

凝集 MF 膜処理システムにおけるウイルス除去性能の検討

岐阜大学工学部

白崎 伸隆

同上 正会員

松下 拓

同上 正会員

松井 佳彦

1 はじめに

セラミック MF 膜は耐熱性、耐薬品性、耐有機溶媒性などの点で優れ、有機膜よりも壊れにくく、維持管理が容易であるため、わが国の水処理分野において多くの注目を集めている。しかしながら、代表的なセラミック MF 膜の孔径は、水環境で問題となる A 型肝炎ウイルスやポリオウイルスよりも大きいいため、MF 膜処理のみではこれらのウイルスを十分に除去することはできない。これに対し、前処理として凝集処理を導入することにより、ウイルス除去性能の向上が期待できる。そこで、本研究では、この凝集 MF 膜処理について、異なる条件下におけるウイルス除去性能の比較・検討を行い、より効果的な除去方法を確立することを目的とする。

2 実験手順

実験装置の概要を図-1 に示す。 $10^6 \sim 10^7$ pfu/mL のウイルス（バクテリオファージ Q β ）を加えた豊川河川水（TOC 2.5mg/L, UV₂₆₀ 0.037cm⁻¹, 濁度 1.22NTU）を原水とし、50mL/min にてポンプで導入した。ここに、処理水の pH を 6.8 に維持するために HCl もしくは NaOH を連続的に添加し、スタティックミキサー（攪拌時間 2.4sec）に

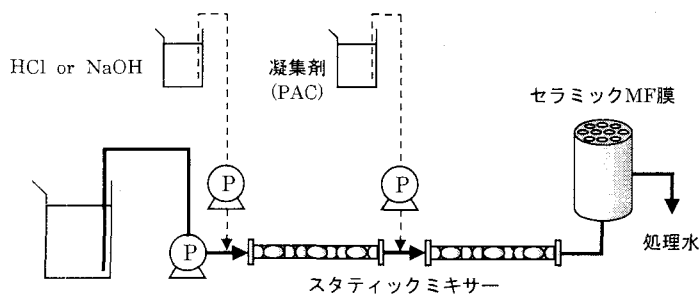


図-1 凝集MF膜処理フロー図

によって攪拌した。その後、凝集剤（PAC:ポリ塩化アルミニウム 0.54, 1.08, 1.62mg/L as Al）を添加し、同様にスタティックミキサー（凝集時間 1.1, 2.4sec, 1.0min）によって攪拌を行った。これをセラミック MF 膜（膜孔径 0.1, 0.5, 1.0 μ m）を用いてデッドエンド方式でろ過した。サンプルは 0.25, 1, 2, 3, 4, 5, 6 時間後に採取し、その時の原水と処理水のウイルス濃度をブラック形成法によって測定した。

3 結果と考察

3.1 PAC 添加濃度がウイルス除去に与える影響

PAC 添加濃度の違いによるウイルスの除去性能を比較した（膜孔径 0.1 μ m, 凝集時間 2.4s）。その結果を図-2 に示す（なお、図中の n は実験回数を示しており、除去率は平均値で示した）。図より 0.54mg/L の添加濃度では約 1~4log の除去であったのに対し、1.08mg/L 及び 1.62mg/L の添加濃度では約 5~8log という結果になった。このことから、1.08mg/L 以上の添加濃度では、膜で抑止可能なフロックが形成し易いために、安定した除去性能を得ることができると考えられた。また、処理時間が経過するにつれて除去性能が向上するという傾向が見られた。これは、ファウリングによって膜が徐々に閉塞されたこと、あるいはウイルスが PAC に含まれるアルミニウム成分と長時間接触することによって膜のエレメント内で不活化されていたためではないかと推察された。

