

## 解説記事

# 家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理技術研究会報告 「家畜排せつ物を中心とした メタン発酵処理技術に関する手引き」について

(財)畜産環境整備機構 参与 渡邊昭三

(財)畜産環境整備機構は農林水産省生産局畜産部畜産企画課畜産環境対策室の指導のもとに、平成12年10月より家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理技術研究会(以後メタン研究会)を設置し、メタン発酵処理施設の導入をする際に必要な事項の検討を行い、この程その成果として「家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に関する手引き」が公刊されたので、この研究会の経過の概略を報告する。

### I. メタン研究会設置の趣旨

最近、食料・農業・農村基本法並びに農業環境三法の施行のもとに、有機物資源リサイクル利用の社会的意識が高まり、また、家畜排せつ物のエネルギー利用の視点から、メタン発酵処理技術について畜産関係者の関心が高まり、多数の関連企業が参入を目指している。家畜排せつ物のメタン発酵処理については、従来の堆肥化等の処理とは異なり、液肥や堆肥の他にメタンガスという副産物が得られることから、現在新しい家畜排せつ物の処理方式として期待されている。しかし、メタン発酵処理については、技術に係る情報の不足や国内実績が少ないなかで、再生可能なエネルギーとしてメタンやそれを利用した発電等が強調されやすく、そのメリットが過大評価され、地域の条件や環境規制の状況等に対する事前検証が不十分なまま導入されるおそれがある。

このような情勢に鑑み、家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理技術研究会は、メタン発酵処理技術の導入を検討する際に必要な基礎的情報の取りまとめを早急に行い、技術的・社会的条件等を考慮した同技術の適切な導入の意志決定に資することを目的とした。

### II. メタン研究会の構成

本研究会は、メタン発酵処理技術の今後の方向を打ち出すために、当該技術研究を専門とする大学関係研究者、同じく国公立の研究機関の研究者、実際に事業として当該施設の建設を経験している民間企業の技術者の三分野から16名をもって構成し、筑波大学前川孝昭教授が委員長、北海道大学松田従三教授が副委員長として検討を進行した。

### III. メタン研究会の検討の経過

本研究会は、平成12年10月から前後6回にわたる会合を開き、各委員がそれぞれの専門分野についての研究成果、オリジナルのデータ、総説等の資料を持ち寄り、その間、特定問題についての小委員会、現地事例検討会を加え、検討事項は家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理技術の導入にあたって必要な技術的問題、地域的問題、経済問題、その他環境規制、エネルギー政策の将来展望など多岐にわたった。

そして、これらの検討成果は、「家畜排せつ物を中心としたメタン発酵処理施設に係る手引き」

(以後「手引き」としてしてまとめられた。

#### IV. 研究会における検討結果の概要と「手引き」について

研究会は、検討結果を「手引き」において以下の6章にまとめている。

##### § 第1章 メタン発酵事業の採否の決定にあたっての基本的考え方

メタン発酵事業の採択にあたって、事業の計画者が事前に理解しておかなければならない基本的事項が述べられている。

###### 1. メタン発酵処理の技術的特性

(1)メタン発酵はメタン細菌が有機性廃棄物を嫌氣的に発酵してバイオガス(メタン65%、二酸化炭素35%のバイオガスを発生する。メタン細菌は多くの種からなりたち、その発酵適温を35℃付近とする中温発酵と50℃を適温とする高温発酵がある。このことは、処理目的、原料の種類などにより選択される。

(2)バイオガスは直接燃焼による熱利用とエンジン発電機利用によるコージェネレーションによる熱・電気の利用が一般的である。

消化液は農地に施用できる場所では、好気性処理をした液肥より肥料成分が高く、特にアンモニア性窒素が多いので肥料効果が高い。

消化液を農地に施用できない場所では、固形分を分離して堆肥化し、液分を浄化処理しなければならないが、窒素成分が高いために浄化処理にはエネルギーを要し経費がかかる。

(3)メタン発酵により、消化液の臭気は大幅に減弱される。メタン発酵処理システムは大部分の工程が閉鎖系で処理されるため、アンモニアの大気中への揮散が防止でき、酸性雨の原因を削減でき、また、ふん尿処理システム途中でのメタンガス、亜酸化窒素の大気中への揮散を防止し、地球温暖化ガスの揮散を防止する。

