

パームオイル廃液を対象とした可逆流嫌気性バツフルドリアクターによる 現地実証実験

東北大学工学部 学生会員 ○宇佐見 心

東北大学大学院工学研究科 正会員 大久保 努, 李 玉友, 原田 秀樹

1. はじめに

世界のパームオイル生産量の約43% (1588万t)を占めるマレーシアでは¹⁾, 1t の粗パームオイル(CPO :Crude Palm Oil) 生産過程で3.5 m³の高濃度有機分を含む大量のパームオイル廃液 (POME: Palm Oil Mill Effluent)が排出されるため²⁾, 年間総廃液量は約5500万tと算出される. 今後もバイオディーゼル等による世界的な植物油の需要増加により生産量も増え, 同時に排出量も増加の一途を辿ると考えられる. 現行のPOME処理は, その約85%以上が広大な敷地を要する素堀のポンド法を適用しているが³⁾, HRT50日以上, 有機物容積負荷 (以下, 負荷とする)が0.2- 0.3 kgCOD/m³/日と低く⁴⁾, また温室効果ガスであるメタンが大量に大気放出されており, 地球環境保護の観点からも早急な処理方式の改善が必要と考えられる. 本研究では, マレーシアで稼働しているPOMEの高効率処理とメタンガス回収を目的とした, 新規メタン発酵処理法である可逆流嫌気性バツフルドリアクター (RABR: Reversible-flow Anaerobic Baffled Reactor)の実証プラントを使用し, POMEの分解特性および処理水循環による影響を把握することを目的として, 中温 (32- 37°C)条件下での連続処理実験を行った.

2. 実験方法

2.1 RABR処理システムと運転条件

表1に供給POMEの組成を示す. POMEはpH 4前後の酸性廃液であり, 全CODの約55%が不溶性 (固形画分)に由来し, 全CODの約48%を脂質が占めている. また, SS成分の約90%が有機性成分という, 高濃度有機性廃液かつ非常に難溶解性の廃水種である.

SS成分を高濃度に含有する廃液処理法として, 嫌気性バツフルドリアクター(ABR: Anaerobic Baffled Reactor)が適用されている⁵⁾. ABRは, 廃水が槽内のバツフルプレートを上下交互に横方向に流れることで処理が進行するが, 単一流入方式のため, 保持汚泥の片寄り, 流出がし易い等の課題を有する. RABRは流入方向を切り替えることでこれらの問題を克服し, 汚泥の流出を防ぎ, 廃液と保持汚泥との接触率の向上を目的に開発された. 本実験で使用したRABRの概要を図1に示す. 容積50m³の円筒型リアクター4基を下部で連結した総液有効容積200m³から構成される. リアクター温度は原水槽において中温条件に制御し, 流入方向はHRT毎に切り替えた. 表2に運転条件を示す. Phase1-3は原水槽で工業用水によって2倍希釈し, Phase4は無希釈POMEを供給廃水とした.

2.2 POMEの生分解性試験

試験基質はPOMEの全画分と溶解性画分, 浮上スカムの全画分, 固形画分と溶解性画分, 酢酸とH₂/CO₂基質とし, 47日目のRABR保持汚泥を使用し試験を行った. 使用バイアル容量は122 mLで液相体積は50 mL, ガス相体積は72 mLとした. 各基質2本ずつ行い, バイアル内F/M比は1 (POMEの全画分と溶解性画分のみF/M比0.5も同時に実施), 振とう培養温度は35°Cとした. 経時的にメタン生成量を測定し, 実験終了時の残存COD濃度よりCODマスバランスをとることで評価した.

