牛ふん嫌気発酵処理における管理作業と熱収支

小林茂樹*・大山銀四郎**・石丸圀雄**

Dynamic Situation of Operation and In- and
Output of heat in an Anaerobic
Fermentation of Cattle Manure

Shigeki KOBAYASHI*, Ginshiroh OHYAMA**,
Kunio ISHIMARU**

1 緒 言

家畜ふん尿の嫌気発酵処理は、廃棄物の熱利用という観点から古くから注目されているが^{1), 7)}, 排出量多量の際には、消化廃液の円滑な土地還元あるいは浄化処理が特に必要であり、発生ガス熱量の経済価値も、現時点では発酵処理のための設備投資に比べ、かなり小さい状況にある^{2), 3)}. 特に冷涼地や寒冷地にあつては、中温発酵 (35~36°C) 時に環境温との温度隔差が広がり、熱損失も大きくなることが予測され、利用可能なメタン混成ガスの獲得が益々困難となる^{4), 6)}.

著者らは、前報で冷涼地における牛ふん嫌気発酵処理の実用化施設の建設概要と発酵醸成過程およびその運転管理におけるいくつかの障害発生と補修について述べたが⁵⁾, 投資採算性の他にも実用化のためにはなおいくつかの技術的問題が残っていることが判明した。しかし、技術的には集積された経験を十分に設計に組入れることによって、冷涼地での牛ふん嫌気発酵処理を実用化することが可能であると考えられる。また、経済的にはその処理の目的を熱利用あるいは熱回収ではなく、牛舎から排出される液肥の早期腐熟、有機物負荷量低減および悪臭低減、あるいは活性汚泥処理の前処理として把握すれば¹⁾, その建設を肯定する

ことができるであろう。しかしなお、中温嫌気発酵においては環境との温度隔差が大きく、特に寒冷時に極端となる。これと関連して、発酵温度の低下の可否についても検証する必要がある。

本稿では、前報と同じく東京農業大学那須牧場 (栃木県那須町) に設置された牛ふん嫌気発酵処理施設における運転管理および付随するふん尿処理作業を、以前同牧場で採用されていた液肥処理および単純ふん尿分離方式と比較して、その作業負担を考察し、さらに同発酵処理施設の定常運転管理における熱収支を計測した。

2 試験方法

1) 管理作業動態の比較

フリーストール牛舎に飼養される乳牛約 70 頭 (成畜換算) のふん尿・汚水を 28ha の牧草地に散布・還元するために使用した次の 3 種の方式につき、作業の種類、日程、時間および使用機械を比較した。

(I) 定置配管による液肥処理 (昭和 59 年 4 月 ~ 同年 8 月)

(II) 単純ふん尿分離 (昭和 59 年 9 月 ~ 60 年 11 月)

(III) 嫌気発酵 (昭和 60 年 12 月 ~ 62 年 12 月)
なお、搾乳はいずれにおいても専用搾乳室へ牛

昭和 63 年 4 月 13 日受理 日本農作業学会第 23 回講演会で発表

* 明治大学農学部 川崎市多摩区東生田 1-1-1 〒214

** 東京農業大学

* School of Agriculture, Meiji University, Higashiikuta 1-1-1, Tama-ku, Kawasaki, 214

** Tokyo University of Agriculture

表1 牛ふん尿の液肥処理, 単純ふん尿分離および嫌気発酵処理の施設設備装備と特徴の比較

	液 肥 処 理		単純ふん尿分離		嫌 気 発 酵 処 理	
主要施設設備 およびその 調 達 額	貯水ダム	1, 090 千円	尿汚水貯溜槽	4, 800 千円	発酵設備一式	16, 100 千円
	液肥貯溜槽	7, 000	マニュアルスプレダ	1, 900	消化廃液槽	4, 800
	マニュアルポンプ	2, 900	バキュームカー	3, 200	マニュアルスプレダ	1, 900
	定置配管設備	7, 800	自走ローダ	3, 500	バキュームカー	3, 200
	マニュアルガン	360	堆肥場	2, 400	自走ローダ	3, 500
	自走ローダ	3, 500	トラクタ(70 ps)	4, 800	堆肥場	2, 400
	堆肥場	1, 200			トラクタ(70 ps)	4, 800
	トラクタ 40 ps	3, 200				
	(年間償却費	1, 961)	(年間償却費	2, 238)	(年間償却費	3, 244)
低 頻 度 の 作 業	堆肥(育成牛舎)散布		尿散布, 堆肥散布		尿(廃液)散布, 堆肥散布	
	3回/年 1~2名		6回/年 4回/年 1名 1~2名		10回/年 4回/年 1名 1~2名	
特 徴	水使用量多い(60t/日) 埋設管閉塞, 冬季凍結生ずる 草地外の流出ある(雨天時) 牛の蹄摩耗, 冬季転倒		堆肥(牛ふん)積上げ不能 堆肥水分多く腐熟不良		メタン菌の維持必要 尿汚水(廃液)の悪臭低下 凍結牛ふんの処理困難	

