

大阪大学工学部 正会員

橋本 奨

岩堀 恵祐

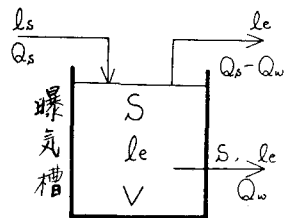
柴田 雅秀

1. まえがき

曝気槽に基質を連続的に流入させ、一定時間毎に曝気槽内活性汚泥を抜き取る活性汚泥法の操作を連続Fed-Batch法と名づけて、本法の動力学式を誘導して、そのパラメータを測定した。

2. 連続Fed-Batch法による活性汚泥法の動力学式とその非定常解析

連続Fed-Batch法の運転操作は、図-1の模式図に示したように、曝気槽に基質を連続的に流入させ、一定時間毎に曝気槽内汚泥を抜き取る操作を繰り返す。ここで、 l_s は流入基質濃度(mg/l)、 Q_s は流入量(l/h)、 l_e は流出基質濃度(mg/l)、 Q_w は抜き取り汚泥量(l/h)、 S は曝気槽内活性汚泥濃度(mg/l)、 V は曝気槽容量(l)、 $Q_s - Q_w$ は流出量(l/h)、 S_e は流出水活性汚泥濃度(mg/l)である。



曝気槽内活性汚泥の物質収支は次式で示される。

$$V \left(\frac{dS}{dt} \right)_n = V \frac{dS}{dt} - [Q_w S + (Q_s - Q_w) S_e] \quad (1)$$

但し、 $\left(\frac{dS}{dt} \right)_n$ は曝気槽活性汚泥濃度の時間変化。

$\frac{dS}{dt}$ は、活性汚泥の増殖速度(ppm/hr)である。

(1)式は次のように書きかえられる。

$$\frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right)_n = \frac{1}{S} \frac{dS}{dt} - \frac{Q_w S + (Q_s - Q_w) S_e}{VS} \quad (2)$$

図-1の曝気槽を、 $S_e = 0$ または $Q_s - Q_w = 0$ となるようにセットすると(2)式から次式が得られる。

$$\frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right)_n = \frac{1}{S} \frac{dS}{dt} - \frac{Q_w S}{VS} \quad (3)$$

ここで、 $\frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right)_n$ は比増殖速度(μ)、 $\frac{Q_w S}{VS}$ は活性汚泥平均滞留時間の逆数($\frac{1}{\theta_s}$)で、(3)式は次のようになる。

$$\mu = \frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right)_n + \frac{1}{\theta_s} \quad (4)$$

又、曝気槽内基質の収支は次式で示される。

$$V \left(\frac{dl_s}{dt} \right)_n = Q_s l_s - (Q_s - Q_w) l_e - Q_w l_e - V \frac{dl_s}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{1}{S} \left(\frac{dl_s}{dt} \right)_n = \frac{Q_s (l_s - l_e)}{VS} - \frac{1}{S} \left(\frac{dl_s}{dt} \right)_n \quad (6)$$

活性汚泥の増殖と基質除去の関係は次式で示される。

$$\mu = \frac{1}{S} \frac{dl_s}{dt} = Y \frac{1}{S} \left(\frac{dl_s}{dt} \right)_n - b \quad (7)$$

但し Y は収率係数、 b は自己分解係数である。

3. 実験装置並びに方法

図-2のように、実験曝気槽(プラスチック製、容積約8L)を、恒温槽に入れて、槽底部、多孔球から曝気し、処理水はフィルターから流出するようにしている。基質として、表-1の合成下水を用い、これを定量ポンプで槽内へ連続的に添加した。実験には、Fill and Draw方式で予め培養され且つ使用基質に2~3日馴致された活性汚泥を用いた。又、実験は右を0.25g、0.5g、1.0g、2.0gと変化させて、槽内温度を20℃と30℃に設定した。又、 l_s

図-1 曝気槽の操作模式図

(7)式に(4)式、(6)式を代入すると次式が得られる。

$$\frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right)_n + \frac{1}{\theta_s} = Y \left[\frac{Q_s (l_s - l_e)}{VS} - \frac{1}{S} \left(\frac{dl_s}{dt} \right)_n \right] - b \quad (8)$$

(8)式は、連続Fed-Batch法による活性汚泥法の汚泥増殖と基質除去に関する非定常の動力学式で、この式から $\left[\frac{1}{S} \left(\frac{dS}{dt} \right)_n + \frac{1}{\theta_s} \right]$ と縦軸に、 $\left[\frac{Q_s (l_s - l_e)}{VS} - \frac{1}{S} \left(\frac{dl_s}{dt} \right)_n \right]$ と横軸にとり、グラフにプロットすると直線が得られ、その直線の傾きから Y 、切片から b が求められる。又、基質の除去速度 $\frac{1}{S} \frac{dl_s}{dt}$ は、次、修正モデル式に従い、

$$\frac{1}{S} \frac{dl_s}{dt} = \frac{k \cdot (l_s - l_e)^n}{K_m + (l_s - l_e)^n} \quad (9)$$

但し、 k は最大除去速度恒数(1/h)、 K_m は飽和恒数、 n はより一般化するための恒数である。非定常における $\frac{1}{S} \frac{dl_s}{dt}$ は、(6)式から容易に求められる。(9)式のパラメータ(k 、 K_m 、 n)は非線型モデルの解析法の一つであるシンプレックス法²⁾を用いて、大阪大学大型計算機で求めた。初期値の決定は、(9)式で $m=n$ といたした場合の最小二乗法³⁾によった。

