

UASB 法におけるグラニユール形成に対する上昇線流速の影響

山口大学○近藤聡士、今井 剛、浮田正夫
宇部高専 深川勝之、大阪工大 中西 弘

1. はじめに

UASB 法での処理効率は、自己造粒機構によるグラニユールの形成に大きく依存する。しかしながら、その形成機構、特にスタートアップ時におけるグラニユール形成過程については未だ不明な部分が多く、それらに関する研究も少ない。そこで、本研究ではUASB法を対象にスタートアップ実験を行ない、まず、基質濃度と上昇線流速のどちらが、グラニユール形成促進に寄与するかを実験的に比較し、その結果からスタートアップにおけるグラニユール形成促進に最適な上昇線流速に関して検討した。

2. 基質濃度と上昇線流速がグラニユール形成に及ぼす影響

2.1 実験装置および方法

基質濃度と上昇線流速のどちらがよりグラニユール形成促進に寄与するかを調べるために、図-1に示すラボスケールのUASB装置（内径：92mm、高さ：1500mm、有効反応槽容積：10ℓ、槽内設定温度：35.0℃）を用いて、以下の実験を行なった。基質濃度を変化させることによって負荷上昇を行なったものが#1、流量を増加させること（上昇線流速の増加）によって負荷上昇を行なったものが#2である。この2基のUASB装置に、グルコースを炭素源とした人工廃液（表-1）を供給して、表-2に示した運転条件で連続運転を行なった。本実験では、宇部市東部下水処理場から採取した消化汚泥（SS = 20000mg/ℓ）を種汚泥として反応槽に6ℓ投入した。run0では菌の馴致のために、6日間の回分運転を行なった後、連続運転に移行した。この連続運転期間中、CODとSSの経日変化および菌の活性試験および走査電子顕微鏡（SEM）による菌の観察を行なった。活性試験の基質として、酢酸(1000mg-COD/ℓ)、グルコース(1000mg-COD/ℓ)、水素+二酸化炭素基質（1：3）を用いた。さらに、これらの分析に加えて画像解析を行ない、グラニユールの粒径分布を測定した。

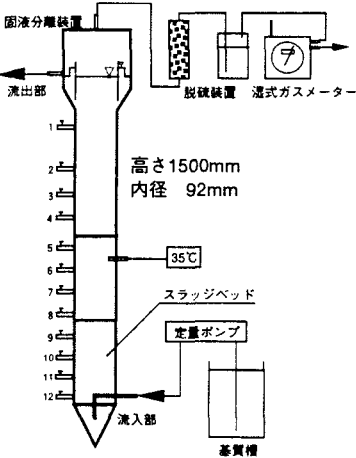


図-1 UASB 装置概略図

表-1 人工基質組成表
(10000mg-COD/l)

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)

2.2 実験結果および考察

図-2に示すように、約250日間の連続運転を通じて#1、#2ともにCOD除去率はpH阻害による除去率低下が生じた期間を除いて約80%以上と、高い処理効率を維持した。#1はrun3（負荷2.0kg-COD/m³/day）からrun4（負荷3.0kg-COD/m³/day）に負荷を上昇させた直後、2600mg-SS/ℓと著しい汚泥の流出が確認され、その後#1の装置内で汚泥の浮遊が観察されるようになった。pH阻害の影響でグラニユール形成がやや遅れたが、この時期（140日目付近）で菌の塊が確認できた。このことと、run4におけるSSの流出量の増加は一時的なものですぐに減少したこと、COD除去率は増加していたこと、揮発性脂肪酸（VFA）の蓄積量が減少したこと等から、容積負荷3.0kg-COD/m³/dayから自己造粒機能が高まりグラニユール化が進んだものと推定される。図-3に菌の活性試験の結果を示す。グルコース基質は酸生成菌、酢酸基質は酢酸酸化性メタン生成菌、水素/二酸化炭素基質は水素酸化性メタン生成菌のそれぞれの活性を示す指標となる。run2を除けば各基質の消費活性は、

