

# <研究発表>

## MF 膜ろ過 + 粒状活性炭ろ過による運転及び水質の評価

宮本 新也<sup>1</sup>, 鮫島 正一<sup>2</sup>, 島崎 弘志<sup>1</sup>, 今井 久美子<sup>1</sup>

明電舎 総合研究所 (〒141-8565 東京都品川区大崎 2-1-17 E-mail:miyamoto-sh@mb.meidensya.co.jp)  
明電舎 環境・社会事業部 (〒103-8515 東京都中央区日本橋箱崎町 36-2)

### 概要

我々は高度浄水処理が必要な水源に対する膜ろ過設備の適用を検討しており、その一環として、小規模設備を対象として MF 膜ろ過 + 粒状活性炭ろ過による浄水処理試験を行っている。高い色度を含む某所河川水を水源として浄水処理機能の検討を行った結果、いくつかの知見が得られた。高濁度時の逆洗では、塩素添加による洗浄強化で膜閉塞が抑制されることがわかった。また、負荷が増加するにつれ活性炭処理水 E260 は増加した。そのため、E260 成分の処理性向上を目指して凝集剤添加による前処理を検討した。分画試験の結果、高色度原水の前処理としては、PAC の方が PSI-025 よりも少ない重量注入率で E260 成分を処理できた。

キーワード: 膜処理 ファウリング 逆洗 活性炭 凝集剤

### 1. はじめに

現在、膜ろ過設備は小規模設備を中心に実績を上げているが<sup>1)</sup>、維持管理の容易さ・自動化のしやすさなどのため、膜処理の適用は今後さらに拡大されていくと予想される。臭気や色度など溶解性物質が含まれている水源に対しても、膜ろ過と高度浄水処理を組み合わせた浄水施設の導入も進められることが予想されるが、平成 16 年 4 月からの水質基準の強化により消毒副生成物に関する項目が増加し、水質管理もより高度なものが要求される。

我々は高度浄水処理が必要な水源に対する膜ろ過設備の適用を検討しており、その一環として、小規模設備を対象とし、高い色度を含む某所河川水の水源に対して MF 膜ろ過 + 粒状活性炭ろ過による浄水処理試験を行っている。この浄水処理機能と水質の評価を行った結果、いくつかの知見が得られたので報告する。

### 2. 方法と装置

#### 2.1 試験装置

Fig.1 に実験装置フローを示す。河川から取水した原水は 150 μm ストレーナを通過した後、原水槽に入る。実験初期では凝集剤などの薬品は前処理として使用せず、そのまま MF 膜でクロスフローろ過した。実膜ろ過流速は 1.6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d に設定した。膜ろ過水を粒状活性炭吸着槽にて下向ろ過して浄水とした。膜モジュールや活性炭の仕様は Table1 の通りである。

#### 2.2 膜処理運転方法

膜の洗浄は、膜ろ過水を使って空気洗浄 + 塩素 (次亜塩素酸ナトリウム) 添加逆洗併用とし、洗浄周期は 30 分または 20 分に 1 分間とした。膜ろ過装置は Table2 の通り運転し、

洗浄時の塩素は逆洗開始後 20 秒間だけ添加した。前処理として選んだ凝集剤を連続注入し、膜ろ過装置の運転を行った。凝集剤の注入は混合水槽 (循環水槽) で行い、そこで 180rpm の攪拌を行った。G 値は槽全体の平均をとると 50 程度となった。

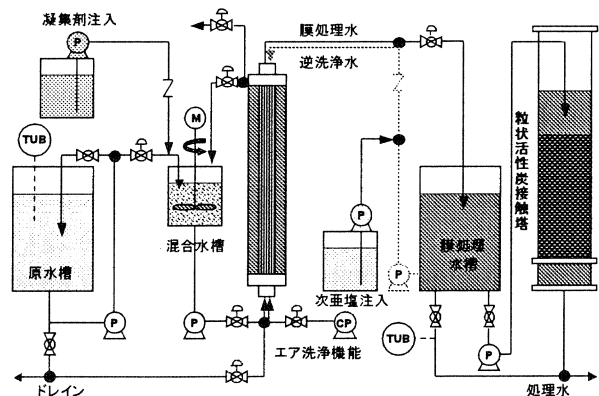


Fig.1 Schematic diagram of the bench scale plant

Table1 Specification of the bench scale plant

項目	仕様
膜の形式	中空糸 MF 膜
材質	PVDF
孔径	0.1 μm
膜面積	1.2m <sup>2</sup>
膜ろ過方式	外圧式クロスフローろ過
使用活性炭	石炭系
SV	5.4~6.0h <sup>-1</sup>

