

吸水性ポリマーの添加による UASB におけるグラニュール形成促進および負荷変動に対する応答性に関する研究

(株)日水コン〇劉 軍 山口大学 今井 剛 山口大学 浮田正夫
(株)O.P.M. 南部暁彦 大阪工業大学 中西 弘 宇部高専 深川勝之

1. はじめに

嫌気性処理法の 1 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) 法は付着担体を用いずに微生物自身の自己造粒化作用を利用して、沈降性の優れた緻密なグラニュールを形成させ、反応器内に高濃度の微生物を保持可能にする高速メタン発酵バイオリアクターである。UASB 法は、省エネルギーである、簡単な構造であり建設コストも安価である、余剰汚泥が少なく維持管理が容易である等の優れた特性を有している反面、菌の増殖速度が遅く、グラニュール形成までにかかり時間がかかるためスタートアップに長期間必要である、対象となる廃水は食品加工関連の溶解性の糖質系のものに限定されることが多く、廃水によってはグラニュールを形成しない等の欠点も有する。よって、このグラニュール形成を促進させるために本研究では、微生物の自己造粒化作用を助ける役割を担うものとして担体を用いた。本研究で用いた吸水性ポリマーは三洋化成のアクリル系(架橋ポリアクリル酸塩) ST-500D である。中心粒径は 106~250 μm であり、吸水性能は脱イオン水で 400g-water/g である。

本研究では 2 基のパイロットプラントを用いて、一方に吸水性ポリマーを添加し、もう一方には吸水性ポリマーを添加せずに比較実験を行い、吸水性ポリマー添加のグラニュールの形成過程への影響及び負荷変動時における嫌気性菌への影響を把握することを目的とした。

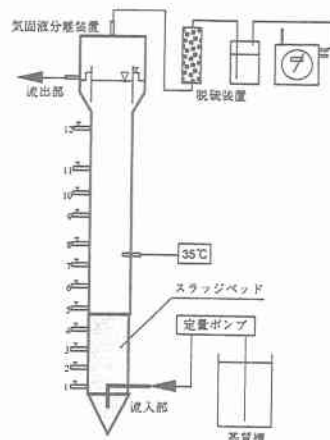


Fig.1 UASB 装置概略図

2. 実験装置及び方法

本実験で用いた実験装置の概略を Fig.1 に示す。実験装置は 10 l の円筒形で、内径 9cm、高さ 150cm である。この反応器は下部に高濃度の汚泥が保持されているスラッジベッド部、反応器頂部に汚泥・処理水・生成ガスの三相を分離する気固液分離部が一体化されたシンプルな構造である。実験は揮発性脂肪酸 (VFA) を基質として、2 基の反応器を連続的に運転することにより行った。吸水性ポリマー無添加のものを反応器 A、もう一方の吸水性ポリマーを 6.0g (種汚泥に対し吸水後の体積比 40%) 添加したものを反応器 B とし、これらの反応器の周囲に温水を循環させることにより、反応器内部の温度を 35℃ に維持し連続処理実験を行った。Table 1 に基質の組成を示す。菌の馴致のために実験初期において低負荷連続運転を行った。次いで各段階の設定条件にしたがって、両反応器の処理が安定したところで次の段階へ進んだ。実験は、運転条件にしたがい水理学的滞留時間 (HRT) と流入基質濃度とで TOC 負荷を変化させながら行った。測定項目は流量、ガス組成、ガス発生量、全有機炭素 (TOC)、VFA、Suspended Solids (SS)、および Volatile Suspended Solids (VSS) であり、併せて走査型電子顕微鏡 (SEM) による菌の観察も行った。

Table1 人工基質の組成表

組成	濃度 (mg/l)
酢酸	3000
プロピオン酸	1000
酪酸	1000
NaHCO ₃	4000
NH ₄ HCO ₃	400
(NH ₄) ₂ SO ₄	200
K ₂ HPO ₄	200
CaCl ₂	200
Yeast	100
微量金属	1 (ml)

