

B-15 低濃度有機性排水処理のメタン発酵処理特性

長岡技術科学大学（国立環境研究所研究生） ○川崎達也

長岡技術科学大学環境システム工学 原田秀樹、大橋晶良

独立行政法人国立環境研究所

珠坪一晃

1. はじめに

近年、集塊化させた嫌気性微生物群（グラニューール汚泥）を装置内に形成・維持する生物膜利用技術（UASB法など）の開発により、産業排水の高速・高効率処理とメタン回収が可能になってきた。しかしこれらの処理プロセスは、生物膜の形成や維持のため、中・高有機物濃度（1.5～10 gCODcr/L）の排水に適用されることが多く、プロセス運転温度もメタン生成菌の至適温度である 37℃（mesophilic）や 55℃（thermophilic）に維持されるのが一般的である。しかし、実際には低有機物濃度（0.3～1.0 gCODcr/L）の排水の排出量が最も多く、水温も平均して 15～20℃と低い。そこで本研究では、EGSB（Expanded Granular Sludge Bed）リアクターによる低有機物濃度排水の連続処理実験を行い、その排水処理特性、並びに保持汚泥の性状について調査を行い、プロセス最適化のための基礎データを取得した。

2. 実験装置と実験方法

2.1 EGSB リアクターと供試排水

排水の連続処理実験は、全容積 16.8 L（GSS:5.1 L、Column:11.7 L）のラボスケールリアクターにより行った。植種汚泥には糖系排水処理中温グラニューール汚泥を用いた（植種汚泥濃度：45gVSS/L）。図-1 にリアクター概略図を示す。リアクターの運転温度は 20℃、上昇線流速は 5.0 m/h とした。供試排水はスクロース、酢酸、プロピオン酸、酵母エキス（COD 比 4.5:2.25:2.25:1）を主成分とする人工排水を用いた。人工排水の組成を表-1 に示す。この排水の有機物濃度は実験期間中 600～800 mgCOD/L であった。また、流入水中の硫酸塩濃度は水道水由来で 40～50 mgSO₄²⁻/L であった。運転開始時の HRT（Hydraulic Retention Time：水理学的滞留時間）は 12 時間、有機物負荷は 1.6 kgCOD/m³/day とし、処理の安定化とともに、HRT の短縮により負荷の上昇を行った。

2.2 分析項目及び方法

反応器運転開始後、定期的に pH、CODcr、VFA（揮発性脂肪酸）、硫酸塩濃度、ガス生成量、ガス組成等の分析を行った。VFA の分析は FID を備えたガスクロマトグラフ（GC-14A, Shimadzu）を用いて行い、ガス組成の分析は、TCD を備えたガスクロマトグラフ

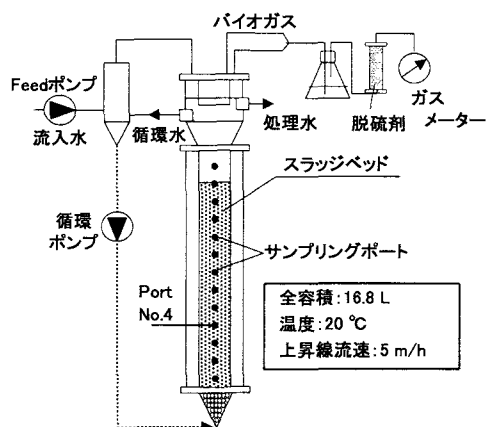


図-1 EGSBリアクター概略図

表-1 人工排水組成

Substrate	mg/L	*Trace Element (×2000)	mg/L
Sucrose	360 (as COD)	FeSO ₄ ·7H ₂ O	7
CH ₃ COONa	180 (as COD)	CoCl ₂ ·6H ₂ O	0.17
Yeast Extract	80 (as COD)	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.15
CH ₃ CH ₂ COOH	180 (as COD)	H ₃ BO ₃	0.06
NH ₄ Cl	37	MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.5
KH ₂ PO ₄	33	NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.04
MgCl ₂ ·6H ₂ O	13	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.027
CaCl ₂ ·2H ₂ O	33	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.025
Trace Element* ×2000	0.5 ml/L		
NaHCO ₃	1200		

（GC-8A, Shimadzu）によって行った。また、リアクター保持汚泥については汚泥濃度（MLVSS）、SVI（Sludge Volume Index：汚泥沈降指標）、粒径等の物性を測定した。さらに植種汚泥（0 day）、保持汚泥（104 day）のメタン生成活性を酢酸、H₂/CO₂（80:20 [v/v]）の基質について、20℃の温度条件下で測定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 低有機物濃度排水の処理特性

