

活性汚泥法の適正管理に関する動力学的研究 ——動力学式のパラメーター測定と自動制御への応用——

大阪大学 工学部 正会員 の橋本 奨
藤田 正 寛

ま え お き

活性汚泥法は、汚水や廃水を培養基として、細菌や原生動物その他の微生物の混集団を連続培養することにより汚染性の有機物を酸化分解する方法で、従来醗酵工学で用いられて来た微生物の連続培養を応用したものである。この方法は、金属毒物やその他毒物による生物阻害とこれら毒物の汚泥内蓄積の欠点はあるにしても、非常に融通性のある廃水処理法として、多くの廃水の処理に適用され、実用化されている。しかし、その実用化に際して、微生物増殖の動力学的基礎を理解しないまま、施設の設計や管理、又実験研究に携わることは極めて危険であると思われる。そこで、本論文では、微生物増殖動力学からみた活性汚泥法の管理基礎となる考え方を整理・論述し、併せて活性汚泥法の設計と管理に極めて重要となる動力学式のパラメーター測定の簡便法とその実験結果の概要を報告する。

1. 活性汚泥の増殖とBOD除去の動力学基礎式

活性汚泥の増殖とBOD除去の関係は、経験的・実験的に次式で示される。(1)(2)(3)(4)

$$\frac{dS}{dt} = Y \cdot \frac{dL}{dt} - b \cdot S \quad (1)$$

(1)式を書きかえろと

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dt} = Y \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{dL}{dt} - b \quad (2)$$

又、BOD除去速度 $\frac{dL}{dt}$ は次式で示される。(5)(6)

$$\frac{dL}{dt} = \frac{k \cdot S \cdot L^n}{K_m + L^n} \quad (3)$$

(3)式を変形して

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{dL}{dt} = \frac{K_m}{k} \cdot \frac{1}{L^n} + \frac{1}{k} \quad (4)$$

$$\frac{L^n}{S} \cdot \frac{dL}{dt} = \frac{1}{k} \cdot L^n + \frac{K_m}{k} \quad (5)$$

即ち、(4)式では $\frac{1}{S} \cdot \frac{dL}{dt}$ と $\frac{1}{L^n}$ 、又(5)式では、 $\frac{L^n}{S} \cdot \frac{dL}{dt}$ と L^n をそれぞれ縦軸と横軸にプロットして直線になれば(3)式の成立を検証することができ、直線関係の高い方を選んで k と K_m を求めることができる。(3)式を(4)式に代入すると

$$\frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dt} = Y \cdot \frac{k \cdot L^n}{K_m + L^n} - b \quad (6) \text{ となる。}$$

ここで活性汚泥の比増殖率 μ は、 $\mu = \frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dt}$ 、活性汚泥の最大比増殖率 μ_{max} は、 $\mu_{max} = Y \cdot k$ であるから、(6)式は

$$\mu = Y \cdot \frac{k \cdot L^n}{K_m + L^n} - b \quad \text{或は} \quad \mu = \mu_{max} \frac{L^n}{K_m + L^n} - b \quad (7)$$

となる。活性汚泥法では普通一般的に $n=1$ で上式が成立するので、以後の活性汚泥法の増殖動力学式には $n=1$ とし論述する。

2. 動力学式の活性汚泥法への適用

近年 Jenkin & Garrison⁵⁾、Lawrence & McCarty⁶⁾、Sherrard & Schroeder⁷⁾、Sherrard & Lawrence¹⁰⁾ 等は、先の活性汚泥の増殖動力学式を適用して、活性汚泥法の設計並びに管理に極めて適切な

数学モデルを提案している。活性汚泥法では、一般に沈殿活性汚泥を曝気槽に再度送還するが、ここでは曝気槽が、完全混合式の場合と押し出し流れ式の両者について、それぞれ活性汚泥法の動力学式を誘導してみると次のようになる。

