

UASB 法におけるグラニュール形成機構に関する実験的研究

山口大学 正会員 今井 剛 福岡県庁 正会員○真崎達也 山口大学 正会員 浮田正夫
山口大学 学生員 近藤聡士 宇部高専 正会員 深川勝之 山口大学 正会員 関根雅彦

1. はじめに

上向流嫌気性スラッジブランケット（Upflow Anaerobic Sludge Blanket：UASB）法は、嫌気性廃水処理法の1つで、処理効率の高い処理法として注目されている。UASB法において処理効率を左右するのは、微生物自身の自己造粒機構によるグラニュールの形成であるが、その形成過程、とりわけグラニュール形成の判断基準については現状では定式化されているとはいえず、それらに関する研究も少ない。そこで、本研究ではUASB法のスタートアップ実験を行い、実験結果からグラニュール形成過程に関する検討を行った。

2. 実験装置および方法

本実験では表-1に示す人工廃水を用いて、図-1に示すUASB装置（内径：92mm、高さ：1500mm、有効容積：10.52l）におけるグラニュール形成過程解析のためのスタートアップ実験を行った。この装置2基（後述の運転条件により#1、#2と略す）を用いて、表-2に示す負荷条件で連続運転を行った。#1においては水理学的滞留時間（HRT）は一定のまま基質濃度の上昇により、また#2においては基質濃度は一定のままHRTを減少させることにより負荷を上昇させ、その違いによるグラニュール形成過程の相違を把握することを試みた。さらに、連続運転結果、各運転段階における菌の基質消費活性試験、走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：SEM）および実体顕微鏡による菌の定期的な観察、画像解析装置を用いたグラニュールの粒径分布の測定を通してグラニュール形成過程の解析を行った。

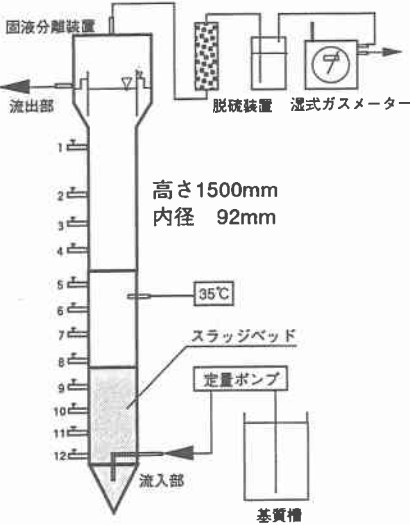


図-1 UASB 装置概略図

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)
B	KCl 75.0 (g/l)
	NH ₄ Cl 85.0 (g/l)
	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)

3. 実験結果および考察

図-2に上昇線流速、COD除去率、pH、SSの経時変化を示す。連続運転期間を通じて#1、#2ともにCOD除去率はrun2（pH阻害による除去率低下が起こった）を除いて約90%と高い処理効率を維持した。なお、pH阻害は緩衝剤の量を誤って半減させたために生じた。pH阻害からの回復は#2と比較して、#1の方が早かった。これは表-1から分かるように、run2においては#1の方がHRTが短く、流入基質が速やかに入れ替わったためであると推定される。

#1ではrun3（負荷2.0kg-COD/m³/day）からrun4（負荷3.0kg-COD/m³/day）に容積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。run4におけるSSの流出量の増加は一時的なもので速やかに減少したこと、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において、自己造粒機能が高まりグラニュ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の、酢酸基質は酢酸資化性メタン生成菌の、水素基質は水素資化性メタン生成菌の活性を示す指標となる。run2を除けば各基質消費活性は、#2においては概ね

表-2 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	-	-	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

増加傾向にあるが、#1においてはrun3をピークに横ばいか、低下傾向にあることがわかる。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の平均値が $0.01\text{mg-COD/hr/mg-VSS}$ (本実験の種汚泥は $0.006\text{mg-COD/hr/mg-VSS}$) 以上を維持しており、この数値がグラニュール化の1つの指標になると考えられる。

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 程度の菌塊が見られたことおよびサンプリング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では時間経過における差があまり見られないが、#2では粒径が経時的に大きくなる傾向を持つことがわかる。

