

畜産廃棄物処理システム 「PANBIC-ビガダン方式」

Livestock Waste Treatment System
(PANBIC-BIGADAN System)



水処理本部計画部第2計画室
隅 晃彦
Akihiko Sumi

畜産廃棄物の適正処理が2004年11月より義務付けられることとなり、処理方法の一つとしてメタン発酵技術に注目が集まっている。当社は、特別な前処理工程が不要で熱効率の良いデンマークのメタン発酵技術「ビガダン方式」を導入し、販売活動および国内での実証実験を開始した。実証実験は牛糞尿スラリーを対象としており、処理量は5 t/d、消化槽容量は100 m³である。2002年度は滞留時間20日で中温発酵実験をおこない、メタン濃度60～65%、100 Nm³/d以上の消化ガスを安定してえることができた。

(実証実験は、2002～2003年度の予定で JFE エンジニアリング(株)、日立金属(株)と共同で実施中。)

A livestock waste treatment system applying a proven Danish methane fermentation process (BIGADAN) has been marketed to meet the enforcement of the regulation regarding proper management and utilization of livestock excreta as of November 2004. A demonstration test having a digestion tank of 100 m³ was conducted at 5 ton/day of cattle excreta. With 20 retention days for mesophilic fermentation, the first phase test in 2002 achieved methane production of 100 m³/d with concentration of 60-65% on a constant level.

Key Words :

家畜糞尿
メタン発酵
ビガダン方式
熱交換器
衛生化処理
生物脱硫

Livestock excreta
Methane fermentation
BIGADAN system
Heat exchanger
Pasteurization
Biological desulfurization

まえがき

わが国における家畜糞尿排出量は年間9049万t(2000年度)と膨大であり¹⁾、その処理が問題となっている。

20世紀終盤に農業関連の法体系が見直され、中核となる「食料・農業・農村基本法」が制定されると

ともに、いわゆる「農業関連環境三法」が相次いで制定された。この中の「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」によって家畜糞尿の適正管理が義務付けられ、2004年11月より罰則をともなう本格運用が開始されることになっている。

家畜排せつ物の適正な処理・利用方法が模索され

ているなか、エネルギーを回収できるだけでなく固形残渣も減量できるメタン発酵が注目されている。当社は、多数の実績を持つ北欧デンマークのピガダン社の技術を導入し、「PANBIC-ピガダン方式」として販売を開始した。技術導入は、JFE エンジニアリング(株)よりサブライセンスを受ける形でおこなっている。

また、国内でのプラント建設・運転実績確保と実証データの蓄積を目的とし、日処理量5tのデモプラントを建設し実証実験をおこなっている。プラントの建設と実験は、JFE エンジニアリング(株)と、当社と同じくサブライセンスを受けている日立金属(株)との3社共同でおこなっている。

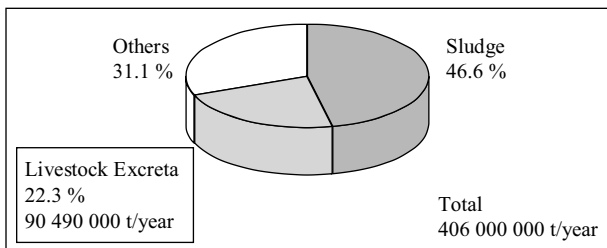


図 1 日本国内における産業廃棄物の発生量と比率
Fig.1 Breakdown of industrial wastes in Japan

表 1 畜産廃棄物の性状
Table1 Contents of livestock excreta

		BOD mg/L	SS mg/L	COD _{Mn} mg/L	N mg/L	P mg/L
Pig	Feces	60 000	220 000	27 000	10 000	7 000
	Urine	5 000	4 500	3 300	5 000	400
	Total	24 000	80 000	12 000	6 800	2 700
Cattle	Feces	24 000	120 000	12 000	4 300	1 700
	Urine	4 000	5 000	3 000	8 000	150
	Total	16 000	74 000	8 400	5 800	1 100

