

[39] 二次処理系の汚泥量制御の一方式

東京芝浦電気(株) 重電技術研究所 ○三浦良輔 高瀬格
" " 池田秀雄
" 府中工場 稲葉隆一

1. ま え が き

曝気槽と最終沈殿池とからなる活性汚泥二次処理系において、制御の外乱である流入下水の負荷変動に対応し、返送汚泥流量や余剰汚泥引抜流量を制御して、活性汚泥の性状を安定化しかつ処理水質を良好に運転する必要がある。いままでこれらの制御方法に、MLSS制御やF/M比などを目的とした種々のフィードバックまたはフィードフォワード、ないしはそれらに予測手法を組合わせた制御方式が多く報告されている。

ところで、自動制御を活性汚泥下水処理場で実施するためには、つぎの三要件のおおのと、およびそれら相互の関係が明確に把握されていなければならない。

- (1) 外乱である下水の流入特性。
- (2) 操作量である返送汚泥流量と余剰汚泥引抜流量の運転目標。
- (3) 曝気槽と最終沈殿池を主体とする二次処理系での汚泥の挙動。

しかしながら、これらへの理解はまだ完全ではないために、制御することの効果が不明確であった。そこで本研究は、上記要件の解明を行いつつ制御方法の検索を行うために、つぎの段階的な作業計画を遂行した。

第1段階：〈機場データの収集〉2時間毎の1週間連続データを、手分析およびプロセス計器によって、通年4回（各季節毎に1回）収録する。

第2段階：〈データ解析〉収録データを統計処理およびモデル解析によって解析し、二次処理系各部における汚泥挙動の部分モデルを作成する。

第3段階：〈制御の検索〉おおのの部分モデルを整合的に組合わし、二次処理系全体の汚泥量モデルを作成して、種々の制御アルゴリズムの特性を解明して最良の制御アルゴリズムを選択および設計する。

現在、第3段階目の作業を行なっている途中であるが、興味ある知見が得られたので以下に報告する。

2. 実 験

2.1 機場データの収集

期 日：秋（11月）、冬（2月）、春（5月）、夏（8月）

手分析項目：BOD, MLSS, SS, SV, 酸素利用速度, COD, など。

計器測定：溶存酸素濃度, ORP, TOC, UV, MLSS, SS, COD, 水温など。

測定点：前曝気槽出口, 最初沈殿池出口, 返送汚泥流出口, 曝気槽各水路の中央部, 最終沈殿池流出口。

機場の概略および測定点については図1に示す。

2.2 データ解析

一般統計：代表値, 標準偏差, 頻度分布

時系列解析：FFT, GMDH, 自己相関, 相互相関, など。

モデル解析：〈曝気槽混合モデル〉既報(1)のモデルを採用した。すなわち、長矩形の曝気槽各水路を数個の分画槽に分け、分画槽内の完全混合流と、分画槽間の短絡流と逆向流とによって、曝気槽での汚泥の挙動を表現する混合モデルである。

〈最終沈殿池モデル〉既報(2)の横流式沈殿池モデルを一部改良して使用した。すなわち、横流式沈殿池をホッパー室, ホッパー上室, 沈降室, 沈殿室の4室に分けた、コンパートメント・モデルで

前2室は完全混合とし、沈降室では沈降のための時間遅れ、および沈殿室では汚泥の輸送係数を、モデルパラメータとするものである。

曝気槽混合モデルと最終沈殿池モデルからなる二次処理系汚泥量モデルの概略を図2に示す。このモデルにおける各パラメータは、返送汚泥濃度と曝気槽MLSSの実績値とそれらのモデル計算値とを比較し、その時系列誤差（平均値、標準偏差、相互相関係数、遅れ時間）が最小になるよう、電算機で探索した。

2.3 制御シミュレーション

二次処理系の全汚泥保有量を一定にするための余剰汚泥引抜流量制御と、最終沈殿池に蓄積している汚泥量が過剰にならないように返送汚泥流量を制御するフィードバック・ループについて検討した。

a) 余剰汚泥引抜流量制御ループ

$$Q_{wo} = \frac{W_{tot}(t) \cdot 10^6}{SRT \cdot X_r \cdot T_w} \quad \dots \dots (1)$$

