



Title	膜分離法を用いた家畜糞尿のメタン発酵処理
Author(s)	岡庭, 良安; 生村, 隆司; 野口, 真人 他
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 6 廃棄物・汚泥処理 . P6-4
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 277-281
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/7186">https://hdl.handle.net/2115/7186</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-6-4_p277-281.pdf



6-4

## 膜分離法を用いた家畜糞尿のメタン発酵処理

岡庭良安, ○生村隆司, 野口真人, 高木康二 (住友重機械工業)

### 1. はじめに

全国で発生する家畜糞尿は年間約9000万トンと言われ、その大部分が肥料として有効利用されているものの野ざらしで堆肥化されている糞尿も多く、家畜密度の高い地域では地下水汚染や悪臭といった環境問題が顕在化している。

ヨーロッパにおいては家畜糞尿のメタン発酵処理技術がデンマークやドイツを中心として普及し、バイオガスエネルギーが回収されると共に発酵液は液肥として利用されている。しかし、液肥として利用する場合、糞尿中の窒素分はそのまま農地に還元されるため、窒素過多の日本国内においては窒素除去の可能な糞尿処理技術が必要になると考えられる。

当社においても農畜産廃棄物の処理に関する研究、及び研究を踏まえた嫌気性消化処理プロセスのケーススタディーを実施している<sup>(1)</sup>。

本報ではメタン発酵後の脱離液の脱窒素処理までを行うことを目的とした膜分離メタン発酵システムを紹介し、システム検討のために実施したベンチスケールのメタン発酵実験結果を報告する。

### 2. 膜分離メタン発酵システム

膜分離メタン発酵システムの構成概念図を図1に示す。本システムでは、乳牛の糞尿や豚糞尿等比較的高水分の除渣後の家畜糞尿、および生ごみを混合してメタン発酵を行い、回転平膜を用いて脱離液を得る。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の熱源として利用し、膜分離した脱離液中の窒素除去を行う。

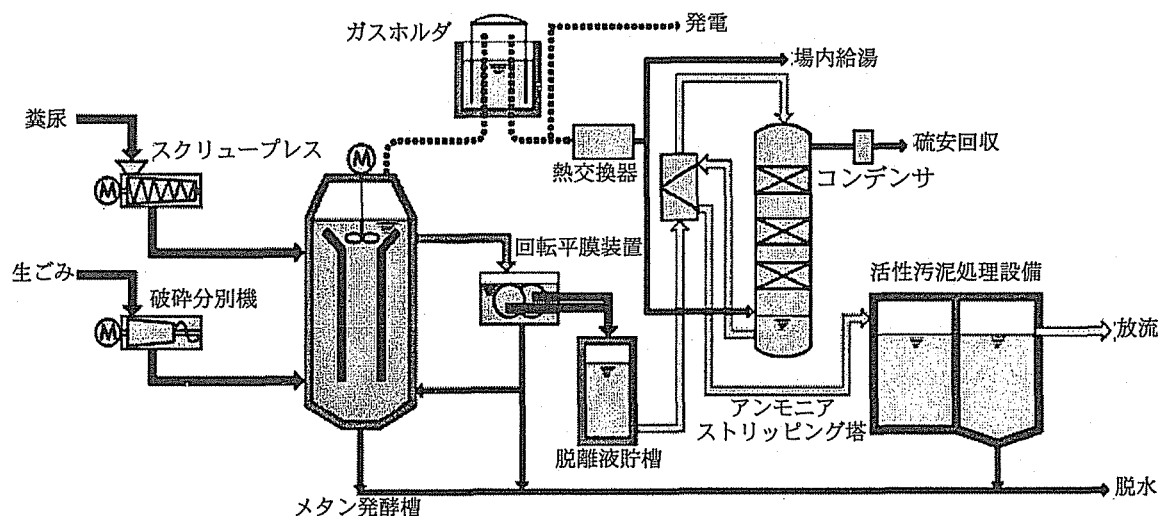
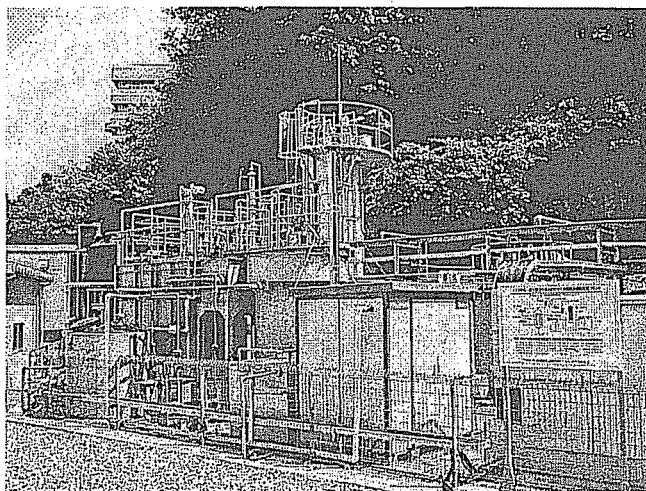


