

## メタン発酵消化液の浄化処理技術

佐々木 雄真, 鎌田 樹志, 富田 恵一, 若杉 郷臣, 三津橋 浩行

### Purification Treatment Technologies for Methane-Fermentation-Digested Sludge

Takema SASAKI, Tatsuyuki KAMADA, Keiichi TOMITA, Motoomi WAKASUGI, Hiroyuki MITSUHASHI

#### 抄 録

生ごみや家畜排せつ物等をメタン発酵処理したあとに残るメタン発酵消化液は、液肥としての利用が困難な場合は浄化処理して河川等に放流されているが、処理コストが高いことが課題となっている。そこで、ばっ気が不要で電気代の削減が期待できる無ばっ気好気法による浄化処理の適用可能性を検討するため、小型の無ばっ気好気処理装置によるメタン発酵消化液の処理試験を実施した。その結果、この処理方法により、有機物の低減及びアンモニア性窒素の硝化ができることがわかった。

キーワード：メタン発酵消化液, 無ばっ気好気法, 浄化処理

#### 1. はじめに

生ごみや家畜排せつ物などのメタン発酵処理は、バイオガスが得られることから注目されているが、残渣としてメタン発酵消化液（以下、「消化液」）が発生する。消化液は、窒素やリン酸、カリウムなどの肥料成分を含んでいるため、液肥として農地還元することにより、有効に利用できる。ただし、化学肥料に比べると肥料成分の濃度が低く、多量に散布する必要がある<sup>1)</sup>。そのため、輸送コストの観点から、利用できるのはバイオガスプラント近隣に限定される。家畜排せつ物をメタン発酵の主原料としているプラントでは、圃場や牧草地などが隣接している場合が多いため、消化液は主に液肥利用されている。一方、都市生ごみを主原料としているバイオガスプラントでは、近隣に散布できる場所がなく液肥利用が困難な場合が多いため、主に浄化処理して河川や下水等に放流されている。浄化処理においては、有機物や窒素化合物、色度などを低減させる必要がある。一般的には、まず活性汚泥処理により有機物を低減したのち、硝化処理によりアンモニア性窒素を亜硝酸性窒素・硝酸性窒素に酸化し、続いて脱窒処理により窒素ガスに変換している。さらに、活性炭吸着により脱色処理している。これらのプロセスのうち、活性汚泥処理及び硝化処理では、好気的な条件を維持するためにばっ

気が必要である。例えば、下水処理場においては、送風機が全消費電力量の30~50%と大きな割合を占めるとされており<sup>2)</sup>、消化液の処理においても、同様に送風機にかかる電気代が高いことが課題となっている。

そこで、本研究では、消化液の低コストな浄化処理技術の開発を目指し、無ばっ気好気法の適用可能性について検討した。この処理方法では、図1のように微生物担体を充填した処理槽内の空隙を空気が自由に移動でき、図2のように流下している水に自然に空気中の酸素が溶解することから、ばっ気をしなくても好気的な条件を維持できる。そのため、活性汚泥法に比べ、電気代の削減が期待できる。また、発泡によるトラブルの心配がないことも、この処理方法の利点である。

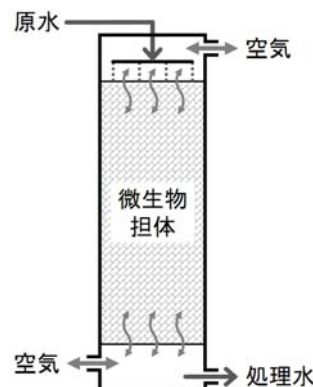


図1 無ばっ気好気処理

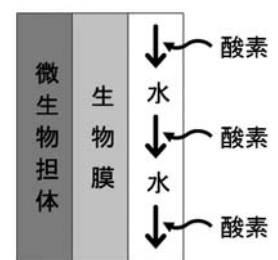


図2 酸素溶解の原理

事業名：経常研究

課題名：メタン発酵消化液の液肥利用および浄化技術に関する研究

## 2. 消化液の性状

### 2.1 消化液の前処理

浄化処理試験に使用するため、メタン発酵処理施設の消化液を採取した。この施設では、一般家庭及び事業系の生ごみを受け入れ、中温メタン発酵処理によりバイオガス化を行っている。消化液を脱水分離した液分を、施設内で発生する排水とともに排水処理施設で浄化し、河川へ放流している。そこで、本研究においても、固形分を除去した消化液を試験に用いることとした。消化液を遠心ボトルに移し、2,000Gで10分間遠心分離し、その上澄み液を孔径約1 μmのガラス繊維ろ紙でろ過した。消化液に対するろ液の平均回収率は88.4 wt%であった。

