

パームオイル圧搾廃液を処理する密閉型嫌気性消化槽の 処理特性と微生物群集構造

東北大学工学部 (学) ○渋谷幸子

東北大学 (正) 久保田健吾、(非) 谷川大輔、(学) 射手園章吾、(正) 原田秀樹

国立環境研究所 (正) 珠坪一晃 長岡技術科学大 (正) 山口隆司 産業技術総合研究所 (非) 関口勇地

1. はじめに

1.1 POME の性状と問題点

パームオイルは世界で最も生産されている植物油であり、アブラヤシの実から搾られる。アブラヤシは熱帯特有の植物であり、温暖かつ高温で高い日射量と定期的かつ多量の降雨が必要とされるため、植生が赤道周辺南北 15°C の地域に限られている。従って、パームオイル生産地域も限られ、インドネシアとマレーシアで総生産量の 85% を占めている。2009 年度のパームオイル生産量は全世界で 4500 万トンである。パームオイルは大豆や菜種に比べて土地生産性が高いため生産量は年々増加しており、今後も増加すると予想される。しかし、この産業は大量の廃液、パームオイル圧搾廃液 (POME: Palm Oil Mill Effluent) を排出してしまうという問題を抱えている。POME は低 pH で固形成分を多く含み、脂質含有量が多い高濃度有機性廃液である。現在の一般的な POME 処理方法は嫌気性ラグーン法である。嫌気性ラグーン法はラグーンと呼ばれる素堀の池で極めて長い滞留時間をかけて嫌氣的に処理する方法であり、処理過程で大量のメタンを大気中に放出する。パームオイル工場の 85% 以上がこの方法を採用している。Shirai らの導いた式に基づいて算出すると、2009 年には 11300 万 m³ の POME が排出され、147 万トンのメタンが大気中に放出されたことになる。この値を地球温暖化係数 21 を用いて二酸化炭素量に換算するとパームオイル産業から 2009 年に放出された二酸化炭素量は 3100 万トンであり、日本の温室効果ガス削減目標量の約 10% (鳩山 commitment) に相当する値である。このことから POME 処理プロセス開発は CDM 事業の対象としても注目されている。

1.2 嫌気性消化槽について

現在、パームオイル関係で多くの CDM 事業が展開されているが、その内の数件は密閉型嫌気性消化槽を取り入れた POME 処理プロセスである。密閉型嫌気性消化槽で POME を処理する利点はメタンが大気中に放出されず、メタンをエネルギー源として回収できる点である。また、複雑なプロセスを必要としないため、途上国で普及するのに適している方法である。本研究の調査対象とした密閉型嫌気性消化槽もマレーシア現地のパームオイル工場にて実稼働しているリアクターである。しかし、POME の処理方法の 1 つとして注目されているにも関わらず POME を処理する密閉型嫌気性消化槽に対する研究は今まであまり行われていない。特に微生物群集構造はほとんどされておらず、未知な部分が多い。そこで、本研究では現地調査及び、分子生物学的な手法によって POME を処理する密閉型嫌気性消化槽の処理性能と微生物群集構造を解明することを試みた。

2. 実験方法

2.1 水質分析

マレーシアにあるパームオイルプランテーション面積 465 km²、年間 Fresh Fruits Bunch 30 万トン进行处理する工場にある嫌気性消化槽を調査対象とした。この工場からは毎日約 300~500 m³ の POME が排出されている。工場から排出された後の POME の処理フローを図 1 に示す。工場から排出された POME はまず POME ピットに貯められる。その後、タンクに貯蔵され、嫌気性消化槽で処理される。嫌気性消化槽は容量 3100 m³ × 4 の完全混合型リアクターであり、今回の調査では 4 つの嫌気性消化槽を 1 つの消化槽とみなして、HRT, OLR を算出した。タンクから嫌気性消化槽への流入水、処理水、嫌気性消化槽内部、サンプリングし分析した。調査は 50 日間行い、それぞれ pH, 温度, COD (HACH), SS, VSS (下水試験法), タンパク質 (ローリー法), 炭水化物 (フェノール硫酸法), 脂質 (ヘキサン・イソプロパノール法), VFA (ガスクロマトグラフ FID 型検出器), 乳酸, LCFA を測定した。

