

都市下水の MBR 処理における F/M 比と膜ファウリング物質特性の関連性

北海道大学大学院 学生会員 ○大給 理江
 学生会員 三好 太郎
 学生会員 成瀬 拓朗
 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 (MBR) は新たな下水処理方法として注目されているが、膜の閉塞 (膜ファウリング) による膜透過性能の低下が広範な普及にあたっての阻害要因となっている。本研究では、F/M 比と膜ファウリング物質特性の関連性、及び活性汚泥懸濁液中の各粒径画分と膜ファウリング物質との関連性について検討を行った。

2. 実験方法

札幌市創成川水再生プラザに設置した 2 系列のパイロットスケール MBR を使用して、実都市下水を流入原水とする連続運転を行った。容積 175 L の反応槽内に中空糸膜モジュール (No.1, No.2) を浸漬させて間欠運転 (12 分ろ過、3 分停止) を行った。使用した膜は、公称孔径 $0.4 \mu\text{m}$ 、総膜面積 1.3 m^2 、PVDF 製の中空糸膜 (三菱レイヨン・エンジニアリング (株) 製) である。装置の運転条件を表-1 に示す。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。膜ファウリングが進行して、ろ過の継続が困難となった際には加圧水の吹付け及び膜表面の実験用ティッシュペーパーを用いた拭取りによる膜の物理洗浄を行った。物理洗浄による膜透過性能の回復が顕著でなかった場合には、引き続き膜モジュールを薬液に浸漬する薬品洗浄を行った。本研究では、物理的に不可逆的 (化学的に可逆的) な膜ファウリングの進行を物理洗浄直後の全ろ過抵抗値により評価した。

連続運転期間中、細孔径の異なる膜を用いて活性汚泥懸濁液に含まれる有機成分の分画を経時的に行った。分画には、細孔径が 0.1 、 0.45 、 0.65 、 $1.0 \mu\text{m}$ のセルロース混合エステル膜を使用した。また、連続実験終了後の PVDF 膜を pH11 の NaOH に 24 時間浸漬し、膜に吸着していた有機物を抽出した。抽出処理に先立ち、中空糸膜表面に付着していた汚泥を実験用ティッシュペーパーによりふき取り、物理的に不可逆的な膜ファウリングに関与した成分のみの抽出を試みた。抽出物については単糖構成及び FTIR の測定を行った。

表-1 MBRの運転条件

	No.1	No.2
膜透過水フラックス ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$)	0.8	
HRT(hour)	5.4	6.9
MLSS濃度 (g/L)	5	13
F/M 比 ($\text{mg-C/g-MLSS}\cdot\text{day}$)	27.6	8.5
SRT(day)	15	65

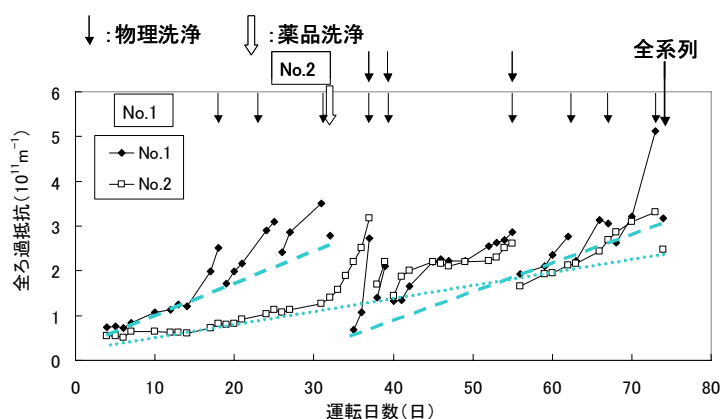


図-1 全ろ過抵抗の経日変化

3. 結果と考察

図-1 に両 MBR における全ろ過抵抗の経日変化を示す。F/M 比を低く設定した No.2 と比較して、F/M 比を高く設定した No.1 において急激な膜ファウリングの進行が観察された。また、図中の点線は両 MBR における物理的に不可逆的な膜ファウリングの進行を示すが、このタイプの膜ファウリングについても F/M 比を高く設定した No.1 においてより速く進行していたことが分かる。F/M 比を高く設定することで、物理的に可逆的及び不可逆的な膜フ

キーワード：下水処理, MBR, 膜ファウリング, F/M 比

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分野 TEL:011-716-2111 (6269)

ファウリングがともに進行しやすくなることが明らかとなった。表-2 にそれぞれの MBR に使用していた膜から抽出した TOC、糖、タンパク質の膜面積あたりの抽出量を示す。運転終了時における物理的に不可逆的な膜ファウリングは No.1 においてより顕著であったが、膜面積あたりの有機物吸着量は No.2 に使用していた膜においてより多くなっていた。このことから、有機物吸着量あたりに発現する過抵抗値が両 MBR 間で異なっていたことが示唆される。膜ファウリング物質の糖/タンパク質比に着目すると、両 MBR から抽出した膜ファウリング物質の糖/タンパク質比は明らかに異なっており、両 MBR の膜ファウリング物質が異なる特性を有していたことが明らかである。

