

B-31 浸漬型膜分離活性汚泥法における膜目詰まりのメカニズムに関する研究

武蔵工業大学 学生会員 ○河野 聖子
 武蔵工業大学 正会員 長岡 裕
 荏原総合研究所 宮 晶子
 栗田工業株式会社 山西 忍

1 はじめに

本研究では、膜分離活性汚泥法における反応槽内の活性汚泥および生物代謝物質が、膜目詰まりに与える影響を調べるため実験室レベルの小型装置を用い実験的検討を行い、さらに、反応槽でのEPSの蓄積および上方気泡によるせん断力など反応槽内で生じる現象を考慮に入れた膜目詰まりモデルを開発し、実験結果との比較を行った。

2 実験装置および実験方法

Fig 1 に実験装置を示す。反応槽は、アクリル製直方体(200mm×200mm×700mm)で、有効容積は20Lである。孔径 0.2 μm のポリスルホン製 MF 平膜(130mm×210mm)を使用し、膜間 15mm で5組設置した。膜表面積は0.27m²である。Table 2に人工基質の成分を示す。人工基質は、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 容積負荷を1.5g/L/day, 0.8g/L/day, 0.5g/L/dayおよび0.3g/L/dayと設定した。送気量は40L/minで、透過フラックスは0.15m/dayと設定した。負荷 0.8g/L/day および0.3g/L/dayには、反応槽内の水温を20℃に維持するための恒温槽を設けた。

3. 反応槽内に蓄積した生物代謝物質の影響を考慮した膜目詰まりモデルの開発

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、蓄積した菌体外高分子ポリマー(以下EPS)のみとした数理モデルを開発した。MLSS、反応槽内浮遊EPS濃度、膜表面付着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モデル化した。

3.1 MLSS

MLSS のモデル(1)式に示す。

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

k_d 活性汚泥死滅速度定数(day⁻¹), L TOC 容積負荷(g・L⁻¹・day⁻¹), t 時間(day), x MLSS (g・L⁻¹), Y 収率 (g-MLSS・(g-TOC)⁻¹)

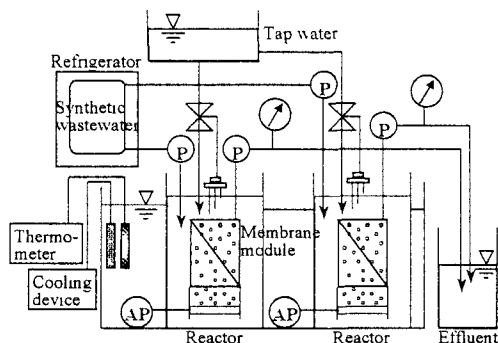


Fig 1 Schematic diagram of experimental setup

Table 2 Composition of synthetic wastewater (g L⁻¹)

Acetic acid	31.6
NH ₄ Cl	8.6
KH ₂ PO ₄	1.3
FeCl ₃ ・6H ₂ O	0.1
CaCl ₂	0.2
MgSO ₄	0.2
KCl	0.2
NaCl	0.2
NaHCO ₃	49.8

3.2 浮遊性 EPS 濃度

浮遊性 EPS 濃度のモデルを(2)式に示す。

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

k_{dp} EPS分解速度定数(day⁻¹), p 浮遊性EPS濃度(g-TOC・m⁻³), L TOC 容積負荷(g・m⁻³・day⁻¹), t 時間(day), x MLSS (g・L⁻¹), Y 収率(g-MLSS・(g-TOC)⁻¹), β MLSS 増殖に伴うEPS生成比(g-EPS・(g-MLSS)⁻¹)

3.3 膜面付着 EPS 重量

膜面に付着した EPS 重量のモデルを(3)~(5)式に示す。

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

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

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

J 透過フラックス(m・day⁻¹), k_{dm} 膜面での EPS 剥離速度

(day⁻¹), m 膜面付着 EPS 重量(g·TOC·m⁻²), p 浮遊性 EPS 濃度(g·TOC·m⁻³), P 吸引差圧(Pa), t 時間(day), λ_m 静止摩擦係数(-), γ 定数(day⁻¹·Pa⁻¹), τ_m せん断力(Pa)

3.4 EPS の圧密

膜面上での EPS 比抵抗の変化を表したモデルを (6), (7)式に示す.

