

嫌気性流動床における生物膜の最適制御について

九州大学工学部 学生員○今井 剛

同 上 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、付着菌体の増殖・死滅に伴う生物膜の剥離機構を明瞭にすることは、処理プロセスの構築、維持管理における生物膜の制御による安定した処理水質の確保、あるいは数学モデルによる水質予測等の観点から考えても重要であること明らかである。従来の生物膜制御においては付着VSS量を基準としてSRTを判断しており、処理に有効に働く菌体の全生物量に対する割合

が低下しても付着VSS量に変化がなければ、判断の基準が存在しないことになり¹⁾、不正確が残る。従って、このような曖昧さを排除し、処理を効率よく行うためには、基質の代謝を行う菌体の種毎に剥離係数をもとにした生物量の制御を行えるようにすることが重要であると考えられる。よって、本研究では生物膜の剥離形態が膜内微生物分布に及ぼす影響をシミュレーションによって予測し、最適な微生物分布を得るための担体付着生物膜の剥離方法を明らかにすることを目的としている。

2. 生物膜モデルの展開

ある点における生物膜の経時的变化の集合は、生物膜の空間的变化の集合に等しいと仮定し、生物膜の剥離形態が膜内微生物分布に及ぼす影響を表現できるモデルを構築する。本モデルにおける仮定は以下に示す通りであり、各収式を表-1に示す。

①分割された各層内の基質濃度は一定である。

②菌体増殖はMonod式で表現できる。

③菌体量は動力学的に求められる“活性菌体量”(Xa)²⁾で表現できる。

④基質(S)は酢酸(HAc)、プロピオン酸(HPr)、n-酪酸(n-HBu)、水素(H₂)の4種である。

⑤細胞外ポリマー(P)は活性菌体の全てが生成し、その量は各活性菌体の増殖量に比例する。

⑥死滅菌体(XI)及び細胞外ポリマーはその量に比例して分解される。

生物膜の模式図を図-1に示す。各層の生物膜厚の初期値を10[μm]、全体の合計膜厚を100[μm]と設定した。図示しているように生物膜の生長により膜厚が初期値の2倍に達した場合にその層の分割を行い、膜層を増加させる。生物膜の剥離形態は図-2に示してあるように、Case. I : ある一定膜厚以上に達すれば生物膜の表面から順次剥離する。Case. II : ある一定膜厚以上に達すれば表層のみが剥離する。Case. III : 任意の層からランダムに剥離する(但し、時間平均はある一定値をとる)。

の3つのパターンを考える。計算順序を図-3のフローチャートに示す。

3. 結果と考察

計算に用いた初期値については流動床の有効容積、流量、各基質の流入濃度は実験値を用い、動力学定数は本流動床を用いて推定した値²⁾を用いた。各菌体量の初期値は、各層において一定であると仮定した。また、Case. I 及び Case. II での定常膜厚は110[μm]、Case. IIIの平均膜厚も110[μm]と設定した。図-4(a),(b),(c)にそれぞれのCaseにおける活性菌体量、死

表-1 一次元生物膜モデルの収式

$$\frac{\partial S_i}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial S_i}{\partial z} \right) + R, \quad R = -\frac{1}{Y_i} \frac{dX_{ai}}{dt} \quad \dots (1)$$

$$\frac{dX_{ai}}{dt} = \frac{\mu_{mi} \cdot S_i \cdot X_{ai}}{K_{si} + S_i} - K_{di} \cdot X_{ai} - K_{ei} \cdot X_{ai} \quad \dots (2)$$

$$\frac{dX_{II}}{dt} = K_{di} \cdot X_{ai} - K_{ei} \cdot X_{II} - K_{fi} \cdot X_{II} \quad \dots (3)$$

$$\frac{dP_i}{dt} = \alpha_i \cdot \frac{\mu_{mi} \cdot S_i \cdot X_{ai}}{K_{si} + S_i} - K_{ei} \cdot P_i - K_{fi} \cdot P_i \quad \dots (4)$$

