

豚ふん尿によるメタン発酵と その利用に関する研究

木庭研二*・押川文夫**・村上忠勝*

緒 言

第一次石油ショック以来、石油代替エネルギー源として、メタンガス発生装置により、家畜ふん尿を利用し、メタンガスを発生させ、その発生したガスを活用する方法やメタンガスを効率的に発生させる方法についての研究は、国、県の試験研究機関で数多く行われ、その結果も出ているが、都市ガスやプロパンガスに押されてなかなか普及していないのが現状である。

家畜ふん尿を利用してメタンガスを発生させることは、発生したガスを熱源として活用する目的と家畜ふん尿処理の一環として嫌氣的に処理することにより悪臭を減少させ、なおかつ、消化汚泥を発酵処理施設で堆肥化し、耕種に供給するといった目的がある。

県内におけるメタンガス発生利用施設についてみると、大規模のものでは養豚農家1戸と酪農家1戸の共同施設として設置したメタンガス発生装置（発酵槽：50^m、1基、ガスホルダー：110^m、1基、ガス発生量：110^m／日、年間：35,300^m／年）があり、発生したガスは、残飯煮沸および温水用として利用している例と、家畜のと殺・解体・食肉の冷蔵・保管等を主な業務としている事業所で家畜解体処理過程において発生する余剰汚泥、フロス汚泥、不可食物（豚の肺臓等）の中に含まれる有機物を利用し、メタンガス発生装置（発酵槽：350^m、2基、ガスホルダー：125^m、2基、ガス発生量：691^m／日、年間：190,025^m／年）によりガスを発生させ、ガスの利用は、検査不合格の枝肉、内臓、へい死体を焼却するための焼却炉熱源としている例がある。

その他では、成牛30～40頭規模の酪農家で、長野畜試で開発された自然流下式牛舎にメタンガス発生装置を設置しメタンガスを発生させるといった方法を取り入れ、これに自分達のアイディアを生かした器具、器材を用い、

設備費を安価にし、発生したガスはガス炊飯器、風呂、ストーブ、搾乳用湯沸しボイラーとして利用する農家が2～3戸みられる。

また、最近、養豚農家では規模拡大に伴いふん尿処理による環境問題が表面化し、農家によっては移転も余儀無くさせられるといった状況で、畜舎を住宅から離れた人家の少ない場所に建設している農家がある。こういった養豚農家に対し、厨房用として利用できるような安価で、取扱いが簡単な簡易型メタンガス発生装置を試作し、その性能について調査し、若干の知見を得たのでその成績を報告する。

なお、初年度は、豚ふんの希釈液として水道水を2年度は尿汚水を用いた。

材料および方法

1) 試験装置の設計条件

今回は、ガス利用の目的を厨房用としたため、据付け、移動を考慮し、小型の装置にした。型式は浮蓋式で保守、維持管理面からFRP製とした。

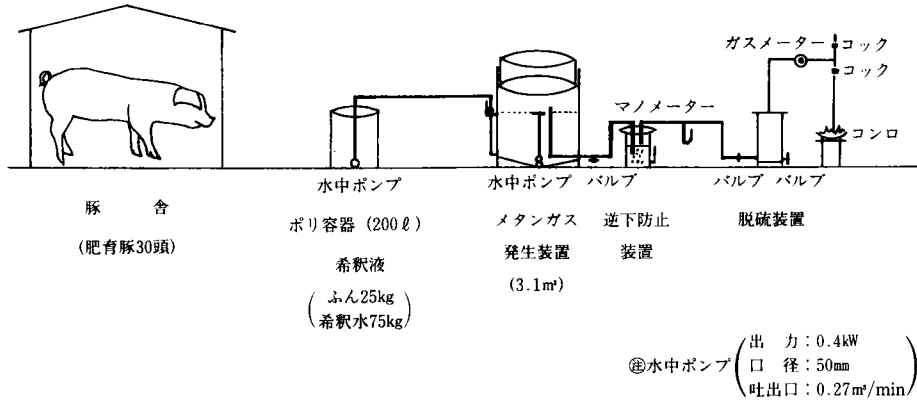
- (1) 供試材料 豚ふん（肥育豚）
- (2) 豚ふんの排せつ量 1日1頭当たり1.5kg
- (3) 豚ふんの有機物含量 20%
- (4) 投入する有機物量 1日1^m当たり2～3kg
- (5) メタンガス発生量 有機物1kg当たり400ℓ前後
- (6) 滞留日数 30日
- (7) 発酵槽の大きさ 3.1^m
- (8) 硫化水素の濃度 3,000PPm