表-2 連続運転条件

	期間 (day)	基質濃度 (mg-COD/l)		HRT (day)		負荷 (kg-COD/m ³ /day)
		#1	#2	#1	#2	
run0	6	500	500	0	0	馴致期間
run1	19	500	2000	1	4	0.5
run2	41	1000	2000	1	2	1.0
run3	21	2000	2000	1	1	2.0
run4	21	3000	2000	1	0.67	3.0
run5	50	4000	2000	1	0.5	4.0
run6	70	6000	2000	1	0.33	6.0
run7	27	9000	2000	1	0.22	9.0

#2においては概ね増加傾向にあるが、#1においてはrun3をピークに横ばいか、あるいは低下傾向にあることが分かる。このことから、高活性の菌をグラニュール内に保持するためには、HRTを短縮させる方が有利であるといえる。また、実験結果から、#1では酢酸(HAc)を分解するメタン生成菌、グルコース(Glu)を分解する酸生成菌の活性が、スラッジベッドの上部と下部であまり差がなかったことから、汚泥は沈降状態ではなく浮遊状態であったことが分かる。#2においては主にメタン生成菌の活性は上部、酸生成菌は下部で高くなっていたことから、汚泥の沈降性が良好でスラッジベッドが形成されマクロな菌の棲み分けが起こったものと推定される。実体顕微鏡等の観察により、グラニュール化が進行していると判断されたrun3からグラニュールが多数確認されたrun7を通して両装置のスラッジベッド全体でメタン生成菌の活性度が0.01mg-COD/hr/mg-VSS(本実験の種汚泥は0.006mg-COD/hr/mg-VSS)程度以上が維持されており、この数値がグラニュール化の1つの指標となると考えられる。図-4に画像解析装置により測定したグラニュールの粒径分布を示す。種汚泥の時点で稀にはあるが0.3mm程度の菌塊が観察されたこととサンプル処理時の誤差を考慮し、0.4mm以下は計数しなかった。また、得られたデータ数にはばらつきがあったので総数を1000個に換算した値を用いた。#1では経時的な差があまりみられないが、#2では粒径が経時的に大きくなる傾向を持つことが分かる。写真・1に、SEMにより撮影された、run6(184日目)におけるグラニュール(直径約2mm)の写真を示す。このSEMによる観察からはグラニュール内における菌相の違いは認められなかった。

以上の結果から、上昇線流速の方がグラニュールの形成促進に寄与することが実験的に確認された。よって、以下の実験でグラニュール形成促進に最適な上昇線流速を調べた。

3. グラニュール形成に対する上昇線流速の影響

3.1 実験装置および方法

この実験では前回の実験と同様の人工廃液(表-1)を用いた。

この人工廃液を対象に

6基の小型ラボスケール

のUASB装置(内径:

65mm、高さ:400mm、

有効反応槽容積:1.0ℓ、

反応槽内設定温度:

