

メタン発酵消化液の活性汚泥法による BOD 容積負荷量の検討

脇本進行*・白石 誠・滝本英二**・小林 宙・北村直起***

Examination of amount of BOD cativity sludge procedure
of methane fermentation digestion liquid

Nobuyuki WAKIMOTO, Makoto SHIRAISHI, Eiji TAKIMOTO, Hiroshi KOBAYASHI and Naoki KITAMURA

要 約

メタン発酵消化液の活性汚泥法による BOD 容積負荷量の違いが、処理水質に与える影響を検討した。

- 1 中温発酵 35℃、滞留期間 18 日、有機物負荷量 1.35kg/m³・日の条件で処理したメタン発酵消化液の性状は、BOD 941mg/L、T-N 1483mg/L となり、BOD より窒素が高い値を示した。
- 2 この消化液を用いた浄化処理では、一般的な浄化処理の BOD 容積負荷量である 0.4kg/m³・日では十分な処理は行われなかった。消化液の浄化を考えた場合の適正負荷量は、0.25kg/m³・日程度が適当と考えられた。
- 3 処理水中の T-N は、すべての区において 455 ~ 624mg/L と高い値で残存したことから、窒素の除去方法の検討が必要である。

キーワード：メタン発酵 消化液 活性汚泥法

緒 言

近年、地球環境を守るため、地球温暖化の防止、循環社会の形成などバイオマスの有効利用が叫ばれている。また、畜産分野においては、平成 16 年 11 月に家畜排泄物法の施設整備の猶予期間が終わり、罰則等が適用されることになり、農家において、ふん尿の適正な処理が求められるようになった。

このような状況の中で、家畜排せつ物も資源として利用しようとする観点からメタン発酵技術が注目されてきている。

このメタン発酵技術は、従来の堆肥化技術などと異なり、畜ふん尿からバイオガスを生成し、発電等を行うことにより熱や電気として再生することができる。これらのことからメタン発酵技術は、環境負荷の少ない技術として注目されてきている。

しかし、堆肥舎などと同様にメタン発酵処理施設の導入にあたっては、地域性や環境規制を考慮して設置していく必要がある。特に宅地化が進む地域などへの導入を考えた場合、メタン発酵残さである消化液は臭気などの問題もあり、ほ場等への利用は困難な状況となっている。

そのため、消化液については、浄化処理の必要性があると考えられるが、消化液は、一般的に C

／N バランスが悪く、生物学的な方法による浄化処理には不向きとされる。

そこで、本試験では、このような消化液に対し、一般的な活性汚泥法の条件での処理性能について調査検討した。

材料及び方法

1 実験装置及び運転条件

(1) メタン発酵実験装置

メタン発酵実験装置 (図 1) は、20 L のプラスチック容器を用いてメタン発酵槽を作成した。

供試汚水は、9 L の雑排水を含む尿汚水に 1.9Kg の割合でふん尿を混合し、1mm メッシュの篩を通して固形物を分離し、得られた混合液を用いた。

汚水の投入は、毎日 900ml の原料を投入し、発酵槽内液の pH は、メタン発酵の最適 pH7.3 ~ 7.6³⁾の間になるように 10 % 塩酸を用いて適宜調整した。

メタン発酵槽の運転条件は、滞留時間約 18 日間、有機物負荷量は 1.35kg/m³・日であった。

槽の保温は、熱帯魚用のヒーターで 35℃に加熱した 50 L 恒温槽内にメタン発酵実験装置を設置し運転を行った。また、槽内は、原料とメタン発酵汚泥が攪拌混合されるように、常時スターラーで攪拌をおこなった。

