

北海道大学工学部 正会員 神山 桂一
正会員 田中 信寿
(札幌市) 坂本 橘

はじめに 都市ごみの好気性埋立や準好気性埋立でおこる好気性分解現象を数理モデルで表現することは実験結果の解析を通じて、ごみの好気性分解機構を理解する上で重要である。ここでは、含水率及び温度を一定に保ちながら、好気性分解を行わせた場合の酸素吸収速度の経時変化(実験結果)を報告し、数理モデルによる結果の解析法について述べる。

1.実験方法 実験装置のフローを図1.1に示す。1つの実験においてこの装置の恒温水槽に同型の鉄管製カラム(図1.2)4本を浸漬し、並行して実験を行った。ごみ分解温度は恒温水槽の温度を制御することによって一定に保ち、実験中、ごみ層内の実測温度は一定であった。また、含水率を一定に保つように、ごみの分解状況、加湿水量、凝縮水量を勘案して加湿器の脱装着を繰り返した。ほぼ、一定の含水率を保てたことが、含水率の経時変化の計算から推測できる。また、十分な量の空気をカラム内に循環させることによってカラム内の上下方向に、酸素濃度やごみ分解状況に分布がないようにしている。実験条件を表1に示した。使用したごみは、当研究室で使用している人工ごみ²⁾である。充填量は、全実験で乾量としてはほぼ同一になるようにし、その量は、約88gである。

表1 実験条件

番号	Run 3	Run 6	Run 5
温度	20°C	30°C	40°C
含水率 (%)	カラム1 46.1	46.5	46.1
	2 52.5	53.3	53.0
	3 61.0	62.5	62.3
	4 71.6	71.7	71.5
平均酸素量 (mol)	カラム1 47.3	23.7	19.6
	2 19.2	18.4	13.2
	3 16.5	23.2	15.4
	4 25.6	23.1	15.2
平均乾量 (g)	カラム1 340	270	310
	2 420	360	320
	3 540	400	420
	4 350	330	320

2.実験結果 測定した排出ガス流量とCO₂, O₂, N₂組成から次式により、ごみの酸素吸収速度 J を計算した。その結果を図2(20°C), 図3(30°C), 図4(40°C)に示す。実験では、2つのピークが得られたので両者を分けて示してある。

$$J = \frac{(O_2)_i Q_i}{22.4} - \frac{(O_2)_o Q_o}{22.4} - \frac{PV'd(O_2)_o}{RT dt} \quad (1)$$

横軸は実験時間であり、通気開始後の時間である。通気は、ごみ充填後、直ちに恒温水槽に浸漬し、ごみ層内温度が所定の値に達した時通気を開始した。

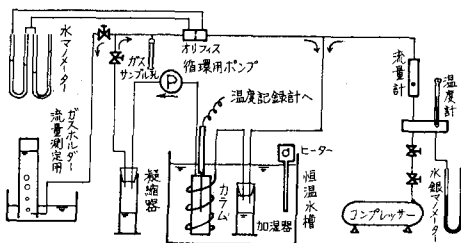


図1.1 実験装置のフロー

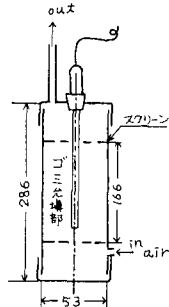


図1.2 ごみ充填カラム

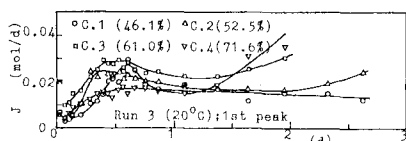


図2.1 実験結果(1st. peak, 20°C)

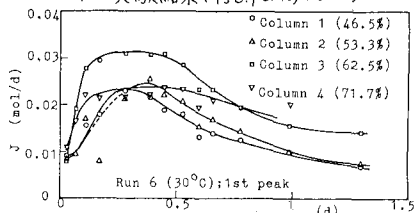


図3.1 実験結果(1st. peak, 30°C)