Table2 Experimental conditions

項目	ろ過時間	洗浄/ろ過	塩素注入率
RUN1	28.5 分	1.5 倍	3mg/L
RUN2	18.5 分	1.5 倍	6mg/L
RUN3	18.5 分	1.5 倍	6mg/L
RUN4	18.5 分	2.25 倍	10mg/L

2.3 E260 吸光度による分画試験

E260 成分の前処理の検討では、凝集剤として PAC と PSI-025 を使用し、1 分間の急速攪拌を行った。上澄水を、0.2 μm, 0.45 μm の PTFE 膜、及び分画分子量 10kDa, 50kDa, 200kDa の PS 膜(いずれもアドバンテック東洋社製)を使用し、各成分の E260 を測定した。

3. 実験結果と考察

3.1 MF 膜ろ過+粒状活性炭ろ過による水質変化

凝集前処理を行わない各工程の水質分析結果を Table3 に示す。原水は濁度、色度とも平均的に高く、有機物や THMFP も高い。丹保らの文献<sup>2)</sup>から、TOC/E260 の比が膜ろ過水の平均値で 45.6 であり、生物難分解性の有機物が主体であると思われる。また、比較的重金属は少ない。

膜ろ過水では、濁度はほぼ完全に除去できている。色度、E260 についても、ある程度膜で除去されているが、測定上濁度の値が影響している可能性がある。一方、TOC や THMFP については膜でほとんど除去されず、活性炭で吸着除去されている。

Fig.2 に各工程別の分画別 E260 を示す。原水には 10kDa 以下の成分が多く含まれているが、10kDa ~ 200kDa の成分はほとんど含まれなかった。膜細孔径 0.1 μm 以上の成分はほぼ完全に除去されているが、10kDa 以下の成分は膜ろ過でもほとんど除去されず、THMFP とほぼ同様の傾向であった。

原水濁度と膜差圧、活性炭処理水の E260 を Fig.3 に示す。RUN1 ではあまり原水濁度が高くなかったが、膜差圧は上昇を続けた。そこで、Table2 に示すように RUN2 で塩素注入量を増やし、逆洗の周期を短くすることで洗浄条件を強化した。その結果、濁度安定期における膜差圧の上昇は抑えられたが、回復傾向は見せず 30 日経過後の高濁度により膜閉塞が生じた。そのため、膜を交換した後、再度同じ条件で通水を開始し、RUN1 の差圧上昇と比較し洗浄強化の効果を調べた。

Table3 Results of water quality analysis (non coagulation)

項目	原水	膜ろ過水	活性炭処理水
濁度(度)	14.0	0.1 以下	0.1 以下
色度(度)	29.7	5.0	1.2
PH	7.3	7.3	7.3
E260(abs/50mm)	0.97	0.23	0.07
KmnO <sub>4</sub> 消費量(mg/L)	5.8	5.3	2.0
TOC(mg/L)	2.3	2.1	1.2
THMFP(mg/L)	0.118	0.117	0.047
全鉄(mg/L)	0.32	0.05 未満	
全マンガン(mg/L)	0.014	0.003	
全アルミニウム(mg/L)	0.17	0.02	

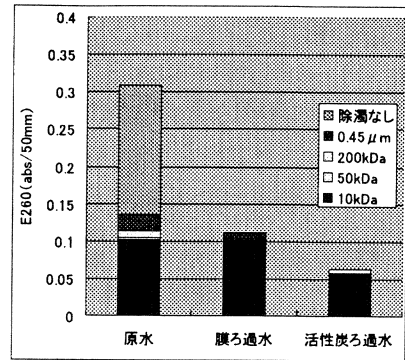


Fig.2 Removal of E260 absorbance fractionated by several pore size filters (process of each treatment water)