図1 膜分離メタン発酵システムの構成概念図

アンモニアストリッピングでは脱離液中の窒素を選択的に除去し、生物学的窒素除去を行うために必要な炭素窒素比 (C/N 比) を整える。従って、生物学的脱窒素のための外部からの炭素源補給を不要にできるとともに窒素負荷量を下げることによって生物学的脱窒素設備をコンパクト化できる。

本システムの実証プラント (処理能力約 0.5 t/日) の全景を写真 1 に示す。プラントは東京農業大学内に建設され、2001年9月現在実証運転中である。

写真 1 プラント全景



### 3. ベンチスケール試験

#### (1) 実験方法

##### ① 供試試料

試験に用いた飼育方法の異なる 3 牧場から入手した牛糞尿、生ごみ、及び牛糞尿と生ごみの混合物の性状を表 1 に示した。

表 1 中の O 牧場の牛糞尿をメタン発酵連続試験に使用し、回分試験では表 1 に示す全ての原料を用いた。

表 1 試験試料の性状

分析項目	単位	連続試験	回分試験					
		乳牛糞尿	乳牛糞尿				生ごみ	乳牛糞尿 + 生ごみ
		O 牧場	O 牧場	N 牧場	F 牧場			
pH	-	7.20	7.49	8.33	7.70	4.11	6.07	
TS	mg/l	103000	115000	65100	83500	159000	116000	
VS	mg/l	77400	85600	35700	66100	146000	92600	
MLSS	mg/l	93300	98600	34000	52900	78500	102000	
VSS	mg/l	72000	74800	23900	45400	74900	83200	
COD <sub>Cr</sub> (T)	mg/l	111000	123000	77700	122000	286000	153000	
COD <sub>Cr</sub> (F)	mg/l	17000	10500	32400	34100	129000	38800	
COD <sub>Mn</sub> (T)	mg/l	39900	51300	-	34000	84600	44100	
COD <sub>Mn</sub> (F)	mg/l	5690	4030	-	9800	42100	10400	
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	373	384	4088	1990	860	712	
TK-N	mg/l	3050	3170	-	5140	5700	3820	
T-P	mg/l	763	356	-	830	733	1000	
BOD(T)	mg/l	5460	4410	-	13000	114000	23700	
BOD(F)	mg/l	2380	1860	-	8850	66500	14400	
VS/TS	%	75.1	74.4	54.8	79.2	91.8	79.8	
COD <sub>Cr</sub> /VS	-	1.44	1.44	2.18	1.85	1.96	1.65	

また、表 1 中の生ごみ混合牛糞尿は O 牧場の牛糞尿と生ごみを固形物比で 4 : 1 に混合したものである。O 牧場及び N 牧場の牛糞尿は 1.5mm 目のスクリーンプレス、F 牧場の牛糞尿は 2mm 目のドラムプレスで糞等の粗大有機物を除去したものを用いた。O 牧場及び F 牧場はフリーストール牛舎、N 牧場はバンクリーナ式牛舎である。また、生ごみは飲食店厨房の生ごみ及び青果市場から出る生ごみを粉砕機でペースト状に粉砕して使用した。

