

Membrane Bioreactor (MBR) の省エネルギー化における汚泥性状・膜ろ過 Flux の影響

中央大学理工学研究科 ○学生会員 小清水謙太、山村寛
 中央大学 研究開発機構 渡辺義公
 北海道大学 環境ナノ・バイオ工学研究センター 工藤憲三、三好太郎
 住友電工ファインポリマー(株) 森田徹

1. 背景・目的

Membrane Bioreactor (MBR) は従来の活性汚泥法と比較して、様々な利点を有しており、次世代の下水処理技術として注目されている。一方で、曝気にかかるコストをはじめとした運転及び維持管理費の高さが導入する上で、障壁となっている。我々はこれまでに、膜近傍に集中的に気泡を導入しうる局所曝気装置を装着し、かつ膜ろ過 Flux を低く設定することによって、膜透過水量当たりの曝気風量 (SAD_p) を大幅に低減できることを見出している¹⁾。しかし現在のところ、汚泥性状の異なる MBR において同様の結果が得られるかどうかは定かではない。

そこで本研究では、汚泥滞留時間 (SRT) の異なる 2 系列の汚泥槽内に各々 2 系列のパイロットスケール MBR 装置を設置し、膜ろ過 Flux 及び汚泥性状が様々な異なる条件下で運転することで、低 SAD_p 条件下でも安定運転が可能となる条件を模索した。

2. 実験方法

(1) 連続ろ過実験

本研究では札幌市創成川水再生プラザ内に設置したパイロットスケール MBR (有効容量: 350 L) 2 系列を、異なる SRT (MBR1: 12 日, MBR2: 49 日) で運転した。パイロットスケール MBR の流入原水には、同処理場の最初沈殿池流入水を用いた。膜は公称孔径 0.3 μm のポリテトラフルオロエチレン (PTFE) 製 MF 中空糸膜 (住友電工ファインポリマー製) を用いて実験を行った。各 MBR 槽に 2 本のモジュール (1.4 m²) を浸漬し、膜ろ過 Flux を 0.4 及び 0.8 m³/m²/日に設定して、定流量ろ過実験を行った。本実験の条件を表-1 にまとめる。

表-1 本実験の条件

SRT	MBR-1(12day)		MBR-2(49day)	
	0.4	0.8	0.4	0.8
膜透過水 flux (m ³ /m ² /day)	0.4	0.8	0.4	0.8
曝気風量 (L/h)	600	2000	600	2000
膜面積 (m ²)	1.4	1.4	1.4	1.4
膜透過水当たりの曝気風量 (SAD _p) (m ³ -air/m ³ -permeate)	28.2	47.1	28.2	47.1
運転方法	間欠ろ過運転 (10分間ろ過, 1分間停止)			

(2) 膜のファウリング解析実験

連続運転終了後、閉塞した膜を実験室に持ち帰り、膜ファウリング原因物質の解析に供した。膜は、スポンジを用いて膜表面を拭き取った後、NaOH 溶液 (pH 12) に 24 時間浸漬することで膜ファウリング物質を抽出し

