

UASB反応器のスタートアップにおける流出及び残留微生物の活性変化について

九州大学大学院 学生員○賈 曉珊

九州大学工学部 正 員 古米弘明 正 員 楠田哲也

1. はじめに

上昇流嫌気性スラッジブランケット(UASB)反応器は原廃水を反応器底部より上昇モードで流入させ、付着担体を用いずに汚泥のグラニュル化によって汚泥床を形成し、高濃度の生物保持を確保して高容積負荷、高効率処理を達成しようとするメタン発酵リアクターである。しかし、最大の弱点は、汚泥グラニュルの形成に要するスタートアップ期間が長く、この期間汚泥床は非常に不安定な状態にあり、処理プロセスの破綻を生じ易い点にある。本研究では、攪拌速度の異なる三基の反応器を用いて、中温消化汚泥を種汚泥として、流出及び残留微生物活性変化を調べることで、スタートアップ時のグラニュル形成過程の実験的把握を試みた。

2. 実験方法

図-1に、UASB反応器の概略図を示す。三基の反応器を製作し、攪拌速度は12rpm (RUN1)、2rpm (RUN2) 及び無攪拌 (RUN3) とした。装置は内径6cm、カラム長100cm、有効容積2.4Lのものである。これらの装置を35℃の恒温箱に設置した。表-1に流入基質の組成を示す。基質は酢酸(HAc)、プロピオン酸(HPr)、n-酪酸(n-HBu)をCOD比で2:1:1で混合し、3000mgCOD/Lとなるように調整したものである。福岡市下水処理場の嫌気性消化汚泥を1mmメッシュスクリーン通過後、自然沈降によって20640mgMLSS/L (VS/SS比55%, SVI:118mL/g)に濃縮したものを三つの反応器にそれぞれ1.2Lずつ接種した。連続運転時における測定項目は、流出水の揮発性脂肪酸(VFA)濃度、pH、SS、VSS及び発生ガス量、組成などである。

表-1 基質組成

Acetic Acid	1500(mg-COD/l)
Propionic Acid	750(mg-COD/l)
Butyric Acid	750(mg-COD/l)
NaOH & HCl (for pH adjustment)	As required
K ₂ HPO ₄	100(mg/l)
(NH ₄) ₂ HPO ₄	150(mg/l)
H ₂ CO ₃	3500(mg/l)
NH ₄ Cl	500(mg/l)
CaCl ₂ ·2H ₂ O	735(mg/l)
Yeast extract	30(mg/l)
Trace Metal Solution (TMS)	2(ml/l)
*TMS	
KCl	150(mg/l)
FeCl ₃ ·6H ₂ O	2000(mg/l)
MgCl ₂ ·6H ₂ O	50(mg/l)
CoCl ₂ ·6H ₂ O	500(mg/l)
ZnCl ₂	75(mg/l)

COD:N:P=100:5.5:1.45

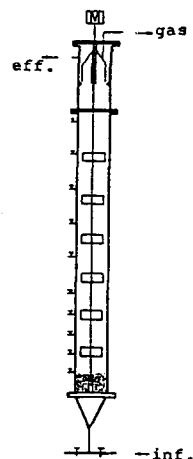


図-1 実験装置

一方、流出及び残留微生物の活性を調べるためにバイアルを用いた回分実験(容積約70mL)を行った。バイアル内の汚泥濃度は1500-2500mgVSS/Lに調整した。基質は、Mix(HAc:HPr:n-HBu=2:1:1), HAc, HPr, n-HBuを用いて、初期濃度が1000mgCOD/Lとなるように設定した。反応液量は40mL (Na₂S·9H₂O:250mg/L, レバニン:1mg/L及び表-1に示した無機塩類を含む)である。また、基質として、H₂+CO₂(4:1)を用いたバイアル実験(反応液量:20mL)も行った。水素の初期添加量を液量基準で500mgCOD/Lとなるように設定した。35℃で振とう培養を行い、経時的に生成ガス量、ガス組成及びVFA濃度を測定した。