メタンガスは、地球上の循環炭素を利用し、再生可能エネルギーとして二酸化炭素を増加せず、また化石燃料の使用を削減するので地球温暖化の防止に貢献する。

###### 2. メタン発酵と環境、社会

(1)我が国の農村が、戦後の高度成長の中大きく変貌し、資源を地域外に依存する度合いが極端に大きくなり、環境への配慮が急速に失われた。いま農村に固有の地域資源として家畜ふん尿を利用したメタン発酵による自前のエネルギー生産は今後の農村のありかたを考えるうえで重要な意義をもつことが考えられている。

###### (2)先行国におけるメタン発酵利用の現状と施策

欧州では1990年代に入り、再生可能エネルギーの利用を積極的に推進するようになった。バイオガスプラントの建設が進んでいる背景には、

①地球温暖化防止、持続的発展等の見地から、国のエネルギー政策が明確に再生可能エネルギーの利用促進を打ち出しており、その利用目標が立てられている。

②家畜ふん尿の散布規制や有機性廃棄物の埋め立て処分規制等環境規制が厳しい。

③法律により再生可能エネルギーによる電力の買い取り優遇施策がとられている。

④環境税を導入し、再生可能エネルギーを相対的に安価にしている。

⑤バイオガスプラントの建設(バイオマスエネルギー利用一般)に対しては補助金あるいは低利融資が準備されている。

これらについて、我が国では&#12845;を除いて遅れているのでバイオガス利用を考えるうえで今後十分考慮されなければならない。

### 3. 我が国で予測される条件と適用される類型

#### (1)メタン発酵処理システムの利用目的

メタン発酵の目的及び処理条件は、家畜飼養管理条件とそれを取り巻く地域的条件を基に設定される。我が国におけるメタン発酵処理システムの直接の目的は、

&#12848;エネルギー生産を前提とした資源循環型処理体系の構築

&#12842;家畜ふん尿等汚濁物質の減量化、安定化のための処理の確立

&#12843;家畜ふん尿由来の病原菌、寄生虫等の衛生対策と雑草種子対策への配慮と考えられる。

#### (2)消化液の取り扱いによるメタン発酵処理システムのタイプ分け

メタン発酵処理システムは、消化液を年間を通じて完全にリサイクル出来る条件の有無によって、農地還元型「ふん尿混合物→メタン発酵→バイオガス利用・消化液の液肥利用」と浄化放流型「ふん尿混合物→メタン発酵→バイオガス利用→消化液の固液分離→固分堆肥化・液分の浄化処理放流」の2型に分けられる。このことは、先行国での事例を検討評価するときに重要な注意点となる。浄化放流型では、農地還元型に対して消化液の浄化処理コストが上積みとなる。

#### (3)現状で適用が想定される類型

我が国の家畜飼養の現状から、豚と乳牛についての次の5類型を想定し、施設の構成と規模、バイオガス利用、消化液の利用及び浄化処理等の計画試算の詳細を参考資料に提示した。5類型の内容は後述第5章参照。

### 4. メタン発酵原料の収集と消化液の利用技術

#### (1)消化液の液肥利用

##### 1)原料の収集、輸送、貯留

個別農家処理の場合には問題ないが、共同処理施設では衛生に対する注意が必要である。複数の農家を収集する場合には、収集車両は、両方の出入りの際に消毒する。1回の輸送導線は、処理施設と1畜産農家とし、1回の収集で複数の農家に回ることは避ける。

##### 2)圃場への堆肥、消化液の施用量

環境汚染を防止するには、耕地へのふん尿施用量の適正化が重要である。ふん尿の施用上限は、窒素、リン酸、カリの各肥料成分の内、どれか一つがその作物の必要量に達した時の値で決まる。ふん尿中の肥料分量は、家畜の種類、ふん尿の処理方法により異なり、また同じ成分料でも肥料としての効き方が違うため、分量×肥効率で化学肥料換算の施肥料を計算する。

メタン発酵消化液の特性として、アンモニア性窒素が大部分となるため、即効性の窒素分が多くなり、窒素の肥効率は高くなっている。一方、消化液中の有機物含量が低いため土壌改良効果はあまり期待できないので、そのためには堆肥を併用する必要がある。

#### (2)消化液の浄化処理

##### 1)メタン発酵後の消化液の浄化放流を行う場合の問題点

メタン発酵技術の最大の利点は、液状物中の有機物を少ないエネルギー消費で低減でき、しかもエネルギー回収が可能なことである。しかし、発酵後の液を浄化処理して放流しようとする場合には、有機物がかなり分解されているとはいえ、放流の際の水質規制値と比較すればまだ非常に高濃度である。また、全窒素、全リンはメタン発酵では減少せず、アンモニア・リン酸については逆