た。抽出液は TOC、糖及びタンパク質濃度を測定した他、凍結乾燥し、フーリエ変換赤外吸光 (FTIR) スペクトル分析に供した。

また、物理的に不可逆的な膜ファウリングの進行度を評価するために、スポンジ洗浄を行った膜の純水透過性能を測定し、不可逆的なろ過抵抗値を算出した。

3. 結果・考察

(1) 全ろ過抵抗における膜ろ過 Flux の影響

図-1 に、連続運転期間中の全ろ過抵抗の経日変化を示す。

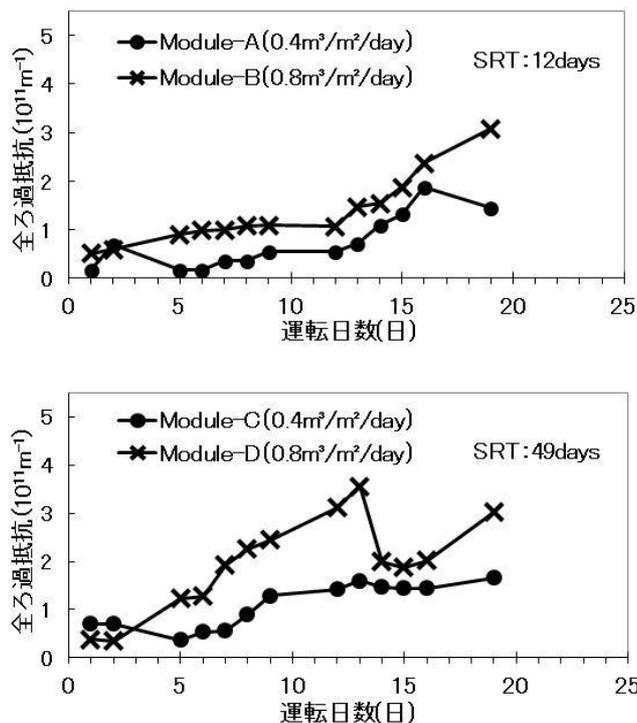


図-1 全ろ過抵抗の経日変化

図-1 より、設定した膜ろ過 Flux によって全ろ過抵抗の挙動が大きく異なることがわかる。

膜ろ過 Flux が高い Module-B 及び Module-D を比較すると、SRT が短い Module-B では、19 日間連続で運転することができた一方で、SRT が長い Module-D では、運転 13 日目に膜ろ過流量を一定に保てなくなり、同日に物理洗浄を行い、19 日まで運転を継続した。

このことから高膜ろ過 Flux 下では、SRT が短い系列よりも、SRT が長い系列の方が、ファウリング進行速

キーワード MBR, SAD_p, 膜ファウリング, タンパク質

連絡先 中央大学大学院, 理工学研究科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)

度が高い事が明らかになった。SRT は汚泥性状に大きく影響を及ぼすことから、MBR-2はMBR-1と比較して活性汚泥が膜ファウリングを引き起こしやすい性状であったことが推察される。

膜ろ過 Flux の低い Module-A 及び-C を比較すると、SRT に関係なく、安定して運転を継続することができた。このことから、低膜ろ過 Flux 運転下では、汚泥の性状に関わらず、良好に運転できることが示唆された。さらに、SAD_p を高膜ろ過 Flux 運転下の 1/3 以下にしたにも関わらず、良好な運転を継続することができたことから、低い膜ろ過 Flux で運転することで、SAD_p を抑え、より効率的な運転が可能となることが明らかになった。

(2) 不可逆ファウリングにおける膜ろ過 Flux の影響

膜ろ過 Flux が不可逆ファウリングに及ぼす影響を検討するために、運転終了後の膜についてスポンジ洗浄を行った後に、ろ過抵抗を測定した(表-2)

表-2 運転終了後の膜の不可逆的なろ過抵抗

	Module-A	Module-B	Module-C	Module-D
不可逆的なろ過抵抗値(10 ¹¹ m ⁻¹)	2.15(±0.96)	5.44(±1.31)	1.71(±0.76)	5.42(±2.01)
	平均値(±標準偏差)			

表-2 中、膜ろ過 Flux によって不可逆ファウリングの進行度が大きく異なることが明らかになった。膜ろ過 Flux の高い系列(Module-B 及び-D)は膜ろ過 Flux が低い系列(Module-A 及び-C)と比較して、膜ろ過 Flux 値に2倍の違いがある一方で、不可逆的なろ過抵抗値は2倍以上の差があることが明らかになった。これは膜ろ過 Flux の増加に伴い、不可逆的なファウリングが加速度的に進行することを示唆している。また、低い膜ろ過 Flux で運転した系列は、SAD_p が低いにも関わらず、不可逆的なろ過抵抗値が低かった。これらのことから膜ろ過 Flux の低減によって、低いSAD_p 下においても、不可逆ファウリングをも抑制した運転が可能となることが明らかになった。

