

B-10 グラニュール汚泥床法の最適化による 低濃度排水の高効率メタン発酵処理

○珠坪一晃^{1*}・Wilasinee Yoochatchaval^{1,2}・對馬育夫¹・角野晴彦³・大橋晶良⁴

1 (独) 国立環境研究所 水土壤環境研究領域 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川 16-2)

2 長岡技術科学大学大学院 エネルギー環境工学専攻 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町 1603-1)

3 岐阜工業高等専門学校 環境都市工学科 (〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2)

4 広島大学 社会環境システム専攻 (〒739-8527 広島県東広島市鏡山 1 丁目 4 番 1 号)

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

1. はじめに

我々の日常生活や産業から排出される有機性排水の大部分は、低有機物濃度 (1 gCODcr/L 未満) かつ、常温 (10℃-20℃) であり、これらの排水処理に関わるエネルギー削減は重要である。

メタン発酵は省エネ型の排水処理法であるが、低有機物濃度、常温条件下ではメタン生成細菌群の活性が低下し、処理性能発揮の鍵となるグラニュール汚泥の維持が困難なため、これらの排水に既存のメタン発酵プロセス (UASB 法など) を適用することは困難であった。

そこで我々は、処理水循環により排水と汚泥の接触効率の向上を図るグラニュール汚泥床型のメタン発酵法 (EGSB: Expanded Granular Sludge Bed) を低濃度排水 (0.6-0.8 gCODcr/L、以下 COD は CODcr を示す) の処理に適用し、20℃温度条件下で HRT 1.5 時間 (容積負荷 12 kgCOD/m³/day)、COD 除去率 60-70% の高速処理性能を実現した¹⁾。ここでは、排水有機物濃度の低下 (0.8 → 0.4 gCOD/L) が、グラニュール汚泥床法の排水処理性能や保持汚泥性状に与える影響を調査した結果を報告する。また、低濃度排水の連続運転において、処理水循環条件 (上昇線流速) の違いや、流入水の酸化還元電位 (ORP) の変化が排水処理性能に及ぼす影響を評価した。

2. 実験方法

2.1 グラニュール汚泥床法による連続排水処理実験

低濃度排水の連続処理実験は、全容積 2.0 L の EGSB リアクターにより行った。植種汚泥として、排水濃度 0.6-0.8 gCOD/L、水温 20℃ で長期間運転を行った EGSB リアクター保持グラニュールを用いた (植種量 46 gVSS/reactor)¹⁾。供給排水はスクロース:酢酸:プロピオン酸:酵母エキスを主体とする人工排水¹⁾で、有機物濃度は植種汚泥採取リアクターの半分の濃度 (0.3-0.4 gCOD/L) に設定した。HRT

は 1 時間に設定し (運転開始初期の 3 週間を除く)、COD 容積負荷は、6-9.6 kgCOD/m³/d となった。流入排水及びリアクターの温度は 20℃ に制御した。表 1 に、連続運転の実験条件を示す。

表 1-連続排水処理実験条件

Term \ Day	0-101	102-123	124-283	284-503
Operational phase	A	B B1 B2		C
Operational mode	EGSB	UASB (30minutes) + EGSB (10minutes)		
Influent ORP (mV)	-	+22~-70	-140~-170	-140~-170
Comment				Day 284 add sludge 28.5 gVSS

実験開始 101 日目まで (Phase A) は、常時処理水の循環を行う EGSB モード (上昇線流速 5 m/h) で運転を行った。その後、102 日目以降 (Phase B、C) は、汚泥床部の有機物濃度維持を目的とした排水循環を行わない UASB モード (線流速 0.7 m/h) と、汚泥床での排水短絡防止と生成ガスの汚泥からの分離を促す EGSB モード (処理水循環、線流速 5 m/h) を 30 分、10 分の間隔で繰り返し運転を行った。また、Phase B2 (124 日目) より、硫化ナトリウムの添加により流入水の ORP を -150 mV 前後に維持した。

2.2 回分排水供給試験

処理水循環の有無が汚泥床部での排水有機物濃度勾配や、流入排水濃度の変化が COD 除去能に与える影響を評価するため、回分排水供給試験を行った。通常の供給排水組成と同様の排水を 0.1~0.4 gCOD/L の濃度範囲で作成し、EGSB モード (常時排水循環) および UASB モード (循環無し) の条件下で HRT の 3 倍以上の時間供給した後、反応器高さ方向の COD 濃度勾配を測定し、有機物除去量を算定した。

