

都市下水処理 MBR における微生物群集構造の解析

長岡技術科学大学大学院 ○ (非) 寺田修一郎 (正) 幡本将史 (正) 山口隆司

1. はじめに

膜分離活性汚泥法 (Membrane bioreactor : MBR) とは、活性汚泥法における固液分離を、反応槽内に膜モジュールを浸漬させ、膜ろ過により行う手法である。MBR は従来の活性汚泥法と比較して、敷設面積が小さいことや、高度な処理水が得られる等の利点があり、従来法の代替技術として導入が進められている

(1). しかし、長期的な運転に伴い膜面にバイオフィーム (膜ファウリング) が形成され、膜ろ過性能を著しく低下させることが課題である (2). MBR の安定運転の実現には、膜ファウリングの性状解明および制御技術の確立が求められている。既往の研究により、膜ファウリングは槽内の微生物種が放出する可溶性微生物代謝物 (Soluble microbial products : SMP) や細胞外高分子物質 (Extracellular polymeric substances : EPS) で形成され、これらは膜ファウリングの主要因であることが明らかにされてきた (3). しかし、それらの微生物種が活性汚泥やバイオフィーム中でどの程度活発に活動しているかは、いまだわかっていないである。そこで我々の研究グループは膜ファウリングの性状解明へのアプローチとして、MBR 中に存在する細菌群に着目し、微生物群集構造を解析することを試みた。槽内に存在する微生物種について、DNA および RNA を解析することで、槽内で活動している微生物種についての情報を収集する。得られた情報は膜ファウリングに関与する微生物種を特定するための判断材料として利用できる可能性がある。そこで本研究では、MBR 槽内に存在する微生物種について微生物群集構造解析を行い、膜ファウリングに関与する微生物種について調査した。我々の研究チームは本研究を行うことを目的に、実験スケールの MBR 処理システムを立ち上げ、連続運転を行っている。微生物群集構造解析に用いる試料の採取は本システムから行う。

2. 実験方法

2.1 運転条件

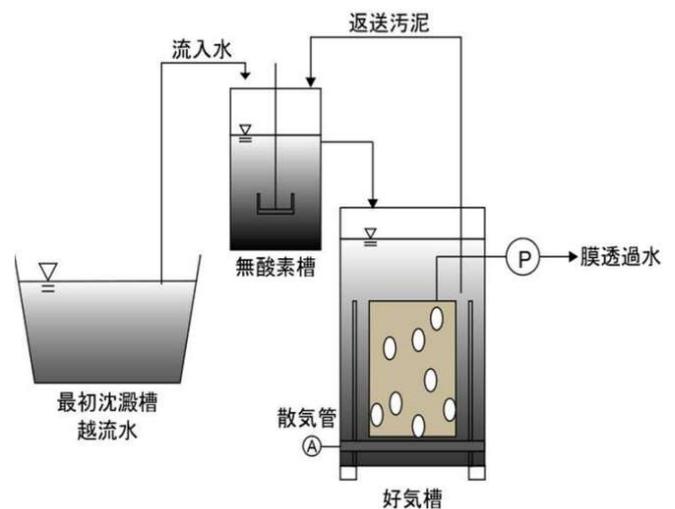


図 1 MBR 処理システムの概略図

図 1 に本研究で使用した MBR の概略図を示す。無酸素槽および好気槽の有効容積はそれぞれ 6 L で、本装置を長岡中央浄化センターに 2 台 (S1, S2) 設置し実験を行った。最初沈澱池越流水を流入水として使用し、平均孔径 0.2 μm の塩素化ポリエチレン製平幕 (C-PVC 膜) を好気槽に浸漬させた。本実験では定流量吸引ろ過方式を採用し、9 分間膜透過、1 分間停止のサイクルで間欠ろ過を行った。運転時の汚泥濃度は 8000~10000 mg/L に調整し、SRT は 60 日、HRT を 8 時間 (膜透過流量 0.30 m/d)、曝気風量は 5.0 L/min とした。

2.2 分析項目

膜ファウリングの指標となる膜間差圧 (Trans Membrane Pressure : TMP) の測定はデジタル圧カスイッチ (SMC, ZSE50F) を使用し測定した。本研究では膜ファウリング発生の基準を、TMP が 50 kPa に達したときと定めた。膜ファウリングが発生した際は、膜を洗浄した後、再度酸素槽に浸漬し運転を開始した。

微生物群集構造解析については、好気槽から採取した汚泥サンプルに対し、16S rRNA 遺伝子を対象として行った。DNA 抽出は DNeasy PowerSoil Pro Kit (QIAGEN) を用いて行った。PCR による増幅は Univ.515F-806R のプライマーセットを用いて行った。PCR 増幅産物は DNeasy Plant Maxi Kit (QIAGEN) を用

