

MBR における膜間差圧上昇モデルの開発, 改良

東京都市大学 学生会員 ○井上 舞衣

東京都市大学 正会員 長岡 裕

1. はじめに

下水処理法において, 一般に普及する標準活性汚泥法に代わる高度処理法として膜分離活性汚泥法が注目されている。膜分離活性汚泥法の場合, 膜による固液分離であるため, 浮遊物質が完全に除去でき, また, 細菌類も除去できるので, 塩素消毒をすることなく, 良質な水を安定して得ることができ, 最終沈殿池を省略できることから施設のスペースのコンパクト化が可能である。一方, 問題として, 膜目詰まり(ファウリング)が起き, 十分な処理水量が得られなくなるといことが挙げられる。浸漬型の膜分離活性汚泥法では, 曝気によるせん断力で膜面を洗浄し, ファウリングの物理的抑制としているが, 曝気量の設定, 薬品洗浄の時期は経験的判断に頼っており, 過剰洗浄による, 膜の劣化, 運転コスト増大などの問題を引き起こす。そこでこのファウリングを数式モデル化することができれば, ファウリングを事前に予測でき, 洗浄に最適な時期を予測することが経験がなくても可能になる。更に, 効率よく運転管理を行うことも期待できる。

現在, ファウリングの原因物質は, 反応液中の菌体が生物代謝活動で生成する, 菌体外高分子ポリマー(EPS: Extra-cellular Polymeric Substances)であるといわれており¹⁾この膜目詰まりの過程は既に数式モデル化されている。本研究ではこのモデル式を使用し膜目詰まりの実験値とシミュレーション結果との整合性を検討することにより, シミュレーションを行い膜目詰まりの時期を事前的に予測することを目的とする。

2. モデル式概要

本研究では以下の(1)~(9)のモデル式を使用した。

$$\frac{dx}{dt} = Y \cdot L - k_{dx} \cdot x \quad (1)$$

$$\frac{dp}{dt} = \beta \cdot Y \cdot L - k_{dp} \cdot p \quad (2)$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = k_{\alpha}(\alpha_{\infty} - \alpha) \quad (3)$$

$$\alpha_{\infty} = \alpha_0 + \alpha_p \cdot \Delta p \quad (4)$$

$$\frac{dm}{dt} = J \cdot p - k_{dm} \cdot m \quad (5)$$

$$k_{dm} = \gamma(\tau_m - \lambda_m \cdot \Delta p) \quad (k_{dm} \geq 0) \quad (6)$$

$$J = \frac{\Delta p}{\mu \cdot R} \quad (7)$$

$$R = \alpha \cdot m + R_{memb} \quad (8)$$

ここで, $x(\text{g/L})$: MLSS 濃度, $Y(\text{g-MLSS/g-TOC})$: 菌体収率, $L(\text{g/L/day})$: TOC 容積負荷, $k_{dx}(\text{1/day})$: MLSS 自己分解定数, $t(\text{day})$: 時間, $p(\text{g/L})$: 混合液中 EPS 濃度, $\beta(\text{g-EPS/g-MLSS})$: EPS 生成率, $k_{dp}(\text{1/day})$: EPS 自己分解定数, $\alpha(\text{m/kg})$: EPS の比抵抗, $k_a(\text{1/day})$: 圧密の関する速度定数, $\alpha_{\infty}(\text{m/kg})$: 圧密後の比抵抗, $\alpha_0(\text{m/kg})$: 圧密前の比抵抗, $\alpha_p(\text{m/kg/Pa})$: 定数, $m(\text{kg/m}^2)$: 膜面上の EPS 密度, $J(\text{m/d})$: フラックス, $k_{dm}(\text{1/day})$: EPS の剥離速度, $\gamma(\text{1/day/Pa})$: 定数, $\tau_m(\text{Pa})$: 膜面のせん断力, $\lambda_m(-)$: 静止摩擦係数, $\Delta P(\text{Pa})$ ($\Delta P < P_{max}$): 膜間差圧, $R(\text{1/m})$: ろ過抵抗, $\mu(\text{Pa} \cdot \text{s})$: 透過液の粘性係数, $R_{memb}(\text{1/m})$: 膜のろ過抵抗, である。

3. 実験概要

実験に使用する反応槽は, アクリル製で有効容積 0.018 m^3 (24cm×50cm×15cm), 膜モジュールは有効膜面積 0.1 m^2 , 公称孔径 0.4 μm , 塩素化ポリエチレン製の MF 平膜を用いる。散気管は, 塩ビ管に直径 0.5mm の穴を開けたものを膜 No.1 と膜 No.2 それぞれに 2 本ずつ使用する。散気管は膜の両面に 1 本ずつ設置し, ばっ気を空気量 15(L/min/枚)で行う。実験装置を図1に示す。実験に使用する実験条件を表1に示す。ここで, 実験を間欠吸引で行う理由は, 実際の処理場で行われている方法に基づくため, 膜細孔内に進入した EPS の挙動を見るため, の2点である。

間欠吸引は吸引 9 分, 休止 1 分のサイクルで行い, 吸引時の膜間差圧と休止時の膜間差圧を測定する。また基質(TOC 付加)は 3.2ml/分で連続投与する。

