

琵琶湖水のUF膜ろ過における透過性能の検討

岐阜大学大学院

岐阜大学流域環境研究センター

岐阜大学工学部

学生員○小林恭次郎

正会員 湯浅 晶

正会員 東海 明宏

1. はじめに

急速ろ過システム(凝集・フロック形成・沈殿・砂ろ過)による浄水処理に替わる方法として膜ろ過プロセスが最近注目されている。膜ろ過プロセスは、凝集・フロック形成といった成長プロセスや負荷削減のための沈殿プロセスなどの前処理を行わずに固液分離を行い、浄水工程の運転・管理の簡単化と浄水施設の縮小を可能とする。

本研究では中空糸UF膜ろ過のパイロットプラントを用いて琵琶湖水の直接ろ過実験を行い、中空糸UF膜による直接ろ過プロセスの実用性について透過性能の面から検討した。

2. UF膜モジュールと運転条件

長浜市の下坂浜浄水場内にUF膜ろ過プラントを設置し、湖岸から700m沖合いの水深約4mの地点から取水した琵琶湖水を原水に用いて、直接膜ろ過実験を行った。使用したUF膜モジュールの特性を表1に、パイロットプラントのフローを図1に示す。

原水供給ポンプ(RFP)により一定流量で送られた原水はプレフィルタ(目開き125 μ m)を通してUF膜モジュールに流入し、中空糸の内側から外側へとろ過される。ただし原水側流路では循環ポンプ(RCP)により原水側ループ内を循環している。ろ過工程中の透過流量 Q_F は、一定流量に制御している原水供給ポンプ流量 Q_0 に等しい。また、循環ポンプ流量 Q_C は一定流量(4.5 m³/h)に制御した。逆洗工程時には、透過水を逆洗ポンプ(BWP)を用いて透過水側から原水循環水側へ圧送し、膜内部に付着した不純物および中空糸の内側表面に蓄積したケーキを剥離させて、逆洗排水弁(BWDV)から系外へ排出した。逆洗時の洗浄効果を高めるために、洗浄用の透過水に次亜塩素酸ナトリウムを注入した。また、原水側圧力(膜モジュールの原水流入口の圧力 P_1 、流出口圧力 P_2)と透過水出口圧力 P_3 を測定した。

表1 UF膜モジュールの特性

UF膜の材質	セルロース誘導体
UF膜の孔径	10 nm
排除限界分子量	100,000 Dalton
中空糸内径/外径	0.93 mm/1.67 mm
中空糸有効長/全長	1.20 m/1.30 m
中空糸の本数	2060 本/module
全ろ過表面積	7.2 m ² /module
純水の初期透過係数 (20℃換算)	0.22~0.32 m/h/bar

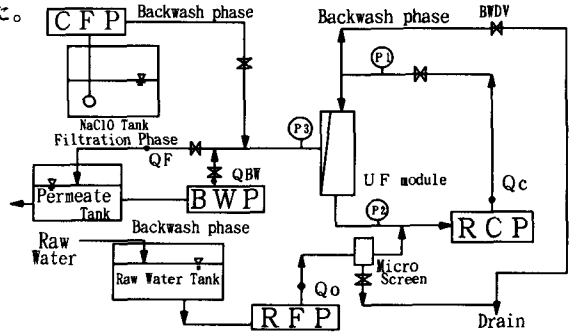


図1 パイロットプラントのフロー図

3. ろ過フラックスと膜透過係数

中空糸内側のクロスフロー流路の圧力損失 ΔP_{CF} と膜透過による圧力損失(膜間差圧) ΔP_{TM} 、および、ろ過フラックス J_F と膜透過係数 K_F は次式で計算した。

