

## マレーシアでの可逆流型嫌気性バブルドリアクターによるパームオイル工場廃水処理

東北大学大学院 ○大久保努, 宇佐見心, 久保田健吾, 原田秀樹

長岡技術科学大学大学院 遠山明

(株) 荏原製作所 北川政美

## 1. 目的

2006年におけるマレーシアのパームオイル生産量は、世界生産量の約43% (1,588万t) を占めインドネシアに次ぐ世界第二位の生産規模を誇り、輸出量では世界最大となっている<sup>1)</sup>。しかしながら、パームオイルの生産過程では高濃度の有機分、脂質分を含むパームオイル工場廃水 (Palm Oil Mill Effluent : POME) が排出されている。POMEの排出量は1tの粗パームオイル (Crude Palm Oil : CPO) 生産から3.9m<sup>3</sup>排出されるため、2006年の生産量より約6200万m<sup>3</sup>が排出されたと試算される。現在、POMEの95%は圧搾工場に隣接した広大な敷地を必要とする嫌気性ラグーン法により、HRT50日以上、有機物容積負荷 (以下、負荷とする) 0.2~0.3 kgCOD.m<sup>-3</sup>.d<sup>-1</sup>の低負荷で自然発酵処理されるが<sup>2)</sup>、大量の温室効果ガス (メタン、二酸化炭素) が大気中に放出され地球環境保護の観点からも処理法の早急な改善が必要と考えられる。

本研究は、汚泥の保持能力及び汚泥と基質との接触効率向上を目的に開発された可逆流型嫌気性バブルドリアクター (Reversible-flow Anaerobic Baffled Reactor, 以下RABRとする) の実証プラントを現地マレーシアに建造し、POMEの高効率処理とエネルギー回収を目的として中温条件下での連続処理実験を実施した。

## 2. 実験方法

## 2.1 RABR処理システム

図1にRABRシステムフローを示す。RABRは、廃水が槽内のバブ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。嫌気性バブルドリアクター (Anaerobic Baffled Reactor, ABR) は、単一流入方式のため運転の経過とともに保持汚泥の片寄り、流出がし易い等の課題を有するが、RABRは流入方向を切替えることでこれらの問題を克服し、廃液と保持汚泥との接触効率の向上を目的に開発された<sup>3)</sup>。本研究で使用したRABRは、容積50m<sup>3</sup>の円筒型リアクター4槽を下部で連結し液有効容積200m<sup>3</sup>から構成される。各槽内は2分するバブルプレートが設置され計8室から構成される。原水槽にて中温条件に制御し、流入方向は1HRT毎に切替えた。

## 2.2 パームオイル工場廃水 (POME)

連続実験に供したPOMEの性状を表1に示す。pH3.5、全CODの約50%が不溶解性 (固形物) で占められ、SSが平均28,131 mg.l<sup>-1</sup> (VSS/SS=0.87)、O&Gが平均3,753 mg.l<sup>-1</sup>含まれる高濃度有機性廃水種である。また、パームフルーツ房に含有するカリウムなど無機栄養塩類はPOME中に豊富に含有しており、無機塩類および微量元素の添加は一切行わなかった。

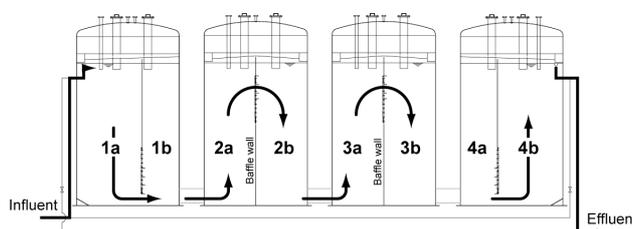


図1 RABRシステムフロー

表1 供給POMEの組成

Parameter	POME	
pH (-)	3.54 (0.1)	
CODcr (mgCOD/L)	total	73,565 (18,918)
	sol.	35,449 (11,851)
SS (mgSS/L)	28,131 (11,457)	
VSS (mgVSS/L)	24,643 (10,152)	
VSS/SS (-)	0.87 (0.1)	
O & G (mgO&G/L)	3753 (555)	
VFA (mgCOD/L)	C2:775 (335), C3:128 (123), C4:158 (195), C5:9.6 (28)	
Mineral (mg/L)	Ca:119 (27), Fe:20 (0.1), K:750 (210), Mg:208 (56), P:73 (13), Na:30 (0.5)	

Figures in parentheses are standard deviations.

キーワード: パームオイル工場廃液 (POME)、嫌気性処理、可逆流型嫌気性バブルドリアクター (RABR)

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院土木工学専攻 Tel.:022-795-3584

供給廃水は POME の希釈により、全 COD 濃度を 10,000-70,000 (無希釈 POME)  $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  の 5 段階に設定し 20 $\text{m}^3$ /日で供給した。HRT は 10 日に設定し、供給廃水濃度により負荷を制御した。原水の pH 調整は、水酸化ナトリウム (40%NaOH) により中性域に調整した期間 (Phase1) と、pH 無調整の期間 (Phase2) で実施した。