2-a 汚泥送還完全混合式曝気槽の場合

汚泥送還完全混合式曝気槽の場合の活性汚泥法の工程は第1図のような流れとなる。ここで V_1 は沈殿池の汚泥ホッパー容量、 V_2 は送還汚泥用パイプ容積を示す。このプロセスの曝気槽、沈殿池、送還汚泥用パイプ内での活性汚泥微生物細胞の物質収支を取ると、増殖活性汚泥微生物の抜き取りを曝気槽から行う場合は

$$V \frac{dS}{dt} + V_1 \frac{dS_1}{dt} + V_2 \frac{dS_2}{dt} = V (Y \frac{dL_r}{dt} - b \cdot S) + V_1 (Y_1 \frac{dL_{r1}}{dt} - b_1 \cdot S_1) + V_2 (Y_2 \frac{dL_{r2}}{dt} - b_2 \cdot S_2) - [Q_w S + (Q_s - Q_w) S_1]$$

汚泥送還ルートから抜き取る場合は

$$V \frac{dS}{dt} + V_1 \frac{dS_1}{dt} + V_2 \frac{dS_2}{dt} = V (Y \frac{dL_r}{dt} - b \cdot S) + V_1 (Y_1 \frac{dL_{r1}}{dt} - b_1 \cdot S_1) + V_2 (Y_2 \frac{dL_{r2}}{dt} - b_2 \cdot S_2) - [Q_w S + (Q_s - Q_w) S_1]$$

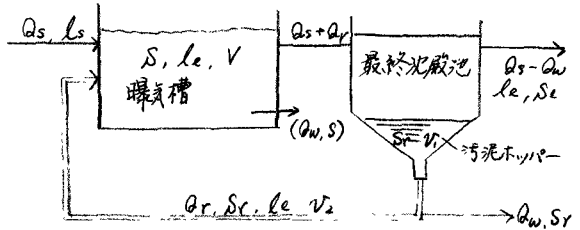
ここで Y_1, Y_2 は各々沈殿池および汚泥送還用パイプ内における収率係数を、 b_1, b_2 は各々沈殿池および汚泥送還用パイプ内における活性汚泥の自己分解係数を表し、一般に曝気槽内での Y, b とは異なる値を取ると考えられる。さらに、ここでは沈殿池に入った活性汚泥は瞬時に固液分離がなされ、濃縮活性汚泥(濃度 S_1)は汚泥ホッパー内に移行すると仮定している。(8)式(9)式の右辺第1項は曝気槽内における増殖活性汚泥微生物量を、第2項は沈殿池汚泥ホッパー内でのそれを、また第3項は汚泥送還用パイプ内でのそれを示す。以後、簡単のために、活性汚泥微生物の沈殿池および送還汚泥用パイプ内における増殖は曝気槽におけるよりも著しく少ないので、曝気槽内のみで起ると仮定し、さらに(8)式および(9)式を定常状態を仮定すると、 $\frac{dS}{dt} = \frac{dS_1}{dt} = 0$ となるので、(8)式および(9)式から次式が導かれる。

$$\frac{Q_w (S - S_e) + Q_s \cdot S_e}{V \cdot S} = Y \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{dL_r}{dt} - b \quad (10)$$

$$\frac{Q_w (S_1 - S_e) + Q_s \cdot S_e}{V \cdot S_1} = Y \cdot \frac{1}{S_1} \cdot \frac{dL_{r1}}{dt} - b_1 \quad (11)$$

曝気槽における活性汚泥微生物細胞の平均停留時間 t_s は、

$$t_s = \frac{\text{曝気槽内活性汚泥微生物細胞量}}{\text{曝気槽から流出抜き取られた活性汚泥微生物細胞量}}$$



第1図 汚泥送還完全混合式曝気槽の模式図

$$t_s = \frac{V \cdot S}{Q_w (S - S_e) + Q_s \cdot S_e} \quad \text{或いは} \quad \frac{V \cdot S}{Q_w (S_1 - S_e) + Q_s \cdot S_e} \quad \dots \dots (12)$$

(10)式と(11)式の両式に(12)式を代入すると

$$1/t_s = Y \cdot \frac{1}{S} \cdot \frac{dL_r}{dt} - b \quad (13)$$

(13)式はBOD除去の動力学基礎式(12)式と同一の式であり

$$1/t_s = \frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dt} = \mu \quad (14) \text{である。}$$

