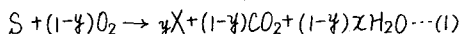


北海道大学工学部 正会員 〇 神山 桂一, 田中 信寿
(三菱原子力工業) 黒田 一彦
(F I P) 田中かほる

1. はじめに 都市ゴミの好気性埋立や準好気性埋立でおこる好気性分解の様相を実験的に調べてきたが、そこで生ずる分解プロセスを数理的に表現し、実験結果の解析や今後の埋立地設計に役立てることを目的として以下のような数理モデルを考えた。このモデルは、ゴミの好気性分解速度がゴミ層内の酸素濃度によって大きく影響を受けることや、ゴミ中の有機物の分解が酸素消費量によって表現できるという今までの実験結果にもとづいて導いたものである。

2. モデル化のための仮定 まず①ゴミ層内での酸素吸収プロセスは、気流中の酸素がゴミ表面の水相へ移動する物理プロセスと、ゴミ表面で微生物が酸素を消費する生物化学的プロセスとの直列結合であること、②ゴミ分解に関与する微生物は増殖反応と死滅反応の結果として増減し、③基質Sの分子式は $C(H_2O)_x$ として、また菌体Xの分子式も $C(H_2O)_x$ と考える。④増殖速度式と死滅速度式は各々式(2)、(4)のように表わされる。

増殖反応



$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_g = \mu X \frac{S}{K_s + S} \cdot \frac{[DO]}{K_o + [DO]} \dots (2)$$

死滅反応



$$\left(\frac{dX}{dt}\right)_d = -k_d X \dots (4)$$

従って微生物による酸素消費速度は次式右辺のように表わされる。

$$\left(\frac{dO_2}{dt}\right)_b = \frac{1-\gamma}{\gamma} \mu X \frac{S}{K_s + S} \cdot \frac{[DO]}{K_o + [DO]} \dots (5)$$

また、菌体量的変化は式(2)と(4)から

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= \left(\frac{dX}{dt}\right)_g + \left(\frac{dX}{dt}\right)_d \\ &= \mu X \frac{S}{K_s + S} \cdot \frac{[DO]}{K_o + [DO]} - k_d X \end{aligned}$$

これに式(5)を代入することによって

$$\frac{dX}{dt} = \frac{\gamma}{(1-\gamma)} \left(\frac{dO_2}{dt}\right)_b - k_d X \dots (6)$$

また、仮定①から酸素消費速度 J (mol/d)は

$$J = K_f a V (P_{O_2} - H[DO]) = \left(\frac{dO_2}{dt}\right)_b a V \dots (7)$$

式(6)と(7)から菌体量についてまとめるとつぎの式(8)を得ることができ、その解は式(9)となる。

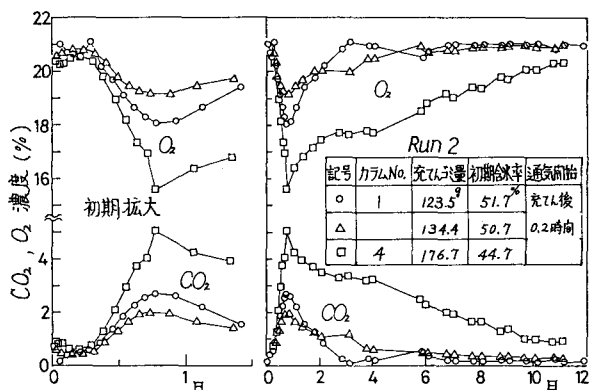


図-1 カラム排出ガス組成の経日変化(Run 2)

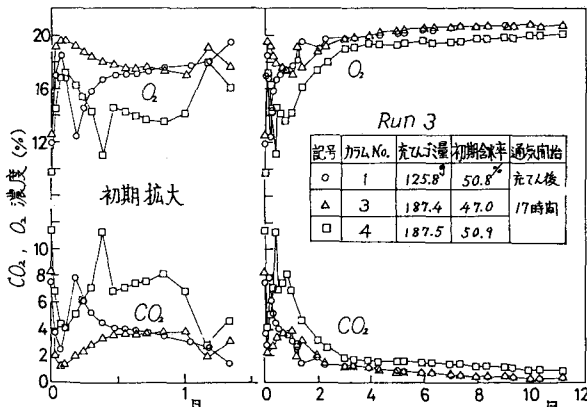


図-2 カラム排出ガス組成の経日変化(Run 3)

$$\frac{dX}{dt} + k_d X = \frac{Y}{1-Y} \cdot J(t) \cdot \frac{1}{aV} \quad \dots (8)$$

$$aV(X-X_0) = e^{-k_d t} \int_0^t e^{k_d t} \frac{Y}{1-Y} J(t) dt \dots (9)$$

ここで $J(t)$ は実測できるので、その値を代入してゆくことによって、 k_d を仮定すれば $aV(X-X_0)(1-Y)/Y$ の時間推移が求められる。

3. 解析上の仮定と酸素消費速度

解析をすすめるために⑤最大の酸素消費速度 J_{max} を示す点で $[DO]$ が0となるとすれば、式(7)から

$$K_f aV = \frac{J_{max}}{(P_{O_2})_J = J_{max}} \quad \dots (10)$$

となり、 J_{max} 時の通気中酸素分圧から $K_f aV$ が求まる。

つぎに、⑥ゴミ充填時には菌体量 X_0 はほぼ0であること、並びに⑦ゴミ中の厨芥分はすべて消費されずに反応を終了していることから、反応速度に対する S の項を無視できるとして、式(7)から

$$J = \mu \cdot \frac{H[DO]}{H R_0 + [DO] H} \cdot e^{-k_d t} \int_0^t e^{k_d t} J(t) dt$$

$$= \frac{P_{O_2}}{K_f aV + \mu} \left\{ \frac{1}{H R_0 + H[DO]} \right\} \dots (11)$$

