

# [40] 流入負荷量の日内変化予測値に基づく活性汚泥プロセスの基質負荷制御

(株)日立製作所 システム開発研究所 増位 庄一 ○塩谷 真  
大みか工場 柏木 雅彦 森 俊二

## 1. はじめに

都市下水の処理方法としては、活性汚泥法が最も一般的で、処理水質が安定であること・処理コスト、速度が他に比して優れていること等からみて、今後とも下水処理の主流を占めるものと思われる。活性汚泥法は、微生物による有機物摂取という生物反応プロセスを処理の基本としているため、良好な処理水質を維持し、向上させるためには、運転管理上、次のような注意が必要である。

- (1) 曝気槽内において微生物の活動が活発化する環境を形成すること：(a) 槽内の溶存酸素を適正值に保つ。  
(b) 槽内の微生物量（汚泥量）を、有機物量との見合いで適量に保つ。
- (2) 最終沈澱池において、汚泥流出、汚泥不足等が生じないように、沈澱池内汚泥を管理すること。

このうち、溶存酸素の制御は、オンライン測定器が存在しかつ制御反応が十分速いことなどから、フィードバック制御が効果的であり、一部実用化され始めている。曝気槽内の微生物量の制御は、有機物量のオンライン測定器の不備から、槽内浮遊物質濃度（Mixed Liquor Suspended Solid, 以下MLSSという）の一定化という形での技術的検討が進められてきた。この検討過程において、MLSSの一定化は、(2)の最終沈澱池内での汚泥量の考慮なしでは達成できないことが明らかとなった。これは、曝気槽、最終沈澱池という二次処理プロセス内の総汚泥量の管理制御が必須であることを示している。本稿では、プロセス内の総汚泥量制御の一方法として、処理場への流入負荷量に対応した返送汚泥量、余剰汚泥量の計画決定システムをのべ、その制御効果をシミュレーション実験を通して確認する。このシステムは、MLSS一定化制御はもちろんF/M比（Food to Microorganism Ratio）制御にも適用可能で、活性汚泥法の処理効率向上に大きく寄与することが期待できる。

## 2. システムの構成

活性汚泥法による下水処理プロセスは、極めて長い遅れ時間を含むフィードバックプロセスである。このためこのプロセスの制御は、将来を見越したフィードフォワードの要素を含む必要がある。即ち、図1に示すように予測値に基づく制御計画値決定のための計画管理システムと、

実測値と予測値との偏差から計画値を修正し、実際の操作量を求める計画修正システムとから成る基質負荷制御システムを考えるのが現実的である。本稿では、このうち計画管理システムについてのべる。これは、処理場への流入負荷量が、24時間周期をもち、日内の時間変化も天候等の不確定要因を除けば、安定したパターンを示すことに着目し、前日に流入負荷量を予測し、その予測値により当日一日分の返送汚泥量、余剰汚泥量を予め計画する比較的短期間の総汚泥量管理システムである。このシステムは、将来のプロセス状態を推定しつつ計画を行うシステムであるため、プロセスの動特性を模擬するプロセスシミュレータを内蔵している必要がある。本システムは、図2に示

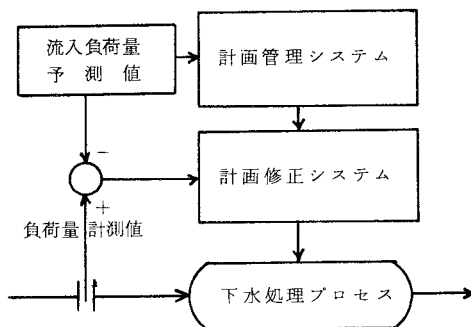


図1 基質負荷制御システムの考え方

すように、曝気槽シミュレータ (Aeration Tank Simulator, ATS という)、最終沈澱池シミュレータ (Final Sedimentation Tank Simulator, STS という) の2つのプロセスシミュレータと、それらを統括し、最適操作量を計画決定する総汚泥量管理システム (Total Sludge Management System, TSS という) から成る。

(1) ATS : 曝気槽内での流動特性、汚泥増殖・有機物除去反応を模擬し、曝気槽各部における汚泥濃度、有機物濃度および曝気槽出口でのMLSS、流出量を計算する。このシミュレータは、完全混合槽列モデルと、Monod型の有機物除去反応方程式を用いる。