3. 結果および考察

Fig.2 に両反応器の TOC 除去率の経日変化を示す。この図から RUN 0 (馴致段階) において吸水性ポリマーを無添加の反応器 A は、処理が安定するまでに 1 週間程度を要したが、吸水性ポリマーを添加した反応器 B は 4 日程度で安定したことがわかる。RUN 1 において運転日数 30 日周辺で VFA の基質阻害が生じ、両反応器とも急激に除去率が低下した。反応器 A は除去率 70% 程度 (20 日付近) で一旦回復に向かったが反応器内で VFA の蓄積が起り、再び基質阻害のためメタン生成菌の活性が低下し、さらに pH の低下によりメタン発酵が停止し、処理能力を失った。これに対し反応器 B は反応器 A よりも数日間は安定を保っていたが、反応器 A 同様処理能力を失った。その後 1 週間回分運転を行い、両反応器の処理能力の回復を待ち、再び連続運転を行った。またその後の基質には、pH 調節のため基質に NaHCO₃ を 2.5mg/l 添加することにした。RUN 1 から RUN 2 へ基質濃度の上昇による負荷の上昇に対して (60 日頃)、両反応器とも急激に除去率が 75% 程度まで落ちていることがわかる。

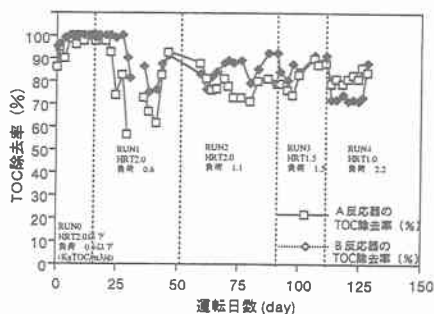


Fig.2 TOC 除去率の経日変化

その後反応器Bは速やかに回復傾向にあるのに対し、反応器Aは横ばい傾向にあることがわかる。RUN 2において反応器Aは80%前後までしか処理能力が回復していないのに対し反応器Bは90%前後まで回復している。RUN 2からRUN 3への流量による負荷上昇に対し(90日頃)、両反応器ともRUN 2より10%ほど除去率が落ちているが、その後は両反応器とも90%近くまで回復している。以上のことから吸水性ポリマーを添加することにより負荷変動に対する抵抗力が増し、負荷上昇後の処理能力の回復も早いことがわかった。RUN 3からRUN 4への流量での負荷の上昇に対して(110日頃)、反応器Aは80%前後まで、反応器Bは70%前後まで低下している。その後反応器Aは次第に処理能力が回復傾向にあるのに対して、反応器Bは横ばい傾向にある。このRUN 4においてはじめて反応器AのTOC除去率が反応器Bを上回った。これは反応器Bの保持汚泥量が減少したため負荷に耐えられなくなったものと考えられる。そのためRUN 4での負荷に対して十分対応できずに除去率が低下してしまったものと考えられる。ここで除去率低下の原因となった反応器Bの保持汚泥の減少は、RUN 3後期にガス発生量が急激に上昇したための流出汚泥の急増によるものと考えられる。しかしながら後述のようにRUN 4での活性測定のためのVIAL回分実験では、反応器Bは反応器Aより高活性である(Fig.3、Fig.4)ことがわかる。このことから反応器Bにはこの時点でその量は少ないながら高活性、高沈降性の汚泥のみが残留していたと考えられる。

Fig.5に両反応器の流出SSの経時変化を示す。この図から全体を通して反応器Aよりも反応器Bは流出SSが少ないことがわかる。しかし各RUNにおいて負荷を上げた直後は一時的に反応器Bの方が流出SSが反応器Aよりも多くなっており、数日遅れて反応器Aも流出SSが多くなっている。これは反応器Bの方が負荷変動に対するショックロードからの回復が早いため、消化ガス発生量が速やかに増加することによるものと考えられる。すなわち吸水性ポリマーを添加したことにより、反応器Bのショックロードからの回復が早くなっていることが推察される。

