

1 新技術情報 その1

メタン発酵と膜分離法を組み合わせた
エネルギー利用型家畜ふん尿処理システムの開発

住友重機械工業株式会社 環境衛生施設事業センター
岡庭良安 野口真人 生村隆司

1. はじめに

国内における家畜排せつ物は、その大部分が肥料として利用されているものの臭気や地下水汚染等の環境問題が顕在化している地域も少なくない。家畜排せつ物のメタン発酵処理施設はドイツ、デンマークを中心に1600基以上存在しているが、その殆どはメタン発酵後の消化液そのものを液肥として農地還元していると思われる。

一方、窒素過剰の国内においてはメタン発酵液中の窒素を除去することが必要な場合もあると考えられる。本開発では、家畜排せつ物および厨芥ごみ等を対象として膜分離メタン発酵処理を行い、更に、得られたメタンガスを利用してメタン発酵液の窒素除去を行う低コストシステムを実証した。

2. 試験設備

試験施設は神奈川県厚木市の東京農業大学厚木キャンパス内に設置した(写真1)。メタン発酵の原料として、豚糞尿、牛糞尿、および各々に生ごみを混合したものをを用いた。試験設備の構成を図1、主な試験設備の仕様を表1に示す。

豚ふん尿ないし牛ふん尿中の粗大有機物を破碎後、固液分離装置で脱水し、液状のふん尿を調整槽に貯留した。一方、厨芥ごみ等はディスポーザで破碎後調整槽に送って家畜排せつ物と混合した。調整槽のふん尿等は連続的にメタン発酵槽に投入した。回転平膜装置を用いて脱離液を得、脱水分離液と混合後アンモニアストリッピング処理を行った。メタン発酵で発生したメタンガスはアンモニアストリッピング処理で用いるスチームの熱源として利用し、その他は発電することを想定した。ストリッピング処理水は凝集処理一体型の活性汚泥処理設備で窒素、リン、COD、色度等を除去し河川放流が可能な水質にまで浄化した。