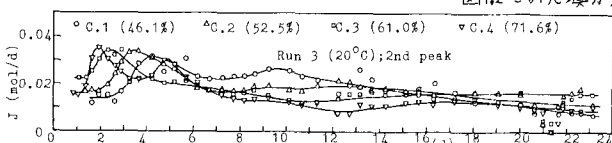


図2.2 実験結果(2nd. peak, 20°C)

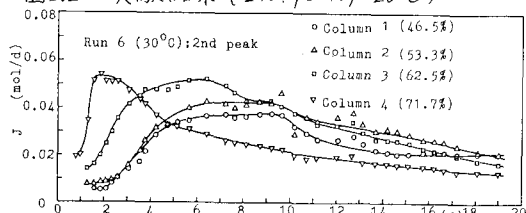


図3.2 実験結果(2nd. peak, 30°C)

3. 考察 オイ報¹⁾で

報告したと同様のモデルと仮定を用いて解析を行なう。

反応としては、増殖反応(式(2))、死滅反応(式(4))、維持反応(式(4))の3つを

考える。各々の反応速度の

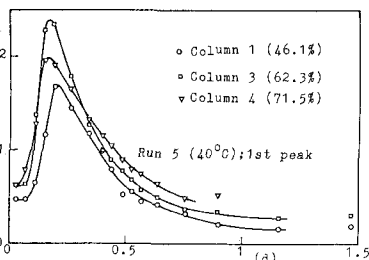


図4.1 実験結果 (1st. peak, 40°C)

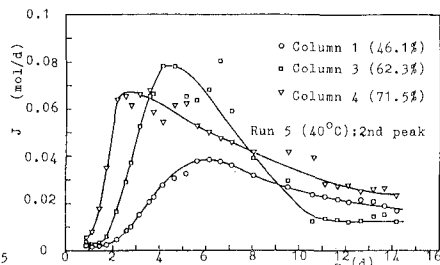


図4.2 実験結果 (2nd. peak, 40°C)

定義は式(3), (5), (7)である。ここで $\tilde{\mu}$ は,
S, X, [DO]の関数である。

これらの式から次式が導ける。

$$(dX/dt) = \tilde{\mu}X - R_dX \quad (8)$$

$$-(dS/dt) = (\tilde{\mu}/Y + m - R_d)X \quad (9)$$

$$-(dO_2/dt)_b = (1-Y)/Y \times \tilde{\mu}X + mX \quad (10)$$

さらに、式(8), (10)から

$$(dX/dt) + KX = Y/(1-Y) \cdot (-dO_2/dt)_b \quad (11)$$

$$\text{ここで } K = R_d + mY/(1-Y) \quad (12)$$

実測されている酸素吸収速度 J は、ごみ層中

の水分が持っている溶解酸素量が無視できることから、生物による酸素吸収速度と等しい。すなわち、

$$J = (-dO_2/dt)_b \cdot aV \quad (13)$$

$$\text{式(11)と(13)から } (1-Y)/Y (aVX - aVX_0) = e^{-Kt} \int_0^t e^{Kt} J(t) dt \quad (14)$$

この式に実測された $J(t)$ から、仮定された K と aVX_0 に対応して X の経時変化(図6)が求まる。この結果を次式に代入すると $\tilde{\mu}$ の経時変化が求まる。その1例が図5である。

$$\tilde{\mu} = (dX/dt)/X + R_d \quad (15)$$

この図から $\tilde{\mu}$ は反応の進行と共にその値を減じている(つまり、増殖活性が低下している)。ここでは、 R_d と $\tilde{\mu}$ の低下とは、 J の変化を説明する上で等価であると考え、また、モデルのパラメータを減らす意味で $K=0$ と考えて解析を進めた場合について述べる。