##### ② 牛糞尿の性状

O 牧場の牛糞尿は、TS 10.3%、VS 7.74%、固形物中の有機物比は 0.75 であり、COD<sub>Cr</sub>/VS 比は 1.44 であった。N 牧場、F 牧場の牛糞尿の VS/TS 比は各々 0.55、0.79 であった。また、COD<sub>Cr</sub>/VS 比は各々 2.2、1.9 であった。

○牧場，N牧場の糞尿は屋外に堆積されていたため，雨水の影響を受ける可能性があった。一方，F牧場の糞尿は牛舎から排出された直後の糞尿を脱水したものである。

○市の糞尿は  $COD_{Cr}/VS$  比が小さく，易分解性の有機物が少ないことが示唆される。

### ③生ごみの性状

生ごみは TS 15.9%，VS 14.6%， $COD_{Cr}$  28.6%であり，VS/TS 比 0.92， $COD_{Cr}/VS$  比 1.96 であり，有機物比率が高く，かつ易分解性有機物の比率が大きい。

## (2) 膜分離メタン発酵連続試験

### ①試験装置

膜分離メタン発酵の実験装置を図2に示す。膜分離には回転平膜分離装置を用いた。回転平膜分離装置は中空の回転軸に設置した円板の両面にポリスルホン材質の限外ろ過膜を貼っており，中空の回転軸を吸引することによってメタン発酵混合液から透明な脱離液を回収できる。回転膜分離装置では複数の回転軸に装着した円板膜を交互に組み合わせ同方向に回転させることにより，膜面のせん断流速を上げセルフクリーニングを行うことによって長期間安定したフラックスを得ることができる<sup>(2)</sup>。

試験装置の主な仕様は以下のとおりである。

メタン発酵槽容積：10 l (回転平膜槽を兼ねる)

膜分離装置型式：円板状回転平膜

平膜の形状：φ210mm ディスク (0.05m<sup>2</sup>) × 6 枚，計 0.3 m<sup>2</sup>

### ②運転方法

メタン発酵槽を外熱ヒーターで加熱し，発酵温度を中温 (約 37℃) にコントロールし，スクリープレスで粗大固形物を除去した牛糞尿を一日一回発酵槽へ投入した。

膜分離装置は回転数 300rpm とし，吸引間隔を 18分吸引，2分停止の 20分サイクルの間欠吸引で運転した。吸引時の膜透過流束は 0.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日とした。

## (3) メタン発酵回分試験

### ①試験装置

容量 500ml の三角フラスコにメタン発酵混合液 300ml を入れ，恒温振とう槽内で振とうしガス発生量を確認した。

### ②運転方法

発酵温度を中温 (約 37℃) とし，表1に示す牛糞尿，生ごみ，及び牛糞尿と生ごみの混合物についてバイオガス発生量を把握した。試料の投入量は全て 3g- $COD_{Cr}$ /300ml とした。種汚泥は牛糞尿で馴養した汚泥を使用し，試料を添加しないブランク実験を行って，試料を添加した実験のガス発生量を補正した。

## 4. 試験結果

### (1) 連続試験

#### ①膜分離メタン発酵

VS 負荷を 2.8~4.9 (kg-VS/m<sup>3</sup>・日) に変化させて実験を行った。メタン発酵槽の負荷量，バイ

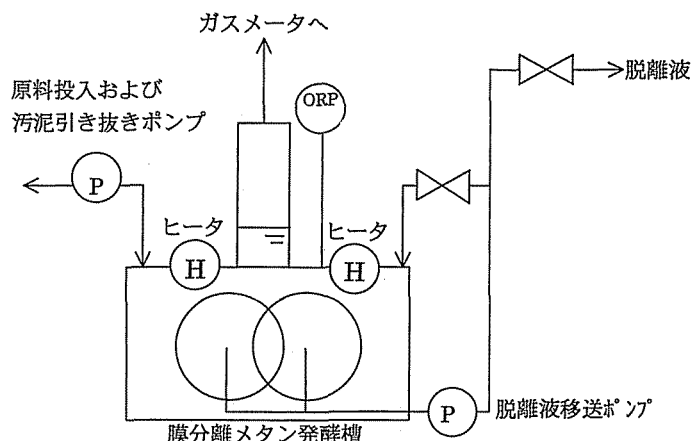


図2 膜分離メタン発酵試験装置

オガス発生量等の運転データを表2に示した。

実験を行った負荷範囲ではメタン発酵槽内の有機酸濃度は酢酸換算で 1000mg/l 以下の運転ができた。表中の COD<sub>Cr</sub>分解率 (%) は理論メタンガス発生量が分解 COD<sub>Cr</sub>1g 当たり 0.35N<sub>l</sub> であるとして、次式で算出した。

