

VII-188

カルマンフィルターを用いた膜分離活性汚泥法の膜目詰まり予測

武蔵工業大学工学部

正会員 長岡 裕

武蔵工業大学（現：水道機工）

高安陽介

1. はじめに

膜分離活性汚泥法を用いた小型排水処理装置において、膜間差圧の上昇を予測し、膜洗浄時期をあらかじめ予想することができれば、きわめて効率的な運転・管理が可能となる。本研究では、膜の目詰まり過程を簡単な微分方程式で表現し、これにカルマンフィルターに適用させて、ろ過抵抗の上昇の予測を試みた。

2. 膜目詰まりモデル

膜目詰まりの原因を、槽内に蓄積した菌体外高分子ポリマーであるとした Nagaoka ら¹⁾が開発したモデルを修正した以下のものを用いた。

$$\frac{dp}{dt} = Y \cdot L \cdot \beta - k_d \cdot p \quad (1) \quad \frac{dm}{dt} = c \cdot p \cdot J - K \quad (2)$$

$$= c \cdot p \cdot J - k_m \cdot m \quad (3)$$

$$R = R_{mem} + \alpha \cdot m \quad (4) \quad \mu = a \cdot p \quad (5)$$

ここに、 Y :収率 $=0.5$, L :TOC 容積負荷 ($=0.9\text{g/L/day}$), β :ポリマー生成率, p :菌体外ポリマー濃度(g/L), k_d :自己酸化定数 ($=0.018/\text{day}$), m :膜付着ポリマー量(kg/m^2) c :定数($=0.2$), J :膜透過流束 ($=0.12\text{m/day}$), K :ポリマーの剥離速度($\text{kg/m}^2 \cdot \text{day}$), R :ろ過抵抗(10^{12}m^{-1}), α :ポリマーの比抵抗 ($=1.9 \times 10^{17}\text{m/kg}$), μ :混合液粘度($\text{mPa} \cdot \text{s}$), a :係数 ($=0.5\text{m}^2/\text{s}$), R_{mem} :膜のろ過抵抗 ($=2.6 \times 10^{12}\text{m}^{-1}$), である。

3. カルマンフィルターへの適用

線形確率システムは式(5)および式(6)で示される状態方程式および観測方程式で表現される。

$$x_{t+1} = F_t \cdot x_t + G_t \cdot w_t \quad (6)$$

$$Y_{t+1} = H_t \cdot x_t + K_t \cdot v_t \quad (7)$$

ここに x_t :状態ベクトル, Y_t :観測ベクトル, w_t :システム雑音, v_t :観測雑音, H_t :観測行列, G_t , K_t :駆動行列である。雑音ベクトルは平均値0のガウス白色雑音である。

(1)(2)(4)(5)式を、時間きざみ Δt (2day) で差分化し、線形確率システムに適用させる。状態量として、 p , m , β , K を観測量に μ , R をとる、各マトリクスを以

下のようにした。

$$x_t = \begin{pmatrix} p \\ m \\ \beta \\ K \end{pmatrix} \quad Y_t = \begin{pmatrix} \mu \\ R \end{pmatrix} \quad G_t = \begin{pmatrix} 0.03 \\ 0.02 \\ 0.001 \\ 0.00001 \end{pmatrix} \quad K_t = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \end{pmatrix}$$

$$F_t = \begin{pmatrix} -(k_d \cdot \Delta t - 1) & 0 & Y \cdot L \cdot \Delta t & 0 \\ J \cdot \Delta t & 1 & 0 & -\Delta t \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad H_t = \begin{pmatrix} a & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

4. モデル式中のパラメーター同定

MF 中空糸膜を浸漬させた実験室規模の結果²⁾を用い、状態量の推定を行った。Fig.1, Fig.2 は観測量となる混合液粘度およびろ過抵抗の結果である。なお、膜洗浄が 30, 46, 72 日目に、46, 66 日目に汚泥の引き抜きを行っているので、その時点で計算を一旦止めて、数値を初期値に戻して再度、計算を行った。

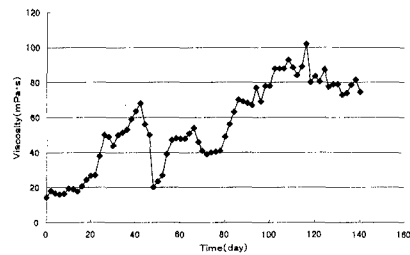


Fig. 1 Experiment result of viscosity.

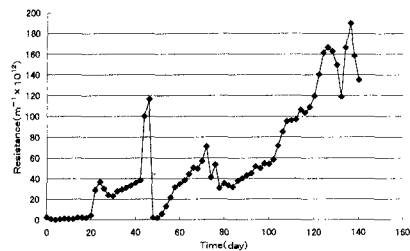


Fig. 2 Experiment result of filtration resistance.

