

嫌気性流動床における処理の応答性について

九州大学 工学部 学生員〇今井 剛 学生員 久場隆広
正 員 古米弘明 正 員 楠田哲也

1. はじめに

嫌気性廃水処理はエネルギーの回収ができること及び余剰汚泥の発生が少ないことから、近年数多くの研究が行われている。しかし嫌気性廃水処理において流入有機物濃度や水理学的滞留時間が変化した場合に起こる非定常な処理水質の応答性についてはあまり研究がなされていない。本研究では流入有機物濃度を变化させ、その際の処理水質の応答性について実験を行った。その結果をもとに嫌気性流動床における処理特性を評価できるモデルを構築し、その妥当性を評価した。また、このモデルにおいて重要なパラメータである生物量として活性菌体量を導入し、その意義について検討を加えた。

2. 実験方法

著者らが酢酸、プロピオン酸、酪酸の混合酸を基質として連続運転してきた嫌気性流動床(担体:ゼオライト)¹⁾を用いて以下の2種類の実験を行った。なお、両実験とも温度を35±1℃に、pHを7付近に調整した。

① 酢酸、プロピオン酸、酪酸の各基質について回分実験を行い、②の応答実験前の嫌気性流動床における各基質の消費特性を調べた。その際、初期基質濃度は500mg-COD・L⁻¹となるように調整した。

② 負荷1kg-COD・m⁻³・d⁻¹(基質濃度1000mg-COD・L⁻¹)で連続運転している嫌気性流動床の投入基質濃度を4000mg・L⁻¹に上げ、その際の処理水質の経時変化を調べる応答実験を行った。

応答実験の装置操作条件、投入基質の組成を表-1に示した。測定項目は、揮発性脂肪酸(VFA)、全有機酸(TOA)、TOC及びメタンガス発生量等である。

3. モデル式

各基質及び菌体の収支式を表-2に示す。このモデルは、菌体の増殖を表現するのに Monod式を用い、菌体の死滅、剥離の項を導入している。菌体は、担体に付着しているものと浮遊状態で存在するものとの両者を考えている。また、基質の組成を考慮するため、酢酸、プロピオン酸、酪酸の各基質の分解とそれを担う各々の菌体濃度に関して収支式を連立させている。

4. 結果および考察

4.1. 回分実験 基質の消費速度を表すために Michaelis-Menten 型の式をもちいた。この式の係数である反応器単位容積当りの最大消費速度及び飽和定数を、この実験の経時的濃度変化を用いて最小自乗法により推定した。酢酸、プロピオン酸、酪酸の各基質を用いた場合の実測値と推定値を図-1に示す。この図より推定値は実測値とほぼ一致しており、表-3にまとめた最大消費速度及び飽和定数の推定値は妥当であると考えられる。

4.2. 応答実験 各測定項目の経時変化を図-2に示す。メタンガス発生量は流入基質濃度上昇直後より急激に増加している。一方、VFAの経時変化に着目す

表-1 応答実験における
操作条件及び投入基質組成

【操作条件】	
容積負荷 (kg-COD・m ⁻³ ・d ⁻¹)	4.00
HRT (day)	1.00
反応槽内温度 (°C)	35.0
【基質組成】	
有機酸 (mgCOD・L ⁻¹)	
HAc	2000
HPA	1000
n-HBu	1000
酵母エキス (mg・L ⁻¹)	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 (mg・L ⁻¹)	
NaHCO ₃	4250
K ₂ HPO ₄	4250

