

＜研究発表＞ 木材チップを利用した畜産メタン発酵消化液の減量化処理

藤生 昌男¹、吉野 徳正²

1(株)明電舎 総合研究所 環境研究部(〒141-8565 品川区大崎 2-1-17 E-mail:fujiu-m@mb.meidensha.co.jp)
 2(株)明電舎 総合研究所 環境研究部(〒141-8565 品川区大崎 2-1-17 E-mail:yosino-n@mb.meidensha.co.jp)

概要

畜産メタン発酵システムの課題の一つは、消化液の利用方法である。液肥としての利用方法が確立されていない場合には、消化液の処理や処分が必要となる。消化液処理方法として、生ごみ処理機の処理方式を消化液の処理に応用できないか検討した。検討方法は、木材チップを処理担体とする小型処理装置を製作し、畜産メタン発酵設備の敷地内に設置し、メタン発酵槽から排出される消化液の処理試験評価を約1年間行った。その結果、消化液の減量ならびに投入有機物の減量は進むものの、無機物の蓄積が顕著であり、定期的な処理装置内容物の引抜が必要であることが分かった。また、試験用に製作した処理装置は、最適運転時での処理規模が実規模スケールの約1/200であることが検討の結果分かった。

キーワード: 畜産、メタン発酵、消化液処理、木材チップ、減量

1.はじめに

バイオマス(Biomass)とは、「生物資源」の「量」を表す概念である。生ごみや食品廃棄物、家畜排せつ物、間伐材、稲わら等の「生物由来の有機性資源で化石資源を除いたもの」がこれに相当する。2002年12月「バイオマス・ニッポン総合戦略」が閣議決定されたように、バイオマスは現在注目されている資源である。一方、バイオマスの中の家畜排せつ物は1999年11月から家畜排せつ物法が施行され、規定の飼養頭羽数以上の家畜排せつ物を対象として、2004年11月から野積みや素堀貯留が全面的に禁止となった。

このような背景から家畜排せつ物に関して、環境問題とエネルギー回収の両面から効率的な家畜排せつ物処理システムのニーズが高まっているといえる。

当社は、従来から家畜排せつ物によるメタン発酵と発生ガス発電とを組合せ、さらに、尿汚水処理を含めた家畜ふん尿総合利用システムの普及に取り組んできた。Fig.1に飼育豚数1000頭のシステム例を示す。

畜産メタン発酵の普及の際の課題のひとつは消化液の処理方法である。効率的な処理方法があれば畜産メタン発酵システムの特徴となり普及促進が図れると考える。

2.畜産メタン発酵消化液処理方法について

畜産ふん尿総合システムを導入する際に、メタン発酵消化液を液肥として利用できる農地があれば、そのまま農地還元できるためメタン発酵の全体システムが簡便になる。しかし、消化液の全量を農地還元できない場合には、堆肥発酵処理を選択することになる。また、堆肥化の場合には、販売網の整備・確保の課題がある。

消化液がコンパクトな施設で処理できれば、堆肥発酵処理

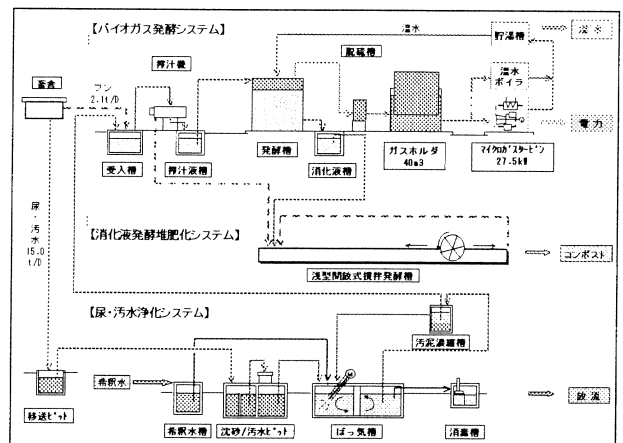


Fig.1 Domestic animal excreta synthesis use system
 設備を簡略化し設置用地が縮小でき、バイオガス発酵システムの導入推進が図れる。

消化液の処理方法として、裁断された木材チップを処理担体とし好気発酵処理することに着目した。木材チップの維管束を微生物の増殖場所として好気条件下における生物処理により有機物分解を促進するものである。これにより、消化液中の有機物分を水と二酸化炭素に分解し蒸発させることができる。ただし、消化液の含水率は90%以上のため、消化液と木材チップとを加温、攪拌し水分を蒸発低下させ好気処理を継続して行わせることが重要である。好気処理の促進により消化液の減量化、さらには、消化液中の有機分の消滅化まで期待できる方法である。

3.処理装置の概要および消化液の性状

処理装置は屋外式である。そして、稼動中のシステムのメタン発酵プラント脇に設置し、その消化液処理性能ならびに

運転上の課題点について約1年間試験評価した。以下に処理装置仕様、処理装置運転方法および使用した木材チップの概要について説明する。また、処理装置の外観をFig.2に、処理装置の構成をFig.3に示す。



