

嫌気性流動床における不活性有機物の蓄積量の評価について

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^{1,2)}。このモデルにおいては、VSSのように全ての固形有機物を菌体量とするのではなく、動力学的に求めた“活性菌体量”を微生物量として新たに導入した。これにより図-1に示すように非定常な処理水質の低下傾向がよく表現できることが確認された。ただし、実線で示されたものが数値計算結果であり、プロットが実測値である。しかし、流動床内の不活性固形有機物の蓄積過程を活性菌体の死滅だけによって説明することはできず³⁾、他の要因を考慮する必要がある。そこで、実験的にバイオポリマー等の不活性な固形有機物の蓄積量を求め、活性菌体量として同定されない他の菌体の蓄積量を推定することにより、不活性有機物の蓄積量についての評価を行った。

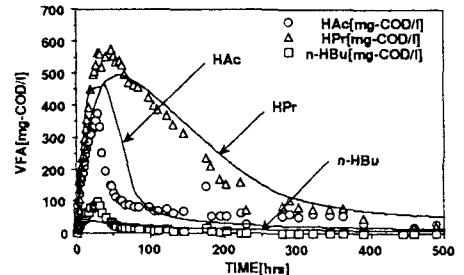


図-1 応答実験における処理水質の経時変化

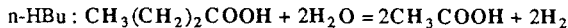
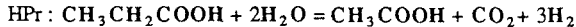
2. 不活性有機物蓄積過程のモデル化

不活性有機物とは活性菌体として定量されない全ての有機物をさすものとし、つぎの二点について考慮した。

(1) 酢酸(HAc)、プロピオン酸(HPr)、n-酪酸(n-HBu)消費菌以外の菌体

ここでは、比較的多く存在すると考えられる水素利用菌、硫酸塩還元菌について以下のように検討を行った。

[水素利用菌について] 次に示す理論式から考慮すると、プロピオン酸、n-酪酸から水素が生成し、そのCODの比率は酢酸：プロピオン酸：n-酪酸：水素=118：35：35：22となり、水素利用菌については無視できないことが分かる。



[硫酸還元菌について] 嫌気性流動床本体を用い

た応答実験¹⁾の定常期におけるCOD収支から、硫酸塩還元反応の還元率を100%と仮定しても、硫酸塩還元菌に用いられるCODは全体の1.6%に過ぎないことから、硫酸塩還元菌に関しては無視することにした。

[水素利用菌のモデル化] 基質収支においてHPrとn-HBuから生成するもの、床内液に溶解して流出するものを考慮し、また、菌体収支において、担体に付着しているものと浮遊しているものを考慮した。

(2) バイオポリマー等の菌体による

代謝物のモデル化

バイオポリマー等の菌体による代謝物生成過程を表現するモデルとしてMonod型の式を用いた。ただし、菌体による代謝物の総称として、ポリマーと呼ぶことにする。

ポリマーの基質の初期濃度は、流入してくる揮発性脂肪酸(単位: mg-COD $\cdot$ l $^{-1}$)の8%とした。これは、嫌気性流動床本体を用いた応答実験¹⁾の定常期におけるCOD収支において、不明な部分が約10%存在し、その8割がポリマーの基質に

表-1 モデル式

[水素利用菌について]

基質収支式

$$\frac{dS_H}{dt} = \frac{Q(S_{OH} - 0.0167 \cdot S_H)}{V} - \frac{1}{Y_{bH}} \cdot \frac{\mu_{mbH} \cdot S_H \cdot X_{bH}}{K_{sbH} + S_H} - \frac{1}{Y_{sH}} \cdot \frac{\mu_{msH} \cdot S_H \cdot X_{sH}}{K_{ssH} + S_H} + \frac{3}{7} \cdot (1 - Y_{bP}) \cdot \frac{1}{Y_{bP}} \cdot \frac{\mu_{mbP} \cdot S_P \cdot X_{bP}}{K_{sbP} + S_P} + \frac{1}{5} \cdot (1 - Y_{bB}) \cdot \frac{1}{Y_{bB}} \cdot \frac{\mu_{mbB} \cdot S_B \cdot X_{bB}}{K_{sbB} + S_B}$$

ただし、右辺第一項の0.0167は、水素の溶解度(35℃、無留水)である。

担体付着菌体収支式

$$\frac{dX_{bH}}{dt} = \frac{\mu_{mbH} \cdot S_H \cdot X_{bH}}{K_{sbH} + S_H} - K_{dH} \cdot X_{bH} - K_{eH} \cdot X_{bH}$$

浮遊菌体収支式

$$\frac{dX_{sH}}{dt} = \frac{Q(X_{OH} - X_{sH})}{V} + \frac{\mu_{msH} \cdot S_H \cdot X_{sH}}{K_{ssH} + S_H} - K_{dH} \cdot X_{sH} + K_{eH} \cdot X_{bH}$$

[ポリマーについて]

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)

$$\frac{dP_{ob}}{dt} = \frac{\mu_{mbPo} \cdot S_{Po} \cdot X_{b}}{K_{sbPo} + S_{Po}} - K_{ePo} \cdot P_{ob}$$

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)

$$\frac{dP_{os}}{dt} = \frac{Q(P_{O0} - P_{os})}{V} + \frac{\mu_{msPo} \cdot S_{Po} \cdot X_s}{K_{ssPo} + S_{Po}} + K_{ePo} \cdot P_{ob}$$

基質収支式

$$\frac{dS_{Po}}{dt} = \frac{Q \cdot 0.08 \cdot (S_{O0} + S_{OP} + S_{OB})}{V} - \frac{1}{Y_{bPo}} \cdot \frac{\mu_{mbPo} \cdot S_{Po} \cdot X_{b}}{K_{sbPo} + S_{Po}} - \frac{1}{Y_{sPo}} \cdot \frac{\mu_{msPo} \cdot S_{Po} \cdot X_s}{K_{ssPo} + S_{Po}}$$

