

UASB 法におけるグラニユールの形成機構に関する実験的研究

山口大学工学部○今井 剛、荒金光弘、浮田正夫、関根雅彦、樋口隆哉

1. はじめに

近年、省資源・省エネルギー型の廃水・汚泥処理法の開発の必要性が認識されており、有効な処理法の確立を目指してさまざまな研究が行われている。なかでも嫌気性処理法の代表的なプロセスのひとつである上向流嫌気性スラッジブランケット (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB) 法は、高速処理が可能であり、高濃度廃水処理に適用可能な処理法として注目されている。この UASB 法の大きな特徴は、嫌気性微生物の自己固定化機能により形成される、沈降性の優れた粒径 0.5～2mm 程度のグラニユールである。しかしながら、その形成に長期間を要し、その形成機構が未だ解明されていない。そこで本研究では、グラニユールの形成段階において何が主要因子になるのかに注目し、グラニユール形成の機構解明に関する実験的検討を行う。

2. 実験装置及び方法

図 1 に実験装置図、表 1 に人工基質組成表、表 2-1～2-3 に実験装置の運転条件を示す。

2.1 生物学的条件の違いに注目した立ち上げ実験(第 1 期立ち上げ実験)

第 1 期立ち上げ実験は、すでに形成されたグラニユールを分散させた汚泥と、山口県宇部市東部浄化センターから採取した嫌気性消化汚泥をそれぞれ同一 SS 濃度となるようにインストールし、同じ負荷条件の下で運転を行い、立ち上げを行った。この実験は 2 基の実験装置において、立ち上げ開始時に汚泥中のグラニユール形成に関わる菌の割合を変えることにより、グラニユール形成までに要する時間に差が出るとの予測のもとで行った。

2.2 運転条件の違いに注目した立ち上げ実験(第 2 期立ち上げ実験)

第 2 期立ち上げ実験は、運転条件の違いに着目して実験を行った。この実験では、種汚泥としてすべて消化汚泥を使用した。2.1 では良好な処理成績(除去率 90%以上)を維持しながら負荷を段階的に上昇させたが、今回は過負荷条件(ただし除去率は 70%以上を目安とした)のもとで実験を行った。また、廃水の流量や濃度がどのようにグラニユール形成に関わってくるのかを調べるために、濃度変化型と流量変化型に分けて行った。なお、混合型は濃度変化型と流量変化型とを組み合わせた方法である。

2.3 細胞外物質形成後の槽内汚泥の凝集に注目した立ち上げ実験

(第 3 期立ち上げ実験)

第 3 期立ち上げ実験では、第 2 期立ち上げ実験の結果に基づき、グラニユール形成をさらに早期に行うための運転条件の推定を目的に行った。この実験でも、種汚泥としてすべて嫌気性消化汚泥を使用し、第 2 期立ち上げ実験よりもさらに過負荷条件(除去率の目安として 60～70%)での運転を行った。また、細胞外物質形成後の基質の有無を条件として加え、槽内汚泥の沈降性・凝集性、細胞外物質の変化を比較・検討するために装置を高負荷連続型、高負荷変動型に分けて実験を行った。

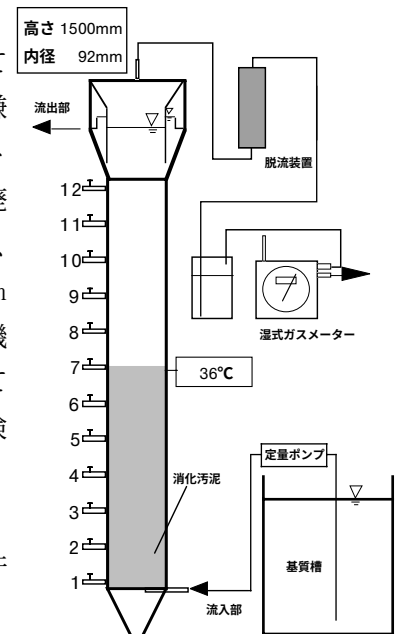


図 1 実験装置の概略図

表 1 人工基質組成表

Glucose	9.4 (g/L)
A	2.0 (mL/L)
B	10.0 (mL/L)
C	1.0 (mL/L)
NaHCO ₃	4.0 (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)

表 2-1 実験装置の運転条件(第 1 期)

run	経過日数	基質濃度	流量	容積負荷	HRT	
	day	mg-COD/L	L/day	kg-COD/m ³ /day	day	
1	0 ~ 15	500	5	0.20	2	
2	15 ~ 25		10		0.50	1
3	25 ~ 39	1000			1.00	
4	39 ~ 57	2000		1.90		
5	57 ~ 84	20		3.80	0.5	
6	84 ~ 104		4000			7.60

表 2-2 実験装置の運転条件(第 2 期)

run	経過日数 day	濃度変化型 (流量一定)		流量変化型 (濃度一定)		混合型	
		流量 L/day	基質濃度 mg-COD/L	流量 L/day	基質濃度 mg-COD/L	流量 L/day	基質濃度 mg-COD/L
run1	0 ~ 14	10	2000	1	10000	5	2000
run2	14 ~ 28		5000	5		10	10000
run3	28 ~ 42		10000	10			5000
run4	42 ~ 65		20000	20		20	

