

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

東京都市大学 学生員 ○渡邊 絢規
 東京都市大学 正会員 長岡 裕

1. はじめに

膜分離活性汚泥法は、活性汚泥中の浮遊物質や微生物の代謝成分である EPS が膜面・膜細孔内に付着・堆積して起こるファウリングがデメリットである。ファウリングの発生時期は差圧計のモニターにより行われているが実際の現場経験がないと困難である。そこで、ファウリングの発生時期をモデル化することにより事前にファウリングの発生時期を予測することで、効率の良い運転管理を行え、最適な時期の膜の薬品洗浄につながる。本研究では、Nagaoka¹⁾らにより構築された膜面上の膜間差圧上昇モデル式に膜細孔内への堆積物を考慮したモデル式を組み込むことでより精度の高いシミュレーションを目指す。

2. 実験概要

2.1 実験装置

図1に実験装置の概略図と膜、反応槽、散気管の寸法を示す。反応槽は1000mm×450mm×255mmの塩化ビニル製、有効容積75Lである。膜は、セラミック平膜で逆洗浄に対して強く耐火性、耐薬品性に優れ、高温高压にも用いる事の出来る無機質の膜であり反応槽に3枚浸漬させた。セラミック平膜の孔径は0.06μm、有効ろ過膜面積0.1008m²である。

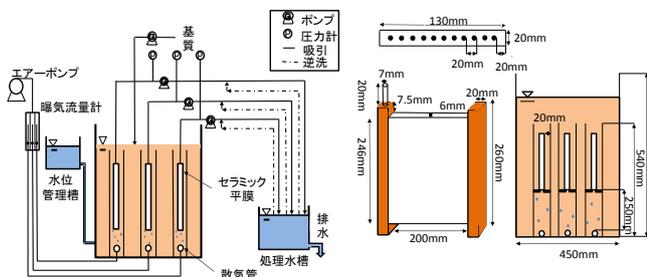


図1 実験装置の概略図と膜、反応槽、散気管の寸法

2.2 実験条件

開始 MLSS 濃度を 8g/L、透過流束 0.5m/day、逆洗流束を膜1では逆洗浄なし、膜2では1m/day、膜3では3m/day、エアーフลักス 0.016m/sec、TOC 負荷 0.6g/L・day とした。運転条件は、9.5分吸引、0.5分逆洗を行う。

2.3 単位時間当たりの膜細孔内濁質質量の算出方法

膜細孔内の堆積物を考慮したモデル式構築に伴い、公称孔径 0.1μm のセラミック膜を4個用いた。反応槽から汚泥混合液を採取し、遠心分離機 (KOKUSANH-1500F) を用いて、10分間の遠心分離を6000rpmで行い、遠心分離後の上澄み液を30mL採取し全量ろ過を行った。全量ろ過した4個のセラミック膜のうち、1個目は純水を通水させずに、2個目は1時間、3個目は2時間、4個目は3時間純水を通水させた。そして事前に乾燥炉で乾燥させたキムワイプを電子天秤で測定し、4個の膜面の堆積物をキムワイプで拭き取った後、再び乾燥炉で乾燥させ、膜面に堆積した濁質質量を電子天秤で測定する。膜面上に堆積した濁質を拭き取ることで膜細孔内だけに堆積物が浸入した状態にし、XRF分析をおこない、膜細孔内に侵入した濁質の質量を求めた。

3. モデル式

膜面・膜細孔内 EPS 密度に関するモデル式

$$\frac{dm}{dt} = Jp - k_{dm}m - k_b m \quad (1)$$

$$k_{dm} = \gamma(\tau_m - \lambda_m \Delta p) \quad (2)$$

$$J = \frac{\Delta p}{\mu R} \quad (3)$$

$$R = \alpha m + R_{memb} \quad (4)$$

$$\mu = \frac{0.001779}{1 + 0.00337T + 0.00221T^2} \quad (5)$$

$$\frac{dm_f}{dt} = \phi \cdot m - k_{dmf} \cdot m_f \quad (6)$$

$$\phi = k_\phi \cdot \Delta p \quad (7)$$

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

m : 膜面上の EPS 密度(kg/m²), J : フラックス(m/day), k_{dm} : EPS の剥離速度 (1/day), γ : 定数(Pa/day), τ_m : 膜面のせん断力(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/m), α : 吸引 EPS 比抵抗(m/kg), R_{memb} : 膜のろ過抵抗(1/m), μ : 透過液の粘性係数(Pa・s), ΔP : 膜間差圧(Pa), T : 温度(°C), 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(1/day), k_ϕ : 定数(1/(Pa・day)), α_f : 膜細孔内 EPS 比抵抗(m/kg)

膜面のせん断力は佐々木らのデータ $\tau_m = 0.0299x + 1.8794^2$ を用いた. x は粘度の値である.

