

さらに、これらの数値を金額換算するため、日本政策金融公庫及び国際協力銀行が2010年2月に公表した「排出権価格の見通しアンケートについて」の2011年3月末中央値である2,000円/tをCO<sub>2</sub>排出量取引単価として乗

じた結果、食品残渣投入期間が103,926円、ふん尿のみ期間が67,816円という結果となった。

表10 CO<sub>2</sub>排出量取引換算

試験区分	エネルギー区分	年間計 (kWh) (Mcal)	灯油換算 (L)※2	CO <sub>2</sub> 削減 係数 (kg換算)	CO <sub>2</sub> 削減量 (kg)	CO <sub>2</sub> 排出量 取引単価 (円/t)※1	換算金額 (円)
食品残渣投入期間	発電量	64,354	-	0.357	22,974	2,000	45,949
	熱回収量	101,252	11,549	2.510	28,989	2,000	57,977
	合計	-	-	-	51,963	-	103,926
乳牛 ふん尿のみ 期間	発電量	41,060	-	0.357	14,658	2,000	29,317
	熱回収量	67,235	7,669	2.510	19,250	2,000	38,499
	合計	-	-	-	33,908	-	67,816

※1日本政策金融公庫、国際協力銀行公表「排出権価格の見通しアンケートについて」の2011年3月末中央値

※2灯油熱量=8.767Mcal/L

### 1.3.3 経営試算

2年間の実証データをもとに大まかに試算した結果を表11に示した。

なお、収入の部の消化液販売、食品残渣引取料金、堆肥販売に係る実際に金銭の授受は無いが、試算では販売による収益が見込めるとして金額を計上した。

また、支出の部の人件費については、基本的にセンター内の施設であるため実費は生じないが、管理に係る労働時間の積算時間に日当を乗じた金額を計上した。

また、牛舎内の乳牛を用いた飼養試験等の事情により、実証期間中の平均飼養頭数は46頭と、設計頭数(80頭)に満たなかったため、表12のとおり48頭の数値をもとに設計頭数に換算した。

頭数補正により増減する変動費と固定費的な費目があるが、その補正条件については表に記載してあるとおりの条件で試算した。

ただし、発熱量については、頭数増により生じた余剰熱量を温室の暖房などで自家消費出来ると仮定して試算

した。

80頭規模の酪農家単独で運営するためには、電力買い取り単価の見直しや支出の大部分を占める減価償却費(設置コスト)の低減が必要であると考えられた。

なお、本試算では消化液散布等に係る機械の減価償却費、燃料費等は考慮していないため、生産物の広域流通を想定する場合は、上乘せとなるコストを考慮する必要がある。

また、2年間の実証試験を通して落雷(修理3回)による被害が多く、被雷した場合は金銭面のみならずシステムの停止など深刻なトラブルとなることから、保険の加入や設置場所の検討等、対策が必要であると考えられた。

表 11 食品残渣の有無による収支試算（実証値）乳牛 46 頭

収支	項目	乳用牛ふん+食品残渣			乳用牛ふんのみ			備考
		数量	単価	金額	数量	単価	金額	
収入	発電電力	64,354 kwh	11 円	707,896 円	41,060 kwh	11 円	451,658 円	
	回収熱量 (LPG換算)	101,252 Mcal	430 円	1,814,104 円	67,235 Mcal	430 円	1,204,631 円	LPG1 m3は24Mcalで計算
	消化液販売	1,606 t	1,048 円	1,682,927 円	1,504 t	1,048 円	1,575,920 円	消化液の成分値から金額換算
	食品残渣引取料金	77 t	10,000 円	770,000 円	0 t	10,000 円	0 円	京都府八木町の単価で試算
	堆肥販売	84 t	1,398 円	117,991 円	110 t	1,398 円	154,437 円	堆肥の成分値から金額換算
	合計			5,092,918 円		3,386,646 円		
支出	プラント内消費電力	45,416 kwh	11 円	499,580 円	38,619 kwh	11 円	424,805 円	東電の単価を参考に試算
	プラント内利用熱量 (LPG換算)	101,252 Mcal	430 円	1,814,104 円	67,235 Mcal	430 円	1,204,631 円	LPG1 m3は24Mcalで計算
	脱硫剤 (400kg/袋)	2 袋	105,000 円	210,000 円	2 袋	105,000 円	210,000 円	購入実績
	水道代	466 m3	174 円	81,084 円	214 m3	174 円	37,236 円	那須塩原市の水道単価を参考に試算
	LPG代	80 m3	430 円	34,400 円	1,108 m3	430 円	476,440 円	予算書の単価を参考に試算
	減価償却費			6,607,143 円			6,607,143 円	総合償却期間14年、50%補助で試算
	修繕費			2,775,000 円			2,775,000 円	補助金圧縮前減価償却費の15%で試算
	点検費			2,660,125 円			2,660,125 円	2009、2010年の平均
	人件費	1,148 時間	1,000 円	1,148,000 円	1,148 時間	1,000 円	1,148,000 円	職員の労働時間から算出
		合計		15,829,436 円			15,543,380 円	
差引			▲ 10,736,518 円			▲ 12,156,733 円		

※堆肥搬出、消化液散布等に要する燃料費は計上していない

表 12 食品残渣有りの場合における収支試算（頭数補正）乳牛 80 頭

収支	項目	頭数補正值 (乳用牛ふん+食品残渣)			補正条件
		数量	単価	金額	
条件	頭数	80 頭	—	—	
収入	発電電力	111,920 kwh	11 円	1,231,124 円	頭数に比例するとして補正
	発熱量 (LPG換算)	176,091 Mcal	430 円	3,154,963 円	頭数に比例するとして補正
	消化液	2,793 t	1,048 円	2,926,829 円	頭数に比例するとして補正
	食品残渣引取料金	365 t	10,000 円	3,650,000 円	プラントの最大受入量で補正
	堆肥	147 t	1,398 円	205,202 円	頭数に比例するとして補正
	合計			11,168,118 円	
支出	プラント内消費電力	45,416 kwh	11 円	499,580 円	頭数による増減無しとする
	プラント内利用熱量 (LPG換算)	101,252 Mcal	430 円	1,814,104 円	頭数による増減無しとする
	脱硫剤 (400kg/袋)	3 袋	105,000 円	365,217 円	頭数に比例するとして補正
	水道代	466 m3	174 円	81,084 円	頭数による増減無しとする
	LPG代	80 m3	430 円	34,400 円	頭数による増減無しとする
	減価償却費			6,607,143 円	頭数による増減無しとする
	修繕費			2,775,000 円	頭数による増減無しとする
	点検費			2,660,125 円	頭数による増減無しとする
	人件費	1,148 時間	1,000 円	1,148,000 円	頭数による増減無しとする
	合計			15,984,653 円	
差引			▲ 4,816,536 円		

※堆肥搬出、消化液散布等に要する燃料費は計上していない

## 1.4 環境影響評価

### 1.4.1 臭気発生状況（プラント、堆肥化施設、消化液散布時）

プラントにおける発酵処理過程そのものは、嫌気的条件下すなわち外気から遮断された密閉条件下で行われるため、基本的に臭気は外部に漏れにくい構造となっている。しかし、発酵原料あるいは発酵残渣の出入り口である受入槽や消化液貯留槽、固液分離固分の堆肥化施設には外気へと通じる開口部があり、臭気が発生する可能性があ

