

乳牛糞尿の嫌気発酵生成メタンガスの利活用技術（第1報）

北口 敏弘, 岡 喜秋, 浅野 孝幸
 蓑嶋 裕典, 三津橋浩行, 鎌田 樹志
 佐藤 俊明*, 山崎 毅匡*, 濱崎 隆文**
 平川 恵司***, 合田 裕志****

Utilizing technique of generated methane gas by fermenting daily cattle liquid manure (Part 1).

Toshihiro KITAGUCHI, Yoshiaki OKA, Takayuki ASANO
 Hironori MINOSHIMA, Hiroyuki MITSUHASHI, Tatsuyuki KAMADA
 Toshiaki SATO*, Takamasa YAMASAKI*, Takafumi HAMASAKI**
 Keiji HIRAKAWA***, Hiroshi GODA****

抄録

乳牛糞尿の嫌気発酵処理施設より発生するメタンガスを当設備の加温用エネルギー源として有効利用するために発酵液性状、メタンガス発生量、メタンガス組成等を調査し、燃焼試験設備によって燃焼試験を行った。その結果、当施設は他の報告例と同等の適正な処理が行われていること、発生したメタンガスは冬期間においても灯油の代替燃料として十分な量であること、給湯器を用いた燃焼試験では安定した燃焼状態を維持できることを確認した。

1. はじめに

近年、酪農業をとりまく環境は内外ともに厳しさを増しており、北海道においても飼養頭数の増加、集団経営など規模の拡大により低コスト化して国際競争力の増強を図っている。図1および図2に北海道における乳牛の飼養頭数、飼養戸数の推移、一戸当たりの飼養頭数の推移をそれぞれ示す¹⁾。飼養頭数は年々増加し1995年には1960年の約4.8倍、飼養戸数は逆に年々減少し同5分の1以下となっている。その結果、一戸当たりの飼養頭数は増加を続け、この傾向は今後とも進行するものと思われる。このような規模の拡大は排出される糞尿の増加をもたらし、地下水、河川、湖沼などの環境汚染を招くケースも見られる。このため、環境に与える負荷を極力抑えた家畜糞尿の農地還元技術の確立は急務となっ

ている。

富良野市には乳牛糞尿を農地還元する前に、悪臭を軽減し、易分解性有機物の分解を行うために糞尿のメタン発酵処理を行う施設が稼働している。ここでは現在、発生するメタンガ

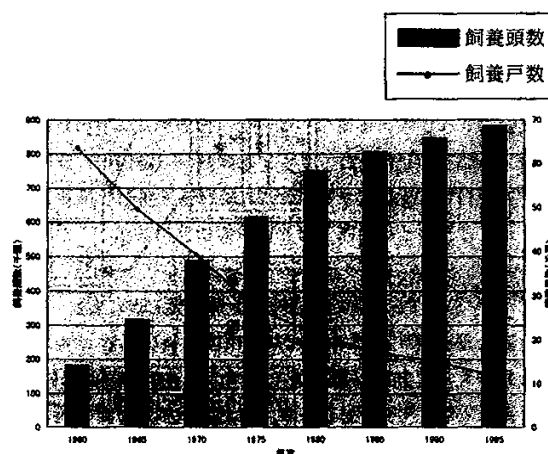


図1 乳牛の飼養頭数・戸数の推移 (北海道)

*道農政部設計課、**上川支庁南部耕地出張所

アド・エンジニアリング(株)、*北海道ガス(株)

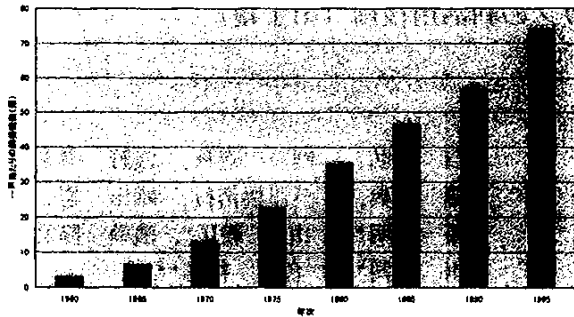


図2 一戸当たりの飼養頭数 (北海道)

スを利用せずにそのまま大気中に放出しているが、地球温暖化への配慮や省エネルギーの見地から当施設のエネルギー源として有効利用することを検討中である。今回メタンガスの発生量、濃度等を調査し、その結果を基にメタンガス有効利用の具体的方法としてメタンガスを燃焼させ、その熱を回収するシステムについて燃焼試験を実施したので、以下に報告する。