(2) STS : 最終沈澱池内での汚泥沈降、流動現象を模擬し、沈澱池内の汚泥濃度分布状態、沈澱池からの引き抜き汚泥濃度、放流水質浮遊物質濃度などを計算する。本シミュレータでは、沈澱池からの汚泥流出が主として、流入口対向壁面(矩形沈澱池を仮定している)による汚泥巻き上げ現象によって生じるという点に着目し、移流沈降モデルを開発し、その現象の表現を可能としている。

(3) TSS : 上記2つのシミュレータを用い、計画期間中に必要となる汚泥量が常に最終沈澱池内に確保されており(汚泥不足の解消)、かつ最終沈澱池からの汚泥流出濃度が常に基準値以下になる(汚泥流出の防止)ように、各時点の返送汚泥量および余剰汚泥量を計画するシステムである。本システムは、シミュレータを用いてプロセスの動態を把握し、適応的に操作量を決定するダイナミックシステムである。

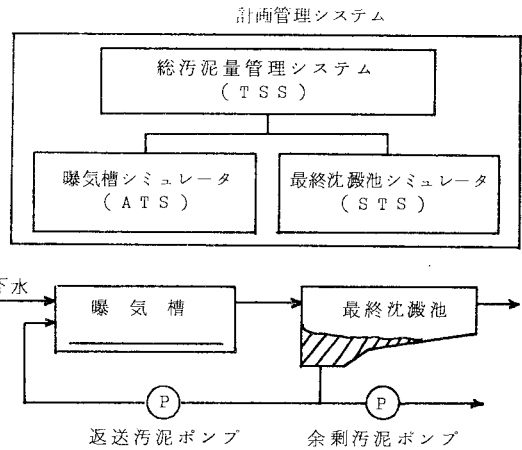


図2 計画管理システムの構成とプロセスとの反応

### 3. システムモデル

#### 3.1 ATS

曝気槽の流動特性が押し出し流れと完全混合の中間の状態にあるということから、流動特性モデルには、両者をよく融合できる完全混合槽列モデルを用いる。このモデルは、図3に示すように、曝気槽を仮想的にいくつかの槽に分割し、各槽内は、汚泥濃度、有機質濃度が一律であると考える。各槽の濃度は槽毎の物質収支式から定められ、各槽間の物質移動は、押し出し流れに従うとする。このモデルの表現能力は槽数をいくつにするかに依存する。シミュレーション実験の結果から、各槽の体積が単位計算時間に流入する流入水量の1~1.5倍程度となるよう分割した。ATSにおける汚泥増殖・有機物除去反応式は、次のMonod型のErickson-Fan式を用いる(模式図を図4に示す)。

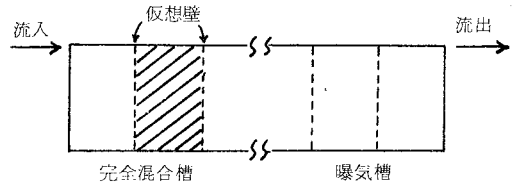


図3 完全混合槽列モデル

$$\frac{dL}{dt} = -\frac{\mu_n LS}{Y(K_S + L)} + K_C K_D S \quad \dots\dots (1)$$

$$\frac{dS}{dt} = \frac{\mu_n LS}{K_S + L} - K_D S \quad \dots\dots (2)$$

ここで L : 有機物濃度, S : 汚泥濃度

$\mu_n$  : 最大増殖率, Y : 収率係数

$K_S$  : 解離定数,  $K_D$  : 自己酸化率

$K_C$  : 基質転化率

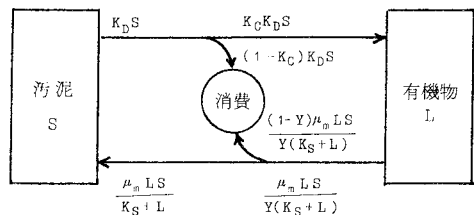


図4 Erickson-Fan 式の模式図

### 3.2 S T S

従来、最終沈澱池の動特性モデルとして上澄液（処理水）層と沈降汚泥層の2つの層を考える二層モデルがよく用いられていた。このモデルは、沈澱池の本来機能である固液分離現象を表現するには適しているが、流入水に伴う副次現象、特に汚泥流出の主要因と目される流入口対向壁面での汚泥巻き上げ現象（ある程度沈澱し濃縮された汚泥が、流入水に押されて壁面に当たり、壁面に沿って散乱する現象）を表現できないものであった。S T Sでは沈澱池動特性のより忠実な表現を目指して、図5に示すような移流沈降モデルを開発した。これは、単位時間内に沈澱池に流入した汚水の塊（これを汚泥柱という）を計算上の一単位と考え、この汚泥柱毎の移流沈降を考える。即ち、沈澱池の動特性を、

