

1. 緒言 固形廃棄物のコンポスト化, 汚水の土壌処理など, 固-液-気三相混合状態での好氣的生物処理については種々の実験がなされている。しかし, それらの研究は三相状態に配慮した実験条件でなされていないため, それぞれの実験材料の特性にとらわれ, 普遍的な速度論的理解にはいたっていない。本発表はこの現状をふまえ, 三相混合状態での好氣的反応を統一的速度論的に取り扱うための一助として, 水の役割について整理し, そのうち一つの役割については実験法・解析法を例示したものである。

2. 考え方 三相混合状態での生物反応速度を考えると, 水の持つ意味は大きい。水の役割は主として以下の4つに整理できる。(1) 気体の移動を妨げ O_2 供給量を左右する。(2) 生物反応の場となる。(3) 物質移動の場となる。(4) 圧縮性・比熱などの物理的性状に影響する。このうち(1)は水分量の多いとき重要で, 水分量と反応速度は負の相関を示す。(2)は水分量の少ないとき重要で, 水分量と反応速度は正の相関を示す。材料のちがいは, この(1)と(2)の分岐点のちがいとなり, 材料毎に異なる最適含水量が観測される。則ち, 材料の構造が異なると, 同じ水分量でも水の存在する空隙の大きさが異なり, このことが(1)と(2)の分岐点を違えると考えられる。従って, 三相混合状態一般を普遍的な速度論的に取り扱うためには, 実験条件としての水の存在状態を十分把握・記述し, かつ水の役割のうちどれを対象とするかを念頭において研究しなければならない。以下では, 上のような立場からの研究の例として, (1)の役割を対象としたものを提示する。

3. モデル 水の役割をわけて考える立場にたてば, 各役割について単純なモデルを考えることができる。(1)の場合, 気相での O_2 拡散のモデルが適当であろう。則ち, (i) O_2 モル分率 y の勾配により x 方向に O_2 フラックス N が生まれ, 全モル濃度 C (4.157×10^{-3} mole/cm³, at 1 atm, 20.0°C) のとき, $N = -\frac{C \cdot D}{1-y} \cdot \frac{dy}{dx}$ となる。拡散係数 D は気相率 ϵ のとき, $D/D_0 = \alpha \cdot \epsilon$ ($D_0: \epsilon=1$ のときの拡散係数, 例えは $Ar-O_2$, 1 atm, 20.0°Cでは $0.2 \text{ cm}^2/\text{sec}$) と表わされ, α としては(1) ω 0.66, (2) $\epsilon/2$ が使われる (文献1)。(ii) ある区間でのフラックスの変化は反応による O_2 消費により, それはそこでの y に比例する。面積 A , 長さ dx のshellについて $A(N_x - N_{x+dx}) = K \cdot y \cdot A \cdot dx$ より $-\frac{dN}{dx} = K \cdot y$ となる。ここで単位体積内の反応速度を $K \cdot y$ としたのは, 気-液界面での O_2 移動が律速の場合を想定し, それは O_2 分圧に比例すると考えるためである。以上のモデルを使い実験により水分量と K との関係を検討する。

4. 実験法 水の役割を分けて検討するためには, 各々の目的に即した水の存在状態で実験しなければならない。(1)を扱う場合には, 粒子内空隙は飽和しており, より

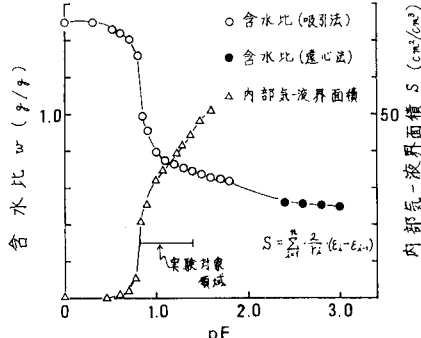


図2 材料のpH-含水比曲線
及び内部気-液界面面積 S

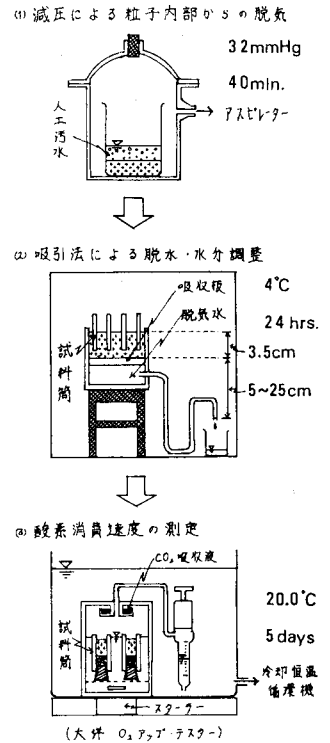


図1 前処理と測定法

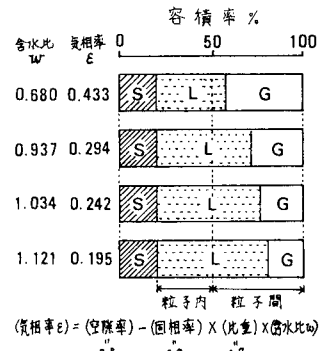


図3 材料の三相分布

大きな粒子間空隙にも水がある状態が適当と考えられる。そのような状態を作るために、図1のような前処理をした。材料は園芸用赤玉土(径 $0.042\sim0.084\text{cm}$,比重2.7,固相率20.0%)に人工汚水(CH_3COONa をTOCで 100mg/l +栄養塩+土壌浸出液+蒸留水)を浸み込ませたものを用いた。水分状態を整えるために、まず減圧により粒子内空隙を飽和し、次に吸引法で水分調整した。赤玉土のpF-含水比曲線を図2に示す。これより、実験に用いた含水比 $0.68\sim1.12$ は吸引水頭 $h=5\sim25\text{cm}$ に相当し、半径 $r=0.03\sim0.06\text{cm}$ ($\therefore r=0.14\%$)以上の管で近似される空隙が気相の場合とわかる。各含水比 w での三相分布を計算すると図3となる(図中の粒子内空隙量は粒子一個の重さ、大きさより算出)。これより、(1)の検討にふさわしい水分状態を設定できたといえる。このように、実験条件として図2,3を示せば、他の材料との比較が可能な水分状態の記述といえるだろう。こうして整えた水分状態で O_2 消費量を 20.0°C で測定した。

