

部分循環式 UASB 法の有効性に関する検討

山口大学○古賀博之, 今井 剛, 浮田正夫, 関根雅彦 大阪工業大学 中西 弘
宇部工業高等専門学校 深川勝之 日立プラント建設（株）安部直樹

1. 研究目的

上向流嫌気性スラッジブランケット（Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB）法は、沈降性の優れた粒径 0.5 ～ 2 mm 程度のグラニュールを形成させ、反応槽内に高濃度生物保持を可能にする高速メタン発酵バイオリアクターとして、食品・飲料産業における中高濃度の有機性排水処理に広く用いられている。UASB 法では、酸生成菌が低級脂肪酸を、メタン生成菌が低級脂肪酸からメタンを生成するが、低級脂肪酸の蓄積により槽内 pH が低下し、メタン生成菌の至適 pH を外れ、メタン生成活性が低下することがあるため、pH 低下を防ぐ緩衝剤の投入が不可欠であり、その分廃水処理のコストが増加する。これまで、反応槽内の処理水を循環させ、処理水中の緩衝剤の有効利用を可能とした循環方式が多く採用されている。また、逆に処理水を循環させないことにより、酸生成菌、メタン生成菌の棲み分けを促し、効率的に酸生成、メタン生成反応を促進させる一過式処理も考案されている。これは、循環式よりも高負荷下での排水処理が可能であるが、緩衝剤の投入量が増加するという欠点を持つ。

そこで、処理水を部分的に循環させることにより、循環式、一過式の利点を兼ね備えた部分循環式を考案し、それぞれを比較した上で、部分循環式 UASB 法の有効性を実験的に検討した。

2. 実験装置および方法

完全循環式、一過式、部分循環式 UASB 法の 3 つの実験装置の概略を図-1 に示す。

まず、部分循環式 UASB 装置を単独で運転し、処理水の部分循環によるスラッジベッド内の菌相の変化を観察し、活性試験による微生物学的検討を行った。グラニュールは本研究室で昨年度に一過式 UASB 法で形成したものを、循環比 2 で槽内水を循環した。次に、完全循環式、一過式、部分循環式の 3 基の UASB 装置に、別のプラントですでに形成されたグラニュールをインストールし、同一条件下で運転し、それぞれを比較した上で、部分循環式 UASB 法の有効性を実験的に検討した。この実験に用いた UASB 装置は全て同規格で、上述の同一条件で形成されたグラニュールを等量に投入し、ひとつの基質槽から表-1 に示す基質を投入した。なお、部分循環式、完全循環式は、循環比 3 で槽内水を循環させた。

完全循環式のスラッジベッド内は、循環させることにより酸生成、メタン生成菌がほぼ一様に棲息しており、一過式では酸生成、メタン生成菌は上下に偏って棲息しているが、完全には分離していない。部分循環式はメタン生成相のみに槽内水を循環させるため、酸生成、メタン生成菌がより明確に分離できると考えられる。

3. 結果および考察

部分循環式 UASB 装置のみを運転し、部分循環前と、循環開始 1、2、4、8 週間後に活性試験を行った。その結果を、図-2 に示す。グラフにある「上」、「下」の記号は「上」が循環部、「下」が非循環部の菌体活性を示している。

水素の活性度の変化をみると、非循環部の活性度は徐々に低下したが、逆に循環部の活性度は増加した。

また、グルコースについては、非循環部の活性度は増加したが、循環部は非循環部ほど活性度の増加はみられなかった。すなわち、グルコースを消費する酸生成菌が非循

表-1 人工基質組成表

Glucose	9.4 (g/g)
A	2.0 (m/g)
B	10.0 (m/g)
C	1.0 (m/g)
NaHCO ₃	6.0 (g/g)
K ₂ HPO ₄	4.0 (g/g)
酵母エキス	100 (mg/g)
A	(NH ₄) ₂ HPO ₄ 350.0 (g/g)
	KCl 75.0 (g/g)
	NH ₄ Cl 85.0 (g/g)
B	FeCl ₃ ·6H ₂ O 42.0 (g/g)
	MgCl ₂ ·6H ₂ O 81.0 (g/g)
	MgSO ₄ ·7H ₂ O 25.0 (g/g)
	CoCl ₂ ·6H ₂ O 1.8 (g/g)
C	CaCl ₂ ·6H ₂ O 150.0 (g/g)

