

前凝集/MF 膜処理において凝集条件が膜閉塞及び処理水質に及ぼす影響

北海道大学大学院 学生員 ○前田 智宏

正員 木村 克輝

フェロー 渡辺 義公

1. はじめに

浄水処理に膜ろ過を適用する際、膜閉塞(膜ファウリング)の制御が重要である。膜ファウリングを制御するためには、膜ファウリングの発生機構及び原因物質に関する情報が不可欠である。凝集処理を膜ろ過の前処理として用いることで膜ファウリングを効果的に抑制できることが知られているが、膜ろ過と組み合わせる際の最適凝集条件については必ずしも確立されていない。また、長期にわたるろ過を行う際には、前処理で添加した凝集剤が膜ファウリングを発生させる可能性があるという報告がある。本研究では前凝集/MF 膜処理において、凝集条件の違いが不可逆的膜ファウリングの進行及び処理水質にどのような影響を及ぼすか、また凝集処理水中のどのような成分が不可逆的膜ファウリングに関与するかについて検討した。

2. 実験方法

2.1 ろ過実験手順

有機物として 3mg-C/L の市販フミン酸(Aldrich 製)を、pH 緩衝剤として 1mM の NaHCO_3 を Milli-Q 水に加えたものをろ過原水として用いた。凝集剤にはポリ塩化アルミニウム(PAC)及び硫酸アルミニウム(硫酸ばん土)を用い、pH は水酸化ナトリウムと塩酸を用いて調整した。凝集剤注入率(1.0 または 5.0 mg-Al/L)および凝集 pH(5.5、7.0、8.5)を変化させて凝集処理を行なった後、MF 膜を用いたろ過を行なった。本実験では膜細孔径 0.1 μm の PolyVinylideneFluoride (PVDF) 製及び PolyEthylene(PE) 製 MF 中空糸膜を用い、膜面積 30 cm^2 のミニモジュールを製作した。このミニモジュールを水槽に浸漬し、3m の水位差を利用して定圧ろ過実験を行った。11 時間のろ過継続、スポンジを用いた膜表面のケーキ層の除去、3 分間の逆圧洗浄(50kPa)を 1 サイクルとして、これを 5 サイクル繰り返す過程において膜透過水フラックスの測定を行い、膜ファウリングの進行を評価した。

2.2 マイクロブロック粒径分布の測定

凝集条件の変化に伴うマイクロブロック粒径分布の変化について検討するために、凝集処理水を 0.5~0.2 μm 、0.2~0.1 μm 、0.1~0.05 μm 、0.05~0.025 μm 及び 0.025 μm 以下の 5 つの成分に分画し、アルミニウム濃度をそれぞれの画分について測定した。

3. 結果と考察

3.1 膜透過水の水質評価

どちらの凝集剤を用いた場合においても、TOC およびアルミニウム除去率は弱酸性 pH5.5、高注入率 5.0 mg-Al/L の凝集条件下で高くなった。弱酸性の凝集条件では PAC を用いた方が硫酸ばん土を用いた条件と比較して膜透過水中の TOC およびアルミニウム濃度が低くなった。PAC を用いた場合、硫酸ばん土を用いた場合の双方において、凝集 pH を上昇させると TOC 及びアルミニウム除去率の低下が起こった。凝集 pH の上昇に伴う除去率の低下は PAC を用いた場合においてより顕著であった。

3.2 膜透過水フラックスの経時変化

図-1 に凝集剤として硫酸ばん土を用い、凝集 pH を 7.0、凝集剤注入率を 5.0 mg-Al/L で処理を行なった凝集処理水をろ過した際の膜透過水フラックスの経時変化を示す。図-1 より、同一凝集条件においては膜の材質の違いによる膜ファウリングの進行の差異は生じなかったことが分かる。

キーワード:凝集剤、膜ファウリング、粒径

連絡先: 〒 060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 Tel 011-706- 6266/FAX011-706-7890

図-2に PAC および硫酸ばん土を用いて、凝集 pH を 5.5、凝集剤注入率を 1.0 mg-Al/L に設定した場合の膜透過水フラックスの経時変化を示す。ここでは、物理洗浄によって回復させることのできない膜ファウリング(不可逆的膜ファウリング)の進行に着目するため、各過サイクルの物理洗浄直後に測定した膜透過水フラックスのみプロットした。図-2より、同一の凝集条件においても、用いる凝集剤によって不可逆的膜ファウリングの進行に違いが生じたことがわかる。図-3に凝集剤として硫酸ばん土を用い、凝集条件を変化させた際の膜透過水フラックスの経時変化を示す。図-3より明らかなように、凝集条件の違いによって不可逆的膜ファウリングの進行度は大きく変化した。PAC を凝集剤として用いた場合においても、凝集条件の変化に伴う不可逆的膜ファウリングの進行速度の変化が認められた。

