

B-26 パームオイル製造廃液 (POME) の 嫌気分解特性の評価

○珠坪 一晃^{1*}・Wilasinee Yoochatchaval¹・窪田 恵一^{1, 2}・
熊倉 真也²・山口 隆司²・谷川 大輔³・久保田健吾³・原田 秀樹³

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

²長岡技術科学大学 環境・建設系 (〒940-2188 新潟県長岡市上富岡町1603-1)

³東北大学大学院工学研究科 土木工学専攻 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06)

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

1. はじめに

現在、パームオイル工場から排出される POME (Palm Oil Mill Effluent: パームオイル製造廃液) は、ほとんどが開放型ラグーンで処理されている。開放型ラグーン (Pond) では嫌氣的に有機物が分解し、それに伴って発生するメタンガスは、回収されることなく大気中に放出されている。このメタンガスの温室効果係数は 21~25 と高く、地球温暖化の要因となっている。

それゆえ、従来の処理施設であるラグーンに代わり、POME を高効率で処理し、メタンを回収できる高効率メタン発酵技術の開発を行う必要がある。しかし、POME は高濃度の有機性廃液 (COD 濃度 70,000 - 90,000 mg/L) であり、微生物への阻害物質である脂質由来の COD 成分も 1/3 以上を占める、安定的なメタン発酵処理が困難な廃水である。そのため、メタン発酵プロセスの安定化、効率化のためには (1) 現状、開放型ラグーンで処理されている POME の分解の様相やラグーン保持汚泥のメタン生成能の調査 (2) 脂質 (高級脂肪酸) の分解に関わる微生物群の群集構造解析と制御技術の開発が必要である。

本研究では、マレーシアのパームオイル工場における開放型ラグーン内汚泥の微生物学的特性解析、POME および高級脂肪酸 (Long Chain Fatty Acid: LCFA) の回分集積培養試験による嫌気分解特性の評価を行った。

2. 実験条件および方法

(1) ラグーン (Pond) における POME の分解状況の把握

本研究では、Seri Ulu Langat Palm Oil Mill (マレーシア) の POME 及び Pond 1, 2 より採取した廃水について水質分析を行って有機物分解状況の把握を行った (採取日: 2008 年 7 月 10, 10 月 22 日, 12 月 17 日)。工場から排

出された POME は、酸生成池 (第 1 ポンド: Pond 1) を経てメタン生成池 (第 2: Pond 2) に送られる。その後複数個の嫌気池と仕上げ処理の曝気池を経て河川に排出される (図 1)。

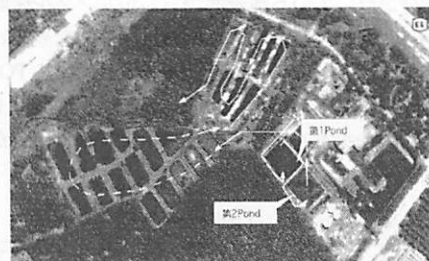


図 1 開放型ラグーン (Pond) の位置関係と廃液の流れ

(2) メタン生成活性試験

ラグーン (Pond) 汚泥および集積培養の植種として補助的に利用した都市下水消化汚泥のメタン生成活性を測定した。供試汚泥は Seri Ulu Langat Palm Oil Mill における開放型ラグーン Pond 2 汚泥 (採取日: 08 年 10 月 22 日) と長岡市中央浄化センターの消化汚泥 (採取日: 10 月 25 日) を用いた。試験基質として H_2/CO_2 、酢酸、POME、パルミチン酸 (C16:0)、オレイン酸 (C18:1) を用い、35°C で活性測定を行った。

(3) POME, LCFA を用いた回分集積培養

POME および POME に含まれる LCFA の嫌気分解特性を把握するため 35°C 条件下で、回分集積培養を行った。回分集積培養には、720 ml 容量のバイアル瓶を用い、液量 (植種汚泥と培地を含む) を 200 ml に設定して、振とう条件下でそれぞれ POME、パルミチン酸 (C16:0)、オレイン酸 (C18:1) を炭素源として集積培

