

UASB 法における消化汚泥の中途追加投入がグラニュール早期形成に及ぼす影響

山口大学大学院 理工学研究科 ○荒金光弘、今井 剛、浮田正夫、関根雅彦、樋口隆哉

1. 研究背景および研究目的

近年まで、高度経済成長期に一般化した大量消費が、経済成長の基盤になるとの認識が広がり、その結果、大量廃棄、大量処理が必然である社会構造が形成された。このことが原因で、化石燃料を使用した後に発生する二酸化炭素等の温室効果ガスが多く排出されている。そして、世界の二酸化炭素の排出量は、二酸化炭素ベースで1990年に214億トン排出されたが、2010年には1990年比で1.46倍に増えると予測されている。こうした現状を打開するため、2005年2月に京都議定書が発効した。これは、二酸化炭素などの温室効果ガス排出量（2008～2012年平均排出量）を1990年比で6%削減しようとするものである。また、2000年6月に循環型社会形成推進基本法が施行され、2002年の12月にバイオマスニッポン総合戦略が策定された。これらの政策的打出しにより、環境・エネルギー等の問題を解決し、さらにそれに関連した新産業（環境保全型産業）を創出することで、地球環境の保全に貢献していく必要性が認識されるようになった。

このような環境保全型産業への転換のための技術開発としては、省資源・省エネルギー型技術の導入が不可欠となる。さらに、古来より構築され、現在は用いられなくなった循環システムをそのまま復元させることは困難であり、現代社会の特性を踏まえた新たな地域資源循環システムの構築を図ることが重要となる。

省資源・省エネルギー型技術と循環システムの構築とを合わせ持った技術として、メタン発酵が挙げられる。この技術の特徴は、メタンが回収できることであり、また、そのエネルギー回収率が非常に高いことである。さらに、発生するメタンは、燃焼することで二酸化炭素が発生するものの、生物系の循環サイクルに組み込むことができれば大気中の二酸化炭素濃度の増加につながらないため、いわゆるカーボンニュートラルが実現でき、温室効果ガスの発生を抑制することができる。現にこのメタン発酵技術を用いて、メタンを最大限に有効利用することにより、地域社会にエネルギーを供給するシステムが構築されつつある。

注目されているメタン発酵法の中で、沈降性の優れた粒径0.5～2mm程度の微生物の自己造粒体であるグラニュールを形成させ、反応槽内で高濃度汚泥の保持を可能にする上向流嫌気性スラッジブランケット（Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB）法が注目を集めている。UASB法の特徴は、処理を直接担うグラニュールを高密度に槽内保持することで生物分解可能な排水を高効率にメタンに変換できることである。現在、精力的な研究開発によって、リアクター構造の改良や各種の技術を組合せた処理システムの構築など、UASB法をベースに新たなシステムが考案されている。しかしながら、UASB法の最大の欠点は、グラニュール形成までに長期間を要することである。このためスタートアップ時からの高効率な処理が望めない。そこで、本研究グループではグラニュールを早期形成させる手法を開発した¹⁾。この手法によってグラニュールの早期形成が可能になったものの、グラニュール形成期間の排水の処理効率が低下し、高い除去率が維持できなかった。そこで本研究は、消化汚泥を途中で追加投入することで高い除去率を維持しながら、グラニュールを早期形成できるかどうかを検討した。

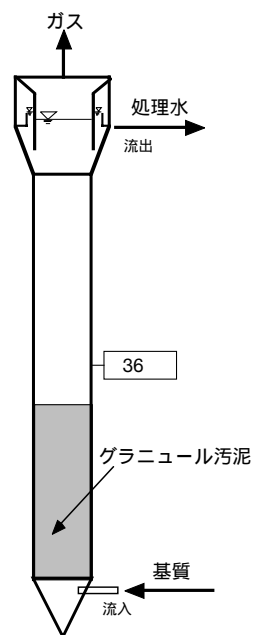
2. 実験条件および方法

本研究で用いたUASB装置の概略を図1に示す。UASB装置は反応槽と装置頂部にある生成ガス・処理水・汚泥を分離する三相分離器からなり、反応槽は直径92mm、高さ1500mmで、反応容積は10.52Lである。装置は36℃に維持されている。流入基質は装置下部から槽内に投入され、装置上部より流出する。生成したガスは三相分離器の上部から脱硫装置、湿式ガスメーターを経て系外へ排出される。

