負荷が変動する条件での膜分離活性汚泥法において菌体外高分子ポリマー の生成と分解を考慮した膜目詰まりシミュレーション

## 1. はじめに

膜分離活性汚泥法における膜目詰まりは,微生物の 代謝物質である菌体外高分子ポリマー(EPS)が原因 物質であると言われている.しかし,流入負荷の時間 変動がポリマー生成に与える影響は不明な点も多い.

よって本研究では,連続負荷と断続負荷の2ケース で実験を行ない,膜目詰まりに与える影響を比較した. 更に,負荷変動を考慮した膜目詰まりモデル式に当て はめ,実験結果の説明を試みた.

#### 2. 実験装置および実験方法

実験装置の概略図と基質の組成を Fig.1 に,運転条件を Table1 に示す.



Case	Continuous	Intermittent
TOC loading conditions	Continuously every day	Repetition of 10days stop after 10days load
TOC loading rate	0.5 (g/L/day)	1.0 (g/L/day) *
Capacity of reactor : 30(L) , Liquid temp : 20(°C) , Flux : 0.15(m/day) , HRT : 13.3(h) , SRT : 926(day) , Aeration rate : 40(L/min)		

[\* a value only of loading]

基質の連続負荷と断続負荷(基質を10日間投与後, 10日間停止)の2つの反応槽を用意した.断続負荷の 投与中の負荷量は,連続負荷の2倍としたので,平均 負荷量は共に0.5g/L/dayである.膜モジュールは, 武蔵工業大学 学生会員 〇浜谷 慎一郎 武蔵工業大学 正会員 長岡 裕 (現株式会社サンプレス) 鈴木 陽子

膜孔 0.25 μ m のポリオレフィン製 MF 平膜を用い,両 端で集水する型とした.1反応槽に5モジュール入れ, その総膜面積は0.36m<sup>2</sup>である.測定項目は MLSS, 膜のろ過抵抗である.

#### 3. 膜目詰まりモデル

方程式は Nagaoka et.al<sup>1)</sup>によるものを用いた.

$dx/dt = Y \cdot L - k_{dx} \cdot x$	$\bigcirc$	
$dp/dt = \beta \cdot Y \cdot L - k_{dp} \cdot p$	2	
dm/dt=J•p-k <sub>dm</sub> •m	3	
$\mathbf{k}_{dm} = \gamma \left( \tau_{m} - \lambda_{m} \cdot \mathbf{P} \right) \qquad \left( \tau_{m} \ge 1 \right)$	≧λ <sub>m</sub> •P)	
$k_{dm} = 0$ ( $\tau_m <$	$(\lambda_{m} \cdot P)$	
$d\alpha/dt = k_{\alpha}(\alpha_{\infty} - \alpha)$	5	
$\alpha_{\infty} = \alpha_0 + C_{\alpha P} \cdot P$	6	
$R = \alpha \cdot m + R_m$	$\overline{\mathcal{O}}$	
$J_0 = P/(\mu \cdot R)$	8	
式中のパラメータの意味及び値は以下の通りである.		
$C_{P}$ :定数(=9.0×10 <sup>10</sup> m kg <sup>-1</sup>	• Pa <sup>-1</sup> )	
$J_{\it 0}$ : 設定透過フラックス(m·d	ay-1)	
$k_{dm}$ :膜面での EPS 剥離速度(day <sup>-1</sup> )		
$k_{dp}$ :EPS 分解速度定数(= $0.017~{ m day}^{-1}$ )		
$k_{dx}$ :活性汚泥死滅速度定数(= $0.022~\mathrm{day}^{-1}$ )		
k : 圧密を考慮した速度定数(=0.040 day <sup>-1</sup> )		
L : TOC 容積負荷(g·L <sup>-1</sup> ·day <sup>-1</sup> )		
m:膜面付着 EPS 重量(g-TOC·m <sup>-2</sup> )		
P:吸引差圧(Pa)		
p : 浮遊性 EPS 濃度(g-TOC・)	L <sup>-1</sup> )	
<i>R</i> :全ろ過抵抗(m <sup>-1</sup> )		
R <sub>m</sub> : 膜ろ過抵抗(=1.95×10 <sup>12</sup>	m <sup>-1</sup> )	
<i>t</i> :時間(day)		
Y: 収率(=0.5 g-MLSS · (g-TOC) <sup>-1</sup> )		
$x : MLSS(g \cdot L^{-1})$		

- :EPS 比抵抗(m·kg<sup>-1</sup>)
- <sub>0</sub>:初期 EPS 比抵抗(= 5.00 × 10<sup>11</sup>m·kg<sup>-1</sup>)
  - :最大 EPS 比抵抗(=5.85×10<sup>15</sup> m·kg<sup>-1</sup>)

キーワード:活性汚泥法,膜分離,膜目詰まり,Extracellular Polymeric Substances,シミュレーション 連絡先 :〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-3703-3111 (内線 3256) 武蔵工業大学 工学部 土木工学科 水工学研究室 : MLSS 増殖と EPS 生成の比(=0.015 g-EPS・ (g-MLSS)<sup>-1</sup> 但し, 無負荷状態の後は 0.375

g-EPS• (g-MLSS)<sup>-1</sup>)

: 定数(=2.0 day<sup>-1</sup>·Pa<sup>-1</sup>)

":静止摩擦係数(=2.0×10<sup>-5</sup>)

µ:透過液の粘度(Pa•day)

なお, EPS 生成率 については, 無負荷状態が続い た後に負荷があった場合, 2 日間にわたって, の値 が通常の25 倍の値になると仮定している.

#### 4. 実験結果

連続負荷と断続負荷における MLSS の経日変化を, シミュレーション結果と合わせて,それぞれ Fig.2, Fig.3 に示す.断続負荷では,負荷時に MLSS 濃度が 上昇し,無負荷時に減少するという傾向を示した.

連続負荷と断続負荷における膜間差圧の経日変化を, シミュレーション結果と合わせて,それぞれ Fig.4, Fig.5 に示す.連続負荷条件においては,膜間差圧は緩 やかに上昇し,60日目にはおよそ65kPa に達した. 一方,断続負荷においては,1回目の10日間無負荷期 間の終了後,20日目から急激な上昇を見せた.シミュ レーション結果はこれらの傾向をおおむね良好に再現 しており,無負荷期間終了後の急激な負荷により,EPS の生成が活発になるというモデルにより,これら両条 件の膜間差圧上昇パターンが説明できた.

## 5. まとめ

膜分離活性汚泥法において,10日毎に負荷と無負荷 を繰り返す断続負荷条件と,連続負荷条件を比較した. 結果として断続負荷では,無負荷の後の急激な負荷時 に膜目詰まりを起こすことが分かった.これらの挙動 は,飢餓状態の後に菌体外高分子ポリマーの生成が誘 発される,としたモデルにより説明がされた.



Fig.2 Change of MLSS concentration (continuous)



Fig.3 Change of MLSS concentration (intermittent)



Fig.4 Change of trans-membrane pressure (continuous)



Fig.5 Change of trans-membrane pressure (intermittent)

# 【参考文献】

- Modelling of Biofouling by Extracellular Polymers in a Membrane Separation Activated Sludge System., *Wat. Sci. Tech.*, 38, 4-5, 497-504, 1998
- 2) Nagaoka, H., Kono,S., Yamanishi, S., Miya,A: Influence of Organic Loading Rate on Membrane Fouling in Membrane Separation Activatred Sludge Process, Water Science and Technology, Vol.4, No.10-11,355-362, 2000