3. 実験結果及び考察

a) 連続運転結果 図-2に連続運転結果を示す。実験は流入COD濃度を3000mg/Lで一定とし、HRTを短縮化させることによって、負荷を増大させて、60日間にわたって行った。容積負荷は、COD除去率が80%以上に安定して維持されるよう徐々に増大させた。実験初期に三基の反応器とも4日間の回分培養を行ってから、1.0kgCOD/m³・dの負荷で連続運転を開始した。RUN1は45日目に汚泥流出トラブルにより中止した。RUN2とRUN3については60日目現在で、両方とも5.5kgCOD/m³・dに達した。図-2に示したように、ガス発生量が負荷の増加に対応して増大し、容積負荷5.5kgCOD/m³・dでCOD除去率は85%以上の良好な処理性能を示した。また、流出VFA組成は、HAcとHPrからなり、C₄以上のVFAはほとんど蓄積しておらず、メタン生成プロセスが良好な状態に保たれていると考えられる。RUN2、RUN3いずれも52日目から反応

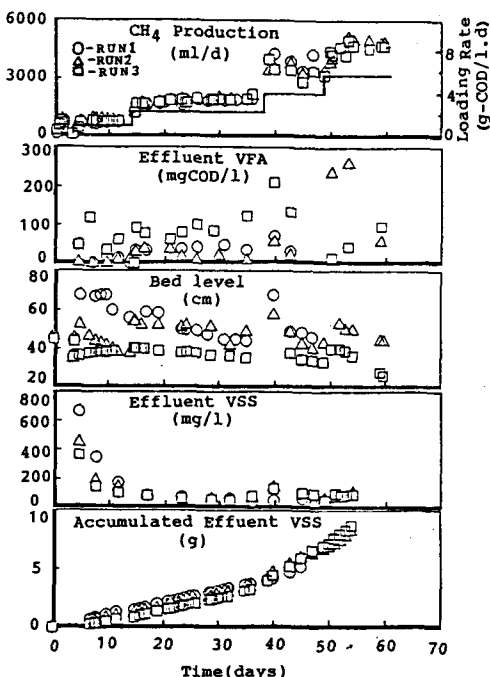


図-2 連続運転結果

器の下部に少量のグラニユー
ール生成が観察された。一
方、流出VSSの値は15日目以
前にはRUN1>RUN2>RUN3であ
るが、ガス発生量が2.0L/d
以上になる頃より、ガス攪
拌によって床が十分に混合
し、機械による攪拌速度の
影響はほとんどなくなった。
従って、これ以後のどの実
験も流出VSS及び累積流出V
SSは、ほぼ同様の傾向を示
した。

b) バイアル実験結果

スタートアップ期間中の
本体及び流出汚泥を用いた
メタン生成活性実験を行い、
累積メタンガス量を測定し、
その傾きより発生速度を求
め、VSS濃度で割った値を比
メタン生成活性として評価
した。その結果を表-2に
示した。いずれの反応器につ
いても、汚泥床の下部及び上
部から汚泥をシリンジにより
サンプルして、実験に供した。
36、60日目のMix及びHAc基
質における比メタン生成活性
は消化汚泥と比べ著しく増
大しており、その増加率は36
日目では約3-7倍、60日目
では6-9倍となっている。
また、60日目におけるMix
とHAc基質での比メタン生
成活性を比べるとほぼ同等
であり、これは、HPr及びn-
HBUから、HAcが順調に生
成されたからである。また、
上部と下部の汚泥の比メ
タン生成活性を比べると、
RUN3の60日目HAc基質
の場合を除いて、上部の方
が10-20%程度低い値を
示した。一方、容積負荷の
増加により流出した汚泥に
ついてはメタン生成活性を
調べた。その結果を表-3に
示した。流出汚泥も本体に
残留している汚泥の比メ
タン生成活性と同程度の活
性を有しており、選択的に
不活性な汚泥が負荷上昇に
伴い流出する現象は見られ
なかった。

汚泥床内及び流出汚泥中の
” 活性な菌体量 ” を把握
するために、動力学的な菌
体量推定法⁽¹⁾を用いた。ま
ず消化汚泥について各基質
の反復回分実験を行い増殖
収率Yを0.05として、 μ_m
(最大比増殖速度)と菌体
量を求めた。この μ_m の値
を用いて、各バイアル実験
の基質濃度変化に対してカ
ーブフィッティングを行い、
” 活性菌体量 ” の推定を行
いVSSに対する比を求めた。
その推定値を表-4に示す。
約60日間のスタートアップ
期間に、各基質分解菌は10
倍程度集積していることが
わかった。また、VSSの約
30%をこれらの微生物の
活性菌体量で占める頃に、
グラニユーール化が進行し
ていることは興味深い点
である。