本実験で用いた基質は表1にしたがい、グルコースを主要な炭素源として、2種類のpH緩衝剤、数種類の無機栄養塩類を用いて作成したものを適宜希釈して使用した。本実験で用いた嫌気性汚泥は、山口県宇部市内の下水処理施設から採取した消化汚泥（SS＝約20000mg/L）である。

分析項目は、実体顕微鏡による毎日の汚泥観察の他に、ガス発生量、ガス組成、粒度分布、糖およびタンパク質濃度、浮遊物質（SS）、揮発性浮遊物質（VSS）、化学的酸素要求量（COD_{Cr}）、活性度である。用いた実体顕微鏡は、OLYMPUS製SZ-PTである。ガス組成は、ガスクロマトグラフ（島津製作所製GC-8APT）を用いて分析した。粒度分布は、図1レーザ回折・散乱式粒度分布測定装置（堀場製作所製LA-920）を用いて定量した。ポリマー量は糖濃度とタンパク質濃度の和とした。糖濃度はAnthrone法、タンパク質濃度はLowry-Folin法を用いて分析した。SS、VSSおよびCOD_{Cr}の分析は、Standard Methodsにしたがった。また、活性度を測定するために用いた基質はグルコースと酢酸である。

本研究におけるグラニュールの形成過程は0.5mm以上の径の菌の凝集体が顕微鏡観察により確認され、かつメジアン径が0.1mmを超える、あるいは変動係数が1を超える場合とした。

表1 基質組成表(30000mgCOD_{Cr}/L)

栄養塩		
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)

キーワード UASB グラニュール スタートアップ 高速形成 処理性能

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1 山口大学大学院 理工学研究科 TEL.0836-85-9312

3. 実験結果および考察

本研究グループが開発した手法¹⁾を用いてグラニュール形成実験を行った場合、グラニュールが形成される時期に過負荷による浮遊汚泥のウォッシュアウトが生じ、槽内の保持汚泥量が少なくなったために、高い除去率が得られなかったと考えられる。そこで本研究では、グラニュールを早期形成させる実験において、グラニュール形成後、装置下部から嫌気性消化汚泥を途中で追加投入した（この運転を中途追加投入型とした）。本実験で用いた運転条件を表2に示す。本実験で途中で追加投入した汚泥は、グラニュール形成していない嫌気性消化汚泥である（SS=約20000mg/L）。これを運転開始36日目に3L投入した。また、汚泥を投入したrun6の容積負荷はrun5と同じである。なお、汚泥を途中で追加投入したことで、COD_{Cr} - VSS 負荷が4.5kgCOD_{Cr}/kgVSS/dayから3.0kgCOD_{Cr}/kgVSS/dayまで低下した。

汚泥の中途追加投入前は、装置下部におけるグルコース基質を用いた場合の活性度（酸生成菌の活性度）が約0.311mgCOD_{Cr}/mgVSS/hrであり、酢酸基質を用いた場合の活性度（メタン生成菌の活性度）が約0.0015mgCOD_{Cr}/mgVSS/hrであった。これに対して、投入した嫌気性消化汚泥中には、グルコース基質を用いた場合の活性度が約0.020mgCOD_{Cr}/mgVSS/hr、酢酸を用いた場合の活性度が約0.0034mgCOD_{Cr}/mgVSS/hrであった。以上より、メタン生成菌の活性度が高い嫌気性汚泥を投入したことで、装置内に不足していたメタン生成菌が補充できると期待される。

実験開始から毎日、装置下部の汚泥を採取し、グラニュール形成過程を実体顕微鏡で観察した。本実験では約14日目にポリマーが生成したことが確認できた。その後、約30日目にグラニュールの形成が確認できた。これらの観察結果は、これまでの報告¹⁾と同様であった。また、36日目に汚泥を途中で追加投入したことで、粒径が大きいグラニュールと途中で追加投入した粒径の小さい汚泥とが観察された。このことは変動係数とメジアン径の経日変化を示した図2のrun6において、変動係数が1を超え、増加したことからわかる。

