

「乾式メタン発酵法を利用したバイオガスプラントの開発」

(株)ズコーシャ ○オ川 彩・明石憲宗・廣永行亮

I. はじめに

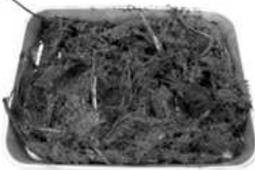
北海道は日本で最も酪農が盛んな地域であり、乳牛飼養頭数は約 80 万頭と全国の約半数以上を占めている(一般社団法人 J ミルク, 2017)。また、飼養形態はタイストール(つなぎ飼い)が全体の 70 %、フリーストール(放し飼い)が全体の 20 %である(北海道農政部生産振興局畜産振興課, 2015)。一般に、搾乳牛が排泄するふん尿量は約 60 kg/頭/日と言われており、日々排出される大量のふん尿や作業排水の適切な処理は、飼養形態に関わらず大きな課題となっている。

このような中、北海道では大量に排出される家畜ふん尿をバイオマス資源として処理するバイオガスプラントの建設が盛んである(松田, 2016)。一般にバイオガスプラントでは、メタン発酵という嫌気条件で有機物を分解する方法が採られており、この方法によりエネルギー利用できるメタンガスと発酵残渣の消化液の双方を生成することが可能である(梅津, 2012)。ただし、メタンガスの生成効率は家畜ふん尿の含水率と発酵槽内の温度に影響を受けており、生成効率を上げるためには対象施設のふん尿の含水率に対応した適切な温度帯で発酵を行うことが重要である。

現在建設されている家畜ふん尿を原料としたバイオガスプラントは、フリーストール牛舎を対象としたものがほとんどである。フリーストール牛舎のふん尿は通常、含水率が 90 % 以上と高く、メタンガス生成効率の観点から、中温帯(30~40 °C)で発酵を行う湿式メタン発酵法がバイオガスプラントには用いられている。それに対して、タイストール牛舎から得られるふん尿は、敷料の混入が多くなり含水率が低く、その性質はフリーストール牛舎のふん尿と異なる(表-1)。このことから、タイストール牛舎からのふん尿を原料として湿式メタン発酵法を行うには、加水処理が必要となり、施設の大規模化や費用、労働時間の増大等が想定されるため、バイオガスプラントの導入が進んでいないのが現状である。

以上のことから、含水率が低いタイストール牛舎のふん尿処理方法として、乾式メタン発酵法に着目し、弊社ではその実利用化に向けた可能性を検討してきた。本報では、現在までの成果と実利用化に向けた今後の展望について報告する。

表-1 飼養形態におけるふん尿性状の比較

飼養形態	フリーストール	タイストール
飼養形態割合	20 %	70 %
ふん尿写真		

II. システム開発における課題

乾式メタン発酵システム開発にあたって、メタンガス生成効率を上げていくためには、原料となるふん尿に対応した適切な発酵温度帯を明らかにすることが重要である。さらに、タイストール牛舎の特性上、ふん尿に麦稈等の敷料が多く混入することから、ふん尿移送時の詰まりの問題等、機械トラブルについても対応を検討することが必要である。

そこで、乾式メタン発酵のシステム開発に向けて、下記の点が課題であるとし、これまでに室内実験と原料を細断するための破砕機の開発を行ってきた。

- ①乾式メタン発酵に適した発酵温度帯を明らかにすること。
- ②麦稈などの敷料が多く含水率の低い原料の投入において、機械トラブルを発生させず運転を維持すること。

1. 室内実験による最適発酵温度帯の検討

乾式メタン発酵システムの最適温度帯を検討するため、表-2 のように、湿式と乾式の水分条件を満たした原料を準備した。メタン発酵においては通常 30~40 °Cが中温帯、50~55 °Cが高温帯に区分される (李, 2009) ことから、各原料については、それぞれの温度帯(中温発酵 : 38 °C・高温発酵 : 55 °C)で、回分式実験を行った。

発酵槽 は2 Lの三角フラスコを用い(図-1)、試料投入後に各発酵温度に加熱したウォーターバスの中へ設置(図-2)、合計 60 日間発酵を行い、メタンガス(バイオガス生成量×メタン濃度)の累積生成量を求め、その処理間差から最適発酵温度帯を検討した。

表-2 試験区概要

試験区分	発酵温度	原料水分
①中温・湿式	38 °C	>90 %
②中温・乾式	38 °C	<85 %
③高温・湿式	55 °C	>90 %
④高温・乾式	55 °C	<85 %



