

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 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。本研究は、嫌気性流動床において、流入負荷を変化させ、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表現できるモデルを構築し、モデル上の各パラメータの推定とその妥当性の評価を行った。特に、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新たに活性菌体量を導入し、その意義についても検討を加えた。

2. 実験方法

2.1 実験方法 酢酸(HAc)、プロピオン酸(HPr)、酪酸(HBu)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)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 回分実験:②の応答実験前後の嫌気性流動床におけるHAc、HPr、HBuの各基質についての消費活性を調べるために回分実験を行った。

② 応答実験:負荷1kg-COD・m⁻³・d⁻¹(基質濃度1000mg・L⁻¹)で連続運転している嫌気性流動床の負荷を4倍に上げ、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に示す。

2.2 モデル式 基質及び菌体の収支式を表-2に示す。このモデルは、Monod式を用い、菌体の死滅、剝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を考え、更に、基質の組成を考慮するため、HAc、HPr、HBu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た。

3. 結果および考察

3.1 回分実験 基質の消費速度を表すためMichaelis-Menten型の式を用いた。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(V_m)及び飽和定数(K)を、経時的濃度変化を用いて最小自乗法により推定した。例として応答実験前の各々の基質を用いた場合の経時変化の実測値と計算値を図-1に示す。この図より計算値は実測値とほぼ一致している。表-3に応答実験前後におけるV_m及びKの推定値をまとめた。

3.2 数値計算結果 数値計算を行うために必要なパラメータである最大比増殖速度(μ_m)、菌体量(X)、Kのうち、Kは回分実験から求めた推定値を用い、XとしてVSSを与え、前述のV_mより、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)として文献値¹⁾0.05を用いた。

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

表-1 応答実験における操作条件及び投入基質

【操作条件】	
容積負荷 (kg-COD・L ⁻¹ ・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
HPr	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

HAcについて

$$\frac{dC_a}{dt} = \frac{Q(C_{0a} - C_a)}{V} - \frac{\mu_{a,b} \cdot C_a \cdot X_{b,a}}{Y_{b,a} \cdot (K_{b,a} + C_a)} - \frac{\mu_{a,s} \cdot C_a \cdot X_{s,a}}{Y_{s,a} \cdot (K_{s,a} + C_a)}$$

$$+ \frac{4(1-Y_{b,p}) \cdot (\mu_{b,p} \cdot C_p \cdot X_{b,p})}{7 \cdot Y_{b,p} \cdot (K_{b,p} + C_p)} + \frac{4(1-Y_{s,p}) \cdot (\mu_{s,p} \cdot C_p \cdot X_{s,p})}{5 \cdot Y_{s,p} \cdot (K_{s,p} + C_p)}$$

$$+ \frac{4(1-Y_{b,p}) \cdot (\mu_{b,p} \cdot C_p \cdot X_{b,p})}{7 \cdot Y_{b,p} \cdot (K_{b,p} + C_p)} + \frac{4(1-Y_{s,p}) \cdot (\mu_{s,p} \cdot C_p \cdot X_{s,p})}{5 \cdot Y_{s,p} \cdot (K_{s,p} + C_p)}$$

$$\frac{dX_{b,a}}{dt} = \frac{\mu_{a,b} \cdot C_a \cdot X_{b,a}}{K_{b,a} + C_a} - (K_1 + K_d) \cdot X_{b,a}$$

$$\frac{dX_{s,a}}{dt} = \frac{Q(X_{0a} - X_{s,a})}{V} + \frac{\mu_{a,s} \cdot C_a \cdot X_{s,a}}{K_{s,a} + C_a} - K_d \cdot X_{s,a} + K_1 \cdot X_{b,a}$$

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_a = 最大比増殖速度 (d⁻¹) K₁ = 剝離係数 (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)
 ※添字の s: 浮遊, b: 付着, 0: 流入の略。

表-3 最大消費速度及び飽和定数の推定値

基質	初期基質濃度 (mg-COD・L ⁻¹)	V _m (mg-COD・L ⁻¹ ・hr ⁻¹)	K (mg-COD・L ⁻¹)
応答実験前 HAc	561	115	25
HPr	475	24	40
HBu	687	95	50
応答実験後 HAc	574	295	25
HPr	558	135	40
HBu	602	375	50

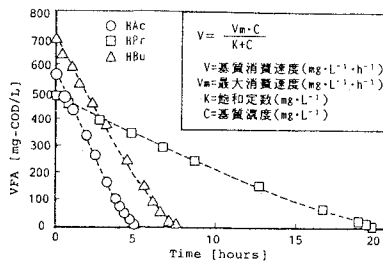


図-1 回分実験のVFA濃度経時変化

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つた。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なり、消費速度の増加として反映されないためである。このことよりVSSすべてを菌体量として最大比増殖速度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²⁾により同一基質条件で報告されている μ_m を与え、 V_m を用いて逆に活性のある菌体量を次の式で推定した。