表 2-3 実験装置の運転条件(第 3 期)

run	経過日数 day	高負荷連続型		高負荷変動型	
		流量 L/day	基質濃度 mg-COD/L	流量 L/day	基質濃度 mg-COD/L
1	0 ~ 3	5	2000	5	2000
2	3 ~ 7		10000		10000
3	7 ~ 14		30000		30000
4	14 ~ 18	20	5000	20	0
5	18 ~ 24	40	5000	40	0

3. 結果及び考察

3.1 グラニュールを分散させた汚泥と消化汚泥を用いた立ち上げの比較実験(第1期立ち上げ実験)

実験結果として、どちらもグラニュール形成までの時間的な差はほとんどなかった(形成まで約2ヶ月半)。両装置とも運転条件は同じであったため、菌の割合・種類などの生物学的条件は、グラニュール形成の主要因でないことが明らかとなった。また、一旦分散したグラニュールを再形成させるには、消化汚泥からグラニュールを形成させるのと同程度の時間を要することも明らかとなった。さらにこの実験において、汚泥の実体顕微鏡による観察や装置の高さ方向のVSS濃度分布などから、グラニュール形成には、(細胞外物質の形成→凝集→沈降)の過程を経ることが確認できた。

3.2 立ち上げ時における廃水の流量および濃度の影響に関する比較実験(第2期立ち上げ実験)

全体的を通して、第1期よりも第2期の方がメタンガス生成率、除去率ともに低かったが、グラニュール形成までに要する時間の短縮が確認できた(形成まで約1ヶ月半)。これは、運転条件を過負荷状態にしたことが大きく関わっていると考えられる。図2に槽内上部におけるSS状の菌に関する活性度の比較を示す。図2から、SS状で存在する菌について、流量変化型が濃度変化型より高い活性を示す傾向にあることがわかる。ただし、これらは、槽内上部(図1のNo.12)のSSとして存在する菌の活性度であるため、それが処理水とともに排出された可能性が高く、グラニュール形成に関わる菌の保持という点では、濃度変化型の方が適していると考えられる。混合型では、run1、run2で安定していた流出VSS濃度がrun3になると急激に増加した。これは、流量変化による槽内菌の一時的な流出であると考えられる。しかし、この流量変化を行ったrun3から槽内における汚泥の沈降性の増加が確認された。以上より、混合型は初めに濃度変化によって槽内菌の流出を抑えながら菌を増殖させ、次に流量変化によって菌の凝集を促進させることで、グラニュールの早期形成が可能であると考えられる。

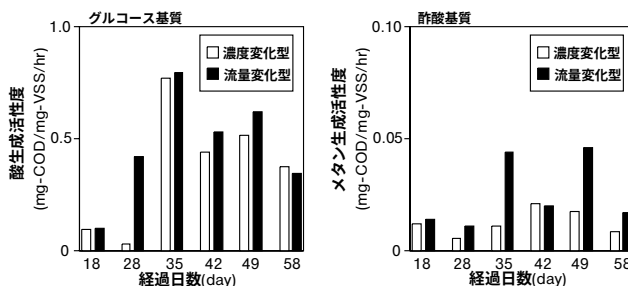


図2 槽内上部におけるSS状の菌に関する活性度の比較

3.3 細胞外物質形成後の槽内汚泥凝集の比較実験(第3期立ち上げ実験)

過負荷状態で運転を行うと、粒径の大きい汚泥は凝集、粒径の小さい菌は増殖という異なる過程を経るために、汚泥の粒度分布には粒径の大きなピークと、小さなピークの二つが出現し、粒径の大きな汚泥が増加しているにもかかわらずメジアン径が小さくなる場合がある。つまり、メジアン径によるグラニュール形成の確認が困難な場合が存在する。そのような場合に変動係数を利用することを考えた。実体顕微鏡による観察と比較した結果から、変動係数の値が1を超えると、グラニュール形成に近いことを表わすことが示唆された。図3に経過日数にともなう変動係数の変化を示す。高負荷連続型の方が高負荷変動型よりも、グラニュールの形成に関する環境が良好であったらしく、23日目にはグラニュールが確認された。しかしながら、変動係数のみでグラニュレーションの確認を行うことは困難であるため、実体顕微鏡による造粒観察を併用しつつ、判断する必要がある。

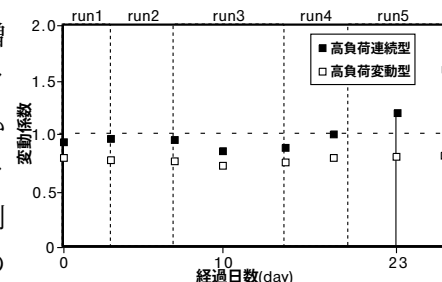


図3 経過日数にともなう変動係数の変化

4. まとめ

グラニュール形成では、(細胞外物質の形成→凝集→沈降)の一連した過程を経るものと考えられる。グラニュール形成に関しては、運転条件を適切に設定する、すなわち槽内を過負荷状態に保つ方法によって、グラニュール形成を高速化することが可能であることが明らかとなった。その際の運転条件に関して、濃度変化による負荷上昇によって槽内の菌の保持量を増加させ、流量変化による負荷上昇によって菌の凝集を促進させることで、グラニュールの早期形成が可能であることが示めされた。また、メジアン径で汚泥の造粒変化の確認が困難な場合は、変動係数を用いてグラニュールの形成過程を確認できる可能性が示された。