2. 調査対象施設の概要および燃焼試験設備

2.1 調査対象施設の概要

(1) 設計諸元

施設の設計諸元を表1に示す。本施設は発酵槽容量を小規模化し、通年安定処理ができるように加温装置を備え、発酵温度 35℃の中温発酵システムを採用している。発酵槽滞留日数は、北見市での実験例では 35~42℃の場合約 1 か月で良好な発酵状態となっていることが報告されていることから、若干の余裕をみて 40 日とした。現在の飼育頭数は約 250 頭である。

本施設のシステムフローを図3に示す。貯留槽、搾液槽、発酵槽は RC 地下層となっている。

(2) 貯留除塵施設

フリーストール牛舎通路から排出される糞尿は、一時的に

表1 設計諸元

糞尿排液量	: 60 kg/頭/日 (TS10%)、洗淨水	: 10 t/頭/日
除塵機分離率	: 液分 70%、固形分 30%、回収率	: 100 %
発酵滞留日数	: 40 日、調整日数	: 150日 (冬期散布不能日数)
飼養頭数	: 360 頭 (成牛換算)、原液量	: 49 kg/頭/日 (分離後)
処理量	: 17.6 m ³ /日	

表2 加温施設

区分	加温方式	熱源(δイ)	摘要
エプロン	床埋設温水管	37.2 kW	エプロンの凍結防止
貯留槽	床埋設温水管	(32,000 kcal/h)	液温 5℃までの昇温・維持
搾液槽	床露出温水管	69.8 kW (60,000 kcal/h)	液温 20℃までの昇温・維持
発酵槽	第1	209.3 kW	液温 35℃までの昇温・維持 熱源は初期立ち上がり分を見込む
	第2	(180,000 kcal/h)	
	第3		

貯留槽に蓄えられ、汲み上げポンプにより除塵機へと移送され、分離したスラリーは搾液槽へ流入する。

(3) 発酵槽

搾液槽より自然流下で第1槽にスラリーが投入される。その後、越流により第2槽、第3槽へと移送され、その間にメタン発酵が行われる。各槽はそれぞれ独立した経路でポンプにより攪拌され、スラリーの混合均一化が行われる。

(4) 調整施設

冬期間の散布不能時に備え、150日分の容量を持つ発酵済みスラリー貯留調整槽が配備されている。

(5) 加温・保温施設

本施設はコールドバーンタイプのフリーストール牛舎であるため、冬期間、糞尿の一部が凍結する可能性があり、また、自然状態では発酵槽温度を 35℃に保つことは困難であることから、各施設には加温および保温(断熱)施設が付加されている。これらの仕様は厳冬期の最大熱負荷を用いて決定されている。貯留、搾液、発酵の各槽の断熱には押し出し発泡ポリウレタンを使い、側壁、底板では t = 50mm、頂板では t = 100mm となっている。加温施設の概要を表2に示す。

