

VII-95

題目：セラミック膜を用いた凝集発酵汚泥のクロスフロー精密ろ過特性

京都大学 金 鍾瑛 宗宮 功

1. はじめに

最近の分離膜技術の進展に伴い、嫌気性細菌を分離膜で連続濃縮して、菌体濃度をあげる方法も研究されている。しかし、膜分離の適用にあたっては、嫌気性発酵液の膜透過水の再利用を目的とした研究は少ない。そこで本研究では実下水の凝集沈殿生汚泥から、生物学的脱窒過程に必要な有機物を効率的に回収することを目的として膜分離プロセスで、膜孔径による透過フラックスと透過水質の比較・分析を行い、低級脂肪酸の回収における適正膜孔径の選定を試みた。

2. 実験装置および方法

凝集生汚泥の有機酸発酵液の固液分離に用いた膜（日本ガイシ（社）製セフィット）は、公称孔径 $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.2\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ （モノリス形式、ろ過面積：

$0.12(\text{m}^2/\text{本})$ ）、 $1.0\mu\text{m}$ 、 $2.0\mu\text{m}$ 、 $5.0\mu\text{m}$ （チューブラー形式、ろ過面積：

$0.12(\text{m}^2/\text{本})$ ）のクロスフロー精密ろ過膜で、ポンプで吸引することによって膜透過水が得られる構造となっている。有機酸を回収するための膜分離実験装置の概要は

Figure 1に示す。実験に用いた原液は、実流入下水を無機凝集剤（PAC 10mg/L -下水、塩化第二鉄 10mg/L -下水）で沈殿させた凝集生汚泥をHRT4日で、5ヶ月間発酵させたものを

用いた。膜面流速は循環流量とモジュール流路断面積から計算される断面平均流速に等しいとし、有機酸発酵液の循環流量を変えることにより制御した。体積76Lの嫌気性発酵槽の温度は $35\pm 1^\circ\text{C}$ に維持し、メタン生成菌による有機酸消費を防止するため、発酵槽のORPを -300mV 以下にならないよう設定、制御した。膜分離槽のろ過条件としては $\Delta P: 75\text{kPa}$ 、 $\text{MLSS}: 18\text{g/L}$ 、 $\text{feed velocity}: 0.4\text{m/s}$ で実験を行い、発酵液と膜ろ液を発酵槽へ戻す循環型とした。発酵汚泥のモノリス膜への循環を円滑にするため、発酵液中の粗い成分を細目スクリーン（目開き 3mm ）でろ過したものを実験に供した。

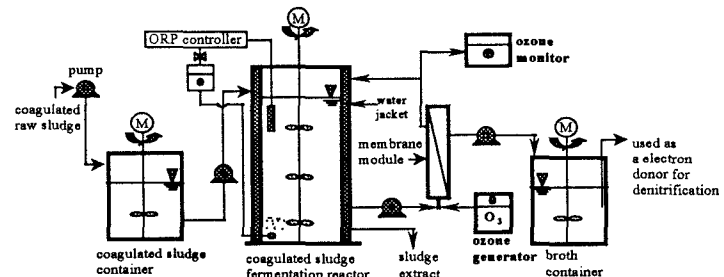


Figure 1 Schematic diagram of membrane anaerobic reactor system

3. 結果および考察

各膜のろ過運転結果より求めた膜面に形成される透過抵抗の値はTable 1に示す。時間の経過とともに各膜のフラックスは低下し、ろ過開始5時間以後は膜透過流速が安定することを示した。膜自体の透過抵抗 R_m は $0.1\mu\text{m} > 0.2\mu\text{m} > 0.5\mu\text{m} > 1\mu\text{m} > 2\mu\text{m} > 5\mu\text{m}$ の順で膜孔径が大きいほど減少した。また、モノリス形式の膜（ $0.1, 0.2, 0.5\mu\text{m}$ ）では R_m/R_f の比率がチューブラー形式の膜より高くなっていることを示した。菌体と小さな粒子の膜孔径への目詰まりによる透過抵抗 R_p は孔径 $5\mu\text{m}$ の場合が一番大きい値を示し、同圧力での R_p の値は孔径が大きな膜ほど高く、それだけ目詰まりしやすいことを示した。発酵汚泥の膜分離ろ過において孔径が大きい程、菌体と粒子が膜孔隙に蓄積されやすいことが分かった。一方、同圧力では孔径が大きい程 R_p も増加した傾向を示したが、同じ膜孔径では膜

キーワード；膜分離、低級脂肪酸、膜透過抵抗

〒606-01京都市左京区吉田本町 京都大学大学院環境工学専攻 水環境工学研究室、075-753-4912(Tel), 5784(Fax)

面流速が大きくなる程、付着層が形成されにくくなるため、低膜面流速よりも R_p の比率が高くなっていく傾向を示した。透過流速に影響を与える膜全体のろ過抵抗 R_t は孔径が小さい

