

II-101

固定化微生物の基質利用速度に関する研究

岩手大学工学部 学○宮田 健

正 海田輝之 大村達夫 相沢治郎

1. はじめに

近年、微生物を種々の方法で固定化することにより、反応器内に微生物を高濃度に保持し、反応器単位容積当りの反応速度を高めようとする試みが行われている。このような廃水処理システムの処理効率を予測したり、システムの運転条件を決定する上で微生物の動力学定数の値は重要な意味を有している。動力学定数の値は、微生物の反応器内での存在形態の相違、即ち、微生物が分散した状態で存在するか、あるいは何等かの担体の表面や担体内部に付着しているか等によって異なる¹⁾。そこで、本研究では微生物の比基質消費速度がMichaelis-Menten式で与えられるとき、微生物が固定化されている場合の、動力学定数値について検討したものである。

2. 物質の移動と消費を考慮した場合の速度式

流出水の返送を行わない完全混合反応器内で固定化微生物による反応が生じている場合を考える。反応器内でペレットが同一の形態を有し、ペレットのまわりをstagnant layerが取り囲んでいるとする。ペレット内外の基質濃度を図-1のように考える。 C_{so} と C_{si} は分配係数 K を用いて通常 $C_{si} = K C_{so}$ (1) と表される。定常状態時の基質の物質収支を取ると、 $(C_{in} - C_b)/T = N_p A_p' J$ (2) ここで、 C_{in} : 流入基質濃度、 T : 水理学的滞留時間、 N_p : 反応器単位容積当りのペレット数、 A_p' : stagnant layerの厚さも含めたペレットの表面積、 J : bulkからstagnant layerへの基質のフラックス、である。式(1)の A_p' は物質移動係数 k_p を用いて表すと、

$$A_p' J = A_p k_p (C_b - C_{so}) \quad (3) \quad \text{ここで、} A_p: \text{ペレットの表面積である。}$$

定常状態時ではbulkからstagnant layerへ流入する単位時間当りの基質量が微生物によって消費される基質量と等しいので、

$$A_p' J = \int X_{pr} \nu(C_p) dV_p = \eta_p \nu(C_{si}) \int X_{pr} dV_p = \eta_p X_p \nu(C_{si}) V_p \quad (4)$$

ここで、 X_{pr} : ペレットのある点での単位体積当りの乾燥cell量、 X_p : ペレットの単位体積当りの乾燥cell量、 V_p : ペレットの体積、 ν : 比基質利用速度、であり、 η_p は有効係数で

$$\eta_p = \int X_{pr} \nu(C_p) dV_p / X_p \nu(C_{si}) V_p \quad (5)$$

で定義される。比基質利用速度がMichaelis-Menten式で表されるとし、最大比基質利用速度を ν_m 、Michaelis定数を K_m とすると、 $\nu(C_{si}) = \nu_m C_{si} / (C_{si} + K_m)$ (6)

Powell²⁾が分散した状態で存在する微生物について、bulkからstagnant layerへの物質移動を考慮して誘導した方法と同様に式(1)、(3)、(4)から C_{si} を求め、式(6)に代入し、 ν について解き、プラスの項をとると(マイナスの項をとると $\nu/\nu_m > 1$ となる)、

$$\frac{\nu}{\nu_m} = \frac{(C_b + K_m/K + \delta_p)}{2\delta_p} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \frac{4C_b\delta_p}{(C_b + K_m/K + \delta_p)^2}} \right\} \quad (7)$$

ここで、 $\delta_p = (V_p/A_p)(X_p/k_p)\nu_m\eta_p$ であり、 $V_p/A_p = R_p/3$ (R_p はペレットの代表的な長さであり、ペレットを球とすると半径に相当する)とし、Sherwood数を Sh_p ($Sh_p = k_p R_p/D$ 、 D は基質の液中での拡散係数)として δ_p を表すと、

