月

会社名：日本ガイシ（株）

担当者氏名：青木伸浩

所属部課名：エンジニアリング事業本部

開発部水処理開発G

1, 研究テーマ

中大規模浄水場へのセラミック膜の適用研究

2, 実験目的

膜ろ過技術を中大規模浄水場へ適用する場合、多様な水源水質への対応が必要となる。有機物のより高度な除去、省動力性、安定運転性、排水処理性等も含めた総合的な浄水システムとしての維持管理性やさらには、膜交換に伴う廃棄物問題など、検証すべき課題が残されている。

本研究では、小規模浄水場で実績をあげつつあるセラミック膜ろ過の技術拡充及び、大型セラミック膜の適用性評価を行い、設計、維持管理上の留意点について、明らかにする。また、汚濁水源にも対応できる前処理、薬品洗浄を含む膜回復操作方法の検討、実証等を行う。

3, 実験期間

平成12年4月～平成14年3月

4, 実験場所

愛知県企業庁 尾張西部浄水場内

5, 実験装置

1) 実験装置フロー

処理フローを図-1に示す。

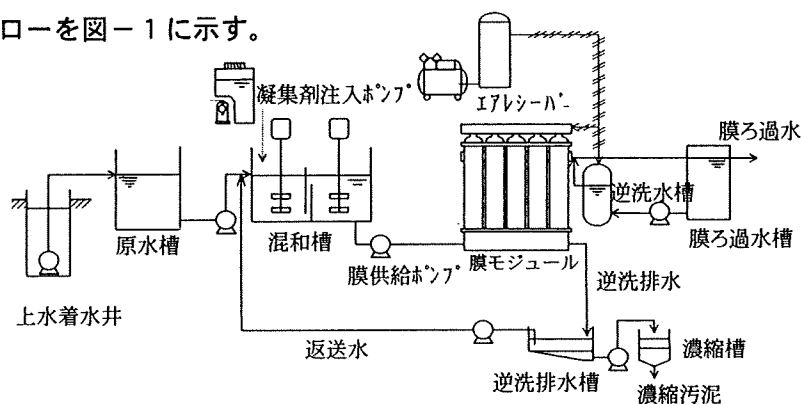


図-1 処理フロー

2) 使用セラミック膜

本研究で使用するセラミック膜は、小規模浄水場にて実用化している小型セラミック膜（外径φ30mm）と大型セラミック膜（外径φ180mm）の二種類使用する。仕様を表-1に示す。

表-1 セラミック膜仕様

項目	小型セラミック膜	大型セラミック膜
材質/構造	セラミック/内圧式モノリス	
外径/長さ	φ30mm×1000mm	φ180mm×1000mm
公称孔径	0.1 μm	
セル径	φ2.5 mm	
膜面積	0.48 m ² /本	1.5 m ² /本

3) 実験装置概要

実験装置は、4系列1基、2系列2基の合計8系列、3基設置し、研究目的に応じ使用した。装置概要を表-2に示す。

表-2 実験装置概略

	膜エレメント	エレメント数	系列数	備考
小型セラミック膜実験設備	小型セラミック膜	1~4本	4系列	要素技術の検討に使用
中型セラミック膜実験設備	大型セラミック膜	1本	2系列	要素技術の検討に使用
大型セラミック膜実験設備	大型セラミック膜	5本	2系列	連続ろ過実験に使用

6, 実験結果

1) 次亜添加逆洗の検討

物理洗浄である逆洗時の膜回復効果をもとめるため、逆洗水に次亜塩素酸ナトリウムを添加し、効果の評価を行った。逆洗は、次亜塩素酸を添加した逆洗水を2次側から、1次側に通水後、逆洗操作を停止し、次亜塩素酸水を閉塞膜面に十分接触させた後、次亜塩素酸を添加していない逆洗水にて、再度逆洗する方法にて行った。

