

VII-140

UASB 法におけるグラニューール内保持菌体量の非定常解析

山口大学○古賀博之、今井 剛、浮田正夫、関根雅彦
宇部高専 深川勝之、大阪工業大学 中西 弘

1. はじめに

UASB（上向流嫌気性スラッジブランケット）法は、付着担体を用いずに微生物の自己造粒機構によるグラニューールを形成させることで処理効率を飛躍的に高めた嫌気性処理法の1つとして注目されている。しかし、グラニューールを形成する菌の増殖速度は遅く、良質なグラニューールを形成させるためにはグラニューール内の菌体量を増加させることが必要である。しかし、菌の増殖速度は基質濃度、流入流量の組み合わせで変化する。このため基質濃度、流入流量が変化した場合の菌体量の挙動を把握する必要がある。そこで、本研究では、UASB法における槽内でのグラニューール内保持菌体量の非定常過程を表現することが可能なモデルを構築し、ラボスケールのUASB装置を用いた実測値とモデルによる解析値を比較することによりモデルの有効性を検討することを目的とする。

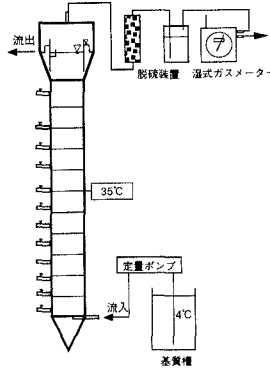


図-1 UASB装置概略図

表-1 基質組成

Glucose	9.385 (g/ℓ)
A	2.00 (mℓ/ℓ)
B	10.00 (mℓ/ℓ)
C	1.00 (mℓ/ℓ)
NaHCO ₃	6.0 (g/ℓ)
K ₂ HPO ₄	4.0 (g/ℓ)
酵母エキス	100 (mg/ℓ)
A	(NH ₄) ₂ HPO ₄ 350.0 (g/ℓ)
	KCl 75.0 (g/ℓ)
	NH ₄ Cl 85.0 (g/ℓ)
B	FeCl ₃ ・6H ₂ O 42.0 (g/ℓ)
	MgCl ₂ ・6H ₂ O 81.0 (g/ℓ)
	MgSO ₄ ・7H ₂ O 25.0 (g/ℓ)
	CoCl ₂ ・6H ₂ O 1.8 (g/ℓ)
C	CaCl ₂ ・6H ₂ O 150.0 (g/ℓ)

(10000mg-COD/ℓ)

2. 実験装置および方法

本実験では表-1に示す基質を用い、図-1に示すUASB装置（内径：92mm、高さ：1500mm、有効反応容積：10.52ℓ）により、表-2に示す運転条件で連続運転を行った。

3. モデルの構築

本モデルでは、UASB槽を一層の完全混合槽と仮定する単槽モデルを構築し、それを基礎として図-1に示す様にUASB装置を鉛直方向に11層に分割した多層モデルに発展させた。なお多層モデルは、グラニューール形成後に適用することを前提とした。

基質として流入するグルコースとそれが分解されて生成する酢酸、プロピオン酸および水素、また、これらの各基質を利用する菌体について収支式を立てた。菌体についてはグラニューールを形成している付着菌と槽内に浮遊して存在する浮遊菌を考慮した。さらに付着・浮遊している菌体として活性菌、死滅菌および細胞外ポリマーを考慮した。表-3に多層モデルの第j層での収支式を示す。多層モデルでは、ガス発生量による菌および基質の流動を考慮している。単槽モデルでの収支式は、流動を考慮していないため多層モデルでの流動項を除いたものとなる。

4. 結果および考察

単槽モデルでは実験開始から、多層モデルではグラニューール形成後における負荷上昇前後の非定常過程について実測値と比較し、その有効性について検討した。また、多層モデルについては、層内の最大保持菌体量を超えると上層へ菌を受け渡すようにし、さらにメタンガスの発生に

表-2 装置運転条件

	運転時間(hr)	流量(l/day)	基質濃度(mg/l)
run0	0~860	5.0	1000
run1	860~1290	7.5	1000
run2	1290~2300	15.0	1000
run3	2300~2680	15.0	1500
run4	2680~3830	15.0	2000
run5	3830~	15.0	4000