養を行った。なお POME については、55℃での集積培養も実施した。植種汚泥は、Pond 2 汚泥と消化汚泥を混合して用いた。詳細な回分集積培養条件を以下の表 1 に示す。

表 1 回分集積培養の条件

バイアル	720 ml (気相 520 ml, 液相 200 ml)
植種汚泥	長岡消化汚泥+POND 2 汚泥(採取時の水温35-37℃) 比率 2:1 (Totalで約 7 gVSS/Lとなるよう植種)
基質条件と培養温度	POME (35℃, 55℃), C16:0 [※] (35℃), C18:1 [※] (35℃)
初期基質濃度	0.5 [※] -1.0g-COD/L
全ての集積培養系でYeast Extractを投入CODの5%量添加	

3. 実験結果および考察

(1) ラグーン(Pond)における POME 分解状況の把握

表 2 に POME および工場内の Pond 1, 2 内廃水の水質を示した。POME は約 70℃で排出され、有機物濃度は 80,000 mgCOD/L 前後であった。POME には、LCFA 以外にタンパク質、糖質が多く含まれる。Pond 1 の水温は、約 63℃であり、易分解性の有機物の酸生成 (VFA 濃度の増加, n-酪酸等) と油分の分離が生じていた。Pond 1 では、油分が浮いている池表面からしかサンプル採取が出来なかったため、ヘキサン抽出物量が多くなっている。一方、Pond 2 では水温が 35℃程度にまで低下し、POME 有機物の大半が分解していた。また Pond 2 汚泥は十分なメタン生成能を有しており (図 3)、メタン生成が進行した結果、pH も 7 以上にまで回復していた。

表 2 POME および Pond 内廃水の水質分析結果

	Temp.	pH	T-COD	S-COD	T-Protein	T-Sugar	ヘキサン・ イソプロパ ノール抽出物
			mgCOD/L	mgCOD/L	mgCOD/L*	mgCOD/L**	mg/L
POME (10/22)	60~63	3.9~4.1	85,100	50,900	21,150	28,330	15,900
POME (7/10)	60~63	3.9~4.1	80,000	45,000	8,830	15,320	8,900
Pond 1	54~59	4.2~4.9	860,800	56,800	38,990	1,580	743,900
Pond 2	35~39	7.1~7.3	21,400	4,000	13,650	2,110	4,000

*1.16 mgCOD/mg-Protein, **1.12 mgCOD/mg-Sugar

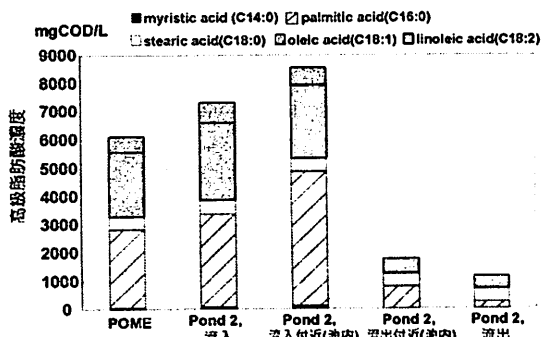


図 2 POME, Pond2 における LCFA 濃度の変化

Pond における高級脂肪酸の様相を調査するために、POME 及び Pond 2 の高級脂肪酸を測定した。図 2 に POME 及び Pond 2 の流入、流出における LCFA 濃度測定

結果を示した。POME と Pond 2 流入 (= Pond 1 流出) では LCFA 濃度に大きな変化がなかった。

一方、Pond 2 では、流入から流出にかけて、LCFA の大半が分解されていた。特に、POME の主成分である C16:0 (パルミチン酸)、C18:1 (オレイン酸) が多く分解されており、Pond 2 には C16:0、C18:1 の分解に寄与する菌が数多く存在することが示唆された。C18:0 (ステアリン酸) については、Pond 2 流出においても POME と同等の濃度で残存していた。

