

B-20 低温・低濃度排水のEGSB法によるメタン発酵処理 -排水の糖含有率の変化が処理性能に及ぼす影響評価-

○賀澤拓也¹・Wilasinee Yoochatechaval²・杉江恒彦¹・山口隆司¹・珠坪一晃^{2*}

¹長岡技術科学大学大学院 環境システム工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

²(独) 国立環境研究所 水圏環境制御領域 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

* E-mail: stubo@nies.go.jp

1. はじめに

人間活動や産業活動の結果、排出される有機性排水の多くは、1,000 mgCOD/L 未満の低濃度排水である。加えて水温も 10℃～25℃ と低い。これらの排水処理には一般的に好気性処理法が適用されているが、曝気に要する膨大な電力、余剰汚泥の発生等が問題となっている。

一方、嫌気性処理法は曝気が不要で、余剰汚泥が少なく、メタンガスをエネルギー源として回収可能であるため、消費エネルギー、コスト削減の面から好気性処理より多くの利点を有する。しかしながら低濃度・低温排水に嫌気性処理を適用する場合、保持汚泥のメタン生成活性の低下、微生物膜形成の不安定化など様々な問題が生じる。そのため、低温・低濃度排水に適用可能なメタン発酵処理技術の開発が重要である。そこで私たちは生物膜流動型リアクター (EGSB: Expanded Granular Sludge Bed) の低濃度、低温排水への適用性の評価を行ってきた。

本研究では同技術の適用排水種の拡大に関する知見を得るため、基質組成(排水のスクロース含有率)の変化がEGSB リアクターの排水処理能力、グラニュール性状に及ぼす影響評価を行った。

2. 実験方法

(1) EGSB リアクターによる連続排水処理実験

Fig. 1 にリアクターの概略図を示す。リアクター高さは 780 mm (下部内径 52 mm, 上部内径 104 mm)、全容量は 2.0 L である。リアクター (排水) 温度は 20℃ に制御した。植種汚泥には 20℃ で培養した嫌気性グラニュール汚泥を用い、48 gVSS/reactor となるように植種した。

処理水の一部を定期的に循環させ、装置内の上昇線流速を増大することにより、汚泥床の攪拌を促進し、短絡流を防止した。また、汚泥床部有機物濃度の希釈と過度の攪拌作用を制御するために EGSB モード (上昇線流速 5.0 m/h) 10 分、UASB モード (上昇線流速 0.35 m/h) 30 分の繰り返し運転を行なった。実験期間中の流入排水有機物

