

九州大学工学部 学生員○今井 剛
京 都 府 河村幸雄
九州大学工学部 正 員 楠田哲也

1. はじめに

付着生物膜型廃水処理においてその処理水質を予測する際に、生物膜内の各菌体の分布特性を把握することは大変重要である。そこで本研究では生物膜内の各菌体の分布特性の把握を目的として、嫌気性流動床内の担体付着生物膜を段階的に剥離させ、その基質消費活性を測定した。その実験結果から膜内において活性菌、死滅菌に加えて新たに“休眠状態の菌”の存在について検討を行なった。さらに“休眠状態の菌”をこれまでの生物膜モデルに導入することにより、より正確な処理水質の予測ができるモデルへと改良し、実験結果と比較することによりその妥当性を検討した。

2. 生物膜内における比活性の分布特性の実験的把握

濃度1000mg-COD/lの混合酸基質(酢酸(HAc)、プロピオン酸(HPr)、n-酪酸(n-HBu))を水理学的滞留時間が0.25dayとなるように連続投入して嫌気性流動床を長期間運転し、定常状態に達した担体付着生物膜について、付着菌体の基質消費速度の測定と、段階的に剥離させた菌体および残留菌体の基質消費速度の測定に関する実験を行なった。初期濃度が500mg-COD/lとなるように単一基質(HAc、HPr、n-HBu)を投入し、揮発性脂肪酸(VFA)濃度の経時変化を測定し基質消費速度を求めた。担体付着菌体に関しては流動床本体による回分実験を行なった。また、剥離菌体に関しては流動床内から採取した担体について剥離操作を繰り返して剥離懸濁液を分取し、バイアルビンを用いて回分実験を行なった。剥離後の残留菌体についてもバイアルビンを用いて回分実験を行なった。

図-1(a)、(b)に示す基質消費曲線から最大消費速度を求め、最大比増殖速度と増殖収率を仮定^{1),2)}して換算した初期活性菌体量(X_a)を菌体量(VSS)当たりの値(X_a/VSS)に直して比活性を比較した。図-2に示すようにどの基質も剥離の段階を追って活性は低下し、膜の深部ほど活性が低下していることがわかる。これは剥離が頻繁に起こる表層部に活性菌体が多く存在することを示している。また、各基質分解菌について X_a/VSS の値はHAc、HBu、n-HPr利用菌の順に小さくなり、HAc利用菌は表層部に特に多く存在し、HBu、n-HPr利用菌は内部での存在比率の差が小さい。HAc利用菌の存在比率が高いのは、HAcの投入濃度がHPr、n-HBuより高く、HPr、n-HBuの分解からHAcが生成されるため、HAc利用菌の菌体量も増加して基質と接触が容易な表層部に多く分布するようになるからと考えられる。投入基質濃度が同じHPr、n-HBu利用菌の表層部における差は、菌体の増殖速度の差と付着能の差が原因であると推察される。どの基質消費菌も活性菌体の存在割合は担体付着菌体よりも剥離菌体の方が大きく、このことから生物膜内で基質が供給されず活動を休止している休眠状態の菌が存在することが予想される。一方どの基質消費菌についても剥離菌体、残留菌体および活性菌体量の総和は担体付着生物膜内における活性菌体の総量よりも多いことが図-3からわかる。この結果からも休眠状態の菌体の存在が示唆されていると考えられる。剥離菌体、残留菌体および活性菌体量の総和と担体付着生物膜内における活性菌体の総量の比較から、担体付着生物