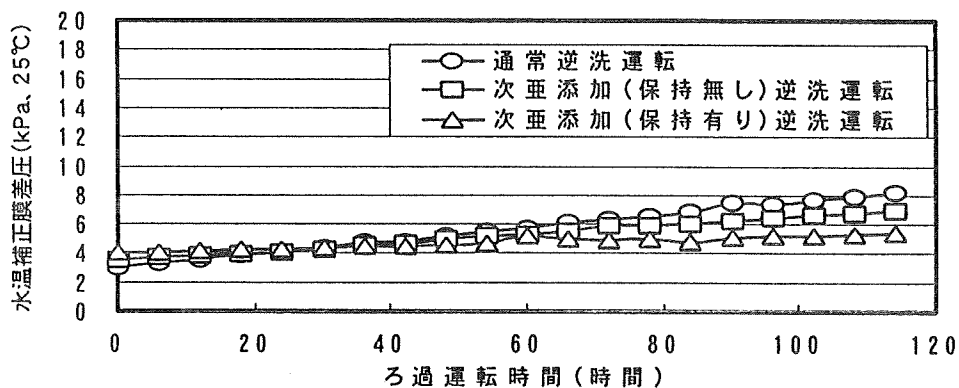


図-2 次亜添加逆洗の効果確認実験

次亜塩素酸を添加し、接触させる時間(保持時間)を設けることにより、より効果的に逆洗を行う事ができる事を確認できた。

2) 薬品洗浄条件の検討

確実な洗浄性の確保と洗浄負荷軽減を目的に、薬品洗浄時の温度、洗浄方法等について検討を行った。

① 洗浄温度の検討

洗浄水温を4~40℃とし、洗浄回復性に及ぼす洗浄温度の影響を評価した。

洗浄水温が高くなると洗浄後の補正流束が高くなり回復性は向上したが、25℃以上では、回復効果の向上は小さく、25℃程度の水温で十分な回復できる事がわかった。

②洗浄方法の検討

洗浄薬液量の削減を目的に薬品洗浄時、ろ過水側を加圧空気で満たし、原水側のみ薬液を循環させる2次側加圧循環法と、従来法であるクロスフロー洗浄法との比較を行い、同等の洗浄効果が確認できた。本法により、薬品使用量を従来 $1/2$ にする事ができた。

3) 連続運転試験

平成13年11月より、大型セラミック膜実験設備にて、連続ろ過実験を開始した。運転条件は、凝集剤(ポリ塩化アルミニウム)添加率20mg/l、膜ろ過流束2m³/日、ろ過時間6時間、次亜添加逆洗適用し運転を行っている。膜ろ過差圧を図-3に示す。