2) 試験装置

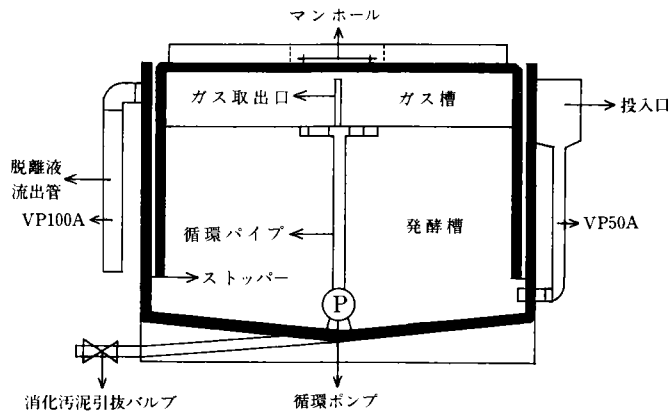
試験装置のフローシートおよび発酵槽の構造を第1、2、3、4図に示した。

*畜産研究所 **上益城農業改良普及所

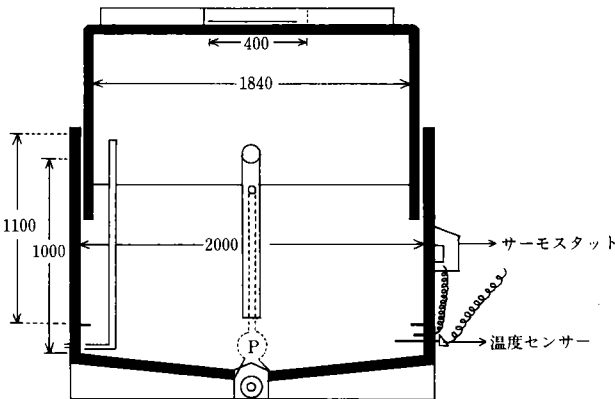
豚ふん尿によるメタン発酵とその利用に関する研究



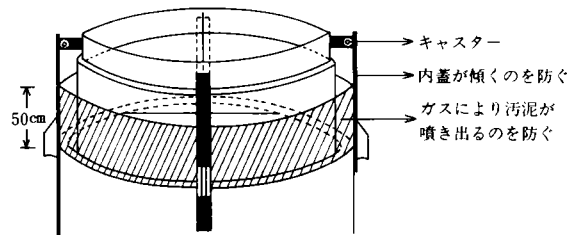
第1図 試験装置のフローシート



第2図 発酵槽の構造 (3)



第3図 発酵槽の構造 (2)



第4図 発酵槽の補強箇所

1日分の豚ふん希釈液(ふん25kg、水道水75kg、計100kg)を作る容器として200ℓ入りのポリ容器を用意し、投入ポンプは、モーター出力1.5KW、口径50mmの水中ポンプを使用した。