$$\Delta P_{CF} = P_1 - P_2 + \rho g L_{12} \quad \text{---(1)}$$

$$J_F = Q_F / A_F \quad \text{---(3)}$$

$$\Delta P_{TM} = (P_1 + P_2) / 2 - P_3 \quad \text{---(2)}$$

$$K_F = J_F / \Delta P_{TM} = Q_F / A_F / \Delta P_{TM} \quad \text{---(4)}$$

ただし、 L_{12} : P_1 と P_2 の測点間垂直距離(2.0m)、 ρ :水の密度、 g :重力加速度、 A_F :全ろ過表面積

水温変化による水の粘性の変化の影響を補正するために、水温20℃の場合に換算したろ過フラックス $J_{F,20}$ と膜透過係数 $K_{F,20}$ を次式で計算した。

$$J_{F,20} = J_F \mu / \mu_{20} = J_F \exp\{0.0239(20-T)\} \quad \text{---(5)}$$

$$K_{F,20} = K_F \mu / \mu_{20} = K_F \exp\{0.0239(20-T)\} \quad \text{---(6)}$$

ただし、 T :水温、 μ :水の粘性係数、 μ_{20} :20℃の水の粘性係数

また、膜表面上に付着したケーキ層の厚みの増加による中空糸クロスフロー流路の有効内径の変化を、次式(7)を用いて計算した。(ハーゲン・ポアズイユの法則より)

$$d = \left[\frac{64 \mu L (Q_1 + Q_2)}{\pi \Delta P_{CF}} \right]^{1/4} \quad \text{---(7)}$$

ただし、 d :クロスフロー流路の有効内径、 L :中空糸全長、 Q_1 :モジュール入口流量、 Q_2 :モジュール出口流量

4. 結果と考察

平成5年2月3日から5月25日までの結果を図2~9に示す。この期間中、ろ過時間と逆洗時間はそれぞれ一定(30min、60sec)であり、逆洗時塩素注入濃度は4月20日まで5ppm、それ以降10ppm強である。また、2月3日の時点で運転開始から5カ月経過しているが、直前に薬品(次亜塩素酸ナトリウム溶液、界面活性剤、キレ

ート剤)による温水洗浄を行っているので、 $K_{F,20}$ は運転開始当初(9月4日)の約80%、 d はほぼ同じ大きさまで回復した。原水水温の経時変化を図2に示す。2月8日から4月20日までヒーターを用いて水温を制御した。2月18日に水温を12℃から23℃に急激に上げると、それまで減少していた透過係数は増加に転じた(図7)。原水濁度の経時変化を図3に示す。濁度0~8度の範囲では、それが透過係数の増減に及ぼす影響はみられない。図4に操作圧力の経時変化を示す。 P_1 、 P_2 は膜表面あるいは膜内部での閉塞の度合いに応じて上昇し、 J_F の増減で大きく変動する。 P_3 は0.13~0.22 barの範囲である。図6にろ過フラックスの経時変化を示す。2月26日に J_F を0.072 m/hから0.087 m/hに増加させると膜間差圧 ΔP_{TM} は増加し(図5)、透過係数は減少し始めた(図7)。その後、 J_F を3月8日の0.096 m/hから徐々に減少させていったが、依然 ΔP_{TM} は増加し、透過係数は減少し続けた。しかし、3月17日に J_F を0.07 m/hから0.052 m/hまで減少させると、 ΔP_{TM} は減少し、透過係数は増加し始めた。このような現象は4月上旬と5月中旬にもみられた(図5、図6、図7)。図8に d の経時変化を示す。この期間中、 d はほぼ一定である(0.82~0.88mm)。したがって膜表面上に付着するケーキ層の厚みはほとんどないものと考えられる。図9に d と $K_{F,20}$ の相関を示す。 d のわずかな減少が $K_{F,20}$ を減少させているとはいえない。よって、全体的に $K_{F,20}$ の減少はケーキ層の厚みのためでなく、膜内部での閉塞によるものと考えられる。しかし、3月12日から3月17日にかけて $K_{F,20}$ が0.05~0.06 m/h/barに下がった際には、 d が0.83mm以下まで減少し、この時期は他の時期に比べケーキ層がわずかに多く堆積したと考えられる。 d がさらに減少した場合には急激に透過係数を低下させる可能性がある。