安定した膜ろ過運転が行えており、次亜添加逆洗の適用により膜ろ過差圧の上昇も抑えられた。

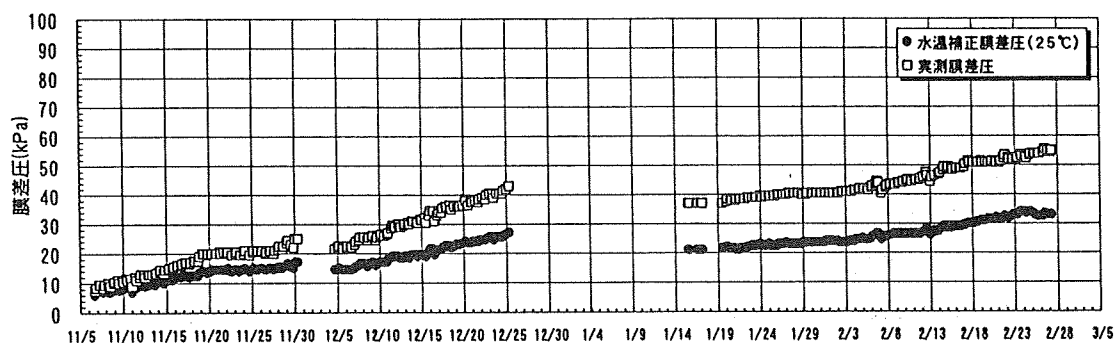


図-3 連続運転結果

連続運転時の原水及び膜ろ過水の水質試験結果を表-3に示す。

表-3 水質試験結果

	単位	原水			膜ろ過水		
		最大値	最小値	平均	最大値	最小値	平均
pH	at 20℃	7.42	6.68	7.094	7.2	6.66	6.952
濁度	度	16.5	1.4	5.42	<0.1	<0.1	<0.1
色度	度	5.4	2.4	3.38	0.7	0.5	0.58
有機物等	mg/L	6.4	3.6	4.42	2.6	2.2	2.38
T-Fe	mg/L	0.72	0.1	0.254	<0.01	<0.01	<0.01
S-Fe	mg/L	0.06	0.03	0.042	<0.01	<0.01	<0.01
T-Mn	mg/L	0.034	0.011	0.0174	0.011	<0.005	0.0076
S-Mn	mg/L	0.008	<0.005	0.0058	0.011	<0.005	0.0076
T-AL	mg/L	0.21	0.06	0.118	0.02	0.01	0.018
S-AL	mg/L	0.05	<0.01	0.03	0.01	<0.01	0.01
E260	-	0.176	0.086	0.1214	0.049	0.039	0.043
大腸菌群数	個/100ml	310	23	124.6	<1	<1	<1

濁質、大腸菌の除去は問題なく行われており、凝集前処理を併用することにより、有機物、色度等の溶解性成分も除去が可能であった。また、凝集剤（ホリ塩化アルミニウム）の添加による、膜ろ過水中のアルミニウム濃度の増加は認められなかった。

4) 使用済み膜素材からの資源回収

近年、廃棄物の減量が注目されており、製造プロセスより発生する廃棄物の減量、リサイクルが重要な課題である。膜ろ過浄水システムでは、膜交換時に発生する使用済み膜エレメントの処理処分が問題となる。

本研究で使用するセラミック膜は、膜材質がセラミックであるため、材質による分別の必要がなく、粉碎すれば窯業原料として、再利用が可能であり、リサイクルは容易であると考えられる。

使用済みのセラミック膜エレメントの粉碎試験を行った結果、粉碎性は良好であった。再利用用途先については、今後詳細に調査を実施する。

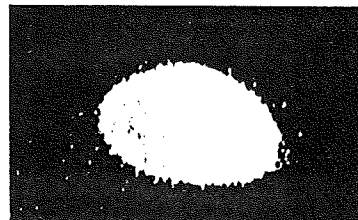


図-4 微粉碎物写真

7, まとめ

<洗浄回復法の検討>

- ・逆圧洗浄時に次亜塩素酸を添加、保持することにより、膜回復効果をも高める事ができ、膜の閉塞進行を抑制することができた。
- ・薬品洗浄時の洗浄温度として、26℃以上にて十分に回復させることを確認。
- ・2次側加圧循環法による薬品洗浄にて、使用薬液量を1/2に減量。

<連続運転試験>

- ・膜ろ過流速2m/日、次亜添加逆洗適用により膜閉塞を抑制し、長期安定運転が可能。

<使用済み膜素材からの資源回収>

- ・粉碎試験を行い、良好に粉碎性する事ができ、セラミック材料としての再利用の可能性を確認できた。

8, 今後の予定

要素技術として、凝集処理、活性炭処理等の前処理方法、洗浄回復技術の検討を進めると共に、連続運転試験において、長期安定運転性を検証する。また、排水の処理、再利用の検討、維持管理性等の評価を行う予定である。また、使用済み膜素材からの資源回収の詳細検討も平行して実施する。

