

UASB 法における循環方式の改善に関する研究

山口大学○荒金光弘 今井 剛 浮田正夫 関根雅彦 樋口隆哉
(株)コプロス 古賀博之 宇部工業高等専門学校 深川勝之

1. 研究目的

嫌気性処理法の 1 つである上向流嫌気性スラッジブランケット(Uplow Anaerobic Sludge Blanket:UASB)法は、高効率かつ省コスト型処理水処理法としてよく用いられている。しかし、処理を担う菌を最適な pH 条件下に維持するために緩衝剤の投入が必要であり、その分処理コストが増加する。そこで、アルカリ度を有効に利用するために装置内で処理水を循環させる完全循環式 UASB 法が開発されたが、高負荷条件下での運転は一般に困難である。そのため、高負荷条件下における処理を可能とし、かつ緩衝剤を有効利用できる部分循環式 UASB 法を考案した。昨年度は、投入する緩衝剤を減少させ、その影響の把握を目的とした実験を行ったが、グラニューール汚泥の充填率が低かったために有機酸が蓄積し破綻する結果となった。そこで、本研究の目的は、部分循環式 UASB 法における汚泥の充填率を上げ、完全循環式 UASB 法と処理性能を実験的に比較することにより、改善された循環方式の有効性を検討する。さらに、処理水の循環を表現できる UASB のモデル化を行い、得られた計算結果と実験結果との比較から、構築されたモデルの有効性を検討する。

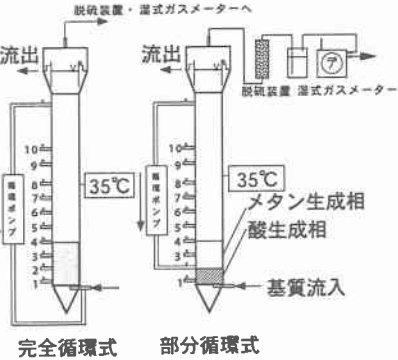


図 1 UASB 装置概略図

表 1 基質組成表

Glucose	9.4	(g · ℓ ⁻¹)
A	2.0	(ml · ℓ ⁻¹)
B	10.0	(ml · ℓ ⁻¹)
C	1.0	(ml · ℓ ⁻¹)
NaHCO ₃	4.0	(g · ℓ ⁻¹)
K ₂ HPO ₄	4.0	(g · ℓ ⁻¹)
酵母エキス	100	(mg · ℓ ⁻¹)
A	(NH ₄) ₂ HPQ	350.0 (g · ℓ ⁻¹)
B	KCl	75.0 (g · ℓ ⁻¹)
	NH ₄ Cl	85.0 (g · ℓ ⁻¹)
	FeCl ₃ · 6H ₂ O	42.0 (g · ℓ ⁻¹)
	MgCl ₂ · 6H ₂ O	81.0 (g · ℓ ⁻¹)
	MgSO ₄ · 7H ₂ O	25.0 (g · ℓ ⁻¹)
	CoCl ₂ · 6H ₂ O	1.8 (g · ℓ ⁻¹)
C	CaCl ₂ · 6H ₂ O	150.0 (g · ℓ ⁻¹)

表 2 動力学係数一覧

	Glucose	HAc	HPy	H ₂	HBu
μ _m (day ⁻¹)	1.00	0.26	0.19	1.20	0.61
最大増殖速度	150	20	20	5.0	90
K _s (mgCOD/l)	0.10	0.05	0.05	0.05	0.05
Y(-)	0.07	0.05	0.04	0.06	0.04
K _d (day ⁻¹)	付着菌 0.05, 死滅菌 0.04				
死滅係数	0.005				
K _B (day ⁻¹)	0.00				
付着係数	0.05				
K _w	0.05				
死滅菌の分解から基質への転換係数	0.05				
α	0.05				
基質からポリマーへの転換係数					

付着菌体収支式
$$\frac{dX}{dt} = \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{Growth}} - \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{Decay}} - \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{Slough}} + \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{Attach}} \quad \dots (1)$$

浮遊菌体収支式
$$\frac{dX}{dt} = Q \left(\frac{X_0 - X}{V} \right) + \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{Growth}} - \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{Decay}} + \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{Slough}} - \left(\frac{dX}{dt} \right)_{\text{Attach}} \quad \dots (2)$$