- (1) 流入水による、汚泥柱の押し出し式移流、
- (2) 各汚泥柱内での汚泥の静的沈降、
- (3) 流入口対向壁面での汚泥柱の分解、再構成

という3つの過程に分けて捉える。これは、二層モデルに流動現象を加味したものと考えられ、沈澱池内の汚泥濃度の二次元的分布状態の推定も可能である。

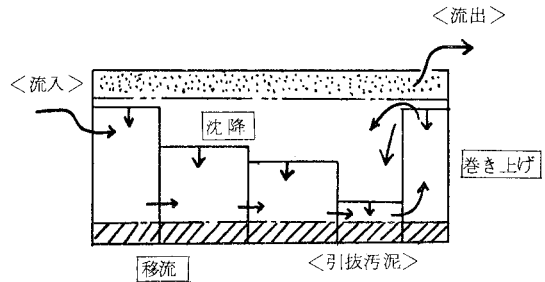


図5 移流沈降モデルの概念図

### 3.3 T S S

曝気槽への流入水量および流入有機物濃度の日内変化予測値に基づき、与えられたM L S S目標値を満足するよう、その日の返送汚泥量、余剰汚泥量を決定するのがT S Sである。T S Sの概略フローを図6に示す。T S Sは、1日単位の総汚泥量管理を目的に作成されているが、数日～1カ月にわたる計画も可能である。

ステップ1：流入負荷量の予測値を基に、M L S S一定化に必要な返送汚泥量（ドライベース）を各時間単位毎に求める。計算開始時刻をセットしてステップ2へ。

ステップ2：S T Sにより引き抜き可能な最大汚泥量（ドライベース）を算出する。必要量が可能量より少の時はステップ3へ、大の時はステップ7へ。

ステップ3：必要量を満たす返送汚泥流量を求める。

ステップ4：沈澱池への流入量から処理水流出量を求め放流水汚泥流出濃度を計算する。この濃度が基準値内ならステップ5へ、基準値外ならステップ8へ。

ステップ5：A T Sにより曝気槽状態を推定し、曝気槽流出水M L S S，流出水量を求める。

ステップ6：ステップ3, 4, 5での計算値を用い、S T Sにより最終沈澱池状態を推定する。この時、余剰汚泥流量は前時刻のままとする。時刻を1単位時間進めステップ2へ、終了時刻に到った時は終了。

ステップ7：不足量を満たすよう、それ以前の時点の余剰汚泥量を減少させ、時刻を戻してステップ2へ。

ステップ8：放流基準を満たすまで、それ以前の時点の余剰汚泥量を増加させ、時刻を戻してステップ2へ。

ステップ7, 8で時刻を戻せない時は、終了。

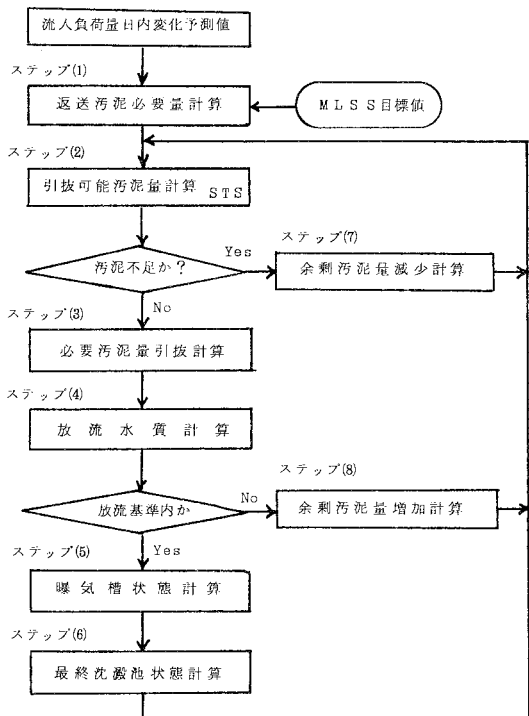


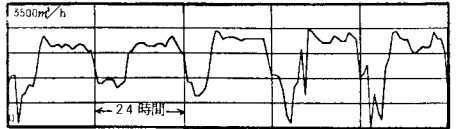
図6 T S Sの概略フロー

#### 4. シミュレーション実験

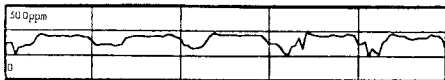
##### 4.1 パラメータフィッティング

A T S, S T S の各種パラメータのフィッティング, モデルの表現能力の確認を, 実際の処理場での測定データを用いて行った。A T S-S T S のシミュレーション結果の一例を右図 7 に示す。