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

応答実験での実測値と、この活性菌体量を用いて数値計算した結果を図-2に示した。比較のために、VSSを菌体量として計算した結果も併記した。活性菌体量を用いた場合に、図-2上図で示されるような処理水質の応答性を表現できることが明らかとなった。このことより、消費速度を規定する重要なパラメータである生物量として活性菌体量が有効であることが示唆されたといえる。

3.3 パラメータ値の妥当性 本モデルにおいて仮定あるいは実験により推定したパラメータ値の妥当性を検討した。まず、図-3にYの値を変化させた場合のHAcの経時的濃度変化を示す。Yの値が増加するとそれに比例して推定菌体量が増加する。この結果、濃度のピーク値が下がる傾向を示すことになる。Yの値が0.05と、0.10の場合とではさほど実測値と差はみられないので、Yの値は0.05~0.10程度であると推定される。図-4に水質に対する K_s 及び μ_m の感度解析結果を模式的に示す。 K_s 及び μ_m はそれぞれ、濃度の初期における立ち上がり、ピーク値の高さおよび濃度の定常値と、ピーク値の高さおよび低下傾向に影響を及ぼす。この感度解析から2.2の数値計算に用いた値は±20%の誤差範囲内にあることが判明した。図-5に剝離定数と死滅係数の和(K_1+K_d)の値を変化させた場合のHPrの経時的濃度変化を示す。0.10(1/day)で最も実測値と一致しており、 K_1+K_d は約0.10(1/day)であると推定される。また、定常状態での附着菌体量の数値計算値と応答実験後に回分実験によって求めた活性菌体量(約1300mg/L)とはほぼ一致しており、この K_1+K_d の推定値は妥当であると考えられる。

4. 終わりに VSSを菌体量として菌体の増殖速度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。そこで、VSS全てではなく、活性のある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。本モデルに導入している菌の剝離及び死滅係数を推定したところ、それらの和は約0.10(1/day)であった。今後、流出菌体濃度の推定や附着している不活性有機物量の評価を行う予定である。

- [参考文献] 1) Lawrence, A., W., et al. Kinetics of methane fermentation in anaerobic treatment. Journal WPCF, 41, R1-R7, 1969
 2) 久場ら:九州大学工学集報 Vol.61 No.3 PP239-245,1988

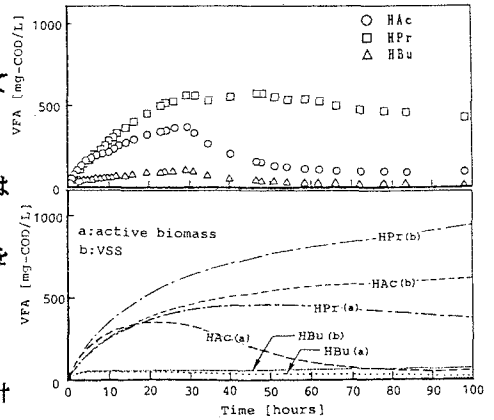


図-2 数値計算結果

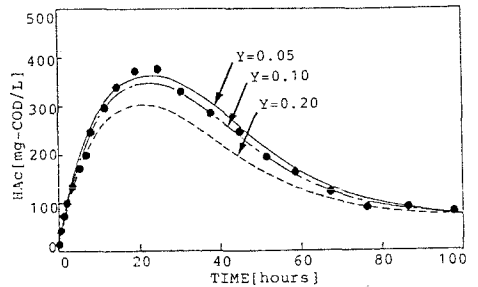


図-3 Yの変化に伴うHAcの経時的濃度変化

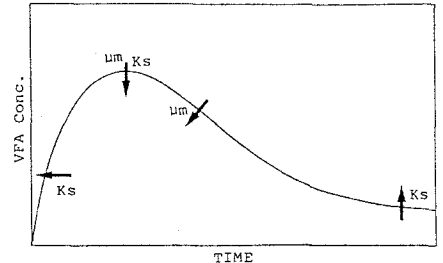


図-4 K_s, μ_m の増加に伴う基質の経時的濃度変化

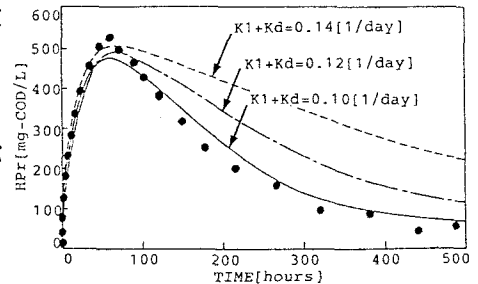


図-5 K_1+K_d の変化に伴うHPrの経時的濃度変化