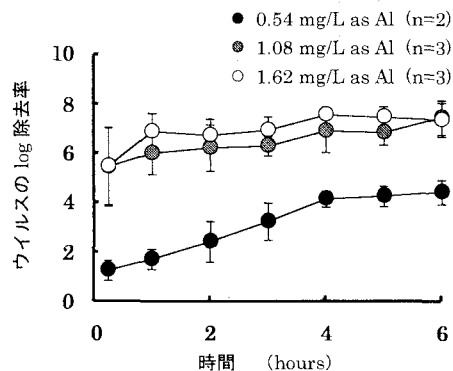


図-2 除去率の平均値と標準偏差の経時変化

3.2 PAC 添加濃度と凝集時間の組み合わせがウイルス除去に与える影響

3.1 と同様の実験を様々な PAC 添加濃度と凝集時間で行った。PAC 添加濃度と凝集時間の組み合わせにおける時間平均除去率(0.25~6hour までの除去率の平均値)を図-3 に示す(膜孔径 0.1 μ m)。図より 0.54mg/L の添加濃度では、1.1s の凝集時間で 2.4log の除去率となった。また、凝集時間を 1.1s から 1.0min に延長しても 1.0 log の除去率の増加に留まり、高い除去性能は得られなかった。これに対し、添加濃度を 1.08mg/L に上げた場合では、1.1s の凝集時間で 6.9log、2.4s では 6.4log の除去率となった。また、添加濃度 1.62mg/L では、1.1sec の凝集時間で 7.5log、2.4s では 6.9log となり、短い凝集時間でも 6log 以上の高い除去性能を得ることができた。このことから、凝集 MF 膜処理システムにおいては長い凝集時間を確保するよりも PAC 添加濃度を上げることがウイルス除去により効果的であると考えられた。

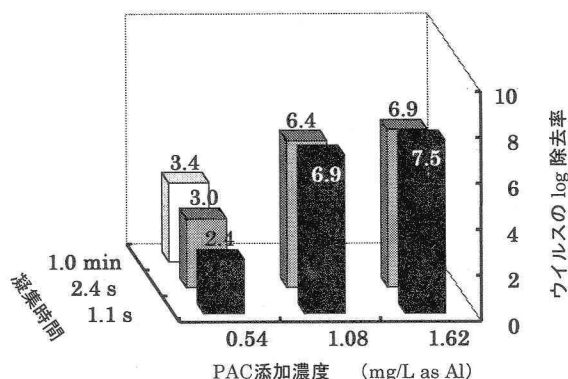


図-3 PAC添加濃度と凝集時間の組み合わせ

3.3 PAC 添加濃度と膜孔径の組み合わせがウイルス除去に与える影響

3.1 と同様の実験を様々な PAC 添加濃度と膜孔径で行った。PAC 添加濃度と膜孔径の組み合わせにおける時間平均除去率を図-4 に示す(凝集時間 2.4s)。図より 1.08mg/L の添加濃度では、膜孔径を 0.1 μ m から 1.0 μ m にすることによって 1.3log の除去率の減少が見られた。このことから 0.1 μ m から 1.0 μ m のブロックが存在すると考えられるが、1.0 μ m の膜孔径で 5.1log の除去率が得られたことから、1.0 μ m 以上の大きさのブロックが大半であると考えられた。これに対し、添加濃度を 1.62mg/L に上げた場合では、0.1 μ m から 1.0 μ m に膜孔径を大きくしても 0.6log の除去率の減少に留まった。これは、1.08mg/L の添加濃度の場合に比べ、凝集作用が促進され、より大きなブロックが多く形成されたために、大きな膜孔径あっても 6log 以上の高い除去性能を得ることができたと考えられた。

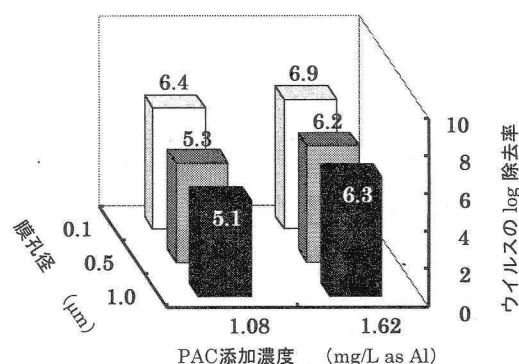


図-4 PAC添加濃度と膜孔径の組み合わせ

4 おわりに

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

1. 凝集 MF 膜処理システムにおいて、1.08mg/L 以上の PAC 添加濃度で 6log 以上の高い除去性能が得られた。
2. PAC 添加濃度 0.54mg/L では、凝集時間を延長することでウイルスの除去率は増加したが、1.0log の増加に留まった。しかし、添加濃度を 1.08mg/L 以上に上げた場合、1.1s、2.4s の短い凝集時間でも 6log 以上の高い除去性能を得ることができた。凝集 MF 膜処理システムにおいては、長い凝集時間を確保するよりも PAC 添加濃度を上げることがウイルス除去により効果的であると考えられた。
3. PAC 添加濃度 1.08mg/L において、膜孔径を大きくすることでウイルスの除去率は減少したが、添加濃度を 1.62mg/L に上げた場合、1.0 μ m の膜孔径あっても 6log 以上の高い除去性能を得ることができた。