表 2 畜産廃棄物の利用/処理方法
Table2 Utilization or treatment of livestock excreta

Process	Direct Manuring	Composting		Water Treatment	Methane Fermentation
		Aerobic Fermentation	Anaerobic Fermentation (No Gas Recovery)		
Product	—	Compost	Liquid Manure	Compost Clean Water	Biogas, Liquid Manure
Energy Recovery	×	×	×	×	○
Running Cost	○	△ (Mixing)	○ (Storage Only)	×	○ (Energy Recovery)
Space	○	△	△	△	△
Actual Achievements	○	○	○	○	○
Notes	Odor, Pathogen, Seed, Insect	Large Space, Water Content Control	Odor	High Running Cost (For Aeration)	Low Solid Residue, Power Generation & Heat Recovery

本報では、技術の概要および特長とともに、実証実験の内容とこれまでにえられた成果について紹介する。

1. 家畜糞尿

1.1 家畜糞尿の特長

家畜糞尿は前述のとおり年間9 000万t以上と大量に発生しており、産業廃棄物全体のうち22.3%を占めている(2000年度)。図1に、産業廃棄物の内訳を示す。

家畜糞尿はその絶対量もさることながら、環境汚濁負荷として次の特長がある。

- ①BOD, SS濃度が高い
- ②栄養塩(窒素, リン)濃度が高い
- ③強い臭気がある

これらにより、糞尿を処分する際には適切な処理が必要となる。表1に、豚および牛の糞尿の性状を示す。特長①②については、裏を返せば土壌の改良・肥効の付与といった有効利用につながるの、適切な処理をおこなって利用につなげるのが最善と思われる。

1.2 畜産廃棄物の処理および利用

表2に、畜産廃棄物の各種処理/利用方法を示す。基本的には直接ないし何らかの処理をおこなって土壌還元するか、あるいは浄化処理をおこなって放流する形態がとられてきた。各々の方式の問題点は、次のとおりである。

- ①直接土壌散布
臭気, 病原菌, 虫, 植物種子
- ②堆肥化(好気発酵)
広い発酵スペース, 水分調整材
- ③液肥化(貯留による嫌気発酵)
臭気, 貯留スペース
※曝気による好気発酵もある

④浄化処理 (SS 除去, 好気性生物処理)

高ランニングコスト

(曝気動力, 汚泥処分)

窒素除去が必要となる場合薬品も必要

これら従来法に対し, 現在, メタン発酵技術が注目されている。メタン発酵は嫌氣的に有機物を分解するものであり, 曝気を必要としないため所要動力が小さく, 固形残渣を減量でき, なおかつメタンガスを回収して発電や熱供給をおこなうことができる。

2. PANBIC-ビガダン方式の概要と特長

2.1 全体構成

図2に設備の概念図, 図3に一般的なブロックフローシート, 写真1に, デンマークで稼動中の実プラントの一例を示す。

基本コンセプトはメタン発酵を中核としたエネルギー回収設備であり, 以下の各工程からなる。

2.1.1 受入・前処理工程

糞尿混合スラリーを受入れ均一化するとともに, 移送および発酵を容易にするためインライン破砕機により破砕をおこなう。

2.1.2 衛生化工程

70℃で最低1時間熱処理をおこなうことにより, 病原菌や植物の種子等を不活化し, 消化液や脱水ケー

キを液肥や堆肥として安全に利用できるようにする。

昇温には, 独自のダブルスクリュウ式熱交換器をもちいる。第1段では消化液の熱により原料を予備加温する。続いて第2段では70℃の衛生化処理液の熱により, 原料をさらに加温する。この時, 衛生化処理液は冷却され, メタン発酵に好適な温度となる。第3段では, 温水との熱交換により, 衛生化処理に必要な70℃まで加温する。温水製造用の熱源は, メタン発酵によりえられたガスによる発電廃熱またはボイラーによりえる。

所要熱量は発生ガスのエネルギーの一部のみの使用で十分であり, 発電廃熱だけでも十分な熱量が確保できる。立上げ時を除いて, 外部からの熱源投入は必要ない。いったん70℃に加温するものの, 加えた熱は再び原料の加温に利用されるため, トータルとして無駄のない熱利用がおこなわれている。