に固形分の分解によって増加する。さらに、BODと窒素の比率からみても浄化処理しにくい液となっている。このように、メタン発酵後に消化液の浄化放流を行おうとする場合、処理施設の運転管理とその経費について、慎重な事前評価が不可欠である。

## 2)メタン発酵後の消化液の浄化処理技術とその問題点

前述の結果として、浄化処理を採用した場合には、技術的にはすでに排水処理分野で確立された種々の手法を組み合わせて対応することとなる。具体的には有機物(BOD)については活性汚泥法等の好気性の生物学的処理法によるのが普通である。この際消化液に空気を吹き込むための電力は、一般に排水処理に必要な電力のおよそ半分を占める。また、除去した有機物(BOD)の内のおよそ半分は、余剰汚泥(有機物を分解し増殖した微生物が主体となった汚泥)となり、一般の排水処理では余剰汚泥は高分子凝集剤を添加して脱水処理して固形物として処分する。磷についてはアルミ系または鉄系の無機凝集剤による凝集沈殿法により除去する。窒素については、好気性生物処理によってアンモニアを硝酸塩または亜硝酸塩に酸化したのち嫌気性条件下で脱窒(硝酸塩または亜硝酸塩が窒素ガスに還元されて除去される反応)を行う。このとき硝化に必要な空気を供給する電力、脱窒の段階では関係する細菌の脱窒作用に必要な栄養源(メタノール等)が必要となる。この他、大腸菌やクリプトスポリジウム等の病原微生物にたいして、消毒や膜処理による除去が必要である。

さらに、水質規制値を達成しても、処理水の色が濃い場合には、処理不十分と誤解される恐れがあり、オゾン注入法、活性炭吸着法等の処置を必要とする。

## 5. メタン発酵処理施設の基本構成と計画

ここでは、メタン発酵処理に必要な施設の構成要素と設置にあたって建設上留意すべき点が述べられている。

### § 第2章 メタン発酵に関する基礎的数値

家畜排せつ物からのメタン処理施設を計画するときに基礎となる材料のガス発生量等の原単位を記述した。

#### 1. メタンガス発生量

我が国においては、実規模の事例のデータが限られており、得られたデータのばらつきが大きいため、原料のメタンガス発生量は、分解有機物kg(kg/除去VS)あたりで定義した。

豚の場合：除去された有機物(VS)1kgあたり 695L-メタンガス

牛の場合：除去された有機物(VS)1kgあたり 485L-メタンガス

これらを標準的なスラリー1m<sup>3</sup>あたりに換算すると、

豚の場合：メタンガス発生量13Nm<sup>3</sup>、バイオガス発生量20Nm<sup>3</sup>

牛の場合：メタンガス発生量8.73Nm<sup>3</sup>、バイオガス発生量14.5Nm<sup>3</sup>となる。

#### 2. 原料有機物の分解率

メタン発酵中の原料有機物の分解率は既存のデータを含めて

豚ふん尿：45%、牛ふん尿：25%と想定した。

#### 3. バイオガスの性状

メタンガス：55%、二酸化炭素：45%、硫化水素数：千ppm、水分：飽和水蒸気と想定した。

## § 第3章 メタン発酵技術及びその周辺技術

メタン発酵システムと処理物の利用システムを構成する設備について要点を示した。

### 1. メタン発酵処理システムの構成

メタン発酵システムは、主要のメタン発酵設備の他に、主設備の機能が十分発揮され、周辺環境の保全、エネルギー回収が円滑に行われるように構成されなければならない。システムの構成は、ふん尿の種類、処理目的、規制、地域の状況、生成物の利用、経済条件などにより適宜決定されるものである。それぞれの構成設備ごとの機能の概要と容量の計算法、設計についての注意点を提示した。

#### (1) 消化液を液肥として利用する場合（農地還元型）

固液分離設備、メタン発酵設備、消化液貯留設備、バイオガス貯留設備、バイオガス利用設備、管理設備。

#### (2) 消化液の浄化処理を行う場合（浄化放流型）

固液分離設備、メタン発酵設備、消化液貯留設備、脱水設備、脱離液処理設備、バイオガス貯留設備、バイオガス利用設備、堆肥化設備、脱臭設備、管理設備。脱離液処理の浄化処理については、BOD規制のみの場合（標準活性汚泥法）と窒素規制がある場合（生物学的硝化脱窒処理法）について、希釈倍率、設備の規模の計算法、必要空気量の計算法を示した。

