

(株)タクマ 正会員 ○角田 芳忠
北海道大学工学部 田中 信寿
神山 桂一

はじめに 都市廃棄物の好気性分解反応において温度は重要な影響を持っている。廃棄物の醗酵と共に廃棄物層の温度は上昇し、それによって反応速度は加速され、分解が急激に進行する。温度が70℃附近まで上昇するので病原菌等が死滅する。このように好気性分解反応において熱管理は重要である。従ってこの反応の発熱量はらびに反応速度に対する温度の影響を明らかにする必要がある。さらに、深い廃棄物層で反応が進行する場合には、ガス中の酸素濃度が反応速度にどのような影響を与えるか明らかにする必要がある。しかし、これらについての研究はあまりなされていない。演者らは断熱型熱量計を用い、その熱量計のボンベ内に加圧純空気と厨芥を入れて反応を起させた。この反応はボンベ内の酸素が無くなり終了するが、その間の発熱量を測定し、発熱量曲線を解析することによっていくつかの知見を得たので報告する。

1. 実験方法と材料 供試厨芥としては当研究室で従前から使用している¹⁾ 人工ゴミの厨芥成分(人工厨芥)[C; 34.1%, H; 4.6%, N; 3.2%, O; 38.0%]及び大学生協食堂厨房からの生協厨芥I[C; 34.1%, H; 5.0%, N; 3.1%, O; 43.7%]と生協厨芥II[C; 42.9%, H; 6.3%, N; 3.8%, O; 36.1%]の計3種を用いた。ボンベ内での醗酵を確実にするため、恒温槽に入れた菌馴養槽(塩ビ製、内容積1.5L)に厨芥4:紙片1:植種1の割合で混合したものを入れ、通気し加温した。この調製試料4に粉碎乾燥厨芥1と水3の割合で混合し、34×34×深5mmのトレイ7段に塗り付け、熱量計のボンベ内(実内容積250ml)に入れた。熱量計内の断熱された内筒水の温度上昇をベックマン温度計で読み取ることによって発熱量が求まる。測定は内筒水温度を30~60℃に設定し、ボンベへの加圧を2~4 kg/cm² (0.2~0.4MPa)に設定して行った。試料の含水率は平均73.8%, 強熱減率は平均70.7%, PHは約7.2である。

2. 発熱量測定精度 発熱体としてニクロム線をボンベ内へ入れて発熱量を測定した(図2)。図中の折線は電圧と電流を測定して計算した値である。熱測定率(実測値/計算値)を求めると96.6%であった。図から発熱速度の変化に対して水温がよく追従していること、内筒水の断熱性が確立されるまで約90分必要であることが判る。又、本測定においては内筒水搅拌による温度上昇の値が少なからぬ影響を持っているので多数回の実験により、この値を定めた。この値(設定温度41℃; 0.006%/20min)で図2の熱測定率を求めると89.7%となる。