発酵槽は、FRP製で発泡ウレタンによる断熱構造とし、発酵槽内の攪拌は、モーター出力0.4KW、吐出量0.27m³/分の水中ポンプを使用した。

脱硫装置は、直径30cm、高さ72.5cm、容量35ℓの塩ビ製円筒を使用し、脱硫剤として酸化鉄を25kg充てんした。

ガスメーターは、計測範囲Max 2 m³/h、0.55ℓ/rのプロパンガス用を使用した。

また、発生ガス利用器具としては、ガスコンロ(都市ガス13A)を使用した。

なお、発生ガスの圧力をみるためマノメーターを取りつけた。

3) 運転方法

まず、200ℓ入りポリ容器を使用し、豚ふん希釈液が均一になるよう棒で攪拌し、投入ポンプにより発酵槽に投入した。発酵槽内の温度は、温度制御用サーモスタットにより水中ポンプを作動させモーターから出る熱を利用することで一定温度35℃を保った。

発生したガスは、発酵槽の上部に貯り、ガス圧調整用重り(ブロック)で一定圧のままガス抜きパイプから逆下防止装置、脱硫装置を通し、ガスコンロにつないで利用できるようにした。消化汚泥は、発酵槽側面上部に取りつけた口径100mmの塩ビ管から自然越流させた。

4) 調査項目

- (1)投入汚水の性状
- (2)メタンガス発生状況
- (3)メタン発酵処理物の成分変化
- (4)経済性

5) 分析項目および方法

- (1)PH: ガラス電極法
- (2)T-N: ケルダール法
- (3)NH₄-N: 蒸留滴定法
- (4)NO₃-N: フェノール硫酸法
- (5)P₂O₅: 湿式分解後に、バナドモリブデン酸比色法
- (6)K₂O: 湿式分解後に炎光分析法
- (7)C: チューリン法

6) 試験期間

- 初年度: 1987年7月~1988年3月
- 2年度: 1989年5月~1989年9月

結果および考察(初年度)

1) 投入汚水の性状

豚ふん希釈液は、肥育豚舎(肥育豚30頭)から人力で回収したふんを水道水で4倍に希釈した汚水である。

分析は、汚水の均一性を保つため水中ポンプにより発酵槽に投入される直前の汚水を3日分採取し、月1回の割合で実施した。

投入汚水の性状は、第1表に示すとおりである。

PHについてみると、夏期に弱酸性を示したが、秋から冬にかけて中性になった。

豚ふんPHは、大体中性域にあることから、夏期に弱酸性を示したのは、気温が高いことにより変化したものと思われた。

現物水分は、夏期が高く、冬期に低くなったが、これは夏期の暑さのため飲料水が増しふん中の水分が高くなったことによるものと思われた。

固形物濃度は、飼料の種類、尿や水の混合割合、豚の発育過程におけるふんの状態等によって変化するが、今回は、冬期にかけての肥育豚出荷となったことで粒

第1表 投入汚水の性状

項目	月									
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	平均
PH	6.4	6.7	6.6	6.7	6.9	7.1	6.8	7.0	7.0	6.8
豚 現物水分(%)	95.2	94.9	93.9	93.0	92.5	93.0	90.8	89.7	91.4	92.7
ふ 固形物(%)	4.8	5.1	6.1	7.0	7.5	7.0	9.2	10.3	8.6	7.3
ん 有機物(%)	3.6	3.0	5.0	5.8	6.5	5.9	7.8	8.8	7.3	6.0
希 灰分(%)	1.22	1.03	1.08	1.22	1.06	1.09	1.38	1.54	1.27	1.21
釈 C (%)	10.4	7.6	13.0	16.6	16.8	15.9	19.6	21.8	18.4	15.6
液 N (%)	0.7	0.5	0.9	1.1	1.2	1.1	1.4	1.6	1.3	1.1
C/N	14.9	15.2	14.4	15.1	14.0	14.5	14.0	13.6	14.2	14.2

状の未消化の飼料が多く排せつされたため冬期の固形物濃度が高くなった。

有機物濃度および灰分も固形物濃度に比例して冬期にかけて高くなったが、期間中を平均すると固形物濃度7.3%、有機物濃度6.0%と過去の成績と比較して若干高くなった。