Q_{wo} : 日間基本引抜流量 (m^3/h) , $W_{tot}(t)$: Q_{wo} を計算する時刻の全汚泥保有量 (ton) , SRT : 汚泥滞留日数 (day) , X_r : 返送汚泥濃度の過去24時間の平均値 (mg/l) , T_w : 日間余剰汚泥引抜時間 (hr)

$$\Delta Q_w = a_1 \cdot \{ K_1 (e_t - e_{t-h}) + K_2 \cdot e_t \} \quad \dots \dots (2)$$

$$Q_w(t) = Q_{wo} + \Delta Q_w \quad \dots \dots (3)$$

ΔQ_w : 操作変化量 (m^3/hr) , K_1, K_2 : 制御ゲイン, h : 制御周期, e_t, e_{t-h} : 偏差入力 (時刻 t における全汚泥保有量とその目標値との差) , a_1 : 不感帯要素, $Q_w(t)$: 余剰汚泥引抜流量の出力値。

余剰汚泥引抜流量 $Q_w(t)$ の制約条件として, $0 \leq Q_w(t) \leq 360 (m^3/hr)$ とした。

b) 返送汚泥流量制御ループ

$$\Delta Q_r = a_2 \{ K_3 (e'_t - e'_{t-h}) + K_4 \cdot e'_t \} \quad \dots \dots (4), \quad Q_r(t) = Q_r(t-h) + \Delta Q_r \quad \dots \dots (5)$$

ΔQ_r : 返送汚泥流量の操作変化量 (m^3/hr) , K_3, K_4 : 制御ゲイン, e'_t, e'_{t-h} : 偏差入力 (時刻 t における最終沈殿池汚泥蓄積量とその目標値との差) , a_2 : 不感帯要素, $Q_r(t)$: 返送汚泥流量の出力値。

なお, 返送汚泥流量 $Q_r(t)$ の制約条件として, 設定出力値は $200 m^3/hr$ 毎の離散値をとるものとした。

c) 制御のシミュレーション実験において,

下水の流入量 (m^3/hr) , 最初沈殿池出口のBODと懸濁物濃度との実測値を入力変数として用いた。各時刻における次の状態量を出力させ、記録した。返送汚泥流量, 余剰汚泥引抜流量, 曝気槽各部分のMLSS, 返送汚泥濃度, 沈殿池各室の汚泥蓄積量とその全量, 全汚泥保有量, 沈殿池汚泥量負荷, 沈殿池引抜汚泥重流量, 返送汚泥固形物重流量, F/M比の時間変化, 返送汚泥率, 最終沈殿池汚泥滞留時間, 日間余剰汚泥発生量。これらの値を実績値と制御値とを相互に比較検討した。

3. 結果

年4回の1週間連続測定データのうち, 最も作業の進んでいる冬期(2月)の検討結果について以下に示す。

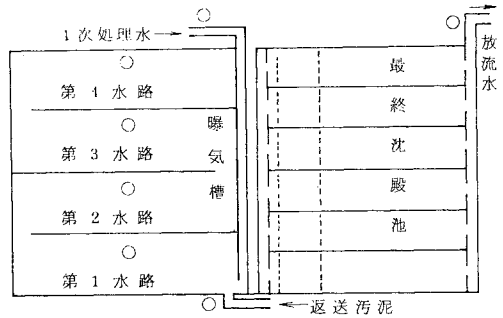


図1. 機場の概略 (○は測定点)

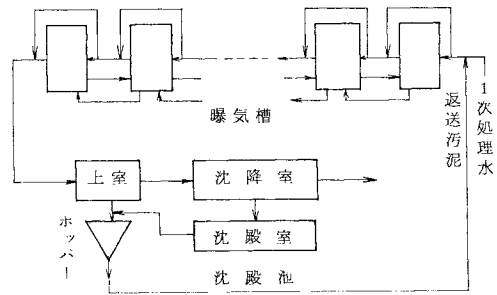


図2 二次処理系汚泥量モデル

3.1 下水の流入特性：図3に流入下水水量の変動、図4に曝気槽に流入したBODと懸濁物の負荷変動を示す。第1日目に降雪がありその影響がある。

3.2 モデル解析：曝気槽最終水路のMLSSと返送汚泥濃度の実測値とモデル計算値とを図5および図6に比較して示した。

3.3 制御シミュレーション：制御した場合の運転結果および二次処理系内の各状態量について、実績値のものと比較して図7～図13に示した。

1) 余剰汚泥引抜流量(図7) 実績は日1回の間欠引抜を行っているため、連続引抜と直接の比較にはならないが、本制御によると引抜量が多くなった。

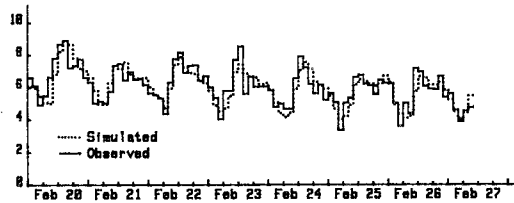


図5. 返送汚泥濃度(×1000 ppm)

