

# 余剰汚泥引抜量を操作因子とした実プラントにおけるMLSS制御

近畿大学理工学部 馬場 鏡一

寝屋川南部広域下水道組合 ○山村 優 大西 春樹 大石 美喜雄

## 1. 緒言

現在、下水処理場で採用されている多くの処理方法は、活性汚泥法である。処理の中心となる部分は、活性汚泥が吸着、同化作用により有機物を除去するエアーレーションタンク、および活性汚泥と処理水を沈殿分離する最終沈殿池である。処理の向上、安定化、および省エネルギーを目的として、このシステムの自動制御を目的とした研究が数多く報告されている。このプラントの制御系は、送気量に関する制御、活性汚泥量の制御に大別される。送気量に関する制御は研究が進みDO制御が取り入れられ、実プラントへの普及率も高まってきたが、活性汚泥量の制御においては、 $\frac{\text{Food}}{\text{Microorganism}}$ 比制御、MLSS濃度制御は、返送汚泥貯留タンクが必要となるため、実プラントに採用することが困難であり、また、汚泥総量制御は、活性汚泥がある程度の負荷変動に対応できるので、マニュアル運転の指標として採用されているが、負荷変動に対する応答速度が極めて遅いため、実プラントの制御に使用することができなかった。

著者らは、返送汚泥貯留タンクが設けられていない実プラントを制御するために、下水処理場の特質、(1)活性汚泥法を採用している、ある程度の負荷変動に対応できる。(2)雨天日を除けば、日々の流入パターンが類似している。(3)主な取得データは手分析で行なわれているので離散値的である。ことを考慮し、1日のある時点のMLSS濃度を余剰汚泥量を操作因子として制御する方法を検討した。

## 2. MLSSモデルの動的化

対象とした下水処理場は寝屋川南部広域下水道組合：川俣終末処理場で、現在の計画処理水量は $171,000\text{m}^3/\text{day}$ 最終計画処理水量は $385,000\text{m}^3/\text{day}$ の合流式下水道の大規模終末処理場であり、処理方式は活性汚泥法を採用している。

Fig. 1に水処理システムのダイアグラムを示す。

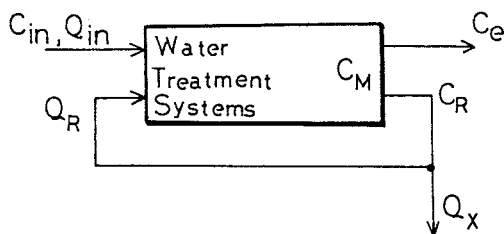
このシステムにおいて、すべてのパラメータを返送汚泥量のくり返し回数の関数とし、活性汚泥の増殖、減衰を無視すると、このシステムの出口での物質収支式は(1)式となる。

$$C_M(n)(Q_{in}(n)+Q_R(n))=C_e(n)(Q_{in}(n)-Q_x(n))+C_R(Q_R(n)+Q_x(n)), \quad n=1,2,\dots, \quad (1)$$

次に、水処理システムの入口での物質収支をとると(2)式が得られる。

$$C_M(n+1)(Q_{in}(n)+Q_R(n))=C_R(n)Q_R(n)+Q_{in}(n)C_{in}(n), \quad n=1,2,\dots, \quad (2)$$

ここで、 $C_M(n+1)$ は、このプロセスのくり返しの回数がnのときの出口のMLSS濃度である。



$C_M$ ; MLSS concentration ( $\text{mg}/\ell$ ),  
 $C_{in}$ ; Suspended solids of influent on the systems ( $\text{mg}/\ell$ ),  
 $C_e$ ; Suspended solids of effluent ( $\text{mg}/\ell$ ),  
 $C_R$ ; Concentration of Return Activated Sludge (RAS),  
 $Q_{in}$ ; Influent flow rate ( $\text{m}^3/\text{day}$ ),  
 $Q_R$ ; RAS Flow Rate,  
 $Q_x$ ; Flow Rate of Waste Activated Sludge (WAS)