ることから、最も臭気が発生すると考えられる攪拌時における臭気発生状況について調査した。

その結果、プラント及び堆肥化施設から発生する臭気は、主に原料受入槽投入口（開口部）や堆肥発酵ハウス内において、アンモニアや硫黄化合物等の臭気を検出された。しかし、プラントから5m以上離れた地点では、季節を通してこれらの臭気成分は検出されなかった。また、堆肥化施設でもハウス外において臭気成分は検出されなかった（表 13）。

表 13 プラント、堆肥化施設における臭気の発生状況

バイオガスプラント、堆肥化施設における臭気の発生状況

臭気測定箇所	アンモニア(臭気強度)				メチルメルカプタン(臭気強度)				硫化水素(臭気強度)				硫化メチル(臭気強度)				二硫化メチル(臭気強度)					
	6月	9月	11月	1月	6月	9月	11月	1月	6月	9月	11月	1月	6月	9月	11月	1月	6月	9月	11月	1月		
	投入口上部10cm	2.4	2.4	—	—	—	—	—	2.7	5.0	5.0	—	1.1	—	—	—	2.4	—	—	—	—	
バイオ ガスプ ラント	受入槽	投入口槽内30cm	—	3.2	2.4	2.4	—	—	—	—	—	5.0	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	(攪拌時)	建物外部3m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		建物外部5m	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	殺菌槽	蓋解放上部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.1	—	5.0	—	—	—	—	—	—	—	—
	消化液貯留槽	上部	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3.6	—	—	—	—	—	—	—	—
堆肥化施設	攪拌部上部10cm	3.5	4.1	1.9	2.9	—	3.8	—	—	2.7	1.3	—	—	—	3.0	—	—	—	—	—	—	
	換気窓外50cm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

※調査日は2009/6/2、2008/9/10、2009/11/27、2009/1/22に実施した。 ※—:N.D

※アンモニアはガス検知管、硫黄化合物はガスクロマトグラフで濃度を測定し、次式により臭気強度(0~5)に換算した。

アンモニア  $Y=1.67\log X+2.38$     硫化水素  $Y=0.950\log X+4.14$     メチルメルカプタン  $Y=1.25\log X+5.99$   
 硫化メチル  $Y=0.78\log X+4.06$     二硫化メチル  $Y=0.985\log X+4.51$

プラントから発生する発酵残渣の大部分はメタン発酵消化液として排出され、有機質肥料として利用が可能であるが、ほ場散布時における臭気の発生が懸念される。そこで、ポンプタンカを使ってメタン発酵消化液を飼料畑に散布したときの臭気発生状況について調査した。その結果、散布直後では、いずれの調査時期でもほ場の牧草上でアンモニアと硫化水素が検出されたが、那須塩原市黒磯地区において岡本ら(栃木県畜産試験場)が行っ

たスラリー散布時の臭気調査結果(アンモニア4.2、硫化水素5.0)と比較して低い数値であった<sup>5)</sup>。また、敷地境界線上ではアンモニアは非検出であり硫化水素も弱い臭いであった(表14)。

これらの結果から、プラントを畜産農家のふん尿処理施設として評価すれば、臭気の発生が極めて少ない優れたシステムであると言える。

表 14 メタン発酵消化液散布時における臭気の発生状況

臭気測定箇所	アンモニア(臭気強度)		メチルメルカプタン(臭気強度)		硫化水素(臭気強度)		硫化メチル(臭気強度)		二硫化メチル(臭気強度)	
	9月	1月	9月	1月	9月	1月	9月	1月	9月	1月
	飼料畑 (牧草上)	2.6	2.4	—	—	3.5	3.4	—	—	—
敷地境界 (地上100cm)	—	—	—	—	1.4	2.1	—	—	—	—

※調査日は2008/9/10、2009/1/22に実施した。 ※—:N.D

※アンモニアはガス検知管、硫黄化合物はガスクロマトグラフで濃度を測定し、上表と同様に臭気強度(0~5)に換算した。

#### 1.4.2 従来のふん尿処理方法との温室効果(CO<sub>2</sub>)ガス発生量の比較

「バイオマスの利活用に関する政策評価書」(総務省)のCO<sub>2</sub>削減に関する試算方法のうち「試算A」の方法を参考に従前との比較を行った<sup>6)</sup>。具体的には、一般的なロータリー攪拌装置を備えた強制発酵施設を従前の方法とし、この強制発酵施設を稼働するために必要な外部投入化石エネルギーから、プラントの稼働に必要な投入化石エネルギーを差し引いた数字をCO<sub>2</sub>の削減量とした。

ただし、購入電力についてはマイナス、すなわち余剰電力となり、本来の方法ではゼロで計算すべきであるが、外部からの購入電力由来CO<sub>2</sub>が削減されることから、考慮

して計算することにした。

なお、従前の処理施設で使用する購入電力については、県内の酪農家4戸(飼養頭数:成牛29~69頭)から聞き取り調査した電気料金の平均を12.93円/kWh(東京電力季節単価の平均)で除して求めた。

また、ふん尿から発生するCO<sub>2</sub>については、資源循環の中で増減がない(カーボンニュートラル)という観点から値として考慮しないこととした。

その結果、食品残渣投入の有無にかかわらず、従前のふん尿処理施設と比べ、化石エネルギーベースのCO<sub>2</sub>の発生量は低く抑えられることが明らかとなった。

さらに、表には示していないが、本来は焼却処理とな

っていた食品残渣由来CO<sub>2</sub>削減量を考慮した場合、プラントはCO<sub>2</sub>排出抑制という観点から有効な処理施設であると言える。

表 15 従来のふん尿処理方法とのCO<sub>2</sub>発生量の比較

比較対象	項目	食品無	食品有	備考
従前の処理方法によるCO <sub>2</sub> 排出量(A) ※1	数値	32,843	32,843 ①	
	CO <sub>2</sub> 換算	11,725	11,725 ②=①×0.357kg/kWh ※2	
当該施設におけるCO <sub>2</sub> 排出量(B)	数値	▲ 2,441	▲ 18,938 ③=④-⑤	
	購入電力(kWh)	38,619	45,416 ④	
	使用電力(kWh)	41,060	64,354 ⑤	
	発電電力(kWh)	1,036	80 ⑥	
	購入LPG(m <sup>3</sup> )	▲ 872	▲ 6,761 ⑦=③×0.357kg/kWh	
	CO <sub>2</sub> 換算	6,836	525 ⑧=⑥×6.6kg/m <sup>3</sup> ※3	
購入LPG(kg-CO <sub>2</sub> )	5,761	17,960 ②-(⑦+⑧)		
CO <sub>2</sub> 削減量(A-B)				

※1 従来の処理方法は、4戸の農家(ロータリー攪拌施設)からの聞き取り調査の平均値  
 ※2 CO<sub>2</sub>換算係数(発電)  
 ※3 CO<sub>2</sub>換算係数(LPG)

## 2. 投入原料の検証

### 2.1 豚舎汚水の実機投入試験

センター内の豚舎から排出される汚水(豚尿、豚舎洗浄水等)1.8 m<sup>3</sup>/日(バキュームカー1台分)の豚舎汚水をプラント実機の原料として投入し、設備への影響、ガスの発生効率、消化液の性状について検証した。

1.8 m<sup>3</sup>/日(バキュームカー1台分)の豚舎汚水をプラントの原料として年間を通じて投入し、設備への影響、ガスの発生効率、消化液の性状について検証した結果、投入原料全体の水分は2015年度の平均が91.9%に対し、2017年度は93.7%と水分率が高くなっていた(図16)。

