

# 活性汚泥法の汚泥制御

京都大学工学部 平岡 正勝 津村 和志

日新電機㈱プラント本部技術部 ○太田 稔

## 1. まえがき

活性汚泥法では余剰汚泥引抜き量・返送汚泥流量の制御が重要であり、それぞれ制御方法として SRT (Sludge Retention Time) 一定制御。最終沈殿池の沈降流束理論が提案されている。これらの制御はプロセスパラメータを入力情報として“運転管理図”を作成し、各制御の目標値変更がもたらすプロセスの状態変化を予測しながら制御をおこなう方法である。したがって流入水質や気温等の環境条件や運転状態の変動によって刻々と変化しているプロセスパラメータを容易な方法で求めることが最も重要な課題である。本稿では、SRT一定制御に必要なプロセスパラメータ(生物学的な反応定数)を Extended Kalman Filter と線形回帰によって・返送汚泥流量制御に必要なプロセスパラメータ(活性汚泥の沈降流束)を回分沈降試験と Kynchの方法によって求める方法を提案する。なお、図1に本稿で考えている汚泥制御のシステム構成図を示した。

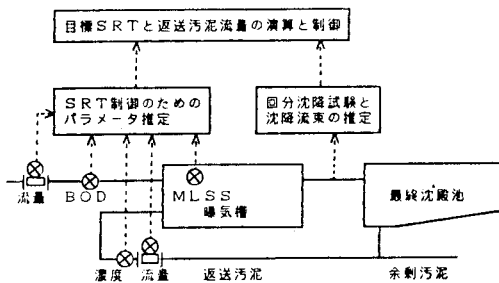


図1 汚泥制御のシステム構成図

## 2. SRT一定制御とプロセスパラメータ

図2にSRT一定制御のための運転管理図を示した。この図からSRT設定値に対する処理水溶解性BOD濃度・余剰汚泥発生量・曝気槽MLSS濃度が分かり、必要とする処理水溶解性BOD濃度と余剰汚泥発生量の制約条件から目標とするSRTを設定することができる。

ところで、この運転管理図作成のためには活性汚泥の増殖率・自己酸化率・収率のプロセスパラメータが必要である。これらのパラメータ推定は Extended Kalman Filter による正味の汚泥増殖率の推定および汚泥増殖量と流入BOD負荷量の線形回帰から求めることができる。以下にその手順と適用例を示す。

(a) Extended Kalman Filter による正味の汚泥増殖率の推定

$$\frac{dC_0}{dt} = \frac{Q_r C_u - (Q_0 + Q_r) \cdot C_0}{V} - (\mu - b) \cdot C_0 \dots\dots\dots (1)$$

の数学モデルから、正味の汚泥増殖率(μ - b)を1時間毎に推定する。本式は(μ - b)を推定する変数とみたととき非線形微分方程式となるが、Extended Kalman Filterではアルゴリズムの中で線形化をおこなうので非線形のまま適用する。この適用例の演算結果は図3に示した。また、図3には測定した処理水溶解性BOD濃度も示しているが、一般的に言われているように推定した汚泥増殖率とBOD濃度との間には正の相関があり、汚泥増殖率の推定値は正しいと思われる。

(b) 線形回帰による収率・自己酸化率の推定

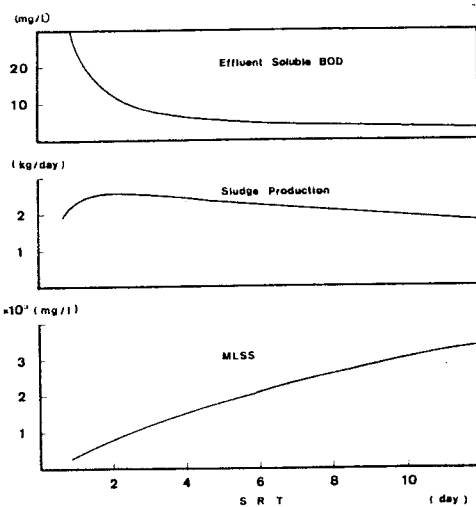


図2 SRT一定制御のための管理図

曝気槽の基質濃度に対する微分方程式と(1)式を組み合わせると(2)式が得られる。したがって、前項で求めた正味の汚泥増殖率を左辺とし、別に測定した右辺第一項の  $F/M$  値から線形回帰によって収率  $Y$  と自己酸化率  $b$  を求める。

$$\mu - b = Y \cdot \left\{ \frac{Q_0(S_0 - S)}{V \cdot C_0} \right\} - b \quad \dots \dots \dots (2)$$