写真1 パイロットプラント

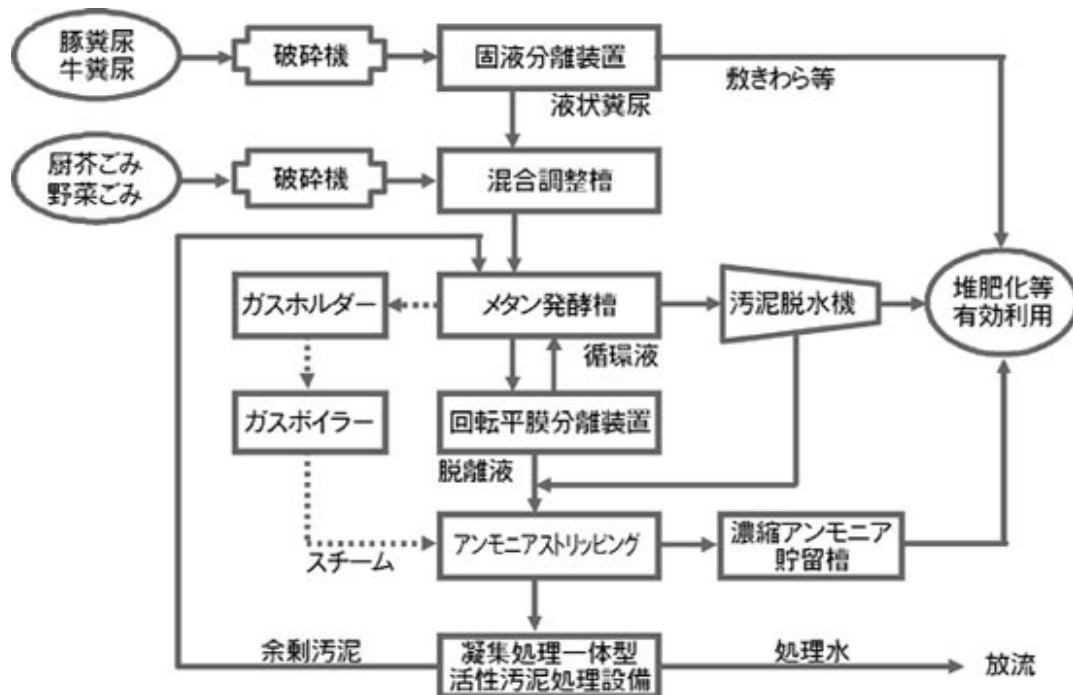


図1 膜分離メタン発酵システムの構成

表1 主要設備の仕様

		容 量		能 力	
前処理	厨芥ごみ等破碎机(ディスポーザ)	-	-	1.8	ton/hr
	ふん尿破碎机(2軸破碎机)	-	-	0.2	ton/hr
	固液分離装置(スクリュープレス型)	-	-	0.5	ton/hr
メタン発酵処理	メタン発酵槽	6~8	m ³	-	-
	回転平膜分離装置	300	L	分画分子量75万	
				5	m ²
アンモニアストリッピング処理	アンモニアストリッピング塔	0.1	m ³	-	-
バイオガス周辺	ガスホルダー	1	m ³	-	-
汚泥処理	汚泥脱水機(多重円盤型)	-	-	12.7	kg-DS/hr

3. 試験方法

1). 供試試料

メタン発酵試験に用いた原料の性状を表2に示した。

表2 原料の性状

	豚ふん尿	牛ふん尿	厨芥ごみ
pH	7.0	7.9	4.6
TS (mg/L)	59300	75700	134000
VS (mg/L)	43300	57800	121000
COD _{Cr} (mg/L)	92500	91700	137000

BOD (mg/L)	21300	8600	69400
TK-N (mg/L)	4590	4450	3290
NH ₄ -N (mg/L)	2600	2110	160
T-P (mg/L)	1000	1000	420

- (1) 豚ふん尿: 豚ふん尿は、東京農業大学富士畜産農場のスノコ式豚舎のふん尿混合物を実験設備内に搬入しスクリーンプレス型脱水機で脱水したものである。豚舎ではプレナを使用しているため、脱水機の固形物分離率は約50%と高かった。
- (2) 牛ふん尿: 牛ふん尿は、東京農業大学富士畜産農場のバンクリーナ式牛舎から排出される乳牛のふん尿混合物を農場のロールプレス型脱水機で脱水した分離液である。
- (3) 厨芥ごみ: 厨芥ごみは、東京農業大学厚木校内の食堂残飯、A市給食センターの残飯、B市青果市場のくず野菜を混合し、直接ディスポーザによって破碎し原料とした。

2). 試験方法

表3に示す対象原料を用いてRUN 1~RUN4の試験を行った。各々のRUNでは、発酵槽へ投入する原料の量を変化させてデータを取得し、また、RUN2、RUN4ではふん尿と厨芥ごみの混合比を変化させた試験も行った。その中から、表3では有機物負荷(VS負荷)約4kg/m³、厨芥ごみ等の混合比を約1:0.2とした場合の結果を示した。

表3 メタン発酵運転結果

RUN.No.		1	2	3	4	
対象原料		豚ふん尿	豚ふん尿 厨芥ごみ	牛ふん尿	牛ふん尿 厨芥ごみ	
原料混合比		-	1:0.23	-	1:0.22	
槽容積	m ³	6.0				
原料投入量	m ³ /d	0.52	0.47	0.43	0.38	
膜処理量	m ³ /d	0.29	0.31	0.15	0.20	
污泥引抜量	m ³ /d	0.23	0.17	0.29	0.19	
HRT	day	12	13	14	16	
SRT	day	26	36	21	32	
負荷	COD _{Cr}	kg/m ³ /d	9.3	7.8	6.4	6.2
	VS	kg/m ³ /d	4.0	4.3	3.9	4.2
発酵槽内	pH	-	7.5	7.9	7.9	7.6
	TS	mg/L	95400	68800	81900	81000
	NH ₄ -N	mg/L	3100	2920	1950	2110
	T-P	mg/L	1950	1540	1450	1510
	VFA	mg/L	250	140	440	500
ガス発生量	m ³ /日	14.3	19.0	6.7	12.0	
COD _{Cr} 分解	%	44	73	29	49	
VS分解率	%	60	78	32	57	

4. 運転結果

1). メタン発酵処理試験

前処理後の豚ふん尿、牛ふん尿、または生ごみ混合ふん尿を1時間毎に一定量ずつメタン発酵槽

(6m³)にポンプで投入した。表3に示したSRTとHRTの比(SRT/HRT)は膜分離によってメタン発酵槽内のメタン汚泥濃度が高められた倍率を示しており、本システムでは従来のメタン発酵に比較して1.5~2.8倍のメタン汚泥濃度での運転ができることが示されている。VS負荷約4 kg/m³とした運転では、豚ふん尿および牛ふん尿1m³に対して各々27.5m³、15.6 m³のバイオガスが発生した。また、各々に厨芥ごみ等の有機性残さを混合したCASE2、CASE4では、バイオガス発生量が原料1m³あたり40.4m³および31.6m³に増加している。いずれのケースにおいても発酵槽内の有機酸(VFA)濃度は500mg/l以下で良好な運転が行われ、家畜排せつ物と有機性残さを混合することによってバイオガス量が飛躍的に増加する効果が確認できた。