表 1 POME の組成

分析項目	単位	濃度
pH ^a	-	4.38 (0.35)
COD _{Cr} ^b	Total	mgCOD / L 83135 (9569)
	Soluble	mgCOD / L 37185 (3417)
炭水化物 ^c	Total	mgCOD / L 23811 (3226)
	Soluble	mgCOD / L 17763 (2981)
脂質 ^c	Total	mgCOD / L 39660 (5941)
	Soluble	mgCOD / L 4818 (1735)
VFA ^d	Total	mgCOD / L 1335 (608)
	Acetate	mgCOD / L 1089 (437)
	Propionate	mgCOD / L 115 (119)
SS ^d	mg / L	24845 (3903)
VSS ^d	mg / L	22298 (3398)
VSS/SS	-	0.90 (0.02)

※ ()内の値は標準偏差, 測定回数 a: n=7, b: n=10, c: n=6, d: n=9

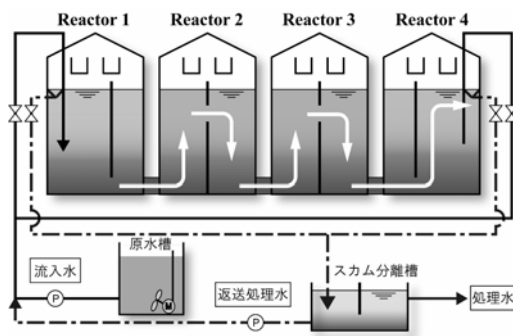


図 1 RABR の概要図

表 2 RABR の運転条件

	COD容積負荷 (kgCOD/m ³ /d)	HRT (day)	供給廃水量 (m ³ /d)	返送処理水量 (m ³ /d)
Phase 1	1.23	24	8.6	10
Phase 2	2.56	14	14.1	5
Phase 3	4.15	11	18.5	5
Phase 4	5.53	16	12.8	5

3. 実験結果および考察

3.1 RABRによるPOME連続処理特性

RABRによるPOMEの連続処理実験結果を図2に示す。図2(a)より運転期間中、リアクター内は中温に保たれ、pHも原水流入槽側でpH 6.0-7.1、最終処理水槽側でpH 6.9-7.4でありほぼ中性域であった。図2 (c)からCOD除去率は、POME全画分で平均94%、溶解性画分で平均97%であった。図2 (d)よりSS除去率も平均91%で高効率処理が可能であった。

しかし本実験では原水のpH調整を行わずに、返送によるアルカリ度の供給を図ったが、負荷上昇と共に槽内のpH低下が確認された。また、同時にメタン生成量とメタン含有率の低下が確認されたため、槽内のpH低下によりメタン生成古細菌等の活性が低下したと考えられる。負荷上昇と共に槽内での浮上スカムが確認され、Phase4では供給CODの約25%がスカム成分分にトラップされた。バイオガス発生量増加に伴いガス線流速が上昇し、固形画分の未分解物質がバイオガスと結合し浮上しやすい環境であったと示唆される。

3.2 POMEの生分解性試験

図3に生分解性試験結果を示す。メタン生成活性値はPOME全画分で0.42 gCOD/gVSS/d (F/M=1)、溶解性画分で0.65 gCOD/gVSS/d (F/M=1)となった。F/M比0.5の系でも同等の活性値を示し、F/M比における顕著な分解速度の差異はなかった。36日目のRABR保持汚泥量が1203 kgVSSであったことから、RABRの許容最大容積負荷は全画分POMEで2.53 kgCOD/m³/d、溶解性画分で3.91 kgCOD/m³/dと推定される。

また、浮上スカムに対し別途実施した性状分析 (表4)において、CODで2.0 gCOD/gVSS、脂質で0.91 gCOD/gVSSとなりPOME中の未分解脂質がSSおよび汚泥と付着し浮上したと示唆された。スカムの分解性試験においても全画分で0.17 gCOD/gVSS/d、固形画分で0.07 gCOD/gVSS/dとなったことから生物学的に難分解な成分が優先的に浮上したと考えられる。

