

設定フラックスの差異に伴う MBR 膜ファウリング物質の特性変化

北海道大学大学院工学研究科 学生会員 ○成瀬 拓朗
 学生会員 三好 太郎
 大和 信大
 正会員 木村 克輝
 フェロー 渡辺 義公

1. はじめに

膜分離活性汚泥法（Membrane Bioreactor; MBR）は、従来の標準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、MBR は膜の閉塞（膜ファウリング）による膜透過性能の低下という問題を抱えている。コスト及びメンテナンス性の問題から、膜ファウリングの進行を抑制することのできる適切な MBR の運転条件を確立することが重要であるが、運転条件の差異が膜ファウリング進行に及ぼす影響について未だ十分な知見は得られていない。本研究では、都市下水処理を行うパイロットスケール MBR の長期連続実験を行い、運転条件のひとつである設定フラックスの差異が膜ファウリング進行に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法

札幌市創成川下水処理場に設置したパイロットスケール MBR 装置を使用して、実都市下水を流入原水とする長期連続ろ過実験を行った。容積 350 L の反応槽内に 2 組の中空糸膜モジュール（No.1,2）を同時に浸漬して 12 分ろ過、3 分停止の周期を繰り返す間欠運転を実施した。膜は公称孔径 0.4 μm 、総膜面積 1.3 m^2 、PVDF 製（三菱レイヨン）のものを使用した。設定フラックスの差異が膜ファウリング進行に及ぼす影響について検討を行うために、No.1 及び 2 の設定フラックスをそれぞれ 0.2 及び 0.6 $\text{m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{day})$ に固定して、吸引ポンプを用いた定流量ろ過を行った。反応槽内におけるエアレーションはろ過、停止に関わらず常時行った。連続実験終了時、加圧水の吹き付けによる膜の物理洗浄を行った後、物理洗浄によって回復しない不可逆的膜ファウリングの進行を評価した。不可逆的膜ファウリングの進行度は、Darcy の式より算出したろ過抵抗値により評価した。

連続実験終了後、不可逆的膜ファウリングを引き起こしていた成分の分析を行うため、アルカリを用いてそれぞれの膜からファウリング物質の抽出を行った。抽出処理は、連続実験終了後の閉塞膜をモジュールから切り離し、膜表面に付着した汚泥を拭き取った後、pH 11 の水酸化ナトリウム水溶液に 24 時間攪拌しながら浸漬させることにより行った。

3. 結果と考察

3-1 連続実験結果

125 日間行った連続実験終了時における、各モジュールの不可逆的膜ファウリング進行度を表-1 に示す。実験終了時における不可逆的ろ過抵抗の値を比較すると、フラックスを高く設定した No.2 において不可逆的ろ過抵抗の値が高くなっていた。No.2 のフラックスは No.1 の 3 倍に設定したが、不可逆的膜ファウリング進行速度は 5 倍以上の差があり、単位処理水量あたりに発生したろ過抵抗についても No.2 の方が約 1.7 倍高くなっていた。このことは、同一の汚泥懸濁液をろ過していても、フラックスを高く設定することによって単位処理水量あたりに発生するろ過抵抗は大きくなることを示すものである。

表-1 連続実験終了時の不可逆的膜ファウリング進行度

	No.1	No.2
設定フラックス($\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)	0.2	0.6
不可逆的ろ過抵抗($10^{11} \cdot \text{m}^{-1}$)	0.29	1.52
単位処理水量あたりに発生したろ過抵抗($10^8 \cdot \text{m}^{-4}$)	11.3	19.5

キーワード Membrane Bioreactor, 不可逆的膜ファウリング, 設定フラックス

連絡先 〒060-8628 札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学研究科水質変換工学研究室 TEL:011-706-6268

3-2 膜ファウリング物質の分析

図-1に連続実験終了後の閉塞膜から抽出した TOC、糖、タンパク質の量を示す。いずれの成分においても膜ファウリング進行が速やかであった No.2 の方が抽出量は多かったが、その差はわずかであり、不可逆的ろ過抵抗の値との比例関係は認められない。このことから、表-1に示した不可逆的膜ファウリング進行度の差異は、膜に吸着する有機物の量が主な原因とはなっていないと考えられる。

図-2に膜抽出成分の単糖構成を示す。マンノース及びグルコースについては No.1 の抽出成分中で高い構成比を示していたのに対し、ラムノースについては No.2 の抽出成分中において構成比が高かった。図-3に膜抽出成分中のアミノ酸構成を示す。No.1 からの抽出物と No.2 からの抽出物中におけるアミノ酸構成は全体的には類似していたが、プロリン (PRO) の構成比が No.2 抽出物中において高くなっていた。これらの分析結果は、No.1 及び No.2 の膜ファウリング物質は単糖及びアミノ酸構成レベルにおいて、その組成が異なっていたことを示すものである。図-4に膜抽出成分の FTIR スペクトルを示す。両スペクトル間の差異は顕著であり、No.1 からの抽出成分と No.2 からの抽出成分の特性は異なっていたことが明らかである。このような膜ファウリング物質の差異は、図-1に示した全糖、全タンパク質のような包括的な測定では確認されないものであった。

