

槽外型エアリフト MBR において クロスフロー流速および気液混合比が膜ファウリングに及ぼす影響

北海道大学大学院工学院 学生会員 ○山口 大輝
北海道大学大学院工学研究院 正会員 木村 克輝

1. 背景と目的

膜分離活性汚泥法 (MBR : Membrane bioreactor) は優れた下水処理方法として注目されているが、より広範な普及に向けて更なる効率化が求められている。膜モジュールと生物反応槽が分かれている槽外型 MBR は、膜洗浄が容易なことを始めとした様々な長所がある。高い膜面せん断力がかかり、膜ファウリングを効果的に抑制できる槽外型エアリフト MBR では、膜ファウリング物質の特性が従来の浸漬型 MBR とは異なる可能性が示唆されている¹⁾。本研究では、槽外型エアリフト MBR の重要な操作パラメーターであるクロスフロー流速および気液混合比を変化させた実験を行い、これらが膜ファウリングに及ぼす影響を検討した。

2. 研究方法

実都市下水を処理するパイロットスケール MBR (HRT : 4.25 時間, SRT : 40 日) の生物反応槽より採取した活性汚泥を遠心分離 (4000 rpm, 5 分) し、上澄み水を用いてベンチスケールのエアリフト膜ろ過装置による 24 時間ろ過を行った。使用した膜はモノリス型セラミック膜 (長さ 0.2m, 流路数 55, 細孔径 0.1 μm , 膜面積 0.08 m^2) である。同仕様のエアリフト膜ろ過装置を 2 系列用意し、一方はパイロットスケールと同様の条件 (対照系 : クロスフロー流速 0.7 m/s, 気液混合比 0.15), もう一方はクロスフロー流速または気液混合比 (気相流速/(気相流速+液相流速)) を変化させて比較実験を行った。全ての実験において、膜透過水フラックスは 1.4 m^3/d に固定した。本研究で検討した実験条件を表 1 に示す。それぞれの条件におけるろ過実験終了後、閉塞膜を装置より取り出し、pH11 の NaOH 溶液を用いて膜ファウリング物質の抽出 (30 $^{\circ}\text{C}$, 24 時間) を行い、抽出液中の糖・タンパク質の抽出量、三次元励起蛍光スペクト

ル (EEM) の測定および LC-OCD, FT-IR を用いた分析を行った。

3. 結果と考察

3.1 TMP 上昇速度

図 1 に各ろ過実験における TMP (膜間差圧 : Transmembrane pressure) 上昇速度を示した。各ろ過実験において、対照系の TMP 上昇速度にややばらつきが見られるが、これは各実験で用いた実都市下水の水質変化に起因すると考えられる。空気を導入していない Run1 では、空気を導入した対照系に比べ、TMP 上昇速度が 2 倍程度速くなった。一方、導入空気量を対照系の 1.5 倍に設定 (気液混合比 : 0.21) した Run2 では対照系とほぼ同程度の TMP 上昇速度となった。空気を導入することで膜ファウリングは大きく抑制されるが、気液混合比を現行のパイロットスケール実験の運転条件から更に増加させても、膜ファウリングの大幅な抑制は起こらないことが予想される。Run1, 3, 4 は空気を導入せずに、クロスフロー流速を変化させて比較を行った実験であり、これらの結果を比較することでクロスフロー流速が膜ファウリングに与える影響を考察することができる。Run3 では対照系と同程度、Run4 では対照系に比べて大幅に膜ファウリングの発生が抑制された。本実験では、クロスフロー流速を高く設定することによる膜ファウリングの抑制効果は非常に高かった。

表 1 実験条件

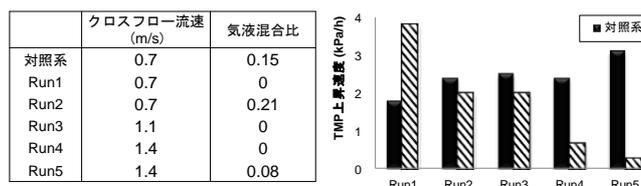


図 1 TMP 上昇速度

キーワード 槽外型エアリフト MBR クロスフロー流速 気液混合比

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院 TEL 011-706-6271

また、クロスフロー流速を対照系の2倍にする一方で気液混合比を半減させた Run5 では、膜ファウリングの発生が最も抑制された。槽外型エアリフト MBR の運転において、クロスフロー流速を高く設定した場合、僅かな導入空気量で大きな膜ファウリング抑制効果が得られる可能性がある。これは、膜ファウリングが発生しやすい汚泥のろ過が必要な場合に、有効に活用される知見である。

