

[34] 汚泥総量管理下での新MLSS 制御法

三菱電機(株) 中央研究所 ○前田 和 男
 " 応用機器研究所 前田 満 雄
 " 制御製作所 長田 俊 二 桑田 貴 平
 " " 中堀 一 郎

1 まえがき

近年下水処理プロセスにおいて流入下水負荷変動に対する放流水質の安定化・処理費用の低減化・省力化などの立場から、各プロセスの計測、監視および制御の自動化が急速に発展しつつある。特に汚水処理の中心である活性汚泥プロセスではDO制御、MLSS制御および放流水のCOD監視などが盛んに導入され始めている。ここではDO制御による空気量管理とならんで重要な管理項目であるMLSS制御による汚泥量管理について実プラントでの経験を踏えて述べる。

MLSS制御については従来より種々の提案⁽¹⁾があるものの、現地では実プラントにおいて実証された例は極めて少ない。これは、(1)プロセス全体に貯えられている汚泥総量の有限性、(2)流入下水量・返送汚泥量の変動によるエアレーションタンクと最終沈澱池内の汚泥分布の変化特性、(3)複雑な混合現象を伴う流動特性、(4)大きなムダ時間、(5)生物処理に伴う特有の問題などこの系の諸特性の解明が十分でなかったためである。この他最近では通常の最終沈澱池以外に、汚泥貯留槽の設置やエアレーションタンクの一部の貯留槽化⁽²⁾などが提案されている。しかしこれらの提案は設備費用の増加や汚水処理機能の実質的低下など負の効果も小さくなく新たな問題点を生じている。

本報告では、エアレーションタンクと最終沈澱池からなる通常のプロセスにおけるMLSS制御の実用性とその限界について検討する。まず活性汚泥の物質収支に関する基礎式を定式化し、その平衡解に対し汚泥の総量とその配分という観点から理論的考察を行い、流入下水配分比率、返送比率および活性汚泥配分比率の間の基本的関係を明らかにする。そしてMLSS制御は汚泥配分

表1 記号の説明

比率制御と汚泥総量管理とを組み合わせることによって実現できることを導く。又MLSSの安定化に比率一定制御が極めて有効であることを明らかにする。更に実プラントデータによって上記記号の基本的特性を検証し、非定常時のMLSSの変動について若干の実験的考察を行う。最後に以上の考察にもとづいた新しいMLSS制御法を提示すると共に実プラントに適用した結果を述べる。

Q_i : 総流入下水量 [m^3/h]
$Q_{ia} \sim Q_{id}$: A ~ D 回路流入下水量 [m^3/h]
Q_r : 返送汚泥流量 [m^3/h], Q_w : 余剰汚泥流量 [m^3/h]
$V_a \sim V_d$: エアレーションタンク A ~ D 回路容積 [m^3]
V_s, V_r : 最終沈澱池 S ならび R 回路容積 [m^3]
$C_a \sim C_r$: A ~ R 回路汚泥濃度 [mg/ℓ]
C_i : 流入SS [mg/ℓ], $S_a \sim S_r$: 各回路汚泥量 [g/h]
C_o : 流出SS [mg/ℓ],
τ_s : 汚泥沈降時間 [h], α : 汚泥沈降係数 [-]
$\mu_a \sim \mu_d$: A ~ D 回路汚泥増殖率 [$1/h$]

2 活性汚泥に関する動力学モデル

ステップエアレーション法で運用される活性汚泥プロセスの模式図を図1に示す。図中の変数については表1で説明する通りである。なお最終沈澱池は汚泥沈降部S回路と汚泥ピット部R回路に分割して考える。

いま汚泥濃度に着目すれば、物質収支より動力学モデルは表2のように与えられる。(5)式の $\{ \}^{(t-\tau_s)}$ は $\{ \}$ 内の $(t-\tau_s)$ 時刻の値を示す。

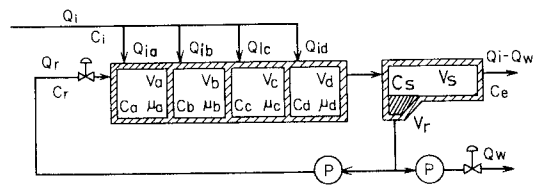


図1 活性汚泥プロセス模式図

3 汚泥総量とその配分に関する基礎方程式⁽³⁾

いま汚泥総量 S_T を次のように定めると

$$S_T \triangleq V_a C_a + V_b C_b + V_c C_c + V_d C_d + V_s C_s + V_r C_r \quad (7)$$

