

メタン発酵

土壌保全研究室

Q 1. メタン (CH₄) とは？

メタンは、分子式でも明らかなとおり、炭素と水素の化合物（炭化水素）の一つで、有機化学を学ぶ時に一番最初に出てくる最も簡単な有機化合物です。有機物を酸素を遮断した嫌気性状態にした時に、嫌気性細菌により最終的に二酸化炭素とメタンガス（この混合ガスをバイオガスといいます）に分解されることによって発生します。融点は-183℃、沸点が-162℃ですから、常温ではガスです。

発生源としては、湿地からが最も大きく、水田、乳牛等の反芻動物のゲップ等があります¹⁾（表-1）。また、後述しますが人工的には外気を遮断した密閉条件下に有機物を入れて、メタン生成菌により嫌気発酵させて発生させます。

表-1 メタンの発生源の推定

(TgCH ₄ y ⁻¹)※	
発 生 源	発 生 量
自然	160 (110~210)
湿地	115 (55~150)
シロアリ	20 (10~50)
海洋	10 (5~50)
他	15 (10~40)
人為	375 (300~450)
天然ガス	40 (25~50)
石炭鉱山	30 (15~45)
石油工業	15 (5~30)
石炭燃焼	? (1~30)
反芻動物	85 (65~100)
水田	60 (20~100)
バイオマス燃焼	40 (20~80)
埋立地	40 (20~70)
畜産排せつ物	25 (20~30)
家庭下水	25 (15~80)
合計	535 (410~660)

※Tg=10¹²g

Q 2. メタン「発酵」とその原理は？

発酵とは、酵母菌や細菌などの微生物のはたらきによって、有機物が分解し、他の簡単な有機物が生じる現象をいいます。我々に馴染み深いところでは、アルコール発酵など食品産業に結びついたものが多いでしょう。

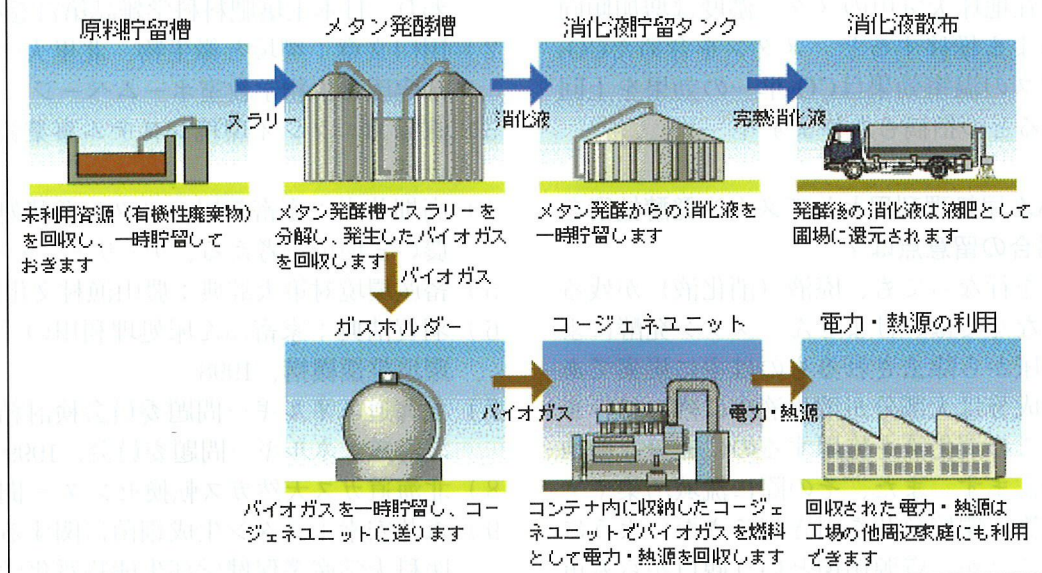
メタン発酵には、メタン生成菌が関与します。これは複数の細菌群（英語でMethane-producing bacteria (bacteriaはbacteriumの複数形)）で、この1群の細菌は、極めて強い絶対嫌気性菌（酸素が存在する環境では増殖しない性質）でメタンガスを作るという共通点以外は、性質の異なる細菌たちです²⁾。例えば、形態的に丸い球菌や長細い桿菌もいますし、活発に動き回る運動性がある細菌や全く運動しない細菌もいます。そしてこれらは、水素、蟻酸、酢酸やメタノールを酸化して出る電子を用いて二酸化炭素を還元してメタンを作ります。

また、メタン生成菌は普通の大腸菌（従属栄養細菌）などとは違って、砂糖のような炭水化物、タンパク質または有機物などを直接エネルギー源としては使えません。ちなみに、このような性質の細菌を独立栄養細菌と呼びます。

メタン生成菌は、ドブのヘドロ、温泉源や深海の熱水噴出口などに多く生息します。これは酸素が存在する環境では絶対に増殖しませんから、実験室のガラス容器内で培養することは難しく、特殊なガラス容器に栄養分を含む液体を入れ、その上から水素ガスで圧力をかけて、容器の口を金属で止めて、フラスコ内で培養する必要があります³⁾。家畜ふん尿を原料としたメタン発酵処理プラント（図-1³⁾）では、家畜ふん尿中にメタン生成菌がいるので、外部から添加する必要はありません。

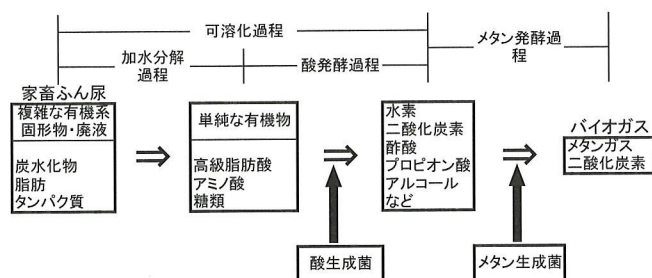
家畜ふん尿は、炭水化物、脂肪、タンパク質等の有機物が含まれていますが、このままではメタン生成菌は利用できません。まず、これらが加水分解すると、糖類、高級脂肪酸、アミノ酸等を生成します。次にこれらに酸生成菌が作用して、水素、二酸化