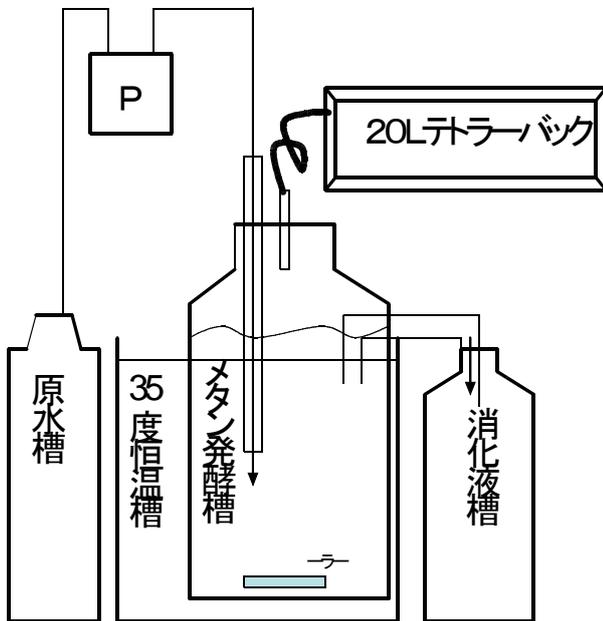


図1 メタン発酵実験装置

(2) 活性汚泥処理実験装置

活性汚泥処理実験装置(図2)は、2 Lメスシリンダーを利用した回分式活性汚泥法とした。槽の有効容積は1.2 Lとした。

運転方法は、23 時間の曝気運転とし、曝気停止後 30 分静置し、上澄み液をサンプリング後、手動で汚水を投入、曝気を再開するサイクルを1日1回行った。なお、活性汚泥濃度は約 8000mg/L に保った。

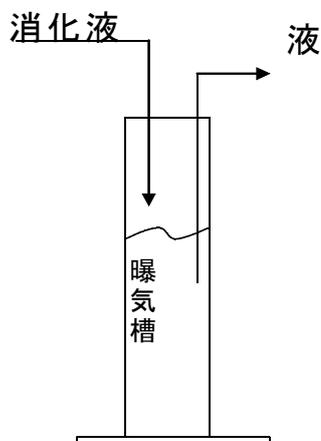


図2 浄化処理実験装置

2 試験区分

試験区分を表1に示した。

試験は、標準的な BOD 容積負荷量 $0.4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$

の3区と、さらに低い BOD 容積負荷量の1区 $0.1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ と2区 $0.25 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$ を設定し、試験を行った。

表1 試験区分

区分	投入量	BOD容積負荷量
1区	100ml	$0.1 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$
2区	300ml	$0.25 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$
3区	500ml	$0.4 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{日}$

3 供試消化液

供試消化液は、メタン発酵実験装置から得られた消化液とし、活性汚泥処理装置には、1日当たり定量(表1)の消化液を浄化処理試験装置に投入した。

4 調査項目等

(1) メタン発酵調査

調整したメタン発酵原料及び生成された消化液をサンプリングし、水分、固形物量、有機物量を分析した。また、装置から発生したバイオガスは、その発生量とメタンガス濃度を測定した。

ガス発生量は、メタン発酵槽空隙部分からシリコンチューブを用いて、20 Lテトラパックに1日分貯めた後、積算流量計を用いて測定した。メタンガス濃度は、携帯式メタンガス濃度計を用いて測定した。

分析方法では、固形物量は、蒸発乾固後秤量、有機物量は、蒸発乾固後灰化し秤量し、固形物量から差し引いた。

(2) 消化液の浄化処理調査

調査試料は、原料、消化液、処理水とし、試料に含まれる汚濁成分等を分析した。

分析は、pH、EC、COD、BOD、SS、T-N、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、T-P を測定した。また、曝気槽では、定期のサンプリング時に活性汚泥混合液を採取し、MLSS を測定した。

分析方法では、pH、EC はガラス電極法、COD は過マンガン酸カリウムによる 100°C 加熱法、BOD はウインクラーアジ化ナトリウム変法、SS はガラス繊維濾過法、T-N 及び T-P は同時分解法、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ はブルムナー蒸留法、MLSS は蒸留水で洗い蒸発乾固後、秤量した。

5 試験期間

メタン発酵実験装置は、平成 17 年 8 月から 1ヶ月間馴致運転を行い、消化液を浄化処理試験に利用した。

浄化処理実験装置は、9月から馴致運転を開始し、10月21日から11月11日にかけて試験運転を行った。

水質検査は、1ヶ月の試験期間中週1回計4回(水質検査日、10月21日、10月29日、11月4日、11月11日の計4回)の平均を比較した。

結 果

1 メタン発酵原料及び消化液の性状

メタン発酵実験装置に用いた原水及び消化液の性状は、表2に示す通りである。

原水中固形物量(TS)は、現物中3.04%に対して、消化液では、1.05%まで低下した。メタン発酵槽で分解された固形物量は、17.6g/日であった。

表2 メタン発酵原料及び消化液の性状 (現物%)