2.2 微生物群集構造解析

微生物群集構造解析については嫌気性消化槽中の汚泥を対象に *Bacteria* 及び *Archaea* の 16S rRNA 遺伝子に基づいたクローン解析を行った。まず DNA を抽出し、その後、PCR を行った。使用した Primer は *Bacteria* に関しては EUB8F と UNIV1500R を用い、*Archaea* に関しては Arc109F と UNIV1500R を用いた。アニーリング温度は *Bacteria* を 50°C、*Archaea* を 52°C で行った。その後、精製を行い、クローニングを行った。得られたクローンの塩基配列はタカラバイオ社に依頼して塩基配列を読んだ。

2.3 ガス組成試験

本研究は現地にある実機を対象に調査を行った。実機にガスのサンプリングポートがなかったためガスの発生量を測定することができなかった。そこで、嫌気性消化槽中の汚泥をサンプリングし、バイアル実験を行いガスの組成を調査した。バイアル瓶に汚泥を入れ、気相部に窒素を置換した。その後、バイアル瓶をインキュベーターに入れ、経時的にガスをサンプリングして、ガスクロマトグラフでガスの組成を測定した。

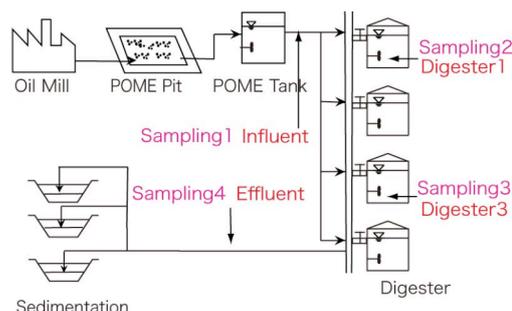


図 1 工場から排出された POME の処理フロー

キーワード パームオイル圧搾廃液、嫌気性処理、微生物群集構造解析、CDM

連絡先 〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06 東北大学工学部 環境保全工学研究室 TEL022-795-3584

3. 実験結果と考察

3.1 処理性能評価

pH は流入水が 4.3, 嫌気性消化槽内が 7.3, 処理水が 7.2 であり, 流入水では酸性であったが, 消化槽内と処理水は中性に変移していた. 温度は流入水が 47.4°C と高温であり, 嫌気性消化槽内が 34.8°C, 処理水が 35.3°C であった. HRT は平均 47 日, OLR は平均 1.32 kgCOD/m³・d であった. Yacob らの調査した嫌気性ラグーン法の結果と比較をすると, HRT は 7 日程度嫌気性ラグーン法より長く, OLR は嫌気性ラグーン法とほぼ同じであった. しかし, HRT と OLR の結果は調査期間中に祝日及び消化槽のメンテナンス等により消化槽の運転停止日が 22 日と多かったことが影響していると考えられ, 実際の HRT はもう少し短く, OLR は高くなると考えられた. 調査期間中の流入水と処理水の COD の経時変化を図 1 に, 全 COD の内訳を図 3 に示す. 全 COD 除去率は 73%, 溶解性 COD 除去率は 93% であった. 全 COD 除去率が溶解性 COD 除去率よりも 20% 低いのは調査対象としている嫌気性消化槽が完全混合型リアクターであり消化槽中が攪拌されているため, 槽内の汚泥が処理水に含まれるためである. SS 除去率は 33% であり, 処理水の全 COD の 40% をタンパク質が占めていたことも, 流出水に汚泥成分が含まれていることを示す結果となった. また, 攪拌されていることにより嫌気性消化槽内の分析結果と処理水の分析結果は, ほぼ等しかった. POME は脂質含有量が多い廃液であるが, 今回の調査結果でも流入水の全 COD の 33% が脂質であり高濃度であった. 流出水では脂質の 85% が除去されていた. 流入水の VFA 濃度は 7400 mgCOD/L であり, 酢酸が 55%, プロピオン酸が 17%, ノルマル酪酸が 24% を占めていた. 流出水では, 全 VFA の 94% が除去されていた. 各成分の解析結果から嫌気性消化槽内で POME は良好に処理されていたと考えられる.

3.2 ガス組成

発生したガスの組成は 50~60% がメタンであり, 嫌気性消化槽内でメタンが発生していることを示す結果となった.

