

嫌気性流動床型反応器軸方向の生物膜の特性

長岡工業高等専門学校
アジア工科大学
長岡技術科学大学

○荒木 信夫
原田 秀樹
桃井 清至

1. はじめに

流動床型反応器は、生物膜の形成による反応器内への高濃度生物保持がその処理能力を決定するものであり、反応器内の汚泥量とその活性を正確に把握することは本プロセスを運転・管理するうえで重要である。また、流動床型反応器はエネルギー的に高さ方向へのスケールアップが有利であることから、反応器軸方向の生物膜の特性について検討する必要がある。本研究は、嫌気性流動床型反応器軸方向の生物膜の特性を嫌気性反応を担う4種の嫌気性菌群の比活性と生物膜厚、膜密度といった生物膜の物理的性状から検討したものである。

2. 実験装置と条件

実験に用いた流動床型反応器は、内径8cm、高さ160cm、容積13ℓの塩ビ性カラムで、下部の流体整流器と上部の分離槽より構成されている。付着担体として投入した平均粒径0.48mmの粒状活性炭($\rho=1.696\text{g/cm}^3$)は、循環ポンプによる上昇流条件下で流動床を形成する。基質の供給は定量チューブポンプにより循環ラインから注入し、処理水は分離槽のインバーテッドサイホンを通して流出する。反応器内の温度は、ウォータージャケットにより30℃に制御した。また、反応器は2系列用意し、上昇循環流速を7m/hr(Run-1)と15m/hr(Run-2)に設定した。実験は種汚泥として都市下水処理場中温消化汚泥を2540mg-VSS/lの濃度で投入し、

表-1に示したシヨ糖+スキムミルクを主成分とする人工基質(2000mg-COD/l)を用いてスタートアップした。スタート時の有機物負荷は0.5g-COD/l/dayであるが、反応器の処理状況を観察しながら5g-COD/l/dayまで段階的に上昇させた。反応器軸方向の生物膜の特性は、生物膜の性状の安定

表-1 人工基質組成

Composition:A	mg/l	Composition:E	mg/l
SUCROSE	1200	CH ₃ COONa·3H ₂ O	1900
SKIMMED MILK	700	YEAST EXTRACT	75
NH ₄ Cl	172		
K ₂ HPO ₄	36	Composition:F	mg/l
NaHCO ₃	1500	NH ₄ Cl	100
		K ₂ HPO ₄	1450
Composition:B	mg/l	KH ₂ PO ₄	750
GLUCOSE	1000	Na ₂ S·9H ₂ O	200
YEAST EXTRACT	75		
Composition:C	mg/l	Composition:G	mg/l
CH ₃ CH ₂ COONa	400	MgCl ₂ ·6H ₂ O	33.3
YEAST EXTRACT	75	MnSO ₄ ·4H ₂ O	15.0
CH ₃ (CH ₂)COOH		FeCl ₂	5.0
(10%Sol.)	2.5 ml/l	CuSO ₄ ·5H ₂ O	5.0
		CaCl ₂ ·2H ₂ O	36.8
Composition:D	%	Na ₂ SO ₃ ·7H ₂ O	107.0
H ₂ Gas	80	CoCl ₂ ·6H ₂ O	1.2
CO ₂ Gas	20	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	1.0
For Continuous Feeding: A+G			
For Activity Tests			
Glucose: B+F+G		Mixed Acids: C+F+G	
Hydrogen: D+F+G		Acetate: E+F+G	

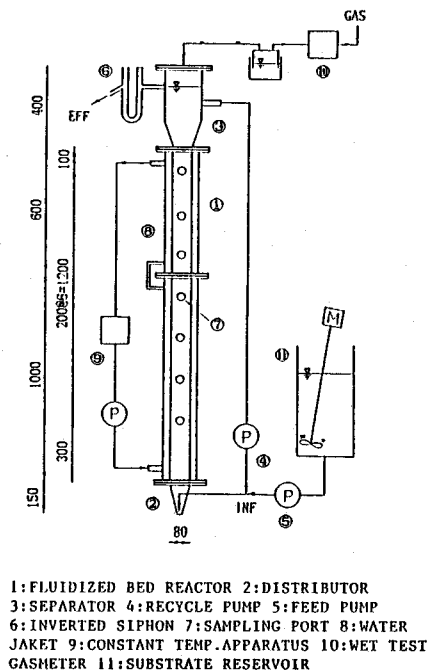


図-1 実験装置概要図

した運転102日目に測定を行い(Run-A)、その後負荷をそれまでの2倍の10g-COD/l/dayに上昇して11日間運転し(Run-B)、過負荷運転の生物膜の性状に与える影響についても検討した。