3. 実験結果及び考察

3.1 グラニュール汚泥床法による連続排水処理実験

図1にグラニュール汚泥床リアクターによる低濃度排水処理性能(流入、流出 COD 濃度、COD 除去率)を示す。

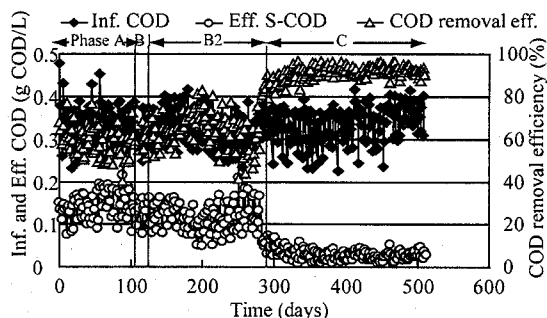


図1 連続排水処理実験における流入・流出 COD 濃度及び COD 除去率の経日変化

図1より、実験期間を通じて流入水の COD 濃度は 0.25-0.4 gCOD/L であった。HRT 1.5 時間で運転を開始し、運転開始後 22 日目には HRT 1 時間、容積負荷 6-9.6 kgCOD/m³/d に達した。HRT 1 時間時の Phase A における平均 COD 除去率は 57% であり、既報¹⁾の流入 COD 濃度 0.6-0.8 gCOD/L 時の COD 除去率 (70-75%、同一負荷条件時) よりも明らかに低下した。また、保持汚泥の沈降性の悪化も観察された (図4 参照)。

Phase A では、処理水循環により汚泥部で 5 m/h の上昇線流速を与えているため (EGSB モード)、処理水循環により汚泥床部での供給有機物濃度が低下し、微生物活性低下の要因となっていることが予測された。そこで、排水循環有り (ESGB、5 m/h)、無し (UASB、0.7 m/h) の条件下で反応器高さ方向の COD 濃度勾配を調査した (図2)。

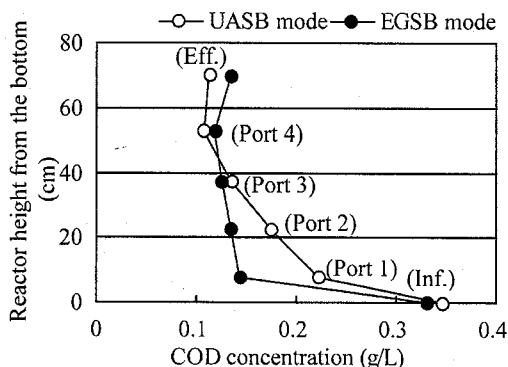


図2 反応器高さ方向の COD 濃度勾配

その結果、処理水循環を伴わない UASB モードで明らかな処理水質の向上が確認された。主要な酢

酸化性メタン生成菌である *Methanosaeta* の酢酸に対する半飽和定数 (K_s) は 100-200 mgCOD/L であることが知られており、処理水循環を行う EGSB モードでの運転では、汚泥床部での COD 濃度不足により保持汚泥の微生物活性の低下を招くことが分かった。

そこで、102 日目以降 (Phase B、C) は、汚泥床部の有機物濃度維持のため排水循環を行わない UASB モード (線流速 0.7 m/h) と、汚泥床での排水短絡防止と生成ガスの汚泥からの分離を促す EGSB モード (処理水循環、線流速 5 m/h) を 30 分、10 分の間隔で繰り返すことで運転を継続した。

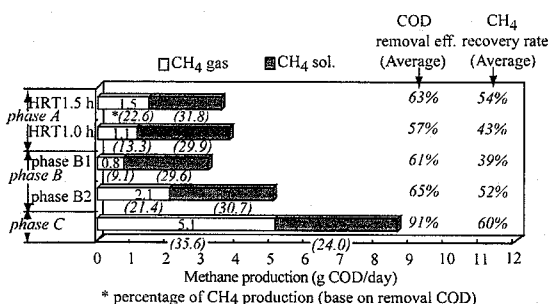


図3 各運転条件下におけるメタン生成量の変化

図3には、連続運転期間のメタン生成量 (除去 COD 基準) を示した。また図中には、各運転条件における平均メタン回収率、COD 除去率も示した。Phase B1 では UASB モードと EGSB モードの組み合わせによる排水供給により、COD 除去率は Phase A よりも約 4% 向上したが、一方で明らかなメタン回収率の低下 (約 4%) を招いた。EGSB モードでの運転時は、ORP の低い処理水と混合された状態で排水が供給されるが、UASB モードでの運転では、汚泥床に排水が直接供給される。Phase B1 における供給排水の ORP は +20~-77 mV と比較的高かったことからメタン発酵反応に阻害を及ぼした可能性が考えられた。そこで Phase B2 (124 日目) より、硫化ナトリウム (20 mg/L as Na₂S·9H₂O) の添加により供給排水の ORP 低下を試みた。その結果、流入水の ORP は -150 mV 前後で維持され、明らかにメタン回収率 (約 13%) と COD 除去率 (約 4%) の向上が見られた (Phase B2)。

UASB モードと EGSB モードの組み合わせ運転と、流入水 ORP 制御により明らかに排水処理性能は向上したが、MLVSS 濃度の低下 (サンプリングロスを含む) および保持汚泥の沈降性の悪化は Phase B2 においても継続的に生じた (図4 参照)。そこで、284 日目にリアクター運転開始時の汚泥量と同じになるようにグラニュール汚泥を加え (28.5 gVSS)、運転を継続した (Phase C)。その結果、COD 除去率は 91% にまで飛躍的に向上し、その後 200 日以上安定