$$\text{COD}_{Cr} \text{ 分解率}(\%) = \frac{\text{メタンガス発生量}(\text{N}_l)}{\{0.35(\text{N}_l/\text{g} \cdot \text{COD}_{Cr}) \times \text{投入 COD}_{Cr}(\text{g})\}} \times 100$$

VS 負荷 2.8~4.9 (kg-VS/m<sup>3</sup>・日), HRT 29.8~15.1 (日) に変化させることによって, COD<sub>Cr</sub> 分解率は 24.4~12.2 (%) となった。

膜分離装置は回転軸の回転数を 300rpm とし, フラックス 0.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>・日で運転を行った。その結果, TS 濃度 7.8~9.5%のメタン発酵汚泥を対象に約2ヶ月間の安定運転が可能であった。また, この間の膜間差圧(透過圧力)は 10~13kPa であり, 高濃度メタン発酵汚泥の膜分離が実用化可能と判断できた。膜透過液は有色透明で, COD<sub>Cr</sub> 4000~4400 mg/l, BOD 690~1390mg/l の脱離液が回収できた。

### (2) メタン発酵回分試験の結果

3種類の牛糞尿, 生ごみ, 牛糞尿と生ごみの混合物について実施した回分試験の結果を, 図3に示す。得られたバイオガスのメタンガス濃度, 及び COD<sub>Cr</sub> 分解率は表3の通りである。メタンガス濃度が高い結果は, 実験期間中に発酵液の pH が上昇し二酸化炭素が溶解したためと考えられる。

連続試験に用いた O 牧場の糞尿は, 回分試験での COD<sub>Cr</sub> 分解率も低く 15.5%であった。N 牧場, F 牧場の牛糞尿

では各々 32%, 35% の分解率が得られており, COD<sub>Cr</sub>/VS 比が大きい糞尿では 10~15 日間の発酵で 30%以上の COD<sub>Cr</sub> 分解率を期待出来ることが示されている。また, 生ごみのメタン発酵では, 約 10 日間で約 78% の COD<sub>Cr</sub> が分解している。

表2 メタン発酵試験の結果

供試試料		膜分離メタン発酵試験			
		乳牛糞尿(O牧場)			
項目	単位	RUN1	RUN2	RUN3	
pH	-	7.45	7.19	7.10	
HRT	日	29.8	18.7	15.1	
TS	mg/l	78800	94600	78300	
VS	mg/l	54500	66600	55500	
SS	mg/l	62900	83700	71400	
VSS	mg/l	45000	60700	52600	
COD <sub>Cr</sub> (T)	mg/l	106000	110000	91800	
COD <sub>Cr</sub> (F)	mg/l	4290	4000	4410	
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	1180	938	639	
BOD(F)	mg/l	-	693	1390	
Fe	mg/l	1220	1170	683	
容積負荷	COD <sub>Cr</sub> 負荷	kg/m <sup>3</sup> ・日	3.8	5.4	6.7
	VS負荷	kg/m <sup>3</sup> ・日	2.8	4.0	4.9
汚泥負荷	COD <sub>Cr</sub> 負荷	kg/kg・日	0.06	0.07	0.09
	VS負荷	kg/kg・日	0.05	0.05	0.07
CH <sub>4</sub> 濃度	%	54.9	58.3	55.8	
VFA(酢酸換算値)	mg/l	562	548	775	
COD <sub>Cr</sub> 分解率	%	24.4	15.4	12.2	