Fig.1 System combined aeration tank with final sedimentation tank

(1)式と(2)式より  $C_R(n)$  を消去すると、 $C_M$  に対する recursive form の(3)式が得られる。

$$C_M^{(n+1)} = \frac{C_e(n)Q_R(n) + C_{in}(n)Q_{in}(n)}{C_e(n)R(n)} C_M^{(n)} - \frac{u_n}{C_e(n)} C_M^{(n)} + u_n, \quad n=1, 2, \dots, \quad (3)$$

ここで、 $u_n \triangleq \{Q_{in}(n)C_{in}(n)/R(n)\} + \{C_e(n)Q_R(n)(Q_X(n) - Q_{in}(n))/R(n)(Q_X(n) + Q_R(n))\} / R(n) \triangleq Q_{in}(n) + Q_R(n)$  . とすると、

本研究では、余剰汚泥引抜量を操作因子としたMLSS濃度の定値制御を目的としているので、各  $n$  に対する  $u_n$  は、 $Q_{in}(n)$  と  $C_{in}(n)$  を与えれば  $Q_X(n)$  の関数になる。結果として、 $u_n$  は制御変数となり得る。ここで、 $C_e(n)$  は処理水の目標値として与えるものとする。このシステムの出口でのMLSS濃度を状態変数  $X_n$  とすると、 $x_n = C_M(n)$  となり(3)式は(4)式のように表現できる。

$$x_{n+1} = A_n x_n + b_n u_n x_n + u_n, \quad n=1, 2, \dots, \quad (4)$$

ここで、 $A_n \triangleq \{C_e(n)Q_R(n) + C_{in}(n)Q_{in}(n)\} / C_e(n)R(n)$ ,  $b_n \triangleq -1/C_e(n)$  . とする。

(4)式は制御変数 ( $u_n$ ) によって状態変数 ( $x_n$ ) を生成する離散直系双線形システムを意味する。

### 3. MLSSの最適化問題

流入量のダイナミクスをステップ関数とすれば、MLSS濃度もステップ関数となる。ゆえに、MLSS濃度を  $N$  回目に目標値  $m$  にするためには、 $x_{n+1} = A_n x_n + b_n u_n x_n + u_n$ ,  $x_n > 0, n=1, 2, \dots, N..$  を条件として、

$$J = \sum_{n=1}^N \frac{1}{2} (x_{n+1} - m)^2$$

で表わされる  $J$  を最少にする  $u_1, u_2, \dots, u_n$  を見い出せばよい。

この最適化問題の解は(5)式で示され、MLSS濃度を目標値  $m$  にするための余剰汚泥抜量  $Q_X^*(n)$  は、(5)式によって求められる。

$$Q_X^*(n) = \frac{Q_R(n)Q_{in}(n)(C_e(n) - C_{in}(n))}{Q_{in}(n)(C_{in}(n) - m) + Q_R(C_e(n) - m)}, \quad n=2, 3, \dots, N+1. \quad (5)$$

したがって、(5)式の  $Q_X^*(n)$  によって曝気槽出口のMLSS濃度を目標値  $m$  にすることができる。

### 4. 実ブランドでのMLSS制御

対象下水処理場で、MLSS濃度目標値  $m = 1300 \text{ mg/l}$  とし、制御系と非制御系の比較実験を行なった。

制御を1日単位としたので、入力データとして用いた流入水量  $Q_{in}$ 、流入水のSS濃度  $C_{in}$ 、返送汚泥量  $Q_R$ 、放流水のSS濃度  $C_e$  は前日のものを用いた。これらの入力データより(5)式により、その日の余剰汚泥引抜量を計算し、計算量を24時間で均等引抜を行なった。