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の写真を示す。SEMによる菌相の観察から、種汚泥では糸状菌が低密度に存在するのみであったが、run6では#1でスラッジベッドの上部、下部において球菌と糸状菌が混在し、#2では上部で球菌、下部で糸状菌が優占していることが観察された。このことから、スラッジベッドが流動状態であった#1では菌の棲み分けは起こらず、沈降性の良かった#2においてマクロな菌の棲み分けが起こったものと考えられる。

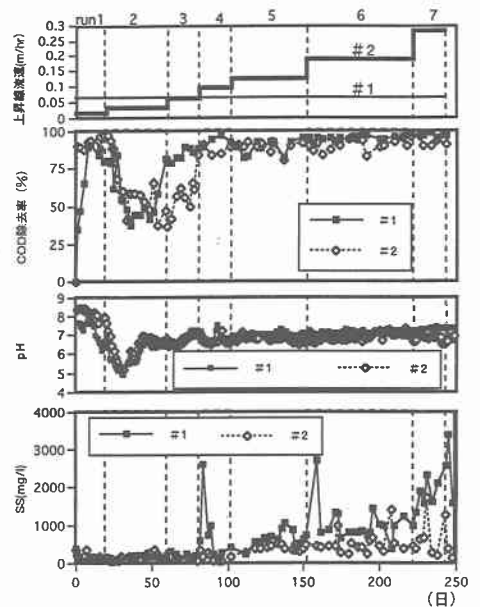


図-2 上昇線流速, COD 除去率, pH, SS の経日変化

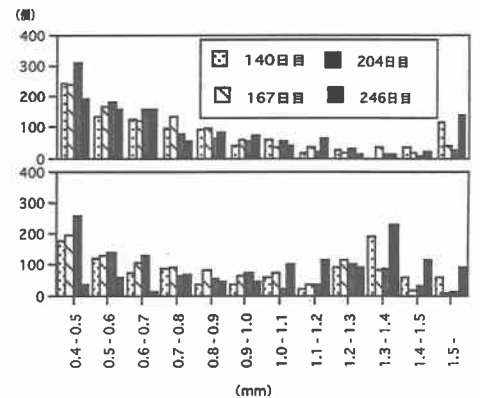


図-4 画像解析によるグラニュール径の分布の変化 (上-#1, 下-#2)

4. まとめ

グラニュール化は容積負荷で $3.0\text{kg-COD/m}^3/\text{day}$ 程度から促進されることが実験的に示された。また、HRTを徐々に短縮させ、流量による負荷上昇を行った方が沈降性の良好な汚泥が得られ、グラニュールの粒径が順調に生長し、活性の高い菌が集積されることが明らかとなった。グラニュールの形成はおおよそ、画像解析等で 0.4mm 程度以上の粒径のものが確認されること、メタン生成菌の活性度が $0.01\text{mg-COD/hr/mg-VSS}$ 程度以上となることが形成判断基準の1つとなると考えられる。

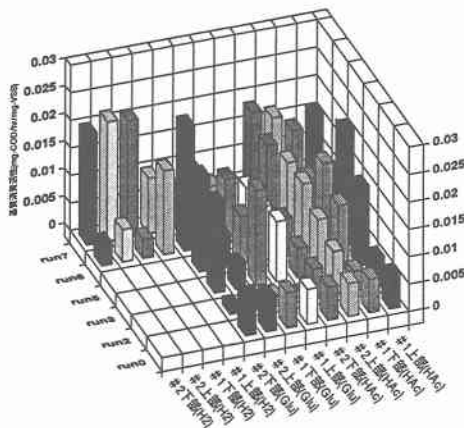


図-3 run ごとの基質消費活性の変化

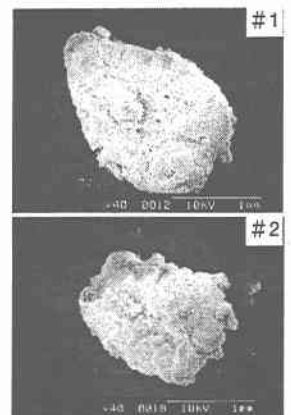


写真-1 グラニュールのSEM写真