### 2.2 消化液の水質分析方法

固形分除去後の消化液の水質を把握するため、pH及び電気伝導率(EC)をマルチ水質計(東亜ディーケーケー(株)MM-60R)、生物化学的酸素消費量(BOD)を圧力センサ式BOD自動測定器(ハック社 BOD Trak)、全有機体炭素(TOC)及び全窒素(T-N)をTOC-TN計(株島津製作所 TOC-VCPH, TNM-1)、二クロム酸カリウムによる酸素消費量(COD<sub>Cr</sub>)及びアンモニア性窒素(NH<sub>4</sub>-N)をポータブル吸光度計(ハック社 DR2800)、亜硝酸性窒素(NO<sub>2</sub>-N)及び硝酸性窒素(NO<sub>3</sub>-N)をイオンクロマトグラフ(メトロム社 IC861)、全リン(T-PO<sub>4</sub>)及びカリウム(K)をICP発光分光分析装置(株島津製作所 ICPS-8100)で測定した。

### 2.3 消化液の水質分析結果及び考察

固形分除去後の消化液の水質分析結果を表1に示す。有機物の指標であるBODは、植種なしで予備測定を行ったあと、測定終了後の液を採取して次の測定の植種に用いるという方法で測定を3回繰り返したが、バラツキが大きく、平均値を代表値とした。なお、測定終了後の液のNO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nの分析結果から、測定期間中における酸素の消費は、アンモニア性窒素の硝化によるものではないことを確認した。図3に3回目の測定における酸素消費量の推移を示す。測定には、植種として2回目の測定終了後の液を用いた。このような植種を行った場合、微生物が馴化されているため、初期段階において酸素消費速度が大きくなり、その後は徐々に低下していく曲線となるのが一般的であるが、この測定では異なる結果となった。また、BOD/COD<sub>Cr</sub>比は生物易分解性であれば1に近い数値となるが、この消化液は0.19であった。これらのことから、生物難分解性物質を多く含んでいることが示唆された。窒素に関しては、家畜排せつ物系の消化液のBOD/N比は1~2程度とされている<sup>3)</sup>が、この消化液ではBODとT-Nの値からBOD/N比を求めると0.28となり、窒素の比率が高いことがわかった。また、全窒素のうち約80%をアンモニア性窒素が占めていた。

表1 消化液(固形分除去後)の水質分析結果

項目	pH	EC	TOC	BOD	COD <sub>Cr</sub>
単位	—	S/m	mg/L	mg/L	mg/L
分析値	8.33	1.50	873	480	2,550

T-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-PO <sub>4</sub>	K
mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
1,730	1,410	N.D.	N.D.	67	1,020