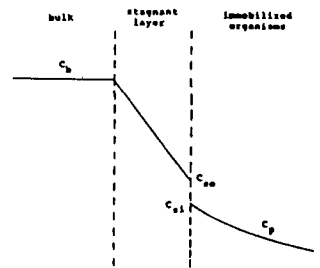


図-1 ペレット内外の基質濃度

$\delta_p = (\phi_m^2 \eta_p / 3 Sh_p) K_m$ (8) となる。ここで、 $\phi_m^2 = \nu_m X_p R_p^2 / K_m D$ 、即ち、液中での基質の拡散係数で表したThiele's modulusである。式(7)中の平方根の項をTaylor展開し、整理し、 $C_b \delta_p / (C_b + K_m / K + \delta_p)^2 \ll 1$ のとき、

$$\nu = \nu_m C_b / (C_b + K_m / K + \delta_p) \quad (9)$$

となり、見かけのMichaelis定数 K_{ma} を、 $K_{ma} = K_m / K + \delta_p$ とおけば、bulkの基質濃度 C_b で表しても、Michaelis-Menten式が成り立つことを示している。つまり、ペレットの形成を考慮しないで C_b と反応器内の生物量で比基質利用速度を求めると、式(4)で

$$\nu (C_{si}) \eta_p = \eta_p \nu_m C_b / (C_b + K_m / K + \delta_p) = \nu_{ma} C_b / (C_b + K_{ma}) \quad (10)$$

として、見かけの速度定数 ν_{ma} および K_{ma} を求めていることになるので、 ν_{ma} は微生物に固有の真の ν_m の値より η_p 倍大きく（実際は $\eta_p < 1$ ）、 K_{ma} は真の K_m を K で割りさらに δ_p を加えた分だけ大きく見積っていることになる。

3. 実験装置および方法

担体に硝化菌を付着させるため三相流動床を用いた。カラムは内径5cm、高さ30cmのアクリル樹脂性の円筒である。カラム下部からエアープンプで空気を供給できるようにした。担体としてイオン交換樹脂（アンバーライト、IRA938）100ml（見かけ体積）、表-1に示す培地、そして植種として活性汚泥を入れ、回分的に培養し、基質が消費された時点で、新たな培地に入れ替えるという操作をくり返した。 NH_4-N の消費速度が一定になった後、カラムより採取した担体8mlと所定の濃度に調整した基質60mlを300mlの三角フラスコに入れ、20℃、120rpmで振とう培養を行なった。 NH_4-N 濃度は1～30mg/lの間で5段階に変化させ、担体そのままの場合と、担体を破壊して菌を分散状態にした場合の両方について、経時的に NH_4-N 濃度の変化を測定し初期基質消費速度を求めた。また、分配係数 K は、 NH_4-N 濃度が30mg/lの基質5ml、菌が付着していない担体5mlを50mlの比色管に入れて密栓し、20℃の恒温槽内に約6時間放置した後の基質濃度から求めた。

表-1 基質組成

$(NH_4)_2SO_4$	0.1415g
(30mg as N)	
NaCl	0.085g
K_2HPO_4	0.283g
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.085g
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0.0085g
Tap Water	1.0l

4. 実験結果および考察

初期 NH_4-N 濃度 C (mg/l)と担体1ml当りの比基質利用速度 ν (mg-N/ml-media · hr)との関係を、担体そのままのものと、担体を破壊し分散状態にしたもの、それぞれについて図-2に示す。図中の曲線はLineweaver-Burkプロットから求めたもので（相関係数は各々0.984, 0.991）、この場合には双方とも ν はMichaelis-Menten式で表わされ、担体そのままの場合： $\nu = 0.015C / (4.527 + C)$ 、担体を破壊した場合： $\nu = 0.017C / (3.236 + C)$ となった。分配係数は、実験より0.95であったので式(10)より $\delta_p = 1.12$ mg/l、 $\eta_p = 0.89$ となり、式(8)より、 ϕ_m^2 / Sh_p の値は1.17となった。今後は Sh_p と ϕ_m^2 の値から δ_p を予測し、実測値と比較する必要がある。

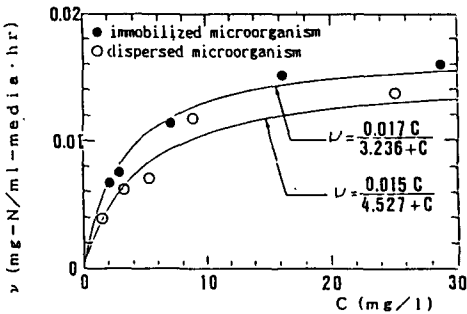


図-2 比基質利用速度

参考文献 1) 千畑一郎編(1986) 固定化生体触媒 講談社 2) Powell, E.O. (1967) The growth rate of microorganisms as a function of substrate concentration, Her Majesty's Stationary Office.