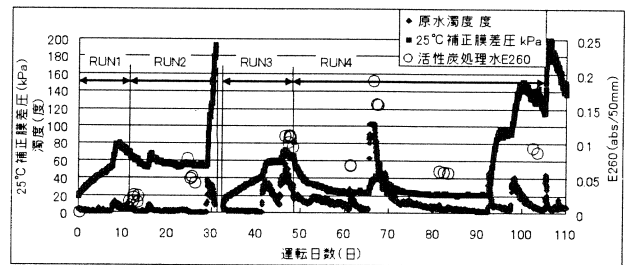


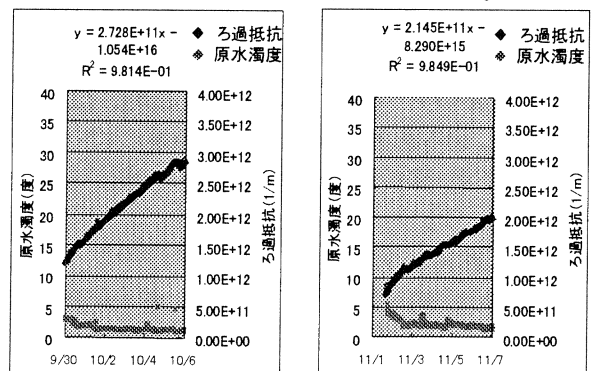
Fig.3 Continuous filtration (change of turbidity in raw water, the supply pressure and E260 absorbance of the activated carbon treatment water)

3.2 塩素注入強化によるファウリング抑制評価

Hermans らによると、ろ過水量とろ過抵抗の関係により膜閉塞はケーキろ過や標準閉塞ろ過(膜細孔内への付着)といったモデルに分類される。<sup>3),4)</sup>

この膜閉塞モデルを適用し、RUN1 と RUN3 の通水開始時を比較すると、Fig.4 に示されるように単位ろ過量当たりのろ過抵抗がほぼ 1 次比例しており、ともにケーキろ過と考えられるが、RUN3 の方がろ過抵抗の勾配は小さく、塩素注入効果が見られた。しかしながら、高濁度の後、差圧の回復傾向が見られなかったため、RUN4 でさらに塩素注入率と逆洗水量を増加させた。その結果、膜差圧が通水開始初期レベルまで低下していく傾向が見られた。また、100 度を超える高濁度にも対応し、安定した運転をすることができた。

なお、Fig.5 に示すように、RUN2 の膜閉塞直前のろ過抵抗増加量はほぼ一次比例しており、標準閉塞ろ過とケーキろ過の中間の閉塞で膜差圧が上昇したといえる。



Chlorine 3mg/L(RUN1) Chlorine 6mg/L(RUN3)

Fig.4 Filtration resistance for back-washing conditions

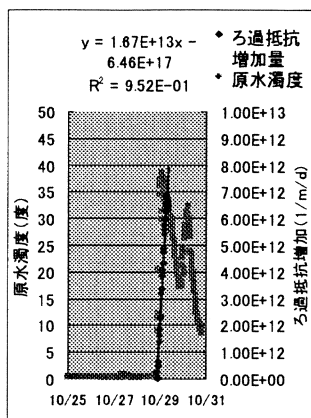


Fig.5 Increment of filtration resistance (before filtration blockage at RUN2)

活性炭処理水 E260 は、通水初期にはほぼ吸着除去されたものの、その後は濁度負荷が増加するにつれて処理水 E260 が増加した。Fig.6 にも示されるように E260 と THMFP との間には高い相関があるので、高濁度原水に対しては THMFP の増加が懸念される。そこで、高濁度時における E260 成分の処理性向上を目指して凝集剤添加による前処理を検討した。

なお、Fig.6 から、膜処理だけでは水質基準値以下まで THMFP を取り除くことは難しく、活性炭を含めた何らかの処理と組み合わせる必要があることが分かる。

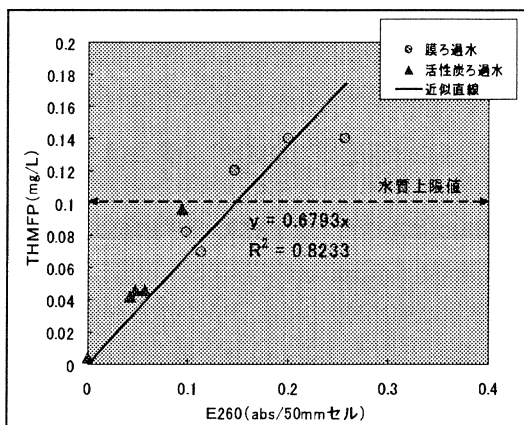


Fig.6 Correlation between E260 absorbance and THMFP

### 3.3 凝集剤添加による前処理検討

連続試験の前処理に適用する凝集剤を評価するため検討を行った。ジャーテストによる粒径 0.2 μm および分子量 10kDa 以下の成分の凝集剤での処理結果を Fig.7 に示す。低分子成分が多いため凝集剤では除去されにくい、同じ重量注入率では PAC の方が高い E260 除去性能を示した。20mg/L 注入した場合、PAC で 23%、PSI で 15% の E260 成分が処理された。連続運転に適用すると、膜を通過する膜細孔径よりも小さな E260 が減少するため、粒状活性炭への負荷が減り、THMFP の生成量や膜細孔の閉塞が抑えられると考えられる。

