

PVDF 製中空糸膜を用いたオゾン水洗浄式浸漬型 MBR の膜間差圧上昇モデルの構築

東京都市大学大学院 学生会員 ○佐々木 敬成
三菱電機株式会社 非会員 今村 英二, 野田 清治
東京都市大学 正会員 長岡 裕

1. はじめに

膜分離活性汚泥法(MBR)は、運転継続によって発生する膜ファウリングにより膜透過流束の減少が引き起こされるため酸化剤等による洗浄が必要であるが、頻繁な洗浄は不経済であり、効率的な洗浄技術、洗浄時期の予測技術開発が求められている。今村ら¹⁾はオゾン水を膜洗浄剤とする浸漬型高フラックス MBR の開発を行っており、オゾン水洗浄の有効性を確認した。本研究では、既存の MBR の膜間差圧上昇予測モデルにオゾン水洗浄式 MBR に適用した結果について報告する。すなわちラボスケールのオゾン水洗浄式 MBR の運転データとモデルによる計算結果を比較してモデルの適用可能性及び今後の課題を検討した。

2. 実験概要

2.1 実験装置

図-1 に実験装置の概要を示す。活性汚泥槽は有効容積 121L のアクリル水槽である。反応槽内部に 6 本の膜モジュールユニットを固定した枠構造物を浸漬させた。各膜モジュール下部の穴にチューブを接続し、ポンプから直接空気を送り曝気による膜面洗浄を行った。中空糸膜モジュールは公称孔径 0.1μm、有効膜面積 0.1m² の PVDF 製円筒型モジュールを使用した。

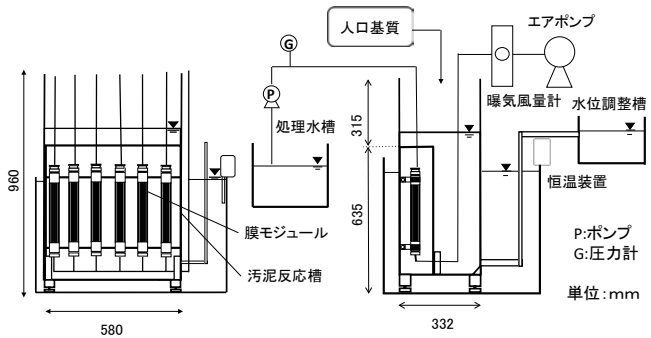


図-1 実験装置図 (左：正面図, 右：立面図)

2.2 実験条件

表-1 に実験条件を示す。あらかじめオゾン水洗浄した膜モジュールを 3 本使用し、これらをオゾン水洗浄

膜①～③とした。また処理水量を確保するため、これらとは別に膜モジュールを 3 本浸漬し、同様に吸引ろ過を行った。表-2 にフラックス条件を示す。ファウリングの判定は膜間差圧が 30kPa を超えた時点とし、膜モジュールを汚泥反応槽から取り出し、膜洗浄を行った。物理洗浄は中空糸膜の表面に付着した活性汚泥を目視で確認できなくなるまで洗い流した。薬液洗浄は、イオン交換水に浸漬した膜モジュールに溶存オゾン濃度 35~50mg/L のオゾン水をフラックス 0.8m/day で注入し、60~90 分間逆圧洗浄を行った。

表-1 実験条件

	Run1	Run2
運転期間	0日目~143日目	163日目~273日目
運転サイクル	9分運転, 1分停止	
曝気風量	8L/min (膜1本あたり)	
MLSS濃度	8000~10000mg/L	制御せず
SRT	制御せず	50日
HRT	6.69時間	4.71時間
汚泥水温	25℃	
TOC負荷量	0.5kg/m ³ /day	

表-2 フラックス条件

	Run1	Run2
オゾン水洗浄膜①	0.8m/day	0.8m/day
オゾン水洗浄膜②	0.8m/day	1.0m/day
オゾン水洗浄膜③	0.8m/day	1.6m/day

3. モデル式

本研究に用いた、MLSS 濃度、混合液中の EPS(Extracellular polymeric substances:菌体外高分子)濃度および膜面・膜細孔内の EPS 密度のモデル式を式(1)~式(10)に示す²⁾。

$$\frac{dx}{dt} = YL - k_{dx}x - \frac{1}{SRT}x \tag{1}$$

$$\frac{dp}{dt} = \beta YL - k_{dp}p - \frac{1}{SRT}p \tag{2}$$

$$\frac{dm}{dt} = Jp - k_{dm}m - k_b m \tag{3}$$

$$k_{dm} = \gamma(\tau_m - \lambda_m \Delta p) \tag{4}$$

$$J = \frac{\Delta p}{\mu R} \tag{5}$$

キーワード オゾン水洗浄式浸漬型 MBR, ファウリング, EPS, モデル式, シミュレーション
連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学大学院 水圏環境・長岡研究室
TEL: 03-5707-0104 内線 3258 E-mail: g1881616@tcu.ac.jp