ただし、 X_o および X_s は付着および浮遊状態の活性菌体総量である。S=基質濃度(mg-COD $\cdot$ l $^{-1}$) K_s =飽和定数(mg $\cdot$ l $^{-1}$) Q=流量(l $\cdot$ day $^{-1}$) X=菌体濃度(mg-COD $\cdot$ l $^{-1}$) μ_m =最大比増殖速度(day $^{-1}$) K_d =死滅係数(day $^{-1}$) K_e =剥離係数(day $^{-1}$) V=反応器容積(m 3)Y=増殖収率(mg $\cdot$ mg $^{-1}$) 添え字 s:浮遊、b:付着、O:流入、A:HAc、P:HPr、B:n-HBu、H $_2$ 、

Po:ポリマーの略

ると仮定したためである。表-1に水素利用菌とポリマーの蓄積に関するモデル式を示す。

3. 不活性有機物蓄積測定実験

2.(2)におけるポリマー量蓄積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0.5→1.0[kg・m⁻³・day⁻¹]に変化させ不活性有機物の蓄積量の経時変化を測定した。表-2に流入基質の組成及び操作条件をまとめた。ポリマーの抽出法として冷温抽出法を用い⁹⁾、Anthrone法によって還元糖を、またLoery-Folin法によりタンパク質を測定し、その和をポリマー量とした。

4. 結果と考察

4.1 ポリマーに関する評価 表-1に示した不活性有機物の最大比増加速度、飽和定数、収率について感度解析を行った結果、最大比増加速度および飽和定数については、不活性有機物の蓄積についてほとんど影響がなかった。よって、収率を変化させ、実測値と比較することにより、それぞれの値を推定したところ、収率は0.20[mg・mg⁻¹]、飽和定数は40[mg・COD・l⁻¹]、最大比増加速度は0.01[day⁻¹]であった。例として図-2に収率を変化させた場合の計算結果と、比較のための実測値を示す。

4.2 水素利用菌に関する評価 4.1で推定した、不活性有機物の推定値を用いて、応答実験のシミュレーションにおいて水素利用菌の最大比増加速度、飽和定数、収率の感度解析を行った結果、最大比増加速度および飽和定数については、水素利用菌の蓄積についてほとんど影響がなかった。このことから、水素利用菌の増殖について大きく関与するのは収率であると考えられる。

4.3 不活性有機物の蓄積に関する評価 不活性有機物の蓄積は、活性菌体の死滅、水素利用菌の生菌と死滅菌およびポリマーの総和によって生じると仮定し、4.1で推定した諸量を用い、不活性有機物の蓄積を表現することを試みた。水素利用菌の最大比増加速度及び飽和定数はそれぞれ文献値⁴⁾0.05[hr⁻¹]、1.25[mg・COD・l⁻¹]を用い、水素利用菌の増殖について大きく関与すると考えられる収率を変化させ、応答実験⁹⁾の実測値との比較を行った。その結果を図-3に示す。この図から水素利用菌の収率が0.05[mg/mg]であるときに実測値と最もよく一致することが分かる。この値は文献値⁴⁾ともよく一致し、妥当な値であると考えられる。このことから、本モデルにより、流動床内に蓄積する不活性有機物を表現できることが明かとなった。

5. おわりに

水素利用菌およびポリマーの蓄積は、Monod型の式によって表現可能であり、嫌気性流動床内に蓄積する不活性有機物は、活性菌体の死滅と、水素利用菌、ポリマーの総和によって表現することができることが明かとなった。今後は水素利用菌の蓄積量を実験的に把握し、本モデルに対する評価を加える予定である。

表-2 流入基質と操作条件

【操作条件】	
容積負荷 (kg-COD・m ⁻³ ・day ⁻¹)	1.00
HRT (day)	0.50
流動床内温度(℃)	35.0
【基質組成】	
有機源 (mg-COD・l ⁻¹)	1000→2000
HAc:HPr:n-HBu=2:1:1	
酵母エキス (mg・l ⁻¹)	10→20
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

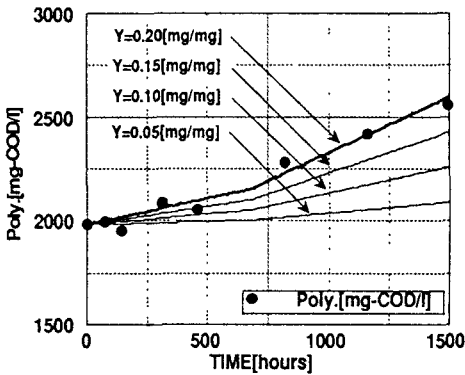


図-2 収率を変化させた場合のポリマー蓄積量の変化

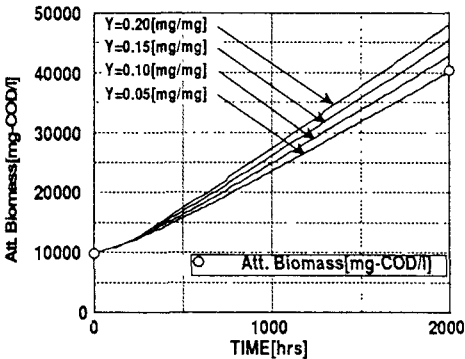


図-3 収率を変化させた場合の不活性有機物量の変化

参考文献 1) 今井ら：土木学会第44回年次講演会概要集、II-487, pp.1044-1045, 1989
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