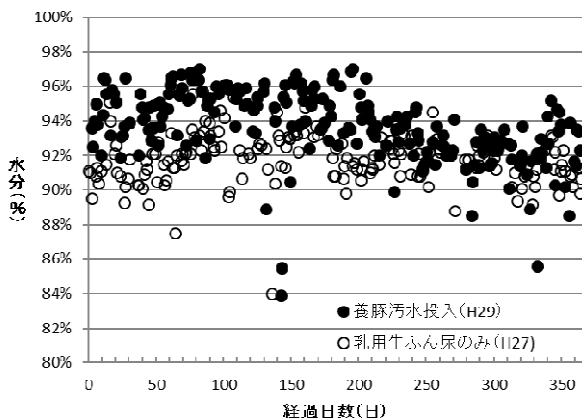


図 16 投入原料の水分

消化液のpHは、H27年度の平均7.85に対し、H29年度は7.56と若干低い値を示した(図17)。また、消化液の

酸化還元状態を示すORPはH27年度の平均-321mVに対し、H29年度は-351mVと若干低い値を示した(図18)。バイオガス発酵槽内の状態を示す指標となる消化液のpH、ORPとも、若干値に変動はみられたが養豚汚水の投入有無にかかわらず適正な範囲であった。

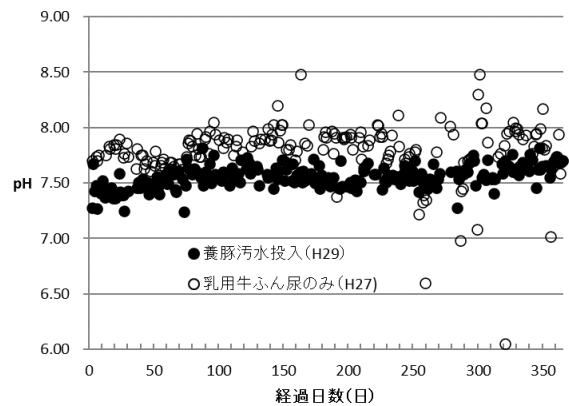


図 17 消化液のpH

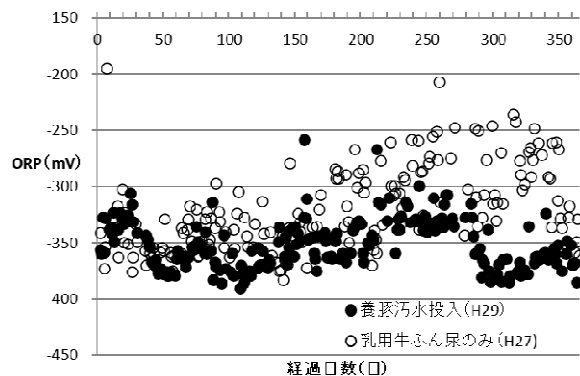


図 18 消化液のORP

バイオガス発生量は、乳牛飼養頭数の変動もあり、H27年度の平均80Nm<sup>3</sup>に対し、H29年度は78Nm<sup>3</sup>と若干低い値を示した(図19)。

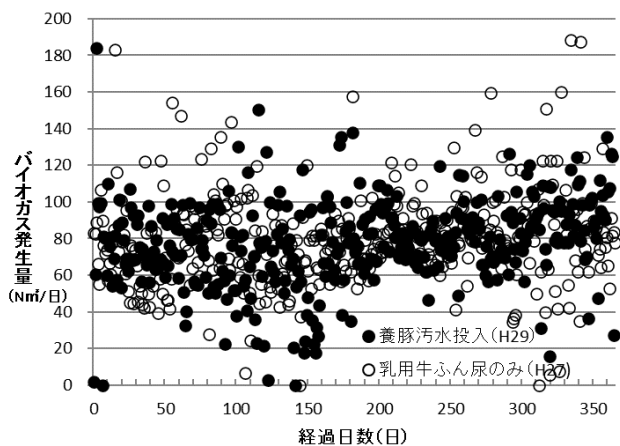


図19 バイオガス発生量

## 2.2 肉用牛ふん尿の実機投入試験

肉用牛ふん尿をプラントの原料として投入し、設備への影響、ガスの発生効率、消化液の性状について検証した。

0.3 m<sup>3</sup>/日の肉用牛ふん尿を約40日間プラントの原料として投入した結果、通常している投入量(乳牛50頭分のふん尿)の10~20%程度の投入量であれば、投入原料全体の水分変動も少なく、長物(乾草等)等による水中ポンプへの負担も生じなかった(図20)。また、発生ガス量や消化液の性状についてもほとんど変化はなかった。

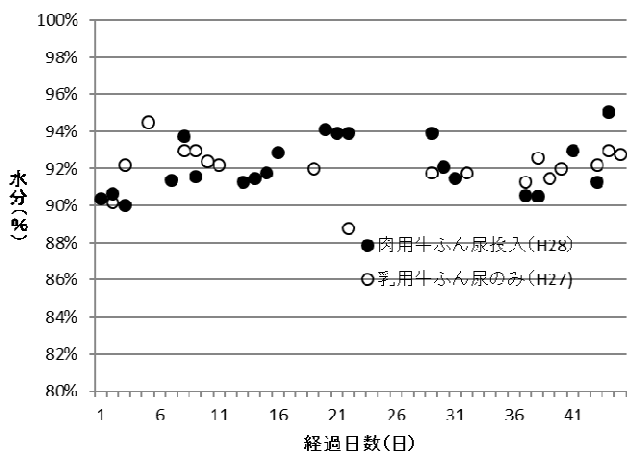


図20 投入原料の水分

## 2.3 小型実験装置による未利用バイオマス添加効果の検証

未利用バイオマスとして、ホテルの厨房で発生する食品残渣、漬け物工場の野菜くず搾り汁及び製紙工場のパルプ粕の3種類を小型メタン発酵試験装置(図21)に原料として投入した。

食品残渣は有機物量が多いため乳牛ふん尿に重量比で6%、野菜くず搾り汁は重量比20%及びパルプ粕は有機物比20%をそれぞれ乳牛ふん尿に添加して試験区とし、乳牛ふん尿のみを対照区として、それぞれ2週間にわたりバイオガス発生量等を調査した。なお、実験装置の発酵槽温度は36°Cに設定し、1日1回同時刻に、発酵槽発酵液量の2.7%量を抜取り、同量の試験区液及び対照区液を新たにそれぞれの発酵槽に投入した。

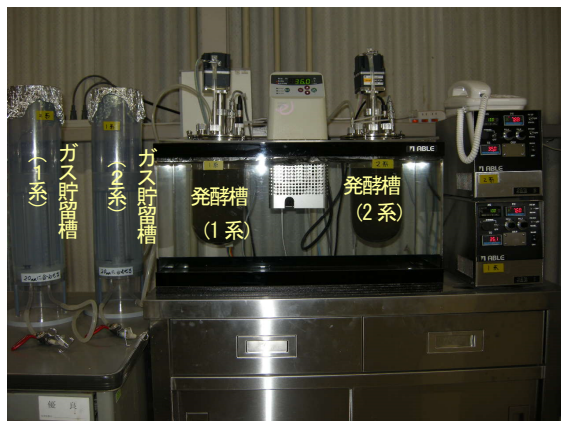


図21 小型メタン発酵試験装置

試験期間中、食品残渣添加区では、対照区に比べ116~180%、平均で140%のバイオガスが発生した。また、メタン濃度は対照区の65%程度に比べ若干低く60%程度となったが、乳牛ふん尿への食品残渣の添加により、発電に利用可能なバイオガス量が大幅に増加した(図22)。

