

II-137 嫌気性流動床における不活性固形有機物の蓄積過程のモデル化について

九州大学工学部 学生員○今井 剛 学生員 久場隆広
同 上 正 員 古米弘明 正 員 楠田哲也

1. はじめに

著者らは、嫌気性流動床のメタン生成過程において、流入有機物濃度や水理学的滞留時間(HRT)が変化した場合に起こる非定常な処理水質の応答性を表現できるモデルについての検討を進めてきた¹⁾。このモデルにおいては、従来から菌体量指標として用いられてきた

表-1 バイオポリマーのモデル式

担体付着ポリマー収支式（担体付着菌体から生成されるもの）

$$\frac{dP_{ob}}{dt} = \alpha_A \frac{\mu_{mbA} \cdot S_A \cdot X_{bA}}{K_{sA} + S_A} + \alpha_P \frac{\mu_{mbP} \cdot S_P \cdot X_{bP}}{K_{sP} + S_P} + \alpha_B \frac{\mu_{mbB} \cdot S_B \cdot X_{bB}}{K_{sB} + S_B} + \alpha_H \frac{\mu_{mbH} \cdot S_H \cdot X_{bH}}{K_{sH} + S_H} - K_e P_o \cdot P_{ob}$$

剥離ポリマー収支式（浮遊菌体から生成されるものと、担体から剥離したもの）

$$\frac{dP_{os}}{dt} = \frac{Q(P_{o0} - P_{os})}{V} + \alpha_A \frac{\mu_{msA} \cdot S_A \cdot X_{sA}}{K_{sA} + S_A} + \alpha_P \frac{\mu_{msP} \cdot S_P \cdot X_{sP}}{K_{sP} + S_P} + \alpha_B \frac{\mu_{msB} \cdot S_B \cdot X_{sB}}{K_{sB} + S_B} + \alpha_H \frac{\mu_{msH} \cdot S_H \cdot X_{sH}}{K_{sH} + S_H} + K_e P_o \cdot P_{os}$$

ただし、

S =基質濃度(mg-COD/l) K_s =飽和定数(mg/l) Q =流量(l/day) X =菌体濃度(mg-COD/l)
 μ_m =最大比増殖速度(day⁻¹) K_e =剥離係数(day⁻¹) V =反応器容積(m³) Y =増殖収率(mg/mg)
 α =ポリマー生成率(mg-COD_{poly}/mg-COD_{cell})

添え字 s:浮遊, b:付着, 0:流入, A:HAc, P:HPi, B:n-HBu, H:H₂, P_o :ポリマーの略

実験的にバイオポリマーの蓄積量を求め、モデルによる数値計算結果との比較・照合によるその妥当性の検討を行い、嫌気性流動床内の不活性固形有機物の蓄積についての評価を行った。

2. 固形有機物蓄積過程のモデル化

不活性固形有機物とは活性菌体として定量されない全ての固形有機物を意味し、活性菌体の死滅およびバイオポリマーの蓄積の総和によって生じると仮定した。その中でも、菌体の代謝物としてのバイオポリマーに注目し、その蓄積過程のモデル化を行った。

モデル化における仮定は、以下に示す通りである。

- (1) バイオポリマーは、すべての活性菌体が生成する。
- (2) バイオポリマーの生成量は、各活性菌体の増殖量に比例する。
- (3) バイオポリマーは各活性菌体と同様に担体より剥離する。

表-1にバイオポリマーに関するモデル式を示す。

3. 固形有機物蓄積測定実験

2.におけるバイオポリマーの蓄積量の数値計算結果との照合データを得るために、嫌気性流動床の流入負荷を1.0→2.0→4.0[kg・m⁻³・day⁻¹]に変化させ、バイオポリマーおよび総不活性固形有機物の蓄積量の経時変化を測定した。表-2に装置操作条件および流入基質の組成をまとめた。バイオポリマーの抽出法として冷温抽出法を用い²⁾、Anthrone法によって還元糖を、またLowry-Folin法によりタンパク質を測定し、その和をバイオポリマー量とした。

