

化学洗浄後の MBR 膜表面に残存する塩素耐性細菌の解析

長岡技術科学大学院 (非)○西森喬太 (正)山口隆司 (正)渡利高大 (正)幡本将史

1. はじめに

膜分離活性汚泥法 (MBR) は、活性汚泥法と膜ろ過を組み合わせることで、従来の活性汚泥法と比較して、高度な処理水質が得られることや設置面積の大幅な削減、自動化・省人化が容易であることなどの優れた特徴を有している。しかし、本手法の特徴である高濃度の活性汚泥は、膜の表面や細孔に入り込みバイオフィルムを形成し、膜の目詰まり (膜ファウリング) を引き起こしてしまう。

膜ファウリングの発生は、処理水の流量を低下させ、運転エネルギーの増加を引き起こし、最終的には膜の閉塞で運転が不可能となる。そのため、定期的に膜の洗浄を行うことは、処理性能を維持するのに不可欠である。

膜の洗浄方法として、次亜塩素酸ナトリウム (NaOCl) での逆洗 (Chemical Enhanced Backwash [CEB]) が膜の透過性能を回復する目的で広く使用されている¹⁾。しかし長期運転に伴い、MBR リアクターでは次亜塩素酸ナトリウム洗浄による膜汚染除去効率が低下し、洗浄後に再ファウリングが発生するまでの時間が短縮する現象が報告されている²⁾。これには塩素耐性菌が深く関わっているとされる。塩素耐性菌は、OCl⁻などの塩素に耐性を持ち、化学洗浄では簡単に取り除くことができない。また、化学洗浄後に優先して増殖し、再ファウリングに寄与するとされる。さらに塩素に対する防御機構も広く認知されていない³⁾。この問題を解決するためには、塩素耐性菌の生態を解明することが必須である。

そこで本研究では、ラボスケールの MBR リアクターの運転を行い、膜面表面に形成されたバイオフィルム中に存在する塩素耐性菌を特定することを目的とした。

2. 実験方法

2.1 リアクター運転条件

図-1 に実験装置の概略図を示す。リアクターは好気槽のみで構成され、400 mL の観察型水槽に MBR 膜 (14 cm×11 cm) を浸漬させた。人工下水を流入原水とし、都市下水処理の活性汚泥を植種汚泥に用いた。人工下水の組成を表-1 に示す。流入水、反応槽共に室温下で実験を行った。エアストーンを反応槽下部に設置し、酸素の供給と膜洗浄の効果を持たせた。水理学的滞留時間 (HRT) は 12 時間で運転を開始し、初期汚泥濃度を 5000 mg/L に設定した。また、運転開始 11 日目に HRT を 8 時間に変更した。実験期間中、膜間圧力差 (TMP) が -30 kPa に達した時点をも膜ファウリングの発生と定義し、その都度、NaOCl による化学洗浄を実施する事とした。

2.2 水質分析

リアクターの運転状況を確認するため反応槽の pH と水温、TMP、ORP を測定した。pH はコンパクト pH 計 (HORIBA 製 LAQUAtwin-pH-22B) を用いた。TMP は圧力計 (長野計器製 GC31-174) によりリアクター

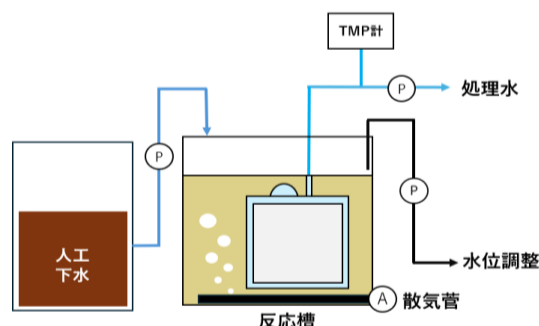


図-1 リアクター概略図

表-1 人工下水の組成

成分	濃度 (mg/L)
Peptone	250
CH ₃ COONa	160
NH ₄ Cl	88
MgSO ₄ · 7H ₂ O	2
KH ₂ PO ₄	28
NaCl	5
CaCl ₂	4