ACT21 持ち込み研究 第3グループ
平成12年度中間報告

研究テーマ：

中大規模向け浸漬型膜ろ過技術の研究

2001年3月

神鋼パンテック株式会社

前澤工業株式会社

1. はじめに

既に実用化されている浄水用膜ろ過技術には、中大規模向けのろ過処理を行うためのシステム構成、運転方法などに関する検討が課題として残されている。中大規模向けの膜ろ過施設の導入にあたって、投資コストの低減や薬品洗浄の省力化などの課題が上げられている。投資コストの低減には、スケールアップ容易な膜装置形状、シンプルなシステム構成などが要求される。浸漬型膜ろ過技術は、圧力容器を必要とせず、従来の加圧型膜ろ過システムになかったスケールアップのメリットがあり、また装置構成がシンプルであるため、中大規模向けに適した膜処理技術として注目されている。しかし、今までの浸漬型膜ろ過システムは、高い水回収率と少ない薬品洗浄頻度で安定した運転を行うために、低い設定フラックスで運転せざるを得ないのが現状であり、充分にそのメリットが発揮されていない。したがって、高フラックス浸漬型膜ろ過技術に関する研究を行う必要があると考えられる。また、薬品洗浄の省力化を図るため、今まで少ない薬品洗浄頻度の考え方により、膜ファウリングを抑制する適切な前処理技術に着目した研究開発が多かった。少ない薬品洗浄頻度が望ましいが、省力化されたオンサイト自動薬品洗浄技術の確立も重要であることが考えられる。

本研究では、浸漬型膜ろ過システムの高フラックスの維持を目的とした運転方法の最適化、適切なオンサイト薬品洗浄技術などについて、プラント実証実験により検討する。本報告では、この数ヶ月で検討した中間結果を簡単にまとめる。

2. 実験概要

浸漬型膜ろ過装置を北千葉取水場内に設置し、利根川水系の江戸川表流水を実験原水としたろ過実験を行った。図-1にそのフローを示す。北千葉取水場内沈砂池からの実験原水を0.25mmのストレーナにより粗大懸濁成分を取り除いた後、浸漬槽内に送り、吸引ポンプにより外圧全量の膜ろ過を行う。本持ち込み実験用の膜モジュールの主な仕様を表-1に示す。浸漬槽内に装着する膜は膜面積 32.6m^2 の膜モジュールを4本組み合わせたもの（サブマニホールド）であり、公称孔径 0.1μ のPVDF製膜と 0.2μ のPP製膜をそれぞれ使用する。物理洗浄に関しては、モジュール下からのバブリングと逆流洗浄を併

