

武蔵工業大学工学部 学生会員 ○志田 崇
 武蔵工業大学工学部 正会員 長岡 裕
 武蔵工業大学大学院 学生会員 山西 忍

1. はじめに

膜分離活性汚泥法において、膜目詰まりの進行を予測することは、様々な操作条件や環境条件が影響しているため困難である。本論では、膜目詰まりの原因を、反応槽内に蓄積した菌体外高分子ポリマー(以下 EPS)とした膜目詰まりモデルの開発を試みた。計算結果を実験結果と比較し、モデルの妥当性を検討した。

2. 実験装置および実験方法

Fig.1 に実験装置を示す。有効容積 20L の反応槽内に、孔径 $0.2\mu\text{m}$ のポリスルホン製平膜 MF 膜 ($130\text{mm}\times 210\text{mm}$)を膜間 15mm で 5 組設置した。膜面積は 0.27m^2 である。基質は、酢酸を炭素源、塩化アンモニウムを窒素源としたもので、TOC 容積負荷は $0.8\text{g L}^{-1}\text{ day}^{-1}$ および $0.3\text{g L}^{-1}\text{ day}^{-1}$ と設定した。送気量は 40L min^{-1} で、設定透過フラックスは 0.15m day^{-1} とした。また、反応槽内の水温を 20°C に保つため、反応槽の外に恒温槽を設けている。

EPS は、試料を 8000rpm で、15 分間遠心分離し、上澄み液を捨て、蒸留水を足し、同一条件で 40 分間攪拌してから冷却し、その後沈殿物に、 0.1N-NaOH を加え、それを 13000rpm で 15 分間遠心分離した。そして、上澄み液を取り出し、 0.1N-HCl で中和したものを透析チューブに移し、一晚流水透析した。透析後の試料の TOC 濃度を混合液中の EPS 濃度とした。

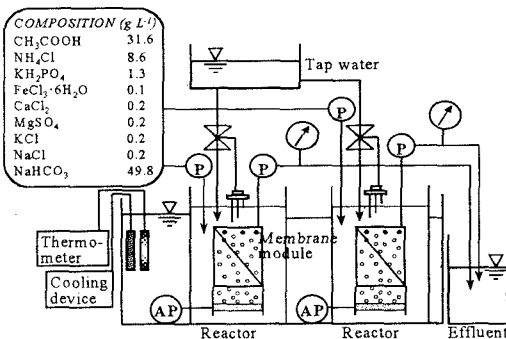


Fig.1 Schematic diagram of experimental setup.

3. 膜目詰まりモデル

膜目詰まりの原因を、反応槽内で膜により流出を遮

断され、蓄積した EPS としたモデルを開発した。MLSS、槽内浮遊 EPS 濃度、膜付着 EPS 重量、膜面での EPS の圧密、ろ過抵抗、吸引差圧および透過フラックスの変化を山西ら¹⁾のモデルを用いてモデル化した。

3.1 MLSS

菌体の増殖は基質負荷に依存し、菌体の自己分解は死滅速度 k_{dm} とし、一定速度で減少すると考えた。

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

3.2 浮遊 EPS 濃度

EPS は、MLSS の増殖に伴い、一定の割合 β で増殖すると考え、一次反応に従い自己分解するとした。

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

3.3 膜付着 EPS 重量

膜面への付着速度は、浮遊 EPS の付着速度と気泡等による剥離速度の差で表した。また、剥離速度は、膜面でのせん断応力と静止摩擦力の差で表した。

$$\frac{dm}{dt} = J \cdot p - k_{dm} \cdot m \quad (3)$$

$$k_{dm} = \gamma(\tau_m - \lambda_m \cdot P) \quad (\tau_m \geq \lambda_m \cdot P) \quad (4)$$

$$k_{dm} = 0 \quad (\tau_m < \lambda_m \cdot P) \quad (5)$$

3.4 EPS の圧密

膜面に付着した EPS は、吸引差圧 P の影響で、圧密を生じ、最大 EPS 比抵抗 α_∞ で収束する。定数 k_a は、圧密進行速度の大小を表すパラメータである。

$$\frac{d\alpha}{dt} = k_a(\alpha_\infty - \alpha) \quad (6)$$

$$\alpha_\infty = \alpha_0 + \alpha_p \cdot P \quad (7)$$

3.5 ろ過抵抗

ろ過抵抗は、膜面で圧密した EPS 層の抵抗と膜抵抗を足しあわせたものとする。

$$R = \alpha \cdot m + R_m \quad (8)$$

3.6 吸引差圧および透過フラックス

透過フラックスは、最大吸引差圧 $P_{\max}$ に達するまでは、 $J=J_0$ とし、(9)式を使用する。しかし、 $P_{\max}$ に達した後は、 $P=P_{\max}$ とし、(10)式を使用する。

$$J_0 = \frac{P}{\mu \cdot R} \quad (P < P_{\max}) \quad (9)$$

$$J = \frac{P_{\max}}{\mu \cdot R} \quad (P = P_{\max}) \quad (10)$$

計算は、時間間隔 0.05day でルンゲクッタ法を用いて行った。モデルで使用した初期値を Table 1 に示す。初期値は、浮遊 EPS 濃度を除き、実験結果を使用した。また、膜洗浄の効果により、膜洗浄後の膜付着 EPS 重量は、洗浄前の 20%に減少すると仮定した。