2.1.3 メタン発酵工程

微生物の働きにより有機物を分解し, メタンガスを取り出す。原料はスラリーの状態投入し, 攪拌しながら中温発酵させる。

2.1.4 ガス利用工程

発生したガスから硫化水素を除去し, 発電機もしくはボイラーにより, 電力や熱を回収する。

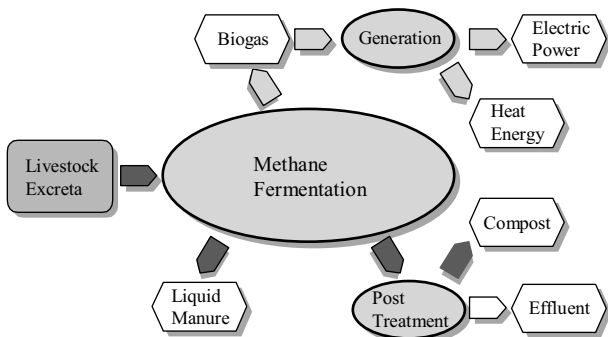


図2 PANBIC-ビガダン方式のコンセプト
Fig.2 Concept of PANBIC-BIGADAN system



写真1 実プラントの例 (デンマーク, 150 t/d)
Photo 1 150 t/d actual plant (Denmark)

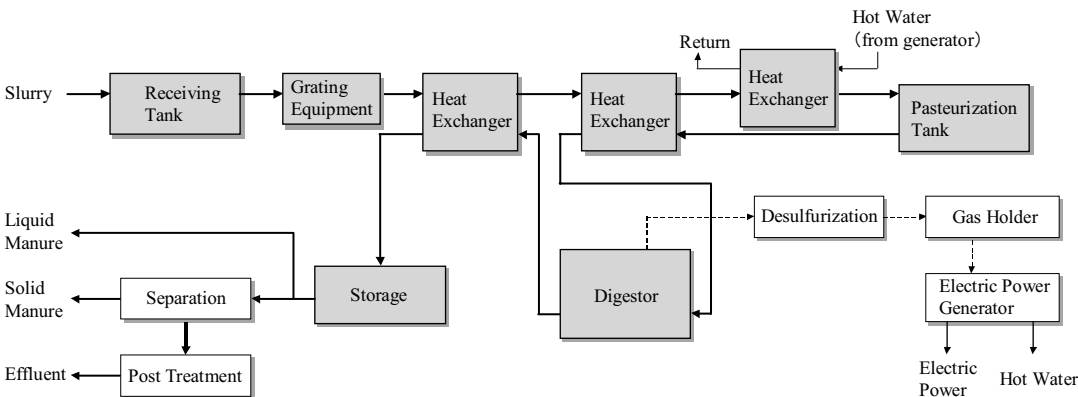


図3 一般的なブロックフローシート
Fig.3 Block flow diagram

脱硫には微生物処理を採用している。消化ガスに少量の空気を混合することで硫黄酸化細菌を活動させ、硫化水素を硫酸イオンないし単体硫黄の形とする。また、仕上げ処理およびバックアップのため、乾式脱硫塔を設置している。

2.1.5 後処理工程

設置先の状況に応じ、以下の各種方式をもちいる。

①消化液を液肥として利用する場合

消化液の貯留設備を設ける。

施肥場所の状況を考慮し、利用時期に合せた貯留日数を確保する。

②液肥が使えず、放流が必要な場合

固液分離をおこない、液については浄化処理をおこなう。固形分は堆肥化して有効利用する。



写真 2 機械攪拌式消化槽
Photo 2 Reactor



写真 3 熱交換器
Photo 3 Heat exchanger

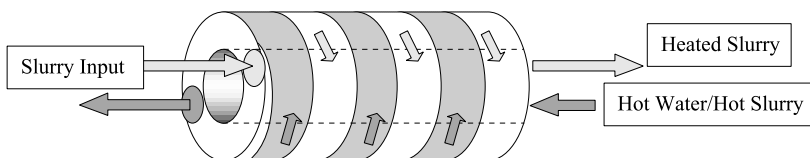


図 4 熱交換器の構造
Fig.4 Construction of heat exchanger

2.2 設備の特長

本方式はヨーロッパにおける多数かつ長期の運転実績（最長18年）に裏付けられた、高い信頼性を持ったシステムである。また実績の多くはデンマークをはじめとする北欧地域にあり、寒冷地での運転信頼性も確保されている。