野菜くず搾り汁添加区及びパルプ粕添加区の試験期間中の平均バイオガス発生量は、対照区比でそれぞれ77%及び91%であった。また、メタン濃度はそれぞれ55%程度及び50%程度で、対照区に比べ劣る成績だった(図23、24)。このことから、野菜くず搾り汁及びパルプ粕の乳牛ふん尿への添加は、発電に利用可能なバイオガス発生量の増加につながらなかったことがわかった。

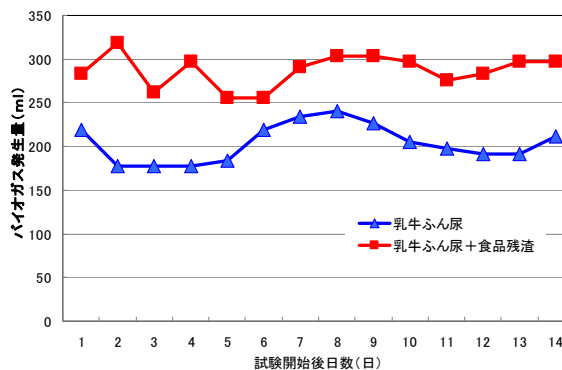


図22 食品残渣添加時のバイオガス発生量

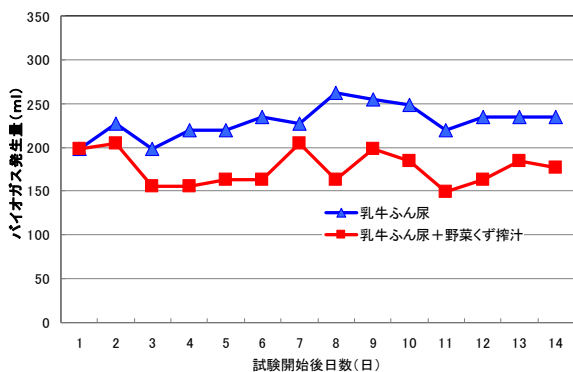


図 23 野菜くず搾汁添加時のバイオガス発生量

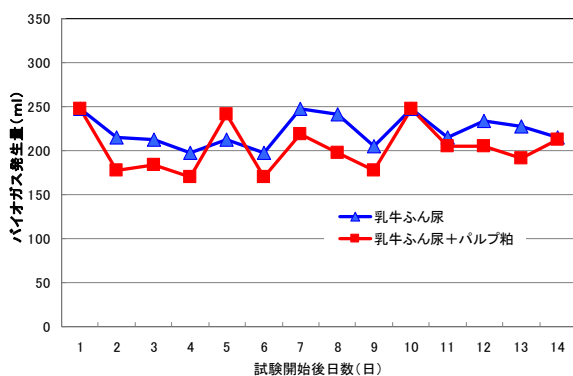


図 24 パルプ粕添加時のバイオガス発生量

#### 2.4 小型実験装置による廃食用油添加効果検証

メタン発酵小型実験装置にプラント発酵槽から引き抜いたメタン発酵消化液 1,500mL を投入し、発酵温度が 36°C に保たれるよう加温の上、毎日、同時刻にプラントの固液分離液と使用済み廃食用油を注入した。小型実験装置の発酵槽から毎回 50mL の消化液を引き抜いた後、50mL の新鮮な原料を注入し、ガスの発生量、ORP、pH について調査した。なお、廃食用油は一般家庭で天ぷらの調理などに使用したものを扱い、容積ベースで投入原料の 2% 相当を投入した。

小型実験装置を用い、廃食用油の添加効果を検証した結果、投入原料の 2% 添加でガスの発生量は 10 日間の合計で 1.4 倍に増加した (図 25)。

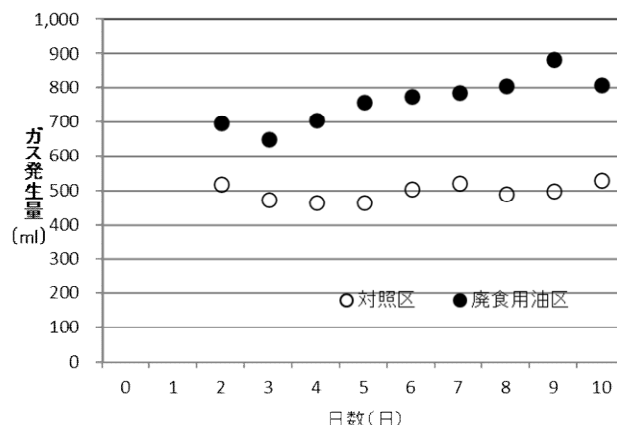


図 25 廃食用油添加時のガス発生量

#### 2.5 小型実験装置によるバイオディーゼル燃料(BDF)生成残渣(グリセリン)投入効果検証

メタン発酵小型実験装置にプラント発酵槽から引き抜いたメタン発酵消化液 1,500mL を投入し、発酵温度が 36°C に保たれるよう加温の上、毎日、同時刻にプラントの固液分離液と BDF 生成残渣であるグリセリンを注入した (図 21)。小型実験装置の発酵槽から毎回 50mL の消化液を引き抜いた後、50mL の新鮮な原料を注入し、ガスの発生量、ORP、pH について調査した。

なお、グリセリンは栃木県北部 N 町 BDF プラントのものを扱い、容積ベースで投入原料の 2% 相当を投入した。

その結果、投入原料の 2% 添加でガスの発生量は 10 日間の合計で 1.5 倍に増加した (図 26)。また、懸念された pH 等についても対照区と大きな遜色は見られなかった (図 27)