この方法による適用例の演算結果は図5に示した。この結果、図中に示したように収率  $Y = 0.883$ 、自己酸化率  $b = 0.0607$  ( $\text{day}^{-1}$ ) と推定することができた。なお、先に示した図2の運転管理図はここで求められたパラメータ値を基に算出している。

また、図5の線形回帰をおこなうとき、図4に示したように推定した正味の汚泥増殖量と流入BOD負荷量の経時変化の間には7~8時間の位相差が認められるので、 $F/M$  値算出時にこの位相差を考慮して求めた。

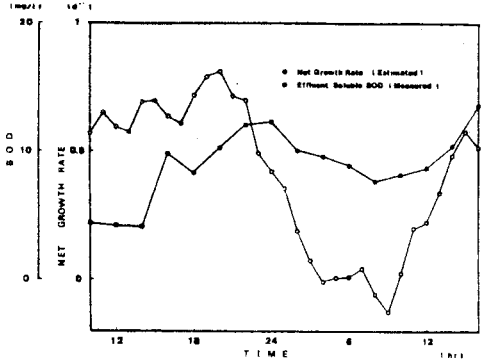


図3 正味の汚泥増殖率と処理水溶解性BOD

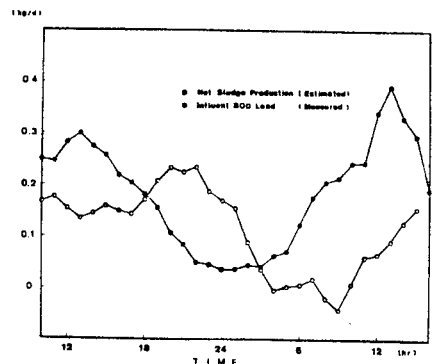


図4 正味の汚泥増殖量と流入BOD負荷

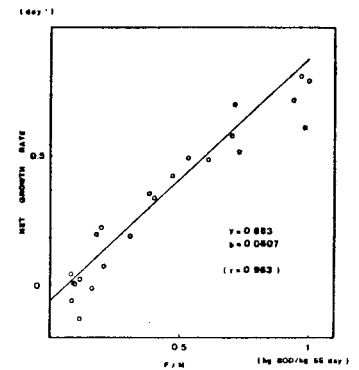


図5 正味の汚泥増殖率とF/M比の相関

### 3. 返送汚泥流量制御とプロセスパラメータ

返送汚泥流量制御は沈降流束理論によって最終沈殿池に汚泥が蓄積しないように制御することが目的である。図6に返送汚泥流量制御のための運転管理図を示す。図中の状態点(State point)はSRT一定制御で予想されるMLSS濃度と流入水量から指定される。この状態点を通り、沈降流束曲線と接する傾き  $-u$  の直線から、沈殿池に汚泥を蓄積させないための最小の返送汚泥流量  $A \cdot u$  とそのときの返送汚泥濃度  $C_u$  を得ることができる。この方法で返送汚泥流量を制御すれば、活性汚泥は全て曝気槽に戻すことができ、活性汚泥が処理水とともに系外へ流出することを防止することができる。

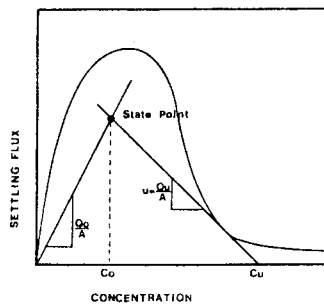
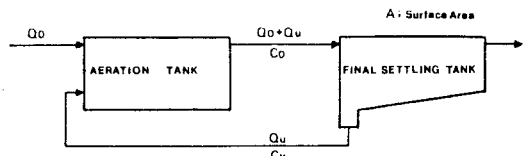


図6 返送汚泥流量制御のための管理図

図6の沈降流束理論による返送汚泥流量制御に必要なプロセスパラメータは汚泥の沈降性を示す沈降流束であり、重力沈降速度と濃度の積で表わされる。この沈降流束を求める方法として、Kynchは一度の回分沈降試験結果から解析的に求める方法を提案している。本稿ではこのKynchの方法で沈降流束を求めることとした。しかし、この沈降流束理論による制御を実用化しようとした場合には、