メタン発酵そのものは一般的な湿式発酵方式であり、発酵温度は投入物の種類に応じて中温ないし高温を採用する。機構的には次の特長を有する。

①機械攪拌式単段消化槽

低動力で内部の混合をおこなうとともにスカムの蓄積を防止する。上下2段のプロペラ攪拌であり、シンプルで信頼性が高い。

写真2に、消化槽の外観を示す。

②独自の熱交換器による高効率スラリー加温

十分な流路断面積を持つスクルー式の熱交換器により、スラリー対スラリーでの高効率の加温を実現する。写真3に熱交換器の外観を、図4に構造を示す。

らせん流による乱流効果で高い伝熱効率を有し、閉塞の心配もない。

③衛生化工程の組み込みによる高い安全性とガス回収量の向上

消化液を液肥ないし堆肥として利用する場合、ヨーロッパでは熱殺菌が義務付けられている。写真4に衛生化タンクの外観を示す。

本方式では、熱殺菌をメタン発酵の前段でおこなうことによって安全性を確保しており、さらに副次的効果として、分解性およびガス回収量の向上を図る。

④全量投入による前処理の簡易化

糞尿のメタン発酵処理では、あらかじめ固液分



写真 4 衛生化タンク
Photo 4 Pasteurization tank

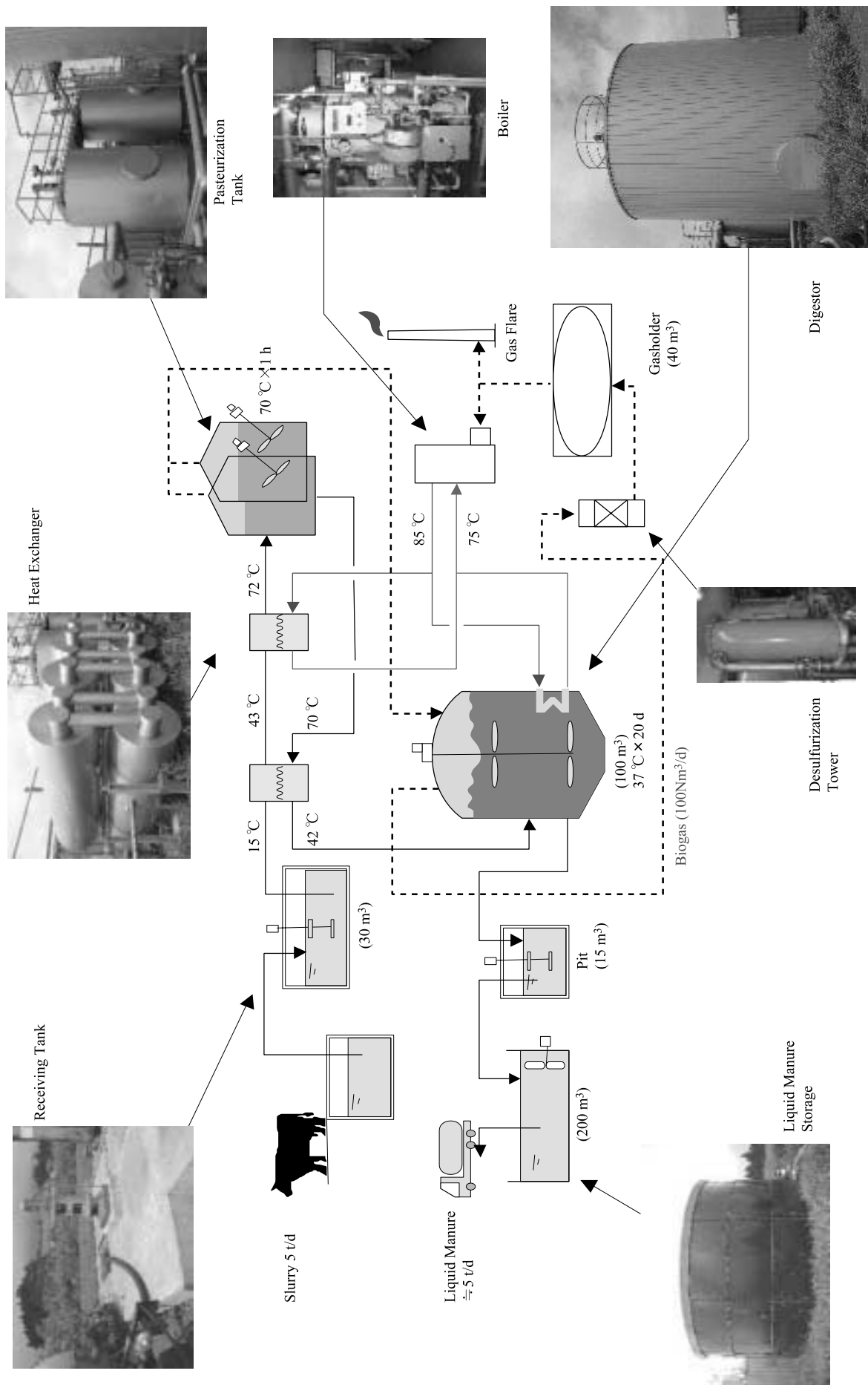


図 5 デモプラントのフロー
Fig. 5 Flow diagram of demonstration plant

離をして液のみ発酵させる方式と直接全量を発酵させる方式があり、前者は処理の煩雑さがネックとなる。

本方式では、インライン破砕機および無閉塞型の熱交換器の採用により、糞尿を分離することなく全量投入することが可能であり、排出側の手間を大幅に簡略化することができる。

3. 上九一色村実証実験

3.1 実験の概要と目的

これまで述べてきたようにピガダン方式はすでに多数の実績を有し、問題なく実地に適用できる技術である。しかし日本国内での技術認知に当っては、国内での実プラント運転実績が重視されることも事実である。