図-1 室内実験用発酵槽

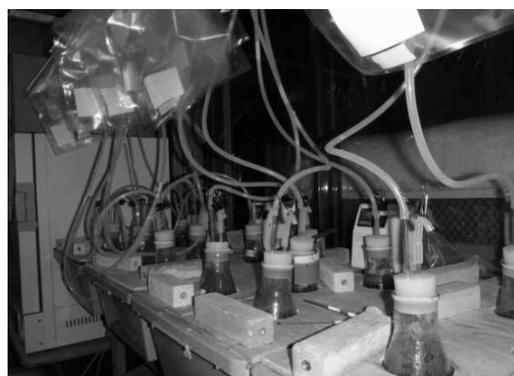


図-2 室内実験の様子

発酵期間 60 日間の有機物 1 kg あたりの累積メタンガス生成量をみると (図-3)、高温・乾式 > 中温・湿式 ≒ 高温・湿式 > 中温・乾式の順にメタンガス生成量が多くなった。

その中でも乾式の条件では、中温帯の累積生成量はその他の処理区に比べて著しく少なく、高温帯での発酵が必要不可欠と判断した。さらに、乾式・高温帯での累積生成量は湿式の両処理区よりも高く、乾式・高温帯のバイオガスプラントは実利用上、現在の湿式のタイプと同程度以上のメタン生成能を有すると考えられた。

これらのことから、本システムは乾式・高温帯の発酵方法を採用した。

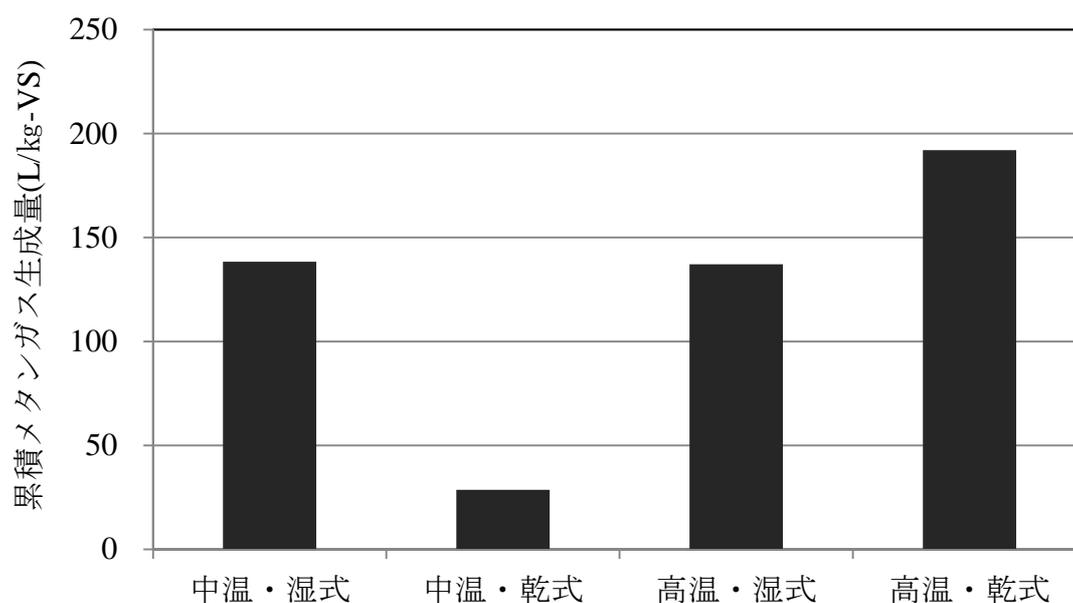


図-3 発酵期間 60 日の有機物 1 kg あたりの累積メタンガス生成量

2. 原料破砕機の開発

大量に混入する麦稈等を細断するためには、一般的な破砕機(破砕刃が一軸式のタイプ)では困難であることが想定された。そこで、図-4 に示すように塊を巻き込みながら破砕することが可能な二軸式の破砕機に着目した。また、破砕刃には小石程度の塊を破砕可能な耐摩耗鋼板 (JFE スチール : EH400) を使用し、細断試験を行った(図-5)。

その結果、50 cm 以上の麦稈を含むふん尿が 5 cm 以下まで細断されることを確認した(図-6)。そこで、本発酵システムの細断機には二軸式のタイプを採用することとした。

なお、後述する実用型のバイオガスプラントにおいても同様の破砕機が搭載されているが、細断・移送のところでトラブルを起こさず稼働していることから、今回採用した破砕方法はタイストール牛舎の原料細断に有効であると判断している。