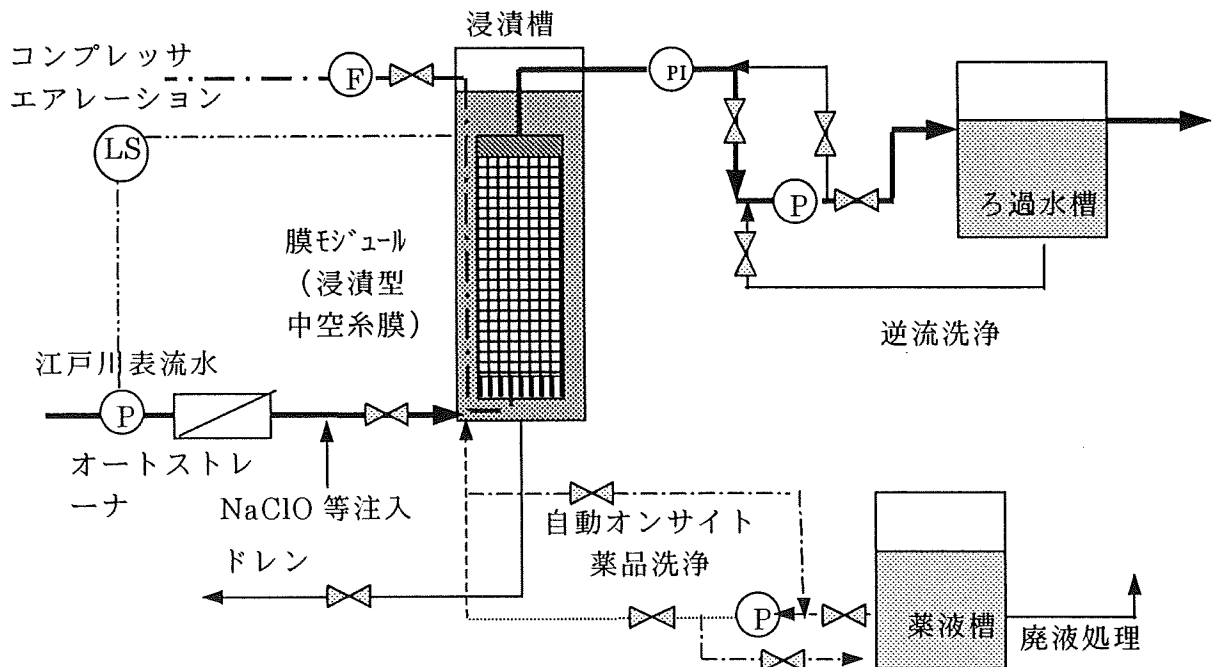


図-1 浸漬型膜装置フロー

用する。洗浄時のモジュールあたりのエア流量と逆洗水流量はそれぞれ 10Nm³/h と 2m³/h である。水回収率を 95%になるように、物理洗浄の間隔とドレンダウンのタイミングを設定する。また、薬品洗浄に関しては、酸洗浄用タンクと次亜/アルカリ洗浄用タンクを設置し、オンサイトの自動薬品洗浄システムを使用する。

表 1 膜モジュールの仕様

膜形状	外圧式中空系 (US フィルター社製)	
膜材質	PVDF (ポリフッ化ビニリデン)	PP (ポリプロピレン)
公称孔径	0.1 μm	0.2 μm
膜モジュール形状	膜モジュール: φ13cm×120cm サブモジュール: 35cm×35cm×135cm	
公称膜面積	膜面積 32.6m ² 膜モジュール×4本=130.4m ²	
ろ過方式	浸漬型吸引方式	
逆洗方法	バブリングと水逆洗	
予想処理水量	60~130 m ³ /day	

表 2 実験期間中の江戸川表流水水質

水質項目	単位	平均値	最大値	最小値
濁度	度	26.2	217	4.4
鉄	mg/L	0.39	1.17	0.03
マンガン	mg/L	0.056	0.179	0.01
TOC	mg/L	3.0	7.1	1.4
DOC	mg/L	1.9	2.8	1.3
E260	1/cm	0.028	0.044	0.019
色度	度	6	17	3
THMFP	mg/L	0.041	0.073	0.026
KMnO ₄ 消費量	mg/L	7.8	24.7	3.4
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0.11	0.38	0.01

プラント実験は平成 12 年 9 月から開始し、平成 12 年 11 月までの 3 ヶ月間は PVDF 膜を用いた実験を、平成 13 年 1 月からは PP 膜を用いた実験を行った。PVDF 膜ろ過実験では、前塩素注入の RUN1 と、塩素浸漬洗浄の RUN2 をそれぞれ行った。RUN1 では、1ppm (有効遊離塩素計) の次亜塩素酸ナトリウムを注入し、フラックスを 0.5 と 0.7m/day に設定した。RUN2 では、1 日に 1 回、浸漬槽内に 200~500ppm の次亜塩素酸ナトリウム溶液を入れた 20 分間の塩素浸漬洗浄を行い、フラックスを 0.7、1.0m/day に設定した。また、PP 膜を用いた RUN3 では、フラックスを 0.5m/day に設定して、ろ過実験を行っている。

実験原水の江戸川表流水の主な水質を表-2 にまとめた。濁度は 5~217 度の間で大きく変動し、平均で 36 度程度であった。鉄・マンガン、溶解性有機成分は比較的到低く、アンモニア性窒素は水温が高い時期に低いが、冬場に向けて高くなる傾向であった。