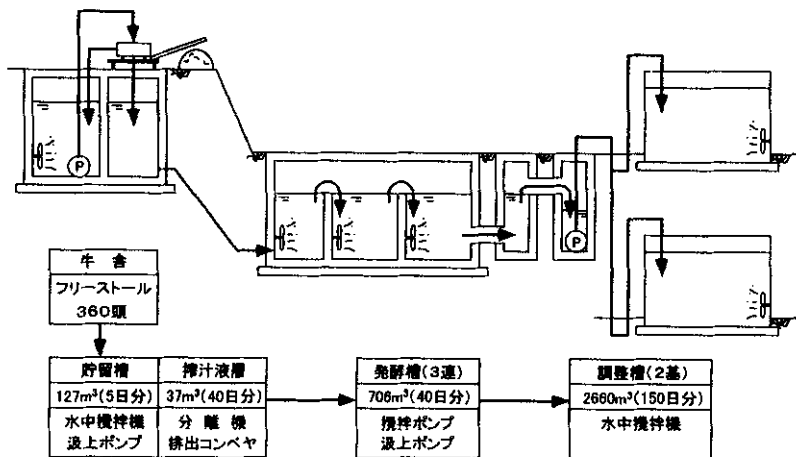


図3 メタン発酵処理フロー

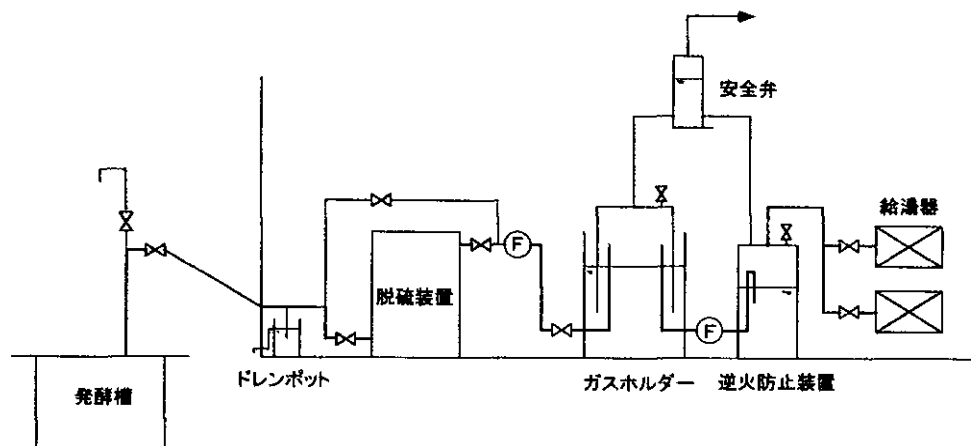


図4 燃焼試験設備系統図

2.2 燃焼試験設備

図4に燃焼試験設備の系統図を示す。発酵槽から発生するメタンガス中には多量の水分が含まれているため、本試験設備はその水分を除去するドレンポット、ガス中の硫化水素を除去するための脱硫設備、一時的にガスを貯留するガスホルダー、逆火防止用の水封装置、最大負荷34.9kW(30,000kcal/h)の給湯器2台より構成される。

な減少はない。アンモニア濃度については含窒素有機化合物の分解に伴い約2倍に増加している。

3. 調査・試験結果および考察

3.1 発酵液の性状

各槽から糞尿、発酵液を月1回定期的に採取し、性状調査を行った。表3にその結果の一部を示す。また、生物化学的酸素要求量(BOD)、揮発性固形物量(VS)についての結果を図5に示す。発酵が順調に行われるpHは7.3~7.6²⁾といわれている。本施設では発酵槽におけるpHが7.8~7.9で、これよりややアルカリ側であるが長期間にわたり安定している。BODは約85%が分解除去されているが、なお約4000mg/l残存しており、通常のばっ気処理ではBOD除去率が容易に90%を越えるのと比較すると、残留有機物濃度は高い。有機物の分解率をVSの分析結果から求めると約40%である。これは乳牛糞尿のメタン発酵処理における他の報告例³⁾にみられる範囲内にあり、本施設では正常に処理が行われていると考えられる。T-Nについては処理過程に伴う濃度変化はほとんどみられず、ばっ気処理のよう

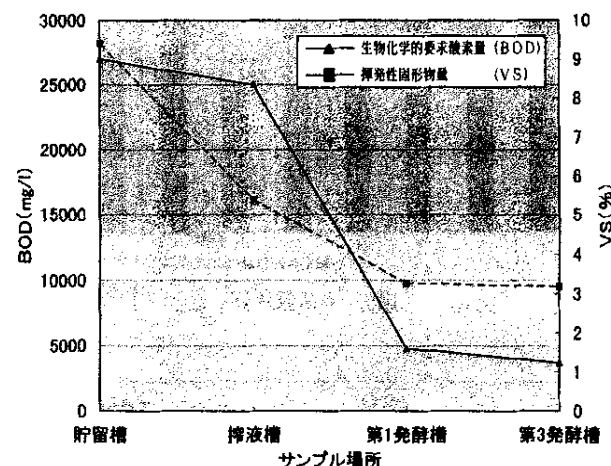


図5 槽別性状調査結果

表3 槽別性状調査結果

	貯留槽	搾液槽	第1発酵槽	第3発酵槽	
pH	-	6.8	7.1	7.9	7.8
生物化学的酸素要求量(BOD)	mg/l	27000	25000	4800	3700
化学的酸素要求量(COD)	mg/l	29000	29000	17000	18000
懸濁物質(SS)	mg/l	78000	32000	24000	21000
全固形物量(TS)	%	11.3	7.31	4.93	4.85
揮発性固形物量(VS)	%	9.40	5.38	3.27	3.19
全窒素(T-N)	ppm	4400	4400	4100	4900
アンモニア態窒素	ppm	1800	2000	2500	3400

3.2 投入有機物負荷

糞尿の投入は1~3日に1回不定期に行っている。1回の投入量は平均で10.4m³/日であった。3.1項での槽別性状調査結果より発酵槽入り口の発酵槽単位体積当たりの揮発性固形物負荷(投入有機物負荷)は0.79kg/m³/日となるが、この値は現在の飼育頭数(250頭)によるものであり、設計飼育頭数(360頭)に換算すると1.14kg/m³/日となる。他の報告事例では投入有機物負荷は0.9~7.0kg/m³/日³⁾⁴⁾であるので、本施設の有機物負荷は比較的低いといえる。