したがって、 k_d を仮定することで式(10)から求められる $K_f aV$ と、実測値の J と P_{O_2} を用いることによって、式(11)から $H[DO]$ および $\mu/(H R_0 + H[DO])$ が求まる。

このとき、ゴミ層(カラム)内の温度と含水率が一定であると考えれば μ は一定であるから、横軸に $H[DO]$ 、たて軸に $(H R_0 + H[DO])/\mu$ をとり、式(11)の値をプロットすれば、点は直線上に並びねばならない。さらにたて軸切片が $H R_0/\mu$ 、勾配が $1/\mu$ となる。従って $H[DO]$ と $(H R_0 + H[DO])/\mu$ の関係が直線上にくるようば k_d を探索的に求めればよい。

なお酸素消費速度 J はつぎの物質収支式から計算できる。

$$\frac{PV}{RT} \frac{d(O_2)_0}{dt} = \frac{(O_2)_i Q_i}{22.42} - \frac{(O_2)_0 Q_0}{22.42} - J \dots (12)$$

4. 実験結果の解析例

ゴミを充填したカラム内の温度、含水率をできるだけ一定に行なった実験結果(図-1, 2)の解析結果を表-1にまとめて示した。またこの中で、Run 2のカラム No.4 についてのプロット結果を図-3

に示した。その結果、比増殖速度は $H[DO]=0$ (消費速度が最大時) を境として2つの値をもつことが判り、 $[DO]=0$ の状態により微生物が急激に活性を失うものと思われた。又、 k_d の値は O_2 消費速度が増加する部分ではほとんど影響をうけが、減少する部分では大きく影響をうけ、 k_d を精度よく決定できるだけの感度はこのモデルにはない。

5. まとめ 以上の結果から、物理的酸素移動プロセスを表現する $K_f aV$ が実験に応じて異なった値を示し、微生物反応プロセスを表わす $H R_0$ 、 μ は比較的同じ値を示している。従って酸素消費速度の推移に対しては $K_f aV$ の値と Q_i が大きく影響を与えている。

表-1 モデル解析の結果

ゴミ	実験 番号	k_d (d^{-1})	$K_f aV$ ($\frac{mol}{d \cdot atm}$)	$H R_0$ (atm)	μ (d^{-1}) 増殖時 減衰時	カラム 温度 ($^{\circ}C$)	ゴミ 含水率 (%)	培養液 の濃度 (%)	単位消費 速度 ($g/g \cdot d$)	
夏 ゴミ	Run2 No.1	2	0.15	0.067	0.20	0.034	36.5	53	0.63	0.10
	No.3	2	0.45	0.045	0.19	0.035	39.2	85	0.74	0.30
	No.4	2	0.46	0.080	0.24	0.035	37.8	54	0.49	0.12
冬 ゴミ	Run3 No.1	2	0.62	0.04	0.3	0.029	32	52	0.51	0.08
	No.3	2	0.52	0.042	0.21	0.026	34.5	61	0.61	0.21
	No.4	2	0.70	0.030	0.17	0.028	34	52	0.51	0.13

記号の説明

- S : 基質量 (mol/m³)
 X : 菌体量 ()
 O_2 : 酸素消費量 ()
 μ : 比増殖速度 (d⁻¹)
 k_d : 菌の死滅速度 (d⁻¹)
 R_0 : $[DO]$ に関する定数 (mol)
 R_0 : 基質 S に () (mol/m³)
 Y : 菌体収率 (mol/mol)
 a : ゴミ比表面積 (m²/m³)
 J : 酸素消費速度 (mol/d)
 V : ゴミ層の容積 (m³)
 V' : 反応器の空気部容積 ()
 $[DO]$: ゴミ表面の水相中の DO (mol/g)
 P_{O_2} : 気相中の酸素分圧 (atm)
 X_0 : ゴミ充填時の菌体量 (mol/m³)
 P : 反応器内圧力 (atm)
 T : 温度 (°C)
 R_i : ガス定数 = 0.0821 (atm·g/mol)
 $(O_2)_0$: 反応器内酸素濃度 ()
 $(O_2)_i$: 反応器への供給酸素濃度 ()
 Q_i : 反応器への供給空気量 (NL/d)
 Q_0 : からの排気量 ()
 K_f : 酸素移動係数 (mol/m²·d·atm)
 H : 酸素のヘンリー定数 (atm/(mol/g))

文献: 神山他: 衛生工学研究論文集 Vol.19, p.136 (1983)

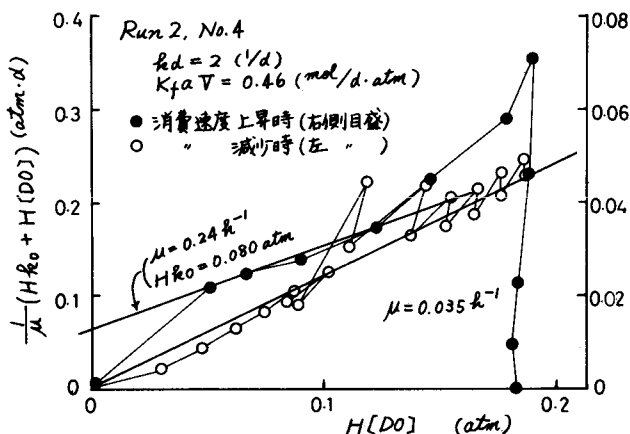


図-3 モデル解析図の一例