4. おわりに
本研究では、UASB反応器
のスタートアップについて、
流出及び残留汚泥の比メ
タン生成活性と” 活性菌体
量 ” の変化を調べることに
より評価した。その結果、
メタン生成比活性の増大
や活性微生物群の集積化
の後、グラニユーール形成
が進行することが明らかと
なった。今後、さらに実験
を継続し、各揮発脂肪酸
分解菌及び水素利用菌の
菌体量の変化とグラニユー
ール形成との因果関係を
明らかにする予定である。

<参考文献>

- 1) 古米ら”嫌気性混合培養系における酢酸利用メタン生成菌の活性菌体量推定法とその応用”
衛生工学研究論文集 Vol.26,pp.9-18,1990

表-2 本体汚泥の比メタン生成活性変化 表-3 流出汚泥の比メタン生成活性変化

単位: g-COD-CH₄/g-VSS.d

基質			Mix	HAc	HPr	n-HBU
汚泥種類						
消化汚泥			0.11	0.12	※	0.11
本体汚泥	RUN1	下部	0.77	0.81	/	/
		上部	0.58	0.57	/	/
	RUN2	下部	0.46	0.43	/	/
		上部	0.45	0.38	/	/
	RUN3	下部	0.68	0.64	/	/
		上部	0.51	0.47	/	/
	36日目					
	4.0kgCOD/m ³ d	下部	/	/	/	/
		上部	0.71	0.94	0.32	/
60日目	RUN2	下部	0.80	0.92	/	/
		上部	0.89	0.77	/	/
	RUN3	下部	0.98	0.99	/	/
		上部	0.91	1.05	/	/
	0rpm					
	4.0kgCOD/m ³ d					

※: 実験初期にメタン発生量が直線的に累積せず、比メタン生成活性という形で整理不可
/: 実験データなし

単位: g-COD-CH₄/g-VSS.d

基質			Mix	HAc	HPr	n-HBU
汚泥種類						
消化汚泥			0.11	0.12	※	0.11
流出汚泥	1.0kgCOD/m ³ d	RUN1	/	0.52	0.20	0.55
		RUN2	/	0.66	※	0.40
	2.3kgCOD/m ³ d	RUN3	/	/	/	/
	15日目					
流出汚泥	4.0kgCOD/m ³ d	RUN1	/	/	/	/
		RUN2	/	0.73	0.47	0.68
	5.5kgCOD/m ³ d	RUN3	/	1.04	0.38	0.73
	49日目					

※: 実験初期にメタン発生量が直線的に累積せず、比メタン生成活性という形で整理不可
/: 実験データなし

表-4 本体及び流出汚泥の推定結果

単位: mgVSS菌体量/mgVSS

基質			HAc	HPr	n-HBU	H ₂ +CO ₂
汚泥種類						
消化汚泥			1.36 (0.27)	0.51 (0.17)	1.24 (0.42)	0.18 (0.65)
本体汚泥	RUN1	下部	9.82	/	/	0.81
		上部	8.83	/	/	0.63
	RUN2	下部	8.33	/	/	0.67
		上部	5.49	/	/	0.81
	RUN3	下部	7.71	/	/	0.73
		上部	6.56	/	/	0.80
	36日目					
	4.0kgCOD/m ³ d	下部	/	/	/	/
		上部	12.5	6.47	/	1.03
60日目	RUN2	下部	9.35	/	/	1.33
		上部	10.9	/	/	1.22
	RUN3	下部	14.5	/	/	1.18
		上部	11.8	/	/	1.25
	0rpm					
	5.5kgCOD/m ³ d					
流出汚泥	1.0kgCOD/m ³ d	RUN1	8.86	5.33	6.98	0.58
		RUN2	7.55	2.93	2.10	/
	2.3kgCOD/m ³ d	RUN3	/	/	/	/
	15日目					
流出汚泥	4.0kgCOD/m ³ d	RUN1	/	/	/	/
		RUN2	13.2	11.8	6.59	1.31
	5.5kgCOD/m ³ d	RUN3	13.0	5.54	4.79	1.37
	49日目					

(): 消化汚泥の μ_m (1/d)
/: 実験データなし