

養豚の低コストメタン発酵プラントの普及型処理施設

特定非営利活動法人 バイオガスシステム研究会 理事長
 (財)畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所 相談役
 亀岡 俊則

近年、家畜ふん尿処理におけるメタン発酵法が急速に注目され、特にドイツでは年間ほぼ800施設が建設されており、再生可能エネルギーの内の11%を代替することが見込まれているようである。

畜舎汚水の中では、豚ふん尿混合汚水のメタン発酵法は、資源回収型処理法としてきわめて有望であり大規模養豚場ではすでにふん尿混合方式の効率的処理として実施例がある。しかし、養豚経営のメタン発酵は消化液の液肥利用が殆どの場合困難であり、消化液の浄化処理を行う場合は4,000頭程度の中規模以下においては処理施設の建設費が多くを占め、全体の処理コストがこれまでの「ふん尿分離方式の活性汚泥処理法」に対し高額となる。しかしながら、近年、地球温暖化防止に伴い資源循環型処理の重要性が叫ばれるなか、メタン発酵処理は農家の現場においても強い関心が寄せられ普及への期待感が強まっている。

そうした背景のもと、畜産環境技術研究所で開発した低コスト型メタン発酵処理技術¹⁾を 畜産環境整備

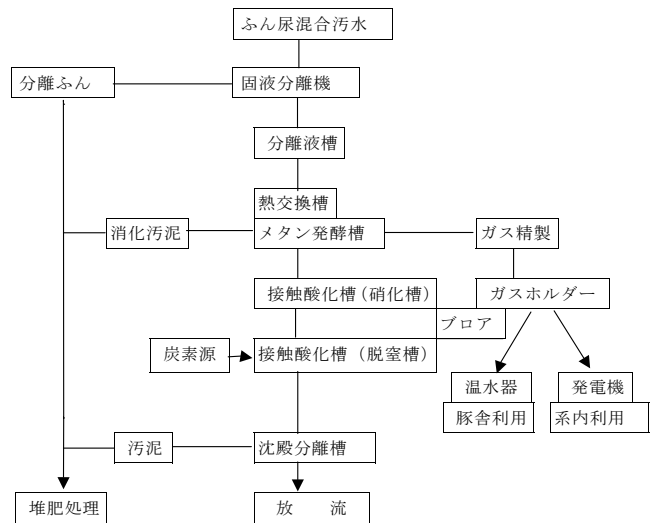


図1 豚舎汚水のメタン発酵処理システムフロー（実証施設）

機構の研究助成を受け豚4,000頭規模の大洋興産(株)の養豚場において(株)タクマ及び(株)モリプラントによって普及のための効率的かつ低コスト型メタン発酵と消化液の浄化処理の実証施設を設置し、処理性能および経