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

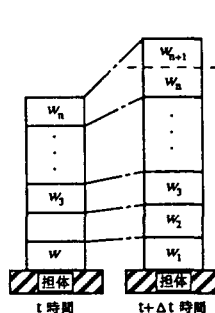


図-1 一次元生物膜モデル

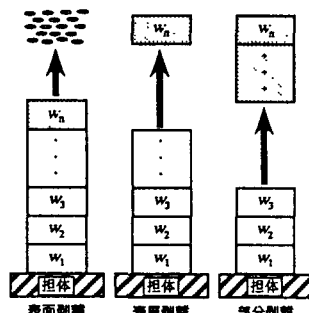


図-2 生物膜の剥離形態

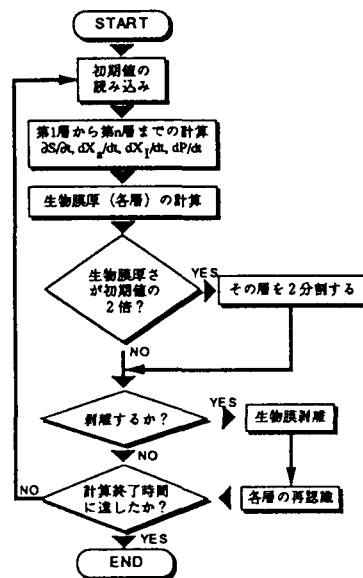


図-3 計算フローチャート

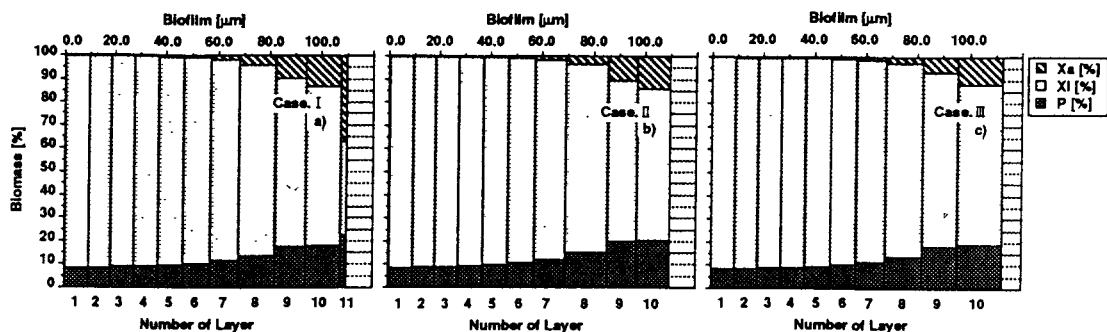


図-4 各菌体量の膜方向分布

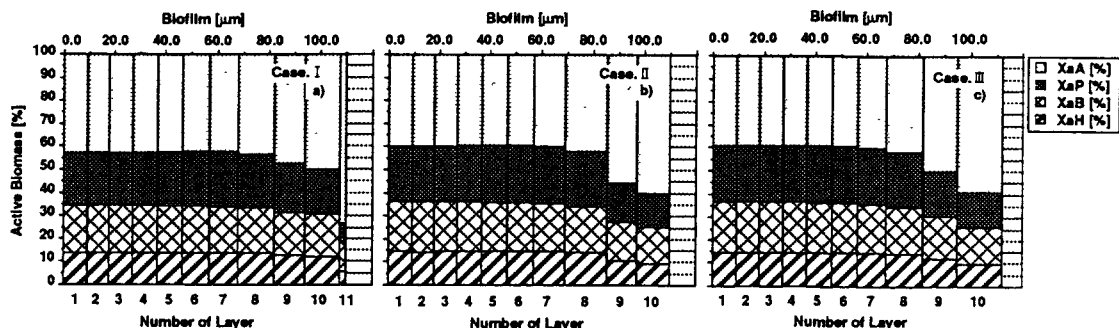


図-5 各基質消費菌の膜方向分布

滅菌体量、細胞外ポリマーの構成比の膜方向分布を示した。これらの図は、各Caseにおいて定常状態に達したと考えられる5000時間経過後のものである。各図から、活性菌は生物膜表層部へと移動し、表層部での活性菌の増殖が著しいことが解る。一方、生物膜底層部においては活性菌が表層部に移動して、ほとんどの基質を消費してしまい、中・底層部では活性菌が利用できる基質が限定されてしまう。よって、生物膜の中・底層部において活性菌の死滅が増殖に優るといふ現象が生じ、活性菌の極端に少ない不活性な領域となっている。Case. I 及びCase. II の剥離条件下で形成される生物膜は、剥離が表層部のみで生じることから、不活性な生物膜の領域がより促進されると予測される。それによって処理装置の閉塞の危険性を大きくする一時的な大量剥離による処理水質の悪化の危険性と、その結果として表層付近に集中している活性菌がほとんど残らないような剥離により処理水質が悪化してしまう可能性が生じる。従って、今回のシミュレーションでは顕著な違いは生じなかったものの、生物膜底層部における不活性化を防ぐための有効な剥離形態は、生物膜の中・底層部も活性菌の存在する“活性膜”を作ること、言い換えれば、生物膜内における活性菌の分布をできるだけ一様にする剥離方式が採用されるべきであると考えられる。図-5 (a), (b), (c) にそれぞれのCaseにおける基質別活性菌体量の構成比の膜方向分布を示した。これらの図も図-4 と同様に5000時間経過後のものである。各図からHAc消費菌の比率が一番大きいことが解るが、これは流入濃度がHPr, HBUの2倍であり、HPr, HBUの分解からもHAcが供給されることから説明できる。HPr, HBU, H_2 消費菌は表層部よりも内層における比率が大きくなっており、基質が豊富なHAc消費菌との競合の結果によるものと考えられる。また図-5 (a)における最表層の比率をみると、HBU消費菌がHPr消費菌よりも比率が高くなっている。流入基質濃度が同じで、仮定した増殖収率も同じであるにもかかわらず比率の違いが生じた理由としては、HBU消費菌の最大増殖速度はHPr消費菌よりも大きく、剥離速度の大きな表層においては増殖するのに有利であることが挙げられる。

4. おわりに

本研究では、生物膜の剥離形態の違いが生物膜分布に及ぼす影響をモデルシミュレーションによって予測した。その結果、部分的かつ比較的大規模な剥離によって生物膜底層部の不活性化を防ぎ、最適な生物膜分布を維持することが可能であると推察された。今後は、実験によりその予測の妥当性を検討する予定である。

【参考文献】 1) 今井ら、衛生工学研究論文集、Vol.28, pp.11-20, 1992.

2) Furumai, H., et al. Wat. Sci. Tech., Vol.23, Kyoto, pp.1327-1336, 1991.