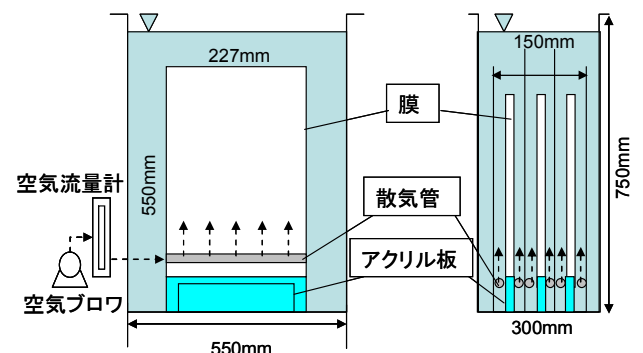


図 1: 実験装置概略図

キーワード: EPS, モデル式, 膜間差圧上昇

連絡先 〒158-8577 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 TEL03-3703-3111(内 3257)

表 1:実験条件

膜No.	1	2
供給空気量(L/min/枚)	15	15
空気流速(m/s)	0.022	0.022
フラックス(m ³ /m ² /day)	0.5	
TOC容積負荷量(g/L/day)	0.47	
せん断力(Pa)	2.063	2.063

4. 実験結果

シミュレーションに使用するモデル式の改良を行った. 改良した点を以下に記述する.

4-1. EPS 比抵抗の式の改良

これまで膜面上に堆積した EPS は吸引により圧密されることで EPS の比抵抗も値が変化していくとして, モデル式の(3)式(4)式を使用しシミュレーションを行っていた. しかしこれまでの実験結果より膜面上に堆積した EPS が吸引により圧密する可能性が低いことから, EPS 比抵抗に関して初期にパラメータより算出したものを一定値として使用していく.

4-2. 膜細孔内EPS密度 m_f の式の開発, 追加

ファウリング時期を予測する際に, 膜間差圧の上昇を指標として用いる. 吸引により, 膜表面に堆積した EPS が膜細孔内に侵入し, 膜間差圧の上昇に影響を与えていると考えられるため, 以下の式をモデル式に追加した.

$$\frac{dm_f}{dt} = \phi \cdot m - k_{dmf} \cdot m_f$$

$$\phi = k_\phi \cdot \Delta p$$

ここで m_f :膜細孔内 EPS 密度(kg/m²), ϕ :変数(1/day)

k_{dmf} :膜細孔内EPS自己分解定数(1/day)

k_ϕ :定数(1/(Pa・day))である

上式中に存在する ϕ は膜面上に堆積した EPS のうち吸引により膜細孔内に侵入する EPS の割合を示すものとする. また ϕ は, 膜が汚れるほどに膜内部に堆積する EPS の割合も大きくなる比例関係であると考えられるため(10)式となる. また, 式中に存在する膜細孔内 EPS 自己分解定数 k_{dmf} についてはまだ検討されていないことから, 値は 0 として計算する.

膜細孔内に EPS が侵入し堆積することで過抵抗に影響することが考えられるため(9)式を(8)式に新たに加える. 加えた式を(11)式とし, 以下に示す.

$$R = \alpha \cdot m + \alpha_f \cdot m_f + R_{memb} \quad (11)$$

ここで α_f :膜細孔内 EPS 比抵抗(m/kg)である.

上式中に存在する膜細孔内 EPS 比抵抗 α_f は膜細孔内に侵入した EPS のもつ比抵抗値であり, このパラメータは吸引などによる影響を受けることがないと考えられるため, 値は算出したものを一定値として使用する. 以上の結果より決定したモデル式に使用するパラメータを表2、シミュレーション結果を図2に示す. シミュレーション結果では間欠吸引、連続吸引ともに挙動は実測値と近いものがシミュレートできているが、正確な膜間差圧の上昇時期をシミュレートできていないことが図よりわかる. 正確な上昇時期をシミュレートできていない原因としてパラメータの値が適切でないことが考えられるため、パラメータの算定方法を見直していく必要がある.

表 2:パラメータ

項目	数値	項目	数値
Y(g-MLSS/g-TOC)	0.5	μ (Pa・s)	9.72×10^{-9}
k_{dx} (1/day)	0.03	α (m/kg)	1.0×10^{13}
β (g-EPS/g-MLSS)	0.1	λ_m (-)	0.0007
k_{dp} (1/day)	0.017	α_f (m/kg)	6.67×10^{11}
γ (1/day/Pa)	0.0184	k_ϕ (1/(Pa・day))	0.03
k_{dmf} (1/day)	0		

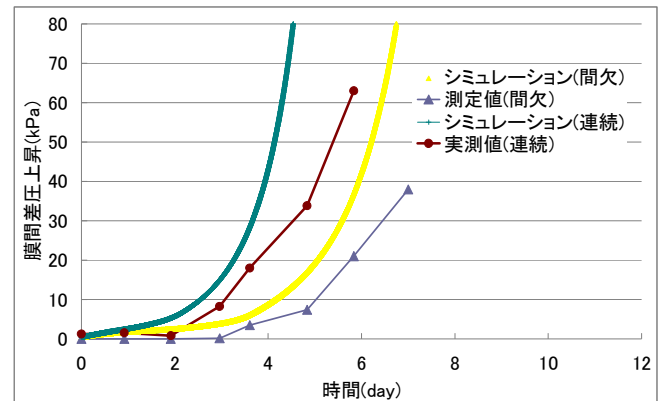


図 2:シミュレーション結果

参考文献

- 1) 辻横 剛:平膜を用いた膜分離活性汚泥法における膜間差圧上昇モデルの適用, 土木学会関東支部講演集 2008
- 2) 国際水協会:活性汚泥モデル, 環境新聞社, pp58, 2005.1
- 3) H.Nagaoka, S.Kono, S.Yamanishi:Influence of organic loading rate on membrane fouling in membrane separation activated sludge process, Water Science and Technology, Vol.41, No.10/11, pp355-362, 2000
- 4) 藤田 泰弥:浸漬型膜分離活性汚泥法における膜間差圧上昇モデルの検討, 卒業論文 2006