基質収支式
$$\frac{dS}{dt} = Q \left(\frac{S_0 - S}{V} \right) - \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{Consumption}} + \left(\frac{dS}{dt} \right)_{\text{Production}} \quad \dots (3)$$

阻害係数
$$F = \left\{ \exp(pH - 7.0) \right\}^{0.5} \quad \dots (4)$$

ここで、X は菌体濃度(mg · COD · ℓ⁻¹)、S は基質濃度(mg · COD · ℓ⁻¹)、Q は流量(day⁻¹)、V は反応器容積(ℓ)、t は時間(day)、F は pH の阻害係数(-)、添字の 0 は流入を示す。

4. 実験結果および考察

部分循環式、完全循環式の 2 つの UASB 装置を同一条件で運転し、処理性能を比較・検討した。装置の運転条件を表 3 に示す。この 2 基の緩衝剤減少実験開始後 5 日目における鉛直方向の VFA 濃度分布を図 2 に示す。緩衝剤の減少率は 15% である。緩衝剤減少実験開始後、図 2 から部分循環式 UASB 法では、VFA を安定して処理できていたことがわかる。これには、水素分圧が関係していると考えられる。水素分圧が高いときには、グルコースはプロピオン酸経由で分解され、水素分圧が低いときには酪酸経由で分解されるとされており、本実験では、スラッジベッド底部でプロピオン酸および酪酸がともに蓄積していたことから、水素

表 3 両装置の運転条件

run	経過時間 (day)	基質濃度(mg · COD · ℓ ⁻¹)	流量 (ℓ · day ⁻¹)
1	0~9	1000	15.0
2	9~30	2000	15.0
3	30~47	4000	15.0
4	47~72	8000	15.0
5	72~89	12000	15.0
6	89~137	16000	15.0

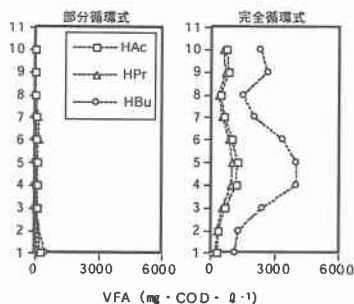


図2 緩衝剤減少実験における鉛直 VFA 濃度分布

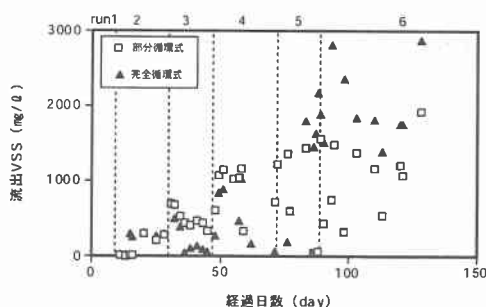


図3 流出 VSS 濃度の経日変化

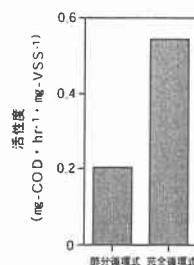


図4 浮遊菌の酸生成活性

分圧がある程度高かったと判断された。緩衝剤減少による槽内 pH の低下で、まずプロピオン酸分解菌に影響が生じるが、水素資化性メタン生成菌は pH 阻害に強いいため、水素分圧は上昇せずに酪酸経路となる。しかし、さらなる pH 低下により酪酸分解菌に pH 阻害が生じ、酪酸が蓄積しやすい傾向となったと考えられる。次に経日的な流出 VSS 濃度を図3に、浮遊汚泥中の酸生成活性を図4に示す。完全循環式は、容積負荷の上昇にともない流出 VSS 濃度が部分循環式より高くなった。これはグラニュール表面の酸生成菌が剥離したためであると推定される。そこで、部分循環式、完全循環式 UASB 装置のブランケット部から汚泥を採取し、酸生成菌の活性度を求めた。浮遊汚泥中の酸生成活性は、完全循環式の方が部分循環式に比べて約3倍高い値を示した。これから完全循環式のブランケット部に酸生成菌が多く存在し、グラニュール表面の酸生成菌が循環により剥離しやすい傾向にあることが推測される。以上のことより、完全循環式は酸生成活性が全体的に低下しやすく、酪酸が蓄積しやすい傾向になると考えられる。部分循環式は酸生成菌が循環の影響を受けにくいいため、酪酸分解菌の活性度は低下せずに酪酸を消費できたと考えられる。