表2 動力学モデル式

(エアレーションタンク)

$$V_a \dot{C}_a = Q_r C_r + Q_{ia} C_i - (Q_r + Q_{ia}) C_a + \mu_a C_a V_a \quad (1)$$

$$V_b \dot{C}_b = (Q_r + Q_{ia}) C_a + Q_{ib} C_i - (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib}) C_b + \mu_b C_b V_b \quad (2)$$

$$V_c \dot{C}_c = (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib}) C_b + Q_{ic} C_i - (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic}) C_c + \mu_c C_c V_c \quad (3)$$

$$V_d \dot{C}_d = (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic}) C_c + Q_{id} C_i - (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic} + Q_{id}) C_d + \mu_d C_d V_d \quad (4)$$

(最終沈澱池)

$$V_s \dot{C}_s = (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic} + Q_{id}) C_d - \alpha [(Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic} + Q_{id}) C_d]^{(1-\tau_s)} - (Q_i - Q_w) C_e \quad (5)$$

$$V_r \dot{C}_r = \alpha [(Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic} + Q_{id}) C_d]^{(\tau_s)} - (Q_r + Q_w) C_r \quad (6)$$

(1)~(6)式より

$$\dot{S}_r = Q_i C_i + (\mu_a C_a V_a + \mu_b C_b V_b + \mu_c C_c V_c + \mu_d C_d V_d) - (Q_i - Q_w) C_e - Q_w C_r \quad (8)$$

上式の左辺を零とすると汚泥総量一定化のための余剰汚泥乾量が表3の(9)式のように求められる。

次にこの汚泥総量一定化の下での汚泥配分に関する基礎方程式を導く。いま簡単のために $Q_r \gg Q_w$, $C_i \approx 0$, $C_e \approx 0$, $\alpha \approx 0$, $\mu_j \approx 0$ ($j=a, \dots, d$) と仮定すると、各式の平衡解より各回路の汚泥量は同表の(10)~(15)式のように表わすことができる。

ここで更に汚泥循環量 W ⁽⁴⁾と各回路汚泥滞留時間 τ_j ($j=a, \dots, r$) を用いて整理すれば、各回路汚泥量 S_j ($j=a, \dots, r$) は、各々の積すなわち同表の(16)式のように表わせる。

また各回路汚泥滞留時間の総和を汚泥回転時間 τ_r ⁽⁴⁾ とすると、各回路汚泥配分比は、同表(17)式のように各回路汚泥滞留時間配分比に等しくなる。これらを各回路流入下水配分比および返送比を用いて整理すると同表(18)~(23)式のようになる。

以上のことから M L S S 制御は流入下水配分比および返送比の制御による汚泥配分比率制御と汚泥総量管理とを組み合わせることによって容易に表現できることが分る。

ステップ法の場合、すなわち $a = b = c = d = 0.25$ の場合の各回路汚泥配分比率と返送比率の関係を示したものを図2に示す。同図より返送比率が大きくなる

表3 汚泥総量とその配分に関する基礎方程式

(汚泥総量一定化の条件)

$$Q_w C_r = (\mu_a C_a V_a + \mu_b C_b V_b + \mu_c C_c V_c + \mu_d C_d V_d) + Q_i C_i - (Q_i - Q_w) C_e \quad (9)$$