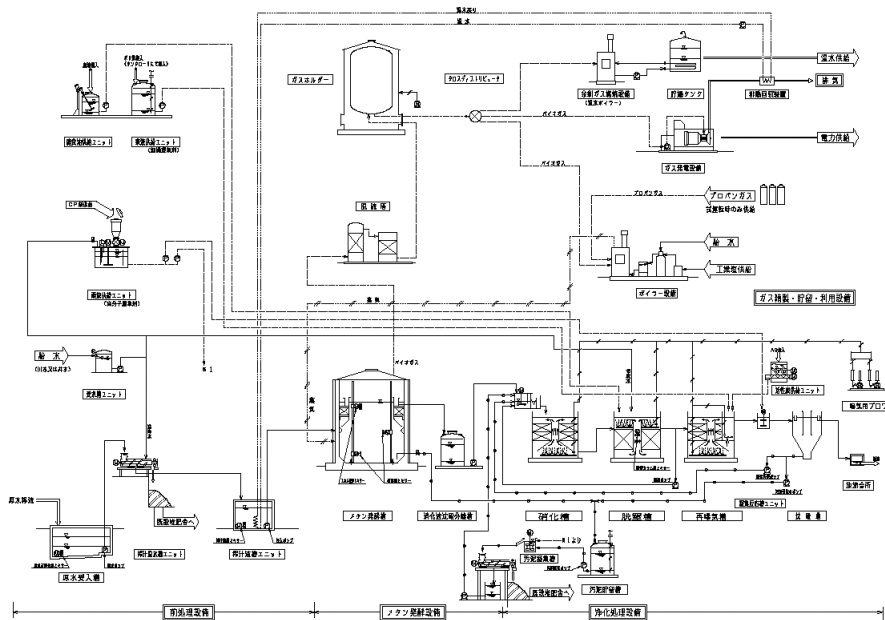


図2 実証プラントシステムフロー



写真1 上：メタン発酵槽とガスホルダー
下：消化液の浄化処理設備

済性効果の良い安定処理技術を平成17年3月に確立することができた。この効率的かつ低コストメタン発酵処理システムを資源循環型処理法の一選択肢として普及することが整い、環境保全と安定的畜産経営に寄与できることが期待されるので以下にその概要を報告する。

1. メタン発酵処理システムと特徴

本実証プラントのメタン発酵処理システムフローを図1及び実証プラントシステムフローを図2、処理施設を写真1に示す。処理工程は、豚舎から排出したスラリー状の豚ふん尿混合汚水を搾汁脱水機で粗大物を除去した後、搾汁液をメタン発酵槽へ投入し、有機物を分解して消化ガスを発生して、ガス発電を行い、発電した電気は処理施設の消費電力として使用し、余剰が発生すると養豚場内で自家消費する。さらに回収した排熱は温水に変換して前処理設備で豚ふん尿搾汁液

の加温に利用する。また、メタン発酵設備から排出される消化液は、浄化処理設備にて硝化・脱窒の浄化処理を行い河川放流する。

この処理システムでは特に効率化と低コスト化について以下のとの特徴を有している。

メタン発酵槽汚泥の高濃度化技術

メタン発酵槽内液の攪拌は間欠攪拌方式とし、上澄み消化液を引き出すことができる発酵槽の構造と運転法により、消化汚泥濃度を高め、有機物分解の効率化と高負荷運転を可能にするとともに、消化液中の汚泥を分離することなく浄化処理に供する技術の開発を行う。この手法により、発酵槽内の消化汚泥濃度を4%程度まで高め、有機物容積負荷量の高負荷運転（目標約30kg/m³）を可能にする。

消化液のカラム浄化処理技術（接触酸化法）

メタン発酵槽から流出した上澄み消化液を汚泥分離することなく、低コスト化のカラム（接触酸化法）浄化処理により放流可能な水質まで処理する技術開発を行うとともに、曝気槽の活性汚泥（MLSS）濃度調整など運転管理の簡易化を図る。曝気槽内の充填材としては安価なカキ殻、コークスを接触する材として用いる生物膜方式としコストダウンを計るとともに、廃食油を用いた低コスト脱窒処理を実現する。

2. メタン発酵処理によるエネルギー生産効率

（1）豚舎汚水及び搾汁液の性状

豚舎から排出したふん尿混合汚水量は日量ほぼ20～26m³で、その性状はTS（固形物）7.2%、BODは48,000mg/Lと非常に高濃度である。この汚水を搾汁すると、TSは4.4%に低下し、その除去率は約39%である。BOD及び窒素の濃度変化は殆どなく、分解し易い有機物が大半を占めているが、T-Nが5,200mg/Lと高濃度であり、アンモニアによるメタン発酵微生物への影響が懸念される性状である。また、搾汁した分離ふんは含水率平均69%で、そのまま堆肥化処理ができる。