Pore size(μm)	R_g (%)	R_p (%)	R_c (%)	R_t (%)	Flux (m^3/d)
0.1	51.3(25.3)	0.4(0.2)	151.1(74.5)	202.6(100)	0.41
0.2	50.8(27.5)	0.3(0.2)	133.5(72.3)	184.6(100)	0.45
0.5	50.3(30.9)	0.6(0.4)	112.0(68.7)	162.9(100)	0.51
1.0	15.8(10.8)	0.8(0.6)	129.1(88.6)	145.7(100)	0.57
2.0	15.3(11.6)	1.3(1.0)	115.3(87.4)	131.9(100)	0.63
5.0	14.0(10.8)	1.6(1.2)	114.2(88.0)	129.8(100)	0.64

程大きくなる傾向を示しており、0.1 μm の膜が5 μm より1.3倍高い抵抗値を示した。付着層の透過抵抗 R_c が全体のろ過抵抗中、68%~88%程度を占めている。大きさは5倍以上であるが目詰まりによる透過抵抗 R_p は絶対寄与率が小さく、各膜で大きな差はなく、膜透過流速に及ぼす影響も少なかった。このことから透過フラックスへの影響は主にケーキ層の抵抗 R_c に左右されることが分かった。

各膜孔径のろ液の水質成分と菌体の漏出に対する結果はFigure 2とTable 2に示した。ろ液のSS濃度は膜孔径 0.1, 0.2 μm の場合は100%のSS阻止率を示したが、5 μm の場合は11.6mg/Lで、他の膜孔径よりかなり高い値を示した。また、ろ液の濁度はSS濃度とは比例関係を示し、孔径が大きい程高い値を示した。

ろ液の菌体の漏出について、0.1, 0.2 μm の膜では菌体の完全分離ができた。5 μm の膜の場合は、ろ過開始5分間^(a)は阻止率が95%であったが、限界流速に至った時には阻止率が99.9%まで上昇した。これは膜内部あるいは表面に形成された付着層が菌体の阻止に寄与して、初期段階より高い阻止率を示したのと考えられる。

一方、各膜の透過液におけるTOCと有機酸の回収率は孔径の大きい方がより高い回収率を示した。発酵液に対するろ液の有機酸やTOCの濃度を回収率としたが1 μm , 2 μm , 5 μm の膜で80%以上を超え、0.1 μm , 0.2 μm , 0.5 μm より1.1~1.5倍程度の回収率を示した。ろ液に含まれている金属とりんの濃度を示した。各孔径による大きな差は存在しなかったが、Fe濃度が高くなることが目を引く。

4 結論

膜分離を組合せた凝集汚泥の嫌気性消化プロセスにおいて、膜透過流速は5 μm の方がより高いフラックスを維持できたが、透過液のTOCと有機酸濃度では1 μm の膜と大きな差がないこと、SS濃度や菌体の阻止率を勘案すると有機酸を効率的に回収するには、孔径1 μm 程の膜を適用するのが望ましいと考えられる。

Table 2 Bacteria rejection on each membrane pore size

Subject	Bacteria(cells/mL)	Rejection(%)
Feed suspension	7×10^7	
Broth at steady state		
0.1 μm	0	100
0.2 μm	0	100
0.5 μm	1×10^1	99.9999
1 μm	4×10^1	99.9999
2 μm	7×10^2	99.999
5 μm	3×10^4	99.9
5 $\mu m^{(a)}$	3×10^6	95

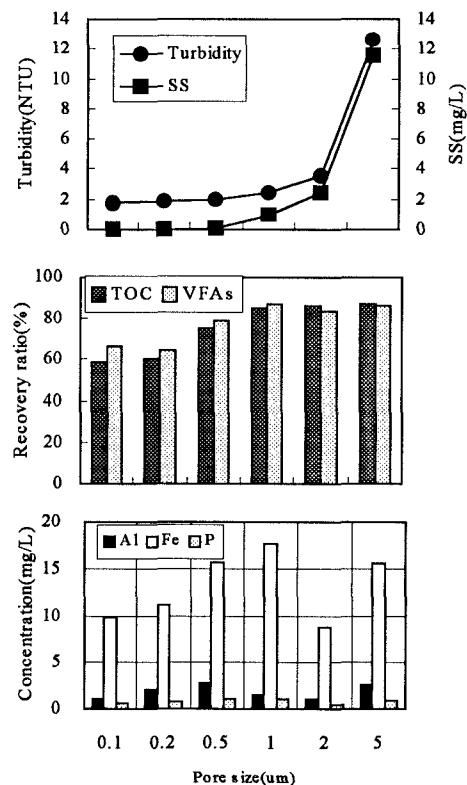


Figure 2 Water quality of broth on each membrane pore size