$\frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dt}$ はBOD- S の除去量であるから、 $\frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dt} = L_r$ とすると(13)式および(14)式から

$$L_r = \frac{k \cdot le}{K_m + le} \quad (15)$$

$$1/t_s = Y \cdot L_r - b \quad \dots \dots (16)$$

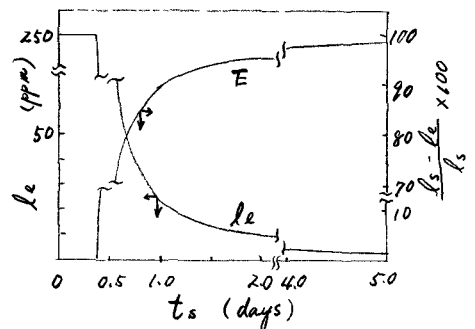
(15)式を(16)式に代入し le について解くと

$$le = \frac{K_m (1 + b \cdot t_s)}{t_s (Yk - b) - 1} \quad (17)$$

(15)式から le について解くと

$$le = \frac{L_r \cdot K_m}{k - L_r} \quad \dots \dots (18)$$

このように、下水や汚水、又特殊な廃水についてパラメーター Y, k, K_m, b をきめれば流出水のBOD基



第2図 完全混合式曝気槽を用いる活性汚泥法における t_s-le, t_s-E の関係

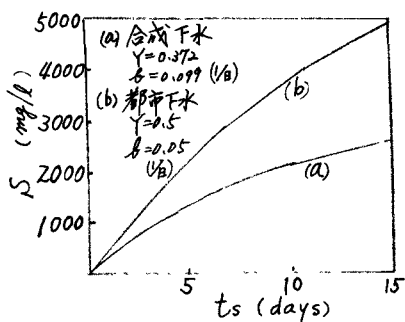
質濃度或はCOD基質濃度 l_e は、 t_s 或は L_r の関数となる。BOD或いはCODの基質除去量は、 $Q_s(l_s - l_e)$ で表わされるので、 $\frac{dl_e}{dt} = \frac{\Delta l_e}{\Delta t} = \frac{Q_s}{V}(l_s - l_e)$ となる。従、(13)式を書きかえと

$$S = \frac{t_s}{td} \cdot \frac{Y(l_s - l_e)}{1 + b \cdot t_s} \quad \dots (14) \quad \text{但し } \frac{V}{Q_s} = td \text{ (滞留時間) である。}$$

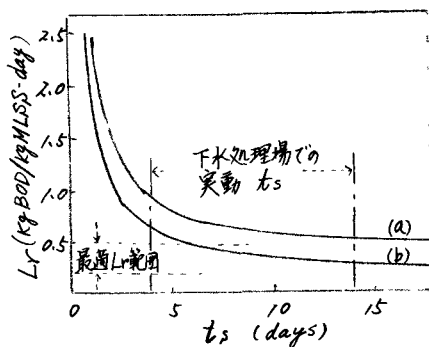
即ち、活性汚泥微生物細胞の濃度は、 t_s の関数である。曝気槽内の活性汚泥微生物細胞量を調整するために、抜きとる活性汚泥微生物量 $Q_w \cdot S$ 或は $Q_w \cdot S_r$ は、流出水に含まれて流出する活性汚泥微生物量 $(Q_s - Q_w) \cdot S_e$ よりも著しく大きい。 $Q_w \cdot S$ 或は $Q_w \cdot S_r$ を種々かえて、曝気槽内の活性汚泥微生物量を調整するには、(14)式で示したように、 td と t_s を一定に維持することにある。流出水のBOD基質濃度 l_e の低い高処理効率を達成できる t_s を求めて、この t_s から経済的な短い td を求めることもできる。 $Q_w \cdot S$ 或は $Q_w \cdot S_r$ を低くすると、曝気槽内の活性汚泥微生物濃度は、沈殿池で効果的に沈殿しないような高濃度に増大するので、流出水の活性汚泥微生物濃度 $(Q_s - Q_w) \cdot S_e$ は著しく増大する。返送汚泥量を Q_r とし、 $Q_r/Q_s = r$ (返送比) とすると、(13)式から $\frac{1}{t_s} = \frac{Q_s}{V}(1 + r - r \cdot \frac{S_r}{S})$ (15)