を導入して行い, 飼料給与は方式Ⅰでは牛舎内飼槽に, 方式ⅡとⅢでは舎外に設置した給飼場内飼槽に, 混合した細切グラスサイレージと濃厚飼料等をオートフィダーを用いて給与する方法とした。

2) 嫌気発酵処理における熱収支の計測

嫌気発酵処理開始後, 毎日午前10時に次の事項を測定した。

外気温および降水量

発酵槽温度(槽内部にセンサー設置)

メタン混成ガス発生量

メタン混成ガス圧力(発酵槽内およびガスホルダー内)

発酵槽加温ボイラー用ガス使用量

発生ガスメタン濃度(Cosmotector XP-314)

このうち, 外気温, 発酵槽温度, ガス発生量, および加温ボイラー用ガス使用量は, 同時に自動記録装置で記録し, この他分離液投入量, 同温度および汚泥循環流量も, 同様に記録した。

発酵槽内への牛ふん汚泥(分離液)投入は, 1日1回とした。牛ふん分離液, 分離固形分および消化廃液は随時採取し, 固形分, 有機物量, PH, 浮遊物質(SS), 生化学的酸素要求量(BOD), 化学的酸素要求量(COD), 総窒素(T-N)を

常法により測定した。

(T-N)を常法により測定した。

メタン混成ガスの発生熱量は, メタン濃度を62%として, 次のように $5,000 \text{ kcal/m}^3$ とした。

$$9498 \text{ kcal/m}^3 \times 0.62 \times 0.85 \div 5,000 \text{ kcal/m}^3$$

(メタン発熱量)(メタン濃度)(ボイラー熱効率)

3 試験結果

1) 牛ふんおよび牛ふん液肥処理方法の相異による施設設備装備と管理作業の比較

牛ふんの定置配管利用による散布(Ⅰ)および牛舎段階での単純ふん尿分離(Ⅱ)における施設設備装備は, 従来の牧場運営の中で装備されたものであり, 使用年数が非常に長くなっているため時価調達を仮定した。表1に示したように, 施設設備調達総額は処理方式(Ⅰ)で2,705万円, (Ⅱ)で2,060万円, 嫌気発酵処理(Ⅲ)で3,670万円となり, 年間減価償却費は定額法でそれぞれ196万円, 224万円および324万円となった。

方式(Ⅱ)と(Ⅲ)の比較では, (Ⅲ)において発酵施設一式が余分に装備されている形になるため, 管理作業, 排出物性状あるいは発生ガス熱利用等の面で, (Ⅲ)が(Ⅱ)に対して有利になることが要求された。

表2 牛ふん尿の液肥処理, 単純ふん尿分離および嫌気発酵処理における管理作業の比較(農大那須牧場)

作業箇所	液肥処理		単純ふん尿分離		嫌気発酵処理	
成牛舎 および 給飼場	牛床落下ふん 除去 40分×2名	——	牛床落下ふん 除去 40分×2名 ローダ運転 120分×1名	——	(同佐)	——
育成牛舎 および 分娩牛舎	——	手作業による 除ふん 70分×2分 ローダ運転 70分×1名	——	(同佐)	——	(同佐)
圧送ポンプ小屋 および 牧草地	マニユアポンプ始動 マニユアガン設定・移動 80分×1名					
搾乳所	貯水ダム堰設定 5分×1名					
堆肥場	——	牛ふん運搬 20分×1名	——	牛ふん運搬 20分×1名	牛ふん搾汁処理 分離粕移動 30分×1名	
時間合計	165分	315分	200分	230分	230分	240分