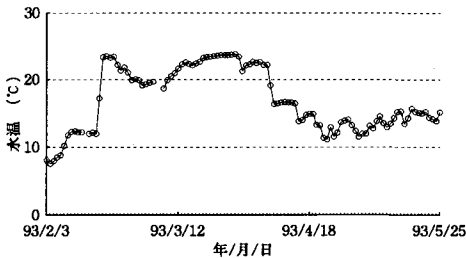


図2 原水水温の経時変化

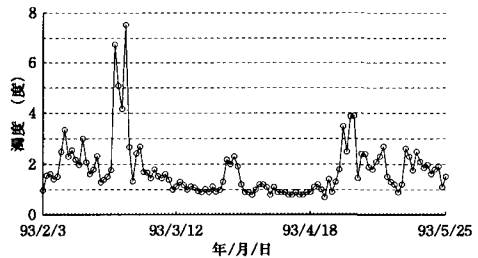


図3 原水濁度の経時変化

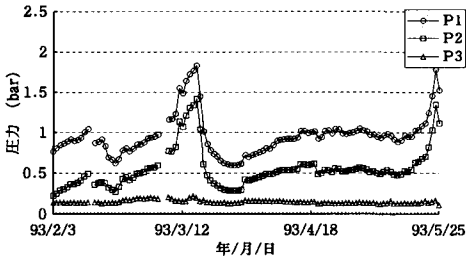


図4 操作圧力の経時変化

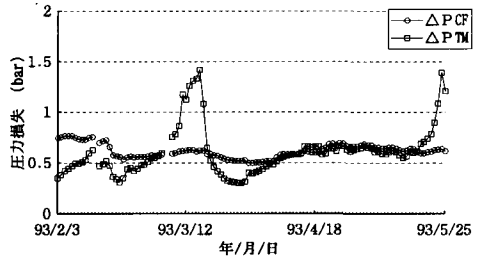


図5 クロスフロー圧力損失と膜間差圧の経時変化

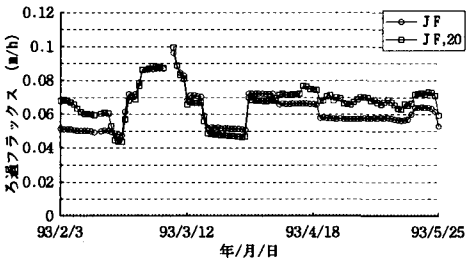


図6 ろ過フラックスの経時変化

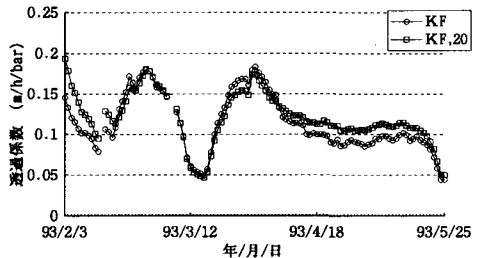


図7 透過係数の経時変化

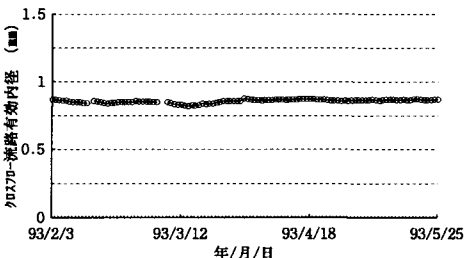


図8 中空糸クロスフロー流路有効内径の経時変化

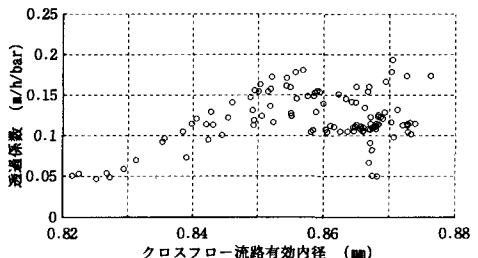


図9 有効内径と透過係数(20℃換算)の相関