リアクターの運転結果を図-2 に示す。運転開始後 75 日目までに、有機物負荷を約 7 kgCOD/m³/day (HRT 2.5 時間) まで段階的に上昇させたが、COD 除去率は平均 80~90%、除去 COD に対するメタン転換率は平均 70~80% (メタンガス: 60~70%、溶存メタン: 約 10%) であり、安定した処理とメタン回収が行われた。また、流出水中の酢酸、プロピオン酸もおおむね 50 mgCOD/L 前後であった。運転開始 76 日目以降は HRT を 1.5 時間まで短縮し、有機物負荷は約 12 kgCOD/m³/day に達した。この時の COD 除去率は平均 65~70%、メタン転換率は 60% 前後 (メタンガス: 40~50%、溶存メタン: 10~15%) であり、有機物除去率は若干悪化したものの、安定した処理が可能であった。また、酢酸、プロピオン酸の濃度は 50~100 mgCOD/L で推移していた。実験期間を通じて、流出水中の硫酸塩濃度は 0 mgSO₄²⁻/L であり、硫酸塩は完全に消費されていた。除去 COD に対する硫酸塩還元への寄与は平均 3% (有機物負荷: 1.6 kgCOD/m³/day 時) ~ 5% (12 kgCOD/m³/day 時) であった。

3.2 保持汚泥の物性変化

保持汚泥の MLVSS、SVI、粒径は、リアクターポート No. 4 (高さ 35 cm) から採取した汚泥について測定した。保持汚泥の MLVSS は平均 50 gVSS/L であり、運転開始以降、ほぼ横ばいで安定していた。SVI の経日変化を図-3 に示した。植種汚泥の SVI は約 14 ml/gVSS 程度であり、運転開始以降、沈降性が徐々に悪化する傾向が見られ、84 日目には 17.4 ml/gVSS に達した。その後、運転開始 100 日目以降はグラニューールの再構成により沈降性が向上し、126 日目には SVI は 12.4 ml/gVSS となった。

リアクター保持グラニューールの個数基準と体積基準の粒径分布、および粒径測定時のグラニューール写真を図-4 に示した。個数基準で見ると、粒径が 1.0 mm 以下の剥離・崩壊した生物膜が、運転開始後に増えているのが分かる。一方、体積基準では、グラニューールの粒径が徐々に増加していく傾向にあり、グラニューール形成が促進されていることが分かった。以上の結果より、低有機物濃度排水の低温処理においても、適切な有機物負荷の維持により、生物膜の形成・保持が可能であることが分かった。

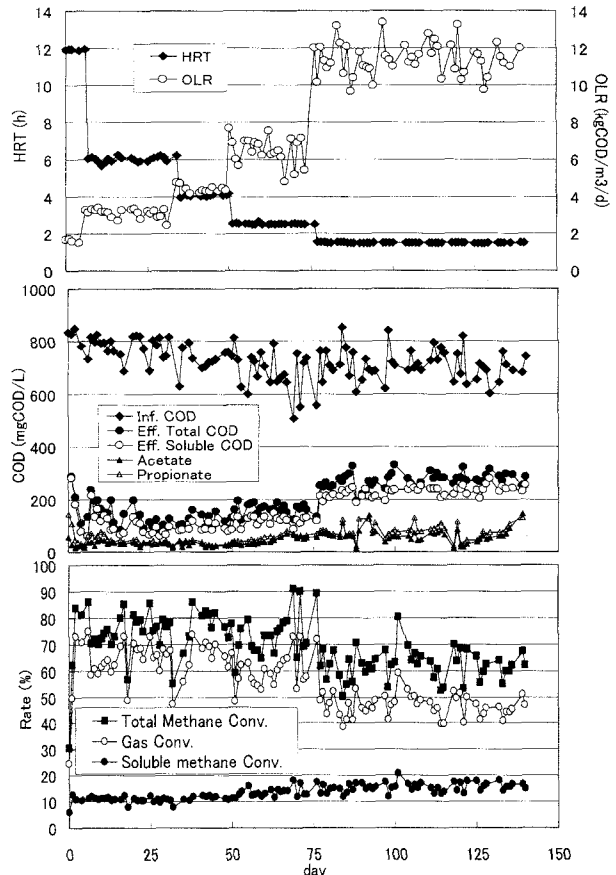


図-2 HRT、有機物負荷量、流入・流出 COD、流出 VFA、メタン転換率の経日変化

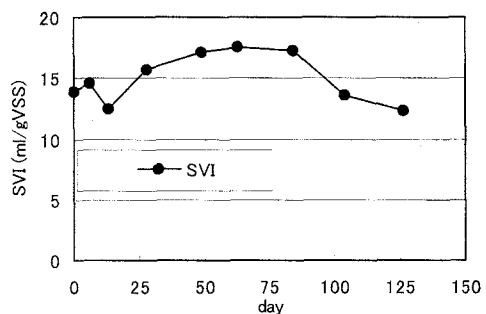


図-3 保持汚泥の SVI 経日変化 (Port No.4)