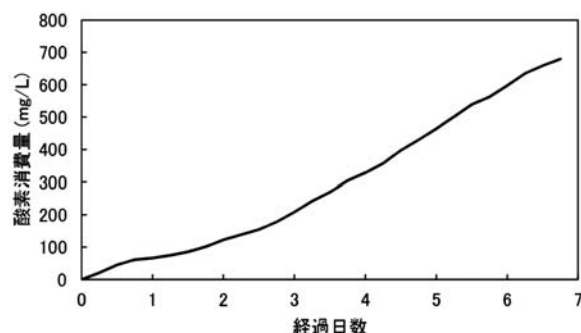


図3 BOD測定(3回目)における酸素消費量の推移

## 3. 浄化処理試験

### 3.1 処理装置及び処理条件

図4に示すとおり、内径φ100mmのアクリル製カラムに、微生物担体(大日本プラスチック(株)ラメールチューブLT-15)を600mmの高さ(容積4.7L)で充填したものを処理槽とした。担体は、外径φ15mm×長さ15mmの中空円筒形、ポリエチレン製で表面に凹凸があり、微生物を保持しやすい構造となっている。処理槽内の酸素濃度を測定できるようにするため、カラムの中央部に穴を開けセプタムで栓をした。測定の際、ガス検知管と連結した注射針を差し込んでカラム内の気体を吸引する(図5)。この処理槽を25℃の恒温槽内に設置した。固形分除去後の消化液を1~4倍に希釈したものを原水とし、マイクロチューブポンプで送液し、カラム上部より滴下した(図6)。流量は0.25~1.0L/日とした。外部からの植種は行わず、消化液の通水を続けたところ、徐々に担体表面に生物膜が形成された。

通水開始から100日程度が経過し、処理水質が安定してきたことを確認したのち、原水の濃度及び流量が処理特性に及ぼす影響を調べた。負荷(単位時間あたりに流す無希釈換算の消化液量)を一定に保ちながら、4週間ごとに原水の濃度及び流量を変化させた。表2のとおり、phase1では2倍希釈した消化液を流量0.50L/日で、phase2では無希釈の消化液を流量0.25L/日で、phase3では4倍希釈した消化液を1.0L/日で通水した。この条件における1日当たりの消化液処理量(0.25L)と処理槽容積(4.7L)の比は1:18.8となる。



図4 無ばっ気好気処理装置



図5 ガスの測定方法



図6 原水導入部

表2 処理試験の通水条件

	経過日数	原水	流量	負荷
phase 1	99 ~ 127	2倍希釈	0.50L/日	0.25L/日
phase 2	128 ~ 155	無希釈	0.25L/日	0.25L/日
phase 3	156 ~ 183	4倍希釈	1.0L/日	0.25L/日

### 3.2 処理水質等の分析方法

無ばっ気好気法による処理状況を把握するため、定期的に処理水を採取し、pH、TOC、T-N、NH<sub>4</sub>-H、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nを測定した。pHはコンパクトpHメーター（株式会社堀場製作所 B-712）で測定し、それ以外の項目は、消化液の分析と同じ方法で行った。また、処理槽が好気的な条件を維持しているか確認するため、酸素濃度をガス検知管（光明理化学工業(株) 159SC）により測定した。

なお、有機物に関する指標については、BODは前述のとおりバラツキが大きいことから、TOCを用いることとした。

### 3.3 処理試験の結果及び考察

無ばっ気好気処理装置による消化液の通水試験を実施した結果、原水の水質（表3）と処理水のTOC（図7）及び形態別窒素（図8）の比較から、試験期間を通じてTOCの低下、NH<sub>4</sub>-Hの低下、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nの生成が確認された。このことから、無ばっ気好気法により、有機物の低減及びアンモニア性窒素の硝化ができることが明らかとなった。出嶋ら<sup>4)</sup>は、無ばっ気好気法であるDHS法により、有機物除去及び硝化ができたと報告しており、本研究においても同様の結果が得られた。

原水の濃度と流量の関係について、各phaseにおけるTOCの平均残存率は、図9～11の左側のグラフに示すとおり、phase 1で71%、phase 2で66%、phase 3で64%であり、通水条件による有意な差は認められなかった。これは、有機物中に占める難分解性物質の割合が高く、分解に時間を要するため、濃度や流量の違いによる影響を受けにくいと推

測される。一方で、形態別窒素については、NH<sub>4</sub>-Hの原水に対する処理水の平均残存率は、図9～11の右側のグラフに示すとおり、phase 1で47%、phase 2で32%、phase 3で53%となり、流量が少ないほどNH<sub>4</sub>-Hの比率が低下し、NO<sub>2</sub>-N及びNO<sub>3</sub>-Nの比率が上昇する傾向が見られた。このことから、流量の少ない方がアンモニア性窒素の硝化が進みやすいことが明らかとなった。与える負荷は同じでも、流量が少ないと生物膜との接触効率が良くなり、処理性能が向上するためと推察される。