（2）メタン発酵のガス発生効率

メタン発酵の効率化のためには、まずメタン発酵槽内の消化汚泥の高濃度化が重要な要因となる。本実証

投入物	通常負荷運転	高負荷運転(設計値)	
	豚ふん尿搾汁液	豚ふん尿搾汁液	おから
投入量	22m ³ /日	26.0m ³ /日	1.8t/日
VS負荷(kg-VS/m ³ /日)	1.6	2.0	0.6
バイオガス発生量(m ³ /日)	534	921	
投入VS当りの バイオガス発生量(m ³ /VS-kg)	0.64	0.68	

表1 メタン発酵処理の成績

分析項目	消化液	硝化カラム	放流水
BOD (mg/L)	3,700~15,000	670	11
COD _{Mn} (mg/L)	5,500~9,700	—	170
T-P (mg/L)	310~1,190	—	8
T-N (mg/L)	3,440~6,500	540	59
SS (mg/L)	8,500	—	17
色度 (度)	—	—	270

表2 浄化処理分析結果

プラントでは、発酵槽液の攪拌方法を間欠運転とし、汚泥を重力沈降させた後、汚水を投入して消化液の上澄液を越流させることにより、発酵槽内の汚泥濃度を高濃度化する。従って、攪拌・沈殿等の運転条件により高濃度化が大きく影響されることから、発酵槽内汚泥と消化液のSS濃度を測定し、適切な運転条件を検討した結果、攪拌時間を7時間、沈殿時間4.5時間の回分方式が適切条件であることが分かり、1日2回汚水投入の方法で、発酵槽内汚泥のSS濃度を3.8%まで高められ、かつ越流する消化液のSS濃度を0.8%以下に抑えることができた。なお、発酵槽液の汚泥濃度をSS4%以上高めると発泡現象が大きくなるので留意する必要があった。

次に、メタン発酵の通常運転と、高負荷運転の結果を表1に示す。通常運転の有機物(VS)負荷量は平均1.6kg/m³・日(832kgVS/日)とやや低負荷条件であった。また、高負荷運転では、豚ふん尿搾汁液に豆腐

粕を混合して行った。この時のVS負荷量は約26kg/m³・日(1,350kgVS/日)であり、ほぼ計画設計値の負荷量の条件でとなっている。

メタン発酵処理の結果、通常運転では日量約534m³(2.9MKcal)の消化ガスが発生し、その有機物当たり



写真2 硝化槽に充填したカキ殻付着汚泥

分析項目	メタノール				廃食油			
	消化液	硝化カラム	脱窒カラム	再曝気カラム	消化液	硝化カラム	脱窒カラム	再曝気カラム
BOD	6,500	—	—	—	4,900	—	—	—
T-N*	4,600	550	425	390	3,900	430	420	355
NH ₄ -N	2,800	27	24	6	2,600	37	40	16
NO ₃ -N	—	74	7	34	—	19	0.77	8
NO ₂ -N	—	40	4	6	—	7	3	0.3

※T-N濃度はMLSSを含んだ分析結果を示す

表3 廃食油による脱窒試験結果(単位:mg/L)

薬剤名	使用量	備考
ポリ鉄	84kg/日	
脱水助剤	3kg/日	カチオン系
消泡剤	1.0kg/日	アルコール系
炭素源	20kg/日	廃食油
脱硫剤	7kg/日	

表4 薬剤平均使用量

のガス発生量は約0.64m³/VS-kgであり、これまでの豚ふん尿搾汁液の0.53m³/VS-kgの文献値^{1)~4)}に対して約20%効率化された成績である。高負荷運転では、921m³/日(5.1Mkcal)のガス発生量が認められ、ガス化率は0.68m³/VS-kgと一段と高い効果が得られた。

消化ガスの組成は、メタン濃度は66~72%で、その平均68%と一般的なメタン濃度(約65%)に対しやや高い成績であり、発酵槽液の高濃度化が何らかの関与があったものと推察される。

