

# 消化液による藻類培養を利用した循環型メタン発酵機構構築のための基礎研究

## Basic Research for the Material Circulation Type Anaerobic Digestion System Using the Microalgae Cultivation by Methanogenic Digestate as a Culture Medium

Key words: Anaerobic Digestion, Methanogenic Digestate, Microalgae

農業システム工学分野 浅井 啓志

### 1. 背景

今日、主に用いられているエネルギーは石油をはじめとする化石燃料である<sup>1)</sup>。しかし、化石燃料には問題点も多い。埋蔵量が限られていること(枯渇性エネルギー)やCO<sub>2</sub>等の放出により環境負荷が高いこと等が代表的なもので、代替物として再生可能エネルギーの導入が進められている。本研究は、その中のバイオマスエネルギーのひとつであるメタン発酵に着目する。

メタン発酵は微生物の働きにより有機物を分解し、メタンと二酸化炭素からなるバイオガスを製造する手法である。この過程で、発酵残渣である消化液と呼ばれる副生成物が発生する。メタン発酵を行う施設ではこの消化液の処理のための化学薬品が支出の多くを占め、経営を圧迫している<sup>2)</sup>。

### 2. 目的

Williamらは豚と牛の糞尿由来の消化液を用いて微細藻類培養を行った<sup>3)</sup>。本研究では微細藻類を消化液で培養したと仮定し、消化液中の有機物を再びメタン発酵に利用する循環型の機構を構築することを目的とする。そのため、微細藻類を基質としてメタン発酵槽に投入した際に生成されるバイオガス量の計測、およびその計測用に安定した実験室でのメタン発酵を実現するための装置の試作を行った。

### 3. 実験装置および実験方法

#### 3.1 馴養実験

##### (1) 実験概要

予備実験としてコーヒー残渣を基質とした嫌気消化を固形分濃度5%、水理学的滞留時間(Hydraulic Retention Time: HRT)30日を目標として行った。嫌気消化に用いる種汚泥については、京丹後市エコエネルギーセンターで採取したものをを用いた。HRTを急激に減少させると有機物負荷の増加により発酵槽のメタン生成菌が失活してしまう恐れがあるため、徐々に目標の値にまで減少させた。発生したガス量のほか、安定性の指標としてpHの計測を継続して行った。計測は4月25日から12月4日までとした。

##### (2) 実験装置

5Lのポリ瓶を有効容積4,200mLの発酵槽として使用した。実験当初は恒温器を用いて発酵槽内の温度を37℃に維持したが、種汚泥として高温発酵槽の汚泥を使用しているため有機物負荷の上昇に伴い、有機酸の蓄積が認められた。そこで、ラバーヒーターにより発酵槽内温度を55℃に維持するよう変更した。発生したガスは飽和食塩水を満たしたポリ瓶内に捕集され、置換された食塩水の体積を測定することでガス発生量とした。

### 3.2 微細藻類を原料としたメタン発酵との比較実験

#### (1) 実験概要

微細藻類を原料としたときのガス発生量、消化液の性状に対する影響を確認するために比較実験を行った。馴養試験で用いた発酵槽内容物を600mLずつ6つの発酵槽に分割し、28日間馴養を行った。この時の運転条件は、固形分濃度4%のコーヒー・おから混合物を原料とし、HRTを30日に設定した。

馴養終了後、微細藻類投入区と対照区にそれぞれ3つの発酵槽を設定し、微細藻類区では馴養中の運転条件のうち投入原料の固形分の25%を乾燥微細藻類で置き換えた。その他の運転条件は馴養中と同じである。

#### (2) 実験装置

容積約1Lの塩ビパイプ製の発酵槽を試作した。図1に示すように発酵槽は温度55℃に設定されたウォータバス内で保温され、発生したガスはアルミバッグで捕集される。ガス発生量はシリンジにより測定した。

### 4. 結果と考察

#### 4.1 馴養実験

計測したガス排出量を1時間当たりの排出量に換算したものを図2に、pHを図3に示す。グラフの空白部は計測できていない期間を示す。種汚泥を採取した京丹後市エコエネルギーセンターではHRTは100日程度で運転されているため、実験開始時はHRTを84日に設定し、徐々にHRTを減少させることとした。図2よりHRTを70日に設定した5月29