濃度は 600～800 mgCOD/L, HRT 2 時間, COD 容積負荷 7.2～9.6 kgCOD/m³/day となるように調整した。

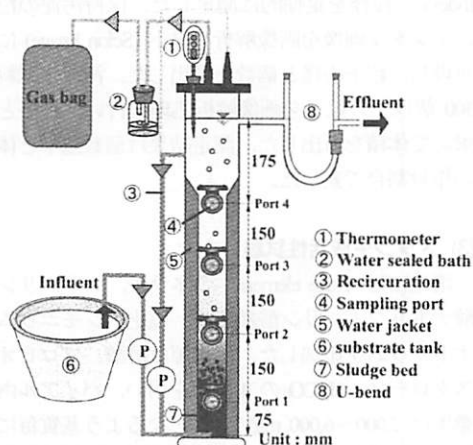


Fig.1 Schematic diagram of EGSB reactor

Table 1 Chemical composition and time schedule of feed

Carbon Source				SR, VR common					
				Mineral	mg/L				
day 0~70	Sucrose		Y.E.	NH ₄ Cl	37				
	VFA			KH ₂ PO ₄	33				
	Ace + Pro			MgCl ₂ ·6H ₂ O	13				
	total 800			CaCl ₂ ·2H ₂ O	33				
Sucrose Reactor				Trace element					
				mg/L					
day 71~	Sucrose		Y.E.	FeSO ₄ ·7H ₂ O	7				
	total 800			COCl ₂ ·6H ₂ O	0.17				
	720			ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0.15				
	80			H ₃ BO ₃	0.06				
VFA Reactor				MnCl ₂ ·4H ₂ O	0.5				
day 71~	VFA		Y.E.	NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.04				
	Acetate + Propionate			CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.027				
	total 800			Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.025				
	360								
				unit: mgCOD/L					
Sucrose Reactor				VFA Reactor					
pH buffer				NaHCO ₃ 1200	mg/L				
				NaHCO ₃ 300	mg/L				

Table 1 に人工排水の組成と組成変更のスケジュールを示す。リアクターのスタートアップ運転条件が等しく、流入水の炭素源組成のみ異なる 2 台の EGSB リアクターを運転した。両リアクターは運転開始後 70 日間、同一

組成の人工排水 (スクロース, 酢酸, プロピオン酸, 酵母エキスを COD 比で 4.5 : 2.25 : 2.25 : 1 [スクロース含有率 45%]) で運転を行った。

その後, 供給排水のスクロース含有率が EGSB リアクターの処理性能に及ぼす影響を評価するため, 71 日目より排水組成を変更した。炭素源の変更後, 2 台のリアクターをそれぞれ Sucrose Reactor (以下 SR), VFA Reactor (以下 VR) と称する。SR は流入炭素源 (COD) に対するスクロース含有率を 45 → 90%, VR は 45 → 0% に変更して処理性能の把握を行った。

(2) 保持汚泥の物性測定

SR, VR の保持汚泥をそれぞれ Port 2 (下部より 225 mm), Port 4 (下部より 525 mm) より採取し, 汚泥濃度 (MLSS, MLVSS), 汚泥沈降指標 (SVI : Sludge Volume Index), 粒径を定期的に測定した。保持汚泥の粒径算出はデジタル画像を画像解析ソフト (Scion image) によって処理し, 粒子の径と個数を算出した。汚泥 1 試料当たり 300 個以上の粒子を画像解析処理を行い, 長径と短径を求めて体積を算出した。測定結果は個数基準と体積基準の相対割合で表した。

(3) メタン生成活性試験

培地には Trace element, ミネラル, レサズリン, 重炭酸ナトリウム, リン酸緩衝液, 塩化アンモニウム, 硫化ナトリウムを添加した。炭素源は酢酸, プロピオン酸, スクロース, H_2CO_3 の 4 種類を用い, バイアル内の汚泥濃度は 2,000~6,000 mgVSS/L となるよう基質毎に調整した。活性測定は 120 rpm 振とう, 20°C 条件下で行った。

3. 実験結果及び考察

(1) 処理性能の評価

Fig. 2 に SR, VR の流入, 流出 COD 濃度と COD 除去率の経日変化を示す。71 日目に基質組成を変更した後, SR の処理水中の溶解性 COD 濃度は平均 59 mgCODcr/L, VR が 28 mgCODcr/L となった。基質組成変更後における平均 COD 除去率は SR で 91%, VR で 96% と, SR での除去率低下が確認された。また, 処理水中の酢酸, プロピオン酸等の VFA 濃度も SR では VR よりも高濃度で推移した。SR では生成ガス中の水素濃度の上昇, 流出 SS 量の増大なども見られ, VR より SR の方が処理能力が劣る結果となった。これは比較的分解段階の多いスクロース排水の方が VFA 排水よりも低温条件下において, より処理水質が低下し易いことを示している。

(2) 沈降性 (SVI)