$$\frac{d\alpha}{dt} = k_{\alpha} (\alpha_{\infty} - \alpha) \tag{6}$$

$$\alpha_{\infty} = \alpha_0 + C_{\alpha P} \cdot P \tag{7}$$

k_{α} 圧密を考慮した速度定数(day⁻¹), P 吸引差圧(Pa), t 時間(day), α EPS 比抵抗(m·kg⁻¹), $C_{\alpha P}$ 定数(m·kg⁻¹·Pa⁻¹), α_0 初期 EPS 比抵抗(m·kg⁻¹), α_{∞} 最大 EPS 比抵抗(m·kg⁻¹)

3.5 ろ過抵抗

ろ過抵抗のモデルを(8)式に示す.

$$R = \alpha \cdot m + R_m \tag{8}$$

R_m 膜ろ過抵抗(m⁻¹), α EPS 比抵抗(m·kg⁻¹)

3.6 吸引差圧および透過フラックス

吸引差圧と透過フラックスの関係を表したモデルを (9), (10)式に示す.

$$J_0 = \frac{P}{\mu \cdot R} \quad (P < P_{\max}) \tag{10}$$

$$J = \frac{P_{\max}}{\mu \cdot R} \quad (P = P_{\max}) \tag{11}$$

J 透過フラックス(m·day⁻¹), J_0 設定透過フラックス(m·day⁻¹), P 吸引差圧(Pa), $P_{\max}$ 最大吸引差圧(Pa), R 全ろ過抵抗(m⁻¹), T 水温(°C), μ 透過液の粘度(Pa·day⁻¹)

3.7 計算方法

時間間隔を 0.05day とし, ルンゲクッタ法を用いて計算した. 設定パラメータ値を Table 3 に示す. k_{dv} , k_{dp} , γ , α_0 , α_P はパラメータ推定実験を行い, 実験結果より得られた値から設定パラメータ値を推定した. その他のパラメータについては, 実験結果に合うように設定した.

反応槽内の水温は 20°C一定とした. また, 膜洗浄の効果として, 膜洗浄後の膜面付着 EPS 重量は, 洗浄前の 20%に減少すると仮定した.

Table 3 Parameters and Values

Parameter	Values
Y	0.5 g-MLSS·(g-TOC) ⁻¹
k_{dv}	0.022 day ⁻¹
β	0.015 g-EPS·(g-MLSS) ⁻¹
k_{dp}	0.017 day ⁻¹
γ	0.4 day ⁻¹ ·Pa ⁻¹
λ_m	7×10 ⁻⁵
k_{α}	0.04 day ⁻¹
α_0	5×10 ⁻¹¹ m·kg ⁻¹
$C_{\alpha P}$	9×10 ⁻¹⁰ m·kg ⁻¹ ·Pa ⁻¹
μ	0.001 Pa·s

Table 4 Operational values and initial values

Operational parameters				
TOC loading rate, L (g/L/day)	1.5	0.5	0.8	0.3
Permeated flux, J (m/day)	0.08 (t<11day) 0.15 (t>11day)	0.065 (t<11day) 0.15 (t>11day)	0.15	0.15
Shear stress, τ_m (Pa)	5	5	5	5
Limit pressur, Pmax (Pa)	65000	65000	65000	65000
Initial conditions				
MLSS, X (g/L)	6.06	5.4	4.75	4.36 (t<70day) 6.47 (t<70day)
Attached EPS, p (g-TOC/m ³)	0.07	0.07	0.107	0.107 (t<70day) 0.077 (t<70day)
Accumulated EPS, m (kg-TOC/m ³)	0	0	0	0
Membrane resistance, Rmemb (/m)	1.73×10 ¹²	0.5×10 ¹²	1.5×10 ¹²	3.4×10 ¹²

4. 実験結果とモデル計算結果

Fig.2 に負荷 0.8g/L/day, 0.3g/L/day の浮遊性 EPS 濃度の実験結果および計算結果を示す. EPS 濃度モデルでのシミュレーションでは, 上昇傾向を示すことは可能であったが, 実験結果を正確に表すことはできなかった.