バイオガスシステム(基本フロー)



図ー1 メタン発酵プラントの概要

炭素、酢酸、プロピオン酸、アルコール等を生成します。ここまでの過程を可溶化過程といいます。これらの各種有機酸にメタン生成菌が作用して、メタンガスと二酸化炭素が生成されます。この過程が狭義でのメタン発酵過程です^{4,5)} (図ー2)。実際のメタン発酵槽では酸生成菌とメタン生成菌が同居し、有機酸とメタンガスの生成が同時進行しています。



図ー2 メタン発酵過程

Q 3. メタン発酵やメタンガスの特徴は？

家畜ふん尿等を好氣的に処理(ばっ気処理)する場合と比べて、メタン発酵の長所としては、①空気を通気する動力がいらない。②発生するメタンガスをエネルギーとして利用できる、等です。一方、短所としては、①反応速度が遅い。②処理できる有機物濃度が限定される。③温度管理を厳密にしないといけない、等が上げられます。

一般的なメタン発酵には、約37℃を適温とする中

温発酵と55℃を適温とする高温発酵があり、中温発酵では、牛1頭1日のふん尿排せつ量当たり、約1m³のバイオガスが発生し、純粋なメタンが約60%、残りの40%は二酸化炭素であり、微量の硫化水素を含みます。メタンガスの発熱量は約5,500Kcal/m³で、都市ガスの5A規格に相当します⁶⁾。しかし、これを液化するのは困難であり、気体ですから貯留する場合、大容量のガスホルダーが必要です。また、ガスを確実に消費する利用システムの構築が不可欠です。バイオガスを利用して発電も行なわれます。副生成物の硫化水素は、施設を劣化させますので、脱硫装置も必要となります。

北海道では乳用肉用合わせて約130万頭の牛が飼養(2000年2月)されています。このふん尿全てをメタン発酵処理すると仮定すると、約130万m³/日のバイオガスが生産され、純メタン換算では約80万m³/日と試算されます。北海道の天然ガスは、1996年度から苫小牧勇払地区において商業生産が行われていて、1999年現在の処理量は120万m³/日⁷⁾です。この供給される天然ガス(13A規格)のメタン濃度は約85%ですから⁸⁾、純メタン換算で約100万m³/日になります。よって、北海道の現時点において、牛のふん尿からの純メタン生産量(試算)は、天然ガスによるものの約80%に相当する量と推定されます。

メタンは外部に放出されると、温室効果ガスとして地球環境への悪影響が懸念されています。メタン

はCO₂が吸収できない波長の赤外光を吸収するので1分子あたりの温室効果はCO₂の20～30倍といわれています。現在地球大気中のメタン濃度は増加傾向にあり、このまま推移すると、メタンを含めたCO₂以外の微量ガスの温室効果はCO₂単一の効果を上回る可能性もあるとの指摘もあります⁹⁾。

Q 4. 家畜ふん尿処理利用としてメタン発酵技術を使う場合の留意点は？

メタン発酵を行なっても、廃液（消化液）が残ることを留意しなくてはなりません。メタン発酵によって家畜ふん尿から除去されるものは主に炭素であり、その他の成分は大部分が消化液中に残っています。よって、この消化液を施用するのに十分な農地が必要だといえます。また、その際に流域汚染やアンモニア揮散等の環境負荷を引き起こさないように農地還元することが、資源循環という観点からも重要です。

メタン発酵は、少ない投入エネルギーで廃棄物を分解してクリーンなエネルギーであるバイオガスを回収し、肥料価値の高い有機肥料（消化液）を生産するといった多くのメリットがあります。このように、メタン発酵技術は家畜ふん尿に加えて、地域で発生する生ゴミや水産廃棄物などの有機性廃棄物を「資源」として有効活用することができ、ひいては環境調和型につながる処理法であり、持続型農業を目指す上でも最も有効な方法の一つといえます。

また、前述しましたが、この技術はメタン生成菌という「生き物」の力を借りていることを忘れてはいけません。例えば、我々がおいしい地酒を飲むまでには、酒米、酵母、水、施設環境に加えて、杜氏さんたちの卓越した技術と施設管理が欠かせません。メタン発酵技術も同じなのです。メタン生成菌が最も快適にメタンガスや消化液を作る環境を整える必要があります。そして、その施設を利用する酪農家や地域の皆さんに負担がかからない施設でなければならないのです。

参考文献

- 1) 犬伏和之；地球温暖化ガスの土壌生態系との関わり、日本土壌肥料科学雑誌第71巻第3号、2000
- 2) 田口文章；環境と微生物、北里大学医療衛生学部臨床微生物学教室ホームページ
- 3) (株)協和エクシオ環境システム事業紹介ホームページ
- 4) 高畑英彦；家畜糞尿のメタン発酵処理技術、酪農いま環境を考える、デーリィジャパン社、1994
- 5) 畜産環境対策大辞典；農山漁村文化協会、1995
- 6) 羽賀清典；家畜ふん尿処理利用の手引き、畜産環境整備機構、1998
- 7) 北海道エネルギー問題委員会検討結果報告書；北海道エネルギー問題委員会、1999
- 8) 北海道ガス天然ガス転換センター 聞き取り
- 9) 森井宏幸；メタン生成細菌に関する研究、産業医科大学産業保健学部生態物質化学教室ホームページ

(文責：橋本 純一)