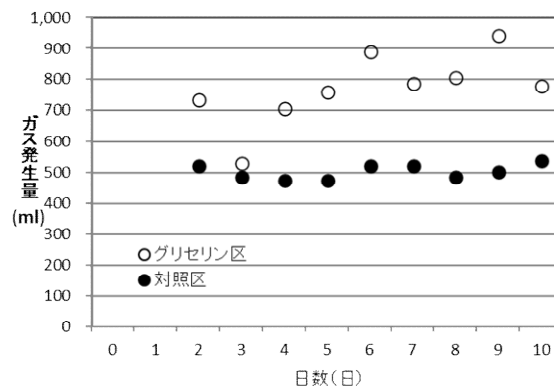


図 26 グリセリン添加時のガス発生量

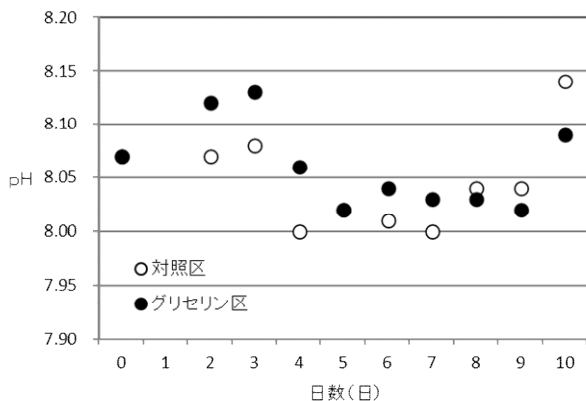


図 27 グリセリン添加時の pH の変化

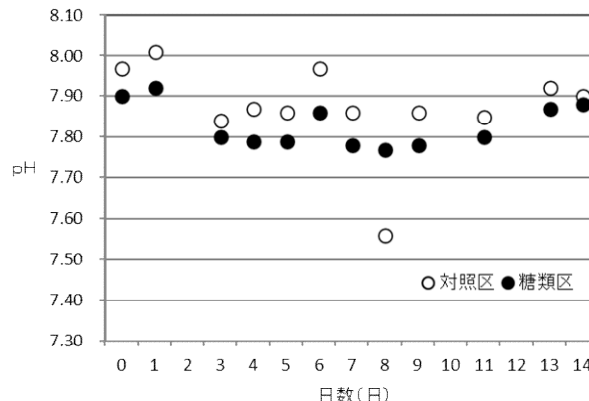


図 29 糖類添加時の発酵槽内 pH

### 2.6 小型実験装置による糖類添加効果検証

メタン発酵小型実験装置にプラント発酵槽から引き抜いたメタン発酵消化液 1,500mL を投入し、発酵温度が 36°C に保たれるよう加温の上、毎日、同時刻にプラントの固液分離液と 8% 糖類 (ブドウ糖) 水溶液を注入した (図 21)。小型実験装置の発酵槽から毎回 50mL の消化液を引き抜いた後、50mL の新鮮な原料を注入し、ガスの発生量、ORP、pH について調査した。

なお、糖水溶液は活性汚泥浄化槽の活性化資材として県内の事業者が試作した固形資材 (280g/個) を 8% の水溶液にし、重量比で 1% 相当を注入した。

その結果、投入原料あたり 1% の糖類投入により、ガスの発生量は 1.2 倍に増加し、pH、ORP 値にも影響は見られなかったが、実機に毎日投入するふん尿量の 1% は 50kg (製品 178 個分) に相当するため、有償の資材としてコスト的には厳しいと考えられた (図 28~30)。

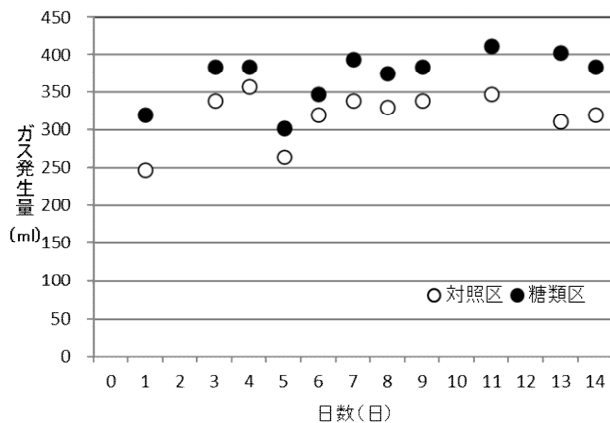


図 28 糖類添加時のバイオガス発生量

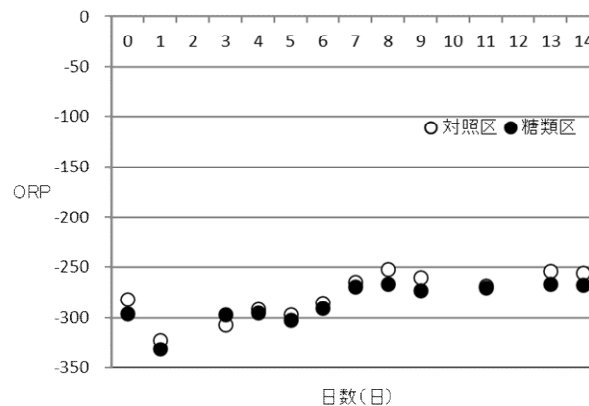


図 30 糖類添加時の発酵槽内 ORP (酸化還元電位)

### 3. 運転管理技術等の検証

#### 3.1 高温メタン発酵運転の検証

バイオガスプラントの高温発酵条件における運転をシミュレーションするため、小型メタン発酵試験装置を用い、高温 (55°C) 条件下でメタン発酵試験を実施した。

プラント発酵槽から引き抜いた中温 (36°C) メタン発酵消化液 1,500mL を小型メタン発酵試験装置 (発酵槽容積 2L) に入れ、毎日 2°C ずつ、高温 (55°C) 発酵条件まで発酵槽を加温した (図 21)。また、小型実験装置の発酵槽から毎回 50mL の消化液を引き抜いた後、50mL の新鮮な原料を注入し、ガスの発生量、ORP、pH について調査した。

その結果、昇温開始 1 週間後からガス発生量は 55°C 到達まで減少を続けたが、55°C 到達 3 日後からは再度ガス発生量が増加に転じた。その後、1 週間程度でガス発生量が最大 (586mL) となった後、昇温前のガス発生量で横ばいとなった (図 31)。

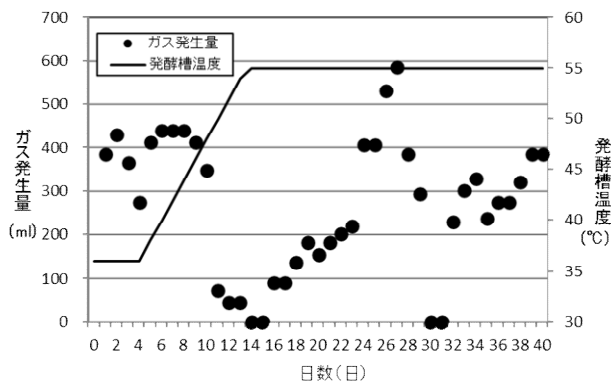


図31 発酵槽の昇温によるバイオガス発生量の推移

なお、pHは55°C到達直後から低下し、一週間程度で最低値(7.9)を示した後、昇温前の値で横ばいとなった(図32)。また、ORPは試験開始後、から徐々に低下し、-350 mV付近で横ばいとなった(図33)。pH、ORPとも変動はみられるが、値は適性範囲であった。

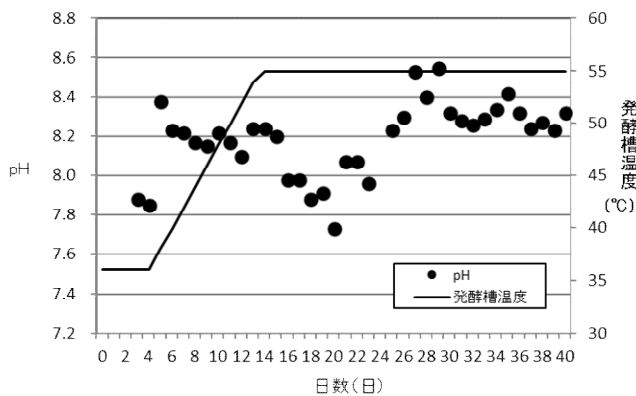


図32 pHの推移

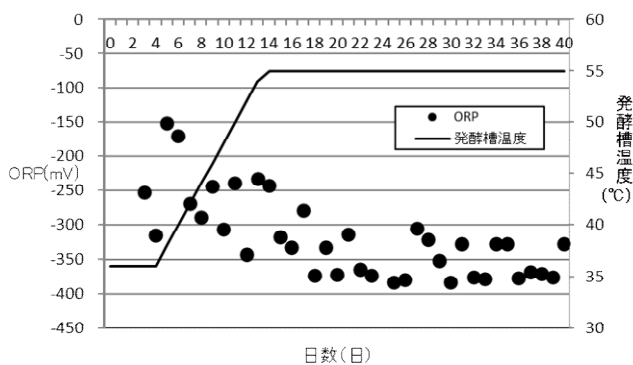


図33 ORPの推移

### 3.2 メタン発酵残渣消化液のリサイクル利用効果検証

センターのプラントは施設の制約もあり、実態として有機物負荷が  $1\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$  以下であるため、中温メタン発酵の適正負荷とされる  $2\sim 3\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{日}$  に比較して低負荷運転となっている。

