

II-389

活性汚泥法における微生物濃度比測定の動力学制御への応用に関する研究  
(第1報) 活性汚泥法の動力学制御法

大阪大学工学部環境工学科 正会員 橋本 奨  
大阪大学工学部環境工学科 正会員 岩堀恵祐

活性汚泥法による下廃水処理は、世界的に広く普及し、我が国でも水環境の汚濁制御に最も多く用いられている極めて有効な方法である。しかし、本法は生物学的方法であるため、流入下廃水の水質水量変動に対応する適切な操作管理はできにくい面がある。ここでは、流入下廃水の水質水量変動にかかわらず、一定濃度の処理水を得ることのできる、所謂活性汚泥法の動力学制御法と室内規模、実施設における動力学制御実験成績の一部を報告する。

1. 活性汚泥微生物の増殖、基質除去の反応モデル式<sup>1)</sup>

活性汚泥微生物の増殖と基質除去の関係は経験的、実験的に次式で示される。

$$1/S \cdot dS/dt = \mu = Y \cdot 1/S \cdot dlr/dt - b \quad (1)$$

ここで、S:活性汚泥微生物濃度(mg/l),  $\mu$ :活性汚泥微生物の比増殖速度(1/日), Y:収率係数, b:自己分解係数(1/日), dS/dt, dlr/dt:活性汚泥微生物の増殖速度と基質除去速度(mg/l・日)

又、活性汚泥微生物の基質除去は次式に従う。

2. 活性汚泥法の制御動力学

汚泥返送完全混合式曝気槽の活性汚泥処理工程の模式図を示すと図-1のようになる。ここで、曝気槽、汚泥ホッパー及び汚泥調整槽の活性汚泥微生物の収率係数と自己分解係数は同一とみなすことができる。今、返送パイプの容積を無視して、このプロセスの一日当りの平均活性汚泥微生物の物質収支をとれば次式が得られる。

$$V_1 \left( \frac{dS}{dt} \right)_1 + V_2 \left( \frac{dS}{dt} \right)_2 + V_3 \left( \frac{dS}{dt} \right)_3 = V_1 \left( Y \left( \frac{dlr}{dt} - bS_1 \right) + V_2 \left( Y \frac{dlr_2}{dt} - bSR_2 \right) + V_3 \left( Y \frac{dlr_3}{dt} - bSR_3 \right) + QsSs - [QwSr_3 + (Qs-Qw)Se] \quad (5)$$

但し、 $(dS_1/dt)_1, (dS_2/dt)_2, (dS_3/dt)_3$ :それぞれ、曝気槽、汚泥ホッパー、汚泥調整槽の活性汚泥微生物濃度の一日当りの時間変化(mg/l・日),  $dlr_1/dt, dlr_2/dt, dlr_3/dt$ :それぞれ、曝気槽、汚泥ホッパー汚泥調整槽の一日当りの基質除去速度(mg/l・日)

定常状態では(5)式の左辺は零となり、 $Y(V_1 dlr_1/dt + V_2 dlr_2/dt + V_3 dlr_3/dt)$ を $Y(V_1 + V_2 + V_3) dlr/dt$ と置くと次式が得られる。

$$Y \left( \frac{V_1 + V_2 + V_3}{V_1 S_1 + V_2 S_2 + V_3 S_3} \right) \frac{dlr}{dt} - b = \frac{QwSr_3 + (Qs-Qw)Se - QsSs}{V_1 S_1 + V_2 S_2 + V_3 S_3} \quad (6)$$

(6)式の左辺はプロセス系内活性汚泥微生物のnetの比増殖速度 $\mu$ であり、右辺はプロ

$$1/S \cdot dlr/dt = k(1e/S)^n / (Km + (1e/S)^n) \quad (2)$$

ここで、k:最大基質除去速度(1/日), Km:飽和恒数, n:恒数, 1e:処理水の基質濃度(mg/l)