(15)式からわかるように、 t_s は r と $\frac{S_r}{S}$ の関数であることがわかる。 $\frac{S_r}{S}$ 比は沈殿池における活性汚泥微生物の沈殿特性と沈殿分離効率に影響される。以上述べた活性汚泥法の各種の微生物増殖動力学式が無効となる要因として次のような事が指摘される。①活性汚泥の沈殿性能の悪化。②曝気槽酸素移動の制限。③毒物の存在。従って、各種の微生物増殖の動力学式の成立には、最終沈殿池が適切に設計され、又、曝気槽の好気条件を保持するために十分な曝気性能があること、更に廃水中に毒物の存在しないことを前提においている。今、著者らの研究室で測定した各パラメータ値($K_m = 45.5 \text{ mg/l}$, $Y = 0.372$, $k = 8.25 \text{ 1/d}$, $b = 0.098 \text{ 1/d}$)を用いて、汚泥返送完全混合式の曝気槽の場合について、(14)式から、 $t_s - l_e$ の関係、又 $l_s = 250 \text{ ppm}$

を仮定して、 $t_s - E$ (除去率 = $\frac{l_s - l_e}{l_s}$) の関係を図示すると第2図のようになる。又、 $l_s = 250 \text{ ppm}$, $td = 5 \text{ 時間} = 0.208 \text{ 日}$, $95\% \text{ BOD 除去率}$ を仮定して、(14)式から $t_s - S$ の関係を図示すると第3図のようになる。更に、(15)式から $t_s - L_r$ の関係を図示すると第4図のようになる。(14)式からわかるように、或る一定の td 、一定 t_s と l_e で、流入水のBOD濃度 l_s を増大させると、 S が増大する。第3図をみれば、 t_s を低下させると、活性汚泥微生物細胞が、増殖よりも早く洗い流されて、BOD除去効率は著しく低下することがよくわかる。完全に活性汚泥微生物細胞が洗い流される状態では $l_e = l_s$ となり、このときの t_s 値が t_s^m 値となり、この値を最小活性汚泥微生物細胞滞留時間といっている。このことから $t_s = t_s^m$ になるような施設の設計や管理操作を行ってはいならないということになる。又、活性汚泥微生物により代謝され難い難分解性合成有機化合物質例えはポリビニルアルコールやA.B.Sや炭化水素誘導体、D.D.T, P.C.B., B.H.C. 等のようなものは、たとえこれらの分解微生物を分離して、活性汚泥混合微生物集団に投入しても、これらの微生物の比増殖速度 $\mu = \frac{1}{t_s}$ は、活性汚泥微生物の μ よりも著しく小さいので、処理系から流出してしまうことになり、この問題は、工場廃水を受け入れている活性汚泥法施設では、極めて重大な問題であると考えられる。



第3図 完全混合式曝気槽を用いる活性汚泥法における $t_s - S$ の関係。



第4図 完全混合式曝気槽を用いる活性汚泥法における $t_s - L_r$ の関係。

2-b 返送のある押し出し流れ式曝気槽の場合

返送のある押し出し流れ式曝気槽の流れの模式図を示すと第5図

のようになる。曝気槽入口の活性汚泥微生物濃度を S_0 、流出口の活性汚泥微生物濃度を S 、曝気槽内の平均活性汚泥微生物濃度 $\bar{S} = \frac{S_0 + S}{2}$ とて、返送のある完全混合式曝気槽と同様に、このプロセスの曝気槽内における活性汚泥微生物の物質収支をとり、定常状態を考えると次式が成立する。

$$\frac{Q_w \bar{S} + (Q_s - Q_w) S_0}{V \cdot \bar{S}} = Y \frac{1}{\bar{S}} \frac{dL}{dt} - \theta \quad (21)$$

ここで余剰汚泥は返送レートから除去すると仮定する。返送のある完全混合式曝気槽と同様に、上式の左辺は右とおける。

$$1/\bar{S} = Y \cdot \frac{1}{\bar{S}} \frac{dL}{dt} - \theta \quad (22)$$

上式はBOD除去の動力学基礎式(2)と同一式であり、活性汚泥の比増殖率を μ とすると、押し出し流れ式の場合も、

$$1/\bar{S} = \frac{1}{S} \cdot \frac{dL}{dt} = \mu \quad (23) \text{ である。 } \frac{1}{S} \frac{dL}{dt} \text{ は}$$