3. 消化液の効率的な浄化処理成績

表2に消化液及び浄化過程の各処理水の水質分析結果を示す。浄化処理設備の運転条件は、BOD容積負荷は平均0.4kg/m³・日、窒素負荷は平均0.25kg/m³・日であった。なお、硝化カラムのBOD除去率は平均

75%、窒素除去率は平均66%であり、硝化カラムにおいてすでに脱窒が進行していることが確認された。写真2に示すようにカキ殻表面には汚泥が堆積しており、また生物膜の表面は茶褐色であった。さらに、生物膜の内部は黒い汚泥が堆積しており、硝化カラムに充填したカキ殻によって好気・嫌気状態が存在したためであると考えられる。放流水質はBOD11mg/L、T-N59mg/L、大腸菌群数100個/CC以下であり、良好な水質であった。

また、年間を通じて各カラムのMLSS濃度は、4,000mg/L~6,000mg/Lであり、返送汚泥による汚泥濃度調整は必要なく、余剰汚泥の引抜きのみによる運転管理であった。これは、各カラム内の充填材(カキ殻、コークス)の効果により、十分な汚泥濃度が維持されていたためであると思われる。

次に、廃食油とメタノールを用いた窒素除去の成績

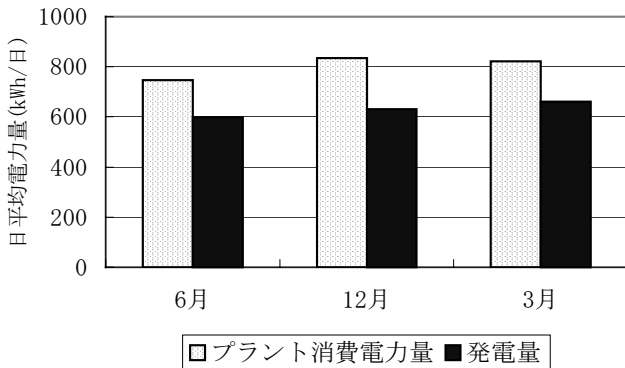


図3 代表的な時季での電力収支

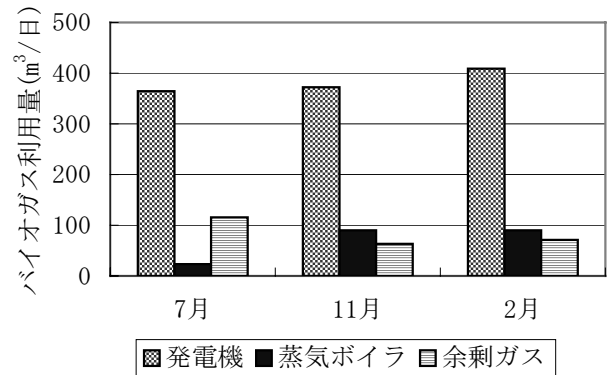


図4 代表的な時季のバイオガス利用収支

を表3に示す。廃食油は投入消化液量に対して1,400 mg/L程度の添加量で十分な脱窒効果があり、メタノールとほぼ同程度であり、低コストで脱窒の有機炭素源として十分利用できることが証明された。

また、消化液の浄化処理では高濃度処理になるため、浄化処理水はかなり強い色度を有する。本実証では、ポリ硫酸鉄のみを0.28%添加した場合CODMn除去率が約42%、色度除去率は約49%であった。

4. 低コスト処理システムの実現

メタン発酵処理の普及のためには、処理性能と同時に処理コストが、一般的なふん尿分離方式での活性汚泥処理法とほぼ同程度であることが要求される。本実証プラントで約2年間の運転条件の中で要した処理経費をそれぞれリストアップし、出荷豚当たりの処理経費を求め経済性の評価を行った。