4. 結果と考察

4.1 水素利用メタン菌に関する評価 従来のモデルでは無視してきた水素利用メタン菌も、酢酸、プロピオン酸、およびn-酪酸の各基質利用菌と同様にMonod型でその増殖を表現した。水素利用メタン菌

表-2 装置操作条件と基質組成

【操作条件】	
容積負荷 (kg-COD・m ⁻³ ・day ⁻¹)	1.00→2.00→4.00
HRT (day)	1.00
流動床内温度(℃)	35.0
【基質組成】	
有機源 (mg-COD・l ⁻¹)	1000→2000→4000
HAc:HPi:n-HBu=2:1:1	
酵母エキス (mg・l ⁻¹)	10→20→40
無機塩 (mg・l ⁻¹)	
(NH ₄) ₂ HPO ₄ 700	MgCl ₂ ・6H ₂ O 810
KCl 750	MgSO ₄ ・7H ₂ O 250
NH ₄ Cl 850	CoCl ₂ ・6H ₂ O 18
FeCl ₃ ・6H ₂ O 420	CaCl ₂ ・2H ₂ O 150
緩衝剤	
NaHCO ₃ 2000	K ₂ HPO ₄ 2000

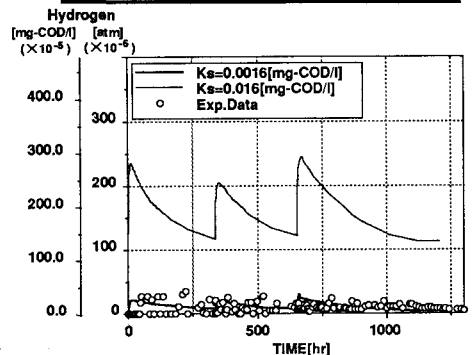


図-1 水素の計算結果および実測値

の最大比増殖速度、増殖収率、および飽和定数はそれぞれ文献値 $0.05[\text{hr}^{-1}]$, $0.05[\text{mg-COD} \cdot \text{mg-COD}^{-1}]$, $0.016[\text{mg-COD} \cdot \text{l}^{-1}]$ (平衡水素分圧 $10^{-7}[\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}]$ に相当)を用いた。図-2に示されたように飽和定数が $0.016[\text{mg-COD} \cdot \text{l}^{-1}]$ であるときは実測値を表現することはできず、 $0.0016[\text{mg-COD} \cdot \text{l}^{-1}]$ であるときに比較よく一致している。これは必ずしも気相水素分圧と溶存水素濃度が平衡状態になり可能性や、水素利用メタン菌と水素生成菌との共生状態下での飽和定数が、純粋培養条件下より低い可能性を示している。

4.2 バイオポリマーの蓄積に関する評価 表-1に示したバイオポリマーのモデル式の中で、その生成量に最も関与すると考えられる生成率を変化させ、実測値との比較によりその推定を行った。ただし、バイオポリマーの生成率は暫定的に各活性菌体に対して一率で与え、バイオポリマーの剥離係数は活性菌体と同じ値を用いた。図-1に示すように、生成率が $0.3[\text{mg-COD}_{\text{poly}} \cdot \text{mg-COD}_{\text{cell}}^{-1}]$ であるときに実測値と最もよく一致していることがわかる。このことからバイオポリマーは活性菌体の増殖量に対して約30%の割合で生成していると推察された。