BOD-SS除去量であるから、 $\frac{1}{S} \frac{dL}{dt} = L_r$ とすると

$$\frac{1}{S} \frac{dL}{dt} = L_r = \frac{k \cdot L_0}{K_m + L_0} \quad (24)$$

橋本、藤田⁷⁾は押し出し流れ式曝気槽を用いるバイオソープションプロセスにおいて、(24)式の成立を認めている。(24)式を(23)式に代入し、 L_0 について解くと、完全混合式の場合の(16)式と同じ式となる。又、BOD除去量は $\frac{dL}{dt} = \frac{Q_s}{V} (L_0 - L_e)$ で表わされるので、(23)式は、

$$1/\bar{S} = \frac{Y \cdot Q_s}{V \cdot \bar{S}} (L_0 - L_e) - \theta \quad (25)$$

$$(25) \text{ 式を } \bar{S} \text{ について解くと } \bar{S} = \frac{L_0}{L_e} \cdot \frac{Y(L_0 - L_e)}{1 + \theta \cdot L_0} \quad (26)$$

$$\text{また(25)式から } 1/\bar{S} = \frac{Q_s}{V} \cdot (1 + r - r \cdot \frac{S_r}{S}) \quad (27)$$

となる。

3. 動力学式からみた活性汚泥法操作の基礎

3-a 活性汚泥増殖動力学式のパラメーター測定について

・バッチ実験によるパラメーター測定

活性汚泥法のバッチ実験から、活性汚泥微生物の増殖動力学式のパラメーターを求めるには、次のようにして行えばよい。第6図のバッチ実験では、 L_r は $\frac{L_0 - L}{S_0} / t - t_0$ 、又、 $1/\bar{S}$ は $\frac{S - S_0}{S_0} / t - t_0$ で表わされる。従って、BOD基質減少曲線と活性汚泥微生物の増殖曲線から、各種の $\frac{S - S_0}{S_0} / t - t_0$ 値について、 $\frac{L_0 - L}{S_0} / t - t_0$ 値を求めて、これらの値をグラフにプロットすれば、直線が得られ、(16)式に基づいて直線の傾斜から Y 、縦軸切片から θ を求めることが出来る。 K_m 、 k のパラメーターについては、活性汚泥微生物は時間とともに幾分増大するから、この増殖速度は次式に従うとすると

$$\frac{dS}{dt} = k' \cdot S \quad (28) \quad S = S_0 \cdot e^{k't} \quad (29)$$

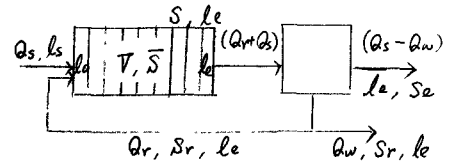
(29)式が成立するためには、活性汚泥微生物が指数増殖を示すようにバッチ実験の初期にBOD-SS比つまり L/S 比(食物/微生物比)を大きくとらねばならない。又、BOD除去速度はMichaelis modelに従うとすると(26)式が成立する。

$$(26) \text{ 式において } L_r = L_0 - L \text{ であるから } -\frac{1}{S} \frac{dL}{dt} = \frac{k \cdot L}{K_m + L} \quad (30)$$

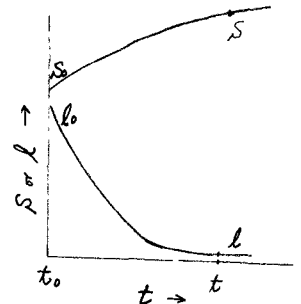
$$\text{上式を(29)式を代入して、微生物増殖を考慮すると } -\frac{dL}{dt} = k \cdot S_0 \cdot \frac{L}{K_m + L} \cdot e^{k't} \quad (31)$$