$$R = \alpha m + R_{memb} \tag{6}$$

$$\mu = \frac{0.001779}{1 + 0.00337T + 0.00221T^2} \tag{7}$$

$$\frac{dm_f}{dt} = \varphi m - k_{dmf} m_f \tag{8}$$

$$\varphi = k_{\varphi} \Delta p \tag{9}$$

$$R = \alpha m + \alpha_f m_f + R_{memb} \tag{10}$$

x: MLSS 濃度(g/m³), Y: 菌体収率(g-MLSS/g-TOC), L: TOC 容積負荷(g/m³), k_{dx}: MLSS 自己分解定数(1/day), t: 時間(day), p: 混合液中の EPS 濃度(g/m³), β: EPS 生成(g-EPS/g-MLSS), k_{dp}: EPS 自己分解定数(1/day), m: 膜面上の EPS 密度(g/m²), k_{dm}: EPS の剥離速度(1/day), γ: 定数(Pa/day), τ_m: 膜面のせん断応力(Pa), λ_m: 静止摩擦係数(-), k_b: 逆洗浄による剥離速度(1/day), R: ろ過抵抗(1/R), α: 吸引 EPS 比抵抗(m/g), R_{memb}: 膜の初期ろ過抵抗(1/m), μ: 透過液の粘性係数(Pa・day), T: 温度(°C), m_f: 膜細孔内 EPS 密度(g/m²), φ: 変数(1/day), k_{dmf}: 膜細孔内 EPS 自己分解定(1/day), k_φ: 定数(1/(Pa・day)), α_f: 膜細孔内 EPS 比抵抗(m/g)を示す.

4. 測定結果及び考察

4.1 シミュレーション方法

本シミュレーションは時間刻みを 1 分刻みとして前進差分法を用いて計算を行った. またオゾン水洗浄による膜の洗浄回復率を中村らの実験³⁾より 90%とした. 表-3 にシミュレーションに使用したパラメータ値を示す. 運転初期において膜面, 膜内部に EPS が付着していないものとした. 本実験では逆流洗浄は行わず, リラクゼーション (ろ過を停止した状態での曝気による膜面洗浄) を行ったため逆洗浄に関するパラメータを全て 0 とした. 他の項目は文献を参考にしたものと, 実験による実測値から計算結果を比較し, フィッティングによってパラメータ値を決定した.

表-3 パラメータ値

項目	パラメータ値	単位	決定方法	項目	パラメータ値	単位	決定方法
Y	0.5	g-MLSS/g-TOC	文献値 ⁴⁾	τ _m	5	Pa	フィッティング
L	0.5	g/L/day	実験条件	γ	0.27	1/day/Pa	フィッティング
k _{dx}	0.019	1/day	フィッティング	λ _m	3.5 × 10 ⁻⁵	-	文献値 ⁵⁾
β	0.025	g-EPS/g-MLSS	フィッティング	α	4.6 × 10 ⁵	m/kg	文献値 ⁵⁾
k _{dm}	0.018	1/day	文献値 ⁴⁾	α _f	6.35 × 10 ⁵	m/kg	文献値 ⁵⁾
				k _φ	4.5 × 10 ⁻⁴	1/Pa/day	文献値 ⁵⁾

4.2 シミュレーション結果

図-2 にオゾン水洗浄膜③の膜間差圧の実測値とシミュレーション結果を示す. シミュレーション結果よりフラックス 1.6m/day の高フラックス時には, 実

験結果を本モデル式で再現することは困難であったが, フラックス 0.8m/day の低フラックス時には実測値に近い相応な膜間差圧の上昇をシミュレーションできる可能性が示された.

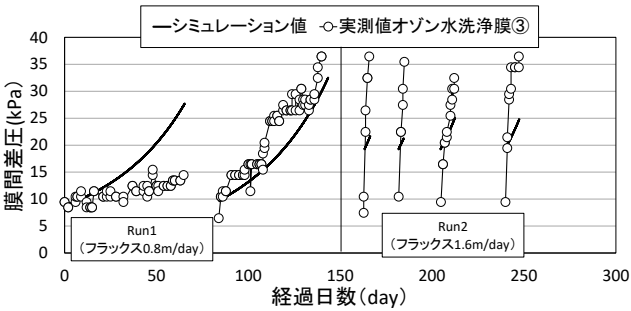


図-2 オゾン水洗浄膜③の膜間差圧シミュレーション

5. まとめ

本報告では MBR の洗浄時期推定を目的として構築した膜間差圧上昇モデルのオゾン水洗浄式 MBR への適用可能性について検討した. 膜間差圧の実測値と膜間差圧上昇モデル式によるシミュレーションの比較を行った結果, 低フラックス(0.8m/day)における膜間差圧上昇は, 本モデルで再現できたが, 高フラックス(1.6m/day)のそれは再現できなかった. 明確な原因は不明だが, フラックスによってファウリングの進行メカニズムが変化する可能性がある. 今後はファウリングの進行メカニズムについてより深く追及し, 適切なパラメータ値の設定やモデルの修正などが必要と考えられる.

参考文献

1) 今村英二, 安永望: オゾン水洗浄式膜分離活性汚泥法においてオゾン水洗浄が膜の透水性に与える影響, 第 54 回下水道研究発表会講演集, p215-217

2) 渡辺絢規, 長岡裕: 膜分離活性汚泥法における膜面・膜細孔内のモデル式の構築, 第 42 回土木学会関東支部技術研究発表会概要集, 第Ⅶ部門-54

3) 中村康大, 長岡裕, 今村英二, 安永望: 膜分離活性汚泥法における中空糸膜のオゾン水洗浄によるファウリング抑制効果, 第 54 回下水道研究発表会講演集, p212-214

4) H.Nagaoka, S.Yamanishi and A.Miya: Modeling of biofouling by extracellular activate sludge system, Water Science and Technology Vol.38, No4-5, 1998, p497-504

5) 山田朋子, 長岡裕: MBR におけるポリマー加工膜のファウリング抑制効果に与える汚泥状況の影響, 第 53 回下水道研究発表会講演集, p235-237