### 2. バイオガスの利用設備

#### (1) ガス発電

バイオガス利用設備はその使用目的によって定められるべきである。主な利用設備としては、ボイラ、ガスエンジン、燃料電池、ガスタービンがある。発電効率はガスエンジン30%、燃料電池40%、ガスタービン25%と想定した。

現在開発されているバイオガス利用の設備の発電容量は、ガスエンジン70~400kW、燃料電池200kW（50kWは開発中）、ガスタービン25~300kWである。またこれらについて、利用上の特性比較を提示した。

#### (2) 熱利用

メタン発酵では、従来そのエネルギーを中温菌あるいは高温菌の活性維持のために、ガスボイラを使って蒸気を生成し、メタン発酵槽の加温に使用されていたが、近年コジェネレーションの観点から、ガス発電時に得られた熱を蒸気、あるいは温水の形で発酵槽の加温に用いる。

#### (3) バイオガスで発電した電力の電力会社への売電

バイオガス発電と一般電力系統（電力会社の電力系統）とで系統連携を組む場合には、経済産業省の系統連系に関するガイドラインに基づくことが求められる。

## § 第4章 維持管理法

メタン発酵処理システムの維持管理について、要点を記述した。システムの各設備について電気信号によるモニタリング（状態信号と計測信号）の方法、設備が大型になったばあいの中央でのモニタリング、システムの運転管理法、定期メンテナンス、運転管理者の資格等について記述した。

試運転からの立ち上げについて、その方法と実際的な注意点を示した。

§ 第5章 メタン発酵事業の経済性の考え方...においては経済性比較の原則を示した。

### 1. メタン発酵処理技術と他の処理方法とのコスト面での比較

本研究会で想定した次の5ケースについて、システムの経済性を考える場合に基幹となるイニシャルコストとランニングコストに焦点を合わせて他の処理方式と比較した。

ケース1: 豚 母豚100頭一貫経営(肥育豚1,000頭)の個別農家型。浄化放流型。

ケース2: 豚 肥育豚10,000頭の共同処理(集中処理)型。浄化放流型。

ケース3: 豚 肥育豚10,000頭のふん尿に食品残渣添加の複合処理型。浄化放流型。

ケース4: 牛 搾乳牛100頭、育成牛75頭の個別農家型。農地還元型。

ケース5: 牛 搾乳牛500頭、育成牛375頭の共同処理(集中処理)型。農地還元型。

浄化処理が大きな比重を占める豚のケース1、2、3については比較する他の方式として、同規模について堆肥化+浄化処理とした。乳牛のケース4、5については直接の堆肥化は、メタン発酵の中で浄化放流型と農地還元型の比較を行った。しかし、施設の建設費は、現在畜産用メタン処理施設の設置例数が少なく設置地域の条件により大きく変動すると考えられるので、相対値による比較にとどめた。

豚において、小規模個別処理では、建設費はメタン発酵が2.5倍と高くなるが、1頭あたりのランニングコストでは10%程度の高さに止まる。大規模の集中処理では、建設費は10%程度高くなるが、逆にランニングコストは安くなる。約20%の食品残渣を投入する場合を想定すると、メタン発酵処理は発酵槽や発電設備等の建設費が嵩むが、発電して余剰電力を販売できるので事業の収支をプラスにする方向に寄与する事が期待される。従って、豚の場合には大規模の集中処理や食品残渣等を複合的に処理する方法を取れば、メタン発酵採用の可能性が高まる。

乳牛の場合には、個別処理も共同処理も農地還元型の方が、当然イニシャルコスト、ランニングコストとも安く済み、還元のための農地面積があることが前提である。圃場面積がなく浄化放流を行う場合には、余剰電力の販売、堆肥の拡大販売ほか、地域としての総合メリットを慎重に検討しなければならない。

### 2. 経済面での評価方法

メタン発酵事業の採択にあたって採算性を検討するための評価方法として、正味現在価値評価法と資本回収法を概説した。また、採算性評価の実施及び事業採択の意志決定にあたっては、適切な専門的助言を活用するよう指摘した。

## § 第6章 メタン発酵処理技術の将来に向かって

家畜排せつ物処理利用において、メタン発酵処理技術の展開に係る次の3点を提言した。

1. 農業の環境保全機能の推進に向かって、畜産環境保全システム構築の視点からメタン発酵処理技術と地域的環境保全型の組織化
2. 企業及び公的試験研究機関における、メタン発酵処理システムの低コスト化と周辺技術特に浄化放流型システムの高度化と低コスト化
3. 再生可能エネルギーに対する支援制度の整備の必要性を提言した。