上式を $t=0$, $L=L_0$, $S=S_0$ と、 $t=t$, $L=L$, $S=S$ の範囲で積分すると

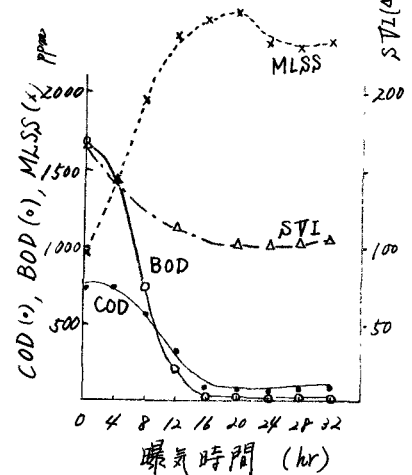
$$L_0 - L - K_m \cdot \ln \frac{L}{L_0} = \frac{k}{k'} (S - S_0) \quad (32)$$



第5図 返送のある押し出し流れ式曝気槽



第6図 活性汚泥法のバッチ実験成績の模式図



第7図 ゼラチン廃水のバッチ処理実験に於ける基質濃度と微生物細胞濃度の経時変化

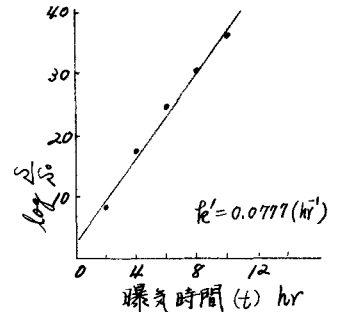
今、上式で $0 \rightarrow t$ の時間経過で、 $l = \frac{1}{2}l_0$, $S = S_0$ になるように、基質濃度 l_0 の半減プロット法¹⁾を行えば、
 上式に $l = \frac{1}{2}l_0$ を代入すると $l_0 = 2 \cdot \frac{K_m}{k} (S - S_0) - 1.3846 \times K_m$ (33)

又、基質濃度 l_0 の $1/4$ 減プロット法を行い、上式に $l = \frac{1}{4}l_0$ を代入すると、先日同様に

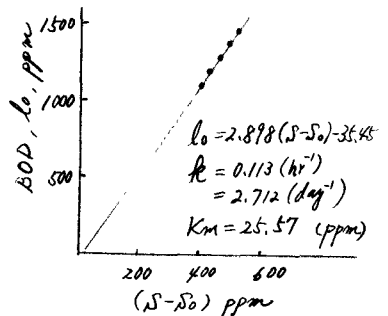
$$l_0 = 4 \cdot \frac{K_m}{k} (S - S_0) - 1.1507 \cdot K_m \quad \text{..... (34) と} \text{ なる。}$$

そこで、BOD基質減少曲線上で、 l_0, l, t_0, t, S_0, S を $\frac{l}{l_0} = \frac{1}{2}$ 或は $\frac{l}{l_0} = \frac{1}{4}$ になるように若干個の場合をとって、各種の l_0 値と $(S - S_0)$ 値を求めて、グラフにプロットすれば、直線式に示されるから、直線の傾斜から $2 \cdot \frac{K_m}{k}$ 或は $4 \cdot \frac{K_m}{k}$ が求まり、 k がわかっているから K_m が求められる。又、縦軸切片から K_m が求められる。このようにすれば各種活性汚泥微生物濃度に対する K_m, k を求めることが可能である。

ゼラチン廃水による実験：ゼラチン廃水、BOD-SS負荷の、 4.88 kg SS/kg の活性汚泥法にかけて馴養した活性汚泥を用いた。ゼラチン廃水と活性汚泥微生物を加え、全量 1 l として通気攪拌しながら、バッチ培養を行い、COD、BOD、MLSS、SVIの時間変化を測定した。CODとBODは 10000 rpm 5分間の超遠心分離上澄液について又 MLSSも同じく 10000 rpm 5分間の超遠心分離の沈殿物について求めた。第7図はゼラチン廃水の活性汚泥処理のバッチ実験における活性汚泥微生物濃度とBOD、CODの経時変化を示したものである。第7図の活性汚泥微生物濃度の経時変化のデータを用いて、(28式)の成立を検証すると第8図のようになり、約12時間迄は、(28式)が成立し、 $k' = 0.0777 \text{ (1/時間)}$ となった。又、第7図のBODとMLSSの経時変化のデータを用いて、(32式)に従って基質濃度の半減プロットを行えば、第9図のようになり、BOD基質に関する K_m は 25.57 ppm , $k = 2.712 \text{ (1/d)}$ 、又同様にCOD基質については $K_m = 80.88 \text{ ppm}$, $k = 0.956 \text{ (1/d)}$ となった。又、第7図のデータからBOD基質について、 $L_r = \frac{l_0 - l}{S_0} / t - t_0$ に対して $1/S_0 = \frac{S - S_0}{S_0} / t - t_0$ をプロットすれば、第10図のように直線関係が得られ、 $Y = 0.7573 \text{ (kg/kg)}$, $b = 0.0071 \text{ (1/時間)} = 0.170 \text{ (1/d)}$ 、又、同様に求めたCOD基質に関しては、 $Y = 2.558 \text{ (kg/kg)}$, $b = 0.005 \text{ (1/時間)} = 0.12 \text{ (1/d)}$ となった。