図-2 に両 MBR から抽出した膜ファウリング物質の FTIR スペクトルを示す。フミン質様物質に起因すると考えられる 1400cm^{-1} 付近のピークの大きさは両スペクトル間に差異が認められる。一方、多糖類に起因する 1100cm^{-1} 付近のピーク及びタンパク質に起因する 1530cm^{-1} 及び 1660cm^{-1} 付近のピークはいずれのスペクトルにおいても顕著であったことから、これらの有機物が F/M 比にかかわらず物理的に不可逆的な膜ファウリングに寄与していたものと考えられる。

図-3 に両 MBR から抽出した膜ファウリング物質の単糖構成を示す。両 MBR から抽出した膜ファウリング物質の単糖構成には類似性が認められる。MBR の運転では F/M 比に関わらず、物理的に不可逆的な膜ファウリングに関与する糖の特性は類似したものとなる可能性が示唆される。図-4 に活性汚泥懸濁液中 $0.1\mu\text{m}$ 未満の画分に含まれる有機成分中の単糖構成を示す。F/M 比を低く設定した No.2 の活性汚泥懸濁液では、全ての粒径画分において有機成分中の単糖構成は運転期間を通じて大きく変動していた。F/M 比を高く設定した No.1 の活性汚泥懸濁液についても、 $0.1\text{-}0.45\mu\text{m}$ 、 $0.45\text{-}0.65\mu\text{m}$ 、及び $0.65\text{-}1.0\mu\text{m}$ の画分に含まれる有機成分中の単糖構成は運転期間を通じて変動が大きかったが、図-4 に示した通り $0.1\mu\text{m}$ 未満の画分に含まれる有機成分中の単糖構成は変動が小さく、また図-3 に示した物理的に不可逆的な膜ファウリングに関与すると推測される糖の単糖構成と類似していた。これらの結果は F/M 比を高く設定することで、不可逆的な膜ファウリングに関与する糖の蓄積が促進された可能性、また No.1 において物理的に不可逆的な膜ファウリングに関与した糖は $0.1\mu\text{m}$ 未満の粒径を有するものが支配的であった可能性を示すものである。

4. まとめ

都市下水を処理する MBR における F/M 比と膜ファウリング物質特性との関連性について検討した結果、F/M 比に関わらず、物理的に不可逆的な膜ファウリングに関与した糖の特性は類似したものとなる可能性が示唆された。また、F/M 比を高く設定することで物理的に不可逆的な膜ファウリングに関与する糖の蓄積が促進される可能性が示唆された。

表-2 膜ファウリング物質の特性

	TOC (mg-C/m^2)	糖 (mg-C/m^2)	タンパク質 (mg-C/m^2)
No.1	17.89	9.34	7.57
No.2	36.18	12.71	13.29

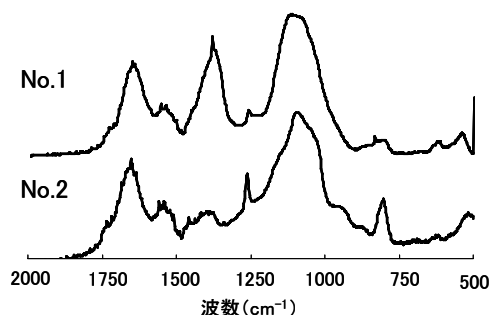


図-2 膜ファウリング物質のFTIRスペクトル

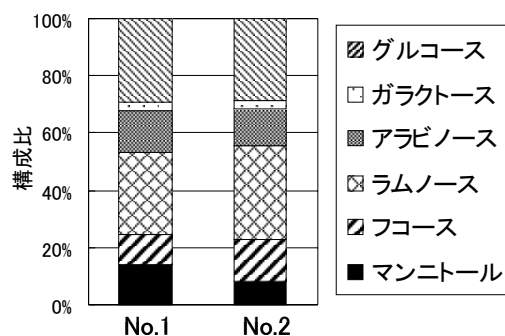


図-3 膜ファウリング物質の単糖構成

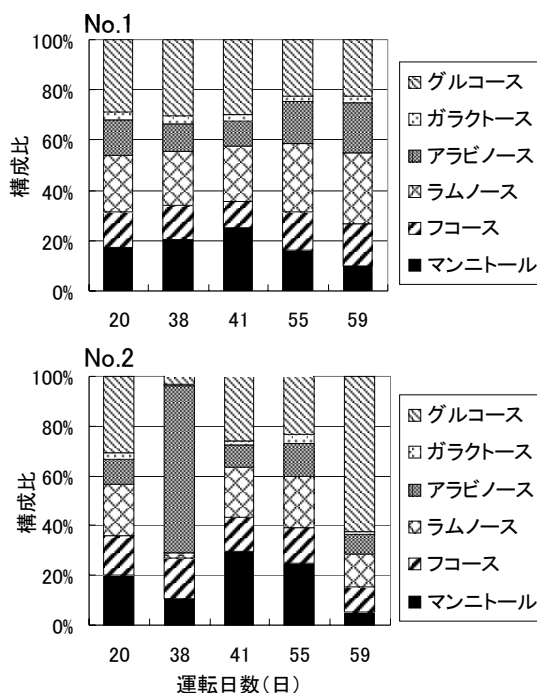


図-4 MBR活性汚泥懸濁液中 $0.1\mu\text{m}$ 未満の画分に含まれる有機成分中の単糖構成