いて精製した。その後、iSeq100 (イルミナ社)により塩基配列を取得し、Qiime2により解析した。

3. 実験結果・考察

図2に、運転開始から50日目までのS1, S2の平均膜透過性能 (permeability) の経時変化を示す。permeabilityとは、膜透過流量をTMPで除した値である。時間経過に伴い膜透過性能が低下することが確認された。特にS1ではpermeabilityの著しい低下が確認され、運転開始から22日後に膜ファウリングが発生した。一方、S2については膜透過性能に低下が確認されるものの、実験期間中に膜ファウリングは発生しなかった。

図3に、Qiime2により解析した好気槽内の活性汚泥S1, S2のそれぞれで検出された微生物について、属レベルの存在割合を示す。S1, S2とも概ね類似した組成を示した。一方、特定の微生物種はS1とS2で存在割合に差を示した。*Polyangiaceae*と*Microtrichales*は、S1とS2に共通して存在していたものの、S1で優占していることが示された。本実験において、S1にのみ膜ファウリングが発生したことから、*Polyangiaceae*と*Microtrichales*が膜ファウリングを誘発した可能性がある。逆に、*Elusimicrobia*はS2で優占していることから、*Elusimicrobia*は膜ファウリングを抑制した可能性がある。

4. まとめ

MBRを2台で同一の運転条件で連続運転を行った結果、顕著なPermeabilityの減少に伴う膜ファウリングがS1では発生し、S2では発生しなかった。両系の活性汚泥中の微生物群集構造解析の結果から、活性汚泥中の特定の微生物種が、膜ファウリングの発生、または抑制を促す可能性がある。今後は、活性汚泥および、流入水、バイオフィルムについてRNAの解析を行い、槽内で活動している微生物種についての情報を収集する。

謝辞 本実験では長岡中央浄化センターに実験場所を提供していただきました。ここに感謝の意を表します。

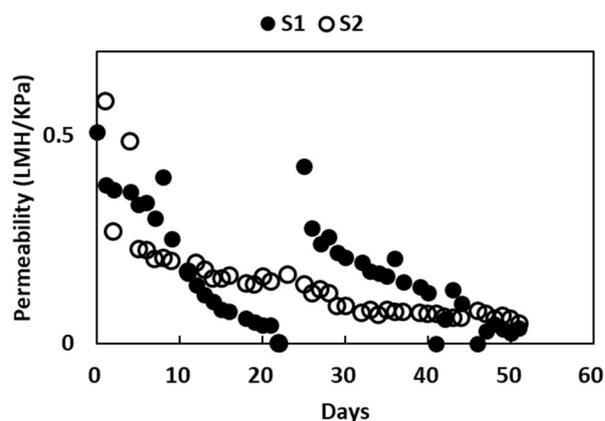


図2 各リアクターにおける膜透過性能の変化

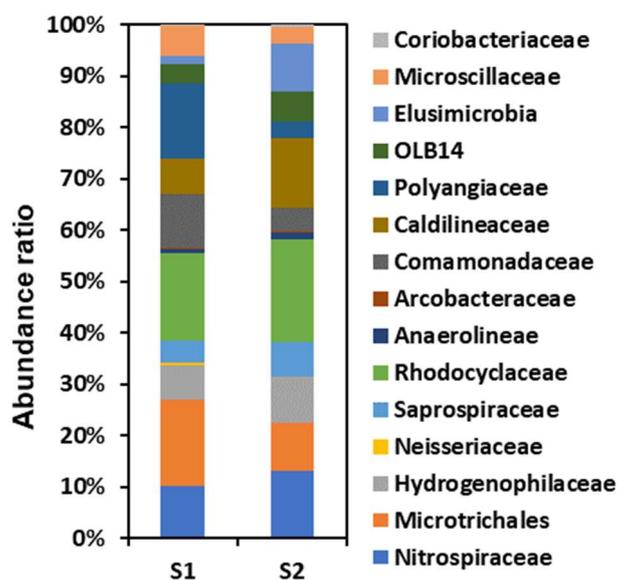


図3 各リアクターにおける微生物種の存在割合

文献

1. K, Xiao., S, Liang., X, Wang., C, Chen., X, Huang. Current state and challenges of full-scale membrane. *Technology* 271, 473-481. 2019
2. O, T, Lorchemen., R, A, Hamza., J, H, Tay. Membrane Bioreactor (MBR) Technology for Wastewater Treatment and Reclamation: Membrane Fouling, *Chemical Engineering Journal* 225, 109-119. 2013
3. N, Janga., X, Rean., G, Kim., C, Ahn., J, Cho. Characteristics of soluble microbial products and extracellular polymeric substances in the membrane bioreactor for water reuse, *Desalination* 202 1-3, 90-98. 2007