- 汚泥の沈降特性の変動から考えて沈降流束はどのぐらいの周期で求める必要があるか？
  - 円筒形沈殿池(水平方向に一律の汚泥濃度分布)を仮定している沈降流束理論が矩形沈殿池に適用可能か？
- の問題がある。以下にこれらの問題解決のためにおこなった実験の結果を示す。

(a) 汚泥の沈降特性の変動周期

図7と図8に回分沈降試験からKynchの方法で求めた沈降流束曲線を示す。図7は1日1回の5日間連続でおこなった実験結果である。図より4日目(No.4)に沈降特性が悪化したことが分かる。次に図8は毎水曜日7週連続で実験をおこなった結果である。4回の測定結果はほぼ同じ沈降流束となっている。しかし経時的な変動を考えると、沈降特性は1週間の間に変動している。図7、図8の結果から汚泥の沈降特性は数日の周期で変動していると推察され、実際の制御に適用する場合には1日1回の回分沈降試験から沈降流束を求めるのが適当であると結論できる。

(b) 矩形最終沈殿池内の汚泥濃度分布の測定

沈降流束理論が矩形沈殿池に適用できるかどうかを調査するために矩形沈殿池内の汚泥濃度分布を測定した。図9に沈殿池の流れおよび深さ方向に測定した結果を示す。この沈殿池は汚泥の引拔を池中央底部でおこなっており、(a)の低負荷状態では汚泥の引抜位置近傍にのみわずかに高濃度汚泥層が認められる。一方、(b)(c)(d)は汚泥の引抜量(返送汚泥流量)を減少させて過負荷状態としたときの測定結果で、(b)(c)(d)と時間が経過するとともに蓄積汚泥量が増加する様子を示している。図より明らかなように蓄積汚泥量が増加すると高濃度汚泥層が沈殿池全域に広がっており、汚泥の蓄積は円筒形沈殿池と同様に沈殿池全域でなされている。したがって円筒形沈殿池を仮定して展開されている沈降流束理論を矩形最終沈殿池へ適用することは可能であると思われる。

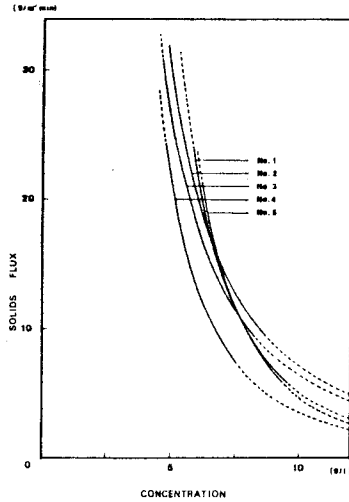


図7 沈降流束の日間変動

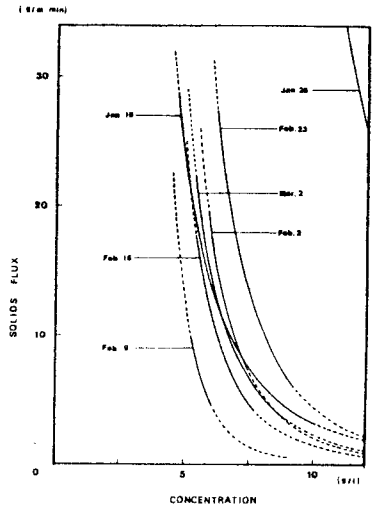
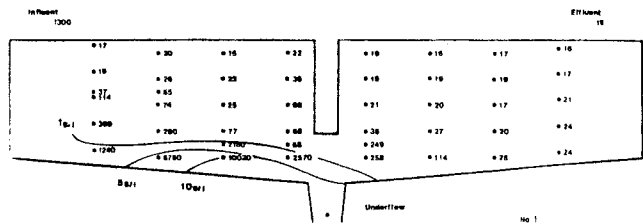
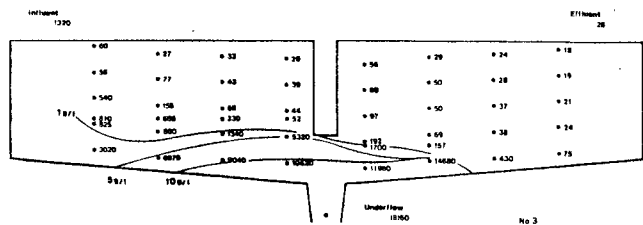