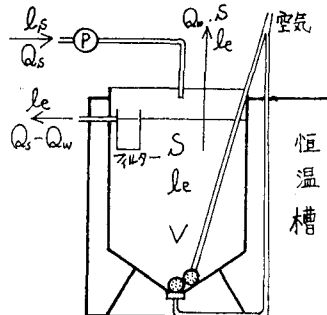


図-2 実験曝気槽の模式図

によって、適当な時間間隔で所定量の汚泥を引き抜き、 COD_{cr} 濃度と $MLSS$ 濃度を測定し、これを定常状態になるまで続けた。 $MLSS$ は、 10000 ypm 、10分間遠心法で、 COD_{cr} は遠心上澄液を下水試験方法により測定した。

4. 実験結果ならびに考察

連続Fed-Batch法で行った実験結果、一例を図-3に示した。また、非定常解析を行ない得られた動力学パラメータの値を表-2に示した。Run 1からRun 5は 20°C 、Run 6とRun 7は 30°C における結果である。図-4に Y と t_s の関係を示した。これから、曝気槽内温度が一定であるならば、 Y の値はほとんど変化しないことがわかる。すなわち、同じ温度では Y は t_s に無関係で次のような値が得られ、これらの値は既報の結果とよく一致している。 $Y = 0.4$ (20°C)、 0.49 (30°C)

b の値については、 0.04 から 0.48 (%)の範囲で変動したが、この変動はフィルターを通過する流出水中の汚泥を無視したためで、 t_s 制御の精度をより厳密にすれば一定の値が得られるものと思われる。また、 K_m , m , n に関しては、表-2に示した初期値と計算結果の収束値を比較してみると、Run 2、Run 6以外に初期値とほとんど同じ値に収束した。これは(9)式で採用した修正モデル式が基質除去の動力学式を最もよく近似させることができ、従来よりも一般性のあることを示している。流入基質が同質かつ実験を厳密に行えば、各パラメータは t_s に関係せずほぼ一定の値をとると思われる。つまり、パラメータ推定には、 $t_s = 0.253(\text{日})$ によって決定されたパラメータ値で代表できる。

5. まとめ

以上のことから、次のことが結論できる。

(1) 連続Fed-Batch法による非定常解析から活性汚泥法動力学式の各種パラメータを推定することができた。

(2) $t_s = 0.253(\text{日})$ のパラメータ値は、他の t_s 値のパラメータに代表できる。

(文 献)

1) 橋本奨：活性汚泥法の動力学と高濃度活性汚泥法の実用化、第5回水処理研究会テキスト、P16~P32、大阪大学生産技術研究会主催、昭和51年11月17日、於大阪科学技術センター

2) Nelder, J.A. & Mead, R.: A Simplex Method for Function Minimization, Computer J., Vol.7 (1964)

3) 橋本奨：活性汚泥法の新しい試み、環境技術、Vol.6, No.1, (1977)

表-1 合成下水の培地組成

Peptone	1.8	
Meat extract	1.2	
Urea	0.3	
NaCl	0.09	(g/l)
KCl	0.042	
CaCl ₂	0.042	
MgSO ₄	0.03	
Na ₂ HPO ₄	0.3	

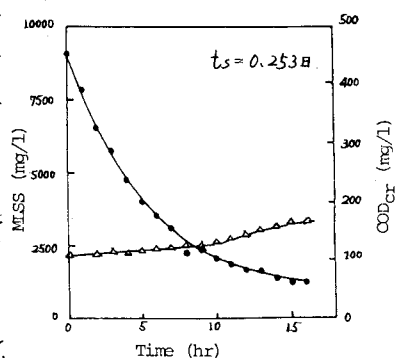


図-3 Run 1における経時変化

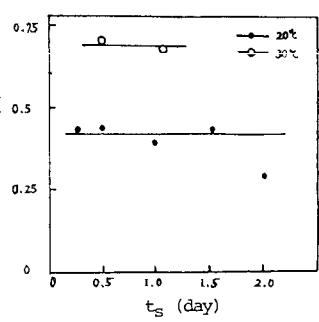


図-4 Yと t_s の関係

表-2 連続Fed-Batch法による動力学パラメータ値

Run No.	Ts (日)	パラメータ					
		Y	b (%)	K_m	k	m	n
Run 1	0.253	0.421	0.476	0.139 (0.144)	12.6 (13.7)	1.08 (1.05)	1.11 (1.05)
Run 2	0.463	0.422	0.239	0.102 (0.210)	11.4 (6.64)	0.911 (0.968)	0.628 (0.968)
Run 3	0.947	0.372	0.422	1.10 (0.809)	20.6 (14.2)	1.05 (1.01)	1.04 (1.01)
Run 4	1.52	0.417	0.195	0.326 (0.328)	4.30 (4.30)	0.867 (0.865)	0.842 (0.865)
Run 5	2.10	0.263	0.036	1.67 (1.60)	24.4 (26.0)	1.01 (1.00)	1.06 (1.00)
Run 6	0.506	0.709	0.383	0.117 (0.951)	27.0 (27.0)	0.905 (0.929)	0.449 (0.929)
Run 7	0.994	0.661	0.371	0.173 (0.173)	5.28 (5.28)	0.946 (0.946)	0.946 (0.946)