3. 分析方法

生物膜の性状は以下の手法で評価を試みた。生物膜比活性は、表-1に示した糖・混合有機酸・水素・酢酸系の各基質を用いて、120mlバイアル瓶内での基質消費速度またはメタン生成速度から嫌気性菌群を構成する代表的な酸生成菌・酢酸化菌・水素酸化性メタン菌・酢酸酸化性メタン菌のそれぞれについて測定した。生物膜厚は、実体顕微鏡写真を撮影し200個以上の生物膜付着担体の平均粒径と超音波によってその生物膜剥離した活性炭担体の平均粒径との差から求めた。MLVSSと担体単位面積当たりの生物膜の付着量は、生物膜を超音波によって担体から剥離し、試料中に占める担体の重量(流動床空隙率、担体総表面積)と汚泥の重量から評価した。また、細胞外多糖(ECP)含有率は、剥離生物膜を水蒸気抽出(104℃、20分)し、その遠心分離(4℃、8000rpm)上澄液の還元糖濃度(フェノール硫酸法)を測定し、被抽出汚泥重量当たりの抽出糖量とした。

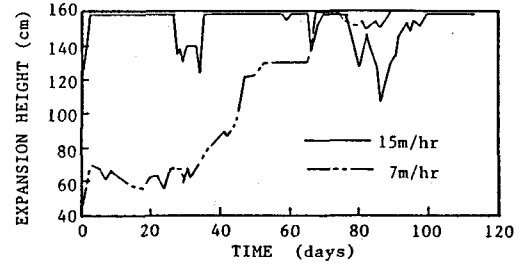


図-2 流動床展開高さ経日変化

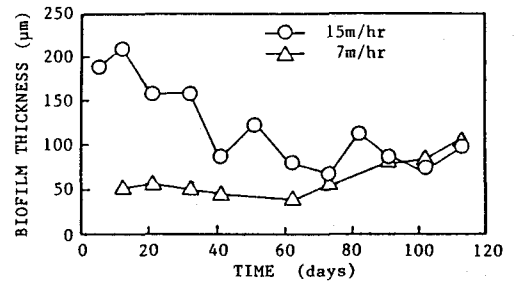


図-3 生物膜厚経日変化

4. 実験結果と考察

図-2、3は、7m/hr反応器と15m/hr反応器のスタートアップ後の流動床の展開高さと生物膜厚の経日変化を示したものである。15m/hr反応器は、生物の担体表面への初期吸着により運転2日目に流動床が分離槽まで展開したが、7m/hr反応器では負荷の増大に追従して徐々に生物膜の肥厚化と流動床の展開が発生した。両反応器は循環上昇流速の違いにより全く異なった生物膜の形成過程を経たが、運転100日でほぼ同様の性質に至った。負荷を上昇する以前(Run-A)は、両反応器ともCOD除去率は80%以上であり、良好にメタン生成が行われていた。負荷を上昇すると7m/hr反応器(Run-1B)はメタン生成速度も上昇し、COD除去率も70%以上を維持した(高負