第8図 ゼラチン廃水のバッチ処理実験における $\lg \frac{l}{S_0}$ と曝気時間 (t) の関係



第9図 ゼラチン廃水のバッチ処理実験におけるBOD基質濃度の半減期プロット法による k と K_m の測定

・連続培養実験によるパラメーター測定

連続培養においても、(16式)、(19式)にもとづいて Y, b, k, K_m を求めることが出来る。ここでは紙面の都合で省略する。

3-2 t_s 制御の意義について

活性汚泥は、環境の突然の変化に対して、極めて感受性が高い。環境が一定に保たれている場合は、活性汚泥は最も効率的に働くので、活性汚泥プラントを最高の効率で稼働させるにはF/M比つまりBOD-SS負荷を一定に保つ必要がある。曝気槽混合液のSS制御の目的は、BOD-SS負荷を最適範囲内に保つことであり、普通一般に $0.2 \sim 0.5 \text{ (kg/kg SS/日)}$ とされている。ここで述べて来た t_s 制御法では t_s は l_0, L_r に関係し、 t_s 制御によって汚泥の沈降性と流出水の水质をコントロールすることができる。 t_s 制御の手順として、①希望する l_0 に対する望ましい t_s を選択する。②曝気槽内に存在する全活性汚泥量を毎日測定する。③全活性汚泥量を t_s で割り、毎日の引き抜き汚泥量 Q_n, S_r 又は、返送汚泥量 Q_r, S_r を定める。④引き抜き汚泥の濃度、又は返送汚泥濃度 S_r を測定して、汚泥引き抜き容量 Q_w 、又は返送汚泥量 Q_r を決める。例えば $t_s = 5$ 日に保つには、曝気槽中の全活性汚泥をプロセ

スから5日間で引き抜かねばならない。 t_s 制御の利点は F/M 比制御をも含め 管理労力が少なくてすみ、活性汚泥の自動制御に活用できる。

4 活性汚泥法の自動制御

t_s を制御する活性汚泥法の自動制御の方法について記述する。

完全混合式曝気槽を用いる場合の制御動力学式は

$$\frac{1}{t_s} = \frac{Q_s}{V} (1 + r - r \cdot \frac{S_r}{S_0}) \quad (20)$$

押し出し流れ式曝気槽を用いる場合の制御動力学式は

$$\frac{1}{t_s} = \frac{Q_s}{V} (1 + r - r \cdot \frac{S_r}{S_0}) \quad (21)$$

即ち、 Q_s , S , S_r , $\bar{S}$ を常時モニタリングしておけば、 V がわかっているから上式から容易に所定 $1/t_s$ になるように 活性汚泥法最適制御のため 返送汚泥量 Q_r を制御することができる。完全混合式曝気槽の場合、(20)式から $Q_r = \frac{t_s \cdot Q_s - V}{t_s (\frac{S_r}{S_0} - 1)}$ (25)