日間引抜流量の週平均は、実績で1130、制御で1690 (m^3/day)であった。

2) 返送汚泥流量(図8) 実績はほぼ一定流量返送である。制御では流入下水水量が多い時すなわち最終沈殿池の汚泥蓄積量が多い時に高くなっている。しかし返送汚泥率(図9)は、実績の高い変動(平均=0.51, $S=0.21$)に比べて制御では低く(平均=0.51, $S=0.06$)になっている。

3) 最終沈殿池汚泥蓄積量(図10) 実績値(モデル計算による推定値)および制御値ともに流入下水水量の多い時刻に多く蓄積しているが、制御が返送汚泥流量と余剰汚泥引抜流量を調節しているために、週平均値で5.8 ton から4.9 ton と約15%低下し、蓄積過多を防いでいる。

4) 曝気槽MLSS(図11) 降雪による流入負荷の増大(図4)のために、3日目までは実績値が高く(日平均2100~2200 ppm)、かつ変動($S=160\sim200$ ppm)も高い。制御した場合は低く(日平均1900~2000 ppm)、変動($S=25\sim60$ ppm)と低い。このことから、本制御の動作はMLSS一定制御に近い運転結果をもたらすものである。

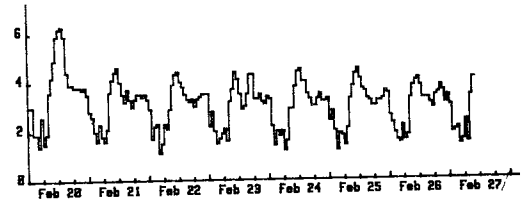


図3. 下水流入量(×1000 m^3/hr)

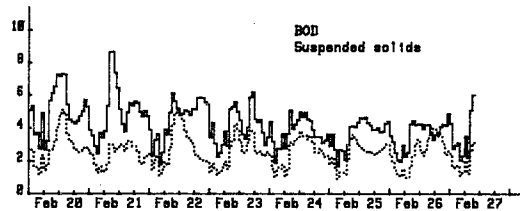


図4. BODとSSの曝気槽流入負荷(×100 kg/hr)



図6. 曝気槽最終水路のMLSS(×1000 ppm)

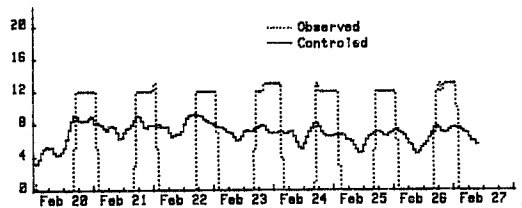


図7. 余剰汚泥引抜流量(×10 m^3/hr)

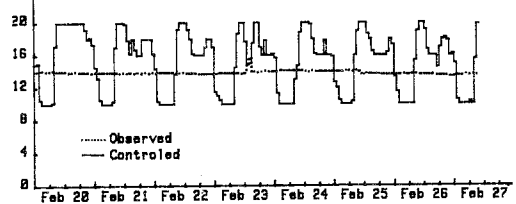


図8. 返送汚泥流量(×1000 m^3/hr)

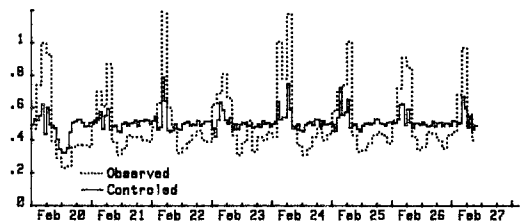


図9. 返送汚泥率

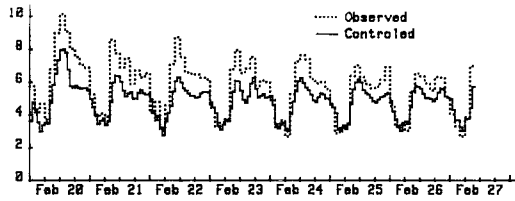


図 1 0. 最終沈 池汚泥蓄積量 (tm)