次に、C/N比についてみると、C/Nが消化の目安として重要視されるが、一般的には、豚でC/N比=15.5~19、牛でC/N比=25のときガス発生量が多くなるという研究成果が出されているがこれらと今回の数値を比較してみると期間内平均でC/N比=14.2と若干低くなった。

2) メタンガスの発生状況

メタンガスの発生状況を第2表に示した。

データをとり前に県内でメタンガス発生装置を設置している食肉処理場から種汚泥を搬入し、発酵槽に入れた後、毎日1日分の豚ふん希釈液を投入し2ヵ月間馴化した。

ガスの発生量をみると、有機物濃度が低い7、8月は1日当たりのガスの発生量も少なかったが、有機物濃度が高くなるにしたがってガスの発生量も多くなった。期間中のガス発生量は、1日当たり2.80m³になった。また、固形物濃度からみると、一般的に、発酵槽内固形物濃度は6~8%以下が必要条件とされているが、今回の試験結果では、1、2、3月では8%以上となりガス発生量も少なくなると思われたが、滞留日数を長くしたことや、PHおよび厳寒期の液温が順調に推移したことにより、ガス発生量が極端に低くなることはなかった。

有機物1kg当たりのガス発生量は、有機物濃度が6%前後までは1日当たり0.47m³~0.52m³になったが7%以上になると若干発生量も少なくなった。

PHは、ガスを発生させるうえからは、投入時PH7.0~7.5の中性域とされているが、今回の試験では、投入時PH6.8でメタンガス発生後の消化汚泥でPH7.7と順調に推移したことが認められた。

固形物分解率は43.3%、有機物分解率50.0%と過去の成績にみられる数値と大体一致した。

3) 厳寒期における液温の推移

メタン発酵の適温域は、中温発酵で30~40℃の間、高温発酵で50~55℃の間にあり、この範囲をはずれるとメタンガスの発生量も少なくなってくる。また、メタン発酵は、それ自体熱を発生させる発酵ではないので、外から熱を与える必要がある。過去の成績でも夏期は気温が高く加温もさほど考慮しなくてもよいが、冬期はどうしても加温が必要という成績が多くみられる。

そこで、今回は、小規模なメタンガス発生装置において、水中ポンプのモーター熱のみによる加温で足りるのか自記温度記録計で調査したが、第5図をみる限りでは、液温が35℃±0.5℃で推移していることから、FRP製で発泡ウレタンによる断熱構造にしておけば十分であることが確認された。

4) 経済性

経済性の検討をプロパンガスの価格との比較で試算した。運転経費は、1日当たり329円であるが、1日発生したメタンガス発生量は2.80m³でメタン含量を66%とすると利用可能なメタンガスの量は1.85m³とな

第2表 メタンガスの発生状況

項目		月										平均
		7	8	9	10	11	12	1	2	3		
発生量	発生量 (m ³ /日)	1.84	1.56	2.60	2.90	3.06	2.89	3.43	3.87	3.07	2.80	
	有機物1kg 当たり発生量 (m ³ /日)	0.51	0.52	0.52	0.50	0.47	0.49	0.44	0.44	0.42	0.48	
消化汚泥	PH	7.6	7.7	7.6	7.6	7.7	7.8	7.7	8.0	7.9	7.7	
	固形物 (%)	2.6	2.7	3.2	3.8	4.3	4.0	5.5	6.2	5.3	4.2	
	有機物 (%)	1.7	1.4	2.3	2.7	3.2	3.0	4.2	4.8	4.0	3.0	
固形物分解率 (%)		45.8	47.1	47.5	45.7	42.7	42.9	40.2	39.8	38.4	43.3	
有機物分解率 (%)		52.8	53.3	54.0	53.4	50.8	49.2	46.2	45.5	45.2	50.0	

るので1㎡当たりの価格になおすと178円となる。

次に、前年、プロパンガスの価格は、1.0㎡(23,000kcal)当たり500円となっており、発生したメタンガスとプロパンガスは1㎡当たりの熱量が異なるので、カロリー換算して比較すると、