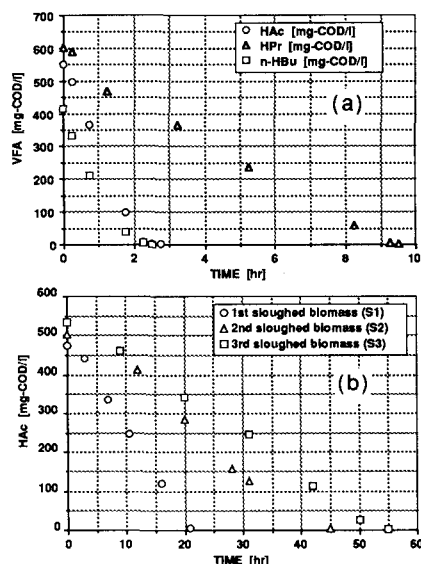
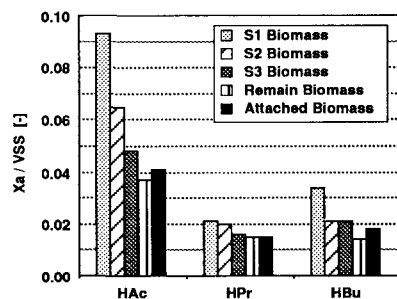


図-1 各基質消費速度の測定
(a)流動床本体回分実験
(b)剥離部位別回分実験



X_a : Values are estimated based on the Kinetic method.

図-2 剥離部位別及び付着状態での各基質消費菌の非活性の比較

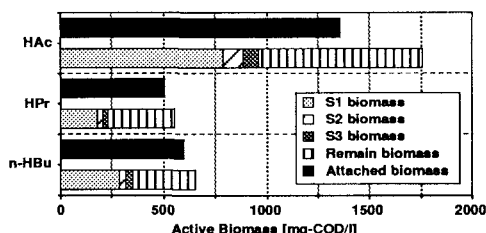


図-3 剥離部位別及び付着状態での活性菌体量の比較

膜内における活性菌体の総量の1～2割に当る休眠状態の菌体が生物膜内に存在すると考えられる。

3. 生物膜モデルによる各菌体量の膜内分布の推定

ある点における生物膜の経時変化の集合が生物膜の空間変化の集合に等しいと仮定して、生物膜モデルを構築した。さらに本モデルでは、休眠状態の菌を「基質が供給されずに休眠状態にあるが、基質の再供給とともに活性化する菌」と定義してこの概念を導入した。本モデルに関する各収式を表-1に、生物膜モデルおよびその剥離形態の模式図を図-4に示す。計算時の初期値には文献値¹⁾と本流動床を用いた推定値²⁾を用い、各菌体量の初期値はそれぞれの分割された層において一定であるとした。また、休眠状態の菌は基質濃度が5mg-COD/l以下になると生じるとした。この休眠状態の菌の死滅係数(K_d)は活性菌の半分値とし、休眠係数はその死滅係数を考慮して0.01day⁻¹と仮定した。シミュレーションでの定常膜厚は実験結果から推定した170μmを用いた。

表-1 一次元生物膜モデルの収式

$\frac{\partial S_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial S_i}{\partial z} \right) + R, R = -\frac{1}{Y_i} \frac{dX_{ai}}{dt}$	...	(1)
$\frac{dX_{ai}}{dt} = \left(\mu_{mi} \cdot \frac{S_i}{K_{si} + S_i} - K_{di} - K_{gi} - K_{ei} \right) \cdot X_{ai}$	...	(2)
$\frac{dX_{gi}}{dt} = K_{gi} \cdot X_{ai} - (K_{ei} + K'_{di}) \cdot X_{gi}$	...	(3)
$\frac{dX_{li}}{dt} = X_{ai} \cdot K_{di} + X_{gi} \cdot K'_{di} - (K_{ei} + K_{fi}) \cdot X_{li}$	...	(4)
$\frac{dP_i}{dt} = \alpha_i \cdot \mu_{mi} \cdot \frac{S_i}{K_{si} + S_i} \cdot X_{ai} - (K_{ei} + K_{fi}) \cdot P_i$	...	(5)

$i = A(\text{HAc}), P(\text{HPr}), B(\text{HBu}), H(\text{H}_2)$

S: 基質, X_a: 活性菌体量, X_i: 死滅菌体量, X_g: 休眠菌体量, P: ポリマー、
t: 時間, z: 膜厚方向の厚さ, μm: 最大比増殖速度, K_s: 飽和定数、
K_d: 死滅係数, K_g: 休眠係数, K_e: 剥離係数, K_f: 分解定数, α: ポリマー生成率