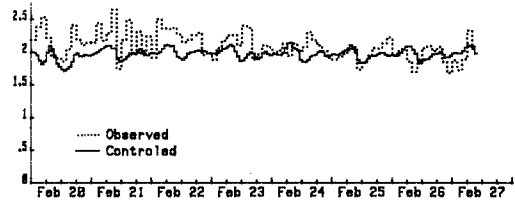


図 1 1. 曝気槽 M L S S (×1000 ppm)

- 5) F/M比(図 1 2) 全汚泥保有量を目標値に制御したため、F/M比は 8%ほど高くなった。
- 6) 余剰汚泥発生量(表 1) 7日間の日間余剰汚泥発生量の平均値は、実績 6.93であったのたいし、制御では 8.85 (tm/day)と高くなった。

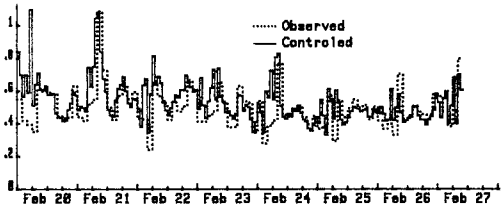


図 1 2. F/M比 (Kg-BODi/100Kg-SSi)

4. 考 察

4.1 実績の運転方法は、返送汚泥流量一定で余剰汚泥流量は経験に基づく 1日1回の間欠引抜である。これにたいして制御による運転は、最終沈殿池に汚泥が過剰に蓄積しないように返送汚泥流量を調節しかつ全汚泥保有量が一定になるように余剰汚泥流量を調節するという制御によるものである。これら二種の運転を比較し、制御した場の特徴を記すと；

- 返送汚泥率と M L S S の変動は小さくなった。
- 最終沈殿池の汚泥滞留時間は短くなった。
- 返送汚泥濃度すなわち余剰汚泥引抜濃度が低下した。
- F/M比は若干高くなった。
- 全汚泥保有量の変動は偏差率で実績 9.3%から制御で 1.4%に下がった。
- 余剰汚泥発生量とその引抜流量は実績よりかなり高い値になった。これは、制御シミュレーションにおいて汚泥転化率 $Y = 0.8$ および流入 S S の全部を汚泥になるとしたためと思われる。

4.2 最終沈殿池における汚泥固形物量の入出力時系列解析(基準化相互相関解析)から、汚泥伝達の遅れ時間は、実績で 1.32 h ($R = 0.85$)にたいし、制御では 0.5 h ($R = 0.99$)となり、応答性は改善された。

5. 結 論

- 流入下水の外乱にたいし、応答性のより良い汚泥量制御が可能である。
- 今回は汚泥量制御の管理指標として、①全汚泥保有量、②最終沈殿池汚泥蓄積量の 2 状態量を用いた。そのほか、③返送汚泥率、④ F/M比、⑤余剰汚泥引抜濃度、などの状態量や、⑥余剰汚泥引抜時間、⑦電力コスト、等の運転指標なども用いることができる。これらに関する閉ループからなる多重ループ制御への可能性もシミュレーションによって検討が可能である。
- 今後の課題 ①生物化学反応モデルを加えたトータルモデルによる同様の検討、②予想される異常な外乱に対応する制御システムの機能拡充、および③管理指標の変更に迅速に反応する制御アルゴリズムの作成、などが今後の重要な課題として残されている。

参考文献：(1) 三浦，他「曝気槽 M L S S データのモデル解析」第 17 回下水道研究発表会，昭和 55 年，

(2) 三浦，他「返送汚泥濃度と沈殿池蓄積汚泥量を決定するモデル」，同上，第 16 回，昭和 54 年。

表 1. 余剰汚泥発生量 (tm/day, m³/day)

(2月) 日, 曜	実 績		制 御	
	重 量	流 量	重 量	流 量
20 水	7.4	1,060	8.9	1,670
21 木	6.6	1,050	9.7	1,840
22 金	6.8	1,030	10.1	1,910
23 土	7.9	1,360	8.8	1,700
24 日	6.4	1,130	8.4	1,614
25 月	6.5	1,070	7.9	1,530
26 火	6.9	1,190	8.1	1,560
週平均	6.93	1,130	8.85	1,690
偏 差	0.56	120	0.82	140