

II-385

嫌気性流動床における生物膜の最適制御に関する研究

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。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、不正確さが残る。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、最適な廃水処理を行うための評価基準を設け、担体付着生物膜の剥離方法の評価を行う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変化の集合は、生物膜の空間変化の集合に等しいと仮定することにより、生物膜の経時変化をその空間変化に置き換えることができる。この仮定のもとで、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。本モデルに関する仮定は以下に示す通りであり、各収支式を表-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²⁾で表現できる。
- ④ 基質は酢酸(HAc)、プロピオン酸(HPr)、n-酪酸(n-HBu)、水素(H₂)の4種である。

- ⑤ 細胞外ポリマーは活性菌体の全てが生成し、その生成量は各活性菌体の増殖量に比例する。
- ⑥ 死滅菌体及び細胞外ポリマーはその存在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]、全体の合計膜厚の初期値を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、層の数を増加させる。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。

3. 結果と考察

計算時の初期値としては流動床の有効容積、流量、各基質の流入濃度には実験値を、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 の平均膜厚は100[μm]と設定した。図-3(a), (b), (c) にそれぞれのCaseにおける活性菌体量、死滅菌体量、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約10000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集中し、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、表層部の活性菌がほとんどの基質を消費してしまい、中・底層部では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

表-1 一次元生物膜モデルの収支式

$$\begin{aligned} \frac{\partial S_i}{\partial t} &= \frac{\partial}{\partial z} \left(D \frac{\partial S_i}{\partial z} \right) + R, \quad R = -\frac{1}{Y_i} \frac{dX_{ai}}{dt} \quad \dots (1) \\ \frac{dX_{ai}}{dt} &= \left(\mu_{mi} \cdot \frac{S_i}{K_{si} + S_i} - K_{di} - K_{ei} \right) \cdot X_{ai} \quad \dots (2) \\ \frac{dX_{li}}{dt} &= K_{di} \cdot X_{ai} - (K_{ei} + K_{fi}) \cdot X_{li} \quad \dots (3) \\ \frac{dP_i}{dt} &= \alpha_i \cdot \mu_{mi} \cdot \frac{S_i}{K_{si} + S_i} \cdot X_{ai} - (K_{ei} + K_{fi}) \cdot P_i \quad \dots (4) \end{aligned}$$