処理水のpHは、図12のとおり、phase 1及びphase 3では7.9程度で推移したが、phase 2では平均7.6に低下した。これは、他の期間に比べアンモニア性窒素の硝化率が高く、亜硝酸性窒素及び硝酸性窒素の生成量が多かったためと考えられる。

処理槽内の酸素濃度は、図13のとおり、約6ヶ月間の試験期間を通じて、大気中と同じ約21%を維持していた。これにより、処理槽は閉塞することなく、好気的な条件を保っていたことが示された。

今後の課題としては、処理性能の向上が挙げられる。今回の試験に用いた消化液は、BOD/N比が低いため余剰汚泥の発生や生物膜の成長が少なく、目詰まりが起りにくい性状であった。このような排水では、充填する担体のサイズを小さくし比表面積を大きくすることが可能と考えられる。また、原水の導入方法にも改良の余地が残されている。処理槽上層部では流れに偏りが生じ、微生物担体として機能していない領域が存在していた。これらの点を改善すれば、同じ処理槽容積のままでも処理性能の向上が期待できる。

表3 原水の水質（単位：mg/L）

	TOC	T-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
phase 1	437	865	705	N.D.	N.D.
phase 2	873	1,730	1,410	N.D.	N.D.
phase 3	218	433	353	N.D.	N.D.