メタンガス 1㎡=6,000kcal=176円
 プロパンガス 1㎡=23,000kcal=500円
 6,000kcal=130円

従って、メタンガスはプロパンガスに対して、今回は1.35倍の割高となった。(第3、4表)

結果および考察(2年度)

1) 投入汚水の性状

投入汚水は、豚舎から人力で回収したふんを一旦前

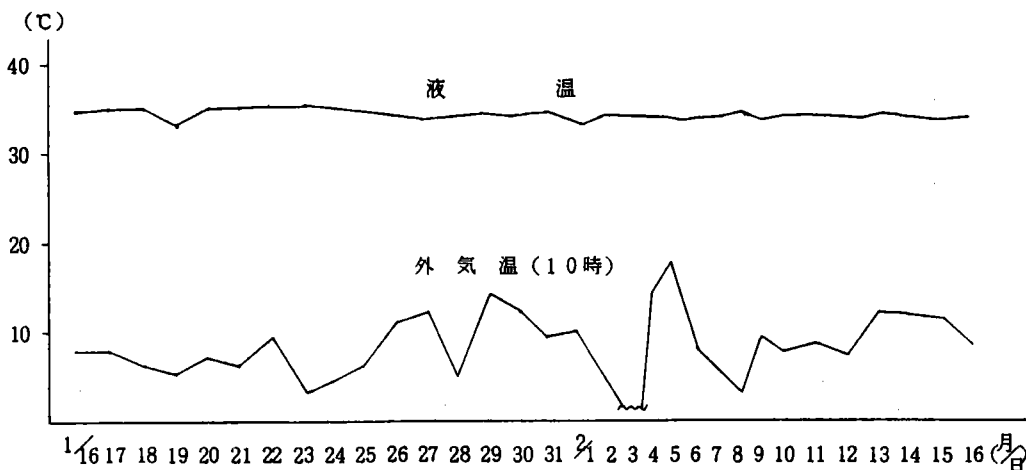
日分を貯留槽に貯め水中ポンプで吸い上げた尿汚水により4倍に希釈した汚水である。分析は2週間毎に行った。

なお、参考に2ℓのビーカーに豚ふんを同上の尿汚水で4倍に希釈した液を作り分析した。

投入汚水および実験規模での汚水の性状を第5、6表に示した。

PHについてみると、豚ふんの生ふんのPHが6.6、尿の7.6が一般的に言われている数値であるが、投入汚水では6.7と生ふんのPHとほぼ同様な数値になった。しかし、実験規模でのPHはかなり高くなり、高い方では8.5低い方で6.9となり期間中平均で7.7であった。

現物水分は、期間を通して90%前後となり4倍希釈液としては少ないように考えられたが、これは、投入



第5図 厳寒期における液温の推移

第3表 設備費 (円)

項目	金額
発酵槽	670,000
脱硫装置	40,000
逆下防止装置	20,000
水中ポンプ	30,000
サーモスタット	20,000
電気工事	35,000
ガス配管工事	35,000
ガスコンロ	4,000
計	854,000

第4表 運転経費 (円/日)

項目	金額	算出基礎
減価償却費	264	耐用年数：8年 854,000円×0.9÷8年÷365日=263.2円
電気代	53	水中ポンプの可動分 (7～9月分)：23.65円/kwh (10～3月分)：10.20円/kwh 使用量月 7 8 9 10 11 12 1 2 3 (kwh/日) 2.15 2.42 2.68 3.50 2.58 3.90 6.74 6.45 6.48
脱硫費	12	脱硫剤の交換費用 (25kgが1.5年使用可能とする) 25kg×250円/kg÷1.5年÷365日=11.4円
計	329	