また、第11図は 押し出し流れ式曝気槽を用いる活性汚泥法の流系図と自動制御を示したものである。

ここで、 $\bar{S} = \frac{S_0 + S_r}{2}$ である。 S_0 は S_r に対して、 $\frac{V}{Q_s + Q_r}$ 時間だけ時間遅れとなるため、 S_0 の連続自動測定と同時に S_r に対応する S_r の予測値を求めねばならない。ここで、曝気槽内の比増殖率 $1/t_s$ は一定値となるように制御することから $\frac{V}{Q_s + Q_r}$ 時間後の $\bar{S}$ は次のようになる。

$$\bar{S} = S_0 (1 + \frac{1}{2 t_s} \cdot \frac{V}{Q_s + Q_r}) \quad (26)$$

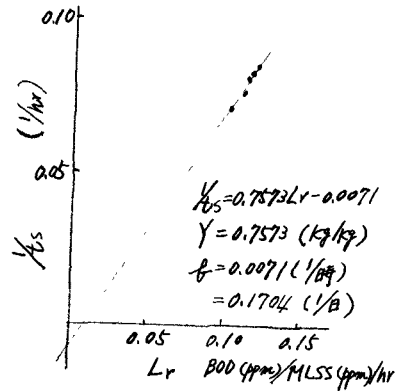
上の $\bar{S}$ を(25)式に代入し、 Q_r について求めると

$$Q_r = \frac{V - Q_s \frac{2 t_s S_0 Q_s - V}{2 \cdot V / t_s}}{2 t_s S_0 Q_s - V - \frac{2 t_s S_0 Q_s - V}{2 \cdot V / t_s} - P Y (\frac{S_r}{S_0} - 1)} \quad (27)$$

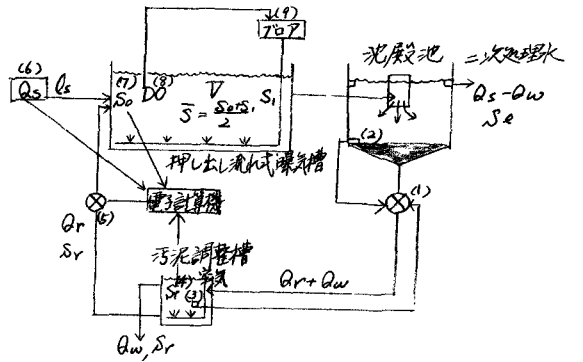
上記2式に 自動測定された S , S_0 , S_r , Q_s および一定値の V , t_s を入れて電算機で Q_r を求め、これを返送汚泥ポンプに連動させて、返送汚泥量を制御する。

第11図に示したように、沈殿池の沈殿活性汚泥は、汚泥液面制御②と自動バルブ①、又、汚泥調整槽の汚泥液面制御③と自動バルブ④を連動させると、余剰液を取り汚泥量 Q_w は 汚泥調整における溢流トラフより自由に溢出する。又、曝気槽の流入口では、溶存酸素濃度が不足しないように D の自動測定を行い、この計測値をブローアに連動して空気量制御を行う。 $1/t_s$ による活性汚泥法の自動制御は 省力化が叫ばれている昨今、極めて注目値であり、今後の検討を進めたい。

文献 1) Houtalekian, H. et al. : S.I.W., 23, 945 (1951) 2) Weston, R. F. et al. : S.I.W., 22, 802 (1955) 3) Van Uden, N. : Archiv fur Mikrobiologie, 52, 145 (1967) 4) McCarty, P. L. et al. : JWPCF, 34, 1095 (1962) 5) Jenkins, D. et al. : JWPCF, 40, 1905 (1968) 6) McKinney, R. E. : JSA Div ASCE, 88, SA3, 3133, 87 (1970) 7) 橋本, 藤田 : 下水協, 5, (50), 1 (1968) 8) Lawrence, A. W. et al. : JSA Div. A.S.C.E., 96, SA3, 7365, 757 (1970) 9) Sherrard, J. H. et al. : Water Res., 6, 1039 (1972). 10) Sherrard, J. H. et al. : J. Environmental Eng. Div. A.S.C.E., 99, EE6, 773 (1973) 11) Terui, G. et al. : Technology Reports Osaka Univ., 10, 572 (1960)



第10図 ゼラチン廃水のバッチ処理実験における $1/t_s$ と $BOD - \bar{S}$ 負荷量 (L_r) の関係



①自動バルブ、②汚泥液面制御、③液面制御、④ S 連続自動測定 ⑤返送汚泥ポンプ(汚泥返送量制御) ⑥ Q_s 連続測定 ⑦ S_0 連続自動測定、⑧ D の連続測定 ⑨ブローア
第11図 押し出し流れ式曝気槽を用いる活性汚泥法の流系図と自動制御