連続試験に対し PAC および PSI-025 を添加した場合の各浄水工程の分画別 E260 をそれぞれ Fig.8、Fig.9 に示す。

前処理なしではほとんど膜で除去できなかった 200kDa 以下の E260 成分が、PAC で前処理を行うと 45% 除去できた。同様に、PAC の替わりにほぼ等しい金属モル比の PSI-025 (PAC10mg/L に対し PSI25mg/L 程度) を用いた場合でも PAC ほどではないが 200kDa 以下の E260 成分が膜ろ過により除去された。なお、Fig.10 に示すように、ジャーテストで凝集沈殿させた場合でも、等金属モル比では PAC、PSI は比較的近い性能を見せた。連続試験では等重量注入率で PAC の方がより高い除去性能を持つことが示された。

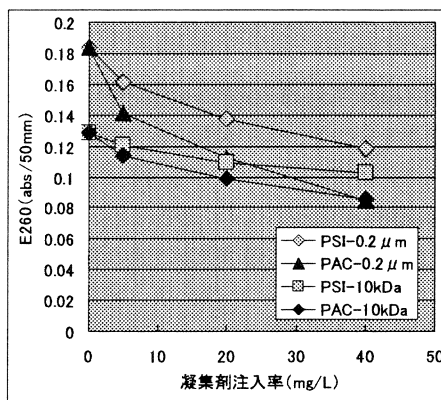


Fig.7 Characteristic of coagulation added PAC and PSI (compared with filtration of pore 0.2 μm size filter and pore size 10kDa filter)

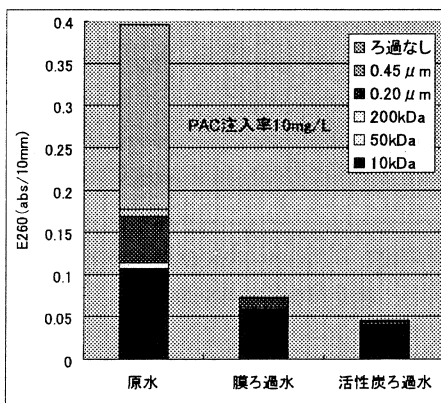


Fig.8 Removal of E260 absorbance fractionated by several pore size filters (PAC addition)

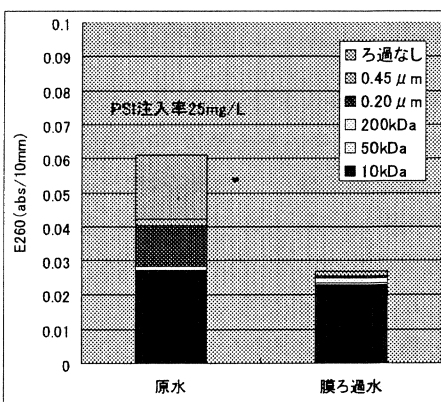


Fig.9 Removal of E260 absorbance fractionated by several pore size filters (PSI addition)

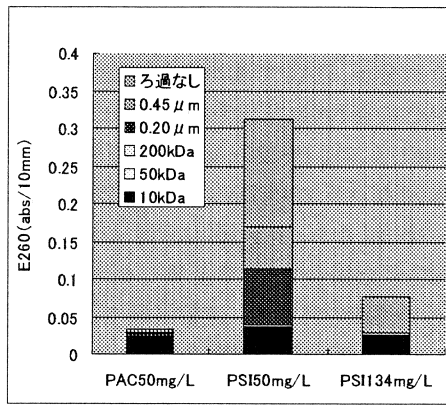


Fig. 10 Removal capability of coagulants

### 3.4 連続試験における凝集前処理

これらの結果をふまえ、連続試験における前処理としての凝集剤はPACを選択した。また、Fig. 11に示されるように、ろ過抵抗は高濁度によって大きく増加する。適切な凝集剤注入を行うため、Table 4 に示すように原水濁度に応じて注入率を10~30mg/Lの範囲で制御した。凝集沈殿に必要な注入量と膜細孔径より大きなマイクロブロックを作るために必要な注入量は異なるためジャーテストでの最適値よりも少なくした。塩素注入率は前処理しない運転で効果が確認された10mg/L、ろ過時間は38.5分とした。

