

拡張カルマンフィルタを用いた膜分離活性汚泥法の膜目詰まりの推定

武蔵工業大学 学生会員 信澤 雄一郎
武蔵工業大学 正会員 長岡 裕

1.はじめに

膜分離活性汚泥法には、膜目詰まりにより十分な処理水量が得られなくなるといった問題がある。膜目詰まりは、膜表面に粘着質の物質や菌体外ポリマーが多く堆積することによって起こる。

活性汚泥法の運転において得られる測定データは、微生物の生成・死滅により影響され、不規則な変動をしている。不規則な変動は、その発生メカニズムを数式で表現することは難しい。そこで、そのようなデータは、確率論的に扱うことが妥当である。

本研究の目的は、膜目詰まりの要因を菌体外ポリマーなどの粘性物質として、ろ過抵抗の上昇を表すモデル式を直接カルマンフィルタに適用させて、膜目詰まりの時期を予測することである。

2.推定に用いるモデル式

推定に用いるモデル式は膜目詰まりの原因を、槽内に蓄積した菌体の代謝物質である菌体外ポリマーとした数理モデルである。

$$\frac{dp}{dt} = YL - k_d p \quad (1)$$

$$\frac{dm}{dt} = CpJ - K \quad (2)$$

$$R_p = (R_t - R_{memb}) = m \quad (3)$$

$$\mu = ap^2 \quad (4)$$

(1)式は、菌体外ポリマー濃度の変化を示す式である。菌体の増殖量に対して、ある割合の菌体外ポリマーが生成されると考えた。また、ポリマーの自己分解は、 k_d により一定速度により分解すると考えた。(2)式は、膜面に付着する菌体外ポリマー量の変化を示す式である。ポリマーの膜面への付着速度は、ポリマー量とフラックスの関係で付着し、剥離量速度 K により剥離していくものと考えた。(3)式は、膜面に付着する菌体外ポリマー量のみがろ過抵抗に影響を与えるものとした式で

ある。(4)式は、菌体外ポリマー量の 2 乗の値が混合液粘度と比例するものとした式である。

Y : 収率, L : TOC 容積負荷(g/L/day), β : 菌体に対するポリマーの割合, p : 菌体外ポリマー量(g/L), k_d : 自己酸化定数(1/day), m : 膜付着ポリマー量(kg/m²), C : 定数=0.2, J : 膜透過流速(m/day), K : ポリマーの剥離量速度(kg・m⁻²・day⁻¹), R_t : ろ過抵抗(m⁻¹×10¹²), R_p : 付着物によるろ過抵抗(m⁻¹×10¹²), R_{memb} : 膜のろ過抵抗(m⁻¹×10¹²), α : ポリマーの比抵抗(m/kg), μ : 混合液粘度(mPa・sec), a : 菌体外ポリマーの粘度への影響(m⁵・sec/g)

3.線形離散時間確率システム

線形離散時間確率システムは以下の式となる。

$$x_{t+1} = F_t x_t + G_t w_t \quad (5)$$

$$y_t = H_t x_t + K_t v_t \quad (6)$$

$t=0,1,\dots$

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, F_t : 状態遷移行列, G_t , K_t : 駆動行列, H_t : 観測行列, 雑音は平均値 0 のガウス白色雑音とする。

$$x_t = \begin{pmatrix} \mu \\ m \\ p \\ \beta \\ K \end{pmatrix} y_t = \begin{pmatrix} \mu \\ R_p \end{pmatrix} K_t = \begin{pmatrix} 1 \\ 4 \end{pmatrix} G_t = \begin{pmatrix} 0.3 \\ 0.001 \\ 0.01 \\ 0.0001 \\ 0.00001 \end{pmatrix}$$

$$F_t = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 2aYL\beta\Delta t - 4ak_d p\Delta t & 2aYLp\Delta t & 0 \\ 0 & 1 & CJA\Delta t & 0 & -\Delta t \\ 0 & 0 & 1 - k_d\Delta t & YL\Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$H_t = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \alpha & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

(1), (2), (3), (4) 式を(5), (6) 式に適用させる。観測ベクトルを混合液粘度, ろ過抵抗とし, 状態ベクトルを混合液粘度, 膜付着ポリマー量, 菌体外ポリマー

キーワード 膜分離 活性汚泥法 カルマンフィルタ ろ過抵抗

武蔵工業大学工学部 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-3703-3111 FAX:03-5707-2222)

量，菌体に対するポリマーの割合，ポリマーの剥離量速度とすると以上ようになる．時間を $t(\text{day})$ 間隔で変化するものとする．

4. 推定結果及び考察

初期値は $Y=0.5, L=0.5(\text{g/L/day}), k_d=0.018(1/\text{day}), C=0.2, J=0.15(\text{m/day}), a=85(\text{m}^5 \cdot \text{sec/g}), \alpha=1.9 \times 10^{17}(\text{m/kg})$ サンプル間隔: $t=2(\text{day})$ とした．状態ベクトルの初期値は， $\mu=3.0(\text{mPa} \cdot \text{sec}), m=0(\text{kg/m}^2), p=0.082(\text{g/L}), \beta=0.01, K=0.004(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1})$ とした．カルマンフィルタの計算で用いる推定誤差共分散行列の初期値は， 5×5 の単位行列として一度計算した結果，収束した値を再度初期値として用いた．