管理作業では、表2に示すように日常作業として方式(I)で液肥散布と成牛舎育成牛舎等除ふん(各牛舎とも隔日除ふん)があり、方式(II)と(III)ではこれらのうち液肥散布がなかった。その他、各方式で堆肥場内での牛ふん移動があり、また(III)では牛ふん搾汁と発酵槽内への分離液送入があった。表示の時間数には、故障発生時の補修時間等は含まれていない。

ふん尿(1日当たり総計約5t)処理利用の作業時間は、2日間合計値で方式(I)、(II)、(III)でそれぞれ480分、430分、470分(いずれも作業日誌からの平均値)となり、差異は小さかった。なお、所要作業者数として、いずれにおいても3名(牛舎除ふん時)を要した。

その他、低頻度作業として方式(I)では育成牛舎牛ふんの堆肥散布、(II)と(III)では堆肥および汚水(または消化廃液)散布があった。堆肥散布にはトラクタ牽引のマニユアスプレダ・スターTFM3810、汚水散布には同じくバキュームタンク・パワー-VK40VTを用いた。方式(II)における堆肥散布時間は60年1月から12月の間に71.5時間(1日当たり11.8分)、汚水散布時間は零(た

れ流し)、方式(III)における堆肥散布時間は61年1月から62年12月の間に138.5時間(1日当たり11.4分)、消化廃液散布時間は同期間に92.0時間(同じく7.6分)であった。

以上の他、各処理方式に次の付帯作業があった。

方式(I)では井戸水の使用量が多く(60t/日)、また、粗大夾雑物による埋設管の閉塞が生じ、その補修に多くの作業を要した。さらに、牧草地の大半が緩ないし急傾斜地であるため液肥の場外流出防止に配慮を要し、特に降水時にそうであった。また、フリーストール牛舎通路面が常時水濡れの状態にあり、牛の肢蹄が常に湿潤の状態となって摩耗過多となり、蹄傷が多く発生した。厳寒期にはこの通路面が氷結し、牛の転倒事故が発生した。

方式(II)では、牛ふん水分過剰のため堆積作業時にその上方積上げができず、むしろしばしば堆肥場外へ牛ふんが流出した。夏季にはこの堆肥を温床としたハエ発生が多かった。

方式(III)では、牛ふん処理用井戸水使用量は希釈用約1.3t/日となり、分離固形分堆肥は適宜の水分調節と攪拌によって熟成可能となり、消化廃液の汚泥負荷量と悪臭が減退した。一方、熱交換

図1 牛ふん嫌気発酵処理における有機物質収支図
(ふん尿地上ホッパー使用時, 模式)

図2 牛ふん嫌気発酵処理における有機物質収支図
(ふん尿地下ピット使用時, 模式)

器および汚泥循環ポンプの土砂等による閉塞が生じ、寒冷によるトラブルも発生し(前報に詳述), それらの補修・整備に比較的多くの作業を要した。

3 処理方式を投資および作業面から総合的に評価すると、まず方式(I)は畜牛の健全な肢蹄保持に不適であり、定置配管・圧送設備等への投資にもかかわらず日常管理作業が省力化されておらず、採用不適と考えられる。方式(Ⅲ)は施設用初期投資が大となっているが、日常管理作業面では負担増となっておらず、排出物の取り扱いが容易となっている。方式(Ⅱ)と(Ⅲ)の年間償却費差額は

100万円であるから、これを前述の利点と発生メタン混成ガスの熱利用のための経費として見積ることができる。したがって、メタン発酵処理方法の汎用化可能性を考慮するとき、管理作業よりも、むしろ牛舎構造、飼料作面積ならびにメタン発生効率を重視すべきこととなる。

2) 牛ふん嫌気発酵処理における有機物収支

本処理における有機物収支は、地上ホッパー使用時と地下ピット使用時で搾乳液の固形分率および有機物含有率が異なったため、両者で測定した。なお、地下ピット使用時には、牛ふんへの敷料お

表 3 牛ふん搾汁液および消化廃液の有機成分負荷量
(地下ピット使用時)(単位: mg / ℓ)

区 分	PH	BOD	COD	TS	SS	T-N
牛ふん搾汁液	6.95 ± 0.15	23,800 $\pm 3,200$	17,400 $\pm 1,900$	80,800 $\pm 4,400$	51,300 $\pm 6,200$	1,420 ± 980
消化廃液	7.83 ± 0.12	5,900 $\pm 2,100$	6,300 $\pm 1,300$	62,800 $\pm 3,600$	48,500 $\pm 3,300$	1,320 ± 790

