

東北工業大学 正員 中山 正午
江成 敏太郎

1. はじめに 活性汚泥法による廃水処理の際には曝気槽内の溶存酸素濃度が律速とならないように、又、省エネルギーの見地から過度の曝気を行うことのないように、酸素消費速度と、溶存酸素濃度と的確に把握しコントロールすることが必要である。ここではそのための一資料を得るために酸素消費速度をモデル化するとともに、これを用いて溶存酸素濃度をシミュレーション計算し、実測値と比較検討を行ったものである。

2. 酸素消費速度のモデル化 酸素消費速度(V_r)と溶存酸素濃度(C)の変化は一般に次式で表される。

$$V_r = -Y_1 \frac{dL}{dt} + R \cdot M \quad \text{--- (1)} \quad \frac{dC}{dt} = K_L a (C_s - C) - V_r \quad \text{--- (2)}$$

V_r : 酸素消費速度 (O_2 - $mg/l/h$) $Y_1(-)$, $R(1/h)$: 定数 L : 基質濃度 (mg/l) M : 生物量 (mg/l)
 C : 溶存酸素濃度 (mg/l) $K_L a$: 総溶存酸素移動容量係数 ($1/h$) C_s : 飽和溶存酸素濃度 (mg/l)

一般に(1)式の dL/dt はBOD, CODなどで表される炭素系基質について考えられているが、窒素系の基質の除去においても同様に酸素が消費されると考えれば V_r は次式のように表される。

$$V_r = -Y_1 \frac{dL}{dt} - Y_2 \frac{dL_N}{dt} + R \cdot M \quad \text{--- (3)} \quad Y_2: \text{定数} (-)$$

L_N : 溶液中窒素濃度 (mg/l)

更に、溶存酸素濃度(C)が小さくなると、これが律速となり、そのため V_r が減少するようになることを考えれば、 V_r は(4)式の形でモデル化できる。

$$V_r = \left(-Y_1 \frac{dL}{dt} - Y_2 \frac{dL_N}{dt} + R \cdot M \right) \left(\frac{C}{k_c + C} \right) \quad \text{--- (4)} \quad k_c: \text{定数} (mg/l)$$

酸素消費速度を上式で表示すると、 L, L_N, M, C を変数として含むことになり同時にそれらの変化とあることが必要である。そのなかでも特に $-Y_1 (dL/dt)$ の項が大きな影響を与えることから、基質濃度(L)とシミュレートできるモデルが重要となる。溶存酸素濃度(C)を計算するには、この V_r を求める式と(2)式とを連立して解くことになる。以下の考察では V_r を(4)式で表し、生物量(M)を表示するには、汚泥中窒素濃度(N)を用いている($M=N$)。

3. 実験方法と結果 実験は回分法により行った。実容積が5.5 lの角型曝気槽を2個用意し、一方をサンプリング用、他方を溶存酸素測定用とした。添加基質としては表-1に示す人工下水を用いた。有機炭素源として $C_6H_{12}O_6$ 、窒素源としては NH_4Cl を用いている。酸素消費速度は下水試験方法に準拠し、溶存酸素濃度はDOメータと記録計と連結して測定した。実験は温度を $10^\circ C \sim 35^\circ C$ とまで $5^\circ C$ ごとに増加させて6回行った。その結果を図-1 ($20^\circ C$)、図-2 ($30^\circ C$)に示す。ここでは炭素系基質(L)として、炭水化物濃度を測定しており、このモデル化に際しては汚泥中の蓄積物として汚泥中炭水化物濃度を考えて溶液中炭水化物濃度の時間変化と次の(5)式で示した。後に示すように、この式は実験値とかなりよく説明した。

$$-\frac{1}{M} \frac{dL}{dt} = \left[k_1 + k_2 \left\{ \left(\frac{S'}{N} \right)_{\max} - \frac{S'}{N} \right\} \right] \left(\frac{L}{k_L + L} \right) \quad \text{--- (5)}$$

$k_1(1/h), k_2(1/h), k_L(mg/l)$: 定数

S' : 汚泥中炭水化物濃度 (mg/l) N : 汚泥中窒素濃度 (mg/l)

又、図-1, 図-2の $NH_4-N(L_N)$ は直線的に減少するものと近似できた。

4. 計算結果及び考察 実験結果から諸係数値と決定した。図-3に Y_1 決定の一例を示す。これは(4)式で

表-1 人工下水組成

$C_6H_{12}O_6$	200.0 g/l
NH_4Cl	30.8 g/l
$NaCl$	20.0 g/l
$MgSO_4$	6.8 g/l
$CaCl_2$	10.0 g/l