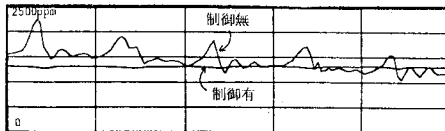
図 7 (a) は, 曝気槽出口 M L S S, (b) は最終沈澱池からの引き抜き汚泥濃度の計算値と実測値の比較である。いずれの指標も, 変化傾向をよく捉えており, かつ偏差も比較的小さい。これから, 本モデルの有効性が確認できたと考える。



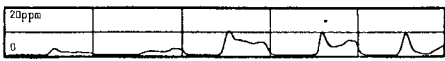
(a) 曝気槽入口流入水量 (データ)



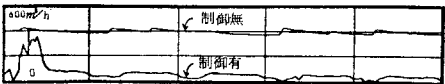
(b) 曝気槽入口 B O D 濃度



(c) 曝気槽出口 M L S S



(d) 曝気槽出口 B O D 濃度



(e) 返送汚泥流量



(f) 余剰汚泥流量

図 8 制御シミュレーション

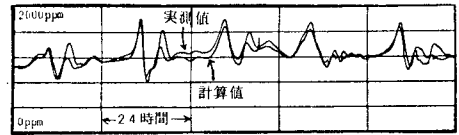
##### 5. おわりに

流入負荷量の日内変化が与えられた時, 日内の返送汚泥量, 余剰汚泥量を計画決定するための比較的短期間の総汚泥量管理システムを述べた。このシステムは, 所定の M L S S 値を実現するための必要汚泥量を計算し, それに見合った汚泥量を最終沈澱池内に確保すると同時に, 最終沈澱池からの汚泥流出の生じないように余剰汚泥量を制御する。シミュレーションによる制御効果の確認実験を通して, M L S S を目標値の 15% 以内に一定化でき, B O D 負荷も 10 ppm 以下に低減できる可能性が示された。なお本システムは, F/M 比制御の場合や汚泥貯留槽をもつプロセス等にも容易に適用できる。

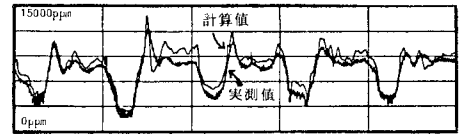
[参考文献] ① 地田ほか: 下水道における計測および新制御システム: 日立評論 (1975. 2)

② J. B. Busby: Dynamic Modeling and Control Strategy for Activated Sludge Process:

Ph. D Thesis, Clemson Univ. (1973. 12)



(a) 曝気槽出口 M L S S



(b) 引き抜き汚泥濃度

図 7 A T S-S T S シミュレーション

##### 4.2 制御シミュレーション

M L S S の 1200 ppm 一定化制御を 5 日間にわたって計画した例を図 8 に示す。図 8 の (a), (b) は流入負荷量のデータで, (a) の流入水量は処理場の実測データを用いた (b) は仮想データである)。

(c) は, この時の曝気槽出口の M L S S 計算値 (制御有) で M L S S は, ほぼ 1200 ppm に一定化され, 偏差も ±5% 以内と良好な制御性能を示している (制御無は, この時の処理場実測データ)。

(d) に示した出口 B O D 濃度の計算値も, 全期間 10 ppm 以下で (b) と比較して除去率は 95~99% と高率である。なおこの時の放流水質計算値は全期間 0 で汚泥流出は生じていない。図 8 (e) (f) は, 返送汚泥量, 余剰汚泥量の計画値 (流量ベース) であるが, 実際のオペレーション (制御無) に比して小さく, ポンプの省エネルギー運転も可能な結果である。

右図は, 期間中の時点の沈澱池内汚泥濃度分布の一例である。流入口対向壁面の汚泥巻き上げ現象がうまく捉えられているといえよう。

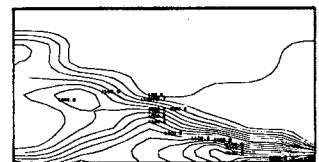


図 9 沈澱池内汚泥濃度分布