2). 膜分離処理試験

膜分離は回転平膜分離装置(写真2、図2)を用いた。回転平膜は2軸を基本に円板状のディスクを交互に組合せた構造になっている。膜はディスクの両面に貼られており、中空の軸芯を吸引することによって膜を透過した処理液を軸芯に集めることができる。膜分離装置の膜面積5.25m²、回転軸の回転数60rpm、膜ディスクの間隔15mm、膜透過流束0.12m³/m²・日の場合の膜間吸引差圧の経日変化を図3に示す。どの原料についても50日以上安定運転が行える。

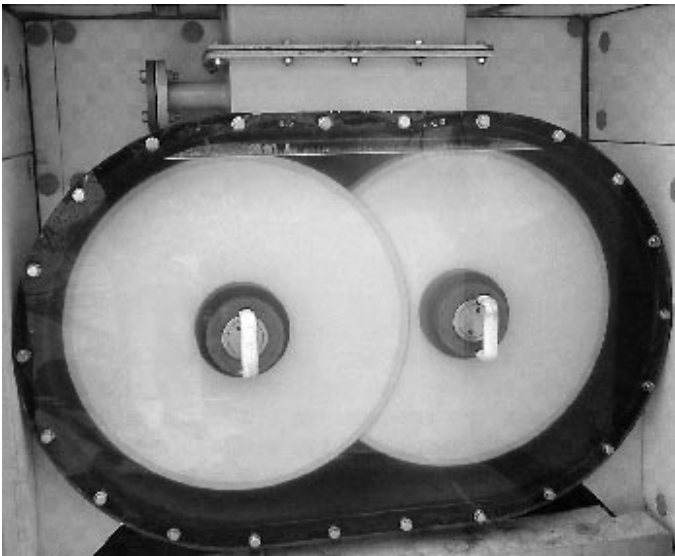


写真2 膜分離装置

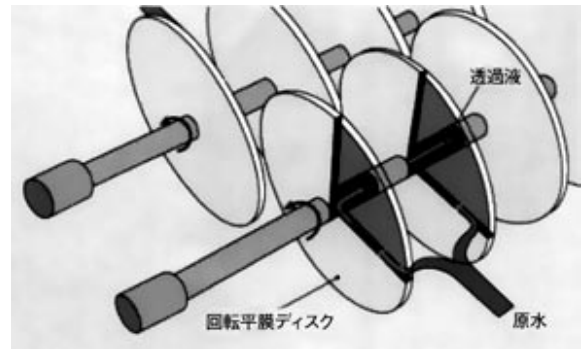


図2 膜分離装置の構造

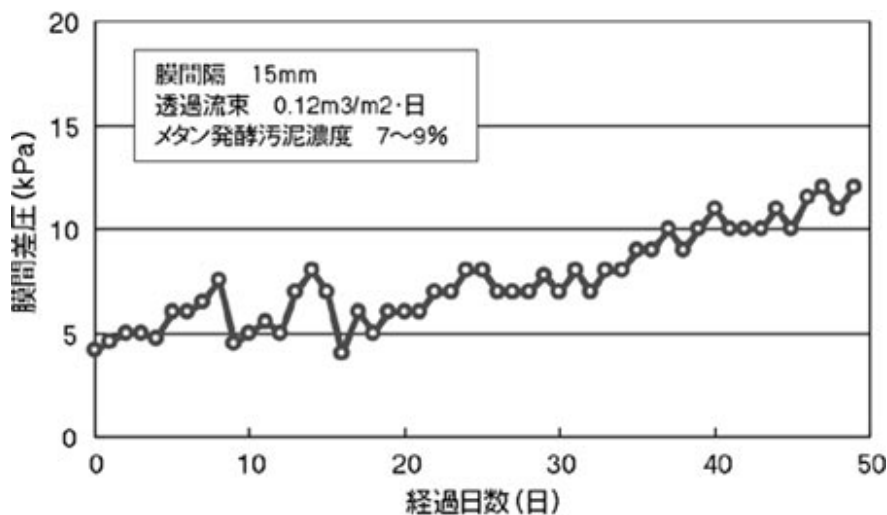


図3 膜吸引差圧の経日変化

3). アンモニアストリッピング処理

アンモニアストリッピング塔(処理能力 0.2m³/hr)の上部から膜分離した脱離液を散水し、下部からスチームを吹き込むことでアンモニアを気化させ、塔上部にあるコンデンサーで冷却し、濃縮アンモニア水を回収する。アンモニアを除去した液はストリッピング塔底部から引き抜く。脱離液およびストリッピング処理水の水質は表4に示したとおりであり、脱離液に対して14~20%のスチーム吹き込みで80

～90%のアンモニア除去が行える。濃縮アンモニア水の濃度は約12%で脱離液量の約1/40量となるため、運搬が容易であり肥料として利用し易くなる。

表4 脱離液とストリッピング処理水の水質

対象液		脱離液	ストリッピング処理水
pH	pH	8.2	9.4
TS	mg/L	6800	5880
BOD	mg/L	800	640
COD _{Mn}	mg/L	1660	1490