(1)式、(2)式より、活性汚泥微生物の増殖と基質除去の関係は次式で示される。

$$\mu = Y \cdot k(1e/S)^n / (Km + (1e/S)^n) - b \quad (3)$$

又、(3)式を1eについて解くと次式となる。

$$\frac{1e}{S} = \left[ \frac{Km(\mu + b)}{Yk - (\mu + b)} \right]^{1/n} \quad (4)$$

セス内活性汚泥微生物のnetの平均滞留時間( $t_s$ )の逆数である。

$$\mu = \frac{QwSr_3 + (Qs-Qw)Se - QsSs}{V_1 S_1 + V_2 S_2 + V_3 S_3} = \frac{1}{t_s} \quad (7)$$

一方、実際には、曝気槽内で基質がほとんど除去され、処理水質1eが著しく低くなるので、汚泥ホッパー及び汚泥調整槽内の活性汚泥微生物の増殖量は零、 $Sr_2 = Sr_3 (=Sr)$ とみなせる。そこで、図-1に基づき、沈殿池及び汚泥調整槽の一日当りの平均活性汚泥微生物の物質収支は次式となる。

$$(Qs+Qr)S_1 - QsSs = QrSr_3 + QwSr_3 + (Qs-Qw)Se - QsSs \quad (8)$$

但し、両辺に $-QsSs$ を式の上で加えている。(8)式を(7)式に代入してQrについて解くと、次式が得られる。

$$Qr = \frac{(1-Se/S_1)Qs - V_1/t_s [1 + (V_2 + V_3)/V_1 \cdot Sr/S_1]}{Sr/S_1 - 1} \quad (9)$$

(3)式のSを $S_1$ と考え、(9)式に代入すると次式となる。

$$Qr = \frac{(1-Ss/S_1)Qs - V_1 [1 + (V_2 + V_3)/V_1 \cdot Sr/S_1]}{Sr/S_1 - 1}$$

$$\left[ Yk(1e/S_1)^n / (Km + (1e/S_1)^n) - b \right] \quad (10)$$

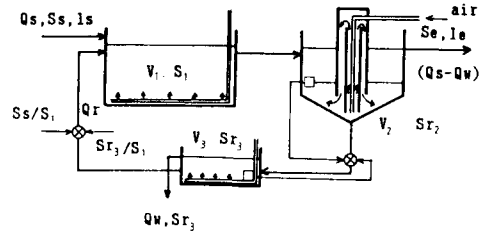
(9)式から、所定の $t_s$ 運転下で $Q_s$ と微生物濃度比 $S_r/S_1$  値、 $S_s/S_1$  値を連続測定することにより、動力制御に必要な $Q_r$ を求めることができる。又、動力パラメータは容易に測定できる<sup>2)</sup>ので、希望する $l_e$ が得られるように、 $Q_s$ 、微生物濃度比 $S_r/S_1$  値、 $S_s/S_1$  値及び $S_1$ を連続測定し、(10)式から $Q_r$ を制御すれば、流入下廃水の水質水量変動にかかわらず、所定水質の処理水が得られるはずである。このように、微生物濃度比は本法の動力制御と密接に関連した制御因子であり、本法の実用化に際し、微生物濃度比を迅速かつ精確に連続測定する必要がある。

3. 実験成績

○室内規模の実験成績： $Q_s$ を矩形パルス(2倍, 3倍)あるいは一定、 $l_s$ をステップ変化(2.1倍)、矩形パルス(2.2~4.1倍)あるいは一定、 $Q_s \cdot l_s / V = \text{一定}$ 、周期変動とそれぞれ変え、所定の処理水質が得られるように(10)式を用いて、室内規模活性汚泥処理装置を連続制御し、得られた成績を図-2に示した。本図の実線は、連続Fed-Batch法<sup>2)</sup>で求めた動力パラメータ( $Y, b, k, K_m, n$ )値を入れて算出した理論曲線である。これよりCOD-SS負荷量0.68~5.80(1/日)の高い負荷条件でも、理論曲線に適合した処理水質が得られていることがわかる。なお、微生物濃度比は、活性汚泥混合液を超音波前処理した後、下水試験方法の簡便法<sup>3)</sup>で評価した。

