

乳牛ふん尿を植種源としたメタン発酵槽のスタートアップ方法

東北大学大学院 学生会員 ○安田 大介, 北條 俊昌
東北大学大学院 正会員 李 玉友, 原田 秀樹
(社) 地域資源循環技術センター 岡庭 良安

1. はじめに

近年、環境関連法の法体系が積極的に整備され、廃棄物はバイオマス資源としての有効利用が求められている。メタン発酵技術は有機性廃棄物の資源化技術及びエネルギー回収技術として注目されており、その特徴を考慮すると家畜排せつ物の処理技術として農場等に導入することは有用である。ここで、従来のメタン発酵消化槽のスタートアップは、すでに順調に操業されている消化槽から消化汚泥を種汚泥として取得し、迅速な運転を開始する方法がとられている。しかし、日本においては稼働中の消化槽がまだまだ少数であり、種汚泥の運搬コストが負担になることが問題点として挙げられる。

そこで本研究では、乳牛ふん尿中にメタン生成古細菌が存在していることに着目し、種汚泥なしでメタン発酵槽をスタートアップする方法について検討を行った。

酪農等の農場にメタン発酵槽を導入する際、現地調査が可能な乳牛ふん尿から直接スタートアップが可能であれば、種汚泥の取得コストを削減することができ、非常に実用的な技術となる。また、種汚泥なしでスタートアップさせる方法については研究報告例が少なく、技術的に確立されていないため、工学的な指標を確立することはメタン発酵法の実用技術として有用である。

2. 実験装置及び方法

2.1 実験装置

本研究では、乳牛ふん尿を植種源とした中温メタン発酵(35℃)について完全混合反応槽を用いた室内連続実験を行った。実験装置を図1に示す。リアクターはウォータージャケット付で、全容量8L(有効容量5L)のCSTRを発酵槽及び基質タンクに用いた。発酵槽温度制御に関しては、加温装置及び冷却装置からの温水・水循環により、メタン発酵槽(35±0.5℃)、基質タンク(4±0.5℃)に保持した。発酵槽は機械攪拌方式を採用し、完全混合槽とした。基質投入および、消化廃液の引き抜きに関し

ては、ローラーポンプチューブを用い、タイマー制御により行うことで反応槽内容量を一定にしている。生成されるバイオガスは、湿式ガスメーターにより計測した。

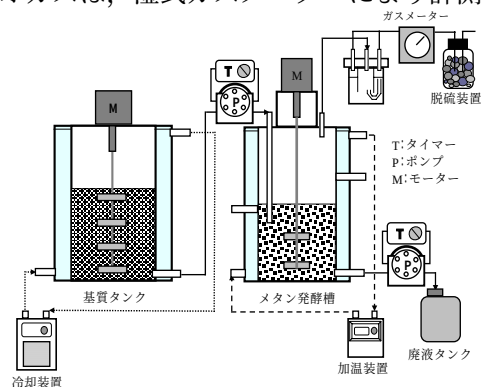


図1 実験装置概要

2.2 実験材料及び実験条件

乳牛ふん尿は北海道 M 牧場から取得し、敷料などの長繊維粗大物によるポンプやチューブの目詰まりを防止するために、前処理として5mmメッシュふるいを通した。実務では、ふん尿は主に貯蔵タンクで、ある程度保存されているため、本実験でも貯蔵タンクから取得したものを使用した。貯蔵期間中にメタン発酵の反応機構をから、酸生成反応の進行により有機酸が蓄積し、酸敗現象が起こる可能性が考えられる。後述するが、取得した試料の有機酸濃度を測定したところ、VFA濃度は約9000mg/Lと高濃度であった。VFA濃度だけでは、一概に阻害要因として扱うことはできないが、一般的に3000~5000mg/Lの濃度で酸敗現象が生じ、微生物の活動が停滞するとされている。そこで、植種源の初期投入TS濃度は1.5%に希釈し、有機酸濃度を低下させた状態で運転を開始した。また、メタン発酵が良好な状態になるまで、最初の1カ月間は基質の投入を行わず、回分培養とした。全運転期間を通してpH等の調整は行っていない。バイオガスの発生と共に基質投入を開始し、連続培養とした。徐々に有機物負荷を上昇させ、HRTを100, 50, 30日と段階的に変化させた。

キーワード メタン発酵, スタートアップ, 乳牛ふん尿, 種汚泥, 植種源

連絡先 〒982-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-06 東北大学大学院 環境保全工学研究室 TEL 022-795-3584

3. 実験結果及び考察

表1に使用した乳牛ふん尿の性状を示す. 初期TS濃度は約10%であったが, 前処理を行った結果6.6%となった. これは, 主に敷料等の繊維物質が除去されたためである. 前処理等により長繊維物質を破碎する場合もあるが, 本研究ではふるいによる分離を行った. 一般に牛ふん尿のC/N比は15~20程度とされているが, 前処理により, 敷料等の炭素源が除去されたため, 試料の元素分析を行った結果ではC/N比が10以下となった. 前処理を行った乳牛ふん尿の元素組成は炭素41.3%, 水素5.7%, 酸素22.8%, 窒素4.9%であった. この結果より, 擬似分子式 $C_{11}H_{18}O_5N$ (分子量214)を導出し, Richardsら(1991)が導いた式から以下の式が得られた.