4.3 固形有機物の蓄積に関する評価 本モデルの初期値として、4.1および4.2で推定した諸量を用い、不活性固形有機物の蓄積挙動を表現することを試みた。図-3に示されたようにバイオポリマーの蓄積を考慮することにより、活性菌体の死滅のみを考慮した場合の計算結果に比べて改善されたといえるが、実測値より幾分低めの値となっている。不活性固形有機物の蓄積量は剥離現象に影響を受けると考えられるので、死滅菌体の剥離は生じにくいものであると仮定し、再度計算を行なった。図-3からわかるように、死滅菌体の剥離が生じにくいと仮定した方がより良く実測値を表現できていることがわかる。一般に、生物膜の深部においては、菌体の増殖よりも死滅が卓越し、死滅菌体が蓄積する傾向があるものと考えられる。すなわち、この結果は、生物膜の表面付近に存在すると考えられる活性菌により、死滅菌の剥離現象が起りにくくなっている可能性を示すものと考えられる。図-4に、担体付着固形有機物の経時変化とその内訳を示した。この図から活性菌体とバイオポリマーを合わせて全体の20%にも達していないことがわかる。しかしながら、本モデルでは完全浸透を仮定しており、物質移動抵抗を考慮した場合に比べ、活性菌体量は低めの値を示したものと考えられる。

5. おわりに

水素利用メタン菌を活性菌体として組み込み、バイオポリマーの蓄積を考慮することにより、不活性有機物形物の蓄積挙動をより良く表現できることが明かとなった。また、死滅菌体は剥離しにくい傾向にある可能性が示唆された。今後は剥離現象を実験的に把握し、本モデルに対する評価を加える予定である。

- 参考文献 1) Furumai, H., et al. : Trangent Response of Wastewater Treatment and Biomass Development in a Methanogenic Fluidized Bed., Wat. Sci. Tech. Vol.23, Kyoto, pp. 1327-1336, 1991
2) 今井ら：土木学会西部支部研究発表会概要集、II-108, pp.322-323, 1990
3) 久場ら：土木学会西部支部研究発表会概要集、II-108, pp.324-325, 1990
4) D.E. Hughes, et al. editors : Anaerobic Digestion 1981, pp.60-61, 1981

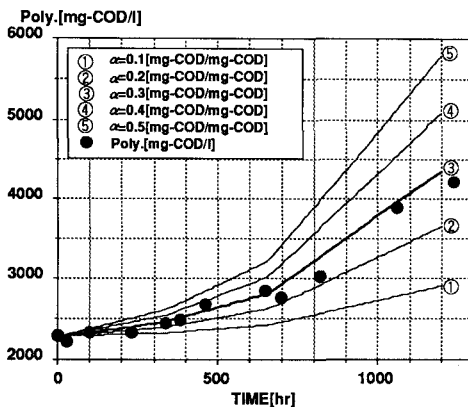


図-2 生成率を変化させた場合の計算結果

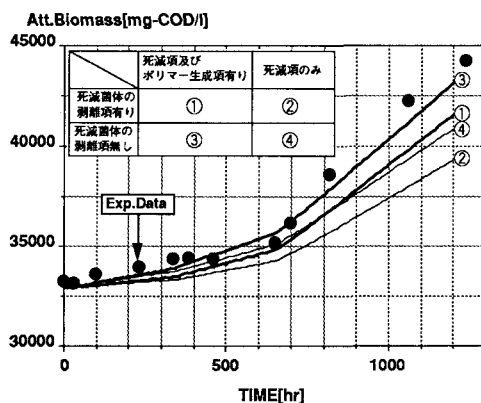


図-3 条件を変えた場合の固形有機物蓄積状況

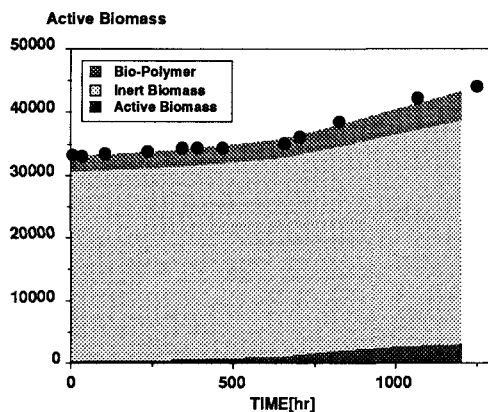


図-4 付着固形有機物の経時変化とその内訳