および飼料残渣の混入が多くなった育成牛舎および分娩牛舎からの排出ふんは、搾汁処理しないこととなり、この場合対象牛頭数は70頭から58頭に減少した。

地上ホッパー使用時には、牛ふん搾汁時あるいは搾汁後に搾汁液にその約半量相当の希釈水を加えた。地下ピット使用時には、シフトポンプ吸引のために同ピット内で牛ふんに対して0.7～0.8倍量の希釈水を加えた。これら両者における牛ふん汚泥、分離固形分、分離液、消化廃液の固形分と有機物、ならびにメタン混合ガス発生量を、図1、2に模式的に示した。

地上ホッパー使用時には、牛ふん有機物267kg/日の約3%が分離固形分に移行し、残りが分離液に移行した。分離液有機物含有率7.2%は嫌気消化により4.9%に減少した(消化率32%)。発生ガスのメタン濃度から、この時のガス発生量は26.1 m^3 /日となり(有機物23.2gから混成ガス22.4 ℓ)、これは約154 Mcalの熱量に相当した。この一部を発酵槽加温に使用した後も、冬季にも利用可能ガスが得られた。

地下ピット使用時には、牛ふん有機物267kg/日の36%が分離液に移行した。分離液有機物含有率4.8%は嫌気消化により3.8%に減少した(消化率21%)。この時のメタン混成ガス発生量は19.3 m^3 /日となり、これは約114 Mcalの熱量に相当した。

地上ホッパーに比べ地下ピット使用時には、処理汚泥日量の増加により汚泥滞留日数が短縮され、かつその有機物濃度も低下したため、有機物消化率が低下したと考えられた。また、汚泥日量の増加により、汚泥加温熱量は増加した。

3) 牛ふん搾汁液および消化廃液の有機成分負荷量

地下ピット使用時の牛ふん分離液および消化廃

液の有機成分負荷量の4回測定の平均値を、表3に示した。PHは6.95から7.83になり、有機酸等の分解を示唆した。総固形分および浮遊物質の分解率はそれぞれ22.3%および5.5%で、前者は前項の有機物消化率に近似した。BODおよびCODは大きく低減し、嫌気消化によりそれぞれ75.2%および63.8%が除去された。

4) 嫌気発酵処理における熱損失

62年9月から翌年1月までの牛ふん嫌気発酵処理における熱損失を計測した。発酵槽内汚泥温調節器の反応閾値が大きかったこと($\pm 0.8^\circ\text{C}$)および発酵槽外壁からの熱損失に起因する温度低下値が小さかったことから、熱損失集計は10日(あるいは旬)ごととした。発酵槽温度は、この期間に36度台から26度台へ低下させた。また、分離液投入量は12月下旬に約2,000 ℓ /日に増加させた。

表4に集計結果を示した。メタン混成ガス発生量は、9～11月には10日当たり193～229 m^3 の範囲で変動したが、12月から1月には減少した。これは槽温低下によると考えられた。発酵槽加温用ガス使用量は、9～11月には10日当たり55～69 m^3 (278～345 Mcal)であったが、12～1月には79～116 m^3 (396～582 Mcal)に増加した。

各旬ごとの投入分離液加温熱量および発酵槽温上昇降下値を算入した発酵槽温保持用熱量から、次式で損失熱量を計測した。

$$\text{損失熱量} = \text{槽温保持用熱量} + (\text{槽温降下値} \times 2.4)$$

ただし、単位はMcal/日、内容汚泥の比重、比熱ともに1とする。係数2.4は、発酵槽内汚泥量が24tであるから、 1°C の温度変化が24 Mcalに相当する。計算に用いた温度変化量は10日ごと(あるいは11日ごと)としたの