(1) 薬品使用量

表4に平成16年4月から平成17年3月までの平均薬品使用量を示す。なお、汚泥の脱水処理に伴う凝集剤の添加率は約1.0%/SSであった。

(2) 電力使用量

図3に代表的な時季での電力収支を示す。定常運転時における平成16年4月から平成17年3月までのプラント消費電力の平均値は約800kWh/日、発電量は約620kWh/日であった。

(3) バイオガス収支

図4に代表的な時季でのバイオガス利用収支を示す。マイクロガスタービン発電機は吸気温度によって影響されるため、季節によって若干のガス利用量に差が見られた。また、冬季においては発酵槽の加温に使用する蒸気ボイラの稼働率が高くなり、ガスの利用量が増加した。なお、平成16年4月から平成17年3月ま

	通常実証	高負荷実証	備考
出荷豚1頭当りのランニングコスト	647	566	
出荷豚1頭当りの設備償却費	616	489	機械設備 1.5 億円 補助率 50%、定額・15 年償却、 残存価格 10%
出荷豚1頭当りのトータルコスト	1,263	1,055	

表5 トータル処理コスト試算結果(単位:円/頭)

での余剰ガス発生量の年間平均値は約50m³/日であった。

(4) 処理コストの合計

処理にかかるランニングコスト及び設備償却費を含め、トータルコストを算出した結果を表5に示す。本実証施設においては出荷豚1頭当りのトータルコストが1,263円/頭となったが、計画設計値である高負荷運転では1,055円/頭となり、ふん尿分離式の尿汚水の活性汚泥処理法とほぼ同額であり、ふん尿混合で低コストメタン発酵システムを実現することができた。

5. 普及型システムとその展望

豚舎汚水の排出形態は、ふん尿混合か、ふん尿分離方式であるが、ふん尿分離式であっても分離ふんの水分は尿の混合により泥状の場合が多く、しかも尿の混合によりアンモニア等の悪臭発生が極めて強い。飼養管理の省力化や豚舎臭気の発生抑制のためにもふん尿は混合状態で排出し、密閉系の処理工程により処理することが望まれる。ところがふん尿混合になると、水分は88～92%程度の非常に高濃度なスラリー状の汚水として排出するため、堆肥化では水分調整に大きな負担がかかり、また活性汚泥法などの汚水浄化方式では高濃度で多量のBOD物質を除去するための処理施設と経費が高額となる。

メタン発酵法は、このような高濃度汚水を処理できる特長があり、かつ資源循環型としてエネルギー回収ができ、カーボンニュートラルとして環境保全に貢献できる大きな利点があるなど、今後、低コスト型のメ

タン発酵処理システムの方法が家畜ふん尿処理法の一選択肢として期待できる。

まとめ

近年、メタン発酵法は、再生可能エネルギーとしてドイツなどでは数多くの処理施設が建設されつつある。わが国においては、資源循環型処理の推進が叫ばれているものの、建設コストが高いなどの理由から足踏み状態が続いている。家畜ふん尿処理方式の中でメタン発酵法はカーボンニュートラルの代表的な処理法であり本格的な取り組みの必要性がきている。

本実証施設では、約2年間の実績を踏まえ出荷豚1頭当たりほぼ1,000円と従来から見て大幅な低コストふん尿混合汚水の処理が可能であることが確認され、今後の資源循環型処理法として有力であり、関係各方面での取り組みが望まれる。

参考文献

- 1) 亀岡俊則、メタン発酵消化液の低コスト処理技術の開発、畜産環境整備機構：畜産環境技術研究所年報、第5号、p40-49、2002
- 2) 和田浩幹、中西英夫、入江直樹、豚ふん尿汚水メタン発酵処理実証プラントの試験報告、タクマ技報、VOL.12、NO2、2005
- 3) 財団法人畜産環境整備機構、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、平成13年8月
- 4) 亀岡俊則、崎元道男、因野要一、家畜ふんに食品廃棄物を混合したメタン発酵について、日畜会報、57(3)、1986



堆肥センター付属の実証展示圃場（本文とは関係ありません）