3.3 メタンガス発生量

メタンガスの有効利用を検討するため、発生量の測定を10日間連続して行った。ガス発生量は膜式ガスメータを用い、積算流量値を適宜読みとる方法とサンプリングガス管中のガス流速を連続測定する方法の2方法で測定を行った。連続測定法においては発生ガス量の詳細な変動因子の検討を行

うためメモリ付きのベーン式風速計を用いた。図6に膜式ガスメータによる計測結果を、図7にベーン式風速計による測定結果を示す。

発生量は200~350m³/日とかなり変動があることがわかる。平均では約250m³/日であるが、飼養頭数当たりでは他の報告事例と同等の約1m³/日/頭となる。また、単位投入有機物当たりでは0.36~0.63m³/kg-VS/日であった。

図7に示すようにガス流速の連続測定をすることにより相対的なガス発生量の変動状況がわかる。これより、日単位の緩やかな変動があること、1日に6回ほど鋭いピークがあること、不定期に鋭く大きいピークがあることなどがわかった。前者のピークは発酵槽の攪拌ポンプの作動、後者は糞尿の投入による一時的なガス発生量の増加に対応していると思われる。

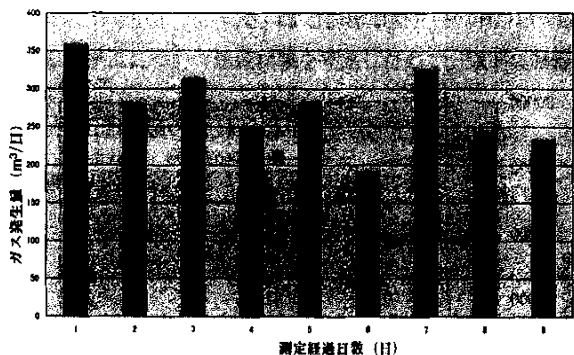


図6 ガス発生量

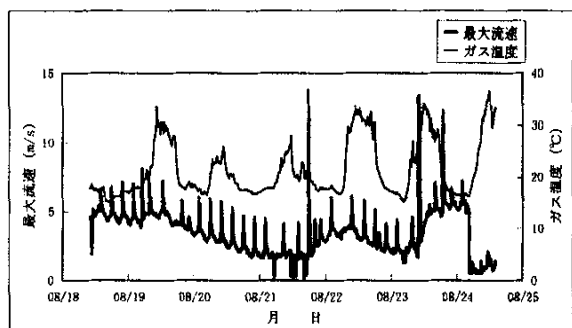


図7 ガス流速の連続測定結果

3.4 発生ガス組成

発生したガスをサンプリングし、メタン、二酸化炭素、酸素、硫化水素の濃度について測定を行った。メタン、酸素濃度については島津社製のポータブルガス(オキシゲン)テスタCGT-10-3A、POT-101を用いて、二酸化炭素、硫化水素については検知管を用いて測定を行った。また、ガスクロマトグラフィーを用いてメタン、二酸化炭素濃度の確認を行った。その結果を有機物負荷、発生ガス量と共に表4に示す。

メタン濃度はガス発生量の変動に関係なく、60%台で安定しており一般的な濃度レベルが維持されていることがわか

った。また、ガスの組成からガスの発熱量は約23.9 MJ/m³(5,700kcal/m³)であった。

表4 ガス組成

	発酵槽 m ³	温度 ℃	有機物負荷 kg-VS/m ³ /日	発生ガス量 m ³ /kg-VS	発生ガス組成			
					CH ₄ %	CO ₂ %	O ₂ %	H ₂ S ppm
本施設	706	35	0.79	0.36~ 0.63	60~ 67	32~ 39	0.2~ 0.4	6000~ 8000

3.5 灯油消費量と発生ガス供給可能熱量

灯油タンクと3台のボイラの間にドリップメータをそれぞれ設置し、1年を通して最も灯油消費量が多いと思われる冬期間に灯油消費量の調査を行った。その結果、12月中旬から1月中旬までの約1か月間における1日当たりの灯油消費量は約99l/日で、発熱量換算では3.42GJ/日(817Mcal/日)であった。

一方、発生ガス量、ガス組成の同時期の調査結果から発生ガスの供給可能熱量を算出すると5.98GJ/日(1.43Gcal/日)となり、冬期間においても施設を加熱するのに使用されている灯油の代替燃料として十分な量であることがわかった。