このため、JFE エンジニアリング(株)、日立金属(株)および当社の3社は、日処理量5t/dのデモプラントを建設し、2002~2003年度の予定で国内原料による実証運転をおこなっている。設置場所は、山梨県西八代郡上九一色村である。その全景を写真5に示す。

3.2 装置

図5にデモプラントのフローと概略仕様を示す。規模および対象は次のとおりである。

- ①設備規模：処理量5t/d
消化槽容量100m³
- ②処理対象：牛糞尿混合スラリー
(近隣の牧場より収集)

設備の構成は基本的に前述の図3に示した一般フローに準じているが、テストプラントのため、消化液の後処理は省略している。

設備規模が小さいため、ガス発電設備は設置せず、発生ガスは温水ボイラーの燃料とし、原料の加温に利用する。

消化液はいったん貯留し、液肥として利用する。



写真5 デモプラント
Photo 5 Demonstration plant

貯留日数は40日分である。

3.3 現在までの成果

図6, 7に、実際の運転データを示す。

図6は、投入スラリー量と濃度、ガス量の経時変化を示したものである。当初濃度無調整の糞尿スラリーで開始したが、総固形分(TS)濃度が平均4.5%程度と低めであったため、後半は堆肥を混合してスラリー濃度を高めて投入した。スラリー投入量は5m³/d、滞留時間は20日で、発酵温度は37℃の中温である。

投入濃度アップ以降、ガス発生量は100~120Nm³/dと安定して発生しており、良好な発酵状態を維持できた。

図7は、発生ガス中のメタン濃度、硫化水素濃度、生物脱硫後の硫化水素濃度の経時変化である。

ガス発生量安定後、メタン濃度は60~65%程度で推移しており、ほぼ一般的な指針値どおり³⁾となっていた。

発生ガス中の硫化水素は1000~4000ppmの範囲であり、堆肥投入によるTS濃度調整開始後高くなる傾向がみられた。これは、有機物の分解が進んだものを投入したことにより、投入有機物に対する硫

