特集
バイオマス利用の最新技術

小規模バイオガスプラントシステム

Biogas plant system for small stock farmer

新井喜明*1・高橋和男*2・和田信行*2

1. はじめに

廃棄物の処理とエネルギー問題に取り組んできた明電舎は，約20年前にすでに，新しいエネルギーとして下水汚泥消化ガス発電システムの開発を行い，畜産業界では，先駆けとして，神奈川県畜産試験場で開発された「畜産用シンプルメタン発酵システム」を基に，家畜ふん尿から良質のコンポストとメタンガス（以下，バイオガス）を低コストで生産する，愛称「明電トントンシステム」を，北は北海道より南は九州にまで全国十数か所に納入した．その後も，消化液処理方法の開発，固形分を減量炭化するための「乾留形熱分解処理システム」の開発，バイオガス利用としてのマイクロタービンの品揃え等，システムの更なる充実を図ってきた．

一方，2004年11月から「家畜排せつ物の管理の適正化および利用の促進に関する法律（家畜排せつ物法）」に基づき家畜排せつ物の野積み，素堀貯留等が禁止されることから，環境の保全，資源循環，再生可能エネルギー利用，温室効果ガスの排出削減等の効果を有する畜産排せつ物の利活用は，畜産業における緊急の課題となっている．

ここでは，小規模畜産農家を対象にして①小規模メタン発酵処理システムによる燃料生産システム，および②生産されたバイオガスを利用した燃料電池コージェネレーションシステムの実施可能性を検討し，家畜排せつ物のバイオマスエネルギーを有効に利用することで畜産農家の負担を減らしつつ，ふん尿を処理して環境規制の強化に適正に対応することが可能であることを明らかにしたので紹介する．

2. システム方式の検討

2.1 小規模畜産農家の現状

畜産統計[(1)]によれば，全国の乳用牛の飼養戸数は3万1,000戸，飼養頭数は172万6,000頭で，事業規模の小さい飼養者層を中心にこれらの数値は減少傾向にある．また，全国の豚の飼養戸数は1万戸，飼養頭数は961万2,000頭で，大規模飼養者層では飼養規模の拡大が見られるものの，全体では小・中規模の飼養者層を中心に減少傾向にある．図1に肥育豚と乳用牛の飼養頭数規模別戸数を示す．図に示すとおり，飼養乳用牛50頭未満の酪農農家が73%，飼養豚500頭未満の養豚農家が53%と比較的小規模の畜産農家の割合が多い．

小規模畜産農家（牛：50頭以下，豚：500頭以下）がメタン発酵システムを導入する場合，複数の畜産農家が協同組合を形成して導入するセンター方式と，個々の畜産農家が導入する個別方式が想定される．

センター方式の場合，①ふん尿処理のための共同組合を形成するために多数の農家を集める必要があるほか，②家畜ふん尿の収集方法の検討や③輸送ルートの構築が必要となる．さらに家畜に疾病が発生した場合に，④ふん尿の移動が原因となり被害が広範囲に広がる恐れがあるなどの課題がある．したがって，小規模畜産農家がメタン発酵システムを導入する場合には，システムの運用上の課題が比較的少ない個別方式が適していると思われる．

しかし，個別方式の場合にも，①小型のバイオガス用発電システムがない，②維持管理作業の負荷が大きいなどの課題がある．

2.2 メタン発酵方式の検討

メタン発酵の温度領域には，20℃～25℃程度の低温領域，35℃～45℃程度の中温領域，50℃～60℃程度の高温領域が用いられる．高温領域におけるメタン発酵では高い反応速度が得られるものの，負荷の変動，基質性状の変動，毒性物質に対す