5. 結果と検討 酸素消費量は図4に示す。汚水量が多い場合(ε 小のとき)より少ない場合(ε 大のとき)の方が反応速度が大きいため、(1)の場合がなりた。たといえる。最大酸素消費速度をフラックス N_0 におし、 ε に対してプロットしたのが図5の Δ である。外挿すると N_0 が0となるのは $\varepsilon=0.17$, $r=0.02$ 程度のときで、これは空隙の管径が最小粒子径とほぼ同じ場合といえる。

拡散方程式は二元一階連立常微分方程式になおし、 $x=0$ のとき y_0 は 0.2093 (空気の O_2 モル分率), $(\frac{dy}{dx})_{x=0} = \frac{1-y_0}{C \cdot D} \cdot N_0$ の初期条件でルンゲ・クッタ・ジル法により解いた。このとき、混合相の最下部で $N=0$, $\frac{dy}{dx}=0$ とすると、反復法により K が求まる。 K と ε の関係は図5の $\circ, \bullet$ のようになる。 $\alpha=\varepsilon^k$ のときは線形に近い。混合相内の反応は気-液界面の O_2 移動に律速されるとしたが、今回の実験では、単位体積内の気-液界面の面積 S と K との関係は図6のようになった。 S はpF-含水比曲線より推算した(図2の Δ)。別ち、水頭差を h_{n-1} から h_n に増したとき新たに半径 r_n の管内の水が g のぞかれ、その管の内側面積 $\Delta S = 2\pi r_n \times \frac{V_n}{\pi r_n^2}$ だけ界面面積が増えると考ええる。これを全体積 V でわり、 h_n が h までたしあわせると、 $S(\varepsilon_n) = \sum_{i=1}^n \frac{2}{r_i} \cdot (\varepsilon_i - \varepsilon_{i-1})$ [cm^2/cm^3]となる。図6で K が S に比例しないのは、(1) S のうち径の小さい管のものは有効でない、(2)水圏での O_2 移動が律速となる、ためと考えられる。 K/S の値は $0.08\sim0.16 \times 10^{-10}$ [$\text{mole}/\text{cm}^2/\text{sec}$]で、これは 20.0°C で $\text{DO } 0\text{mg/l}$ のときの再ばっ気量(文献2の値より算出)の $\frac{1}{10}\sim\frac{1}{20}$ 程度で、飽和 DO 量の $91\sim96\%$ のときに相当する。

6. まとめ 本発表では三相混合状態での好気的生物反応について水の役割を考察し、さらにそれに即した実験法・解析法により気相率 ε が小さいときの O_2 消費速度と ε との関係、及び内部気-液界面面積との関係を検討した。

文献1) T. J. Marshall: The Diffusion of Gases through Porous Media, J. Soil Sci., Vol. 10, No. 1, 1959.

2) 平山公明: 攪拌槽での乱れと酸素移動, 第17回衛生工学研究討論会講演論文集, 1981.

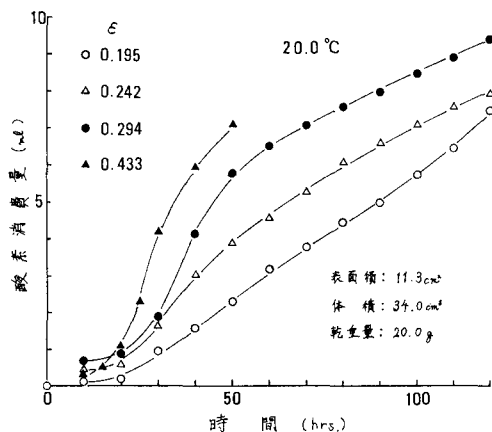


図4 O_2 消費の経時変化

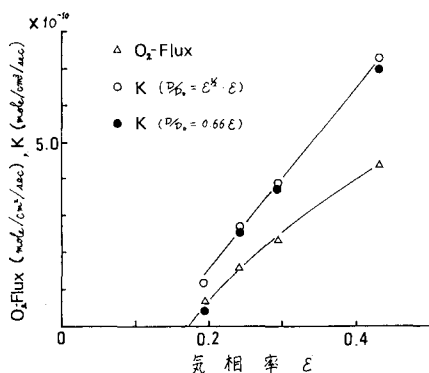


図5 気相率と O_2 フラックス及び反応速度定数 K との関係

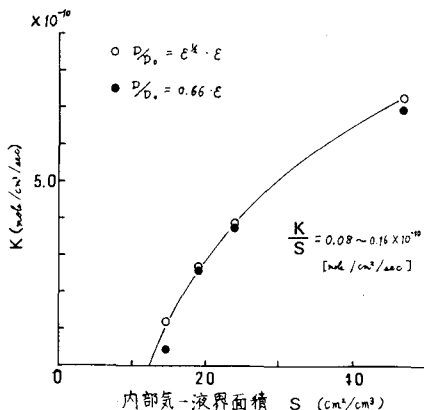


図6 内部気-液界面面積 S と反応速度定数 K との関係