

N－8 回転平膜モジュールのスポンジ洗浄に関する基礎検討

日立プラント ○照井茂樹, 吉川慎一, 大西真人
北海道大学大学院 木村克輝, 渡辺義公

1. はじめに

回転平膜モジュールは、当社が高濃度懸濁物質の分離用として開発した膜分離モジュールである。本モジュールは同方向に回転する回転平膜を重ね合わせることで、膜間に乱流を発生させてファウリングを低減するセルフクリーニング機能を有しており、既にし尿処理分野等で多くの納入実績がある。さらに、現場作業である薬液洗浄の頻度を下げること、メンテナンス性の向上も期待できる。

そこで、本研究では回転平膜モジュールの薬液洗浄間隔を延長することを目的に、膜面のケーキ層形成が進行した時点で、回転平膜モジュール内にスポンジ片を投入し、ケーキ層を掻き取るスポンジ洗浄を提案し、その最適投入条件(スポンジ片の大きさ、投入個数)と投入効果について、基礎検討を行った。

2. 実験

2. 1 膜およびスポンジ片

実験にはφ750 回転平膜を取り付けることのできる2 軸型の回転平膜モジュールを使用した。実験に使用した膜およびスポンジ片の緒元を表1に示す。試験に供した膜はポリスルホン系限外ろ過膜で、分画分子量は75 万である。スポンジ材質は、耐加水分解性があるエーテル系ポリウレタンとした。

表1 膜およびスポンジ緒元

膜	材質	ポリスルホン系
	分画分子量	75 万
スポンジ	材質	ポリウレタン(エーテル系)
	密度	1.03 mg/cm ³
	見かけ密度	0.035 mg/cm ³ (空孔率 96.6%)
	形状	立方体(15mm, 10mm, 7.5mm)

2. 2 実験方法

(1) スポンジ片の最適投入条件の検討

最も洗浄効果の高いスポンジ投入条件を探索するため、表2に示すスポンジ投入条件で膜洗浄試験を行った。スポンジ投入条件としては、①大きさ(一辺の長さ)、②個数の2 個のパラメータが考えられる。しかし、これらの洗浄効果に対する最適値を求めるには、多数回の洗浄試験を行う必要があり、評価に長期間を要する。そこで、上記パラメータを一括して最適投入条件を評価するため、便宜的に、次式で定義されるスポンジ片の衝突頻度を導入した。

表2 スポンジ投入条件

試験	大きさ d(mm)	個数 N(個)	衝突頻度(回/m)
#1	7.5	6095	3.6
#2	15	847	2.0
#3	10	1409	1.5
#4	15	200	0.5
#5	15	420	1.0
#6	7.5	1700	1.0

$$\text{衝突頻度(回/m)} = \frac{1}{L} = \pi n d^2 \tag{A}$$

ここで、Lはスポンジ片の平均自由行程(m)、dはスポンジ片の一辺の長さ(m)、nはスポンジ片の数密度(個/m³)である。平均自由行程は、あるスポンジ片が他のスポンジ片に衝突することなく移動できる距離の平均である。従って、平均自由行程の逆数は、単位長さ当たりのスポンジ片の衝突回数、すなわち衝突頻度(回/m)を表す。なお、(A)式はスポンジ片を直径dの球形として導出したものだが、一辺の長さdの立方体として導出した式を用いても計算値はほぼ同じなので、簡易な(A)式を採用した。

試験には水道水を原水とする塩化第二鉄の凝集液(SS=22,000mg/l, pH=4.6)を使用した。Flux=2.5m/d で18分ろ過-2分停止を繰り返す間欠ろ過を行い、ろ過圧力が60kPaになった時点でケーキ層が生成したと判断し、以後ろ過運転を停止し、回転平膜モジュール内にスポンジ片を投入して、10分間洗浄した。膜回転数は、ろ過時、スポンジ洗浄時ともに60rpmである。洗浄効果は次式の回復率で評価した。

$$\text{回復率(\%)} = \frac{\Delta P - \Delta P_w}{\Delta P - \Delta P_i} \times 100 \quad (\text{B})$$

ここで、 ΔP は洗浄前のろ過圧力、 ΔP_w は洗浄後のろ過圧力、 ΔP_i は初期ろ過圧力である。

また、スポンジ洗浄によるSS粒子の膜内部への閉塞(以下、プラグイングとする)を評価するため、洗浄後に回転平膜を取り外して膜面のケーキ層を手作業で掻き取り、清水のろ過圧力を測定した。

(2) 薬液洗浄間隔の評価

間欠的なスポンジ洗浄を行った場合の薬液洗浄間隔を評価した。試験には水道水を原水とする塩化第二鉄の凝集液(SS=12,000mg/l, pH=4.8)を使用した。Flux=1.0m/d で18分ろ過-2分停止を繰り返す間欠ろ過を行い、ろ過圧力が30~40kPaになった時点でろ過運転を停止し、スポンジ洗浄を10分間行った。スポンジ片は一辺の長さ15mmのものを、衝突頻度が約3回/mになるように投入した。膜回転数は、ろ過時、スポンジ洗浄時ともに60rpmである。

3. 実験結果および考察

3. 1 スポンジ片の最適投入条件の検討

衝突頻度と回復率の関係を図1に示す。回復率は衝突頻度の増加とともに大きくなり、衝突頻度が約2回/mにおいて最大となる。従って、2回/m以下ではケーキ層の掻き取りが十分に行われないと考えられる。