以上の条件を用いてカルマンフィルタでの推定を行った．図1, 2, 3, 4, 5 にそれぞれ混合液粘度の推定結果，ろ過抵抗の推定結果， p : 菌体外ポリマーの測定値と推定値の比較， γ : 菌体に対するポリマーの割合の推定結果， K : ポリマーの剥離量速度の推定結果を示す．図6 にろ過抵抗の長期予測したものを示す．

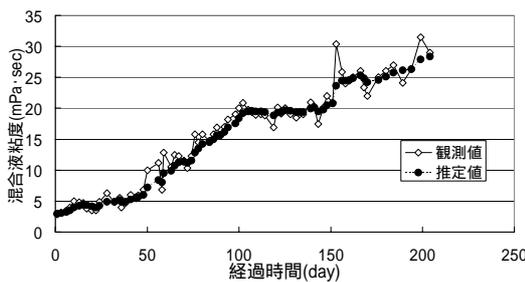


図1 混合液粘度

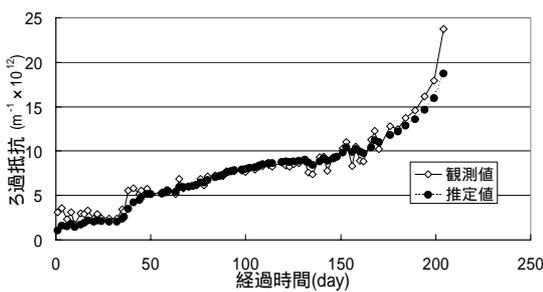


図2 ろ過抵抗

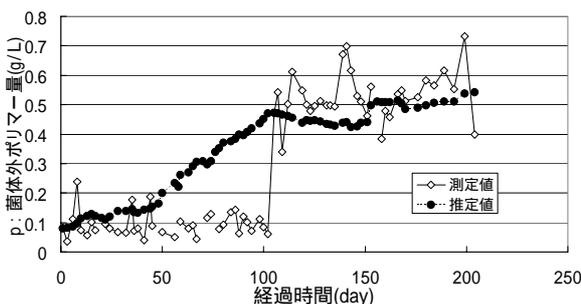


図3 p : 菌体外ポリマーの測定値と推定値の比較

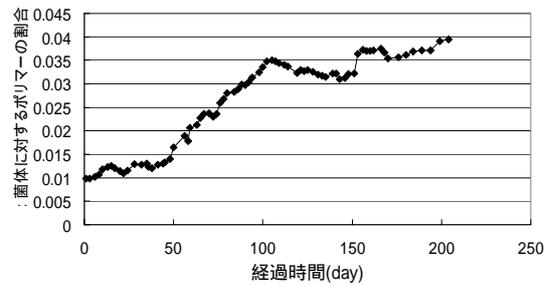


図4 γ : 菌体に対するポリマーの割合

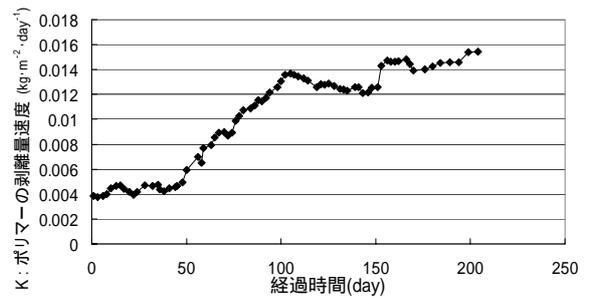


図5 K : ポリマーの剥離量速度

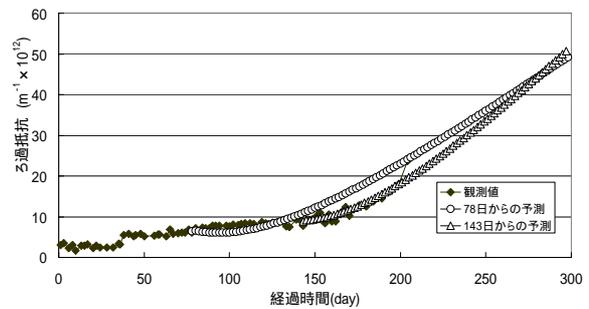


図6 ろ過抵抗の長期予測

図2より，180日以降から，ろ過抵抗の観測値と推定値との差が広がった．この差の広がりには，ろ過抵抗の観測値が180日以降から急激に上昇したための影響といえる．図3より，菌体外ポリマー量の推定値が測定値と似たような値をとった．このことから，解析を行う際に用いる初期値はそれぞれ，比較的適した値であったといえる．図4, 5, より γ : 菌体に対するポリマーの割合， K : ポリマーの剥離量速度は，それぞれ $0.035, 0.014(\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1})$ 付近で収束している．この値を用いて78日，143日から，ろ過抵抗の長期予測を行った．78日からの予測よりも143日からの予測の方が精度のよい予測といえるが，両方ともろ過抵抗の上昇傾向をとらえた予測であるといえる．

5. 結論

(4)式のような非線形式をカルマンフィルタに適用したことで，収束性のよいパラメータ同定を行うことができた．このパラメータを用いて長期予測を行ったことで，ろ過抵抗の上昇傾向を把握することができた．