当該プラントは、投入原料である乳牛ふん尿の希釈液として消化液を再利用することで発酵槽の有機物負荷を向上させることができる仕様となっていることから、消化液のバイオガス発生量を検証するため、小型メタン発酵試験装置に消化液殺菌槽から引き抜いたメタン発酵消化液を投入し、ガスの発生量等について調査した。

発酵槽容積 2,000mL のメタン発酵小型実験装置(図21)にプラント発酵槽から引き抜いたメタン発酵消化液(対照区)並びに消化液殺菌槽から引き抜いたメタン発酵消化液(試験区) 1,500mL を投入し、発酵温度が  $36^\circ\text{C}$  に保たれるよう加温の上、12日間にわたり、ガスの発生量及びORP、pHについて調査した。

その結果、消化液は発酵槽投入原料液の7割程度のガス発生能力を有しており、消化液のリサイクル利用はガス発生量増加に有効であると考えられた(図34)。

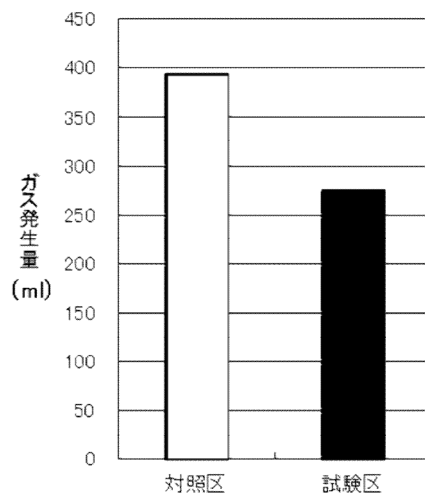


図34 発酵槽消化液(対照区)及び殺菌槽消化液(試験区)のガス発生量

### 3.3 膜分離による消化液の濃縮技術の開発

消化液の液肥利用効果を高めるため、プラントの殺菌槽から引き抜いたメタン発酵消化液を、(財)畜産環境整備機構畜産環境技術研究所が作成した膜分離(MF膜)試験装置により、有機物の濃縮物と膜透過液に分離した。

その結果、小型透過膜(面積  $0.4\text{ m}^2$ 、処理速度  $4.3\text{ mL}/\text{min}$ )により、単位容積当たりの成分濃度を1.98倍に濃縮することができた。これらの試験結果については「メタン発酵消化液の濃縮・改質による野菜栽培利用



マニュアル」として畜産環境整備機構から印刷物としてとりまとめられた<sup>7)</sup>。

#### 4. バイオガスプラントから発生する温室効果ガスの検証 4.1 メタン発酵投入原料固液分離残渣の堆肥化過程で発生する温室効果ガス

牛舎から排出されるスラリー状の乳牛ふん尿等をスクリープレス式固液分離機（1mmメッシュ）に投入し、得られた固形分（水分74.3%）を堆肥舎で切り返し作業を行い堆肥化過程で発生する温室効果ガス（CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O）及びNH<sub>3</sub>を測定した。なお、固液分離で得られた液分はメタン発酵原料として利用されるが、液分の液肥化過程で発生する温室効果ガスについては別途検証する（図35）。対照区は、同一のふん尿をオガで水分調整（水分73.1%）して堆肥化し、同様に発生ガスを測定した（表16）。また、温室効果ガスの測定は、可動式のビニルハウス型チャンバー（縦2m×横2m×高さ2.5m）で堆肥全体をカバーした後、内部の空気を通気吸引し、光音響マルチガスモニタで2014年5月20日から57日間測定した（図36）。堆肥中の全窒素、有機物量等の性状については、切り返し作業時に試料を採取し、常法に従って分析した。

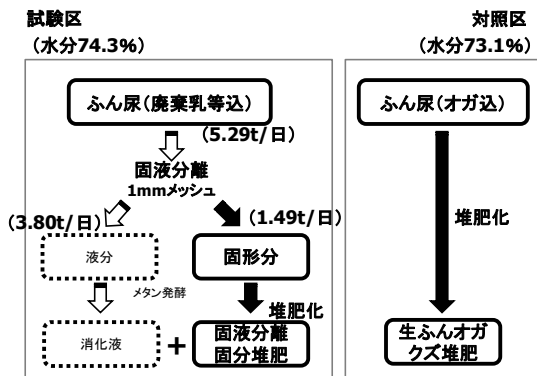


図35 ふん尿処理のフロー及び試験区の設定

表16 堆肥化原料の性状

項目	対照区（ふん尿＋オガ）		試験区（分離固分）
	内ふん尿		
供試量(kg)	1322	979	693
		(0.35日分)	(0.47日分)
TS(g/kg)	269	139	257
VS(g/kg)	252	121	242
TN(mg/kg)	3850	5,140※	2825

TS: 固形物濃度 VS: 有機物濃度 TN: 全窒素  
 ( ) 内は1日当たり畜舎からのふん尿排出量に占める比率  
 ※試験期間と異なる期間中に採取したサンプルの分析値

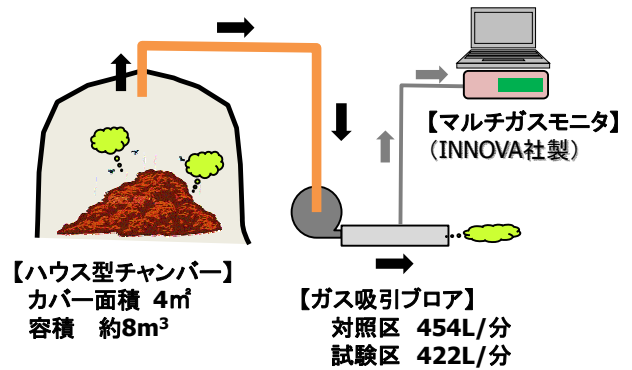


図36 温室効果ガス測定装置の概要

堆肥化発酵温度の推移は図37のとおり。CH<sub>4</sub>ガスは対照区の初期切り返し時に発生量が多く、試験区の発生量は少量であった（図38）。また、NH<sub>3</sub>ガスもCH<sub>4</sub>ガスと同様、対照区で初期切り返し時に発生量が多く、硝酸化成過程で発生するN<sub>2</sub>Oガスは、対照区でアンモニア発生後（1～2週目）の3～4週目の切り返し時にガス発生量が一時的に増加した（図39、40）。

測定期間中、固液分離固形物の堆肥化時に現物1t換算でCH<sub>4</sub>、NH<sub>3</sub>、N<sub>2</sub>Oのいずれも、通常の堆肥化処理（対照区）における1tあたりガス発生量よりも低い値であった（表16）。また、ふん尿の固液分離処理によりN<sub>2</sub>O及びNH<sub>3</sub>ガスのCO<sub>2</sub>換算値が顕著に低い値となった（表17）。