### 3. 実験結果及び考察

実験は、圧搾工場の既設嫌気槽より汚泥を 2,560  $\text{kgVSS}$  植種し開始した。RABR による POME の連続処理実験結果を図 2 に示す。Phase1 では、負荷 1  $\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  (流入濃度 10,000  $\text{mgCOD}\cdot\text{l}^{-1}$ , pH 調整なし) から実験を開始し、原水流入側の槽内 pH が 6 を下回った時のみ間欠的に原水槽の pH を 6.5 に調整した。段階的に負荷 3  $\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  まで上昇させたが、負荷上昇と共に流入側の槽内水面に高粘性のスカム生成が確認された。POME に高濃度で含有する脂質の加水分解で生ずる高級脂肪酸が、pH 調整剤のナトリウムや POME に含有するカリウムと鹸化反応しスカム (不溶性石鹸) 生成を助長したと考えられる。そのため、Phase2 ではスカム生成を抑制するため pH 調整無しでの供給を実施した。負荷 4  $\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  では、60%以上のメタンガス濃度を示し 5.5 $\text{Nm}^3\cdot\text{CH}_4\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{POME}\cdot\text{d}^{-1}$  のメタンガスが回収された。約 60 日間の安定的な処理を達成し、pH 調整なしによるスカム生成の抑制効果も確認された。負荷 7  $\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  (無希釈 POME での供給) では、槽内 pH の低下によりメタン濃度の低下と除去率の低下が確認され、処理水中のプロピオン酸濃度が 500-1000 $\text{mgCOD}\cdot\text{l}^{-1}$  で観測された。一般に中温嫌気性消化でもプロピオン酸の蓄積が知られているが<sup>4)</sup>、本実験においても高負荷運転時にはプロピオン酸の分解が律速に達することが確認された。

図 3 に Phase2, 負荷 2  $\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  での流入水から処理水に至るまでの各槽内のプロファイル結果を示す。原水流入側の槽から廃水が流出方向に段階的に処理が進行することが確認できた。

### 4. まとめ

RABR は現行のラグーン法と比較して、10 倍以上の負荷が許容可能でありかつ、メタンガスの効率的な回収が可能であった。本実験系での許容負荷は 4~7  $\text{kgCOD}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$  までであると判断できた。

### 参考文献

- 1) Malaysia Palm Oil Board 2006 年統計データ : <http://econ.mpob.gov.my/economy/annual/stat2006/>
- 2) Davis J.B. and Reilly P.J.A., Palm oil mill effluent – a summary of treatment methods, *Oleagineux*, 35, 323-330, 1980
- 3) Azhar A.R. et al., High rate anaerobic treatment of POME by reversible flow anaerobic baffled reactor (RABR), *J. Environ. Syst. and Eng.*, 776, 115-123, 2004
- 4) Kim M. et al., Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. thermophilic, *Water Research*, 36, 4369-4385, 2002

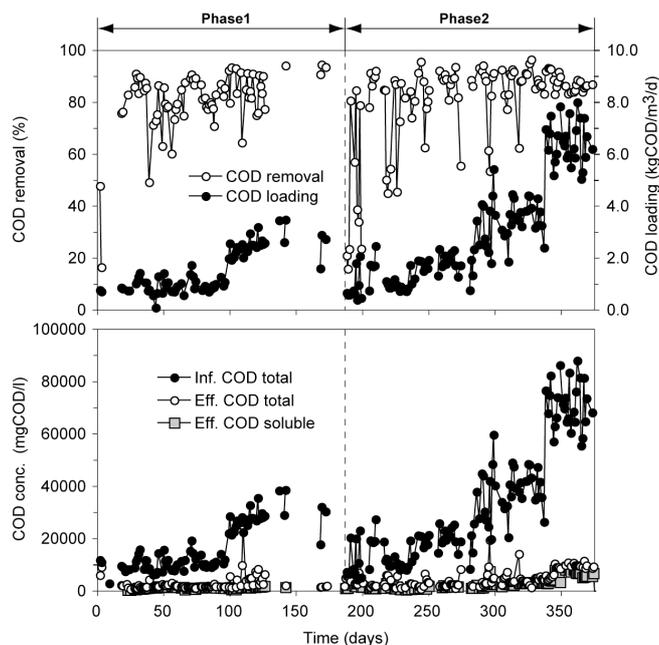


図 2 COD 容積負荷と除去率の経日変化(a)と供給 COD 濃度と処理水 COD 濃度の経日変化(b)

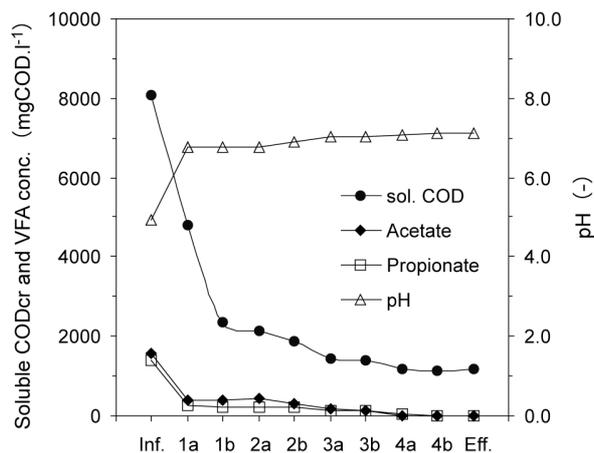


図 3 処理進行方向プロファイル