除去率および容積負荷の経日変化を図3に示す。run3まで容積負荷が大きくなるにつれて、除去率が50%程度まで低下した。その後、グラニュールが形成されつつあったrun5、および汚泥を途中で追加投入したrun6において、除去率が90%程度まで回復したことが確認された。しかし、途中で追加投入した時は、除去率および容積負荷が同じだったために、メタン発生量が増加することはなかった（図4参照）。これらのことから、消化汚泥を途中で追加投入したことで、装置内に不足していたメタン生成菌を補充できると考えられる。さらに消化汚泥を途中で追加投入したことで除去率も維持できたと考えられる。

表2 運転条件

run	経過時間 day	中途追加投入型			
		基質濃度 mgCOD _{Cr} /L	流量 L/day	容積負荷 kgCOD _{Cr} /m ³ /day	COD _{Cr} -VSS負荷 kgCOD _{Cr} /kgVSS/day
1	0~3	2000	5	0.951	0.14
2	3~7	10000	5	4.76	0.70
3	7~15	30000	5	14.3	2.1
4	15~19	8000	20	15.2	2.2
5	19~36	8000	40	30.5	4.5
6	36~50	8000	40	30.5	3.0

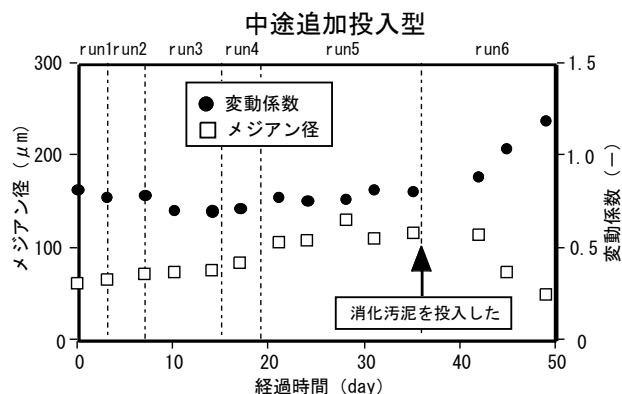


図2 メジアン径および変動係数の経日変化

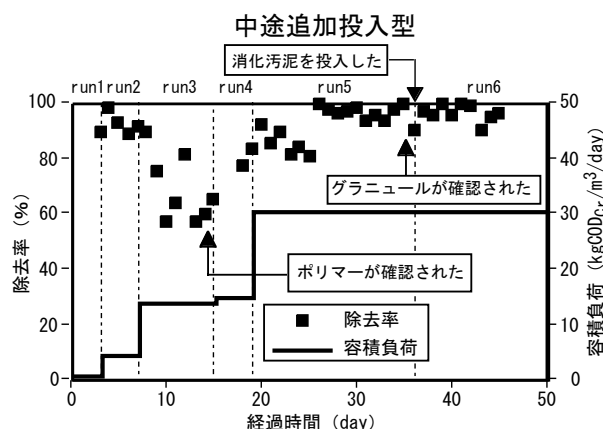


図3 除去率および容積負荷の経日変化

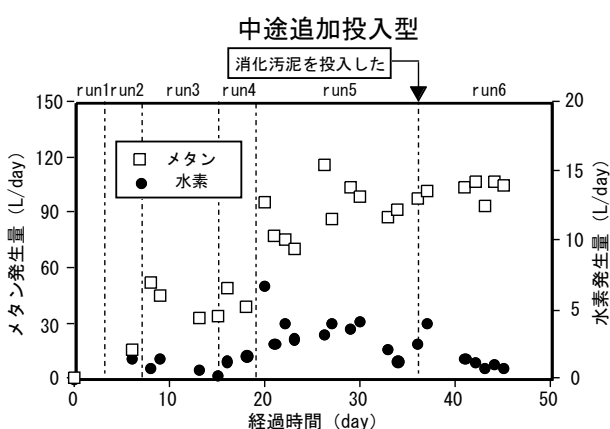


図4 メタンおよび水素発生量の経日変化

4. まとめ

本研究グループが開発した手法¹⁾を用いて、グラニュール形成実験を行った場合、グラニュールが形成される時期に消化汚泥を途中で追加投入することで装置内に不足していたメタン生成菌を補充することができた。さらに除去率も維持することができた。

参考文献

1) 今井剛, 周偉麗, 荒井大, 浮田正夫, 関根雅彦, 樋口隆哉 (2002) UASB法におけるグラニュールの早期形成手法に関する研究, 環境工学研究論文集, Vol.39, pp.67-76.