次に、スポンジ洗浄後にケーキ層を掻き取った回転平膜の清水のろ過圧力と衝突頻度の関係を図2に示す。衝突頻度が約2回/m以下の条件で洗浄を行った膜については、清水のろ過圧力はほとんど一定であるが、衝突頻度が3.6回/mでは70kPaと急激に高くなり、プラグイングが進行していることが明らかになった。プラグイングは、SS粒子がスポンジ片によって膜内に押し込まれたことが原因と推定される。

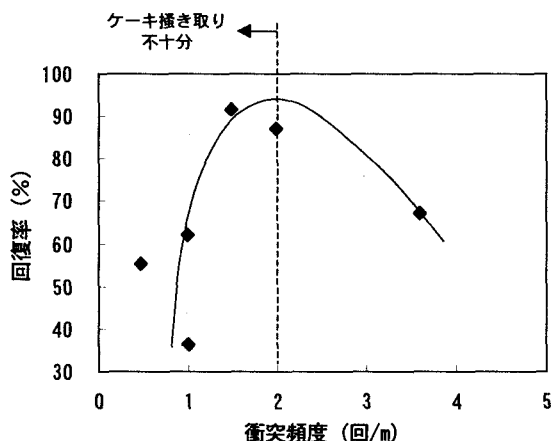


図1 衝突頻度と回復率の関係

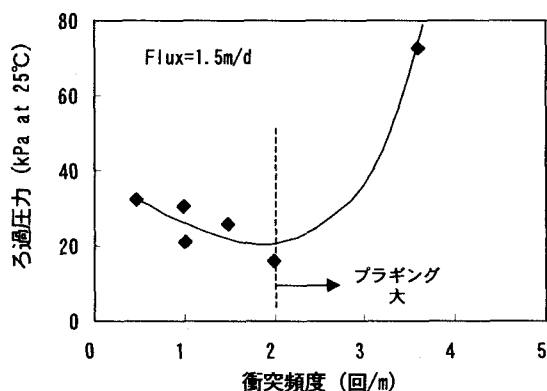


図2 衝突頻度とろ過圧力の関係

以上のことから、衝突頻度が 2 回/m となるスポンジ投入条件が最も洗浄効果が高いという結論を得た。また、スポンジ片の個数および大きさが異なる場合でも、衝突頻度で回復率やろ過圧力を整理すると一定の傾向を示すことから、衝突頻度はスポンジ投入条件を決定する上で、有効なパラメータであると考えられる。

なお、スポンジ洗浄後にろ過運転を行った場合、処理水側への濁質リークは見られなかったので、スポンジ片による膜の剥離・損傷は生じていないと考えられる。

3. 2 薬液洗浄間隔の評価

スポンジ洗浄を繰り返し行ったときの運転時間とろ過圧力の関係を図 3 に示す。スポンジ洗浄を行わない場合、ろ過圧力は破線(A)のように上昇すると考えられる。ろ過圧力が 50kPa に到達した時点で薬液洗浄を行うとすると、スポンジ洗浄なしの場合の薬液洗浄間隔は約 50 日となる。

一方、スポンジ洗浄を行うと、30kPa 付近まで上昇したろ過圧力は 10~15kPa 低下し、スポンジ片投入による洗浄効果が確認できた。但し、スポンジ洗浄の回数が増えると、その洗浄間隔が徐々に短くなり、スポンジ洗浄では除去できない懸濁物質が膜面に蓄積してきたことが示唆された。スポンジ洗浄間隔が 3 日になった時点で薬液洗浄を行うとすると、スポンジ洗浄を行った場合の薬液洗浄間隔は約 100 日となる。

以上のことから、薬液洗浄間隔の延長に対してスポンジ洗浄が十分有効であり、約 2 倍の延長効果があるという見通しを得た。

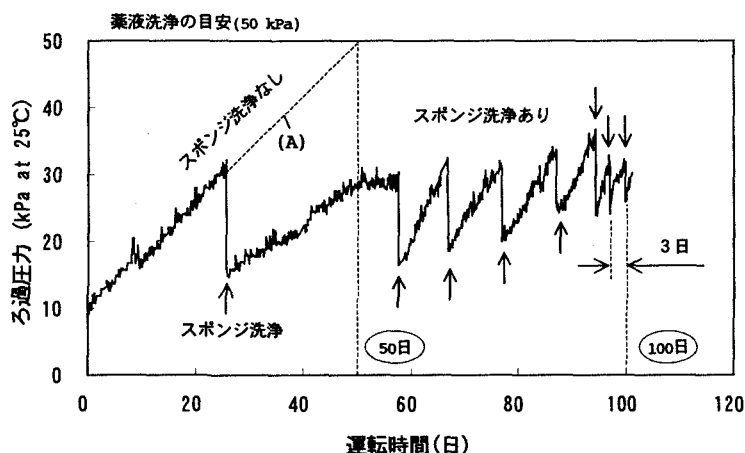


図 3 ろ過圧力の経時変化

4. 結論

- (1) スポンジの最適投入条件(大きさ・個数)を衝突頻度を用いて評価した結果、衝突頻度が約 2 回/m で回復率が最大になった。
- (2) スポンジ洗浄を行うことで薬液洗浄間隔を約 2 倍に延長できる見通しを得た。

今後の課題

他の原水を用いた場合の洗浄効果、最適投入条件の検討