制御系と非制御系のMLSS濃度を Fig. 2 にまたその時の余剰汚泥引抜量を Fig. 3 に示す。

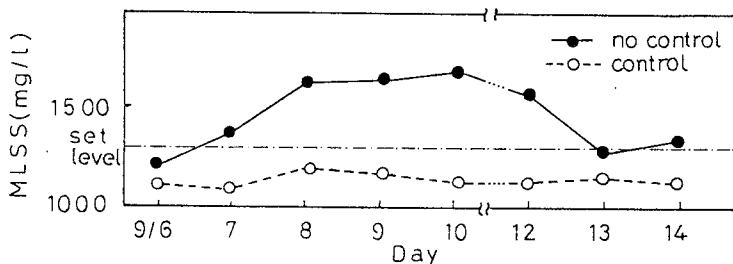


Fig. 2 Experimental results of the MLSS control

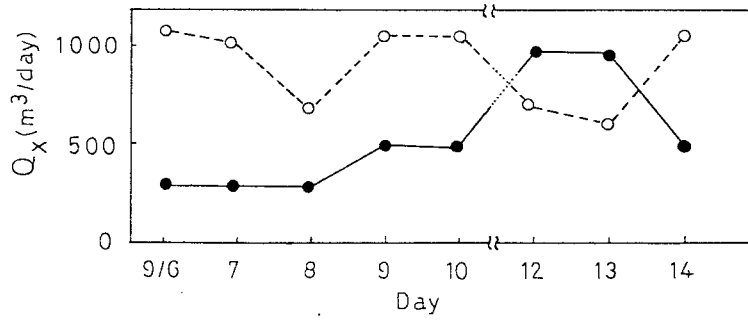


Fig.3 Comparison of MAS Flow Rate on control with that on no control

非制御系では、9月8日からのMLSS濃度の上昇に対応して、余剰汚泥引抜量を増加させているが、MLSS濃度を安定させる量に致らなかった。これに対し、制御系のMLSS濃度は非常に安定し、数学モデルの実用性が証明された。しかし、MLSS濃度設定値を1300mg/lとしたにもかかわらず、1140mg/lにコントロールされた。これは、活性汚泥の増殖、減衰の項の省略および流入水のSS濃度の変動等に起因するものと考えられる。

#### 5. 流入水量、流入SSの予測

本報告では、下水処理場流入水の変動パターンが類似し、負荷変動が緩慢である晴天日を対象に、1日のある時点のMLSSを制御することを目的としている。したがって、この離散的な水処理システムから得られるデータは時系列データとなり、現在の流入水量およびSS濃度は過去の流入水量、SS濃度の線形結合で表現できると考えられる。こういったデータの予測には自己回帰(AR)モデルが適用可能である。また、システムのノイズも過去の予測誤差の線形結合であるとすれば移動平均(MA)モデルが適用でき得ると考えられる。これら2つの方法を組合せたARMAモデルは(6)式で表わされる。

$$x_n + \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i} = \sum_{j=1}^q b_j e_{n-j} \quad (6)$$

(6)式ARモデルの係数 $a_i$ はYuler-Walkerの推定法により、また、MAモデルの $b_j$ は実測値と一致するように決定する。ARモデルの次数 $p$ は実測値と推定値の誤差を最少にするように決定する。

ARモデルの次数を1~5とした時の流入水量( $Q_{in}$ )、流入水のSS濃度( $C_{in}$ )の推定誤差をTable 1に示す。

TABLE 1 Percentage Errors of Estimated  $Q_{in}$  and  $C_{in}$

order p	$Q_{in}$	$C_{in}$
1	15.7	21.6
2	16.1	14.7
3	26.7	17.3
4	74.9	35.0
5	28.6	21.5

Table 1より、流入水量( $Q_{in}$ )に対しては1次、流入水SS( $C_{in}$ )に対しては2次の時に誤差が最小となった。このモデル同定のために使用したデータは、1980年4月~1982年5月のうち降雨の影響がない283日分とした。得られた $Q_{in}$ 、 $C_{in}$ のモデル式を示す。

$$\hat{x}_n = 0.1470\hat{x}_{n-1} + 0.6291\hat{x}_{n-2} + 0.4e_{n-1}, \quad (7)$$

$$e_{n-1} = \hat{x}_{n-1} - C_{in}^{(n-1)},$$

$$\hat{x}_n = 0.7315\hat{x}_{n-1} - 0.7e_{n-1},$$

$$e_{n-1} = \hat{x}_{n-1} - Q_{in}(n-1)$$

(7)式、(8)式を用いて、 $C_{in}$ 、 $Q_{in}$ の推定を行なった時の誤差は、それぞれ15.7%、2.1.6%と実プラントで使用可能な値を示した。