3.6 燃焼試験結果

図4に示した燃焼試験設備を設置し、発生しているメタンガスを実際に導入、処理し、最もメンテナンス費用の安価と思われる給湯器を用いて燃焼試験を実施した。その結果を図8に示す。図は給湯器1台運転時、給湯器温水出口温度を80℃に設定したときのものであるが、燃焼は約4時間継続され、その間、ガス圧力はやや変動はあるものの平均で約150mmAqで、安定した燃焼状態が得られることを確認した。この燃焼試験の結果により、今後の実用規模メタンガス回収設備の基本的な構成を確認することができた。

4. おわりに

以上をまとめると以下ようになる。

- ・発酵液の性状やメタンガスの発生量等の調査結果から当メタン発酵処理施設が通常の処理状態を維持していると考えられる。
 - ・メタンガスの発生量、組成の調査、および冬期間における灯油消費量の調査結果からメタンガスの発生量は冬期間においても灯油の代替燃料として十分な量であることを確認した。
 - ・燃焼試験の結果、ガス圧力はやや変動があるものの燃焼試験中約150mmAqの圧力が得られ、安定した燃焼状態を維持できることを確認した。
- 今後は本調査・試験で得られた結果を基にランニングコストを極力低く抑えた実用規模のメタンガス有効利用設備に関

し検討を加え、実用設備を用いた長期的な燃焼試験を行っていく予定である。

参考文献

1) 北海道農政部酪農畜産課監修：北海道の酪農・畜産データブック' 96, p40-47, デーリイマン社, (1996)

2) 井出哲夫：水処理工学、技報堂出版（1993）
 3) 高畑英彦：酪農いま環境を考える、p106-113、デーリイジャパン社、（1994）
 4) 本田勝男：畜産の研究、第44巻1号、p198、（1990）
 5) 長野県畜産試験場：平成3年度報告
 6) フジ・テクノシステム：施設農業への新エネルギー利用、p366、（1980）

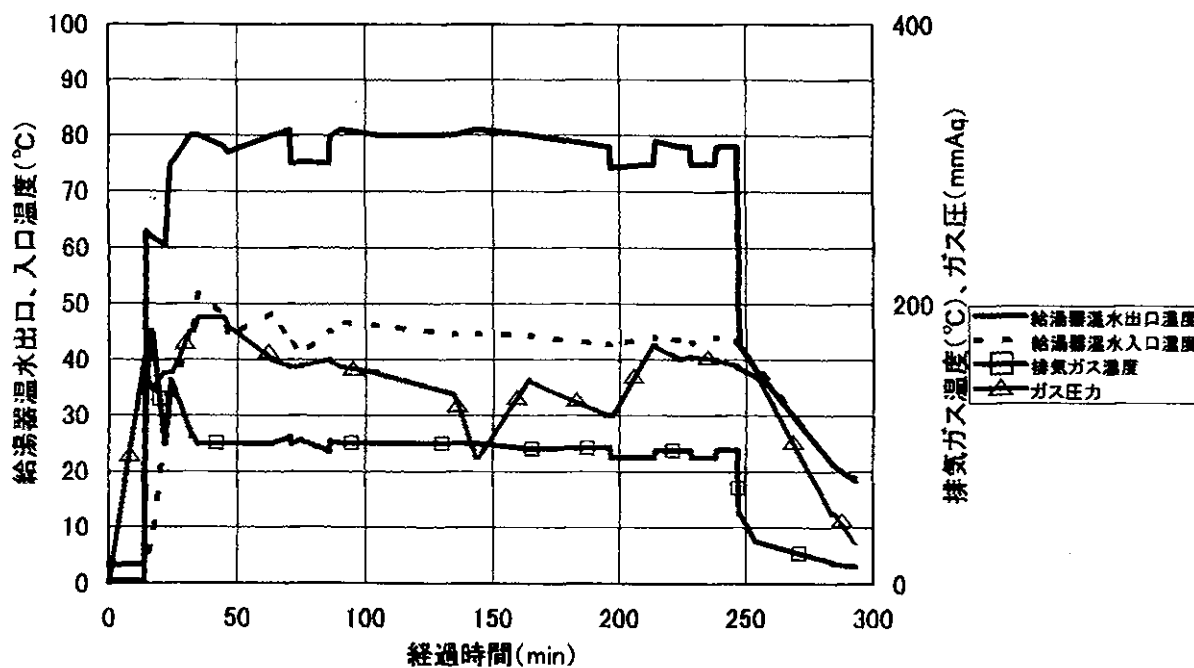


図8 燃焼試験結果