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

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

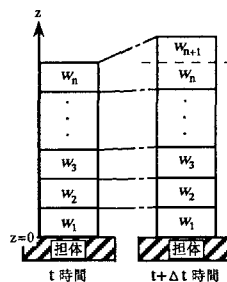


図-1 一次元生物膜モデル

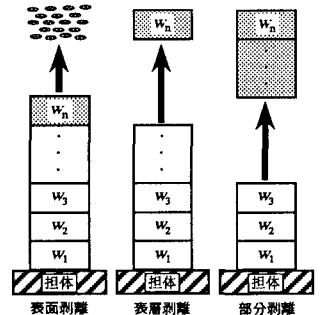


図-2 生物膜の剥離形態

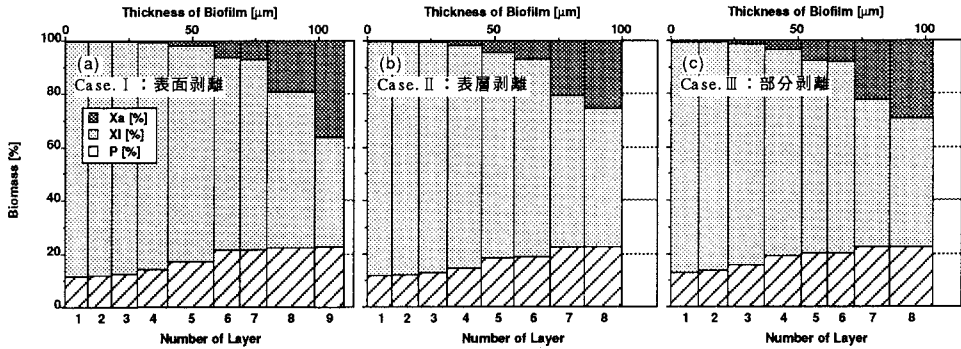


図-3 各菌体量の膜方向分布

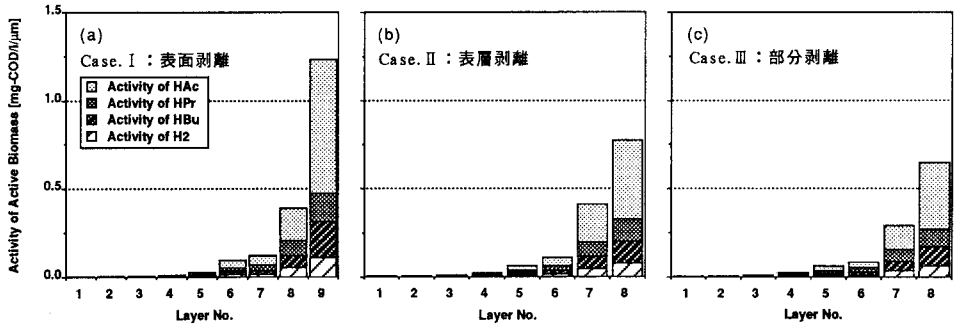


図-4 膜厚あたりの各基質消費量の膜方向分布

死滅が増殖に優るとい現象が生じ、活性菌の極端に少ない領域となっている。よって、生物膜底層部における不活性化を防ぐためには、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、つまり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望ましいと考えられる。しかし、生物膜内における付着機構に関する知見は少なく、活性菌、死滅菌、バイオポリマーのそれぞれの付着強度については不明瞭な点が多い。また基質が届かないことによって活性菌が休眠する可能性があり²⁾、その付着強度も無視できないと考えられる。これらのことから、一概に活性菌の有無により生物膜の不活性化を判断することは難しいと考えられる。最適な処理を行うための評価基準として、生物膜内における各基質消費総量を考え、それを比較することによって最適剥離手法を評価する。図-4 (a), (b), (c) にそれぞれのCaseにおける膜厚あたりの各基質消費量の膜方向分布を示した。これらの図も図-3と同様に約10000時間経過後のものである。これらの図から最表層に比べて内層における各基質消費量が著しく低下していることがわかる。また、Case. Iにおける第2層以下の各基質消費量の低下が最も大きいことがわかる。よって、Case. I及びCase. IIのように剥離が表面付近のみで生じる場合には、活性菌の少ない生物膜の領域がより増加すると予測される。図-5に剥離法別の生物膜内における各基質消費総量を示した。但し、各基質消費総量としてCase. Iは15000時間の定常値、Case. IIは15000時間付近の1周期分の平均値(最表層が剥離してから、再度剥離するまでを1周期とする)、Case. IIIは10000~20000時間の平均値をとった。図-4及び図-5から生物膜内における各基質消費量はCase. I、Case. II、Case. IIIの順に大きいことがわかる。前述した評価基準により、最適な処理を行うためにはCase. Iの剥離方法を選択すべきであると考えられる。

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、表面剥離法によって最適な処理を行うことができることが推察された。しかし、表面剥離法では、生物膜内部に活性菌が少ない領域が促進される可能性が存在し、今後の課題である。また、実験によりこの予測の妥当性も検討する必要がある。

- [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.
3) 今井ら、水環境学会誌、Vol.15, No.3, pp.179-186, 1992.

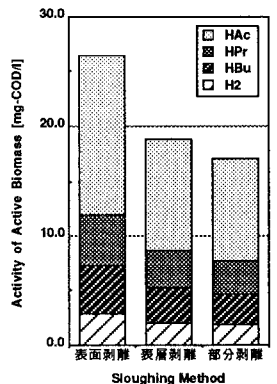


図-5 剥離手法別の各基質消費総量の比較