4. おわりに

実験結果より、本RABRでの最大許容負荷は2.56~4.15 kgCOD/m³/dとなり、既存ポンド法と比較し8~14倍以上の負荷を許容しかつHRTは約1/4での運転が可能であった。しかしながら、負荷上昇と比例して未分解成分を多く含む浮上スカム量も増加したことから、更なるメタンガス回収率を向上するために、難分解成分の前処理またはスカム分を別槽により生分解するなどの追加実験を今後予定している。

参考文献

- 1) MPOB 2006 年統計データ : http://econ.mpob.gov.my/economy/annual/stat2006/EID_statistics06.htm
- 2) Azhar et al. : High rate anaerobic treatment of palm oil mill effluent (POME) by reversible flow anaerobic baffled reactor (RABR), J. Environ. Syst. And Eng., 776, 115-123 (2004)
- 3) G.D.Najafpour et al. : High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixed film bioreactor, Process Biochemistry 41, 370-379 (2006)
- 4) J.B.Davis, P.J.A.Reilly : Palm oil mill effluent - A summary of treatment methods, Oleagineux, 35(6), 323-324 (1980)
- 5) Ramaraj Boopathy : Biological treatment of swine waste using anaerobic baffled reactors, Bioresource Technology, 64, 1-6 (1998)

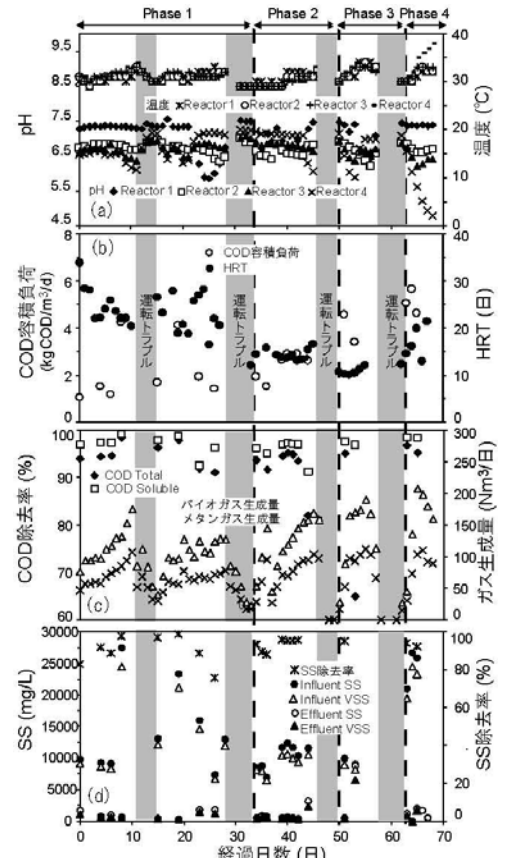


図2 RABRの連続処理結果
表3 各Phaseの処理特性

	COD容積負荷 (kgCOD/m ³ /d)	メタンガス生成量※ (Nm ³ -CH ₄ / kgCOD removed)	メタンガス含有率 (%)	処理水pH
Phase 1	1.23	0.28	61.3	6.94
Phase 2	2.56	0.19	59.8	6.84
Phase 3	4.15	0.11	58.0	6.77
Phase 4	5.53	0.08	55.8	6.75

※理論式では0.35 Nm³-CH₄/kgCOD removed

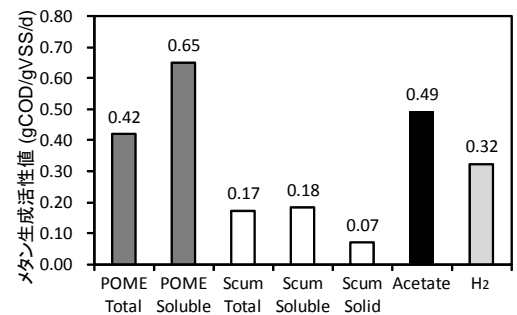


図3 各基質のメタン生成活性値

表4 スカムの組成

COD (gCOD/gVSS)	脂質 (gCOD/gVSS)
2.00	0.91