

京大工 高松武一郎 内藤正明・李 錦榮

活性汚泥法においてはばつ気槽に供給された酸素および基質が好気性微生物に利用されるまでに受ける物質移動抵抗を知ることはばつ気槽の設計および操作の選定上きわめて重要なことである。ばつ気槽の酸素供給、反応に関して従来から数々の研究がなされているが、その多くは気体から液体への溶解過程に関するもので一旦水中に溶解した酸素の微生物体内への移動に関する研究は少ない。活性汚泥は常に凝塊 (floc) を形成しているため、酸素は凝塊周囲の境界層および凝塊中に拡散して浸透することにより微生物に利用される。このため個々の菌体の酸素消費速度によつて液中の物質移動速度が変わってくる。本研究では微生物菌体の酸素呼吸速度 (または基質代謝速度) が液本体にどの程度の影響を及ぼすかを考察するもので、簡単のため (1) 凝塊はすべて球体とし (2) 凝塊内の微生物分布および活性は一様とし (3) 凝塊内の物質移動は分子拡散のみによるものとした。

基礎式 - 半径方向のみの分子拡散を仮定すれば凝塊内の基質濃度変化は

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{D}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(r^2 \frac{\partial C}{\partial r} \right) + \phi(C) \quad (1)$$

$$C(0, r) = C_0(r) \quad C(t, 0) = C_s \quad C(t, R) = \text{finite} \quad (2)$$

ここで C : 基質 (または酸素濃度) (mg/l) r : 凝塊中心からの距離 (cm) R : 凝塊の相当半径 (cm) $\phi(C)$: 微生物による反応速度項 ($\text{mg/l} \cdot \text{sec}$) D : 拡散係数 (cm^2/sec) t : sec Mueller⁽²⁾ は零次反応の場合について sec 以後では定常状態としてもその差は 1.0% であるとしている。ここでは液本体の酸素濃度が常に一定に保たれるものとし定常状態として考察を行なった。

速度項の検討: 活性汚泥による酸化反応は従来から Michaelis-Menten の式で表わされているが、これは個々の菌体に対して総括的な反応型であり、また酸素の供給が十分であるという仮定に基づいている。個々の菌体についての呼吸速度は Michaelis-Menten 型になっていることは好気性醗酵の分野で数々の実験から明らかになっており、拡散が反応速度を律速する場合もしばしばある。

酸素が凝塊中に拡散していく際物質移動抵抗を受けながら一部消費されるので、凝塊中心近くでは酸素濃度が低く無酸素領域 (anoxic core) が生ずることも考えられる。微生物の酸素消費は呼吸に關する酵素系による触媒反応であり、複雑な経路を辿っている。簡単のため反応の模型を次の二段階からなるものとする。最初に基質と酵素が結合し活性錯合体を生成し、これに酸素が結合して生成物となる。すなわち (1) $E + S \rightleftharpoons ES$ (2) $ES + O_2 \rightarrow \text{Product}$

酸素が不足している場合 (2) が律速段階になり、基質が不足な場合は (1) が律速段階になる。

したがって 反応速度項は一般的に

$$r_e = - \left(\frac{k_1 C_1}{k_{-1} + C_1} \right)^{m_1} \left(\frac{k_2 C_2}{k_{-2} + C_2} \right)^{m_2} \quad (3)$$

律速段階が (1) の場合 $m_1 = 0$ $m_2 = 1$ C_2 : 基質濃度 (3-1)

律速段階が (2) の場合 $m_1 = 1$ $m_2 = 0$ C_1 : 酸素濃度 (3-2)

(1)式と(2)式を(3-1)または(3-2) および定常状態の仮定から次式が得られる。

$$D\left(\frac{dc}{dr^2} + \frac{2}{r}\frac{dc}{dr}\right) - \frac{KC}{b+C} = 0 \quad (4)$$

$$C(R) = C_s \quad C(0) = \text{finite} \quad (5)$$

更に簡単にするため 反応速度定数の両極端について考える。今 $b \ll C$ とし、 $1/R = \xi$ $C = C_s$ と置けば境界条件の式は $C(1) = 1$ $C(0) = \text{finite}$ (6)

になり(4)式を(6)式の境界条件で解くと

$$C = 1 - \frac{M^2}{6}(1 - \xi^2) \quad M = \sqrt{\frac{KR^2}{D}} \quad (7)$$

M をパラメータとして、粒子半径方向の濃度分布を図-1に示した。液本体における物質移動量を W とすれば

$$W = -4\pi R^2 \cdot n \cdot N = -4\pi R^2 n \cdot D \left. \frac{dc}{dr} \right|_{r=R} \quad (8)$$

ここで n は凝塊の数を表す。汚泥濃度を S 、凝塊の密度を ρ_0 とすれば $n = \frac{S}{\rho_0 \cdot \frac{4}{3}\pi R^3}$ (9)

$$\text{よって(9)式から } W = \frac{S}{\rho_0} \cdot K \cdot R \quad B = \frac{S}{\rho_0} \cdot K \quad (10)$$

となり S が一定ならば、凝塊の大きさと無関係に一定になる。また(4)式の $b \gg C$ とすれば、反応項は1次反応になり、一般解は $C = \frac{A_1}{R\xi} \cosh M\xi + \frac{B_1}{R\xi} \sinh M\xi$ (11)

(11)式の境界条件で解くと

$$C = \frac{1}{3} \frac{\sinh M\xi}{\sinh M} \quad (12)$$

$$W = - \frac{S \cdot 4\pi R^2}{\rho_0 \cdot \frac{4}{3}\pi R^3} \cdot D \left. \frac{dc}{dr} \right|_{r=R} = \frac{3B}{R\xi} (1 - M \coth M) \quad (13)$$

M をパラメータに(12)式を図-2に示した。また凝塊半径 R 時の物質移動量(W/W_0)とした場合、各凝塊半径 R についての物質移動量を W とし、 (W/W_0) に対する W/W_0 をプロットすれば図-3の様になる。すなわち菌体の反応速度が1次反応の場合、凝塊の半径が増加すると従って液本体の物質移動速度が減少する。結局凝塊を攪拌またはエアレーションによって小さくすることは全体として反応速度を早めることになる。また

図-1および図-2からわかるように R が大きい場合、凝塊全部を活性部分とみなす事はできず凝塊中心部付近では嫌気性になり、良好な汚泥が得られない。一方凝塊を余り小さくすると分離は困難となる。その折衷合いを考慮する必要があるが凝塊を大きく保ちつつ活性部分を多くする光のの方法として、酸素素あるいは高圧空気を供給することによって液本体の酸素濃度を高めることができる。参考文献 (1) 醗酵工学誌 37, 38, 39, 81 (2) Applied Microbiol. 15, 1167

Fig.-1 concentration distribution in a sphere(zero-order reaction)

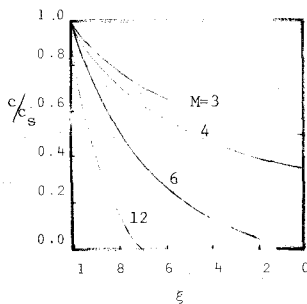


Fig.-2 concentration distribution in a sphere(1st-order reaction)

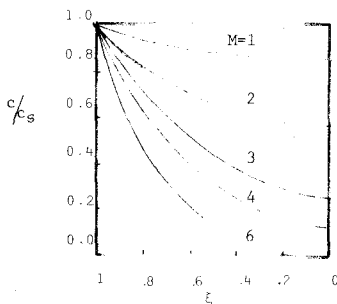


Fig.-3 relative mass transfer rate