(3) 膜ファウリング物質の特性解析

表-3 に膜ろ過 Flux がファウリング物質に及ぼす影響を検討するために、連続運転終了後の閉塞膜からの膜ファウリング物質抽出量を示す。

表-3 抽出した有機成分の単位膜面積当たりの抽出量(mg/m²)

	TOC	糖	タンパク質
Module-A	6.62	8.11	25.37
Module-B	11.36	7.59	35.06
Module-C	9.25	4.95	23.50
Module-D	8.80	8.01	28.19

表-3 と表-2 を比較すると、TOC 及び糖の抽出量と不可逆的なろ過抵抗値とは相関がないことが明らかであり、全有機物の抽出量と不可逆的なファウリングに関連がないことがわかる。しかし膜ろ過 Flux が高い系列(Module-A 及び-C)を膜ろ過 Flux が低い系列(Module-B 及び-D)と比較して、タンパク質の抽出量は増加していることがわかる。これは膜ろ過 Flux の増加によるタ

ンパク質の抽出量と不可逆的なろ過抵抗値の増加に相関があることを示唆している(r²=0.83)。よって不可逆ファウリングの進行にタンパク質が寄与している可能性が示唆された。

さらに、不可逆ファウリングへのタンパク質の寄与を定性的に検討するために、フーリエ変換赤外吸光(FTIR)スペクトル分析の結果を図-2 に示す。

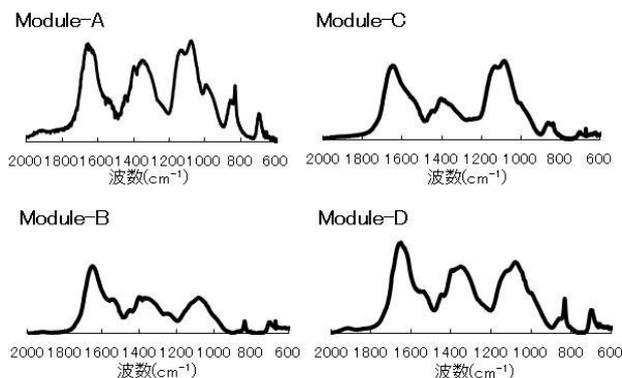


図-2 フーリエ変換赤外吸光(FTIR)スペクトル分析の結果

図-2 より 1660 cm⁻¹及び 1540 cm⁻¹付近のピークはタンパク質様物質に起因するピークであり、1100 cm⁻¹付近のピークは糖様物質に起因するピークである。膜ろ過 Flux が高い系列(Module-B 及び-D)は膜ろ過 Flux が低い系列(Module-A 及び-C)と比較して、タンパク質のピークが糖のピークより大きいことが分かる。この結果は膜ろ過 Flux を増加させることで、有機物中のタンパク質の割合が増加していたことを示すものであり、表-3 の結果と整合するものである。

4. まとめ

本実験では、低 SAD_p 条件下でも安定運転が可能となる条件を検討した結果、高い膜ろ過 Flux では長い SRT において、加速度的に膜ファウリングが進行することがわかった。一方で、低膜ろ過 Flux では汚泥性状に関わらず、低い SAD_p でより効率的な運転ができることが示唆された。よって MBR は汚泥性状が変化しやすいため、低く膜ろ過 Flux を設定することで効率的な運転ができると考えられる。また、不可逆的なファウリングは膜に吸着した全有機物の量ではなく、有機物組成など膜に吸着した有機物の性質の影響を受け、特にタンパク質が寄与している可能性が示唆された。

参考文献

1)T.Miyoshi,Y.Watanabe,K.Kudo,T.Morita and K.Kimura.Reduction in energy consumption in submerged membrane bioreactor equipped with polytetrafluoroethylene membrane. submitted to IWA specialist conference on Advance in Particle Separation