(汚泥配分に関する基礎方程式)

$$V_a C_a = (Q_r + Q_{ia}) C_d V_a / (Q_r + Q_{ia}) \quad (10)$$

$$V_b C_b = (Q_r + Q_{ia}) C_d V_b / (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib}) \quad (11)$$

$$V_c C_c = (Q_r + Q_{ia}) C_d V_c / (Q_r + Q_{ia} + Q_{ib} + Q_{ic}) \quad (12)$$

$$V_d C_d = (Q_r + Q_{ia}) C_d V_d / (Q_r + Q_{ia}) \quad (13)$$

$$V_s C_s = (Q_r + Q_{ia}) C_d \tau_s \quad (14)$$

$$V_r C_r = (Q_r + Q_{ia}) C_d V_r / Q_r \quad (15)$$

(汚泥循環量と各回路汚泥滞留時間との関係式)

$$S_j = W \tau_j \quad (j=a, \dots, r) \quad (16)$$

(汚泥配分比と各回路汚泥滞留時間比との関係式)

$$\bar{C}_j = \tau_j / \tau_r \quad (j=a, \dots, r) \quad (17)$$

(汚泥配分比と各回路流入下水配分比および返送比率との関係式)

$$\bar{C}_a = V_a / (r + a) \quad (18)$$

$$\bar{C}_b = V_b / (r + a + b) u \quad (19)$$

$$\bar{C}_c = V_c / (r + a + b + c) u \quad (20)$$

$$\bar{C}_d = V_d / (r + 1) u \quad (21)$$

$$\bar{C}_s = Q_i \tau_s / u \quad (22)$$

$$\bar{C}_r = V_r / r u \quad (23)$$

$$\sum_{j=a}^r \bar{C}_j = 1 \quad (24)$$

ただし $\bar{C}_j \triangleq S_j / S_r$, ($j=a, \dots, r$) (25)

$$j = Q_{ij} / Q_i \quad (j=a, \dots, d) \quad (26)$$

$$u = \frac{V_a}{r+a} + \frac{V_b}{r+a+b} + \frac{V_c}{r+a+b+c} + \frac{V_d}{r+1} + Q_i \tau_s + \frac{V_r}{r} \quad (27)$$

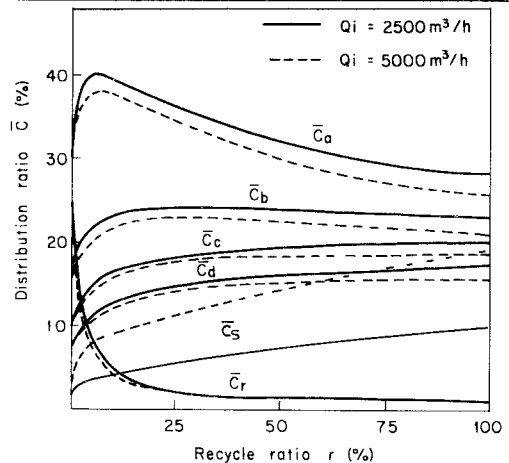


図2 汚泥配分比率と返送比率

と汚泥配分比率はAおよびR回路で減少し、C、DおよびS回路で漸増する。一方B回路ではあまり変化しない。また流入下水量が大きいときは、小さいときに比べて、汚泥配分比率はエアレーションタンク内各回路では若干減少するのに対し、最終沈澱池内S回路ではかなり増加する。

ここで通常の処理施設での返送比率の調整中(20~30%程度)を同図にあてはめてみると、汚泥配分比率の変動は数%以下となる。したがって返送汚泥量操作のみによるMLSS制御は通常の施設ではほとんど困難であり、適正な汚泥総量管理が必要不可欠であることが分る。

4 実プラントでのMLSS安定化現象の解析

同一流量負荷時の返送汚泥流量一定制御と比率一定制御の返送汚泥濃度およびMLSSの安定性を比較する。その時系列変化を図3に示す。後者の場合定常的には前節で述べたように流入下水量的変動にかかわらずほぼ一定の値を示す。一方前者の場合、流入下水量の少ないときは多いときに比べて返送汚泥濃度は低い値を示す。これは返送比率が相対的には高くなり最終沈澱池R回路の汚泥配分比が低くなるためである。

次に流量突変時の返送汚泥濃度の変化を比較してみると、比率一定制御の方がその変動巾は大きい。これは流入下水量に応じ返送汚泥流量を変化させているので沈降による汚泥の時間遅れによる変化特性をより強める方向に働くからである。

以上の実データの解析により比率返送制御は定常的には系の安定化に寄与するが、流量突変時の返送汚泥濃度にはかなりの変動を引起すことが分った。この変動の抑制にはMLSSのフィードバック機構を付加する必要があると考えられる。