保持汚泥の SVI と保持汚泥量の経時変化を Fig. 3 に示す。SR では経過日数と共に SVI の値が上昇しており,

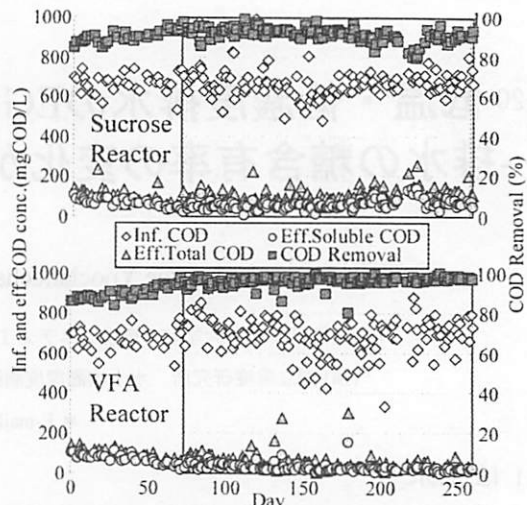


Fig.2 Process performance of SR and VR

沈降性の悪化が明らかである。

一方 VR の SVI は 25 mL/gVSS 付近で留まっている。基質組成の変更により汚泥性状が変化し, SR より VR の方が沈降性に優れたグラニュー汚泥を保持していた。

(3) 保持汚泥量

基質組成変更 (71 日目) から保持汚泥量が変化した。SR ではグラニューの浮上による流失が見られ, その結果 SR の保持汚泥量は減少傾向を示し, 230 日目には 35.44g VSS/reactor (植種汚泥量-22%) まで減少した。

一方, VR では 54.71g VSS/reactor (植種汚泥量+15%) まで汚泥量が増加した。この結果より VR の方が SR よりも汚泥保持力が高く, SR における汚泥保持力と処理能力の低下は密接に関連しているものと考えられる。

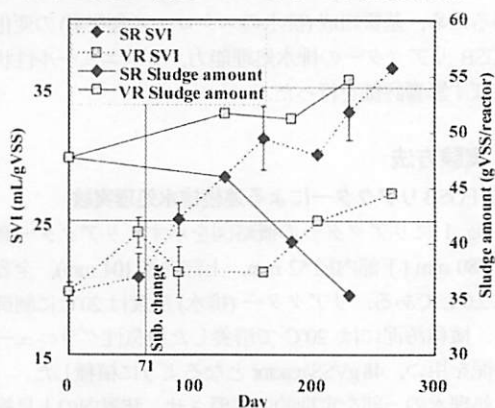


Fig.3 SVI and total amount of retained sludge

(4) 保持汚泥濃度

230 日目のリアクター高さ方向における MLSS, 及び MLVSS 濃度を Fig. 4 に示す。VS が SR よりもすべての高さにおいて高濃度に汚泥を保持していた。これより SR

では汚泥保持能力が低下したと言える。

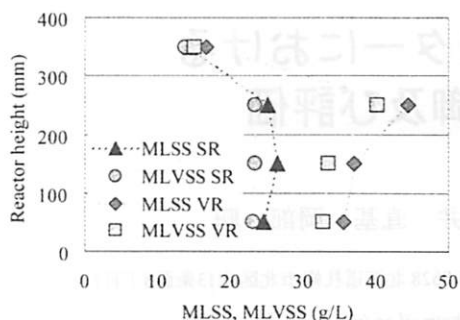


Fig.4 Retained sludge concentration

(5) 保持汚泥のメタン活性試験

活性測定の結果 SR, VR においてスクロース, プロピオン酸基質に対するメタン生成活性の変動が顕著であった。SR ではプロピオン酸基質に対する活性が段階的に低下した。これは基質変更前のプロピオン酸の直接添加と比較し、基質変更後の主要炭素源であるスクロースは VFA, エタノール, 乳酸など様々な物質に分解されるため、実質的なプロピオン酸供給量が減少したのが原因と考えられる。

スクロースに対する活性は徐々に差が見られるようになり、230 日目では SR が VR と比較して 2.7 倍の活性を保持した。これより SR ではスクロース分解に関わる酸生成菌の増殖が顕著であることが分かった。低温下では酸生成菌の増殖収率が大きくこの酸生成菌の増大がグラニュール性状の悪化を招いたと考えられる。また、SR グラニュールの SEM 観察の結果、糸状性の酸生成菌の優占化が確認された。