表-3 モデルにおける基質および菌体の収支式

$$\begin{aligned} \frac{dS}{dt} &= \frac{Q(S_0 - S)}{V} - (1 + \alpha) \cdot \frac{1}{Y} \cdot \frac{\mu_m \cdot S \cdot X}{K_S + S} + \left(\frac{dS}{dt} \right)_{production} + D_{sub} \cdot (S_{(j-1)} - 2 \cdot S_j + S_{(j+1)}) \\ \frac{dX_{ab}}{dt} &= \frac{\mu_m \cdot S \cdot X_{ab}}{K_S + S} - K_d \cdot X_{ab} - K_e \cdot X_{ab} + K_f \cdot X_{ab} + D_b \cdot (X_{ab(j-1)} - 2 \cdot X_{ab(j)} + X_{ab(j+1)}) \\ \frac{dX_{sa}}{dt} &= \frac{Q(X_{sa0} - X_{sa})}{V} + \frac{\mu_m \cdot S \cdot X_{sa}}{K_S + S} - K_d \cdot X_{sa} + K_e \cdot X_{sa} - K_f \cdot X_{sa} \\ &\quad + D_s \cdot (X_{sa(j-1)} - 2 \cdot X_{sa(j)} + X_{sa(j+1)}) \\ \frac{dX_{pb}}{dt} &= \alpha \cdot \frac{1}{Y} \cdot \frac{\mu_m \cdot S \cdot X_{ab}}{K_S + S} - K_e \cdot X_{pb} + D_b \cdot (X_{pb(j-1)} - 2 \cdot X_{pb(j)} + X_{pb(j+1)}) \\ \frac{dX_{ps}}{dt} &= \frac{Q(X_{ps0} - X_{ps})}{V} + \alpha \cdot \frac{1}{Y} \cdot \frac{\mu_m \cdot S \cdot X_{sa}}{K_S + S} + K_e \cdot X_{ps} + D_s \cdot (X_{ps(j-1)} - 2 \cdot X_{ps(j)} + X_{ps(j+1)}) \\ \frac{dX_{sb}}{dt} &= K_d \cdot X_{ab} - K_B \cdot X_{sb} - K_e \cdot X_{sb} + D_b \cdot (X_{sb(j-1)} - 2 \cdot X_{sb(j)} + X_{sb(j+1)}) \\ \frac{dX_{sa}}{dt} &= \frac{Q(X_{sa0} - X_{sa})}{V} + K_d \cdot X_{sa} - K_B \cdot X_{sa} + K_e \cdot X_{sa} + D_s \cdot (X_{sa(j-1)} - 2 \cdot X_{sa(j)} + X_{sa(j+1)}) \end{aligned}$$

X_a : 活性菌体量 (mg-COD/ℓ)、 X_p : ポリマー量 (mg-COD/ℓ)、 X_d : 死滅菌体量 (mg-COD/ℓ)、 S : 基質濃度 (mg-COD/ℓ)、 μ_m : 最大比増殖速度 (day⁻¹)、 Y : 収率 (mg-COD_菌/mg-COD_{基質})、 K_S : 半飽和定数 (mg-COD/ℓ)、 K_d : 死滅係数 (day⁻¹)、 K_e : 剥離係数 (day⁻¹)、 K_f : 付着係数 (day⁻¹)、 K_B : 分解係数 (day⁻¹)、 K_W : 分解から基質への転換係数 (-)、 α : 基質からポリマーへの転換係数 (-)、 D_{sub} : 基質流動係数 (day⁻¹)、 D_b : 付着流動係数 (day⁻¹)、 D_s : 浮遊流動係数 (day⁻¹)、添字の0は流入、bは付着、sは浮遊、jは分割された第j層を示す。

Keywords: UASB、グラニューール、非定常解析、モデル化、多層モデル

〒755-8611 宇部市常盤台2557 山口大学工学部 TEL: 0836-35-9111 FAX: 0836-35-9429

よる菌および基質の各層間での流動を考慮した。多層モデルでの解析に用いたパラメータを表-4に示す。

表-4 多層モデルによる動力学係数

	Glu	HAc	HPr	H ₂
$\mu_m(\text{day}^{-1})$	1.00	0.26	0.19	1.20
最大比増殖速度 $K_s(\text{mgCOD/l})$ 半飽和定数	150	20	20	5.0
Y 収率	0.10	0.05	0.05	0.05
$K_d(\text{day}^{-1})$ 死滅係数	0.07	0.05	0.04	0.06
$K_{ex}(\text{day}^{-1})$ 剥離係数	付着菌 0.05, 死滅菌 0.04			
$K_d(\text{day}^{-1})$ 分解係数	0.005			
$K_d(\text{day}^{-1})$ 付着係数	0.00			
K_{ex} 分解から基質への転換係数	0.05			
α 基質からポリマーへの転換係数	0.05			

