

高有機物負荷条件下の MBR 分離膜表面で発生するゲル状バイオフィームの特徴解析

長岡技大・院 ○ (学) 三輪 徹、(学) 滝本 祐也
(正) 幡本 将史、(正) 渡利 高大、(正) 山口 隆司

1. はじめに

膜分離活性汚泥法 (MBR: Membrane Bioreactor) は、コンパクトな敷設面積、安定的に清澄な処理水が得られる、高濃度の汚泥保持が可能といった利点を有しているため従来の活性汚泥法に代わり導入が進められている。しかし、膜閉塞 (膜ファウリング) は長期的な運転に伴いほぼ確実に発生し、MBR プロセス全体が機能不全に陥ることから MBR 最大の課題として挙げられている¹⁾。膜面のバイオフィーム形成は膜ファウリングの主要因として考えられており、今後の MBR 導入推進のためにもバイオフィームの形成機序解明は急務の課題である。

排水処理を行う MBR において、膜面で発生するバイオフィームはその形態的特徴よりケーキ層とゲル層 (ゲルバイオフィーム) に分類される。特にゲル層はケーキ層と比較して数百倍もの濾過抵抗を持ち膜ファウリング現象において重要な役割を果たしているものの、複雑な形成過程が未だ明らかにされておらずモデル成分 (Agar) を使用した研究が多い²⁾。そこで本研究では実下水を処理する MBR において能動的にゲル状のバイオフィームを発生させ、特徴解析を行った。本発表ではゲルバイオフィームの微生物群集構造解析およびその形態を観察した結果を報告する。

2. 実験方法

無酸素槽と好気槽からなる A/O-MBR を下水処理場に設置し実験を行った (図 1)。リアクター温度を制御するため、ウォータージャケットをリアクター側面に設置した。平均孔径 $0.2 \mu\text{m}$ の塩素化ポリエチレン製平膜 (C-PVC 膜) を好気槽に浸漬させ、都市下水の最初沈殿池越流水を流入水として使用した。リアクター運転性能が安定した後に、有機物負荷を増大させた膜ファウリング誘発条件下 (水温: $10.7 \pm 0.5^\circ\text{C}$ 、水理的滞留時間: 6 時間、汚泥滞留時間: 12 日) での運転を行い、ゲルバイオフィームを発生させた。膜間差圧 (TMP) が 50 kPa 以上を膜ファウリング発生とみなした。膜ファウリング発生時の膜面観察用に膜を $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ の大きさで切り取り、PBS に浸漬し観察時まで冷蔵保存した。さらにゲルバイオフィームの成分分析用に、スパチュラで膜面のバイオフィームを採取した。

切り取った膜断片に SYTO9 及び propidium iodide を添加し生菌、死菌の染色を行った。染色した膜断片を 24 時間以上 PBS に浸漬させた後、共焦点レーザー顕微鏡 (CLSM; A1, Nikon) で観察を行なった。また、採取した膜断片にイオン液体を添加し、走査型電子顕微鏡 (SEM; TM3030Plus, 日立ハイテック) でバイオフィームの構造観察を行なった。16S rRNA 遺伝子を標的とした解析は DNA シーケンス解析キット (iSeq Reagent Kit v2, illumina) を使用し、DNA シーケンサー (iSeq, illumina) によって解析を行った。

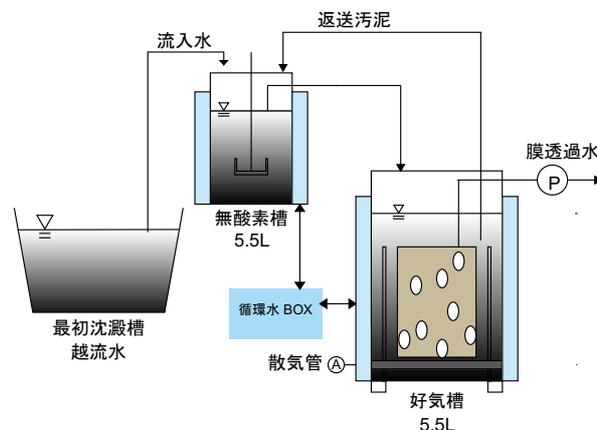


図 1 リアクター概略図

キーワード バイオフィーム、膜ファウリング、微生物群集、有機物負荷

連絡先 〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1 長岡技術科学大学 水圏土壌環境研究室 Tel 0258-47-1611-6646