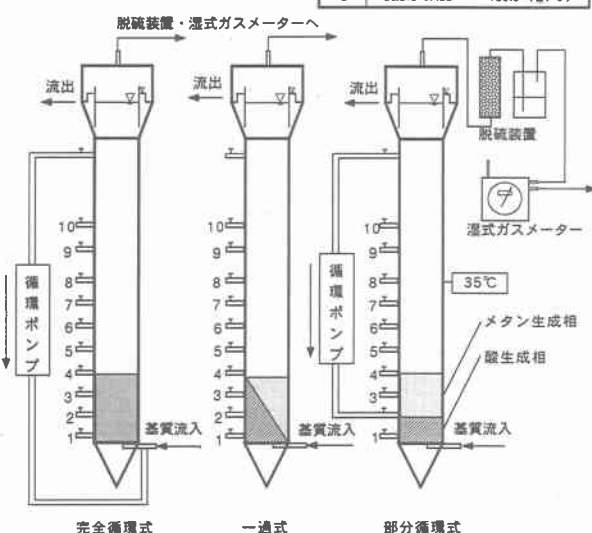


図-1 UASB 装置概略図

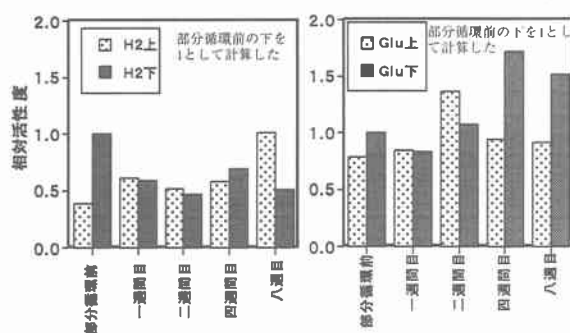


図-2 活性試験結果

環部へ、水素を消費するメタン生成菌が循環部へとスラッジベッド内の菌の棲み分けが進行したと考えられる。

以上の結果から、部分循環式UASB法における、循環部および非循環部の菌相の棲み分けが進行することが確認されたため、次に一過式、完全循環式、部分循環式の3基のUASB装置の比較実験を行った。

比較実験における運転条件を、表-2に示す。3基のUASB装置の処理水中の揮発性脂肪酸（VFA）の経時変化を図-3に示す。run0、1の負荷が低い状態では、どの装置についても処理は良好で、流量による負荷上昇では、処理水への影響が少なかったと考えられる。run2の初期から、負荷上昇後にVFAの蓄積が多少みられたが、これは負荷上昇により発生ガス量が増加したためと推定される。一過式の実験では、20日目に槽内からグラニュールが流出し、これによる影響でrun3の初期～中期にかけVFAが蓄積し、良好な処理水質が得られなかった。しかしながら、run3後半でその蓄積も解消し、回復傾向となった。run4初期では負荷上昇後の影響がみられたが、速やかにVFAの蓄積は減少し、run5からrun6の初期においては良好な処理結果が得られた。完全循環式では、run4の負荷上昇によるVFAの蓄積が減少せず、run5においても、他方式と同程度の処理水質を得るまでに約13日を要した。これは負荷上昇による影響で、槽内のメタン菌の存在量に対して負荷が大きすぎたためにVFAが蓄積したのと考えられる。部分循環式では、run3から負荷上昇後の処理水への影響がみられるが、VFAの蓄積が速やかに減少しており、run4、5、6でも、良好に処理されていた。以上の結果から、容積負荷12 kg-COD/m³/day以上の負荷条件において、部分循環式は安定した処理が可能で、処理成績も完全循環式よりも優れていることが明らかになった。