3. 実験結果と考察 実験結果の1例を図3に示す。

これを解析して以下の結果を得た。酸素濃度は開始時および終了においてTCDで測定した。

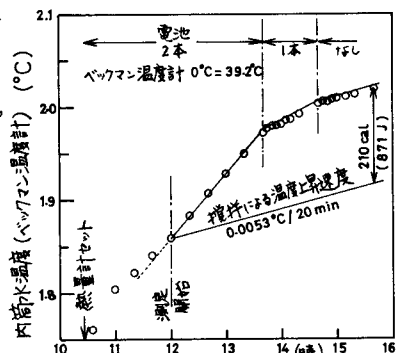


図2 ニクロム線を発熱源とした時の結果

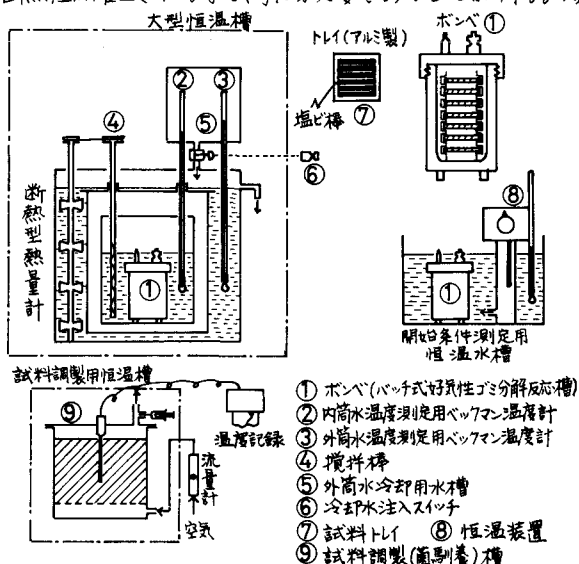


図1 測定装置概略図

3.1 発熱量と酸素消費量の関係 結果を図4に示す。温度及び飼料の種類によらず、1本の直線にのることが

判る。比例定数は 2.8 cal/mg O_2 ($90 \text{ kcal/mol O}_2 = 375$

kJ/mol O_2) である。この値は久保田²⁾がコンポスト化反応の熱収支において推算値として用いている、 106 kcal/mol O_2 (444 kJ/mol O_2) あるいは C.L. Cooney³⁾ が各種の菌と培地を用いた好気性液系培養で実験的に求めた、 $110 \sim 120 \text{ kcal/mol O}_2$ ($460 \sim 502 \text{ kJ/mol O}_2$) に近い値である。

3.2 反応速度の解析 菌体量 X の増殖について次の Monod 型の式を仮定し、基質量 S は十分であるとして

$$\frac{dX}{dt} = \mu X \frac{S}{K_s + S} \frac{P_0}{K_0 + P_0} \approx \mu X \frac{P_0}{K_0 + P_0} \quad (1)$$

基質量 S の消費について維持代謝の項を無視して

$$-\frac{dS}{dt} = \frac{1}{Y_{S/O_2}} \frac{dX}{dt} + mX \approx \frac{1}{Y_{S/O_2}} \frac{dX}{dt} \quad (2)$$

酸素量 $\bar{O}$ の消費について $-\frac{d\bar{O}}{dt} = -A_0 \frac{dS}{dt} - B_0 \frac{dX}{dt}$ (3)

酸素分圧 P_0 と酸素量 $\bar{O}$ について $\bar{O} = (32V/RT)P_0$ (4)

3.1 の結果から $\frac{dQ}{dt} = -2.8 \times 10^3 \frac{d\bar{O}}{dt}$ (5)

これらの式と $\bar{Q} \equiv Q/Q_{\max}$, $Q_{\max} \equiv 2.8 \times 10^3 \left(\frac{32V}{RT} \right) P_{0i}$ を使って

$$\frac{d\bar{Q}}{dt} = \mu \frac{(a + \bar{Q})(1 - \bar{Q})}{1 + b - \bar{Q}} \quad (6)$$

ここで $a \equiv \left(\frac{A_0}{Y_{S/O_2}} - B_0 \right) X_i \frac{RT}{32P_{0i}}$, $b \equiv \frac{K_0}{P_{0i}}$ である。

式(6)を使って実測値と計算値が一致するようにパラメータ a, b, μ を求めた。その結果(図5)から $b \approx 0.25$ であり、この時ボンベ内圧は約 3 kg/cm^2 (0.3 MPa) であるから $K_0 \approx 0.15 \text{ kg/cm}^2$ (0.015 MPa) となる。なお、佐藤ら⁴⁾は $K_0 = 0.764 \text{ atm}$ (0.077 MPa) と求めている。

図5で b 値が極端なものがある。そこで $b = 0.25$ に固定して μ を求め直した(図7)。シミュレーションの一例が図6である。図7においてプロット点が十分にないので山根⁵⁾が示した μ と $1/T$ の関係(図中の破線)を参考にして実線を書いた。これらから酸素濃度の影響は式(1)の形で表現でき、 $K_0 \approx 0.15 \text{ kg/cm}^2$, $\mu \approx 0.4 \text{ hr}^{-1}$ (中温菌), $\mu \approx 0.7 \text{ hr}^{-1}$ (高温菌) と求まった。(謝辞)装置の製作について松尾孝之技官の協力を得た。又、パラメータ探索について修士課程牧明彦の協力を得た。

図5で b 値が極端なものがある。そこで $b = 0.25$ に固定して μ を求め直した(図7)。シミュレーションの一例が図6である。図7においてプロット点が十分にないので山根⁵⁾が示した μ と $1/T$ の関係(図中の破線)を参考にして実線を書いた。これらから酸素濃度の影響は式(1)の形で表現でき、 $K_0 \approx 0.15 \text{ kg/cm}^2$, $\mu \approx 0.4 \text{ hr}^{-1}$ (中温菌), $\mu \approx 0.7 \text{ hr}^{-1}$ (高温菌) と求まった。(謝辞)装置の製作について松尾孝之技官の協力を得た。又、パラメータ探索について修士課程牧明彦の協力を得た。