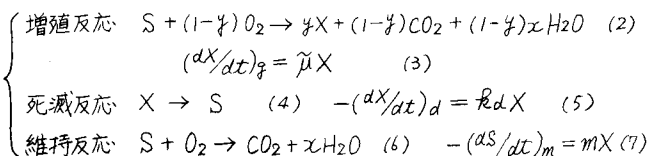
$\tilde{\mu}$ の低下を藤田ら³⁾がコンポスト反応を説明するモデルとして採用しているコントアモデルで説明してみる。

$$\tilde{\mu} = \mu_{max}/(1 + \tilde{K}X/S) \quad (16)$$

aVS は Y と aVS_0 を仮定することによって図6のように計算できる。いま、各種の条件から妥当と思われる $Y=0.5$, $aVS_0=1 \text{ mol}$, $aVX_0=0.001 \text{ mol}$ に対してモデルのパラメータを決定すると(図7), $\mu_{max}=1.9 \text{ d}^{-1}$, $\tilde{K}=14$ と求まる。この値により $\tilde{\mu}$ の値を計算すると図5の破線のようになり、比較的良好一致している。

引用文献

- 1) 神山桂一他, 第38回土木学会年講 II-334 (昭58年9月)
- 2) 神山桂一他, 衛生工学研究論文集, 19巻, 136/145 (1983)
- 3) 王鯤生, 藤田賢二, 第38回土木学会年講 II-360 (昭58年9月)



S: 基質量 (mol/m²)

X: 菌体量 (mol/m²)

$\tilde{\mu}$: 比増殖速度 (d⁻¹) = func. (S, X, [DO])

μ_{max} : 最大比増殖速度 (d⁻¹) (定数)

R_d : 死滅係数 (d⁻¹) (定数)

m : 維持定数 (d⁻¹) (定数)

Y : 菌体収率 (-) (定数)

a : ごみ比表面積 (m²/m³)

J : 酸素吸収速度 (mol/d)

V : ごみ層の容積 (m³)

V' : 反応器の空気部容積 (m³)

[DO]: ごみ表面の水相中の溶解酸素 (mg/l)

X_0 : 初期菌体量 (mol/m²)

P : 反応器内全圧 (atm)

T : 温度 (K)

R : ガス定数 = 0.0821 atm·l/(K·mol)

(O₂)_b: 反応器内の酸素濃度 (-)

(O₂)_i: 反応器への酸素供給濃度 (-)

Q_2, Q_0 : 供給, 排出空気量 (NL/d)

$-(dO_2/dt)_b$: 生物による酸素消費速度 (mg/m²·d)

添字 g : 増殖反応, d : 死滅反応

m : 維持反応を示す。

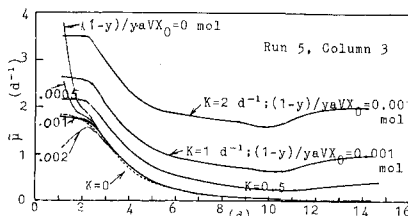


図5 比増殖速度 $\tilde{\mu}$ の経時変化 (2nd. peak)

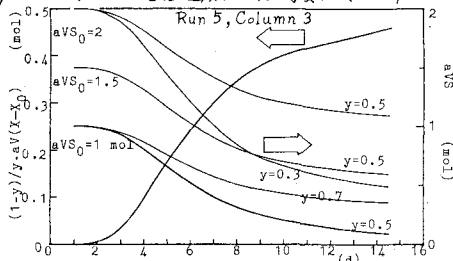


図6 aVX と aVS の経時変化

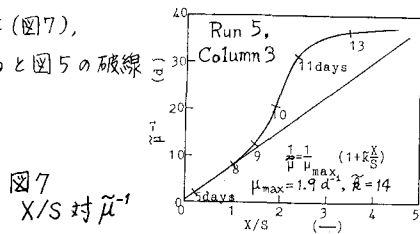


図7 X/S 対 $\tilde{\mu}$