35.0℃)を用いて、それ

ぞれ別の上昇線流速を

設定した運転条件(表-

3参照)で種汚泥からグ

ラニュール形成に至る

までのスタートアップ

実験を行なった。種汚

泥として宇部市東部下

水処理場から採取した

消化汚泥(SS=23000mg/

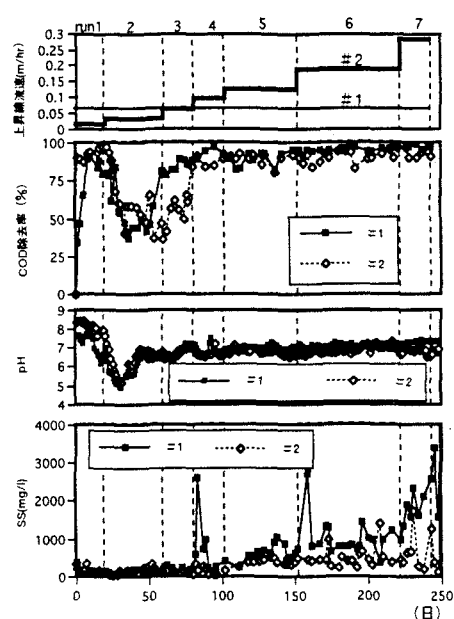


図-2 上昇線流速、COD除去率、pH、SSの経日変化

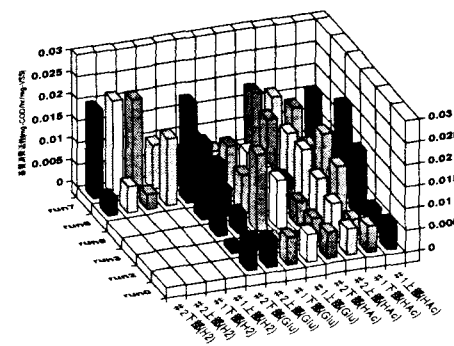


図-3 各runごとの基質消費活性の変化

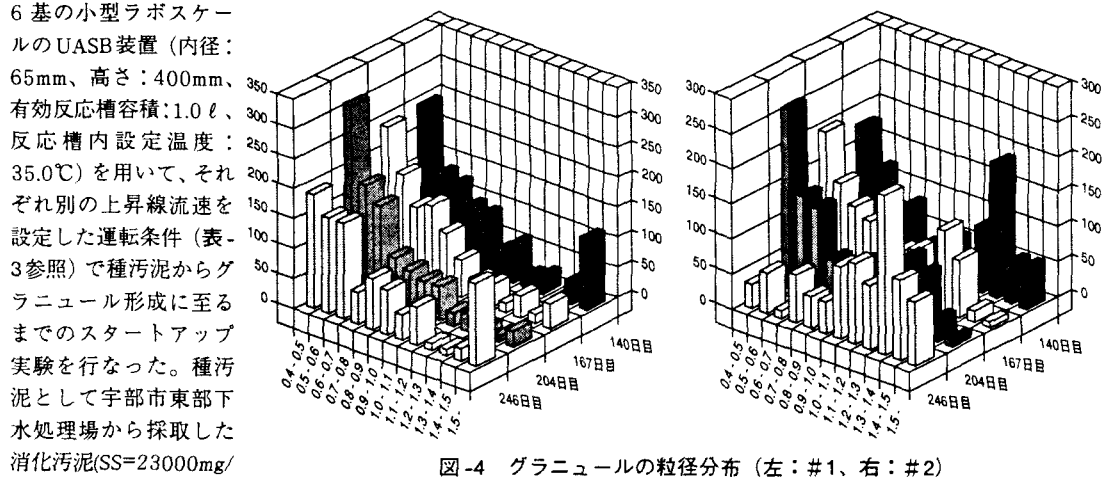


図-4 グラニュールの粒径分布 (左: #1、右: #2)

ℓ)をそれぞれの装置に0.6 ℓ投入した。連続運転時の分析項目はCOD、SS、ガス発生量、ガス組成等である。

3.2 結果および考察

図-5は、流入廃液濃度1000mg-COD/ℓに対するNo.1～No.6の処理水のCOD濃度と流出SS濃度の経時変化を示したものである。実験初期段階において上昇線流速を高く設定したNo.5、6ではCOD除去率が低く、pHも他のものに比べて低かった。このことから反応槽内に酢酸・プロピオン酸等の蓄積があったものと思われる。すなわち、メタン生成菌の基質消費速度が遅いために、反応槽内に酢酸・プロピオン酸等が蓄積し、COD除去率が悪くなったものと考えられる。しかしながら、運転時間の経過とともに除去率は上昇していったことから、メタン生成菌が反応器内において増殖したものと予測される。また、No.5、6では上昇線流速を高く設定したため、反応槽内に投入した消化汚泥のウォッシュアウトが予測されたが、目立った汚泥のウォッシュアウトは観察されなかった。逆に、この実験ではNo.3、4でのSSの流出が目立った。これは、上昇線流速が比較的高くなく、それでいて流入負荷が菌の増殖に不十分なほど低くなかったNo.3、4において酸生成菌とメタン生成菌とがバランス良く増殖し、その結果として、メタンガスの発生量が多くなり（図-6参照）、菌体とガスの分離が十分に起こらず、菌のウォッシュアウトにつながったものと考えられる。このことは、汚泥のウォッシュアウトの直接要因となるものが、液相の上昇線流速ではなく、発生ガスをも考慮すべきであることを示唆している。