水素, 酢酸に対する活性は SR, VR 共に上昇傾向を示し、特に VR では酢酸からの活性増加が見られた。

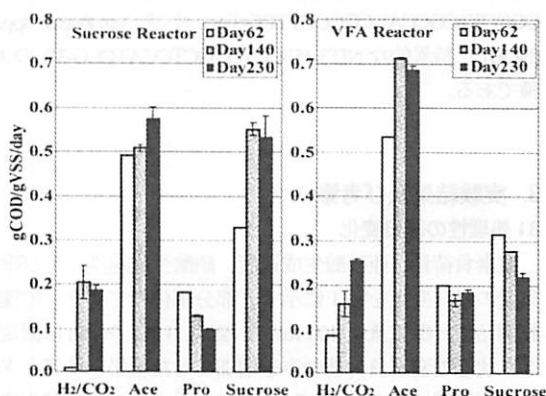


Fig.5 Methane producing activity test of retained sludge (20°C)

(6) グラニュール汚泥粒径の解析

Fig. 6 にリアクター上部 (Port 4) の保持汚泥グラニュール粒径分布と写真を示す。下部においては比較的大きな

グラニュールが両リアクターで保持されていた。

一方、SR 上部において粒径 5 mm 程度のグラニュールが存在しているのと比較し、VR では 3.4 mm 以下の小さなグラニュールのみであり、SR では汚泥が肥大化する傾向にあった。

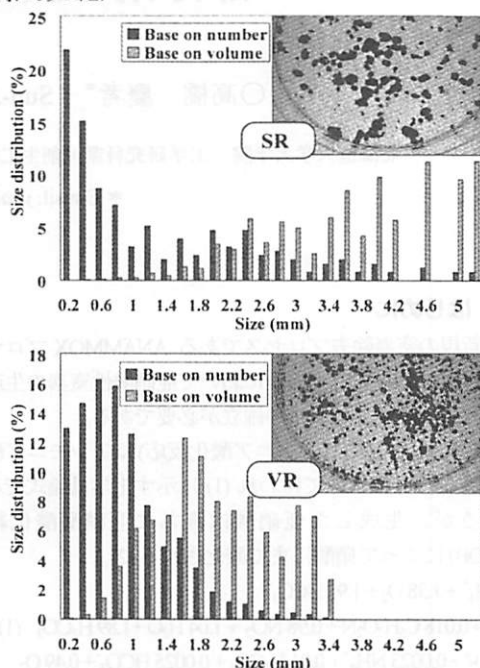


Fig.6 Granule size distribution

4. まとめ

- (1) 基質組成変更後、SR では処理能力が低下傾向を示した一方、VR では高い処理能力が維持された。
- (2) SR では糖分解細菌群の過剰増加等により保持汚泥物性が悪化（沈降性悪化、保持汚泥量低下）するが、VR は優れた汚泥保持能力を示した。
- (3) メタン生成活性測定の結果、各供給排水の有機物由来の活性が増加する傾向を示し、両リアクターで基質に対する汚泥の馴化が見られた。
- (4) 低温・低濃度排水の EGSB 法による処理では排水の糖含有率が高い場合、処理性能の悪化を招き易く、安定運転のため酸生成槽の設置等の対策が必要である。

5. 参考文献

- 1) 川崎達也 EGSB リアクターによる低濃度有機性排水の高速メタン発酵処理, 環境工学研究論文集, 42, 2005.
- 2) 珠坪一見 グラニュール汚泥床法の最適化による低濃度外水の高効率メタン発酵処理, 環境工学研究フォーラム講演集, 44, 2007.

謝辞: 本研究の一部は、新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成を受け実施したものである。