表4 牛ふん嫌気発酵の発酵条件と熱損失

1987年	日数	平均気温 °C	発酵槽温度 °C	牛ふん搾汁液		メタン生成 ガス発生量 m ³	旬内槽温 変化量 °C	槽温変化に 伴う熱量 Mcal	発酵槽加 温用熱量 Mcal	投入分離液 加温熱量注1) Mcal	槽温保持用 熱量注2) Mcal	注3) 損失熱量 Mcal	槽温・外気 温の差異 °C	槽内汚泥 温度降下 °C/日
				投入量 t	温度 °C									
9月	上 10	21.2	36.8±0.6	13.26	24.2	193,746	0.0	0	278	167	111	111	15.6	0.46
	中 10	18.3	37.1±0.7	14.93	24.1	197,467	+0.5	-12	345	194	151	139	18.8	0.58
	下 10	14.9	36.1±1.7	15.07	20.1	202,857	-3.5	+84	309	241	68	152	21.2	0.63
10月	上 10	15.1	31.4±1.0	14.63	19.3	205,814	-2.0	+48	211	177	34	82	16.3	0.34
	中 10	13.7	31.3±0.5	15.06	19.6	229,347	-2.5	+60	284	176	108	168	17.6	0.70
	下 11	10.5	30.6±1.3	17.20	17.0	244,400	+1.0	-24	376	234	142	118	20.1	0.45
11月	上 10	8.4	29.0±1.4	16.35	11.5	204,093	-2.5	+60	295	286	9	69	20.6	0.29
	中 10	7.8	26.9±1.2	15.50	13.7	198,267	0.0	0	301	205	96	96	19.1	0.40
	下 10	4.9	26.8±0.8	15.00	9.9	207,103	-2.0	+48	332	254	78	126	21.9	0.53
12月	上 10	1.0	26.1±0.6	15.68	4.4	172,986	0	0	456	340	116	116	25.1	0.48
	中 10	2.8	26.2±0.6	18.23	6.6	177,406	+1.0	-24	494	357	137	113	23.4	0.47
	下 11	7.1	26.6±0.5	22.02	9.3	197,537	-0.5	+12	455	381	75	87	19.5	0.33
1月	上 10	2.2	26.4±0.5	14.00	9.1	145,597	-0.5	+12	396	242	154	166	24.2	0.69
	中 10	3.1	26.7±0.5	18.00	6.2	146,399	0	0	447	369	78	78	23.6	0.32
	下 11	2.8	27.4±1.4	18.00	5.0	163,689	+3.5	-84	640	403	237	153	24.6	0.64

注：1) 投入分離液加熱熱量＝(発酵槽温－分離液温)×分離液投入量

2) 槽温保持熱量＝発酵槽加温用熱量－投入分離液加温熱量

3) 損失熱量＝槽温保持用熱量＋槽温変化に伴う熱量

図3 発酵槽温・外気温差異と発酵槽内汚泥温度降下量の相関図($r=0.206$)

で、1日あたりでは 1°C の温度変化が 2.4 Mcal に相当する。

その結果、損失熱量は表4に示したように $7.8 \sim 16.8\text{ Mcal/日}$ の範囲で変動した。これを槽内汚泥熱容量で除して1日あたり槽内温度降下値を求めた。発酵槽温・外気温差異と発酵槽内汚泥温度降下値の間に、高い相関は認められなかった(図3, $r = 0.206$)。