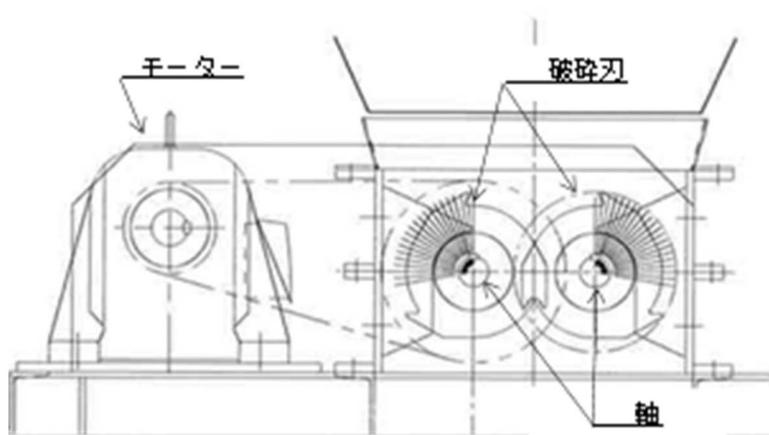


図-4 破砕機の概要



図-5 細断試験の様子

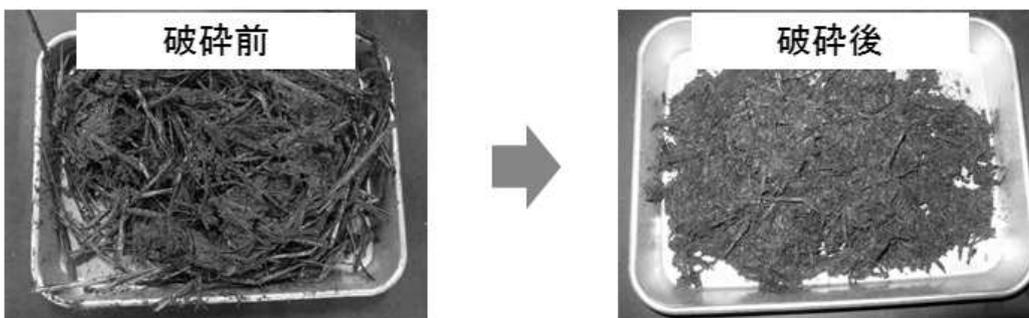


図-6 破砕前後タイストール牛舎からのふん尿

III. システム開発の概要

実験結果を踏まえた乾式メタン発酵システムの実用型機を図-7 に示す。タイストール牛舎に併設することを想定し、稼働時の全体の流れを下記に記す。

- ①バーンクリーナから排出される低水分のふん尿を原料ホッパーで直接受け、投入された原料を破碎機で破碎し、発酵槽へ移送する。
- ②発酵槽は円筒横型のコンポガスシステムとなっており、発酵槽内部に装着した攪拌機を回し、原料を攪拌しながら発酵を促進させる。
- ③発酵槽後部にある排出コンベアを稼働させ、発酵残渣を排出する。
- ④簡易固液分離機で分離後、固分は堆肥として、液分は液肥として圃場に還元する。
- ⑤発生したバイオガスは、脱硫塔で脱硫した後、ガスバックで貯留してバイオガスボイラで温水をつくり、発酵槽外周の温水ジャケットへ供給・循環して槽内を 55 °C に加温する。

現在、発酵槽を 2 基連結させたシステムを帯広市内の牧場に平成 25 年から設置し、試験運用を行っている。試験運用の牧場は、飼養頭数 133 頭のタイストール牛舎で、敷料は麦稈を使用しており、投入有機物当たりのメタンガス生成量が約 300 L/kg-VS の状態で稼働中である。