逐次推定された β , m , K を Fig.3, Fig.4, Fig.5 に示す。

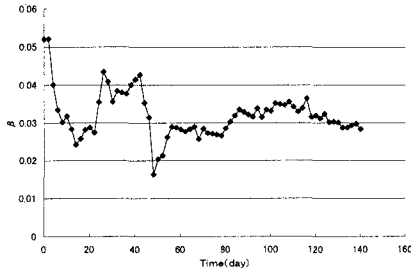


Fig. 3 Variation of EPS production rate, β .

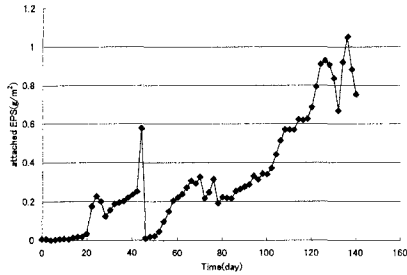


Fig. 4 Variation of EPS amount on membrane.

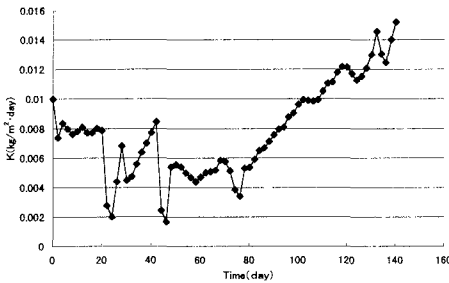


Fig. 5 Variation of EPS detachment rate, K .

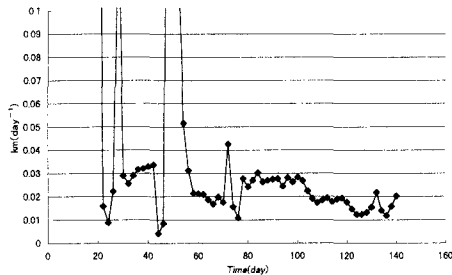


Fig. 6 Variation of k_m

β はほぼ 0.03 に収束する傾向を示している。はく離速度 K は運転初期は値が安定していないが、80 日目以降には、 m の値と共に直線的に上昇する傾向を示した。

推定された K, m より計算したはく離速度定数 k_m の変化を Fig.6 に示す。

k_m の値はほぼ 0.02day^{-1} に収束する傾向を示し、モデル式中の重要なパラメーターであるはく離速度定数を同定することができた。

5. ろ過抵抗の変化の長期予測

式(1), (3), (4)および観測現時点において同定されたパラメータ β , k_m を用いて、観測時点より将来のろ過抵抗の変化の予測を試みた。

Fig.7 は 88 日目において同定されたパラメータを用いその後のろ過抵抗の変化を予測した結果である。なお、膜間差圧が 100kPa に達した時点で膜洗浄を行い、洗浄によりろ過抵抗は 0.29 倍に減少するとして計算を行った。

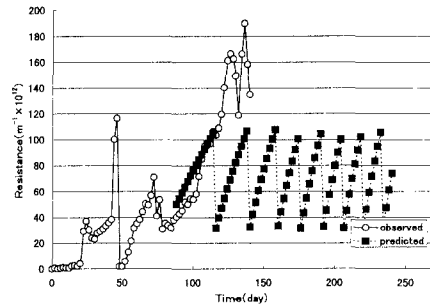


Fig.7 Prediction of filtration resistance at 88days.

88 日目以降最初の洗浄までは、実測値をほぼ正確に予測できていることが示されている。また、その後は実測データはないが、約 20 日に 1 度膜洗浄を加える必要があることが予測されており、本法により、将来の膜洗浄の時期および頻度の大きな予測が可能であることが示された。

6. まとめ

膜分離活性汚泥法におけるろ過抵抗の上昇を目詰まり現象を菌体外ポリマーの付着とはく離で表現する簡単な物理モデルを用いて予測することを試みた。モデルパラメータをカルマンフィルターにより同定することにより、観測値と同様の予測値を計算することができた。また、将来の膜洗浄の時期および頻度の大きな予測が可能であることを示した。

引用文献

- 1) Nagaoka, Et.al: Modeling of Bio-Fouling by Extracellular Polymers in a Membrane Separation Activated Sludge System, Wat. Sci. Tech. Vol.38, No.4-5, 497-504, 1998
- 2) 植田 真司: 膜分離活性汚泥法における膜透過流束低下因子の究明, 武蔵工業大学修士論文, 1995