汚水を貯留槽から水中ポンプで吸い上げたため、貯留槽底部のふんや飼料の残渣等が汚水と一緒に投入されたことによるものと考えられた。

固形物濃度は、現物水分が少なくなった分だけ高くなり、平均で10.8%となり最適と言われる6~8%ということからすれば若干高くなった。

有機物濃度も固形物濃度が高くなったのに比例して高くなった。

灰分は、試験前半では低かったが、後半になるに従って若干ではあるが高くなった。

C/N比については、Sieversらが豚での適値が15.5~19.0ということで指摘しているが、今回の試験では、7.8と約半分以下になった。

なお、実験規模での分析結果が、4倍希釈液の標準的数値と考えられる。

第5表 投入汚水の性状

項目	分析月日											
	5/9	5/23	6/6	6/20	7/4	7/18	8/1	8/15	8/29	9/12	9/26	平均
PH	6.7	7.2	6.8	6.8	7.3	6.5	6.0	6.7	6.1	6.3	6.8	6.7
豚 現物水分(%)	89.4	91.2	88.4	88.0	87.1	90.3	90.4	88.9	90.3	87.9	89.1	89.2
ふ 固形物(%)	10.6	8.8	11.6	12.0	12.9	9.7	9.6	11.1	9.7	12.1	10.9	10.8
ん 有機物(%)	9.0	7.6	10.7	10.2	11.1	8.2	7.8	9.5	7.9	10.4	9.1	9.2
希 灰分(%)	1.57	1.25	0.93	1.80	1.80	1.50	1.75	1.61	1.78	1.73	1.90	1.60
釈 C (%)	31.0	29.8	31.8	29.2	28.6	31.0	29.4	31.2	29.8	30.6	30.4	30.3
液 N (%)	4.6	3.9	3.3	3.9	3.3	3.5	5.1	3.8	4.1	3.4	3.8	3.9
C/N	6.74	7.64	9.64	7.49	8.67	8.86	5.76	8.21	7.27	9.00	8.00	7.77

第6表 実験規模での汚水の性状

項目	分析月日											
	5/9	5/23	6/6	6/20	7/4	7/18	8/1	8/15	8/29	9/12	9/26	平均
PH	8.5	8.3	7.8	8.2	8.2	7.6	6.9	7.5	7.0	7.2	7.0	7.7
豚 現物水分(%)	92.9	92.7	94.3	92.1	93.6	92.9	92.8	93.8	92.3	92.7	92.9	93.0
ふ 固形物(%)	7.1	7.3	5.7	7.9	6.4	7.1	7.2	6.2	7.7	7.3	7.1	7.0
ん 有機物(%)	5.7	6.2	4.4	6.5	5.0	6.2	5.9	5.1	6.3	6.1	5.9	5.8
希 灰分(%)	1.37	1.11	1.31	1.43	1.40	0.87	1.29	1.10	1.35	1.18	1.24	1.24
釈 C (%)	14.7	15.9	15.3	14.3	14.4	16.3	15.8	15.8	15.5	15.3	15.4	15.3
液 N (%)	1.2	1.3	1.3	1.1	1.2	1.4	1.5	1.4	1.2	1.4	1.3	1.3
C/N	12.3	12.2	11.8	13.0	12.0	11.6	10.5	11.3	12.9	10.9	11.8	11.8

2) メタンガス発生状況

メタンガス発生状況を第7表に示した。ガス発生量は、大体において安定した発生量で、期間中のガス発生量も平均で1日当たり3.32m³になった。これは、時期的にも暖かい時期に調査したため、投入汚水の影響もあまり受けず、発酵槽内の液温が順調に推移したためと考えられた。

有機物1kg当たりのガス発生量は、有機物濃度が高

くなったため少なくなった。このことは、メタン菌に分解されない有機物がかなり混入していたものと考えられる。

PHについては、発酵液中のPHは大体中性域ぐらゐがよいといわれているが、今回の調査では、期間を通して高い時期で8.4、低い時期で7.6となり期間を通して7.9となった。