*1 ㈱明電舎　研究開発センター製品企画課　課長
*2 ㈱明電舎

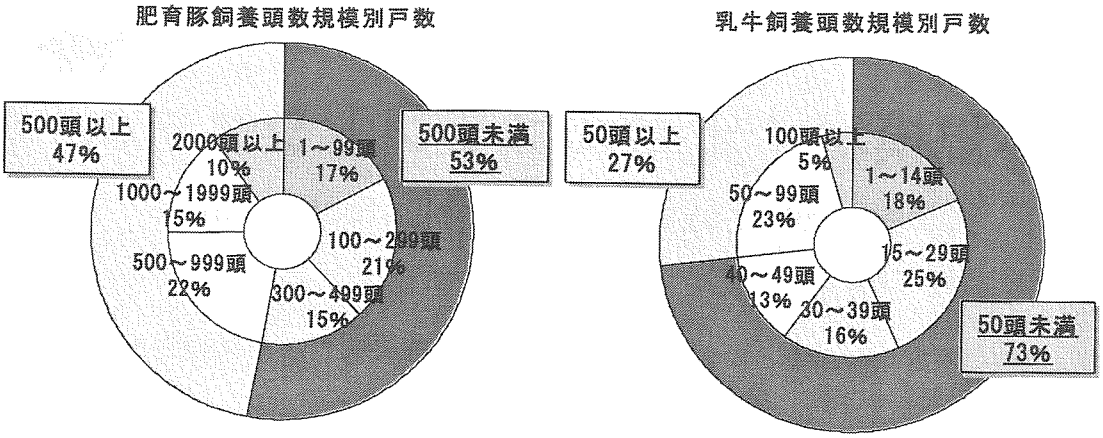

図1　肥育豚及び乳牛飼養頭数規模別戸数

る順応が遅いという問題点がある．また，低温領域におけるメタン発酵では発酵槽の加温に必要なエネルギーを低減できる利点はあるものの，実用的な反応速度を得ることが困難である．一方，中温温度領域によるメタン発酵には，①発酵槽からの熱損失が比較的少なく発酵に必要な加温熱量が少ない，②温度変動に対して緩衝性が高い，③発酵阻害物質に対する耐性が高いなどの利点がある[2]．また，国内の多くのメタン発酵システムは中温発酵を採用しており信頼性が高い．

小規模メタン発酵システムの温度領域としては，①家畜ふん尿を原料とする場合ふん尿の量や成分の変動幅が大きいこと，②信頼性が高く安定した運転が可能なことなどから，35℃～45℃程度の中温領域を採用することとした．

国内に設置されているバイオガスプラントのうち，畜産用シンプルメタン発酵システムは，家畜ふん尿を固液分離し，分離液だけをメタン発酵の原料として用いる．微生物が分解しやすい液分（分離液）だけを原料とするため，①プロセスがシンプルである，②運転が容易である，③トラブルが少ない，④低コストであるなどの特長がある．

そこで，小規模メタン発酵システムの方式として，下記の理由で，畜産用シンプルメタン発酵方式を採用することとした．

①日本オリジナルの技術であること
②国内において，数ヶ所以上の導入実績があること
③運転管理および維持管理が容易であること
④中小規模向きであること

2.3　消化液処理方式の検討

消化液の処理・利用方法として，液肥利用，浄化処理，堆肥化などがある．

消化液を液肥として農地に散布する方法は，北海道において多く採用されているが，道内でも散布できる農地を持つ農家は少なく，北海道以外の地区では更に少ない．また，一般に中温メタン発酵の消化液を液肥として施用する場合には，疾病対策などの観点から殺菌処理が必要となりコストがかかるほか，施用方法や施用時期についても現在は実験段階であり，今後の実験の積み重ねによる技術の確立が必要である．

浄化処理方法には，物理処理，化学処理，生物処理があり，生物処理を中心としてこれらを組み合わせて利用する．しかし，水質汚濁防止法による排水処理基準を満たすように消化液を浄化するには，消化液を数倍量の水で希釈したり，好気性生物処理の前段に嫌気性処理を取り入れたり後段に物理化学的な高度処理を取り入れたりする必要があり，大規模な浄化処理設備が必要となる．

そこで，消化液の堆肥化について検討した．しかし，消化液は含水率95～98％の液状の物質で，畜ふん（含水率70～80％）と比べて非常に水分が多い．そのため，直接堆肥化することは困難で，完成堆肥を混合して水分調整したうえで堆肥化する「戻し堆肥方式」により堆肥化する．

堆肥化方式は，いくつか方式や種類があるが，小型のメタン発酵システムを目的としており，消化液の排出量も少量である．したがって，設置コスト，メンテナンス性，運用コストなどの観点から，消化液処理方式としてハウス内開放型発酵方式による堆肥化方式を採用することとした．

2.4 燃料電池コージェネレーションシステムの検討

小規模畜産農家では発生する家畜ふん尿量が少なく，メタン発酵システムから発生するバイオガス量も少ない．したがって，小規模のコージェネレーションシステムには，小型であることと，できる限り高効率なシステムであることが求められる．

近年，小型でも高効率で発電が可能な燃料電池に大きな注目が集まり，車載用電源，家庭用電源，分散型電源などさまざまな分野への応用が検討されている[3]．

燃料電池は化学反応による直接発電であるため，発電効率が高い点に特長がある．現在商用化されているリン酸形燃料電池では，約40％程度と高い発電効率が実現されているほか，固体高分子形燃料電池でも35％以上の発電効率が見込まれ，ガスエンジンやマイクロタービンと比較すると10％～20％ほど高い発電効率が得られる．また，部分負荷運転時の発電効率もほとんど低下しない．

燃料電池の環境特性については，NOxが10ppm以下（O_2≒7％）であるほか，SOxは1ppm以下とガスエンジンやマイクロタービンと同程度以下となる．また，温暖化ガスの排出量についても，発電効率が高いために，同じ発電量を出力する時に排出される温暖化ガス量は少なくなる．このように，燃料電池は環境特性に優れた発電装置であると考えられる．