Fig 3, Fig 4 にろ過抵抗の実験結果および計算結

果を示す. 負荷 1.5g/L/day, 0.5g/L/day では, ともにろ過抵抗の上昇傾向を示すことができた. 負荷 0.8g/L/day において, 50 日目以降に実験値とモデルとの間に違いが生じたのは, 膜面でのせん断力の影響が大きく働いたためと考えられる. 負荷 0.3g/L/day において, 120 日目以降の上昇傾向の違いは, 実験において膜面での EPS の圧密が早く

進んだためといえる

本モデルにおいて、50 日目までの実験結果は表すことができたといえる。しかし、実験後半期において計算値が実験結果を上回る傾向が見られた。この原因として、モデルにおいて膜洗浄後の EPS 比抵抗の設定方法に問題があったと考えられる。

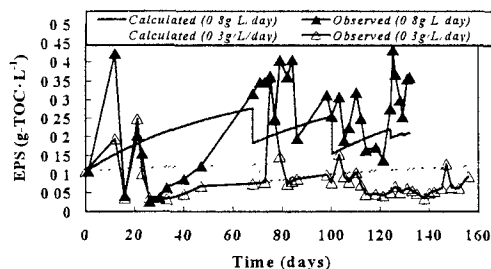


Fig. 2 Variation of EPS attach on microorganisms

TOC loading rate: 0.3 g/L/day, 0.8 g/L/day

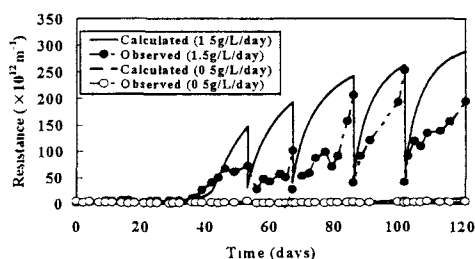


Fig. 3 Variation of filtration resistance

TOC loading rate: 0.5 g/L/day, 1.5 g/L/day

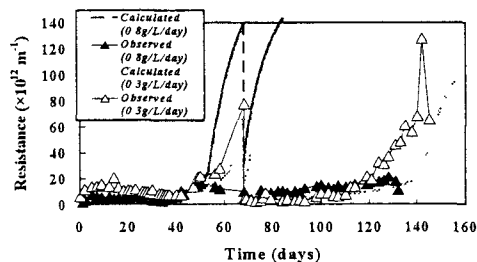


Fig. 4 Variation of filtration resistance.

TOC loading rate: 0.3 g/L/day, 0.8 g/L/day

5. 最適な運転条件の検討

透過フラックス一定の条件下で運転を続けると、膜目詰まりの進行に伴って、吸引圧が上昇する。最大吸引差圧(P_{max})に達すると、安定した流量の確保が困難となり、膜洗浄が必要となる。開発した膜目詰まりモデルを使用し、操作条件(透過フラックス(J),

TOC 容積負荷(L), せん断応力(τ_w))の違いによる最大吸引差圧(P_{max})への到達時間(T_{max})について考えた。 T_{max} とは、安定した流量を確保できる最大可能時間とする。

計算方法は、開発した膜目詰まりモデル式を使用し、設定パラメータ値は固定させ、操作条件(J , L , τ_w)の値を変更させながら、 P_{max} に達する時間(t)を T_{max} として、算出する。

5.1 計算結果および考察

Fig 5 にせん断力(τ_w)を 5.0(Pa)一定とし、TOC 容積負荷(L)を 0.5 g/L/day, 1.0 g/L/day, 1.5 g/L/day, 3.0 g/L/day と変化させた時、透過フラックス(J)の違いが T_{max} に与える影響を示す。透過フラックスが 0.2 m/day 以上になると、TOC 容積負荷の大きさに関わらず、 T_{max} に達するまで日数はほとんど変わらないことがわかる。

本モデルより、長期間安定した透過流量を維持するためには、透過フラックスを 0.1 m/day 以下に設定することが適当であることがわかった。

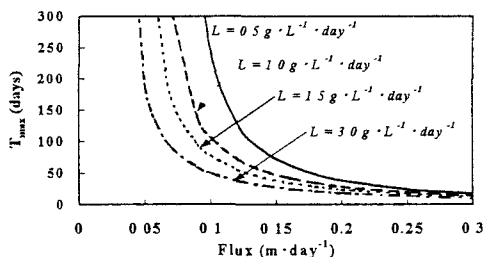


Fig. 5 Relationship between TOC loading rate(L), permeated flux (J) and T_{max}

7 まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 1) 有機物負荷が 0.8 g/L/day 以上の場合、生物代謝物質の生成が多く、代謝物質が反応槽内に蓄積し、粘度上昇および、膜透過流束の低下に影響を与えている。
- 2) 膜面上での EPS の付着、圧密、剥離の影響を考慮した膜目詰まりモデルの開発により、膜目詰まりメカニズムを解明できた。
- 3) 膜目詰まりに大きな影響を与える操作因子は、設定透過フラックスである。透過フラックスを 0.1 m/day 以下に設定した場合、長期間安定した流量を確保できる。