固形物分解率は、31.0~70.2%と期間中かなりの変

第7表 メタンガス発生状況

項目	月日	5/9	5/23	6/6	6/20	7/4	7/18	8/1	8/15	8/29	9/12	平均
		~5/23	~6/6	~6/20	~7/4	~7/18	~8/1	~8/15	~8/29	~9/12	~9/26	
発生量	発生量(m ³ /日)	3.04	3.50	3.53	3.49	3.32	3.26	2.98	3.18	3.54	3.40	3.32
	有機物1kg当り発生量(m ³ /日)	0.40	0.33	0.35	0.31	0.40	0.42	0.31	0.40	0.34	0.37	0.36
消化汚泥	PH	7.6	7.7	7.6	8.3	8.4	7.9	7.8	7.9	7.9	7.9	7.9
	固形物(%)	3.7	4.1	4.3	8.9	4.3	4.8	5.8	4.2	3.6	3.8	4.8
	有機物(%)	2.8	3.3	3.2	7.0	3.1	4.2	4.5	2.6	2.7	2.9	3.6
固形物分解率(%)		58.0	64.7	64.2	31.0	55.7	50.0	47.7	56.7	70.2	65.1	56.3
有機物分解率(%)		63.3	64.2	68.3	36.9	61.7	46.0	52.2	67.1	74.5	68.7	60.3

第8表 投入汚水の成分含有率

(%)

項目	月日	5/9	5/23	6/6	6/20	7/4	7/18	8/1	8/15	8/29	9/12	平均
T-N		0.35	0.39	0.47	0.43	0.38	0.51	0.42	0.41	0.41	0.42	0.38
NH ₄ -N		0.14	0.14	0.20	0.13	0.09	0.14	0.13	0.10	0.10	0.13	0.12
NO ₃ -N		0.032	0.025	0.026	0.021	0.023	0.025	0.038	0.021	0.023	0.026	0.024
P ₂ O ₅		0.38	0.53	0.49	0.54	0.55	0.53	0.50	0.55	0.57	0.54	0.52
K ₂ O		0.27	0.34	0.30	0.35	0.35	0.35	0.45	0.39	0.45	0.41	0.33

第9表 発酵処理物の成分含有率

(%)

項目	月日	5/23	6/6	6/20	7/4	7/18	8/1	8/15	8/29	9/12	9/26	平均
T-N		0.24	0.27	0.30	0.38	0.36	0.36	0.36	0.34	0.36	0.33	0.30
NH ₄ -N		0.14	0.17	0.18	0.21	0.20	0.20	0.22	0.21	0.18	0.20	0.17
NO ₃ -N		0.017	0.016	0.021	0.021	0.027	0.027	0.030	0.034	0.034	0.031	0.023
P ₂ O ₅		0.28	0.28	0.47	0.49	0.51	0.60	0.53	0.76	0.51	0.62	0.46
K ₂ O		0.12	0.19	0.21	0.21	0.25	0.23	0.32	0.41	0.36	0.33	0.24

動がみられたが、平均では56.3%と高い分解率となった。これは、前回用いた同じ種汚泥を使ったため、順調な分解が行なわれたものと考えられた。

有機物分解率は、固形物分解と同様の傾向を示したが、有機物の分解量が増加したのは滞留日数が30日間と若干ながく期間をとったためと推測された。

3) メタン発酵処理物の成分変化

メタン発酵処理物の成分変化を投入汚水との比較で検討した。

投入汚水と発酵処理物の成分含有率を第8、9表に示した。

メタン発酵によって有機物が分解し、メタンガスが発生し、そのあとにスラリー状の発酵処理物が排出されるが、これを肥料の3要素の面から投入汚水と発酵処理物について比較してみると、T-N、P₂O₅およびK₂Oとも減少する傾向がみられた。T-Nの中でもNH₄-Nのみは若干ではあるが増加の傾向がみられたが、NO₃-Nについての変化はみられなかった。