5 新しいMLSS制御法(5),(6)

以上の諸解析にもとづき長時間安定に機能するMLSS制御法をまとめると次式のようになる。

$$Q_w = K_1 Q_i + G_1 (S_T - S_T^*) \quad (28)$$

$$Q_r = K_2 Q_i + G_2 (\bar{x}_j - \bar{x}_j^*) - G_3 (\bar{x}_r - \bar{x}_r^*) \quad (j=a \text{ or } b) \quad (29)$$

ここで K_1 、 K_2 は流入下水量に対する比率、 $G_1 \sim G_3$ はフィードバックゲイン、*印は設定値を表わす。この制御回路を示したものが図4である。

6 実プラントでの適用結果

本制御法の実用性を確認するため無制御系と比較した。MLSS制御系

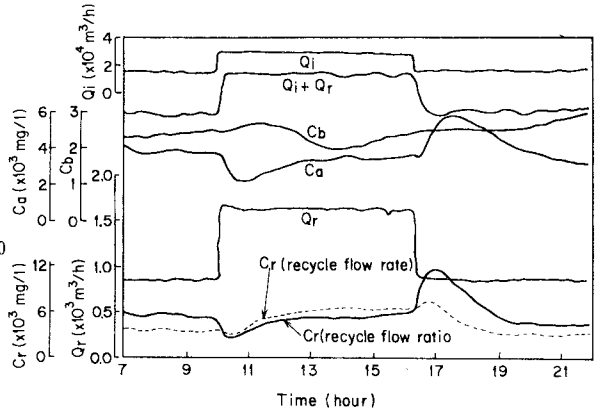


図3 返送比率一定制御の応答性

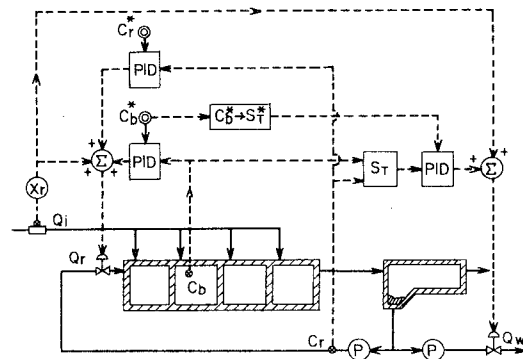


図4 制御回路の基本的構成図

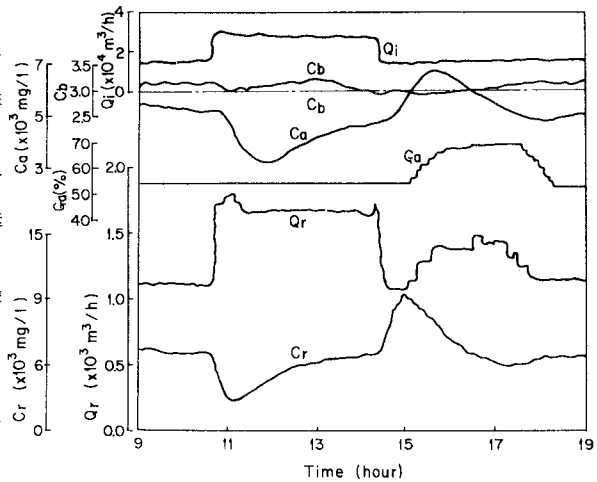


図5 MLSS制御系の時系列変化

としては Q_r の他に更に Q_{ia} を補助として用い (29) 式の右辺と同様な形とした。ただし共に $j = b$, $G_3 = 0$ とした。実験条件として同一の DO 制御ならびに汚泥総量管理を行った。本制御の各回路汚泥濃度の時系列変化を図 5 に示す。同図より流入下水量・返送汚泥濃度などの変動にかかわらず B 回路 M L S S はよくその設定値 3000 mg/l を維持した。図 6 は、無制御系と M L S S の制御性について比較したもので、その改善効果は大きい。一方流入下水の水質および処理水質 (BOD_5) について比較したものが図 7 であるが、この図をみるかぎり顕著な差はない。

最後に M L S S の長期間安定性について図 8 に示す同図より汚泥総量管理がほぼ適正に行われ M L S S もよくその設定値を維持している。また B 回路 M L S S を 2000 あるいは 3000 mg/l にするには、汚泥総量を 200 あるいは 300 ton 程度にする必要のあることが分った。