運転中に連続的に記録した。水温と ORP はポータブルマルチ水質計 (東亜ディーケーケー製 MM-41DP) を用いて反応槽内に直接電極を挿入し測定した。また、処理性能評価のため、吸光光度計 (HACH 製 DR3900) を用いて流入水と膜ろ過水の化学的酸素要求量 (COD) の分析を行った。

3. 結果及び考察

図-2 に TMP の測定結果、図-3 に COD の測定結果を示す。図-2 より、運転開始時の TMP は -3 kPa であった。しかし、HRT を変更した翌日の開始後 12 日目に -5 kPa に増加した。これは、HRT を短縮したことにより膜面でのろ過抵抗が増大したためだと考えられる。

図-3 より、流入水の COD は 239 ± 163 mg/L であり、膜ろ過水は 44 ± 40 mg/L であった。膜ろ過水の COD は流入水と比較すると低下しており、微生物によって有機物は処理されていることが分かる。

また、反応槽の pH は 6.0~8.0 の間で安定しており、流入水に比べると少し低下していた。これは、硝化反応により pH が少し低下したと考えられる。

さらに、反応槽中の ORP の値は運転期間を通して、350~450 mV の間で安定しており、曝気により好気性条件が保たれていることが確認された。

4. まとめと今後の展望

リアクター運転の結果より、COD が消費されており、微生物が活発に活動していることが分かった。また、反応槽中の pH が少し低下していたがリアクターの運転に大きな問題はなかった。しかし、一般的な好気性

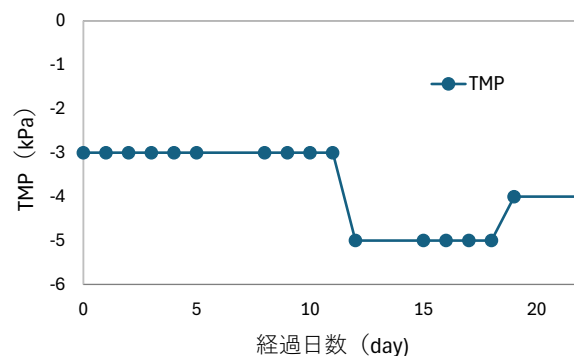


図-2 TMP の経時変化

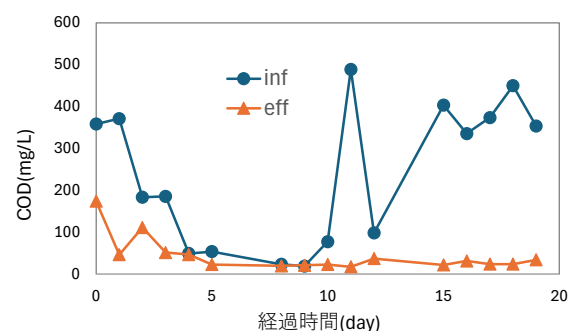


図-3 COD 濃度の経時変化

有機物分解の最適 pH は 6.5~8.0 程度とされているため、人工下水の組成の見直しや、アルカリ剤の添加を行い pH を大きくする必要があると考えられる。

今後の展望として、膜ファウリングが発生した後、膜表面のバイオフィーム中に塩素耐性菌を優先化させるため、NaOCl での洗浄を行っていく。具体的には、膜ファウリングの発生を早めるため、リアクターの運転結果や TMP の経時変化などを踏まえて、HRT を短縮し、流入負荷を大きくしていく。膜ファウリングが起きた後に、膜洗浄を行う。膜洗浄は、リアクターから膜を取り出し、NaOCl(有効塩素:300 mg/L) で 30 分間の CEB を行うことを検討している。CEB の前後に膜の表面からサンプルを採取し、微生物解析を行っていく。

5. 参考文献

- 1) Li, Yufang, et al. Science of The Total Environment, 2022, 838: 156421.
- 2) Gao, Tianyu, et al. Desalination, 2023, 551: 116421.
- 3) Cai, Weiwei, et al. Journal of Membrane Science, 2016 511: 84-91.