両反応器の下部より20cmのサンプリングポートから採取した汚泥を用いて基質の消費速度から基質消費活性を求めるVIAL回分実験を行った。基質として酢酸(HAc)、プロピオン酸(HPr)、n-酪酸(n-HBu)を用いた。Fig.3およびFig.4にVIAL回分実験結果から求められた各基質消費活性を示す。これらの図から、反応器Aよりも反応器Bのほうが活性が高いことがわかる。特にRUN 1におけるHAc利用メタン菌の活性が高くなっており、吸水性ポリマーの添加による汚泥の馴致期間の短縮が可能となると考えられる。RUN 4ではRUN 1同様HPr分解菌の活性が酢酸、n-酪酸分解菌に比べ低くなっていることがわかる。これはHPr分解菌の増殖速度が他の分解菌より小さいことによるものと考えられる。このRUN 4では上記の通り処理能力としては反応器Aの方が高くなっているが、各基質消費活性は反応器Bの方が明らかに高くなっていることがわかる。これは前述の通り反応器内の保持汚泥量の低下により処理能力が低下したが、吸水性ポリマーに吸着する形で高活性汚泥が反応器内に残留したことによるものと考えられる。このことは吸水性ポリマーを添加することにより汚泥沈降性が高くなり、発生した気泡の浮力により反応器の系外へ流出する高活性汚泥の流出を減少させる効果があったことがその主な理由であると予測される。またRUN 1とRUN 4の各基質消費活性を比較すると酢酸及びn-酪酸基質については多少増加していることがわかる。これは流入負荷の上昇によりそれらの活性が増加したものと考えられる。

運転開始65日目に反応器Bの底部でグラニュールの形成が確認された。その1週間後に反応器Aにおいてもグラニュールが確認された。グラニュールの形成速度の差は吸水性ポリマーがグラニュールの核としての役割を果たし、その核を苗床に菌が増殖したためだと考えられる。またこのことは実体顕微鏡による観察からも確認できた。このことから吸水性ポリマーを添加することによりグラニュール化が促進されたものと判断できる。

4. おわりに

吸水性ポリマー添加のグラニュールの形成過程への影響及び負荷変動時における嫌気性菌への影響の把握を目的としてパイロットプラントによる実験を行った結果、以下のことが明らかとなった。

吸水性ポリマーを添加することによって、

- (1) スタートアップにおいて安定するまでの時間が短くなる、
- (2) 負荷変動に対する抵抗力が増し、負荷上昇後の処理能力の回復も早くなる、
- (3) 高活性の汚泥が反応器内に多く残留でき、またグラニュール形成に至るまでの期間が短くなる。

さらに、吸水性ポリマーを添加することによりグラニュールの形成が促進されることが確認された。

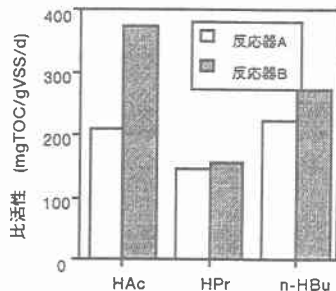


Fig.3 RUN 1の各基質消費活性

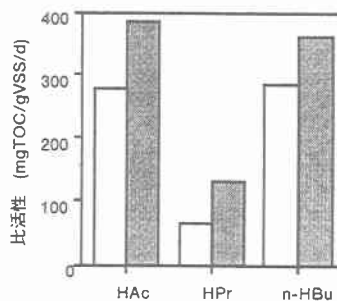


Fig.4 RUN 4の各基質消費活性

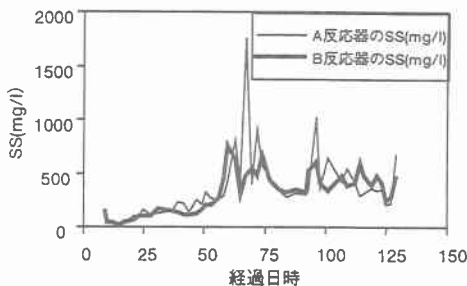


Fig.5 SSの経日変化