上述した差異が生じる理由として、反応槽内における溶存有機物の粒径分布が考えられる。MBR 反応槽内には様々な種類の溶存有機物が蓄積するが、それぞれの種類の粒径分布は異なっているものと予想される。膜ファウリングが発生する第一段階として、ファウリング物質が膜面に輸送される必要がある。ある成分が膜面に輸送されるかどうかは、膜ろ過に伴う移流の速度と膜面近傍からの逆輸送速度との関係によって決定される。逆輸送速度は粒径に大きく影響されると考えられる。本実験では、2 系列の MBR を異なるフラックスに設定して運転を行ったが、フラックスを高く設定した系列においてはより幅広い粒径を有する成分（すなわち異なる特性を有する成分）が膜面に輸送されたものと推測される。高フラックス系列においてのみ膜面に輸送される成分の中により大きな膜ろ過抵抗を引き起こす成分が含まれていたことにより、表-1に示したような結果が得られたものと考えられる。

4. まとめ

本研究では、MBR における設定フラックスの差異が膜ファウリング進行に及ぼす影響について検討を行った。その結果、フラックスを高く設定することによって、単位処理水量当たりが発生するろ過抵抗が大きくなることが明らかとなった。フラックスを高く設定することにより膜面に広範な成分が輸送されるようになり、この中により大きな膜ろ過抵抗を引き起こす成分が含まれていることを推定した。

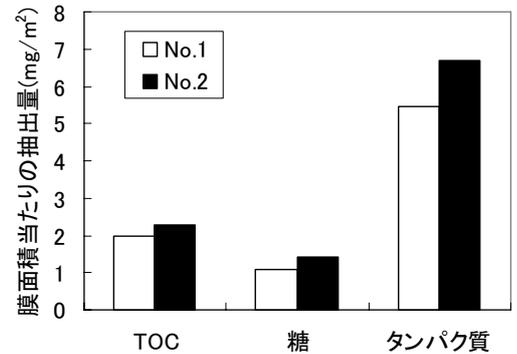


図-1 閉塞膜からの抽出有機物量

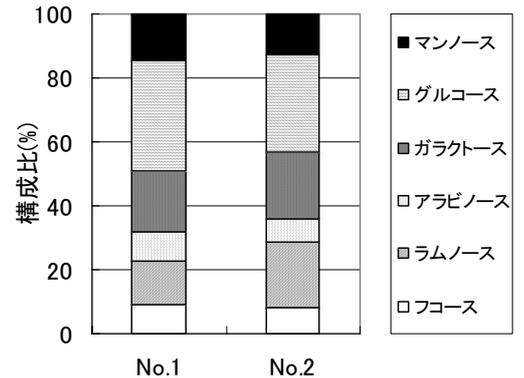


図-2 膜抽出成分の単糖構成

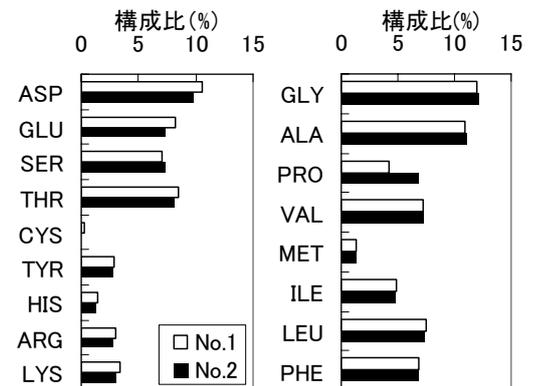


図-3 膜抽出成分のアミノ酸構成

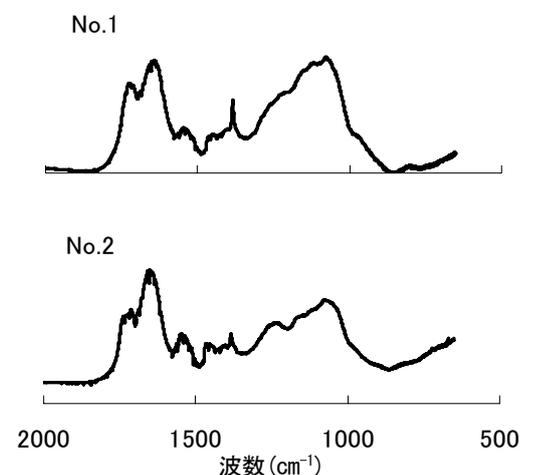


図-4 膜抽出成分の FTIR スペクトル