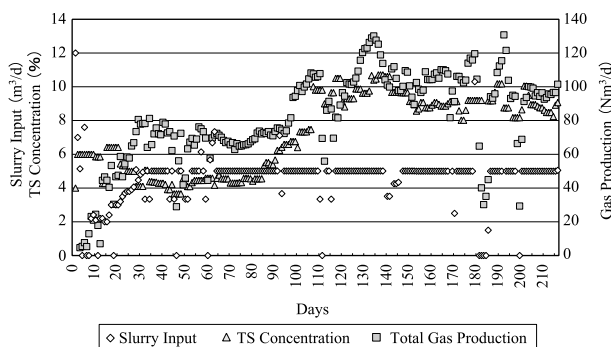


図6 スラリー投入量、TS濃度、ガス発生量の経時変化
Fig.6 Slurry input and gas production

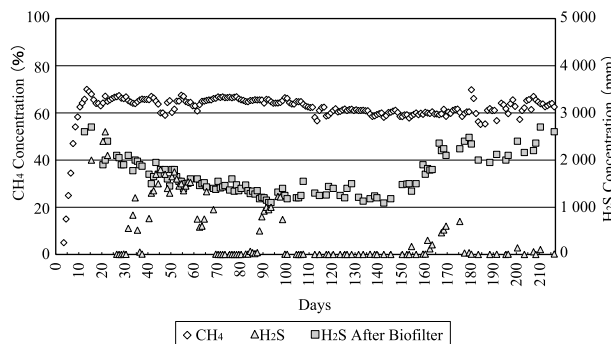


図7 メタンおよび硫化水素濃度の経時変化
Fig.7 Concentration of CH₄ and H₂S

黄濃度が相対的に上がったためと考えられる。

生物脱硫出口の硫化水素濃度は、立上げ直後やメンテナンス時、あるいはデータ採取のため厳しい運転条件に設定した場合を除き、おおむね10 ppm 以下であった。循環水の pH 低下のほか単体硫黄の析出がみられ、硫化水素の除去は、硫酸イオンおよび単体硫黄への酸化反応により起こっていることが確認された。

4. 今後の予定および課題

標準の中温発酵で安定したガス発生が確認できたことと、厳寒期（マイナス13℃）を含む通年の運転実績ができたことにより、日本国内でも問題なく適用できることが立証された。

今後は、さらなる高性能化と、消化液の利用方法に応じた単位プロセスの選択が課題となる。（例として、浄化・放流の場合の衛生化処理省略等）

既に実施した衛生化処理＋中温発酵のデータ採取に引続き、衛生化処理の効果の比較試験、そして消化槽小型化のための高温消化実験などを予定している。

む す び

家畜糞尿のメタン発酵は、エネルギー問題への寄与もあり今後さらに普及が期待される技術である。熱効率が良く、投入時の前処理が不要なビガダン方式は、わが国でのメタン発酵技術普及の一翼を担うに足る方式であると確信する。今後、より一層の技術改良に努め、普及促進を図っていきたい。

実験および発表に当っては、実証実験の共同実施者である JFE エンジニアリング(株)および日立金属(株)、実験場所と原料を提供頂いている小澤牧場、原料を提供頂いている穂野牧場、小林牧場、馬淵牧場の関係者各位に多大なご協力を頂いた。ここに厚くお礼申し上げます。

[参考文献]

- 1) 環境省ホームページ 2000.1.24付報道発表資料
- 2) 農文協編：畜産環境対策大事典，(1995)，p.18，農山漁村文化協会
- 3) 財)畜産環境整備機構：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，(2001)，p.56

連絡先

隅 晃彦 水処理本部
計画部
第2計画室
技術士（水道部門）
TEL 03 - 3459 - 5803
FAX 03 - 3431 - 0904
E-mail a.sumi@pantec.co.jp