表-2 モデル式

$$\begin{aligned}
 &\text{HAc について} \\
 &\frac{dC_a}{dt} = \frac{Q(C_{a0} - C_a)}{V} - \frac{\mu_{a0} \cdot C_a \cdot X_{a0}}{Y_{a0} \cdot (K_{a0} + C_a)} - \frac{\mu_{a20} \cdot C_a \cdot X_{a20}}{Y_{a20} \cdot (K_{a20} + C_a)} \\
 &\quad + \frac{4(1 - Y_{a0}) \cdot (\mu_{a0} \cdot C_a \cdot X_{a0})}{7 Y_{a0} \cdot (K_{a0} + C_a)} + \frac{4(1 - Y_{a20}) \cdot (\mu_{a20} \cdot C_a \cdot X_{a20})}{5 Y_{a20} \cdot (K_{a20} + C_a)} \\
 &\frac{dX_{a0}}{dt} = \frac{\mu_{a0} \cdot C_a \cdot X_{a0}}{K_{a0} + C_a} - (K_1 + K_d) \cdot X_{a0} \\
 &\frac{dX_{a20}}{dt} = \frac{Q(X_{a0} - X_{a20})}{V} + \frac{\mu_{a20} \cdot C_a \cdot X_{a20}}{K_{a20} + C_a} - K_d \cdot X_{a20} + K_1 \cdot X_{a0} \\
 &\text{HPA について} \\
 &\frac{dC_p}{dt} = \frac{Q(C_{p0} - C_p)}{V} - \frac{\mu_{p0} \cdot C_p \cdot X_{p0}}{Y_{p0} \cdot (K_{p0} + C_p)} - \frac{\mu_{p20} \cdot C_p \cdot X_{p20}}{Y_{p20} \cdot (K_{p20} + C_p)} \\
 &\frac{dX_{p0}}{dt} = \frac{\mu_{p0} \cdot C_p \cdot X_{p0}}{K_{p0} + C_p} - (K_1 + K_d) \cdot X_{p0} \\
 &\frac{dX_{p20}}{dt} = \frac{Q(X_{p0} - X_{p20})}{V} + \frac{\mu_{p20} \cdot C_p \cdot X_{p20}}{K_{p20} + C_p} - K_d \cdot X_{p20} + K_1 \cdot X_{p0} \\
 &\text{HBu について} \\
 &\frac{dC_b}{dt} = \frac{Q(C_{b0} - C_b)}{V} - \frac{\mu_{b0} \cdot C_b \cdot X_{b0}}{Y_{b0} \cdot (K_{b0} + C_b)} - \frac{\mu_{b20} \cdot C_b \cdot X_{b20}}{Y_{b20} \cdot (K_{b20} + C_b)} \\
 &\frac{dX_{b0}}{dt} = \frac{\mu_{b0} \cdot C_b \cdot X_{b0}}{K_{b0} + C_b} - (K_1 + K_d) \cdot X_{b0} \\
 &\frac{dX_{b20}}{dt} = \frac{Q(X_{b0} - X_{b20})}{V} + \frac{\mu_{b20} \cdot C_b \cdot X_{b20}}{K_{b20} + C_b} - K_d \cdot X_{b20} + K_1 \cdot X_{b0}
 \end{aligned}$$

C = 基質濃度(mg・L⁻¹) K = 飽和定数(mg・L⁻¹) Q = 流量(L・d⁻¹)
 X = 菌体濃度(mg・L⁻¹) μ = 最大比増殖速度(d⁻¹) K₁ = 剥離係数(d⁻¹)
 V = 反応器容積(m³) Y = 増殖収率(mg・mg⁻¹) K_d = 死滅係数(d⁻¹)
 ※添え字の s: 浮遊, b: 付着, 0: 流入, A: HAc, P: HPA, B: HBu の略。

ると実験開始後約30時間でピークをむかえ、その後減少し、約400時間以降はほぼ一定値に達していることがわかる。また、TOA, TOCはともに全VFAの濃度経時変化のパターンと同様な傾向を示している。

4-3. 計算結果 VSSを菌体量として前述の最大消費速度(γ_m)より、最大比増殖速度(μ_m)を次の式を用いて逆算して求めた。この時、増殖収率(Y)は、0.05 とした。

$$\mu_m = 24 \cdot \gamma_m \cdot Y / VSS$$

求めた値を用いて数値計算を行ったところ、基質消費カーブの低下傾向を表現することができなかった。これは、VSSすべてを菌体量と仮定したため増殖量が存在量に比較して小さく評価され、消費速度の増加につながらないためである。このことよりVSSを菌体量として μ_m を推定することは妥当ではないと考察される。