○実施における実験成績：流入変動の大きな団地排水を処理する小規模実施設を対象とし、 $t_s$ 制御をしない場合(ブランク実験)と $t_s$ を4日に設定し、(9)式で $Q_r$ 制御を行なった場合(制御実験)の両者を検討した結果を図-3に示した。両実験とも $Q_s, l_s$ はほぼ同じ変動を示したが、処理水COD濃度は、ブランク実験では平均値21.1mg/l(変動係数21.6%)、制御実験では平均値16.9mg/l(変動係数12.3%)であり、両者の有意差を検定すると、95%の確からしさで制御効果が認められ、その処理水COD濃度は、ブランク実験よりも3.08~5.32mg/l程度低いと推定できた。なお、微生物濃度比は、透過光式MLSS計で測定し、その校正は遠沈法<sup>3)</sup>で行なった。

(参考文献) 1)橋本、岩堀：衛生工学研究シンポジウム講演論文集、京都大学工学部衛生工学科創立20周年記念事業実行委員会、p.169 ~ 172 (1978)、2)橋本、岩堀、柴田：第14回下水道研究発表会講演集、p.293 ~ 295 (1977)、3)日本下水道協会編：下水試験方法(1974年版)



$Q_s$ : 流入下廃水量 (1/日),  $Q_r$ : 返送汚泥量 (1/日),  $Q_w$ : 引き抜き汚泥量 (1/日),  $V_1$ : 曝気槽容積 (1),  $V_2$ : 汚泥ホッパー容積 (1),  $V_3$ : 汚泥調整槽容積 (1),  $l_s$ : 流入下廃水の有機物濃度 (mg/l),  $l_e$ : 処理水の有機物濃度 (mg/l),  $S_s$ : 流入下廃水の微生物濃度 (mg/l),  $S_1$ : 曝気槽の活性汚泥濃度 (mg/l),  $S_r, S_r_3$ : 汚泥ホッパー、汚泥調整槽の活性汚泥濃度 (mg/l),  $S_e$ : 処理水の活性汚泥濃度 (mg/l)

図-1 汚泥返送完全混合式曝気槽の模式図

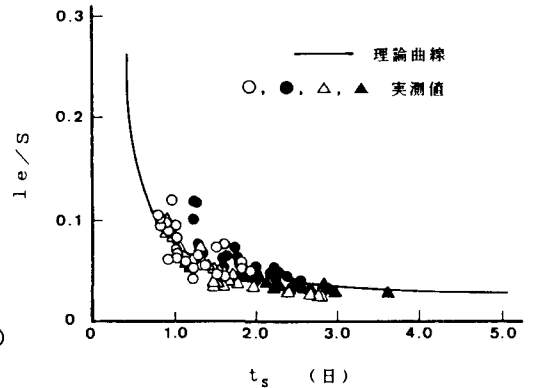


図-2  $t_s$  と  $l_e/S$  の関係

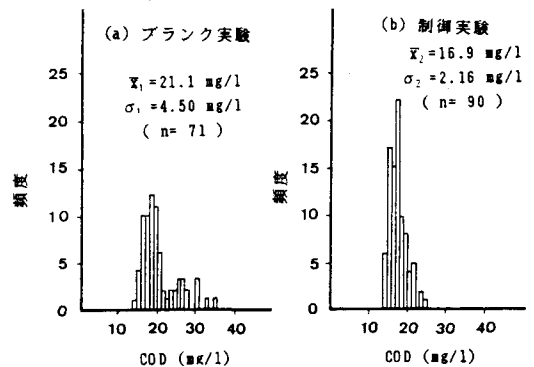


図-3 処理水COD濃度のヒストグラム