(2) Pond 汚泥および植種消化汚泥のメタン生成活性

図 3 に集積培養の植種として用いた Pond 2 汚泥と消化汚泥の 35℃でのメタン生成活性を示す。図 3 より、Pond 2 汚泥については、酢酸基質からのメタン生成活性が最も高く、続いて POME、C16:0、H₂/CO₂ からの活性が高かった。これより Pond 2 では、POME に含まれる LCFA やその他の有機成分 (炭水化物、タンパク質) の分解と共にメタン生成が進行し、メタンの大気放散が生じていることが確認出来た。一方、C18:1 からの活性は、メタン生成細菌への阻害が生じたためかほぼゼロであった (初期 C18:1 濃度 1,000 mgCOD/L 時)。

消化汚泥のメタン生成活性は、全ての基質において Pond 2 汚泥の約 1/3~1/4 程度であった。

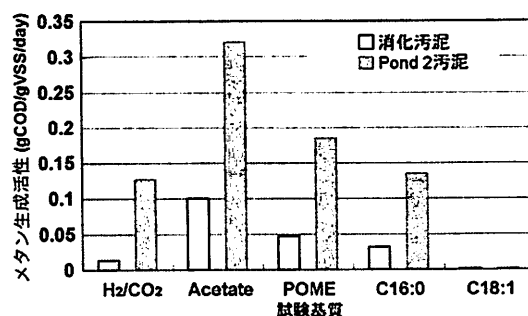


図 3 消化汚泥および Pond 2 汚泥のメタン生成活性

(3) POME, LCFA を用いた回分集積培養の結果

図 4, 5 には 35℃における POME と C16:0 の集積培養系におけるメタン生成発生量を投入基質 (POME, LCFA) の COD 量に対する割合 (転換率) として表した。POME の集積培養系 (図 4) では、集積培養期間を通じて常時良好なメタン生成 (POME) が観察され、投入した POME (1,000 mgCOD/L) は約 9 日で完全に分解された。また、目立った中間代謝脂肪酸 (VFA: Volatile Fatty Acid) の蓄積も観察されなかった。

C16:0 基質の集積培養系におけるメタン生成は非常に良好であり、C16:0 による阻害も見られなかった (図 5)。これより、Pond 2 汚泥には、ある程度の C16:0 分解菌が存在していることが明らかになった。この系でも