7 むすび

本報告では新 M L S S 制御法の実用性とその限界について検討した。まず汚泥収支モデルの平衡解に理論的検討を加え、次に実プラントデータの解析により M L S S の変動要因とその対策について実験的検討を加えた。以上の考察にもとづき新制御法を提示すると共に実プラントに適用しその制御効果を検証した。その結果、M L S S の安定性については著しい改善を示したものの処理水質については顕著な差はなかった。今後残された課題として、汚泥総量の高精度化ならびにその自動化と処理水質・送気量・余剰汚泥発生量に及ぼす影響の検討などがある。

(参考文献)

- (1) 藤井・松崎：維持管理と水質管理，下水道講座 6，鹿島出版会，(1977)
- (2) 加藤他：動的貯留槽方式による M L S S 制御，第 17 回下水研究会 531/532 (1980)
- (3) 前田：活性汚泥プロセスにおける汚泥の総量と配分に関する制御について，第 16 回下水研 173/175 (1979)
- (4) 松井：汚泥日令，汚泥滞留時間に代わる新しい活性汚泥管理指標，下水道協会誌，12-30, 31/41 (1973)
- (5) 荻島・中里：実施施設における M L S S 制御効果，第 17 回下水研，537/539 (1980)
- (6) 中堀他：M L S S 制御と総汚泥量制御との関係について，第 17 回下水研，540/542 (1980)

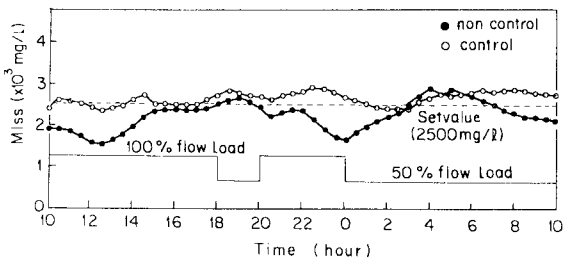


図 6 B 回路 M L S S の制御性の比較

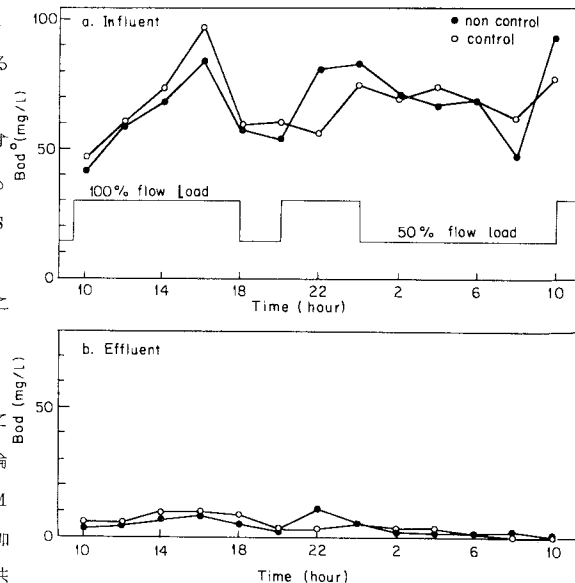


図 7 流入水・処理水質の比較

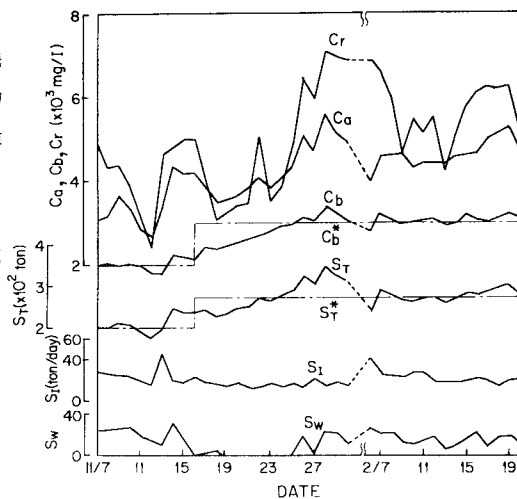


図 8. M L S S 制御系の長期的変動傾向