3 実験結果

3.1 PVDF 膜ろ過実験結果

バイオフィアリングを抑制するため、前塩素注入を実施した RUN1 の膜間差圧の経時変化を図-2 に示す。フラックス 0.5m/day と 0.7m/day のろ過期間における原水の平均濁度はそれぞれ約 43 度と 25 度で、100 度を越えた時期もあった。図-2 より、フラックスを 0.5m/day に設定した PVDF 膜ろ過では、原水濁度は 0.7m/day の膜ろ過の際より高かったが、膜間差圧の上昇は 0.7m/day の膜ろ過の際より緩やかであった。設定フラックス 0.5 と 0.7m/day に対し、単位面積あたりの膜で単位体積の透過水を得る際、発現したろ過抵

抗はそれぞれ $2.7 \times 10^{11} \text{m}^{-2}$ と $13.7 \times 10^{11} \text{m}^{-2}$ となり、設定フラックスが高いほど、膜ファウリングの進行が速いことが分かる。また、前塩素注入の場合、① 設定フラックス 0.5m/day であれば、安定な運転ができるが、高フラックス運転が困難であること、② 前塩素注入による消毒副生成物の生成が避けられないことなど、いくつかの問題点があると考えられる。

前塩素の代わりに、1日に1回の次亜溶液浸漬洗浄を実施した RUN2 の膜間差圧の経時変化を図-3 に示す。フラックス 0.7 と 1.0m/day の膜ろ過期間の平均濁度は、それぞれ約 25 、 56 度であった。図-3 より、フラックスを 0.7m/day に設定したろ過では、約2週間を経過した後、膜間差圧が $70 \sim 80 \text{kPa}$ となったが、 1.0m/day のろ過では約1週間を経過した時点で膜間差圧が $70 \sim 80 \text{kPa}$ となった。設定フラックス 0.7 と 1.0m/day に対し、単位面積あたりの膜で単位体積の透過水を得る際、発現したろ過抵抗はそれぞれ $7.2 \times 10^{11} \text{m}^{-2}$ と $8.6 \times 10^{11} \text{m}^{-2}$ となり、フラックスが高いほど、膜ファウリングの進行が速いことが分かる。フラックスを 0.7m/day に設定したろ過では、ろ過抵抗は上記の前塩素注入に比べ小さくなり、膜ファウリングの発現が比較的抑制できた。これらの結果から、高フラックス運転の場合、前塩素注入よりも、塩素浸漬洗浄の運転方法が効果的であると考えられる。

オンサイト自動薬品洗浄システムにより、次亜を用いた薬品洗浄を実施した。次亜洗浄では、膜に付着した鉄・マンガンなどの金属成分が溶け出したが、膜のろ過性能はほとんど回復できなかった。しかし、次亜洗浄により、膜に付着した有機成分が除去され、膜ろ過性能は新品膜とほぼ同程度まで回復できた。これらの結果から、膜ファウリングは主に有機成分に起因するものと推察できる。また、次亜廃液の再利用、及び次亜洗浄廃液に適量の次亜原液を補充したうえでの再利用では、新しく調整した次亜溶液、次亜溶液に劣らない洗浄効果があることなども確認された。