$C_{11}H_{18}O_5N + 5.75H_2O \rightarrow 6.125CH_4 + 3.875CO_2 + NH_4^+ + HCO_3^-$
上式より, バイオガス生成量1.047L/kg-分解VS, CH_4 含有率61%, CO_2 含有率39%と予測された.

表1 乳牛ふん尿の性状

分析項目	植種源	基質
pH	7.09	7.20
TS(%)	1.47	6.60
VS(%)	1.03	5.00
SS(g/L)	6.5	22.4
VSS(g/L)	5.6	18.2
VFA(mgHAc/L)	620	9000
C/N比	7.7	9.3

図2にスタートアップ過程におけるメタン発酵槽のガス生成速度(L/L/d), メタン含有率(%), pH, VFA濃度(mgHAc/L), TS(%)の経時変化を示す. 実験結果より, 運転開始20日目まではバイオガスの生成がほとんど見られなかった. これは回分培養の遅滞期にあり, メタン生成古細菌の馴致ができていないためである. そのため, 酸生成過程のみ反応が進み, 有機酸が蓄積している. しかし, 20日目からバイオガスの生成がみられ, 22日目にピークを迎えた. 植種源の濃度を希釈することにより, VFA濃度は阻害を受けるとされる3000mg/L以上蓄積する前にメタン生成反応が開始された. 35日目からガス生成量が安定し, リアクター内の有機酸がほぼ消費されたため, HRT100日で基質の投入を開始し, 連続培養へと移行した. その後, VFAが順調に消費されていることを確認し, HRTを50日, 30日と段階的に短くした結果, 有機物負荷の上昇に応じたガス生成速度が得られた. 基質投入後もVFAは蓄積することなく, pHも7.8付近に安定していた.

約90日間の実験を行った結果, 種汚泥なしでもバイオガスの生成が見られ, 基質投入後もpH調整等を行うことなく, HRT30日で安定した運転結果が得られた.

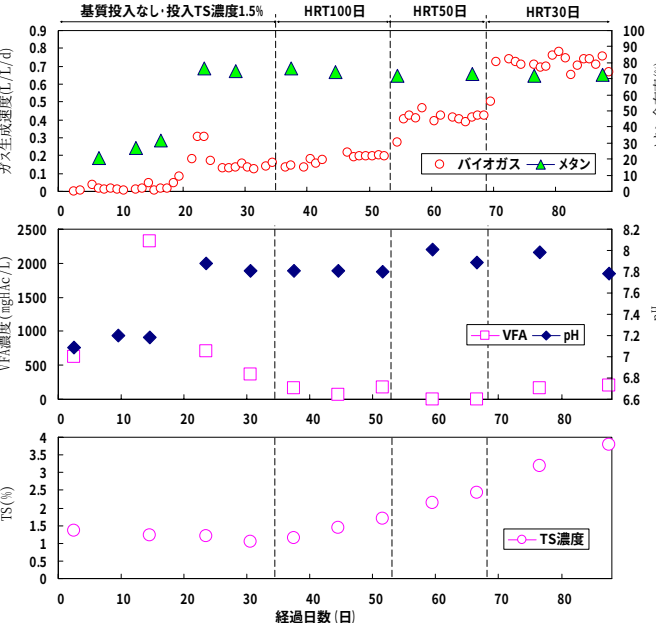


図2 発酵槽運転結果の経日変化

一方, 図2のTS濃度より, 約90日間の運転では定常状態に達しなかった. 現時点でのHRT30日での運転結果を表3に示す. バイオガス生成量903.1L/kg-分解VS, CH_4 含有率72.1%, CO_2 含有率27.8%となった. バイオガス生成量については, 予測値の約90%となり, CH_4 含有率が予測値よりも高い結果となった.

表3 HRT30日での運転でのガス生成特性

分析項目		分析値
バイオガス生成速度(L/L/d)		0.73
ガス生成倍率(L/L-投入基質)		23.3
ガス生成量(L/kg-分解VS)		903.1
バイオガス組成	CH ₄ (%)	72.1
	CO ₂ (%)	27.8
	H ₂ S(ppm)	1500

4. 結論

TS濃度を1.5%とし, 基質の投入なしの回分培養の結果, 約20日でバイオガスを生成した. その後HRTを100, 50, 30日と段階的に変化させるに従いガス生成量が増加し, 約90日間の実験で安定した運転を実現できた. この結果より, pHの調整を行わずに種汚泥なしで乳牛ふん尿から, 中温条件で良好なメタン発酵をスタートアップが可能であることがわかった.

本実験から, メタン生成古細菌が少ない植種源を用いても, 良好なメタン発酵をスタートアップできることが明らかになった.