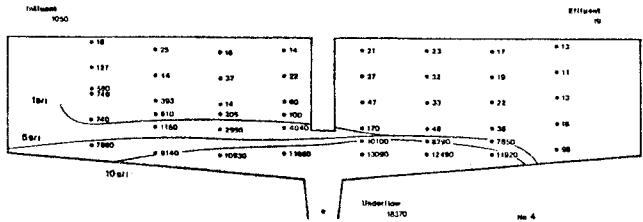
図8 沈降流束の週間変動



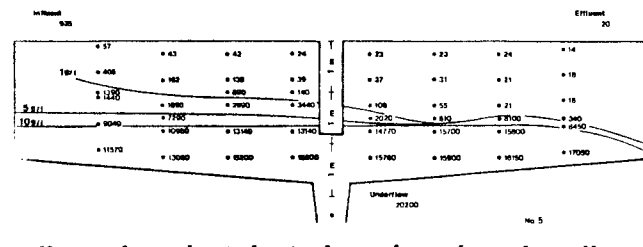
(a) 低負荷時



(b) 引抜汚泥量減少 2時間後



(c) 引抜汚泥量減少 4時間後



(d) 引抜汚泥量減少 12時間後  
図9 最終沈殿池内の汚泥濃度分布 (mg/l)

#### 4. 結論

本稿では、活性汚泥法の余剰汚泥引抜量・返送汚泥流量の汚泥の制御を“運転管理図”によっておこなう方法を実用化するために、“運転管理図”作成に必要なプロセスパラメータを求める方法について検討をおこなった。この結果、余剰汚泥引抜量を S R T 一定制御でおこなうために必要な生物学的な反応定数は Extended Kalman Filter と線形回帰によって毎日求めることができ、返送汚泥流量制御に必要な沈降流速は 1 日 1 回の回分沈降試験から得られることが分かった。

なお、本稿で提案した制御方法をフローチャートで示すと図 10 となる。本図で、左側はプロセスパラメータの推定手順を示し、右側は“運転管理図”による制御目標値設定手順を示している。

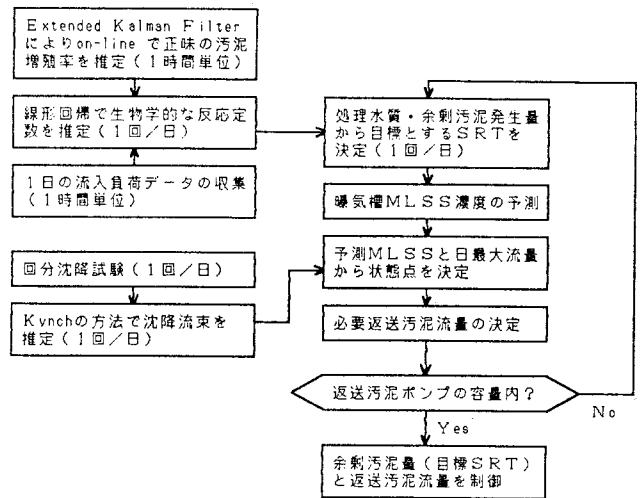


図 10 汚泥制御の演算フローチャート

#### (変数説明)

Qo: 曝気槽流入水量	Qr: 返送汚泥流量	Co: 曝気槽 MLSS 濃度
Cu: 返送汚泥 (引抜汚泥) 濃度	So: 流入 BOD 濃度	S: 処理水溶解性 BOD 濃度
V: 曝気槽体積	A: 最終沈殿池表面積	Y: 収率
$\mu$ : 比増殖率	b: 自己酸化率	

#### (参考文献)

1. Unified Basis for Biological Treatment and Operation: Lawrence A. W., McCarthy P. L., A S C E, Vol. 96, S A 3 (1970)
2. Stochastic Process and Filtering Theory: Andrew H. J., Academic Press (1970)
3. Activated Sludge - Unified System Design and Operation: Keinath T. M. et al, A S C E, Vol. 103, EE 5 (1977)
4. 均質凝集性スラリーの連続沈降濃縮: 吉岡他, 化学工学, Vol. 21 (1957)
5. 活性汚泥プロセスの監視制御 - Extended Kalman Filter の適用: 平岡, 津村, 松井, 太田, 第 19 回下水道研究発表会講演集 (1982)
6. 最終沈殿池の汚泥蓄積能力: 平岡, 津村, 松井, 太田, 第 20 回下水道研究発表会講演集 (1983)