しかし、メタン発酵によって発酵処理物が減少するというのではなく、投入した量とほぼ同量の発酵処理物が出てくるので、これらを処理する方法も必要であるが、悪臭防止の面からは、悪臭物質がメタンや二酸化炭素などに分解され、ふん尿本来の臭気が消えるので圃場還元にも有効であると考えられる。

4) 経済性

経済性の検討については、メタンガス発生装置の設備費を前回と同じく854,000円として、プロパンガスの価格との比較で計算した。

運転経費は、1日当たり320円であるが、1日に発生したメタンガス発生量は3.32m³でメタン含量を66%とすると利用可能なメタンガスの量は2.19m³となるので1m³当たりの価格になおすと146円となる。

次に、今回調べたプロパンガス価格は、1.0m³(23,000kcal)当たり430円となっており、発生したメタンガスとプロパンガス1m³当たりの熱量が異なるので、カロリー換算して比較すると、

メタンガス 1m³=6,000kcal=146円

プロパンガス 1m³=23,000kcal=430円

6,000kcal=112円

従って、メタンガスはプロパンガスに対して今回は1.3倍の割高となった。(第10表)

摘 要

中小規模養豚農家を対象とした簡易でしかも低コストのメタンガス発生装置を試作し、初年度は、希釈液として水道水を用い、次年度は豚舎を洗浄した水や豚尿の混合した汚水を用い、装置の構造上の問題、メタンガスの

第10表 運転経費

(円/日)

項目	金額	算 出 基 礎
減価償却費	264	耐用年数：8年 854,000円×0.9÷8年÷365日=263.2円
電 気 代	44	水中ポンプの可動分 5.6月分：14.65円/kwh 7.8.9月分：16.10円/kwh 使用量月 5 6 7 8 9 (KWh/日) 2.99 2.91 2.83 2.63 2.89
脱 硫 費	12	脱硫剤の交換費用(25kgが1.5年使用可能とする) 25kg×250円/kg÷1.5年÷365日=11.4円
計	320	

発生状況、厳寒期における液温の推移、発酵処理物の肥料的価値および経済性について検討し、次の結果を得た。

1 試作した装置では、余剰ガスが噴き出し、種汚泥を流出させ発酵槽の外壁を汚すことがあったが高さ50cmのガードを周囲に取りつけることで防止できた。

2 メタンガスの発生状況は、液温、PH等が順調に推移したので、ガス発生量も期間中平均で、初年度1日当たり2.80 m^3 、次年度3.32 m^3 と一般家庭の厨房用として利用できる量を得ることができた。

3 メタン発酵過程での発酵処理物の肥料的価値は、投入汚水と比較して、T-N、 P_2O_5 および K_2O とも若干減少していたが、T-N中の $\text{NH}_4\text{-N}$ のみは増加した。

4 発生したガスを市販のプロパンガス価格に換算した評価額は、プロパンガス価格に対し初年度で1.4倍、次年度で1.3倍になった。評価額については、プロパンガス価格や電気料金の変動等によって左右されるので、一概に何倍とか結論付けはできないと考えられる。

引用文献

- 1) 羽賀清典：ふん尿のメタンガス利用畜産公害対策全書 1984
- 2) 羽賀清典：家畜ふん尿のエネルギー利用 畜産の研究 1976
- 3) 桧垣繁光外：メタンガス利用開発の現状 農林水産技術情報協会 1979
- 4) 本田勝男：新しいふん尿処理利用法 養豚情報 1983
- 5) 本田勝男：家畜ふん尿のメタン発酵とガス化技術の研究(1) 畜産の研究 Vol.35 No.6、No.7 1981 No.8 1982
- 6) 本田勝男：家畜ふん尿のメタン発酵処理および利用に関する研究 神奈川県畜産試験場研究報告 No.71 1981
- 7) 木庭研二：豚ふん尿によるメタン発酵とその利用に関する研究 熊本県畜産試験場試験調査成績書 1988
- 8) 西村 洋：有機性廃棄物の嫌気性消化の研究 農業機械化研究所 1985