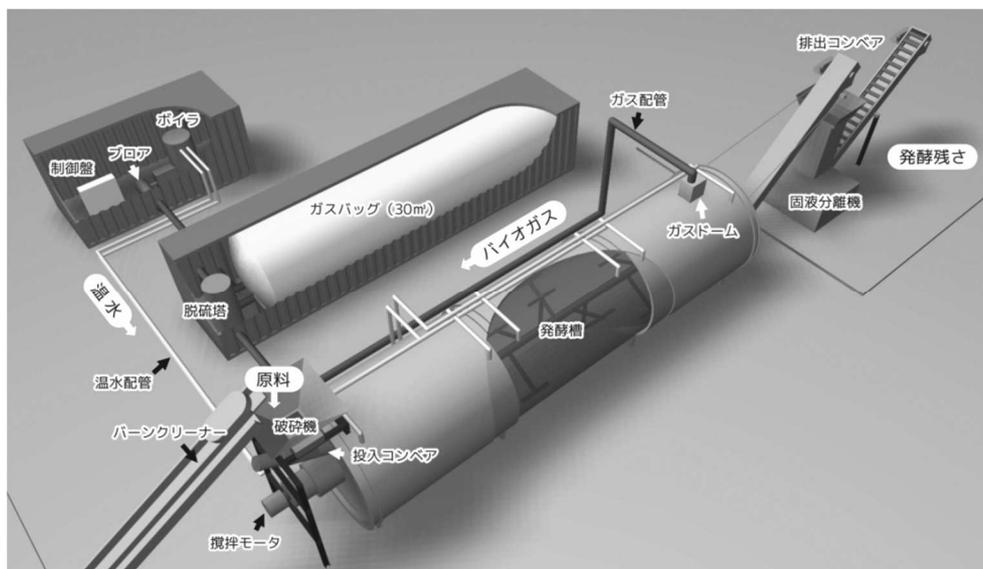


図-7 実用型機の概要

IV. 今後の対応

稼働中の弊社の乾式メタン発酵システムの実用型機だが、試験運用を行っている酪農家への聞き取り調査から、日によってバイオガス生成量に差が出ることもあり、発酵が安定しない場合があるという回答を得た。このことから、バイオガス生成が不安定であることの原因究明と、今後の対応について既存文献から検討した。

一般的に乾式メタン発酵には、給食ゴミや家庭ゴミ等を原料とした場合の事例が見られるが、その事例においても、バイオガス生成が不安定であることが報告されている。また、その要因として、原料の含水率が低いため、発酵槽内において原料を均一に攪拌できない

ことから、発酵槽内のメタン菌増殖が不十分になることが示されている(李, 2009. Yebo *et al.*, 2010)。

対策として、原料よりも比較的メタン菌が多く存在している発酵残渣を原料と混合させて再利用する方法が考えられる(李, 2009. Yebo *et al.*, 2010. 中村ら, 2009)。中村ら(2009)は、給食ゴミや家庭ゴミなどを原料とした乾式メタン発酵で、発酵後の残渣の一部を投入口付近に返送し、バイオガス生成量の増加を図った。結果はバイオガス生成量が返送前では 148 m³/t、返送後は 178 m³/t となり、返送後に 1.2 倍増加することを報告した。

以上の知見を踏まえると、今回の実用型機における不安定なバイオガス生成はメタン菌と原料の混合が不十分であることが想定され、対策として発酵残渣の返送が重要と考えられた。そこで現在、返送によるバイオガス生成安定化の可能性を検証するため、下記の試験を計画中である。

- ①原料と発酵残渣を様々な割合で混合するとともに、投入有機物負荷を定めて作成した試料をもとに室内試験を行い、バイオガス生成速度と生成量の処理間差から、返送の有効性と安定化に最も適切な混合割合について検証を行う。
- ②室内試験より、返送の有効性が検証された際に、実用型機で返送試験を行い、バイオガス生成の安定化に関する実証試験を行う。

V. おわりに

乾式メタン発酵システムの実用型機を設置して以来、諸機関および周辺酪農家等が視察し、このシステムの本格的な実用化が期待されていることを感じており、今後は、本機の実用化に向けた細部の検討とさらなる低コスト化を図りたい。なお、この乾式メタン発酵システムは平成 24・25 年度における NEDO の新エネルギーベンチャー技術革新事業の助成交付金を受けて研究開発したものである。

引用文献

- 一般社団法人 J ミルク, 2017. 酪農家戸数・乳牛頭数・乳量(北海道・都道府県別).
<http://www.j-milk.jp/gyokai/database/keiei-kiso.html>. Accessed Sep, 2017.
- 松田従三, 2016. 別海大型バイオガスプラント. 畜産環境情報, 62, 1-14.
- 北海道農政部生産振興局畜産振興課, 2015. 北海道の酪農・畜産をめぐる情勢.
http://www.pref.hokkaido.lg.jp/ns/nsi/seisakug/chikusanbukai/h27/H27_0723_shiryou6_1.pdf.
Accessed Sep. 2017
- 中村一夫, 酒井伸一, 堀 寛明, 宍戸健一, 岩崎大介, 2009. 京都バイオサイクルプロジェクト 高効率メタン発酵技術開発(第 2 報). 第 20 回廃棄物学会研究発表会論文集, 295-296
- 李 玉友, 2009. メタン発酵プロセスの分類. 乾式メタン発酵. 野池達也編, メタン発酵(第 1 版). 技報堂出版, 東京, 85-86, 105-109, 117-120.
- 梅津一孝, 2012. メタン発酵. 押田敏雄, 柿市徳英, 羽賀清典編, 畜産環境保全論(第 1 版). 養賢堂, 東京, 171-180.
- Yebo, L., Stephen, Y. P., Jiying, Z., 2011, Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 821–826.