3.3 不可逆的膜ファウリングとマイクロフロック粒径分布の関係

本実験で得られた結果からは、凝集剤の種類、凝集 pH 及び凝集剤注入率と不可逆的膜ファウリングの大小との間に統合された明白な関連性を見出すことはできなかったが、不可逆的膜ファウリングの進行が顕著であった凝集条件において形成されていたマイクロフロック粒径分布に一定の傾向が認められた。図-4に不可逆的膜ファウリングのほとんど起こらなかった条件、図-5に不可逆的膜ファウリングの進行が特に顕著であった条件において形成された凝集処理水中のアルミニウムフロックの粒径分布を示す。図-4と図-5を比較すると、不可逆的膜ファウリングの進行が顕著であった凝集条件では 0.025~0.1 μm の粒径を有する成分が 0.5 μm 以下の成分(溶解性成分)の中で 50%以上と高い割合を占めていたことがわかる。このような膜細孔径付近の粒径を持つ成分が不可逆的膜ファウリングの主たる原因物質となっていた可能性が考えられる。

4. まとめ

本研究の結果、前凝集/MF 膜処理における凝集剤および凝集条件の違いは不可逆的膜ファウリングの進行及び処理水質に影響を及ぼすことが明らかとなった。同一凝集条件においては、膜の材質の違いによる膜ファウリングの進行の差異は生じなかった。処理水質が向上する条件と不可逆的膜ファウリングが抑制される条件は必ずしも一致しなかった。凝集剤注入率が少ない場合、不可逆的膜ファウリングの進行が顕著になる場合があったが、このことは実処理における原水水質の変動に連動した凝集剤注入率の制御の必要性を示唆するものである。不可逆的膜ファウリングの進行には、凝集処理により生成した膜細孔径付近の粒径(0.1~0.025 μm)の成分が関与していたと考えられる。したがって、膜ファウリングの進行抑制のための最適凝集条件はこのような粒径を有するマイクロフロック生成が最小限となるような条件であると予想される。

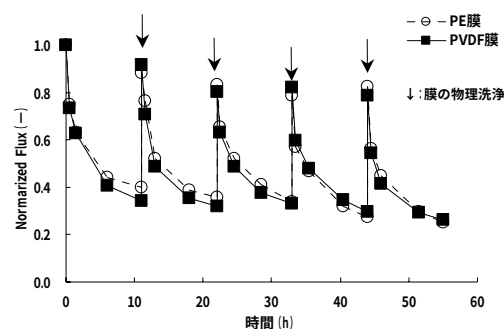


図-1 膜透過水フラックスの経時変化
(硫酸ばん土/凝集pH7.0/凝集剤注入率5.0mg-Al/L)

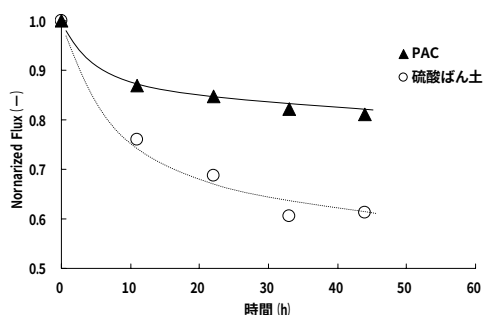


図-2 膜透過水フラックスの経時変化
(PE膜/凝集pH5.5/凝集剤注入率1.0mg-Al/L)

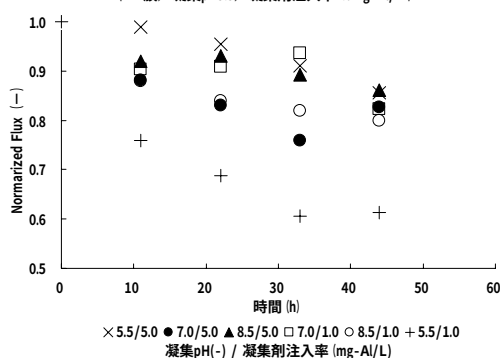


図-3 膜透過水フラックスの経時変化 (PE膜/硫酸ばん土)

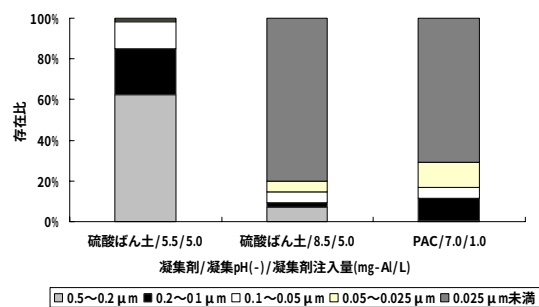


図-4 凝集処理水中のアルミニウムフロックの粒径分布
(不可逆的膜ファウリングのほとんど起こらなかった凝集条件)

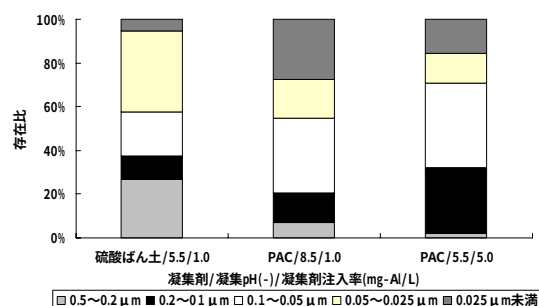


図-5 凝集処理水中のアルミニウムフロックの粒径分布
(不可逆的膜ファウリングの進行が顕著であった凝集条件)