3.3 微生物群集構造解析

嫌気性消化槽中の汚泥を対象に *Bacteria* 及び *Archaea* の 16S rRNA 遺伝子に基づいたクローン解析を行った. 図 4 に *Bacteria* の微生物群集構造解析を示す. *Bacteria* の群集構造解析の結果, 50% が *Firmicutes* 門に分類された. その内の 17% が *Syntrophomonadaceae* 科に分類された. *Syntrophomonadaceae* 科は余剰汚泥を処理する消化槽など高級脂肪酸を多く含まないリアクター汚泥ではあまり検出されないため脂質含有量が多い POME 処理特有の結果となった. *Archaea* の群集構造解析の結果, 97% が *Methanosaeta* 属に分類され, 3% が *Methanospirillum* 属に分類された. ガス組成の結果と *Archaea* の群集構造解析の結果から嫌気性消化槽内でメタンが発生していると考えられた.

4. まとめと今後の予定

本研究では, マレーシア現地で実稼働している密閉型嫌気性消化槽の調査を行った. 調査の結果 HRT は平均 47 日, OLR は 1.32 kgCOD/m³・d であった. 全 COD 除去率は 73% であったが, 溶解性 COD 除去率は 93% であり, 各種水質分析結果から嫌気性消化槽内で POME は良好に処理されていた. 嫌気性消化槽内の pH が 7.3 と中性であり, ガス組成試験で発生したガスの組成の 50~60% がメタンであった. また, *Archaea* の群集構造解析結果, 97% が *Methanosaeta* 属に分類され, 3% が

Methanospirillum 属に分類された. 以上より嫌気性消化槽内でメタンが発生していると考えられた. *Bacteria* の群集構造解析結果は 50% が *Firmicutes* 門に分類された. その内の 17% が *Syntrophomonadaceae* 科に分類されるという POME 処理特有の結果となった. 微生物群集構造解析に関しては今後更なる調査を行う予定である.

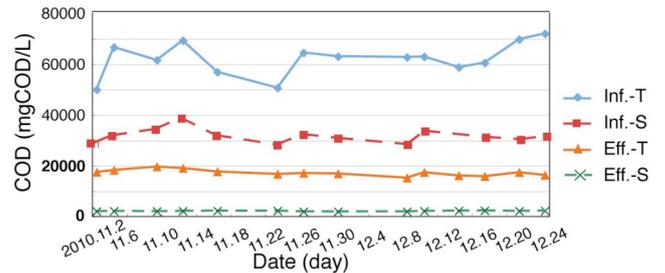


図 2 流入水と処理水の COD 経時変化

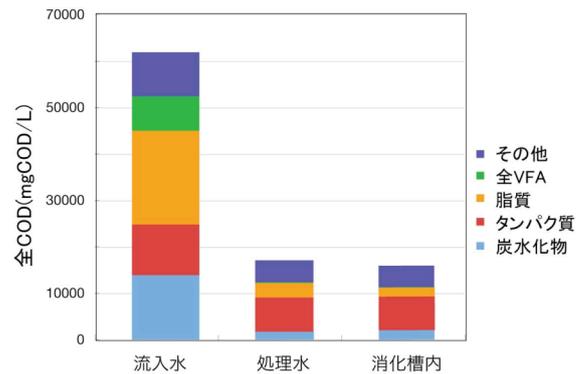


図 3 全 COD の内訳

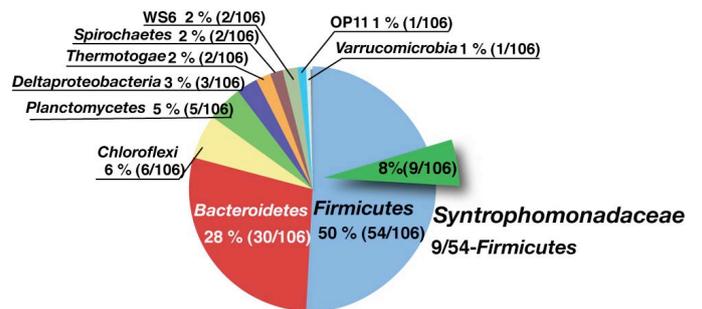


図 4 *Bacteria* の微生物群集構造

謝辞

この研究は環境省の環境研究総合推進費 (S2-03) の支援を受けた. ここに記して感謝いたします.

参考文献

- 1) Shirai et al.,(2003)Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change,8 :237-252
- 2) Yacob et al.,(2006)Science of the Total Environment, 366:187-196