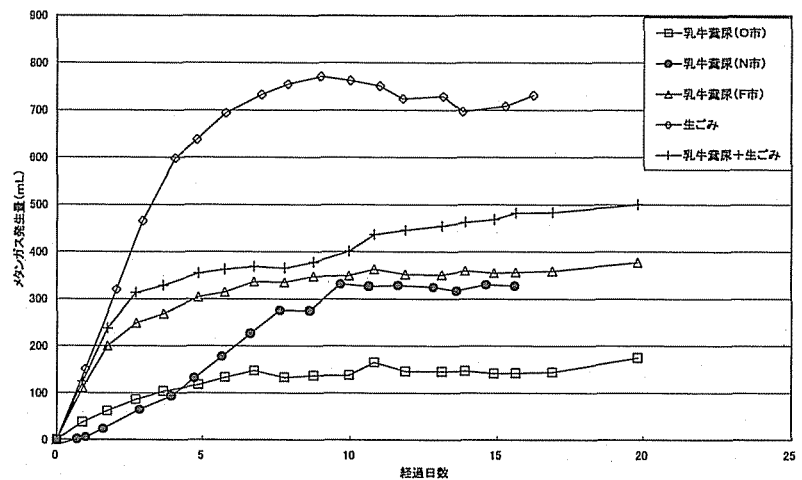


図3 回分試験によるメタンガス発生量

表3 回分試験結果

分析項目	単位	乳牛糞尿			生ごみ	O牧場+生ごみ (固形物比4:1)
		O牧場	N牧場	F牧場		
COD <sub>Cr</sub> 分解率	%	15.5	31.7	35.0	78.1	46.3
CH <sub>4</sub> 濃度	%	74.1	90.9	75.8	81.4	66.3

N 牧場の牛糞尿では発酵初期の 6 日間, F 牧場の牛糞尿では発酵初期の 2 日間で発生する総ガス量の 1/2 以上のバイオガスが発生した。特に F 牧場の発生間もない糞尿では初期の 2~3 日間の易分解性有機物の分解によるガス発生が全体の発生量に大きく影響していることが分かる。

## 5. まとめ

- (1) 活性汚泥は TS 濃度 5～6 %程度で流動性がなくなるため膜分離できる固形物濃度は 3 %以下と考えられる。これに対しメタン発酵汚泥では TS 濃度 9.5 %の汚泥を膜分離することが可能であった。
- (2) 膜ろ過液の COD<sub>Cr</sub>濃度は 4 0 0 0～4 4 0 0 mg/l, BOD は 6 9 0～1 3 9 0 mg/l であり, 除去率は各々 9 6 %以上, 7 5 %以上であった。膜分離メタン発酵の処理液は褐色透明であり, その後の水処理を簡易にできる。
- (3) 膜分離メタン発酵による COD<sub>Cr</sub>分解率は 1 2～2 4 %と低かったが, これは供試原料の COD<sub>Cr</sub>/TS 比が低下していた為と考えられる。回分試験の結果を勘案すれば, 新鮮な牛糞尿のメタン発酵では COD<sub>Cr</sub>分解率は 3 0～3 5 %程度が期待できる。
- (4) 生ごみ単独の COD<sub>Cr</sub>分解率は 7 8 %, 牛糞尿に生ごみを固形物比 4 : 1 で混合した原料では期待通りガス発生量が増加し 4 6 %の COD<sub>Cr</sub>分解率が得られた。

筆者らは, し尿汚泥に生ごみを混合しメタン発酵処理において, 発生したバイオガスをを用いて処理設備の使用電力を賄えることを示した<sup>(3)</sup>。家畜糞尿処理においては, 生ごみを混合したメタン発酵処理に膜分離を組み合わせることによって, 脱離液処理を含めた全体システムが低コスト化できることを確認したい。

尚, 本研究は 1 9 9 9, 2 0 0 0 年度の (財) 畜産環境整備機構の助成研究事業の研究成果の一部を含んでいる。

## 6. 参考文献

- (1) 加藤明徳, 野池達也. 各種畜産廃棄物の嫌気性消化処理におけるメタンガス発生量. 廃棄物学会論文集, Vol.10, No.1, p1～8, 1999.
- (2) 岡庭良安, 中島宏, 竹田久人, 大熊那夫紀. 回転平膜によるし尿・浄化槽汚泥の処理技術. 用水と廃水, Vol. 1, No.5, p11～14, 1999.
- (3) 岡庭良安. バイオガスシステム. クリーンエネルギー, p25～29, Mar., 2000.