3.2 膜閉塞成分の分析

閉塞膜からの糖及びタンパク質の抽出量を図2に、抽出液の EEM スペクトルを図3に示した。なお、対照系の EEM スペクトルは Run1~5 ではほぼ同様であったため、Run1 の対照系のみ示した。TMP の上昇速度と、糖・タンパク質の抽出量及び EEM スペクトルにおけるタンパク質起因のピーク (Ex/Em 270/320nm) の強度との間に関連性が認められる。槽外型 MBR においても糖やタンパク質が膜ファウリングに大きく関与しており、糖やタンパク質の膜面/膜細孔内部への付着量はクロスフロー流速を高く設定する事で抑制できることがわかった。Run5 終了後に閉塞膜より抽出した成分を LC-OCD によって分析した結果を図4に示す。Run5 以外の閉塞成分分析では、保持時間30分付近の多糖類やタンパク質を含むバイオポリマーのピークがほぼ唯一のピークとなっていたが、Run5 の閉塞成分分析においてはバイオポリマーのピーク以外に保持時間40分付近に大きなピークが認められる。図5に抽出液の FT-IR 分析結果を示す。Run1~4 ではほぼ同様のスペクトルが得られたが

(図5では代表例として Run1 のスペクトルを示している)、Run5 の閉塞成分について測定したスペクトルは明らかに形状が異なる。これらのことから、膜ファウリングが最も抑制された Run5 においては、膜ファウリングに関与した成分が Run1~4 の場合とは異なっていたと考えられる。

4 まとめ

以下に本研究のまとめを示す。

1. クロスフロー流速を高く設定することによる膜ファウリング抑制効果は、気液混合比を大きくすることによって得られる効果よりも大きかった。
2. 本研究における主要な膜ファウリング物質は糖及びタンパク質であり、膜付着量はクロスフロー流速

を高く設定することで効果的に抑制できた。

3. 最も膜ファウリングが抑制された Run5 では、膜ファウリングに関与した成分が Run1~4 とは明らかに異なっていた。

参考文献

- 1) A.Hoque, K.Kimura, T.Miyoshi, N.Yamato, Y.Watanabe: Characteristics of foulants in air-sparged side-stream tubular membrane used in a municipal wastewater membrane bioreactor (2012) *Separation and Purification Technology*, vol. 93, pp.83-91.

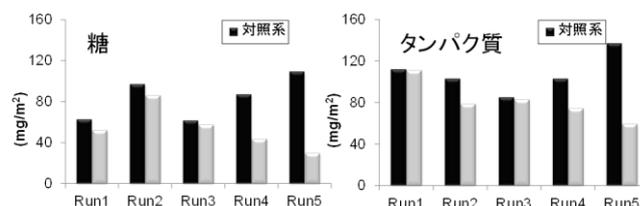


図2 糖・タンパク質の抽出量

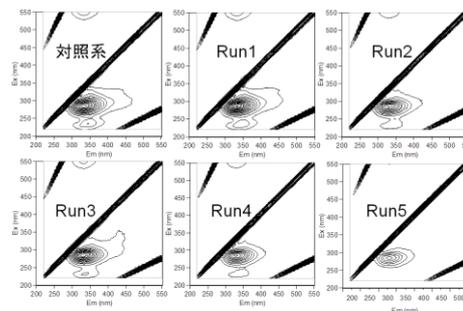


図3 EEM スペクトル

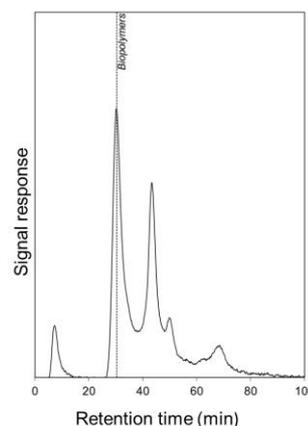


図4 膜閉塞成分の LC-OCD 分析結果 (Run5)

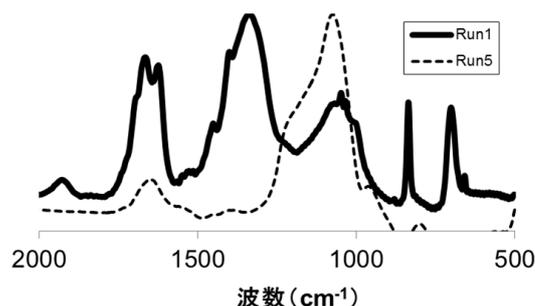


図5 膜閉塞成分の FT-IR 分析結果