日からガス発生量が減少していることが、また、図3からpHが減少していることがわかる。これは種汚泥を採取した発酵槽が高温で運転されているにもかかわらず中温で運転していたため、有機物負荷を上昇させたときにメタン生成菌の増殖速度が産生成菌の増殖速度に追いつけず、有機酸が蓄積したためではないかと思われる。そこで、6月17日に運転条件を高温に変更した。運転条件変更後はガス発生量、pHともに回復したが、HRTを42に変更した7月28日以降、再びガス発生量の減少、pHの低下が観測された。これはコーヒー残渣のC/N比が約23と炭素分が高いため有機酸が蓄積されたのではないかと考えられる。そこで8月13日に投入原料をコーヒー残渣とおからの混合物(1:1)に変更した。この原料のC/N比は約17であった。原料変更後は安定的な運転が行われていることが図2、3からわかる。

#### 4.2 比較実験

12月20日から1月16日までの小型発酵槽での馴養後、発酵槽1, 2, 3を対照区として固形分濃度4%のコーヒー残渣とおからの混合物(1:1)を、発酵槽4, 5, 6を微細藻類区として固形分濃度4%のコーヒー残渣、おから、乾燥微細藻類の混合物(3:3:2)を原料として比較する予定であったが、対照区の発酵槽2と3が失活し比較が困難になった。発酵槽2についてはpHの減少とバイオガス発生量の低下が認められたが原因は不明である。発酵槽3についてはバイオガスとともに水蒸気が大量に排出されており、発酵槽内部の液量が減少したため有機物負荷が高まり酸敗したものと考えられる。微細藻類区の発酵槽についてはpHの低下が認められなかったため、1月29日から2月21日まで実験を継続し、対照区の数値として12月20日から1月16日までの馴養中のデータと比較した。

微細藻類区の発生ガス量の平均値は馴養中の発生ガス量の平均値より約15%減少した。このことから、微細藻類は嫌気消化では分解されにくいのではないかと考えられる。しかし、比較実験期間中の対照区で失活しなかった発酵槽1でも、pHは低下傾向にあり、またガス発生量は微細藻類区より少量で安定していた。これらのことから、今回の実験で何らかの操作の不手際から時間の経過とともに発酵槽が失活傾向にあったのに対して、微細藻類の投入により安定化する効果があったのかもしれない。

#### 5. まとめ

メタン発酵と微細藻類培養の組み合わせによる施設内物質循環の可能性を検討するために実験を行った。馴養実験および比較実験の馴養中は安定的にバイオガスを生産することができたが、その後対照区

の発酵槽がすべて失活傾向を示した。その中で、微細藻類投入区は比較的安定的であった。この効果についてはさらに長期的に観察する必要がある。



図1 実験装置

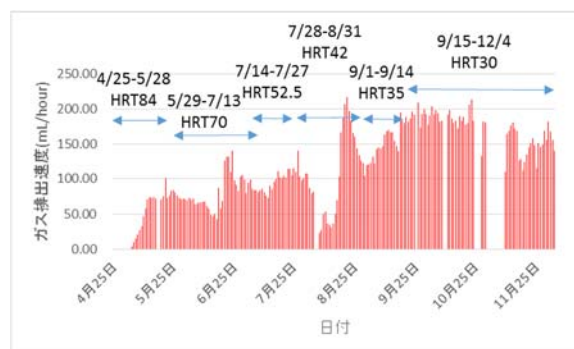


図2 バイオガス排出速度

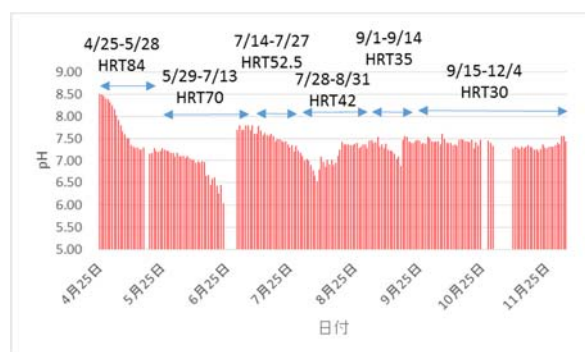


図3 pH

#### 参考文献

- 1) 資源エネルギー庁 (2014) : 平成 25 年度エネルギーに関する年次報告 (エネルギー白書 2014), 189-190.
- 2) 吉田 隆 (2007) : バイオマスからの気体燃料製造とそのエネルギー利用 (第 1 版), 株式会社 エヌ・ティー・エス
- 3) William J. Bjornsson *et al.* (2013) : Anaerobic digestates are useful nutrient sources for microalgae cultivation: functional coupling of energy and biomass production, *Journal of Applied Phycology*, 25(5), 1523-1528.