TK-N	mg/L	3020	520
NH ₄ -N	mg/L	2580	370

4). 脱水処理試験

メタン発酵槽から引きぬいた発酵液は高分子凝集剤で凝集後、多重円盤型脱水機で脱水した。固形物あたり2%の高分子凝集剤添加率で含水率75%まで脱水できた。脱水汚泥は水分調整材等の副資材を用いずにそのまま堆肥化することができた。

5). 凝集処理一体型硝化脱窒素処理 (ベンチスケール実験)

図4に示す生物処理と凝集沈殿処理を一体化したプロセスで窒素、リン、COD、色度の除去を行った。処理対象水はアンモニアストリッピング処理水と脱水分離液の1:1の混合液(A系)および、対照として、アンモニアストリッピングを行わないメタン発酵脱離液と脱水分離液の混合液(B系)についても試験を行った。

各々の試験において、脱窒のためのBOD/N比を2ないし3にするために原水にメタノールを添加した。また、原水は2倍希釈した。各々の対象液に対して行った試験結果を表5にまとめる。処理水の窒素濃度を水質汚濁防止法の基準値(日間平均60mg/l)以下に処理するためには、A系、B系共約3倍のメタノールが必要であった。実験結果から、A系では従来法の脱窒素処理に近いB系に比較しメタノール必要量を約40%に削減できることとなる。また、本処理方式では、活性汚泥に凝集剤(塩化第二鉄)を鉄として500mg/l添加することによって、全リン1mg/l以下、COD_{Mn}110mg/L以下の処理水が得られた。

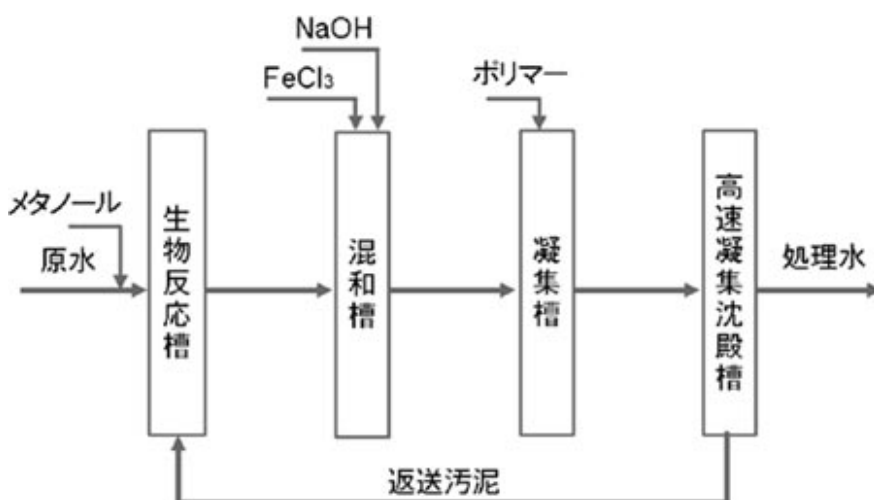


図4 凝集処理一体型硝化脱窒素設備

表5 生物脱窒素処理の結果

処理対象原水		アンモニアストリッピング液+脱水ろ液 (混合比1:1)	膜透過液+脱水ろ液 (混合比1:1)
試	希釈率	倍	2
	生物反応槽容積	L	20
	曝気	-	間欠曝気