よって、以上のことから、発生ガス量を考慮に入れた上昇線流速によるグラニュール形成過程の把握が必要であることが確認された。

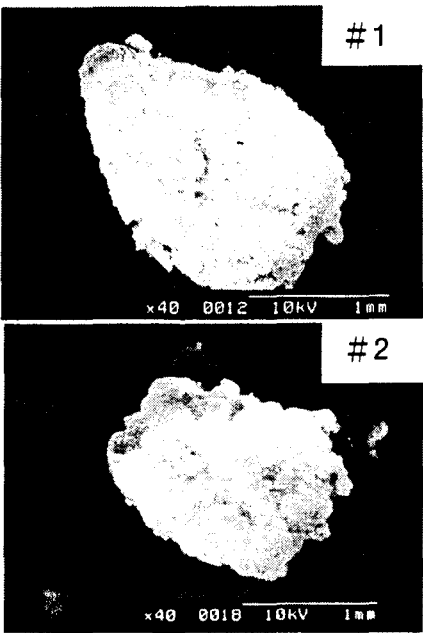


写真-1 グラニュールのSEM写真

表-3 上昇線流速の設定値

No.	1	2	3	4	5	6
流速 (cm/day)	15	45	60	81	166	287

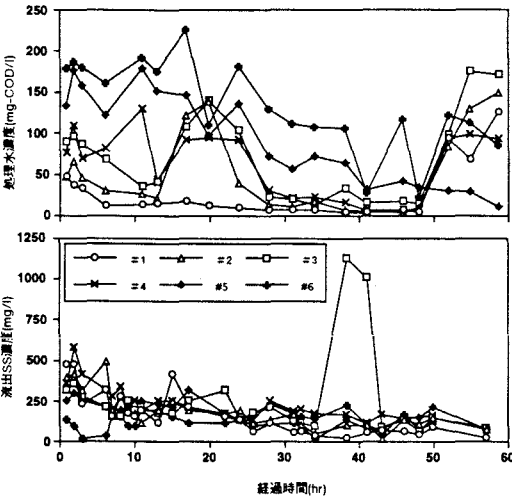


図-5 CODおよび処理水のSSの経時変化

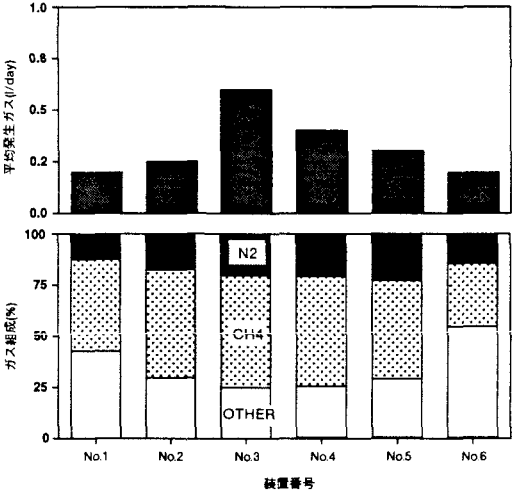


図-6 発生ガス量と組成率

4. おわりに

本研究の結果から、UASBにおけるグラニュール形成過程において、液相の上昇線流速のみでなく発生ガスが大きな要因となっていることが示唆された。この発生ガスをうまくコントロールできれば、本研究の目標達成に大きく近づくことができると考えられる。今後は、発生ガスを考慮した上昇線流速がグラニュール形成過程に及ぼす影響について実験を継続していく予定である。