	TS	VS
メタン発酵原料	3.04	2.40
消化液	1.05	0.74
除去率	65.5%	69.2%

1)水質検査成績は4回の平均

2)除去率：(1-消化液濃度/原料濃度)×100

表3 メタン発酵原料及び消化液の性状及び除去率

(mS/cm、mg/L)

	pH	EC	BOD	COD	SS	T-N	NH ₄ -N	T-P
メタン発酵原料	6.2	5.8	12,170	8,653	22,850	1,742	499	678
消化液	7.5	8.0	940	3,260	9,750	1,483	611	254
除去率			92.3%	62.3%	57.3%	14.9%	122.4%	62.6%

1)水質検査成績は4回の平均

2)除去率：(1-消化液濃度/原料濃度)×100

2 メタン発酵実験装置におけるガス発生状況

メタン発酵実験装置からのバイオガス発生量及びメタンガス濃度は、表4に示すとおりである。

メタン発酵装置からのバイオガス発生量は、調査4回の平均で、1日当たり9.0L/日で、メタンガス濃度は51%を示した。

表4 メタン発酵実験装置のガス発生量等

バイオガス発生量	9 L
メタンガス濃度	51%

※試験期間中4回の平均

3 浄化処理水中の汚濁成分濃度及び除去率

各区の処理水水質検査4回の平均を表5に示した。pHは、消化液7.5に対して1区4.3、2区6.2、3区6.2であった。

ECは、消化液8.0mS/cmに対して1区6.0mS/cm、

有機物含量(VS)は、現物中2.4%に対して、発酵残さでは、0.74%まで低下した。このときのメタン発酵装置における除去率は、69.2%であった。また、メタン発酵槽で分解された有機物量は、14.9g/日であった。

メタン発酵に関係するBOD、COD等の汚濁成分は、表3に示すとおりである。

BODは、原水12,170mg/Lに対して、消化液では941mg/Lまで低下し、メタン発酵槽での除去率は92.3%であった。

CODは、原水8,653mg/Lに対して、消化液では3,260mg/Lまで低下し、除去率は62.3%であった。

SSは、原水22,850mg/Lに対して、消化液では9,750mg/Lまで低下し、除去率は57.3%であった。

T-Nは、原水1,742mg/Lに対して、消化液では1,483mg/Lまで低下し、除去率は14.9%であった。

NH₄-Nは、原水499mg/Lに対して、消化液では611mg/Lとなり、約2割ほど増加した。

T-Pは、原水678mg/Lに対して、消化液では254mg/Lまで低下し、除去率は62.6%であった。

2区6.6mS/cm、3区7.7mS/cmであった。

BODは、消化液941mg/Lに対して、処理水では1区34mg/L、2区58mg/L、3区681mg/Lまで低下した。除去率は1区96.3%、2区93.8%、3区26.7%であった。

CODは、消化液3,260mg/Lに対して、処理水では1区353mg/L、2区776mg/L、3区1,002mg/Lまで低下した。除去率は1区88.8%、2区75.4%、3区68.2%であった。

SSは、消化液9,750mg/Lに対して、処理水では1区345mg/L、2区444mg/L、3区790mg/Lまで低下した。除去率は1区95.0%、2区94.1%、3区89.2%であった。

T-Nは、消化液1,483mg/Lに対して、処理水では1区455mg/L、2区499mg/L、3区624mg/Lまで低下した。除去率は1区67.2%、2区64.0%、3区54.7%であった。ま

た、T-N中の $\text{NH}_4\text{-N}$ は、原料中499mg/Lに対して消化液中では611mg/Lと高くなった。

T-Pは、消化液254mg/Lに対して、処理水では1区42mg/L、2区37mg/L、3区48mg/Lまで低下した。除去率は1区83.1%、2区85.0%、3区80.8%であった。