そこで、久場ら¹⁾が本流動床を用いて求めた各基質分解菌に対する μ_m を与え、実測の γ_m を用いて逆に活性のある菌体量を次の式で推定した。

$$X = \gamma_m \cdot 24 \cdot Y / \mu_m$$

ここで、Xは菌体量($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)、 $\mu_m(\text{day}^{-1})$ は酢酸で 0.26、プロピオン酸で 0.19、酪酸で 0.60 とした。

この活性菌体量を用いて数値計算した結果を図-3に示した。比較のために、VSSを菌体量として計算を行ったものも併記した。両者を比較すると活性菌体量を用いた場合の方が明らかに基質消費の応答性を表現できており、消費速度を規定する重要な因子である生物量として活性菌体量を用いる有効性が示唆された。

表-3 最大消費速度定数及び飽和定数

基質	初期基質濃度 ($\text{mg} \cdot \text{COD} \cdot \text{L}^{-1}$)	$V_m(\text{mg} \cdot \text{COD} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{hr}^{-1})$	$K_s(\text{mg} \cdot \text{COD} \cdot \text{L}^{-1})$
HAc	561	115	25
HPr	475	24	40
HBu	687	95	50

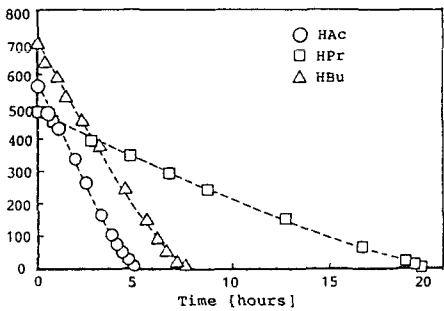


図-1 回分実験のVFA濃度経時変化

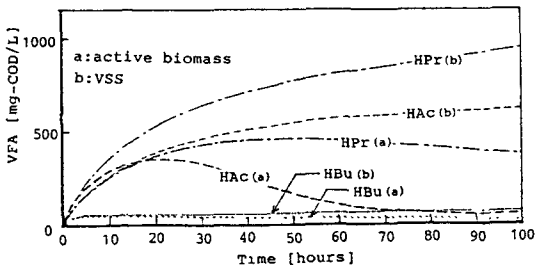


図-3 数値計算結果

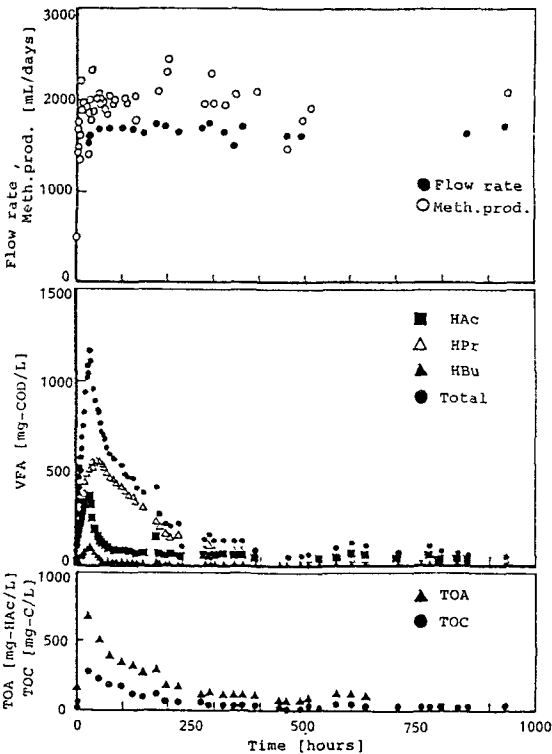


図-2 応答実験結果

5. 終わりに

VSSを菌体量として菌体の増殖や基質消費速度を求め、負荷変動にともなう処理水質の応答性を表現するのは困難であった。すなわち、VSS全てを菌体量と考えることには無理があり、活性菌体量をモデルに導入することを試みた。これにより非定常の水質応答を表現可能であることが明らかとなった。本モデルは、菌の剥離及び死滅を考慮しており、流出菌体濃度の推定や付着している不活性有機物量の評価等を今後検討したい。

<参考文献> 1) 久場ら：九州大学工学集報 Vol.61 No.3 pp239-245,1988