5. モデルの有効性の検証

モデルの検証に用いた実測値は、基質濃度が $8000(\text{mg-COD} \cdot \text{L}^{-1})$ の1260時間目、基質濃度を $12000(\text{mg-COD} \cdot \text{L}^{-1})$ に上昇させた1570時間目、そして、基質濃度を $16000(\text{mg-COD} \cdot \text{L}^{-1})$ に上昇させた2136時間目のものである。それぞれの鉛直 COD 濃度分布、鉛直 VSS 濃度分布、鉛直 pH 分布を図5に示す。なお、11層目から2層目へ槽内水を循環させたことから、2層目と11層目の実測値は得られなかった。鉛直 COD 濃度分布の比較から、1260時間と2136時間では、計算値は実測値をよく再現していることがわかる。12000($\text{mg-COD} \cdot \text{L}^{-1}$)に上昇後の1570時間において装置下部の実測値が、約 $2000(\text{mg-COD} \cdot \text{L}^{-1})$ まで上昇した。しかし、計算値は約 $1500(\text{mg-COD} \cdot \text{L}^{-1})$ までしか上昇しなかったため、装置下部の計算値は実測値よりも低い値となった。しかしながら計算値は実測値と同様な傾向を示すことができた。鉛直 VSS 濃度分布の比較から、実測値での1260、1570、2136時間目では、サンプリングポート7～8にかけて、VSSが減少し、それ以上ではほぼ0であることが計算値により表現できた。鉛直 pH 分布の比較から、1260、1570、2136時間目の実測値においては、VFAの生成により pH が低下し、1層目での pH が6.6前後であった。しかし、VFAが消費された3層目からは上昇し、7.0前後となった。計算値においても、VFAの生成により1層目での pH が6.6前後まで低下し、VFAが消費される2層目からは pH が7.2前後まで上昇し、実験値よりも少し高めの値となったが、計算値は実測値と同様な傾向を示すことができた。

6. まとめ

部分循環式 UASB 法は、今回の実験結果から、処理性能において完全循環式 UASB 法よりも優れていることが明らかとなった。また、緩衝剤を有効利用できるという特徴も有しているため、完全循環式 UASB 法をさらに効率化する方法として期待できることが明らかとなった。構築した部分循環式 UASB 法のモデルによるシミュレーションの結果は、実測値をよく再現できた。今後、緩衝剤を段階的に減少させ処理が破綻する過程を実験的に把握し、本モデルによるシミュレーションでの再現を試みる予定である。

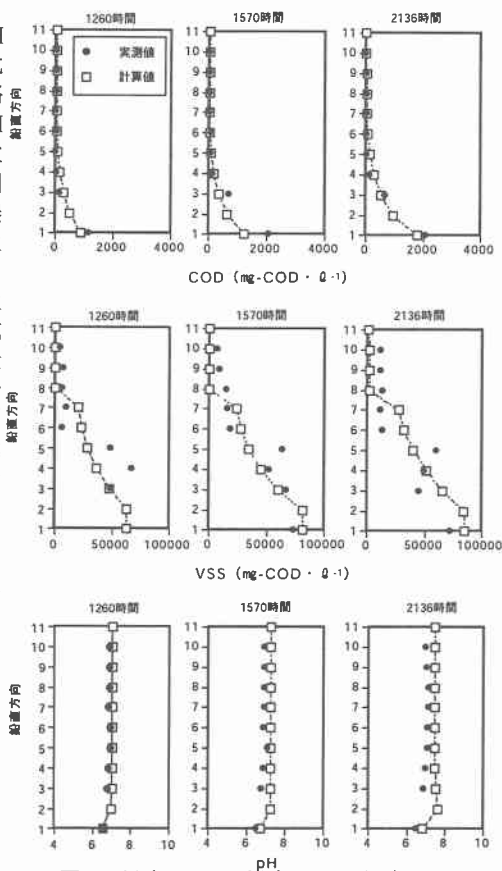


図5 鉛直 COD、鉛直 VSS、鉛直 pH の計算結果と実測値の比較