

## MBR 負荷変動時における処理水質および微生物叢の変化

長岡技術科学大学 学生会員 ○石田 孝弥 非会員 滝本 祐也, 正会員 幡本 将史, 正会員 山口 隆司

株式会社クボタ 非会員 小林 拓之, 非会員 江崎 聡

## 1. はじめに

膜分離活性汚泥法 (Membrane bioreactor: MBR) とは活性汚泥法の一つであり, 反応槽内に膜モジュールを浸漬させ, 膜ろ過により固液分離を行う手法である<sup>1)</sup>. MBR が開発されてから, 下水処理, し尿処理などへの適用が検討され, その実用化も急速に進んでいる. 従来の活性汚泥法と比較して, MBR は, 反応槽内に微生物を高濃度に保持でき, 処理効率の向上と装置のコンパクト化が図れる.

しかしながら, MBR は継続運転に伴う膜面付着層の形成 (膜ファウリング) によって膜透過流速が時間的に低下するという問題点がある. この膜ファウリングは, MBR 槽内の微生物が産生する細胞外ポリマー (EPS) により深刻化するとされている. そのため膜ファウリングを抑制することが MBR にとって重要な課題であり, MBR 槽内の微生物とファウリング進行との関係について研究が続けられている.

本研究では, 実下水を流入水とした MBR において, 能動的な負荷変動により膜ファウリングを発生させ, このときの MBR 槽内の菌叢を解析することでファウリング進行に関与する菌の特徴を解明することを目的とした.

## 2. 実験方法

## 2.1 実験装置及び運転条件

実験に用いた MBR を図 1 に示す. MBR の処理方式は無酸素・好気膜分離処理方式 (AO-MBR) を用いた. MBR (無酸素槽: 6 L, 好気槽: 6 L) を長岡中央浄化センターに 2 機設置し, R1 (コントロール系), R2 (実験系) とした. 実験には平均孔径 0.2  $\mu\text{m}$  の塩素化ポリエチレン製平膜を用いた. 流入水は, 下水を沈殿槽に流入させた後の越流水を, 無酸素槽に供給した. 本実験は定流量吸引濾過方式を採用し, 9 分間膜透過, 1 分間停止というサイクルで間欠濾過を行った. 運転時の汚泥濃度

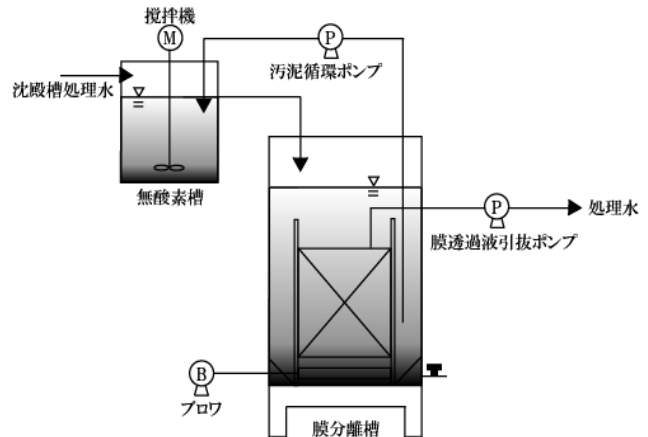


図 1 実験装置概略図

は 8000 - 10000 mg/L に調節し, SRT は 60 日とした. 曝気風量は 5.0 L/min とし, 膜透過流量は 23 ml/min (HRT 8.0 h) とした.

運転 170 日目より, R2 の原水供給を停止し, 処理水を循環させることで低負荷試験を行った. 低負荷試験時の COD 容積負荷は, R1 が 0.4 kgCOD/m<sup>3</sup>/day, R2 が 0.002 kgCOD/m<sup>3</sup>/day であった. 低負荷試験は運転 188 日目まで行い, 処理水質および微生物叢の変化を確認した.

## 2.2 分析項目

分析項目は流入水および処理水の溶解性 COD, TN, TP を測定した. COD は比色測定法, TN, TP は, 過硫酸分解法を用い, 測定には HACH 社製の吸光光度方式水質測定器 (DR-2800) を用いた.

汚泥サンプルは膜分離槽内の汚泥をリアクター下部のサンプリングポートより採取した. また, 運転条件変更から 3 週間が経過した点の膜表面の汚泥を採取した. 採取した汚泥サンプルについて 16S rRNA 遺伝子を標的として MiSeq (Illumina) にて解析を行った

## 3. 実験結果および考察

図 2 に TMP の経日変化, 図 3 に各測定項目の経日変化を示す. 運転期間を通して R1, R2 における処理水の溶解性 COD はそれぞれ 18 ± 7 mg/L, 22 ± 7 mg/L を示した. 次に, 低負荷試験を開始した運転 170 日目以降に

キーワード MBR, 都市下水, 16S rRNA

連絡先 〒954-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学大学院 環境社会基盤工学専攻 TEL 0258-47-1611-6646

において、R2 の TN および TP が徐々に増加する傾向を示した。これは、流入水の供給を停止したことにより、R2 槽内で菌が飢餓状態となって自己分解し、リンおよび窒素が溶出したことが考えられる。また、TMP の経日変化についても R2 において急激に上昇しており、菌の自己分解により溶出した産物が膜面に付着したことで TMP が上昇したことが考えられる。以上から、低負荷試験において膜ファウリングが生じたことが考えられる。