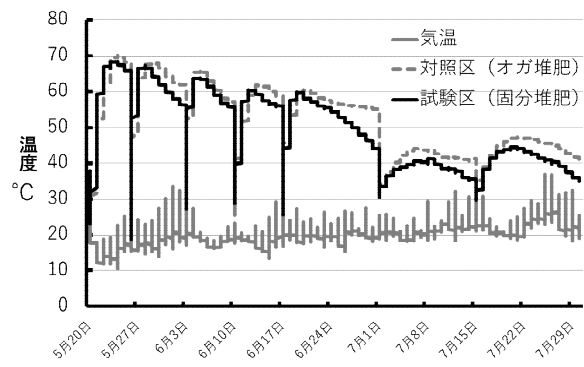


図37 堆肥化発酵温度の推移

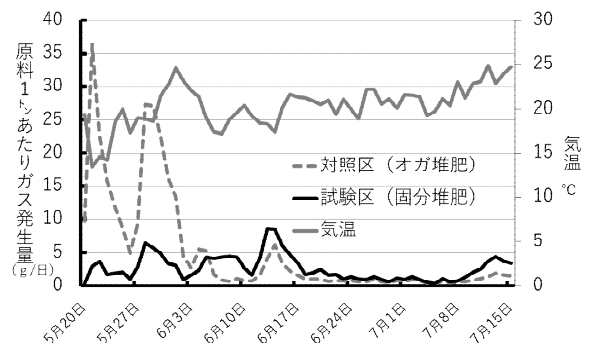


図38 CH<sub>4</sub>ガス発生量の推移

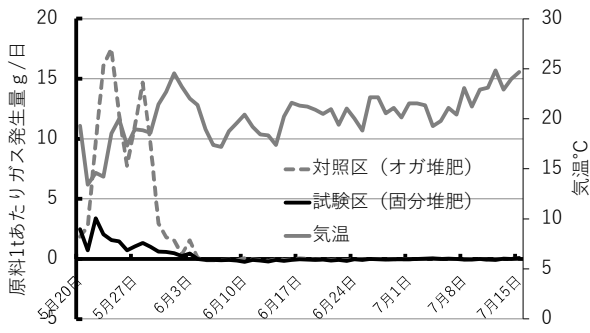


図 39 NH<sub>3</sub> ガス発生量の推移

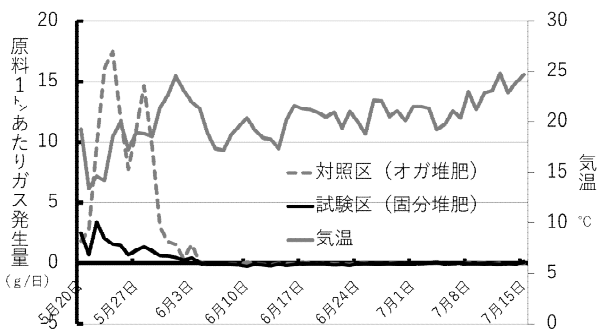


図 40 N<sub>2</sub>O ガス発生量の推移

表 17 温室効果ガス等発生量

ガスの種類 (CO <sub>2</sub> 換算係数)	対照区(オガ堆肥)		試験区(固分堆肥)	
	実量	CO <sub>2</sub> 換算	実量	CO <sub>2</sub> 換算
NH <sub>3</sub>	0.11	-	0.02	-
N <sub>2</sub> O (310)	0.09	27.94	0.02	4.80
CH <sub>4</sub> (21)	0.29	6.16	0.15	3.19
合計	-	34.10	-	7.99

(単位kg/t、平均気温21.0°C)

表 18 温室効果ガス排出係数

ガスの種類	対照区 (オガ堆肥)	試験区 (固分堆肥)
NH <sub>3</sub> -N/ TN (%)	2.35	0.45
N <sub>2</sub> O-N/ TN (%)	1.49	0.35
CH <sub>4</sub> / VS (%)	0.12	0.06

表 19 製品堆肥の性状

分析値	対照区	試験区
TN(mg/kg)	4,881	6,887
VS(g/kg)	306	269
TS(g/kg)	337	306

TN: 全窒素、VS: 有機物濃度、TS固形物濃度

#### 4.2 メタン発酵消化液貯留時に発生する温室効果ガス

メタン発酵消化液貯留槽から発生する温室効果ガスを測定するとともに消化液の化学性状について調査した。温室効果ガス (CH<sub>4</sub>、CO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O) 及びNH<sub>3</sub>は、貯留されたメタン発酵消化液上に浮かべたドーナツ状チャンバーの接続チューブからガスを通気吸引し、光音響マルチガスモニタで測定するシステム (湊ら 2012) を用いて 2013 年 10 月 14 日～25 日に測定した (図 41)<sup>8)</sup>。なお、消化液貯留槽 (直径 15.4m×深さ 5.28m) の測定時における貯留量は約 50%であり、消化液等の化学性状については常法で分析した。

消化液貯留槽単位面積当たりの温室効果ガス発生量 (平均気温 15.8°C) は、いずれも、これまでに報告されている乳牛スラリー貯留槽の排出量よりも低い値<sup>8)</sup>であった (表 20)。また、時刻別の温室効果ガスの発生では、チャンバー内温度が上昇する昼間にガス発生量も増加していた (図 42)。投入原料である固液分離液、メタン発酵直後の消化液殺菌槽液、消化液貯留槽液の化学性状は表 21 のとおり。ガス発生量が少ない理由としては、処理スラリーの有機物濃度 VS が低いこと、消化槽の滞留 (処理期間) が、比較的長い 40 日であることなどが考えられる。

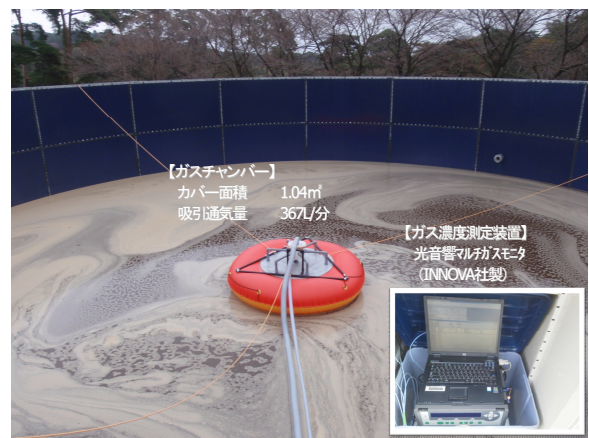


図 41 消化液貯留槽に設置した温室効果ガス回収チャンバー及び測定装置 (左下)

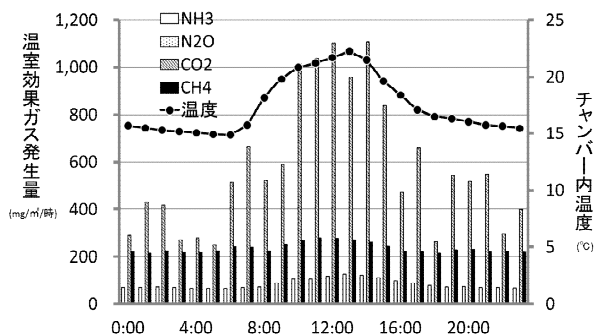


図 42 消化液貯留槽における温室効果ガス発生の日変動

表 20 メタン発酵処理とスラリー処理時における温室効果ガス等の発生量比較 (単位 g/m<sup>3</sup>/日)

ガスの種類 (CO <sub>2</sub> 換算係数)	メタン発酵処理		スラリー処理	
	実量	CO <sub>2</sub> 換算	実量	CO <sub>2</sub> 換算
NH <sub>3</sub>	1.94	-	0.73	-
N <sub>2</sub> O(310)	0.03	8.3	0.07	21.1
CO <sub>2</sub> (1)	13.50	13.5	274.00	274.0
CH <sub>4</sub> (21)	5.60	117.6	54.20	1,138.2
合計	-	139.4	-	1,433.3