以上の結果から、夏季と冬季の発酵処理に必要な熱量は、模式的に次のように算定された。

地上ホッパー使用時：

(夏)新規投入搾汁液加温

$$1,200\text{ l/日} \times 15^{\circ}\text{C} = 18,000\text{ kcal/日}$$

発酵槽温保持

$$24,000\text{ l/日} \times 0.40^{\circ}\text{C} = 9,600$$

合 計 $27,600\text{ kcal/日}$

加温用メタン混成ガス

$$27,600\text{ kcal/日} / 5,000\text{ kcal/m}^3 = 5.52\text{ m}^3/\text{日}$$

(冬)新規投入搾汁液加温

$$1,200\text{ l/日} \times 30^{\circ}\text{C} = 36,000\text{ kcal/日}$$

発酵槽温保持

$$24,000\text{ l/日} \times 0.55^{\circ}\text{C} = 13,200$$

合 計 $49,200\text{ kcal/日}$

加温用メタン混成ガス

$$49,200\text{ kcal/日} / 5,000\text{ kcal/m}^3 = 9.84\text{ m}^3/\text{日}$$

地下ピット使用時：

(夏)新規投入搾汁液加温

$$2,000\text{ l/日} \times 15^{\circ}\text{C} = 30,000\text{ kcal/日}$$

発酵槽温保持

$$24,000\text{ l/日} \times 0.40^{\circ}\text{C} = 9,600$$

合 計 $39,600\text{ kcal/日}$

加温用メタン混成ガス

$$39,600\text{ kcal/日} / 5,000\text{ kcal/m}^3 = 7.92\text{ m}^3/\text{日}$$

(冬)新規投入搾汁液加温

$$2,000\text{ l/日} \times 27^{\circ}\text{C} = 54,000\text{ kcal/日}$$

発酵槽温保持

$$24,000\text{ l/日} \times 0.55^{\circ}\text{C} = 13,200$$

合 計 $67,200\text{ kcal/日}$

加温用メタン混成ガス

$$67,200\text{ kcal/日} / 5,000\text{ kcal/m}^3 = 13.44\text{ m}^3/\text{日}$$

5) 発酵速度に対する発酵温度の影響

前述のように、発酵処理全体の熱損失に対する槽温・外気温の温度差の影響が小さかったため、発酵温度はその最適温に保持することが望ましいと考えられる。しかし、処理全体の熱損失の中で、この温度差異による発酵槽壁からの熱損失よりも、新規投入分離液加温に要する熱量が大きくなってゐるため、利用可能な発生ガス量を最大化するための発酵温度を検索する必要がある。

発酵槽容量が大きく、且つ常時一定量の新汚泥が少量ずつ流入し同時に等量の消化液が排出されている実用化規模においては、発酵速度に対する発酵温度の影響を正確に把えるのは困難であった。そこで、長い運転期間の中で、とりわけ排出ふんの全量処理が行われていた地上ホッパー使用時の測定結果から、発酵温度とガス発生量の関係を調べた。

延べ127日、温度範囲 $23.7 \sim 37.2^{\circ}\text{C}$ で集計した結果、発酵槽温度($x^{\circ}\text{C}$)とメタン混成ガス発生量($y\text{ l/日}$)の間に次の関係式が得られた。

$$y = 3.31 * x^2 + 360.4x + 9801$$

* $p = 0.01$ で有意

この式において、 $x = 24$ のとき $y = 20,360$ 、 $x = 36$ のとき $y = 27,070$ となり、この間で温度 1°C の上昇に対しガス発生増加量は $522\text{ l}(= 2,610\text{ kcal})$ から $596\text{ l}(= 2,980\text{ kcal})$ の範囲で変動した。この限界熱量は、1日当たり投入汚泥 $1,200\text{ l}$ または $2,000\text{ l}$ を 1°C 上昇させるに要する熱量よりも明らかに大きいと見なすことができる。したがって、発酵温度は中温発酵の最適温にできるだけ近づけることが最善と結論された(地下ピット使用時については未検索)。

4 考 察

1) 牛ふん嫌気発酵処理実用化のためには、施設の単純化・低コスト化、運転管理作業の簡易化、故障発生の防止、熱損失の減少、ガス発生量の増加、汚泥有機物消化率の増加等が要求される。本施設はこれらの要求を勘定して設計されたが、なお予期しないトラブルが発生した。本施設は、冷涼地（年平均気温 10.8°C ）でのフリーストール開放牛舎使用という条件下での設置であったことが、トラブル発生の大きな原因となったため、畜牛飼養が舎内繋留であれば牛体体温により舎内気温は外気より高くなるため、もっと低気温の条件下でも嫌気発酵処理が可能と考えられた。

2) 本処理では、冬季の牛ふん塊凍結防止のために牛ふん地下ピットを設け、希釈後シフトポンプで吸引する方式としたが、高粘度では吸引困難となり、逆に1日当たり牛ふん搾汁液の増加、搾汁液有機物含有率の低下、およびこの両者に起因する有機物消化率の低減が惹起された。また、搾汁粕の水分含有率も高くなり、自然発酵・熟成が困難となった。特に投入搾汁液の増加により相対的にその槽内滞留日数が短縮される結果となり、これは消化率低減の他に加温に必要な熱量の増加をも惹起した。したがって、牛ふん嫌気発酵処理は、畜牛繋留・パルクリーナー排ふんの飼養形態に接続させることが最も望ましいと考えられ、特に寒冷地ではそれが望ましいと考えられた。

3) 牛ふん嫌気発酵処理の経済性の評価は、これを牛ふん・汚水の有機物負荷量低減・消臭と発生ガスの熱利用・回収のどちらを目的とするかによって、異なってくる。前者の場合には、技術的成果に満足できれば、あとは単に設置費の可反的低減のみが問題となろう。後者の場合には、利用可能ガス量を平均 $18\text{ m}^3/\text{日}$ （地上ホッパー使用時）、ガス価格を $80\text{ 円}/\text{m}^3$ （プロパンガス価格と対比）とすれば、年間 $525,600\text{ 円}$ のガス代節減になる。嫌気発酵処理施設の主要設備は $10\sim 20$ 年使用可能と考えられるので、本報に成果を示した処理施設の初期投資がこの節減可能金額の10倍程度に抑えられることができるならば、これを広く汎用し得ると考えられる。