4. 実験結果およびシミュレーション結果

Fig.2 に MLSS の経日変化を示す。実験開始 28 日、68 日後にアルカリ膜洗浄を行った。また 70 日に低負荷槽の汚泥を入れ替えた。実験開始 68 日、98 日、124 日に、高負荷槽からそれぞれ 6L、7.5L、2L の汚泥を引き抜いた。0.3g・L⁻¹day⁻¹において、28 日に水位センサーの故障により、水道水を過剰に供給したため、汚泥がオーバーフローした。MLSS は、0.8g・L⁻¹day⁻¹は 16 g・L⁻¹程度、0.3g・L⁻¹day⁻¹は 68 日以降 7g・L⁻¹程度で安定した。実験結果と計算結果で同様の傾向を示すことができた。28 日目以降のオーバーフロー後の MLSS 変化について、活性汚泥死滅係数(k_{dx})を 0.022(day⁻¹)から 0.11(day⁻¹)に変化させたと、同様の減少傾向を示すことができた。

Fig.3 に膜付着 EPS 濃度を示す。膜付着 EPS 濃度は、実験結果で 0.8g・L⁻¹day⁻¹、0.3g・L⁻¹day⁻¹ともに上昇傾向が見られるものの、計算結果との整合性はあまり得られなかった。この原因として初期の汚泥の状態が不安定であったことがあげられる。

Fig.4 にろ過抵抗の実験結果と計算結果を示す。ろ過抵抗は、0.8g・L⁻¹day⁻¹では 49 日目までの傾向はシミュレートすることができたが、それ以降はろ過抵抗が減少し、計算結果との整合性は見られなかった。これは、膜面でのせん断力が大きく働いたためと考えられる。0.3g・L⁻¹day⁻¹は、汚泥を入れ替えた 70 日以降、膜洗浄を施さずに運転した結果、120 日目以降で急激な上昇が見られ、計算結果でも同様の傾向が表すことができた。

5. まとめ

本実験より、汚泥の圧密を考慮した膜分離活性汚泥法のモデル化の妥当性は実証された。

Table 1 Initial values in modeling equations.

	High loading reactor	Low loading reactor
TOC loading rate,L	0.8	0.3
MLSS,x	4.746	4.36
Suspended EPS,m	0.107	0.107
Accumulated EPS,m	0	0
Membrane resistance,R _{memt}	3.5×10 ¹²	5.0×10 ¹²
Flux,J	0.15	0.15

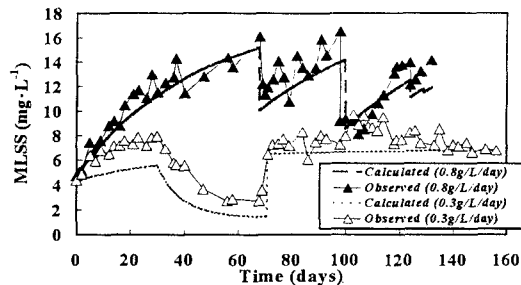


Fig.2 Variation of MLSS.

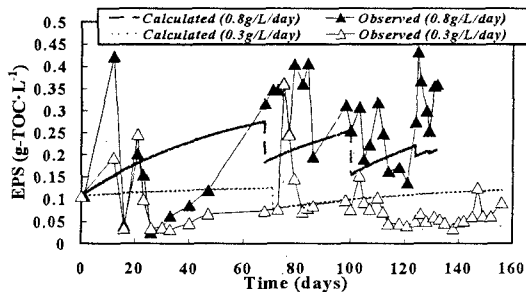


Fig.3 Variation of attached EPS around biomass.

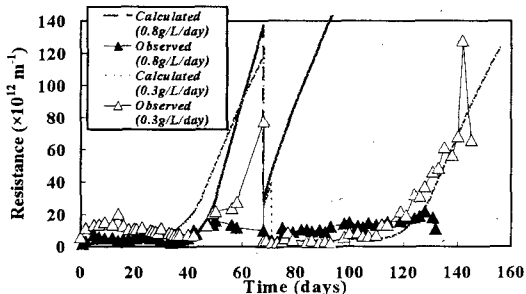


Fig.4 Variation of filtration resistance.

記号

J:透過フラックス(m³・day⁻¹), J₀:設定透過フラックス(m³・day⁻¹), k_{dx}:膜面での EPS 剥離速度(day⁻¹), k_{dp}:EPS 分解速度定数(=0.017 day⁻¹), k_{dx}:活性汚泥死滅速度定数(=0.022 day⁻¹), k_o:圧密を考慮した速度定数(=0.06 day⁻¹), L:TOC 容積負荷(g・m⁻³・day⁻¹), m:膜面付着 EPS 重量(g・m⁻²), p:浮遊 EPS 濃度(g・TOC・m⁻³), P:吸引差圧(Pa), P_{max}:最大吸引差圧(=65000 Pa), R:全ろ過抵抗(day⁻¹), R_m:膜抵抗(day⁻¹), t:時間(day), x:MLSS(g・L⁻¹), Y:収率(=0.5 g-MLSS・(g-TOC)⁻¹), α:EPS 比抵抗(m²・kg⁻¹), α_p:定数(=1×10¹⁰ m²・kg⁻¹・Pa⁻¹), α_o:初期 EPS 比抵抗(=5×10¹³ m²・kg⁻¹), α_∞:最大 EPS 比抵抗(m²・kg⁻¹), β:MLSS 増殖に伴う EPS 生成比(=0.015 g-EPS・(g-MLSS)⁻¹), λ_m:静止摩擦係数(=4×10⁻⁴), μ:透過液粘度(=1.16×10⁻³ Pa・day), γ:定数(=0.04 day⁻¹・Pa⁻¹), τ_m:せん断応力(=5Pa)

参考文献

1) 山西 忍, 長岡 裕, 宮 晶子, 膜分離活性汚泥法において反応槽内に蓄積した代謝物質の影響を考慮した膜目詰まりモデルの検討 第 34 回環境工学研究フォーラム pp.156-158 (1997)