表 2 にモデル式のパラメータ値を示す.

表 2 モデル式のパラメータ値

項目	パラメータ	決定方法
β (-)	4×10^{-3}	フィッティング
k_{dp} (1/day)	1.8×10^{-2}	文献値 ¹⁾
$Y(g-MLSS/g-TOC)$	5×10^{-1}	文献値 ¹⁾
k_{ax} (1/day)	2.8×10^{-2}	文献値 ¹⁾
γ (1/day/Pa)	2.95×10^{-4}	フィッティング
λ_m (-)	9×10^{-3}	フィッティング
α (m/kg)	5×10^7	フィッティング
k_b (1/day) 1m/day	0.75	フィッティング
k_b (1/day) 3m/day	1.2	フィッティング
k_ϕ (1/(Pa・day))	3.23×10^{-7}	実験値
α_f (m/kg)	5×10^7	フィッティング

4. 実験結果

図 2 に単位時間当たりの膜細孔内の EPS 密度の上昇量を示す. XRF 分析で求めた膜細孔内濁質量をろ過面積で割り近似線を引くことで傾きから単位時間当たりの膜細孔内の EPS 密度の上昇量が分かる. 図 2 において, グラフの傾きが上昇傾向にあるのは, 污泥混合液の上澄みのろ過後, 純水を通水させた事で, 膜面に堆積した濁質が時間とともに膜細孔内に押し込まれていったと考えられる. グラフの傾きを全量ろ過したときに堆積した膜面の EPS 密度と吸引する圧力で割ることで膜細孔内のモデル式に必要な k_ϕ の値を求めた.

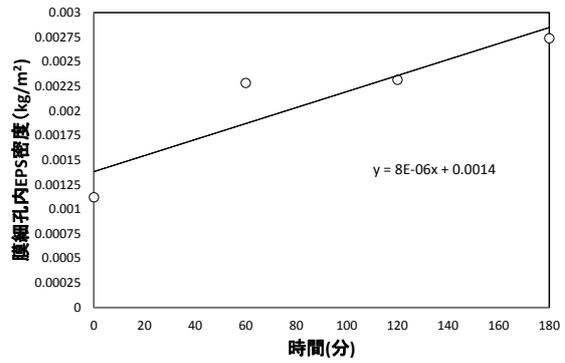


図 2 単位時間当たりの膜細孔内 EPS 密度の上昇量

図 3 に膜面・膜細孔内における EPS の付着・堆積を考慮した膜間差圧のシミュレーション値と実測値を示す. 間欠運転と逆洗浄を行った膜を比較すると逆洗浄を行った方が MBR を長期運転できることが確認できる. 実測値とシミュレーション値から実測値とシミュレーション値に近い値がみられた.

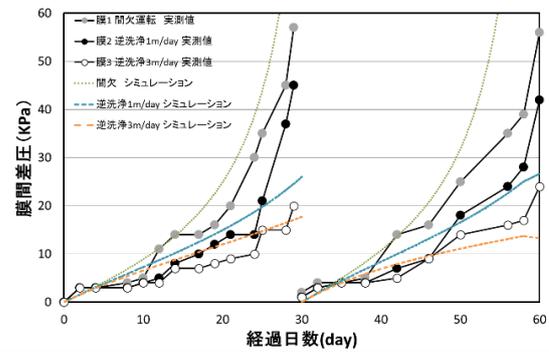


図 3 膜面・膜細孔内における EPS の付着・堆積を考慮した膜間差圧のシミュレーション値と実測値

5. まとめ

浸漬型膜分離活性汚泥法において膜面・膜細孔内における EPS の付着・堆積を考慮したモデル式を構築するにあたり以下の知見が得られた.

膜面・膜細孔内における EPS の付着・堆積を考慮した膜間差圧のシミュレーション値と実測値を比較すると実測値とシミュレーション値に近い値がみられた.

6. 参考文献

(1)H. Nagaoka, S. Yamanishi and A. Miya
Modeling of biofouling by extracellular activate sludge system
Water Science and Technology Vol38 No4-5
pp497-504, 1998

(2) 佐々木哲也, 長岡裕: 平膜状浸漬 MBR において膜面上せん断応力に及ぼす MLSS の影響, 下水道研究発表会講演集 49th pp247-249