そこで，小規模コージェネレーションシステムとして，小型かつ高効率で，環境特性に優れた燃料電池コージェネレーションシステムを採用することとした．

2.5 熱と電気の利用方法の検討

エネルギー消費の実態を把握するために，豚舎内温度，近傍の気温，年間の電力消費量，年間のプロパンガス消費量，および1日の電力消費パターンを調査した．その結果，実証プラント設置予定の養豚場は熱多消費型のエネルギー消費形態であること，約0.8kWhのベース消費電力が認められることがわかった．エネルギー消費の実態から，固体高分子型燃料電池の発電容量を1kW程度に設定して約0.8kWhのベース消費電力を供給し，余剰のバイオガスはガスボイラを用いて熱エネルギーとして利用することとした．

3．実証プラントのシステム設計

3.1 実証プラントの設備概要

実証プラントは，「メタン発酵設備」「バイオガス利用設備」「消化液堆肥化設備」で構成する．実証プラントのシステムフローを図2に示す．

①メタン発酵設備

メタン発酵設備は，オガコ，ふんおよび尿汚水の受け入れ供給設備と，メタン発酵槽関連設備とからなり，受け入れ供給設備はオガコ置場，受入槽，固液分離機で構成する．

豚舎から排出されるふんオガコを受け入れるオガコ置場を設ける．オガコ置場は屋根付の鉄筋コンクリート床とし，容量はふんおよびオガコ10日分とする．尿汚水を受け入れる鉄筋コンクリート製地下

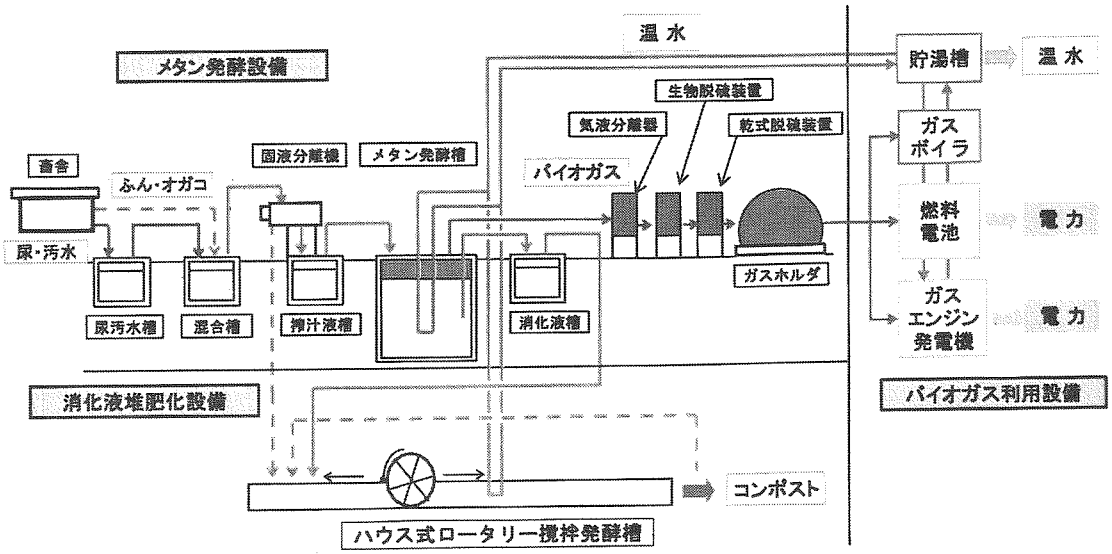

図2 システムフロー

式の「受入槽」を設ける．受入槽の容量は尿汚水2日分とする．

受け入れたふん尿およびオガコは，攪拌機で十分混合した後に固液分離機で固液分離する．分離液はメタン発酵槽で発酵処理し，分離固形物は消化液堆肥化設備において消化液と併せて堆肥化処理する．

メタン発酵槽関連設備は，メタン発酵槽，発酵槽攪拌機，除湿装置，脱硫装置，ガスホルダで構成する．受入供給設備からの固液分離液を，メタン発酵槽において，嫌気状態で34℃に保温しながら約20日間発酵処理し，バイオガスを生成する．バイオガスは除湿装置で水分を除去し，さらに脱硫装置で硫化水素を除去した後，ガスホルダに貯蔵する．脱硫装置は生物脱硫と乾式脱硫を併用する．ガスホルダはバルーン式とする．余剰の消化液は，一旦消化液槽に貯留した後，堆肥化設備において堆肥化処理を行う．