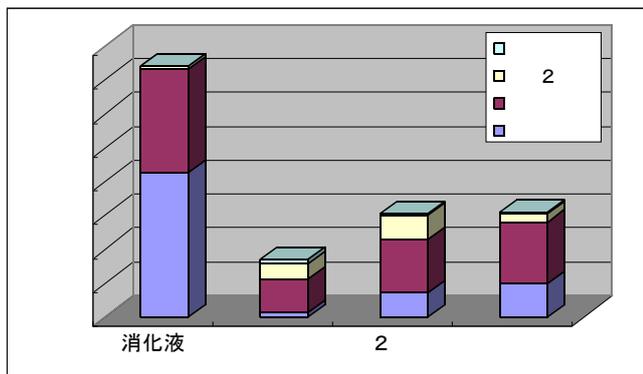
4 各試験区の有機態窒素、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ の変化

有機態窒素、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ および $\text{NO}_3\text{-N}$ の各区における変化を図3に示した。

消化液中での窒素は、有機態-N及び $\text{NH}_4\text{-N}$ の状態が存在した。これに対して活性汚泥処理により酸化分解され処理液中では、すべての区において有機態-Nは減少し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ の割合が増加した。特に低負荷の1区では、ほとんど認められなかった。

窒素の硝化反応過程生成物である $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ の処理水中に占める割合は、すべての区で有機態-Nや $\text{NH}_4\text{-N}$ に比較して低い結果となった。

図3 処理水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等の変化



考 察

1 メタン発酵装置におけるガス発生状況

本メタン発酵実験装置の有機物あたりのバイオガス発生量を表5に示した。投入有機物1kgあたり417L、分解された有機物あたり1kgあたり602Lのバイオガスが生成された。

これは、木庭らによる投入有機物1kgあたりガス発生量400L/日⁴⁾や分解された有機物あたり695L¹⁾のガス発生に比較しても同程度であったと考えられた。

また、この時のメタン発酵装置の有機物負荷量は、 $1.35\text{kg/m}^3 \cdot \text{日}$ であった。これは、一般的な中温メタン発酵で用いられる $2.0 \sim 3.0\text{kg/m}^3 \cdot \text{日}$ ^{1,2)}と比較して低い数値であったがガス発生には影響は認められなかった。

表5 有機物当たりのガス発生量

項 目	ガス発生量
投入有機物1kgあたり	417L
分解有機物1kgあたり	602L

2 メタン発酵原料及び消化液の性状

BOD除去率では、亀岡ら³⁾によるBOD除去率86.9%などと比較しても高い結果となった。これは、今回用いたメタン発酵実験装置の有機物負荷量が低い設定であったためと考えられた。

T-Nは、稲森ら⁷⁾による窒素除去率10%などと比較しても同程度であったことは、メタン発酵処理では、Nの低減はほとんど期待できないことが示された。

また、一般的に阻害要因の1つと考えられる $\text{NH}_4\text{-N}$ については、消化液中611mg/Lと低く阻害を受けるとされる4000mg/L⁸⁾より低い数値となった。

T-Pは、62.6%の除去率を示し、浄化処理の前処理に用いる最初沈殿槽の除去率12.8%⁹⁾と比較しても高く、何らかの形でメタン汚泥の中に取り込まれたと考えられた。

また、メタン発酵原料と消化液のBOD:N:Pの比率を比較すると原料で100:14:6であったのに対して消化液では100:158:27とBODの分解に伴って、窒素の比率が著しく増加した結果となった。

これは、亀岡ら⁹⁾が用いた消化液のBOD:N:P比100:91:23と比較しても窒素の比率が高い結果となり、BODがメタン発酵に効率良く利用されたと考えられた。

3 浄化処理水中汚濁成分の性状及び除去率

BODは、低負荷である1区、2区で高い除去効果が認められたが、一般的に浄化処理で用いるBOD容積負荷量である3区においては、十分処理しきれず処理水中にBODが残存した。これは、メタン発酵で炭素源としてBODが消費され、窒素とのバランスが崩れ、生物体の構成割合と大きく異なる比率となり、生物処理に不向きな水質となったためと考えられた。