図 4 に負荷変動による各リアクターにおける好気槽汚泥および膜付着汚泥の微生物群集構造変化を示す。すべてのサンプルにおいて、*Bacteroidetes* 門と *Proteobacteria* 門が最も優占して検出された。次いで *Nitrospirae* 門、*Actinobacteria* 門、*Firmicutes* 門、*Planctomycetes* 門が検出された。これらは都市下水を処理する活性汚泥や高曝気運転下の MBR から検出される菌叢に類似していた (Zhang ら, 2012 ; Ma ら, 2013)。膜ファウリングが発生した R2 のバイオフィームにおいて、*Bacteroidetes* 門の検出割合が減少し、TM6 門が *Proteobacteria* 門に次いで優占して検出された。TM6 はバイオフィームを含むサンプルから得られた微生物種であるという報告があり、バイオフィーム形成に関与すると考えられる (McLean ら, 2013)。また、嫌気 MBR から高頻度に検出されており (Xie ら, 2014)、嫌気下でバイオフィームを形成することが推察された。負荷変動後の好気槽中の微生物群集構造において、 $\gamma$ -*Proteobacteria* 綱の検出割合がわずかながら増加する傾向にあった。 $\gamma$ -*Proteobacteria* 綱は糖を産生してバイオフィーム形成を行うことが示唆されており (Gao ら, 2013)、本実験においてもバイオフィーム形成を担う微生物種であると考えられた。

#### 4. まとめ

実下水を流入原水とした MBR において、有機物負荷を減少させた結果、TN、TP の増加が確認され、溶菌によるリン及び窒素の溶出が確認された。それに伴って TMP も上昇していることから、溶菌した産物が膜表面に付着し、膜ファウリングが生じたことが示唆された。また、微生物群集構造解析の結果、R2 のバイオフィームにおいて、TM6 門が *Proteobacteria* 門に次いで優占して検出された。TM6 はバイオフィームを含むサンプルから得られた微生物種であるという報告があり、バイオフィーム形成に関与していると考えられた。

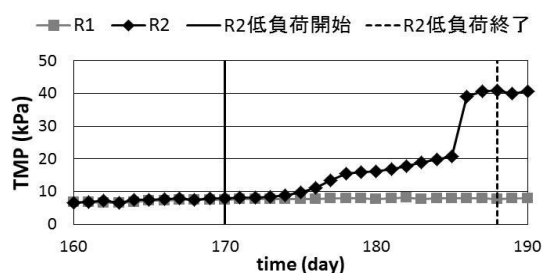


図 2 TMP の経日変化

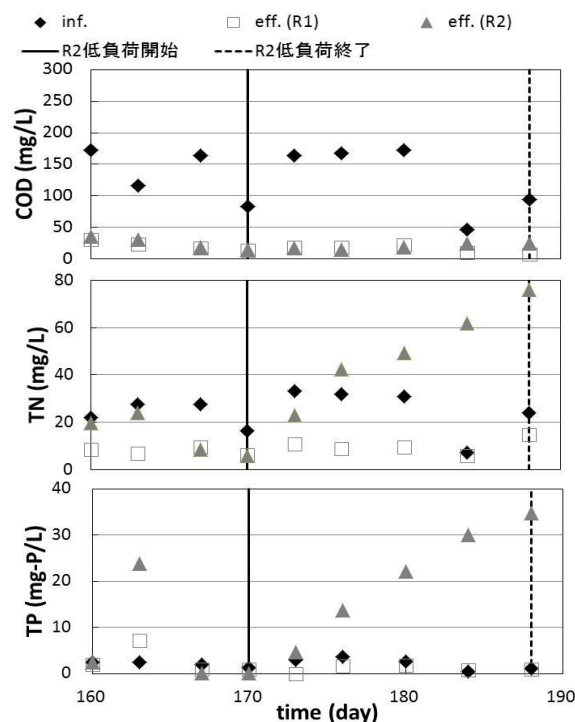


図 3 各測定項目の経日変化

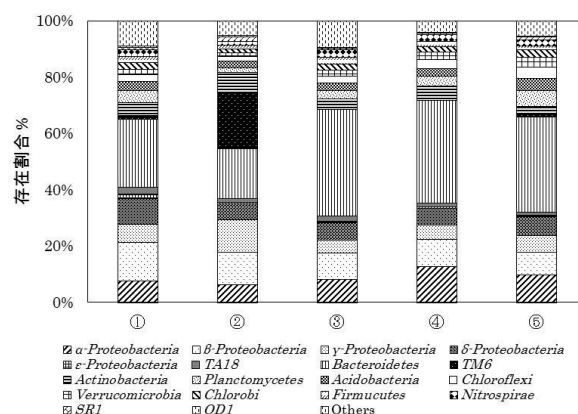


図 4 負荷変動による各リアクターにおける好気槽汚泥および膜付着汚泥の微生物群集構造変化 ①：R1 膜面付着汚泥，②R2 バイオフィーム，③R1 好気槽汚泥，④：R2 好気槽汚泥（低負荷試験前），⑤：R2 好気槽汚泥（低負荷試験後）

#### 参考文献

- 1) 柳根勇, 桃井清至, 小松俊哉 (1997) 膜分離活性汚泥法における膜透過性能に対する生物代謝成分の影響, 水環境学会誌, 第 20 巻, 第 7 号, 473-480