条件	原水投入量	(L/日)	4.0	3.6		
	HRT	日	2.5	5.6		
	容積負荷	kg-N/m ³ ・day	0.2	0.2		
		kg-BOD/m ³ ・	0.10	0.05		
メタノール添加量	mL/L	0.78	1.5	2.3	3.8	
原水性状	pH	-	8.8	8.9	8.2	8.1
	BOD	mg/L	640	1250	2000	3120
	COD _{Mn}	mg/L	1080	1640	2340	3720
	TK-N	mg/L	420	410	1030	1060
	BOD/N比	-	2	3	2	3
処理水性状	pH	-	6.2	6.2	6.3	6.1
	BOD	mg/L	2.5	3.6	3.5	4.0
	COD _{Mn}	mg/L	110	110	150	120
	T-N	mg/L	120	11	360	45
	T-P	mg/L	0.4	0.3	0.7	0.4

5. コスト試算

実証データを用いて豚ふん尿50 ton/日(固形物濃度10%)と生ごみ10 ton/日(固形物濃度17%)をメタン発酵処理する場合のコスト試算を行った。試算は本開発システムの場合(CASE1)と、膜分離およびアンモニアストリッピング処理を行わない従来の方法(CASE2)の2ケースについて行った。いずれの場合も水質は水質汚濁防止法の基準を満足することとし、発電等のガス利用試算は他の実用データを用いて行った。試算結果を表6にまとめた。

CASE1では、発生したバイオガスの一部をスチームストリッピングのためのボイラー燃料として用いるため、余剰電力は約440kWhとなる。一方、CASE2では、バイオガス全量を発電にまわすため、余剰電力は約1420kWhとなる。

しかし、CASE1ではアンモニアストリッピングにより水処理への負荷が低減できるため、脱窒素用メタノールの費用が62%に低減できる。また、CASE1では膜分離脱離液のSS成分がないため、水処理設備で発生する余剰汚泥発生量も減少し、このため脱水用ポリマーの費用は約73%に削減できる。1 tonの処理対象物を処理するための薬品コストはCASE1、CASE2で各々1170円、1660円となり、約30%のコスト低減ができる。薬品費の殆どは水処理に用いる薬品であり、脱水用ポリマー≒脱窒素用メタノール>その他薬剤の順に大きい。ランニングコスト低減の為には、脱水処理への副資材利用、およびメタノールに変わる廃棄物炭素源の利用、例えば厨芥等の有機物を脱窒素処理に利用すること等、更に薬剤費の削減を検討できる要素がある。

表6 電力バランスとランニングコスト試算

比較項目		膜分離メタン発酵 (CASE 1)	従来メタン発酵 (CASE 2)	
電力	発電量	(kWh/日)	3050	3740
	使用電力	(kWh/日)	2610	2320
	余剰電力	(kWh/日)	440	1420
薬品費	脱硫剤	(円/日)	8300	7500
	脱水用ポリマー費	(円/日)	22300	30700
	メタノール費	(円/日)	23900	38400
	その他薬品費	(円/日)	17800	19400
		(円/日)	72300	96000

運 転 経 費	(円/ton)	1170	1660
---------	---------	------	------

注)脱水用ポリマー:700円/kg、メタノール(50%濃度):80円/kg、
塩鉄:30円/kgとした。

6. まとめ

膜分離メタン発酵では、メタン汚泥濃度を9~10%に高濃度化することによってメタン発酵槽を小容積化することができ、滞留日数12日においても安定したメタン発酵が行えた。膜分離後の脱離液をアンモニアストリッピング処理した後に生物脱窒素処理する場合、生物脱窒素槽の必要容積を約1/2にできると共にメタノール使用量を約40%に削減できた。豚ふん尿50 ton/日および生ごみ10 ton/日を処理する場合、本システムの電気・薬品のランニングコストは約1200円/ton-処理物となり、従来法の約70%にできると試算できた。

メタン発酵汚泥は嫌気性条件化で易分解性の有機物分解が終わっているため、生ふん尿の堆肥化に比較して堆肥化が容易であり、また塩濃度の少ない良質な堆肥が出来る。本試験設備は現在東京農業大学殿に利用頂いており、堆肥利用に関しての知見も得られつつある。本開発事例が液処理を含めたメタン発酵の効率化検討の一助になれば幸いと考える。