（phase 2 は実測値。その他はphase 2 からの換算値。）

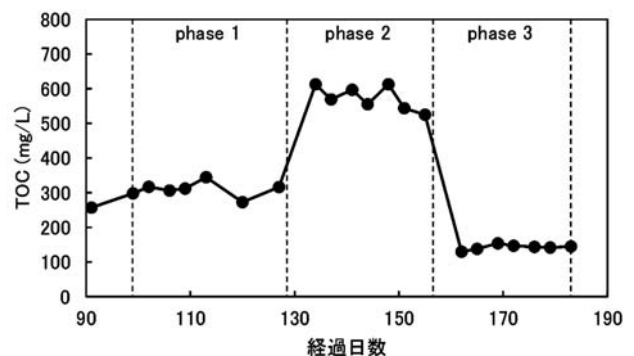


図7 処理水のTOCの経日変化

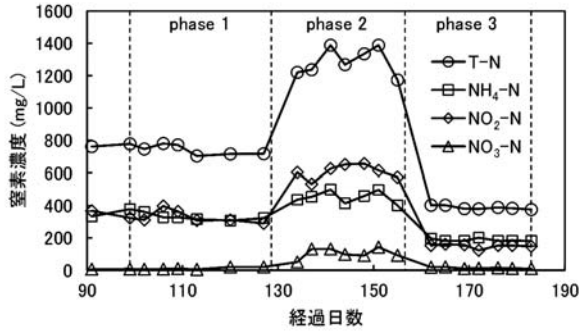


図8 処理水の形態別窒素の経日変化

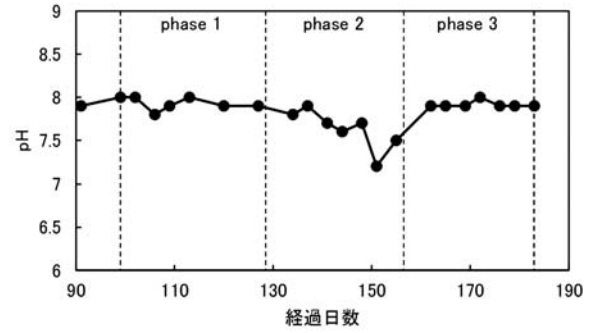


図12 処理水のpHの経日変化

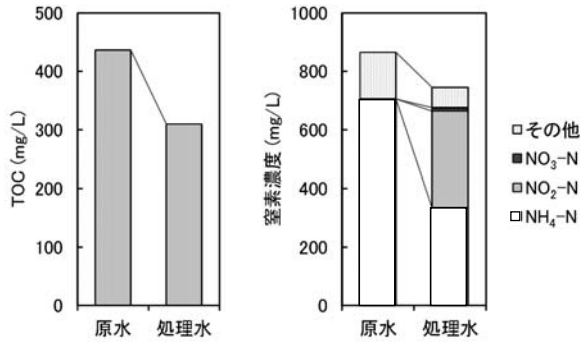


図9 phase 1における平均処理水質

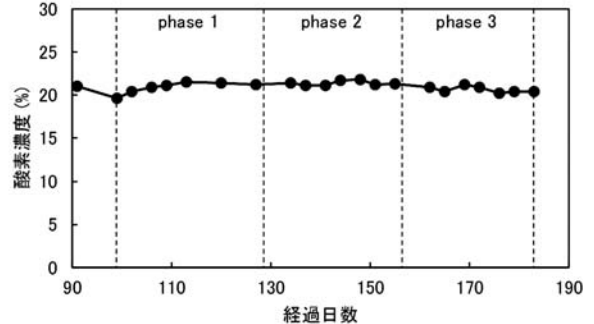


図13 処理槽中央部の酸素濃度の経日変化

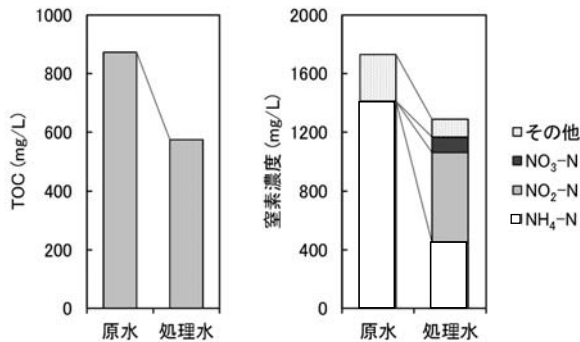


図10 phase 2における平均処理水質

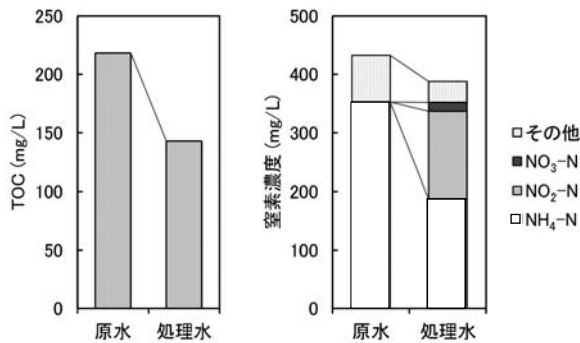


図11 phase 3における平均処理水質

#### 4. まとめ

消化液の浄化処理技術として、無ばっ気好気法の適用可能性について検討した。小型の処理装置により、生ごみ由来の消化液の通水試験を実施した結果、以下の知見が得られた。

- 1) 無ばっ気好気法により、有機物の低減及びアンモニア性窒素の硝化ができることが明らかとなった。
- 2) 有機物の除去性能は、同一の負荷条件においては、濃度や流量による有意な差は認められなかった。これは、全有機物中に占める難分解性物質の割合が高いことに起因すると推測される。
- 3) アンモニア性窒素の硝化性能が、同一の負荷条件において流量の少ない方が高い処理性能を示したのは、生物膜との接触効率が良くなるためと考えられる。
- 4) 排水の性状に合わせて適切なサイズの担体を選定したり、原水の導入方法を改良したりすることにより、処理性能の向上が期待できる。

#### 謝辞

本研究で使用したイオンクロマトグラフ、ICP発光分光分析装置及び純水製造システムは、公益財団法人JKAの機械振興補助事業により整備されました。また、大日本プラスチック株式会社には、微生物担体をご提供いただきました。ここに記して感謝いたします。

## 引用文献

- 1) (一社)地域環境資源センター：消化液の肥料利用を伴うメタン化事業実施手引，(2016)
- 2) 榎本 博・坂本 忠昭・進藤 静一：下水処理場の送風機設備におけるエネルギー評価手法，EICA，第11巻2/3号，(2006)
- 3) 亀岡 俊則：メタン発酵処理技術の現状と課題，畜産環境情報，第35号，(2006)
- 4) 出嶋 京太・幡本 将史・山口 隆司・齋藤 安佐美・大坂 典子・西川 向一・谷川 大輔：UASB-DHSシステムを用いたメタン発酵脱離液の処理技術の開発，第49回日本水環境学会年会講演集，(2015)