3.3 保持汚泥のメタン生成活性

植種汚泥 (0 day)、保持汚泥 (104 day) のメタン生成活性の測定結果を図-5 に示した。20℃における酢酸資化性メタン生成活性は、植種汚泥で 0.022 gCOD/gVSS/day であったのに対し、運転開始後 104 日目には 0.26 gCOD/gVSS/day となり、約 12 倍の著しい活性増加が見られた。また、水素基質においても、植種汚泥が 0.06 gCOD/gVSS/day であったが、104 日目には 0.17 gCOD/gVSS/day となり、活性が約 3 倍増加した。この結果から、低有機物濃度排水の低温処理においても、反応器内へのメタン生成細菌群の集積化が可能であることが分かった。

4. まとめ

低濃度排水を用いた EGSB リアクターによるメタン発酵プロセスの連続処理実験を行った結果、以下のような結論が得られた。

- 1) 低有機物濃度排水 (600~800 mgCOD/L) の 20℃における EGSB 処理実験の結果、安定した処理、メタン回収が可能であった (有機物負荷: 12 kgCOD/m³/day、HRT: 1.5 時間を許容)。
- 2) 保持汚泥の物性は、運転開始以降、悪化傾向にあったものの (SVI の悪化、グラニューールの崩壊)、最終的には SVI の向上、粒径の増加が見られ、生物膜の再形成が行われた。
- 3) 20℃におけるメタン生成活性は、酢酸基質で植種汚泥の約 12 倍、水素基質では約 3 倍と著しく増加し、反応器内へのメタン生成細菌群の集積化が行われていた。

低有機物濃度排水のメタン発酵処理法ではリアクター内への生物膜の維持・形成が重要である。今後、さらに安定かつ高効率処理の実現に向け、プロセス運転条件の検討や生物膜構成細菌群の解析等を行い、プロセス最適化を目指していく予定である。

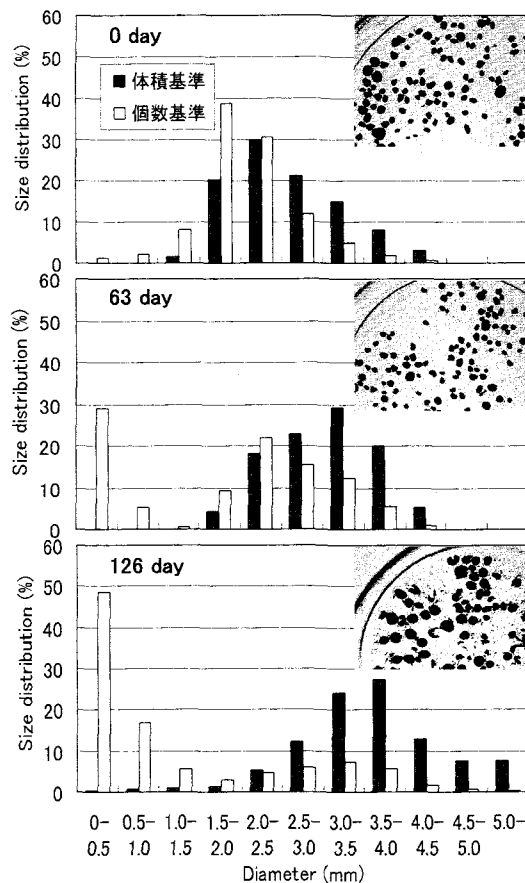


図-4 体積基準、個体基準による粒径変化

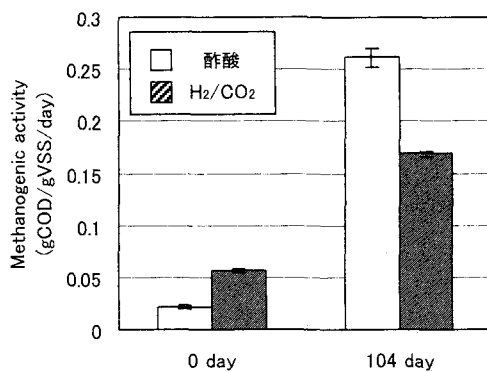


図-5 酢酸、水素基質を用いたメタン生成活性

【謝辞】

本研究は、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) 「産業技術研究助成事業費助成金」および、環境省「地球温暖化対策技術開発事業」の助成を受け実施したものである。