※北海道東部地区150頭規模経営の秋期(11.3℃)測定値(湊ら.2012)

表 21 メタン発酵消化液の化学性状

項目	原料固液分離液 (原料)	消化液殺菌槽液 (発酵直後)	消化液貯留槽液 (長期貯留)
pH	6.98	8.08	8.00
ORP(mV)	-325	-381	-488
TS(g/L)	47.7	36.7	10.4
VS(g/L)	34	21	4
T-N(mg/L)	2,496	2,869	1,039
NH <sub>3</sub> -N(mg/L)	796	1,484	747
NO <sub>2</sub> -N(mg/L)	ND	ND	ND
NO <sub>3</sub> -N(mg/L)	14	15	13
BOD(mg/L)	14,425	8,180	8,500
VFA(mg/L)	6,373	208	242

VS:有機物濃度、TS固形物濃度

## 5 今後の課題

プラントを単なる発電施設として見た場合、太陽光や風力発電同様、設置後はほとんど物材費がかからないシステムであり、CO<sub>2</sub>の削減効果も期待できるが、建設及び保守管理にはまだまだ多額な費用がかかるなど、解決すべき課題がある。

また、家畜ふん尿処理施設として見た場合、悪臭の発生が抑制され、ふん尿に含まれる肥料成分ロスも少ない上、液肥として水田水口施用が可能であるなど、通常のふん尿処理施設にはないメリットも多くある<sup>9)</sup>。

しかしながら、バイオガスシステムを全ての畜産経営形態で導入できるかと言えば現状では必ずしもそうではない状況である。例として酪農経営において、敷料をほとんど使わないスラリー状のふん尿処理に苦慮している酪農家にとっては、有効な選択肢の一つであると考えら

れるが、既に多額の投資をして堆肥化施設を建設し、堆肥の牛舎敷料利用を前提に運用している経営も多くある。また、肉用牛経営では、ふん尿の水分含有量が少ないことに加え、酪農に比べオガクズや稲わらなどの副資材をたくさん使うことから、牛舎から搬出されるふん尿を湿式メタン発酵槽に投入するためには、加水する必要がある。畜産農家では堆肥化等によって家畜ふん尿の取り扱い性を向上させようとしているのに、本来の目的から外れてしまうことになる。養鶏も同様に加水が必要な原料である。こうした水分の少ない原料については乾式メタン発酵システム技術等の確立が待たれる。

一方、養豚では畜舎から搬出されるふん尿の水分含有量が高く、湿式メタン発酵原料として適していると思われるが、給与飼料のほぼ全量を購入飼料に依存しているため、消化液を利用する農地を保有していない。近年、飼料自給率向上の一環として飼料用米の利用が進みつつあることから、飼料用米生産ほ場で消化液利用する仕組みを確立することができれば、プラントの導入も不可能ではないと考えられる。

以上、畜産農家の観点からプラントについて述べたが、プラントは家畜ふん尿処理ばかりでなく、食品残渣などの廃棄物の処理も含め、環境保全や資源循環の面で重要な技術であることから、今後は、様々な政策を活用し、各分野とうまく連携することによりメリットを最大限に生かす方法を模索していくことが必要であると思われる。

## 参考文献

- 1) 栃木県農政畜産振興課. 2018. 資源循環型畜産確立対策資料
- 2) 宮川真ら (2003)、小規模共同利用型バイオガス施設による寒冷地の乳牛ふん尿処理実績、2
- 3) 石渡輝夫ら、2006、共同利用型プラントの利用技術、寒地土木研究所月報、639、51-59
- 4) 小野 学ら、2006、共同利用型バイオガスシステムの経済性と成立条件、寒地土木研究所月報、635、19-29
- 5) 岡本 優 (2005)、栃木県畜産試験場研究報告、15、5-13
- 6) 総務省 (2011)、バイオマスの利活用に関する政策評価書 230-233
- 7) 畜産環境整備機構 (2013)、メタン発酵消化液の濃縮・改質による野菜栽培利用マニュアル
- 8) Minato K. et al. (2012) Animal Science Journal 84(2): 165-177
- 9) 木下 強 (2011)、栃木県畜産畜産酪農研究センター研究報告、1、45-54

## Demonstration and evaluation of the effectiveness and practicality of methane fermentation plant

We are promoting researches on the economics of the biogas plant (running costs, the ratio of power), energy recovery efficiency (production of electricity, heat), and environmental impact (such as carbon reduction). The biogas plant (80 dairy cows) was constructed in Livestock & dairy Experimental Center as a pilot plant. And we examined the effects of the raw materials used in the biogas plant and the operating conditions.

(1) The amount of gas generated per unit volume of raw material input was  $13.4 \text{ Nm}^3 / \text{m}^3$  when only livestock manure was input because of the large amount of barn wash water, etc., which was lower than that of facilities of the same scale in other prefectures, but food. Due to the addition of the residue, the amount of gas generated per unit volume increased, and the amount of power generated also increased.

In addition, the average power energy conversion efficiency of the recovered biogas during the period was 22.2 to 25.7%, and the thermal energy conversion efficiency was 40.3 to 47.0%, which were almost as planned.

On the other hand, in winter when the temperature drops, most of the energy is spent on heating the fermenter, so it became clear that the surplus energy will decrease.

(2) Approximately 87% of the input raw material is liquid fertilizer (methane fermentation digestive juice), and the rest is compost (solid-liquid separation residue). confirmed. It was also found that the fertilizer component in the methane fermentation digestive juice is useful as a fast-acting fertilizer because there is almost no volatilization of nitrogen (ammonia, etc.) in the fermentation process.

(3) Depreciation, which accounts for most of the operating costs of biogas plants, was calculated to be 14 years. Since the initial cost is high, even if the subsidy (50%) is reduced, the balance will not be positive. However, when considered as a manure treatment facility, it is considered to be a useful treatment method for slurry processing farmers because it does not require auxiliary materials for adjusting water content and can directly treat manure.

(4) As a result of measuring the odor generated during the operation of the biogas plant, odor components such as  $\text{NH}_3$  and  $\text{H}_2\text{S}$  were not detected throughout the season at a point 5 m or more away from the biogas plant and outside the composting house. In addition, when the odor of the methane fermentation digestive juice immediately after spraying on the feed field was measured,  $\text{NH}_3$  was not detected on the site boundary line and  $\text{H}_2\text{S}$  was also a weak odor during all periods.

(5) We measured the GHG ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ) which generated from a biogas plant. When producing a compost from the solid separated by solid-liquid separator, GHG which generated was the low level compared with the process which produces a general compost. GHG which generated from digestive liquid storage tank was the low level compared with general cattle slurry store.

(6) A certain amount of beef cattle manure and piggery sewage were mixed with dairy cow manure as raw materials for input to the actual biogas plant. As a result, a certain effect was observed in increasing the amount of gas generated. In addition, when we verified the combined effect of waste cooking oil, BDF residue (glycerin), glucose, food residue (kitchen), vegetable waste juice, and pulp cake in dairy cow manure using a small methane fermentation tester, we found that vegetable waste was squeezed. The amount of methane gas generated increased except for juice and pulp cake.

(7) It was tested in temperature control of a methane fermenter using a small methane fermentation tester. Generation of a biogas became speedy by keeping methane fermentation temperature hotly ( $55^\circ\text{C}$ ).

To reuse digestive juices, digestive juices were kept warm once again, and the emission rate of the biogas was measured. As a result, the emission rate of about 70 percent of gas of an investment raw material was left.