処理水中の揮発性浮遊物質（VSS）濃度を、図-4に示す。メタンガスの発生量が15 lを越えるrun3以降では、一過式、完全循環式、部分循環式の流出VSS濃度が増加した。特に完全循環式は流出VSSの増加が著しく、ガス発生量の増加や、循環による攪拌を考慮した増加量を上回っていた。これは主に酸生成菌の剥離であると考えられる。すなわち、グラニュールの表面に酸生成菌が、内部ほどメタン生成菌が多く存在すると予測されるため、表面に存在する酸生成菌は循環による影響を受けやすく、酸生成菌の剥離が生じたと考えられる。一方、一過式はrun5、run6で、部分循環式より流出VSS濃度は低かった。

表-2 運転条件表

	運転時間 (day)	流量 (l/day)	基質濃度 (mg-COD/l)	容積負荷 (kg-COD/m ³ /day)
run 0	0~10	10	1000	1
run 1	10~15	15	1000	1.5
run 2	15~23 ※15~25	15	2000	3
run 3	23~36 ※25~36	15	4000	6
run 4	36~42	15	8000	12
run 5	42~55	15	12000	18
run 6	55~70	15	16000	24

※は一過式の運転時間を示す

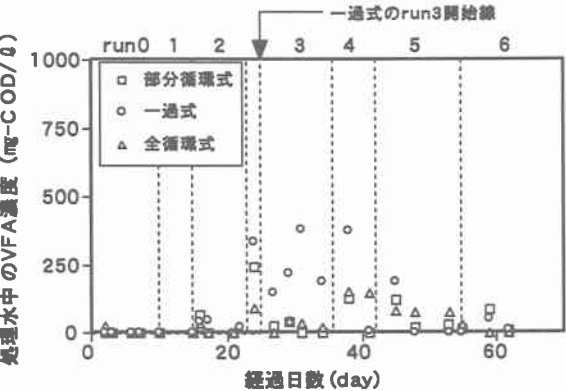


図-3 処理水中のVFA濃度グラフ

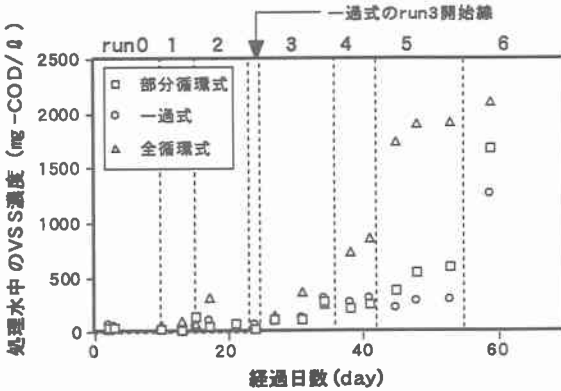


図-4 処理水中の流出VSS濃度グラフ

4. まとめ

本研究では、一過式、完全循環式、部分循環式の三つのUASB処理方式を比較し、部分循環式UASB法の有効性について実験的検討を行った。以下に本研究で得られた知見をまとめる。

- (1)容積負荷6 kg-COD/m³/day以下の低負荷状態においては、一過式、完全循環式、部分循環式の処理水は、どれもよく処理されており、処理水質についての差はみられなかった。
- (2)容積負荷12 kg-COD/m³/day以上の処理水質に関して、部分循環式は完全循環式よりも安定しており、処理成績も優れていた。
- (3)酸生成菌は循環による剥離が生じやすいと考えられ、そのため完全循環式は容積負荷が12 kg-COD/m³/dayを超えると、流出VSSが増加すると予想される。

以上から、部分循環式は完全循環式よりも有効であるといえる。一過式については、処理結果は部分循環式と同様に良好で、流出VSS濃度は部分循環式より優れていたが、pH緩衝剤の投入量が一般に循環式より多く必要とされるため、省エネルギーの見地から部分循環式が有効であると考えられる。