②バイオガス利用設備

バイオガス利用設備は，1kW級燃料電池，5kWガスエンジン発電機，ガスボイラ，貯湯槽で構成する．貯蔵したバイオガスを燃料として1kW級燃料電池，5kWガスエンジン発電機で発電し，電力ならびに温水を回収する．温水はメタン発酵処理設備の保温，消化液堆肥化設備の加温に用いるほか，施設外での利用が可能である．

③消化液堆肥化設備

固液分離機で分離した固形物と消化液を発酵堆肥化処理する．ビニルハウスで密封した直線型発酵槽において，ロータリー式攪拌機による十分な攪拌と通気により発酵を促進し，太陽熱と発酵熱の両方を有効に用いて堆肥化を行う．

3.2 システムの概要

① 基本条件（計画値）

表1に本システムで想定する家畜の種類，受け入れる排せつ物の種類，家畜の飼育規模を示す．

表1 家畜の種類，受け入れる排せつ物，飼育頭数

家畜の種類	豚
受け入れる排せつ物	豚ふん尿，オガコ
家畜の飼育規模	肥育豚数換算 600頭

表2に，ふん尿およびオガコの排出量を示し，総受け入れ量は，約2.6 t/日となる．

表2 処理対象物の量

	含水率（%）	重量（kg/日）
ふん	74.0	150.0
オガコ	66.5	697.5
尿・汚水（尿槽）	98.0	1600.0
尿・汚水（子豚舎）	96.5	180.0

②バイオガス発生量

発酵温度は34.0℃，有機物負荷は3.0kg/m³・日の条件によりメタン発酵を行い，バイオガスを生成する．設計計画値では，ふん尿2.6t/日より80.5Nm³/日のバイオガスが得られる．

③エネルギー収支

本システムにおける想定される発電電力量とシステム内で消費する電力量を表3に示す．余剰電力は畜舎にて使用するものとする．

表3 電力収支

発電量総量	141.5	kWh/日
燃料電池	24.0	kWh/日
ガスエンジン	117.5	kWh/日
消費電力総量	116.64	kWh/日
電力収支	22.66	kWh/日

本システムにおける想定される発生熱量とシステム内で消費する熱量を表4に示す．冬季でも，システムが必要とする熱量を上回ることが可能となる．

表4 熱収支

	夏季	冬季	
発生熱量	1050.8	1050.8	MJ/日
燃料電池	111.1	111.1	MJ/日
ガスエンジン	939.7	939.7	MJ/日
消費熱量	227.5	444.7	MJ/日
熱収支	823.3	606.1	MJ/日

4. まとめ

本システムでは，家畜ふん尿をバイオマス化し，熱・電力などのエネルギー源として有効利用することで，畜産農家の負担を減らしつつ，ふん尿を処理して環境規制の強化に適正に対応することが可能である．2004年3月に実証プラントは設置完了し，2005年度は，導入・普及のための実証試験プラントを検証することで畜産排せつ物バイオマスエネル

ギー利用システムの確立を図っていきたい.

尚，本調査は，独立行政法人　新エネルギー・産業技術総合開発機構の「バイオマス等未活用エネルギー実証試験事業調査」で実施してものである.

参考文献

(1) 畜産統計（平成14年2月1日現在），農林水産省，2002年

(2) ㈳日本エネルギー学会編，バイオマスハンドブック，オーム社，2002年

(3) 電気学会・燃料電池発電 次世代システム技術調査専門委員会編，燃料電池の技術，オーム社，2002年

筆者紹介

新井　喜明（あらい　よしあき）

宇都宮大学大学院工学研究科

環境化学専攻修了

研究開発経歴

昭和55年－昭和59年

　水処理関連研究開発

昭和59年－昭和61年

　通産省「高濃度有機系廃棄物のエネルギー有効利用に関する実用化開発」

平成3年－平成7年

　NEDO「高効率メタンガス製造技術開発」

平成7年－現在

　バイオマス燃料およびエネルギー利用技術の調査・企画・研究

新太陽エネルギー利用ハンドブック

自然エネルギー利用に関する21世紀の地球温暖化時代を先取りする基本図書

太陽エネルギーのことならこの一冊ですべてがわかる

ー基礎原理・資料から実用技術までー

●主な内容●　A4版　上製本ケース入り

- 太陽・地球・環境
- 太陽エネルギーの直接利用技術
- 太陽エネルギーの間接利用技術
- 太陽エネルギーシステムの設計・実用例

編　集：日本太陽エネルギー学会　新太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会

定　価(税込)：26,250円　会員価格(税込) 21,000円　　荷造り送料　600円

目次・執筆者はホームページをご覧ください.

問い合わせ・申込先：日本太陽エネルギー学会

〒151-0053 東京都渋谷区代々木2-44-14

電話 03-3376-6015　FAX 03-3376-6720

E-mail :jses@tky.3web.ne.jp

URL:http://wwwsoc.nii.ac.jp/jses/index.html