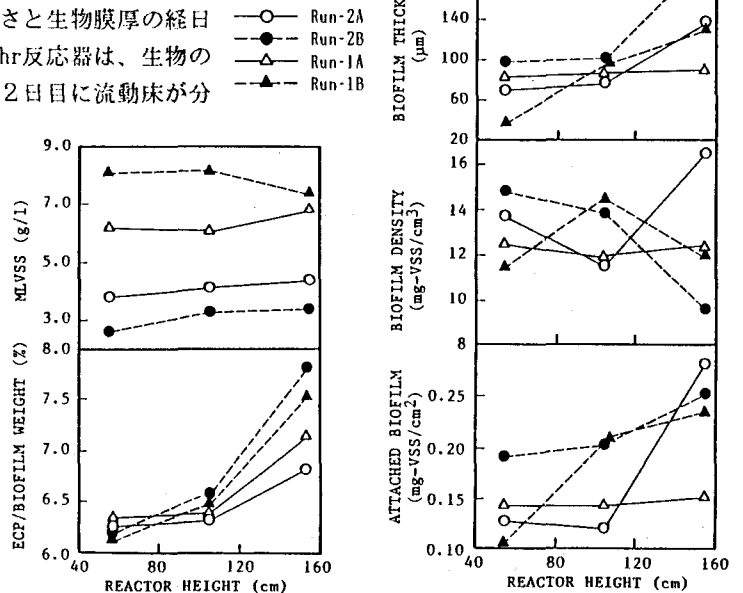


図-4 反応器軸方向生物膜の物理性状

荷状態)が、15m/hr反応器(Run-2B)では急激にメタン生成が阻害された(過負荷状態)。

図-4は、反応器軸方向の生物膜の物理性状である。膜密度は高さ方向に際だった変化を示さないが、膜厚と担体単位面積当たりの生物膜付着量は反応器上部で大きな値を示した。これは、生物膜が反応器低部に存在する未付着担体から付着を開始し、付着微生物の増殖によって膜が肥厚化するに従って流動抵抗が大きくなり、反応器上部へと移動するものと推察できる。その結果、MLVSSはいずれの場合も反応器低部から上部へと大きくなる傾向を示している。反応器軸方向の生物膜の細胞外多糖(ECP)含有率は生物膜の付着量に依存し、増殖の進んだ反応器上部の生物膜が低部よりも大きい値を示した。

過負荷をうけた生物膜(Run-2B)は、膜厚、生物膜付着量と細胞外多糖含有率が增大する。しかし、膜密度が低下することにより生物膜がバルキーとなり、流動床の空隙率が増加することによってMLVSSの低下を招いた。一方、メタン生成が阻害されない高負荷運転(Run-1B)は、生物膜の膜厚と密度の双方の上昇による生物膜付着量の増大によってMLVSSを上昇させるものであった。Run-1Bでの反応器上部のMLVSSの低下は、生物膜の急激な増殖によって膜厚が大きくなり流動床の空隙率が增大したことが原因と考えられる。この様に流動床内の生物保持量は、膜厚と膜密度に依存する生物膜付着量と循環上昇流速が一定ならば主に膜厚の変化に依存する流動床空隙率によって変化するものであった。

図-5は、生物膜比活性試験の結果である。酸生成菌以外の菌群の比活性は高さ方向に変化を示さないが、酸生成菌は反応器上部の比活性が高い傾向にある。これは、反応器上部での生物膜厚の増大が酸生成菌の増殖と細胞外多糖の集積によってもたらされたことを示唆している。高負荷運転(Run-1B)では、生物膜付着量は増大しているが各菌群の比活性は大きな変化を示さず、生物膜中で良好な菌群間の共生関係が維持されていたことを示している。一方、過負荷運転(Run-2B)は、嫌気性菌群間の共生関係の崩壊により、特に酢酸資化性メタン菌と酢酸化菌の比活性を著しく低下させた。この負荷条件による共生関係の成立の可否によって大きく影響を受けるのが生物膜の密度であり、この両者は密接な関係にあるものと推察される。

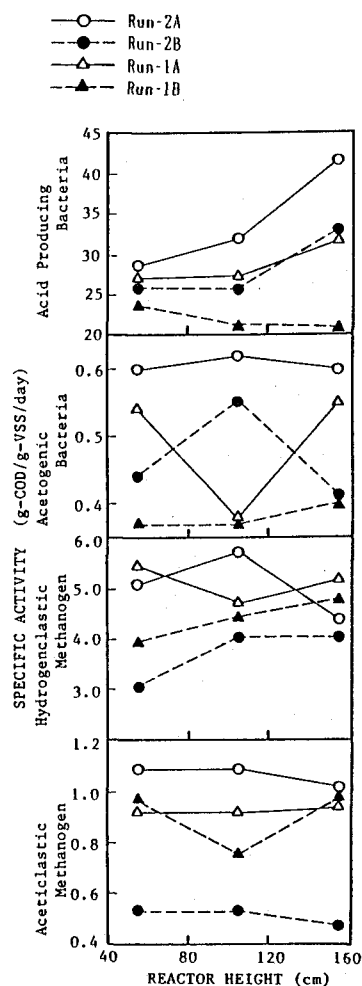


図-5 反応器軸方向生物膜の比活性

5. まとめ

嫌気性流動床内で形成する生物膜の反応器軸方向の特性を検討したところ以下の結果が得られた。

- 1) 流動床内の生物膜は反応器上部ほど肥厚化によって担体単位面積当たりの生物付着量とMLVSSが増大する。この生物膜の肥厚化は、酸生成菌の増殖と細胞外多糖の集積によるものであった。
- 2) メタン生成が阻害されない高負荷運転によって生物膜付着量は急激に増大するが、過負荷運転は、生物膜比活性の低下と同時に生物膜密度の低下を招きMLVSSを低下させた。

本研究は、文部省科学研究費(奨励研究(A))の補助を受けたことを付記する。