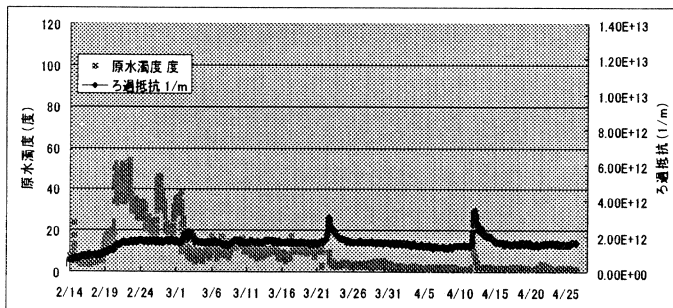


Fig. 11 Continuous filtration (change of raw water turbidity and filtration resistance)

Table 4 operating conditions (PAC addition)

項目	仕様
膜ろ過流速	1.6m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
ろ過時間	38.5分
PAC注入率	原水濁度により10~30mg/L
塩素注入率	10mg/L
膜ろ過方式	外圧式クロスフローろ過

PAC 注入時の各浄水工程の水質分析結果を Table 5に示す。採水時期の違いから原水濁度、色度は Table 3 よりも低くなっているが、前処理として凝集を行うことで THMFP、TOC等の膜ろ過による除去率が向上した。ただし、活性炭については破過に近づいていたと考えられる。(Table 3では色度除去率76%、Table 5では48%程度)

原水濁度、膜差圧および膜ろ過水濁度の変化を Fig. 12に示す。原水が50度程度の高濁度であっても、ろ過水濁度に悪影響を与えることなく、膜差圧の上昇が30kPa以内に抑えられた。さらに、濁度安定期には膜閉塞が改善され、高

色度原水に対するPACを用いた前処理の有効性が実証された。現在、多降雨期にあっても連続120日以上安定運転中であることから、凝集剤による前処理を組み合わせることで、長期安定性が得られると考えられる。

Table 5 Results of water quality analysis (PAC addition)

項目	原水	膜ろ過水	活性炭処理水
濁度(度)	5.1	0.1以下	0.1以下
色度(度)	17.6	3.3	1.6
pH	7.6	7.6	7.6
E260(abs/50mm)	0.59	0.18	0.10
TOC(mg/L)	2.1	1.6	1.1
THMFP(mg/L)	0.047	0.042	0.036
全鉄(mg/L)	0.29	0.05未満	
全マンガン(mg/L)	0.015	0.002	
全アルミニウム(mg/L)	0.18	0.08	

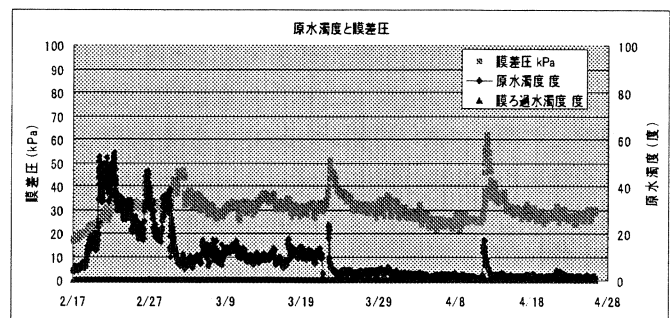


Fig. 12 Continuous filtration (change and filtration resistance change in turbidity of raw water and filtration water)

## 4. おわりに

- 1) 膜処理単独では色度や THMFP の除去は不十分で、活性炭と組み合わせることで基準値以下まで処理できた。
- 2) 高濁度時の逆洗では、塩素添加による洗浄強化で膜閉塞が抑制されることがわかった。
- 3) 高色度原水の前処理としては、PACの方がPSI-025よりも少ない重量注入率でより高いE260成分処理性を示した。
- 4) 膜ろ過の前段にPACを連続注入することで、200kDa以下のE260成分も膜ろ過工程で除去できた。粒状活性炭の負荷が低減でき、高濁度に対しても膜差圧の上昇は抑えられた。さらに、濁度安定期には膜閉塞の改善が確認できた。

今後の課題としては、主に凝集剤処理と逆洗時の洗浄強化および高度処理との組み合わせによりファウリング抑制効果と回収率の向上を目指し検証していきたい。また、本研究にご協力頂いた関係者各位に感謝します。

### [参考文献]

- 1) (財)水道技術研究センター 調査結果(2005年3月)
- 2) 丹保ら、『水処理における処理性評価マトリックス』、水道協会雑誌、62(9)、(1993)
- 3) Hermans, P. H., H. L. Bredee: *J. Soc. Chem. Eng.*, 55, 1T (1936)
- 4) 峯岸ら、『中空糸 UF 膜の全量ろ過運転における膜ファウリングの検討』、水道協会雑誌、69(3)、(2000)