図-2に単槽モデルによるUASB槽内からの流出COD濃度の計算値と実測値を比較したものを示す。解析値は、全ての負荷上昇に対して流出COD濃度に多少のピークがみられる。実測値では、run1からrun2への流量での負荷上昇ではあまり影響がみられず、基質での負荷上昇の方が流出COD濃度に与える影響が大きかったことがわかる。全体的にモデルによる解析値は実測値とよく一致している。図-3にUASB装置内の総VSS濃度の計算値と実測値を比較したものを示す。総VSS濃度とは、活性菌、細胞外ポリマーおよび死滅菌を合計したものである。総VSS濃度の実測値は、run0からrun1まで減少したことがわかる。これは、流量が低く一日に流入する基質の量も少なかったため菌の増殖が抑えられ、増殖する菌より死滅あるいは流出する菌の方が多くなったためであると推測できる。解析値においても実測値と同じ傾向を再現することができた。以上の結果から単槽モデルにより基質および菌体についての収支を再現できており、本単槽モデルでの有効性が示されたと考えられる。

図-4は多層モデルによる槽内のCOD濃度分布の解析値と実測値を比較したものである。実測値について、負荷上昇後(3860時間)は負荷上昇前(3790時間)と比べると各層内のCOD濃度は1～11層まで全体的に上昇したことがわかる。図から解析値は、この実測値をよく表現できていることがわかる。図-5はUASB槽内のVSS濃度分布のモデルによる解析値と実測値を比較したものである。負荷上昇前(3790時間)には、3層目以上のVSS濃度の実測値は、かなり低かったことがわかる。しかし、負荷上昇後(3860時間)では、実測値について3層目にもVSS濃度の上昇がみられる。解析値においても菌の受け渡しの効果により3層目のVSS濃度は増加し、実測値とほぼ一致させることができた。負荷上昇から30時間経過した3890時間でも、3層目のVSS濃度はさらに増加し、解析値は実測値と同じような傾向を再現することができた。以上の結果から多層モデルにより基質および菌体についての非定常過程を再現することができ、本多層モデルの有効性が示されたと考えられる。

5. まとめ

- (1) 単槽モデルでは、基質と菌体について収支を再現することができたことより、本モデルの有効性が示されたと考えられる。
- (2) UASB反応槽を11層に分割した多層モデルにより、グラニュール形成後の基質および菌体についての非定常過程を再現できたことから、その有効性が示されたと考えられる。

本モデルの有効性が示されたので、今後は、グラニュール形成過程についてのモデル化を行っていく予定である。

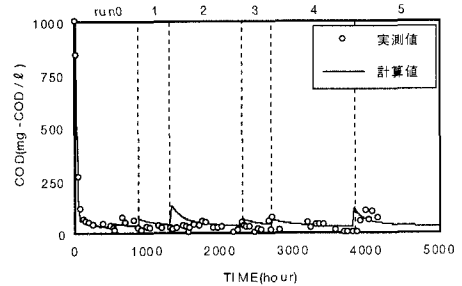


図-2 UASB槽内の流出COD濃度の計算値と実測値の比較

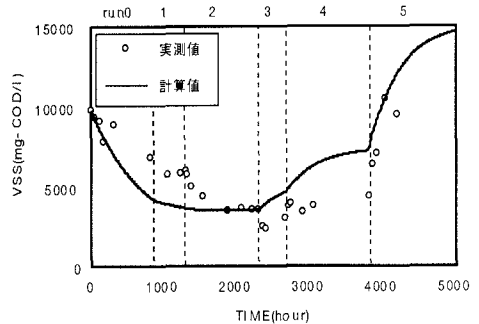


図-3 UASB槽内の総VSS濃度の計算値と実測値との比較

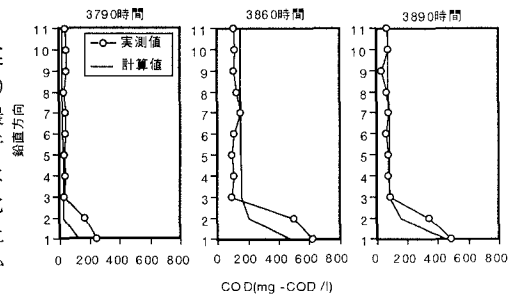


図-4 UASB槽内における鉛直方向のCOD濃度分布の計算値と実測値の比較

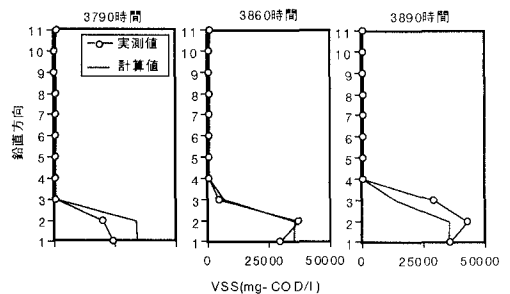


図-5 UASB槽内における鉛直方向のVSS濃度分布の計算値と実測値の比較