膜ろ過水質を表-3 にまとめた。一般細菌や大腸菌を含む懸濁成分は、膜ろ過によりほ

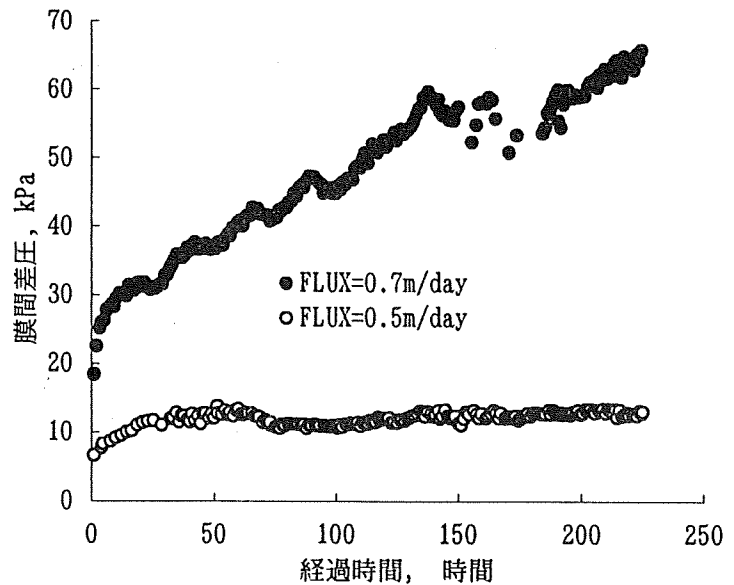


図-2 RUN1のPVDF膜の膜間差圧の推移 (1ppmの前塩素添加)

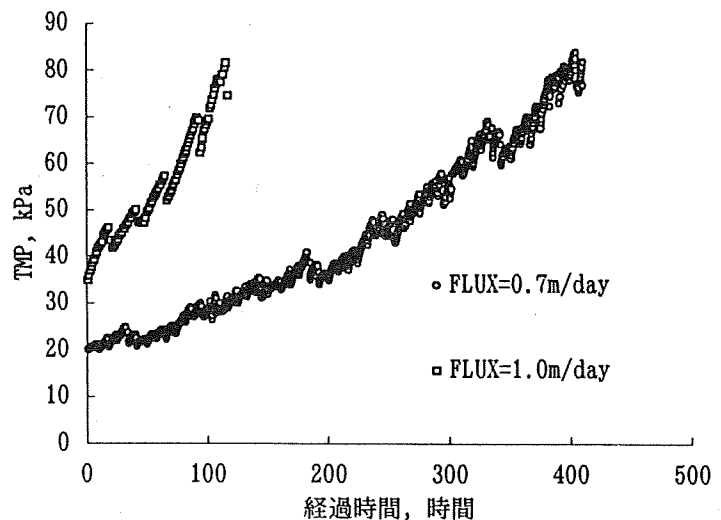


図-3 RUN2のPVDF膜の膜間差圧の推移 (200~500ppmの塩素溶液浸漬洗浄)

ほぼ完全に除去されたのに対し、溶解性有機成分は膜ろ過による除去が困難である。また、原水水温が高い時期において、鉄・マンガンは主に懸濁態で存在したため、膜ろ過では高い除去率が得られた。冬場に向けて溶解性のマンガンの濃度は上昇する傾向があり、その除去率が低下した。

表3 PVDF膜ろ過の処理水水質

水質項目	単位	水質		
		平均値 (平均除去率)	最小値	最大値
濁度	度	0.00 (100%)	0.00	0.00
鉄	mg/L	<0.03 (~100%)	<0.03	<0.03
マンガン	mg/L	0.014(75%)	0.000	0.023
TOC	mg/L	1.9(40%)	1.1	3.0
E260	1/cm	0.026(35%)	0.013	0.039
色度	度	2(70%)	1	3
THMFP	mg/L	0.031(29%)	0.022	0.048
KMnO ₄ 消費量	mg/L	2.7(64%)	1.6	4.1
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0.11(~)	0.01	0.42

3.2 PP膜ろ過実験の結果

H13年1月から開始したPP膜ろ過実験は、現在も継続中である。その中間結果を図-4に示す。実験期間中の原水濁度の平均値は5度であった。フラックス0.5m/dayでは、膜間差圧の上昇は緩やかである。単位面積あたりの膜で単位体積の透過水を得る際、発現したろ過抵抗は約 $1.9 \times 10^{11} \text{m}^{-2}$ であり、PVDF膜の前塩素注入ろ過よりも、ろ過抵抗が低かった。