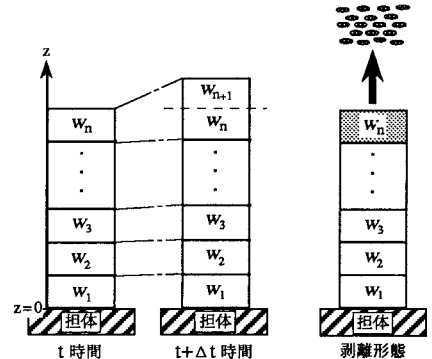


図-4 一次元生物膜モデル及び剥離形態模式図

生物膜が定常状態に達したと考えられる約1000時間経過後の膜内での比活性分布の計算結果を図-5に示す。併記した剥離菌体と残留菌体の実験値と比較すると、表層付近で計算値が実測値よりかなり大きい、膜内の比活性は実験でも表層付近で最も高くなる傾向を示したことから、ほぼ実測値の傾向を表現できていると考えられる。また、生物膜をより細かく剥離して実験を行なえば、より計算値と一致すると予想される。一方、深層部では計算値が実測値より低くなるが、より深層ほど比活性は低下すると推定され、ほぼ実測値の傾向を表現できていると推察される。図-6に各菌体量の構成比の膜方向分布を示す。この図より休眠状態の菌は表層部にほとんど存在せず内層で蓄積する傾向があることがわかる。また、生物膜内での休眠状態の菌体の総量は活性菌体の全存在量の約1割にあたり、実験結果から推定した休眠状態の菌の活性菌体量に対する割合(1～2割)とおおむね一致する。よって休眠係数として仮定した0.01day⁻¹はほぼ妥当であったと考えられる。

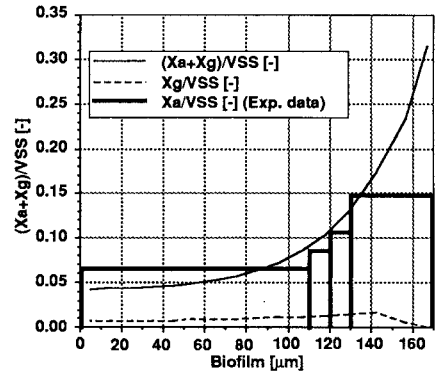


図-5 生物膜内比活性分布の

4. おわりに

本研究では、嫌気性流動床内の担体附着生物膜を段階的に剥離させてその基質消費活性を測定し、その実験結果から膜内における「休眠状態の菌」の存在に関する検討を行なった。さらに「休眠状態の菌」をこれまでの生物膜モデルに導入し、実験結果と比較することによりその妥当性を検討した。その結果、「休眠状態の菌」が生物膜内に存在することが実験的に示唆され、その量は生物膜内の活性菌体量の1～2割に相当すると推察された。また、本モデルにより活性菌体及び休眠菌体の膜方向分布をほぼ表現でき、本モデルの妥当性が示されたと考えられる。

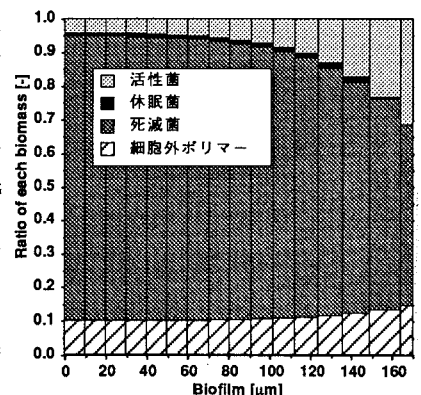


図-6 各菌体量の膜方向分布

- [参考文献] 1) Lawrence A.W., et al. Journal of WPCF, 41, R1-R7, 1969.
2) Furumai, H., et al., Wat. Sci. Tech., Vol.23, Kyoto, pp1327-1336, 1991.