図5で b 値が極端なものがある。そこで $b = 0.25$ に固定して μ を求め直した(図7)。シミュレーションの一例が図6である。図7においてプロット点が十分にないので山根⁵⁾が示した μ と $1/T$ の関係(図中の破線)を参考にして実線を書いた。これらから酸素濃度の影響は式(1)の形で表現でき、 $K_0 \approx 0.15 \text{ kg/cm}^2$, $\mu \approx 0.4 \text{ hr}^{-1}$ (中温菌), $\mu \approx 0.7 \text{ hr}^{-1}$ (高温菌) と求まった。(謝辞)装置の製作について松尾孝之技官の協力を得た。又、パラメータ探索について修士課程牧明彦の協力を得た。

参考文献 1) 神山ら: 文部省科研費一般研究B, 昭和52, 53年度研究成果報告書 2) 久保田ら: 環境技術, Vol. 9, 200 (1980) 3) Cooney, C.L., et al: Biotechnol. Bioeng., 11, 277 (1969) 4) 山根: "生物反応工学", p115 産業図書(昭55) 5) 佐藤ら: 石川島播磨技報, 才18巻, 237 (1978)

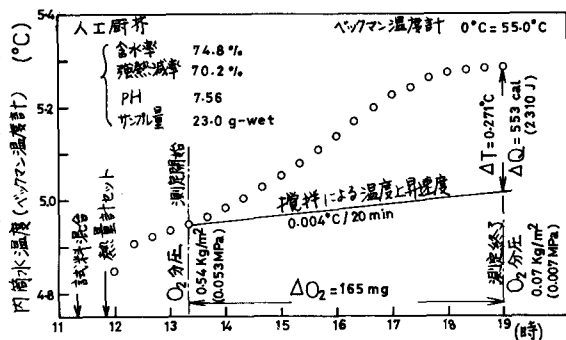


図3 測定例 (Run 30; 設定温度 60°C , 設定圧 3 kg/cm^2 (0.31 MPa))

μ : 最大比増殖速度
 K_0 : 基質 S に関する飽和定数
 K_0 : O_2 分圧 P_0 に関する飽和定数
 Y_{S/O_2} : 真の菌体収率
 m : 維持定数, T : 温度
 A_0 : 基質 1g と $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ に変えるに必要な酸素量
 B_0 : 菌体 1g が $\text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$ に変えるに必要な酸素量
 V : ボンベ内容積, R : 気定数
 X_i : 測定開始時の菌体量
 P_{0i} : 測定開始時の酸素分圧

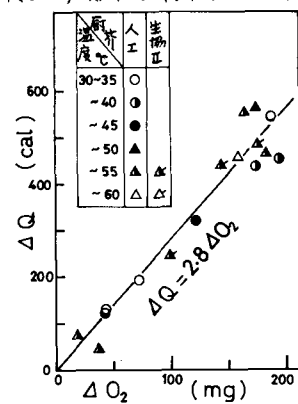


図4 発熱量と酸素消費量の関係

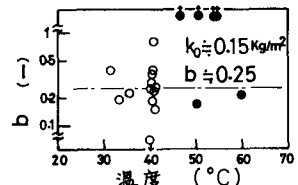


図5 パラメータ b と温度の関係

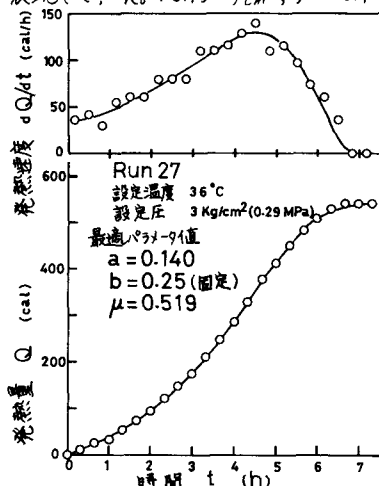


図6 モデルによるシミュレーション例

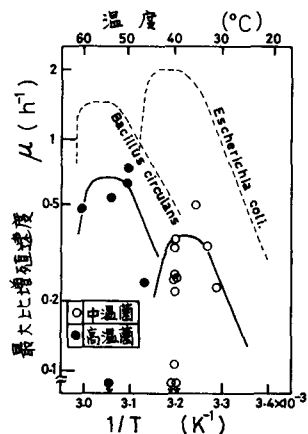


図7 μ に対する温度の影響