また、PP膜のろ過では、PVDF膜と同等の水質が得られ、一般細菌、大腸菌を含む懸濁成分がほぼ完全に除去できるが、アンモニア性窒素、溶解性マンガンなどの溶解性成分は除去できなかった。

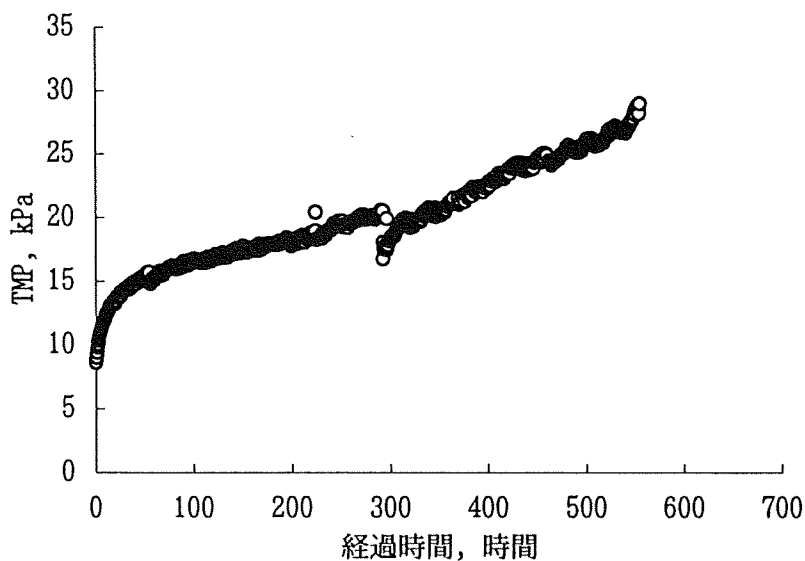


図-4 RUN3のPP膜の膜間差圧の推移 (フラックス0.5m/day)

4 今後の予定

- ・ 高フラックスろ過の場合の適切なオンサイト薬品洗浄方法の確立
- ・ 薬品洗浄廃液の再利用と処理方法の検討

ACT21 第3グループ持ち込み研究

平成12年度 報告書

水道機工株式会社

1. 研究テーマ

高フラックス MF 膜の実用化研究

2. 目的

小規模浄水場において膜ろ過を用いた浄水処理施設が急速に普及している。今後、大規模施設を想定した場合、より高いフラックスでの運転を可能とする膜ろ過設備が経済的で、維持管理上有利になると考えられる。

一方で、膜ろ過の高フラックス化に伴い、膜面のファウリングも加速される為、安定した膜ろ過を継続させる為には、何らかのファウリング対策を設けることが不可欠となる。

これまでに溶解性有機物を対象としたラボスケールの実験において、凝集剤と酸化剤（二酸化塩素あるいは次亜塩素酸ナトリウム）との併用により、膜面のファウリングを抑制できることが確認されており、同システムによる湖沼系原水を対象としたデータを収集し、中・大規模浄水場への膜ろ過適用の条件を検討する。

3. 実験概要

3-1. 実験場所

茨城県企業局 霞ヶ浦浄水場

3-2. 申請期間

2000年9月～2002年3月

3-3. 実験装置およびフロー

原水は、浄水場の着水井より、まず凝集槽と沈澱槽を一体化した凝集分離槽へ導かれる。凝集分離槽は、 $800 \times 800 \times 1,500^H$ の形状をし、表面負荷率は約60 mm/min、滞留時間は約30分である。

凝集分離された処理水は、その後2つの膜ろ過系列に分配される。各系列は、それぞれ独立運転が可能である。二酸化塩素と次亜塩素酸ナトリウムの2種類の酸化剤を対象とし、注入点、注入率の検討を行えるよう各々に注入設備を設けてある。