COD、SSは、処理水中に高濃度で残存した。これは、消化液中に多く高濃度で含まれたため、比較的除去率が高いものの処理水中に多く残ったためと考えられた。しかし、COD、SSについては、高負荷の区ほど除去率の低下が認められ、前もって除去することにより浄化処理が可能であると考えられた。SSは、メタン発酵汚泥を含むため高い値となったが、汚泥分を脱水機などで脱水または沈殿分離させることで低減させ

ることができると考えられた。

T-Nは、いずれの区においても50～60%台の除去率にとどまった。BOD容積負荷量を基準とする処理では、十分処理することができない結果となり、MLSS-T-N負荷量などからも処理にふさわしい負荷量の設定が必要であると推察

された。

T-Pは、いずれの区も80%台の除去率を示し、すべての区において、比較的高い除去効果が認められた。これは、活性汚泥中に、リンが比較的多く取り込まれた結果ではないかと推察された。

表5 消化液及び各試験区処理液の性状 (mS/cm、mg/L、%)

	pH	EC	BOD	COD	SS	T-N	T-P
消化液	7.5	8.0	941	3,260	9,750	1,483	254
1区処理水	4.3	6.0	34	353	345	455	42
除去率			96.3%	88.8%	95.0%	67.2%	83.1%
2区処理水	6.2	6.6	58	776	444	499	37
除去率			93.8%	75.4%	94.1%	64.0%	85.0%
3区処理水	6.2	7.7	681	1,002	790	624	48
除去率			26.7%	68.2%	89.2%	54.7%	80.8%

1) 水質検査成績は4回の平均

2) 除去率：(1 - 処理液濃度 / 消化液濃度) × 100

4 各試験区の有機態窒素、NH₄-N、NO₂-N および NO₃-N の変化

NH₄-Nは、活性汚泥処理によって速やかにNO_x-Nにまで酸化されたと考えられた。しかし、高い負荷の試験区ほど、NH₄-Nの形で残存する傾向が認められた。

硝化過程に生成されるNO₂-N及びNO₃-Nは、処理液中には比較的少ない結果となった。これは、回分運転の曝気停止時に脱窒作用がおこったため、処理水中のNO₂-N及びNO₃-Nが処理された結果と考えられた。

これらのことから、メタン発酵消化液の浄化処理を考えた場合は、一般的な浄化処理で用いるBOD容積負荷量のみを基準とする設計では、十分な処理水がえられない可能性があることが示唆された。とくに、窒素の除去を考えた場合は、循環脱窒などの窒素除去手法の浄化施設への付加が必要であると考えられた。

引用文献

1) 財団法人畜産環境整備機構 (2002) : 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. 64-69.

2) 財団法人畜産環境整備機構 (2004) : 畜産環境アドバイザー養成研修会資料(臭気対策及び新規処理技術

研修 (2004) : 135-174.

2) 財団法人畜産環境整備機構 (2004) : 畜産環境アドバイザー養成研修会資料(臭気対策及び新規処理技術研修 (2004) : 135-174.

3) 技報堂出版 (1990) : 水処理工学 : 355-400.

4) 木庭研二、押川文夫 (1991) : 豚ふん尿によるメタン発酵とその利用に関する研究. 熊本農研セ研報第2号, 75-83.

5) 亀岡俊則・因野要一・崎元道男 (1988) : メタン発酵システムによる豚舎汚水の処理. 日畜会報 59(8), 675-681.

6) 森豊・小松正・吉岡浩 (2001) : 間欠曝気活性汚泥法によるメタン発酵廃液処理. 日本水環境学会年会, 179.

7) 稲森悠平、座間俊輔ら (2004) : 畜産糞尿・生ゴミ混合廃棄物のU S B・生物膜法における処理特性. 水環境学会年会講演集, 327.

8) 船石圭介、山下耕司ら (2002) : 有機性廃棄物の高濃度メタン発酵に及ぼすアンモニアの影響. 水環境学会年会講演集, 416.

9) 脇本進行ら (2003) : 活性汚泥処理水の循環処理による窒素低減, 岡畜セ研究報告第14号, 77-81.