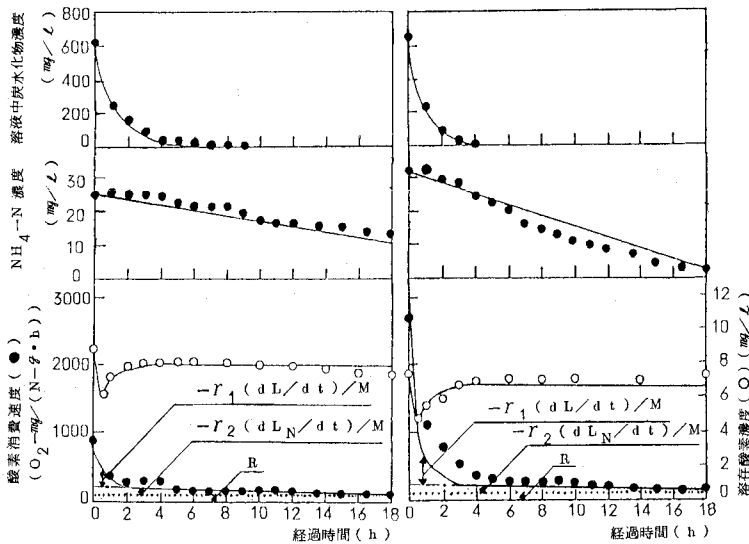


図-1 実験値と計算値(20℃)

図-2 実験値と計算値(30℃)

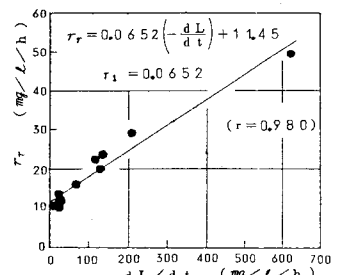


図-3 r_1 の決定(25℃の場合)

表-2 r_1, r_2, R の値

温度 (℃)	r_1 (-)	r_2 (-)	R (1/h)
10	0.0156	2.62	0.088
15	0.0325		0.113
20	0.0401		0.102
25	0.0652		0.132
30	0.0738		0.105
35	0.0501		0.047

$C/(k+C) \approx 1$ とし右辺2,3項の変化が相対的に小さいと考えられる期間の $V_r, -dL/dt$ と α 間に最小二乗法を適用し、その傾きとして決定したものである。 r_1, r_2, R の値を表-2に示す(決定方法の詳細は発表時に譲る)。なお k は文献値を参考として0.1とした。基質を除去するために必要な酸素量は、炭素系基質(BODまたはCOD)で0.1~1.0(O_2 -mg/BOD-mg or COD-mg)であると報告されている。本実験では炭素系基質(L)として炭水化物濃度を測定しており、 r_1 は炭素系基質を何で示すかにより、 α も変化するが、本実験の結果はこれよりも更に小さな値を示した。 r_2 は2.62であり、これは α 値により必ず一定である。 R については生菌量(M)とMLSSで表した場合一般に0.03~0.1(1/day)〔単位を1/hに換算すると0.00125~0.00417〕程度の値とすることが知られている。この計算では、生物量として汚泥中窒素濃度を用いていることからMLSS中の窒素含有率と5%(本実験の α およびその平均値)として換算すると、この値は0.025~0.083(1/h)となり本実験で得られた貸放値(R)はこれよりやや大きな値を示していた。これらの貸放値により数値計算を行、その結果を図-1、図-2に実験で示す。単位窒素量あたりの酸素消費速度(V_r/M)は基質添加直後に最大値を示しその後、急激に減少し基質の除去終了時から、わずかながら減少が続ける。計算値は比較的良好にこれを表現していると思われるが、実験値は基質添加直後の急激な減少の後に、減少速度が小さくなるころがより、この部分では計算結果が小さな値を示した。(4)式において、 $\alpha \gg k$ であれば $C/(k+C) \approx 1$ と考えられることから、 V_r/M とそれぞれ α 項に分けてその立ち上がり変化と比較してみる。 $-r_1(dL/dt)/M$ の項は基質添加時に最大値となり、その後急激な減少を示し、外部基質がなくなるとこの項の酸素消費は生じない。 $-r_2(dL_N/dt)/M$ の項は、 $NH_4-N(L_N)$ がなくなるまで、ほぼ一定の速度で漸減する。 R の項は常に一定値を示す。又、これは一般 $(dL/dt)/M$ より大きな値を示すことから、特に基質添加後の酸素消費速度を正確に把握するには、 R を正しく評価する必要がある。溶存酸素濃度(C)は、実験値と比較的良好に近似できたが、他の α 濃度の計算値では、 V_r/M の整合性は、 α も溶存酸素濃度の適合性がさほどよくないものもある。これは V_r のモデル式以外の因子(たとえば $k_L a, C_s$)の影響によるものと考えられた。

5. まとめ 以上の実験と考察から得られた知見をまとめると、活性汚泥の酸素消費速度と溶存酸素濃度の変化は(2)式、(4)式を所式から計算できるが、酸素消費速度は基質の除去終了前に、一時的に減少速度が小さくなり、この点で差が生じることから、更に修正する必要があると思われる。又、酸素消費速度が同程度に計算できても、溶存酸素濃度に差が生じる場合があり、これは他の因子の影響と考えなければならぬことなどがわかった。今後 α 研究課題とした。