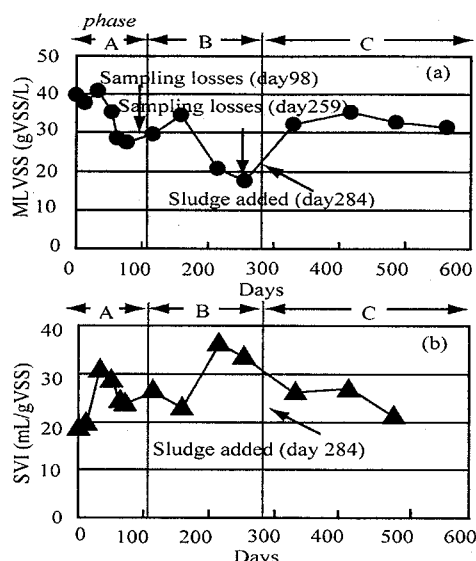


図4 保持汚泥の MLVSS 濃度 (a) および SVI (b) の経日変化 (Port No.2 汚泥の測定結果)

的な運転を行うことが出来た (図1 参照)。また、Phase C におけるメタン回収率は 60% にまで増加した (図3)。なお回収メタンの約 4 割が溶存体であった。さらに Phase C においては、保持汚泥の物性 (MLVSS 濃度、SVI) も 200 日以上 の長期間良好に維持することが出来た。

3.2 各排水有機物濃度条件下における有機物除去量 (回分排水供給試験)

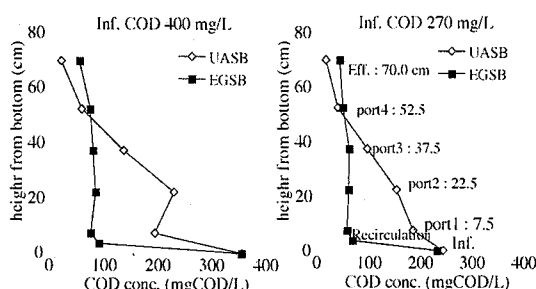


図5 異なる流入 COD 濃度、処理水供給条件における COD 濃度勾配 (設定流入 COD 濃度、400 mg/L、270 mg/L 時)

流入 COD 濃度の変化がグラニューール汚泥床リアクターの UASB モードおよび EGSB モードにおける有機物除去性能に及ぼす影響を評価するため、回分排水供給試験を行った。回分排水供給試験では、各運転モードで COD 濃度の異なる排水 (0.1~0.4 gCOD/L) を一定時間 (HRT の 3 倍以上) 供給し、反応器高さ方向の COD 濃度勾配を測定した (図5 参照)。これより、それぞれの排水循環条件における単位汚泥濃度当たりの COD 除去速度を算定した

(図6)。その結果、流入排水濃度 0.25~0.4 gCOD/L の範囲では UASB モードでの運転により明らかに COD 除去速度が向上した。我々は、流入 COD 濃度 0.6~0.8 gCOD/L の条件¹⁾においても COD 除去速度の評価を行ったが、UASB モードでの運転により COD 除去速度の向上が確認された。一方、流入 COD 濃度が 0.2 gCOD/L 未満の条件では、UASB モード、EGSB モードでの COD 除去効率 (速度) に大きな差が見られなかった。

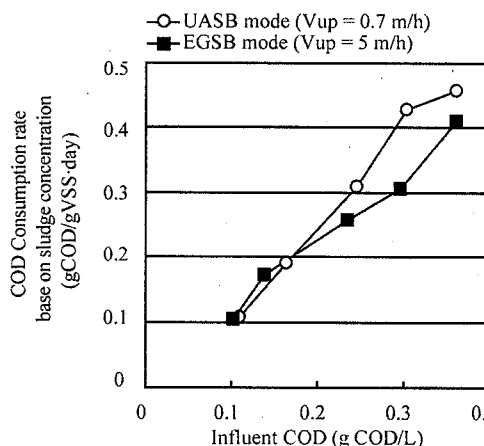


図6 異なる排水 COD 濃度条件下における COD 除去速度の変化

また、我々は UASB モードでのグラニューール汚泥床の継続的な運転を試みたが、保持グラニューールからの生成ガスの分離が困難となり、汚泥床の浮上による COD 除去率の悪化が観察された (結果示さず)。EGSB モードでの運転は、グラニューールからの生成ガスの分離と生物膜の物性維持に寄与しているものと考えられ、UASB モードと EGSB モードの組み合わせ運転の有効性が示された。

4. 結論

低濃度排水の 20℃ 条件における連続処理実験と、回分排水供給試験の結果、グラニューール汚泥床法での低濃度有機性排水処理には、UASB モード (処理水循環無し、上昇線流速 0.7 m/h) と EGSB モード (処理水循環有り、5 m/h) の組み合わせによる繰り返し運転と、流入排水の低 ORP 維持が有用であることが分かった。

参考文献: 1) 川崎達也、大橋晶良、原田秀樹、珠坪一晃、(2005 年) 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、第 42 巻、p.39-49

謝辞: 本研究は、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」および国立環境研究所「特別研究」の助成を受け実施したものである。