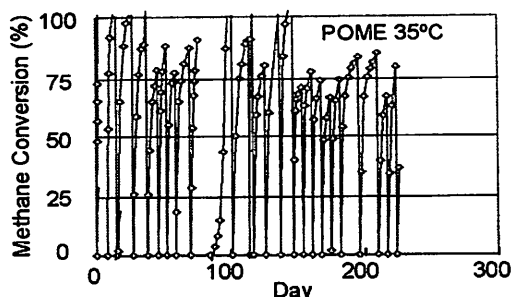


図4 POME(35°C)集積培養系におけるメタン転換率

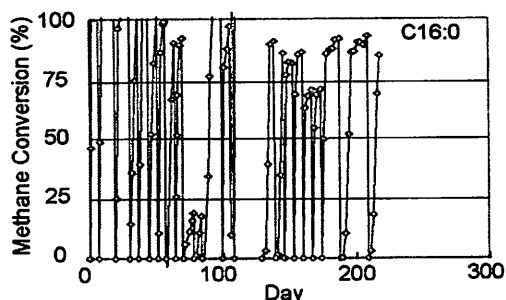


図5 C16:0(35°C)集積培養系におけるメタン転換率

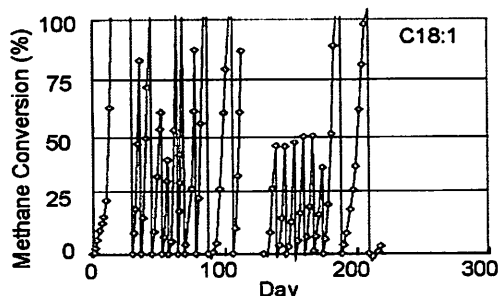


図6 C18:1(35°C)集積培養系におけるメタン転換率

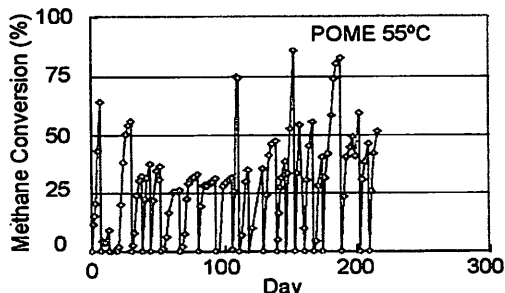


図7 POME(55°C)集積培養系におけるメタン転換率

VFA の蓄積は観察されなかった。

C18:1 基質の 35°C における培養系 (図 6) については、集積開始初期からメタン転換率が低かった。メタン生成活性試験でも C18:1 基質では活性が低かったことから、メタン生成細菌への LCFA 阻害によりメタン生成が抑制されたと推測される。そのため、実験開始後 30 日目からは、投入 LCFA 濃度を 500 mgCOD/L (初期添加濃度の半分) として運転を継続したところ、時々ガスの生成量は低下するものの、60 日目以降は順調な C18:1 分解 (メ

タン生成) が進行した (C16:0, C18:1 のメタン転換率は基質濃度低下時の投入 COD を基準に算定)。

図 7 には、55°C における POME の集積培養系におけるメタン生成の様相を示した。この系列では、明らかに図 3 の 35°C POME よりもメタン転換率が低く、VFA (酢酸, プロピオン酸, 酪酸等) の蓄積も確認された。これは、Pond 2 汚泥中には高温性細菌の存在量が少なく、集積が進まなかったためと推測される。

集積培養による菌相の変化 (LCFA 分解菌の集積化) を調査するために、真性細菌の 16S rRNA 遺伝子を標的として DGGE 法による解析を行った。その結果、集積培養の進行に応じた微生物群が集積してくることが確認出来た (結果示さず)。また主要バンドの塩基配列を決定したところ、LCFA の分解に関与すると考えられる、*Syntrophomonas* 属に近縁な細菌群の集積化を C16:0, C18:1 の集積培養系で確認した。今後、より詳細な菌相解析を進めていく。

4. まとめ

Seri Ulu Langat Palm Oil Mill (マレーシア) における開放型ラグーンでは酸生成池後の Pond 2 で LCFA の大半、特に C16:0, C18:1 が良好に分解されており、Pond 2 には C16:0, C18:1 の分解に寄与する菌が数多く存在することが推察された。また、集積培養により、35°C 条件の POME および C16:0 集積系では、基質の良好な分解とメタン生成が確認できた。

POME および LCFA (C16:0, C18:1) の集積培養汚泥について、DGGE 法による菌相解析 (Domain Bacteria: 真性細菌) を行ったところ、基質の種類に応じて微生物群の集約化が観察され、LCFA の分解に関与すると考えられる、*Syntrophomonas* 属に近縁な細菌群の集積化を確認した (C16:0 及び C18:1 集積培養系)。

今後、より詳細な菌相解析と LCFA の嫌気分解に関する基礎知見を収集することで、POME のメタン発酵処理の安定化、効率化技術の開発を目指す。

謝辞

本研究の一部は、環境省 環境技術開発等推進費「クリーン開発メカニズム適用のためのパームオイル廃液 (POME) の高効率の新規メタン発酵プロセスの創成」(研究代表者 東北大学 原田秀樹)、国立環境研究所 特別研究「資源作物由来液状廃棄物のコベネフィット型処理システムの開発」(研究代表者 国立環境研究所 珠坪一晃) の助成を受けて実施したものである。