4) 発生ガスの熱利用は、熱使用の多い冬季に利用可能量が少なくなる。したがって、発生ガス

で発電することによって、電気利用すれば、その季節需要に変動が小さいため、より有効と考えられる（冷涼・寒冷地の夏季冷房は不要）。しかし、発電装置に比較的多額の費用を要することが、大きな隘路となっている（ 20 kw 用発電機で約 500 万 円）。

5 摘 要

1) 牛ふん・汚水の定置配管設備利用による散布、牛舎段階での単純ふん尿分離、および嫌気発酵処理の3方式を、施設設備装備および管理作業の面から比較した結果、解放式フリーストール牛舎使用時にはいずれにおいても顕著な短所が認められた。

2) 牛ふん嫌気発酵処理における有機物消化率は、地上ホッパー使用時には約32%、ふん塊凍結防止用の地下ピット使用時には約21%となった。後者では汚泥希釈率の増加により搾汁液量が増加し、汚泥滞留（発酵）日数が短縮された。

3) 嫌気発酵処理により、牛ふん汚泥のBODは75.2%、CODは63.8%が除去された（地下ピット使用時）。

4) 牛ふん嫌気発酵処理（地下ピット使用時）において消費された発酵槽加温用熱量 $210\sim 640\text{ Mcal}/10\text{ 日}$ のうち約72%が投入搾汁液加温に、残りが槽温保持（熱損失）に消費された。槽温と外気温の差異がこの熱損失に及ぼす影響は、小さかった。

5) 発酵温度（ $x^{\circ}\text{C}$ ）とメタン混成ガス発生量（ $y\text{ l}/\text{日}$ ）の間に、次の関係式が得られた（地上ホッパー使用時）。

$$y = 3.31x^2 + 360.4x + 9801$$

引 用 文 献

- 1) 本多淳裕・他10名（1981），廃棄物のメタン発酵 — 理論と実用化技術 — 2-228，サイエンティスト社（東京）
- 2) 池田市（1985），下水汚泥等の資源有効利用に関する調査研究3-55，池田市
- 3) 伊沢敏彦・西村洋（1985），有機性廃棄物の嫌気性消化の研究15-32，メタン発酵によるローカルエネルギー変換技術の調査研究，農業機械化研究所（大宮）
- 4) 亀岡俊則（1982），エネルギー生産からみ

たメタン発酵法の効率化, 畜産コンサルタントNo 215:12-17

- 5) 小林茂樹(1987), 冷涼地における牛ふん嫌気発酵処理の実用化施設と運転管理, 未稿.
- 6) PALZ, W. and P. CHARTIER(1982), Factors affecting production of useful energy from animal manure, Energy from Biomass in Europe 40-65. Applied Science Publishers Ltd(London)
- 7) 上原毅(1980), 日本でのメタン研究の現状, 太陽熱からバイオマスまで50-63, ハイライフ出版部(東京)

Summary

1) Three manure systems in Nasu Experimental Station, Tokyo University of Agriculture, those are a manure disposing system using underground manure-pipes, a system merely dividing feces and urine at cow-barns, and a manure system utilizing anaerobic fermentation, were compared in view of capital investment and handling labor. In each system, clear demerits were

recognized in case of the open-type free-stall barn.

2) Digestibilities of organic matter in the anaerobic fermentation were ca. 32% and 21% utilizing overground hopper and underground pit, respectively. In the latter case, a shortness of days for fermentation was caused by the increase of diluted manure.

3) 75.2% of BOD and 63.8% of COD were eliminated by means of the anaerobic fermentation utilizing underground pit.

4) 210-640Mcal per 10 days of the self-supplied methane-composite gas was consumed to heat the pressed manure, and the rest to maintain the tank-temperature. The difference of temperature between sludge in the tank and the surrounding air didn't severely affect the heat-loss from the tank.

5) The next formula was obtained between fermentation temperature($x^{\circ}\text{C}$) and methane-composite gas volume (y l/day) utilizing overground hopper.

$$y = 3.31 x^2 + 360.4 x + 9801$$