3. 結果と考察

図 2A に膜ファウリング発生後の膜面に形成されたゲルバイオフィーム中の死菌、生菌の観察像を示す。膜面全体で死菌が優占し、生菌は死菌塊部分にわずかに検出された。図 2B に膜ファウリング発生後の膜面の SEM 画像を示す。直径数 μm 程度の微小物質が散見され、バイオフィーム中で観測されるマイクロコロニーはほとんど見られなかった。通常のバイオフィーム形成過程では、バイオフィームが成熟するにつれ生菌割合は増加し、多くのマイクロコロニーが検出される^{3,4)}。以上の結果より有機物負荷の増大に伴い発生したバイオフィームは一般的な形成過程とは異なるプロセスで形成されたことを示唆した。

図 3 に膜ファウリング発生時の活性汚泥、流入水、及びバイオフィームの微生物群集構造を示す。全てのサンプルで Gammaproteobacteria 綱、Bacteriodia 綱が優占し、活性汚泥及びバイオフィームにおいては Alphaproteobacteria 綱及び Polyangia 綱が特異的に検出された。一方で、バイオフィームでは Parcubacteria (OD1) 門、及び Campylobacteria 綱が特異的に増加しており、これらの微生物群は有機物負荷増大に伴うゲルバイオフィーム形成において重要な役割を担っていることが示唆された。

4. まとめ

有機物負荷を増大させた膜ファウリング誘発条件下で A/O-MBR を運転し、ゲルバイオフィームを形成させた。バイオフィームは死菌の優占化や数 μm の微小物質が確認された。流入水由来の微生物 (Campylobacteria 綱) がバイオフィーム中で特異的に増加することから、ゲルバイオフィームは流入水由来の成分が膜面に堆積することで形成されることを示唆した。

参考文献

- 1) Meng et al. *Water Res.* (2017)., 2) J.Chen et al. *Water Res.* (2016)., 3) L.Vanysacker et al. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* (2014)., 4) Y.Miura et al. *Environ. Sci. Technol* (2007)

謝辞 本研究の実施にあたって長岡中央浄化センターには研究場所を提供頂いた。ここに感謝の意を記す。

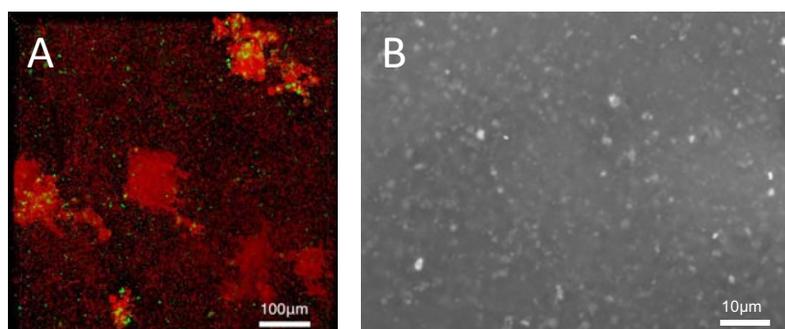


図 2 膜ファウリング発生後の二次元 CLSM 画像 (A)。死菌は赤、生菌は緑で示す。及び膜ファウリング発生後の SEM 画像 (B)。

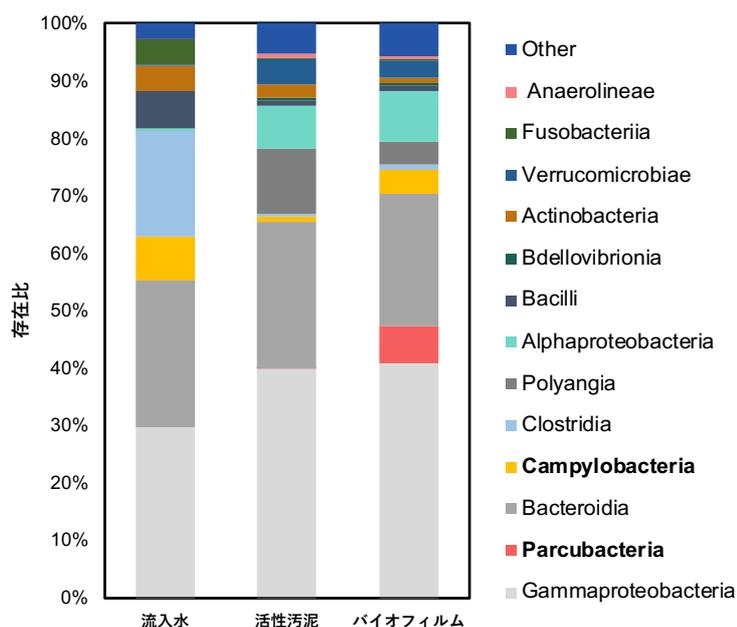


図 3 膜ファウリング発生後の流入水、活性汚泥、ゲルバイオフィームの微生物群集構造