得られた予測モデルを用いて $C_{in}$ 、 $Q_{in}$ の予測をし、それらの値を入力として(5)式によって計算された余剰汚泥引抜量を用いてMLSS制御を行なった。結果をFig.4に示す。このときの $m$ は1200 $\text{mg}/\ell$ とした。

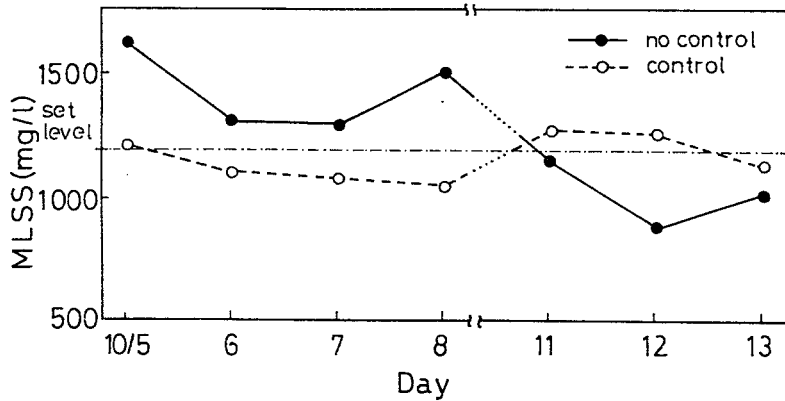


Fig. 4. Working results by on-line MLSS control.

$C_{in}$ 、 $Q_{in}$ の予測誤差はそれぞれ0.5%、18.7%と良好であり、Fig.4に示したようにMLSSが目標値1200 $\text{mg}$ に制御され、系の安定化が図られた。

## 6. 結語

返送汚泥貯留タンクが設けられていない下水処理場の水処理システムのMLSS制御のために、物質収支式を動的化し、離散値双線形系の数学モデルを作成した。この数学モデルに前日のデータを入力し、1回遅れのMLSS制御を行なったところ、系が安定となり動的モデルの実用性が証明された。次に、この動的モデルの入力因子である流入水量、流入水のSS濃度の予測を行うためにARMAモデルにより数学モデルの同定を行なった。

得られた数学モデルを用いて予測を行ない実測値と比較したところ、誤差は流入水量予測では2.1.6%、流入水SS濃度予測では15.7%と実用可能な値を示した。前記2種の数学モデルにより、前日のデータから流入下水水量および流入水SS濃度を予測し、その値によって余剰汚泥引抜量を算出して実プラントのMLSS濃度制御を行なった。その結果、人為的に余剰汚泥引抜量を決定する系よりも、著者らが開発した制御系の方が、MLSS濃度が安定することが確認され、返送汚泥貯留タンクが設けられていない実プラントのMLSS制御法が確立された。

## 参 考 文 献

- Bamba, E., and S. Yamawaki (1983). Discrete time version of MLSS control in sewage treatment systems. Proceedings IASTED Symposium, Copenhagen, Denmark.
- Box, G. E. P., and G. Jenkins (1976). Time Series Analysis: forecasting and control. Holden-Day Inc., California. Chap. 3, pp. 46-84.
- Flanagan, M. J. (1977). Control strategies for the activated sludge process. Instrum. Technol. (U. S. A.), 24, 35-43.
- Hadley, G. (1964). Nonlinear and Dynamic Programming. Addison-Wesley Pub. Co. Inc., Reading, Mass.. Chap. 6, pp. 185-202.
- Nogita, N., S. Watanabe, and S. Mori (1981). Experience of MLSS control of the activated sludge process. Wat. Sci. Tech., 13, Munich, 421-426.
- Talman, J. L., and A. J. W. van den Boom (1973). On the estimation of the transfer function parameters and noise dynamics using single state estimator. Preprint 3rd IFAC Symposium on Identification, Hague.
- Tamura, M., M. Kashiwagi, N. Tuchiya, and T. Kasai (1981). Total sludge quantity control for activated sludge process. Wat. Sci. Tech., 13, Munich, 427-432.