Fig.2 Externals photograph of test fixture

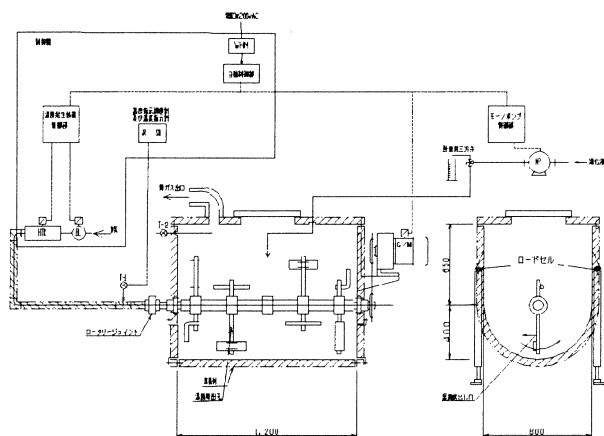


Fig.3 Composition of test fixture

3.1 処理装置仕様

処理装置は中空の回転軸を持ち、この回転軸と垂直方向に10本の槽内攪拌軸をもつ。槽内攪拌軸も中空であり、この空間部分に外部から温風を吹き込んで回転軸の回転方向と逆方向に噴出するよう細孔を開けた。処理装置の仕様をTable1に示す。

Table1 Specification of processor

項目	仕様等
電源	3φ、200VAC
消費電力量指示	電力量計
装置内制御温度範囲	30~60°C
温風発生器吐出温度	常温~350°C
風量設定	MAX3m ³ /min、1m ³ 設定
ブロー	0.2kW インバータ回転数制御
攪拌ギアードモータ	1.5kW インバータ回転数制御
回転数設定	MAX 9rpm、3rpm設定
消化液投入ポンプ種類	モノポンプ、0.2kW
消化液投入能力	100~600ml/min
投入量制御	24時間タイマ、インバータ回転数制御
槽内有効容積	1.5m ³
槽内木材チップ充填量	0.3m ³
質量計量方法	ロードセルによる

試験では、槽内の木材チップの混合状態等を確認しながら

槽内攪拌軸の回転数を3rpm、風量を約1m³/分と設定し運転した。また、消化液は24時間タイマによりモノポンプの投入流量と運転時間で日当りの消化液投入量が設定可能である。

3.2 処理装置運転方法

消化液の処理装置内への過剰な投入は、堆肥化処理の好気発酵の進行を妨げる。したがって、投入時には槽内攪拌状態を確認し、過度に消化液を投入することがない様に注意して行った。また、消化液の投入間隔は、処理装置質量を計測するロードセルの表示値の減少度合いを確認し、消化液投入前の処理装置質量値と同程度レベルになったときに実施するようにした。処理装置内の制御温度は、消化液の含水率が高いことから蒸発熱を必要とするため、処理装置運転上の重要な制御因子である。処理装置内の温度調節は、装置内上方の空間部に設置した温度センサにより温風発生器のヒータのon/off制御で試験期間中、常時行った。

3.3 杉チップ概要

使用した木材チップは、杉の間伐材から製作したもの(杜杉チップAb-2、(株)スイート製)を使用した。その使用量は、槽内での攪拌が十分行えるよう槽有効容積に対して約1/5に押さえた。使用前の木材チップの写真をFig.4に示す。

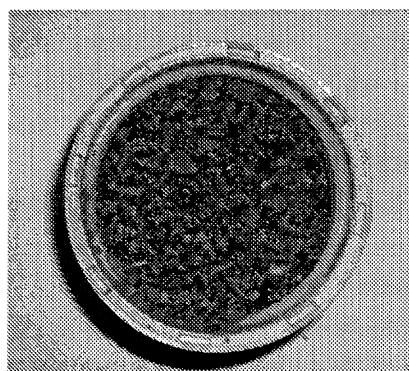


Fig.4 Unused wood chip

おがくずよりも形状の大きい木材チップであり、この木材チップを300L(水蒸気による賦活状態。かさ密度0.43g/cm³)試験開始前に処理装置内へ投入した。

3.4 消化液の性状

メタン発酵槽から排出される消化液は、依然、有機物濃度が高く、生物化学的酸素要求量(BOD)も数万mg/L程度あり、生物分解性を有している。また、窒素、りん酸、カリなど肥料の三要素を多く含んでいるため液肥としても十分利用可能である。本試験期間中に試験に供した消化液の成分をその分析方法とともにTable2に示す。ここに示したとおり、含水率は93%程度あり、有機物量の指標と判断できる強熱減量は4%程度ある。また、蒸発残留物と強熱減量の差で無機物量を評価できるが、この値が2%程度ある。

Table 2 Analysis method and analysis result of digestive liquid

分析項目	試験方法	平均分析値
含水率	肥料分析法(1992年)3.1 加熱減量法	93.2 wt% 有誤差率
全窒素(T-N)	肥料分析法(1992年)4.1.1 硫酸法	0.67 wt% 有誤差率
全りん酸(P2O5)	肥料分析法(1992年)4.2.3 吸光度法	0.60 wt% 有誤差率
全カリウム(K2O)	肥料分析法(1992年)4.3.3 吸光度法	0.32 wt% 有誤差率
石灰(CaO)	肥料分析法(1992年)7.5 ICP発光分析法	0.51 wt% 有誤差率
蓄土(MgO)	肥料分析法(1992年)7.5 ICP発光分析法	0.21 wt% 有誤差率
炭素(C)	肥料分析法(1992年)7.1 ニクロム酸化法	2.27 wt% 有誤差率
炭素率(C/N比)	計算法	3.39 -
銅	肥料分析法(1992年)7.5 ICP発光分析法	22.0 mg/kg 有誤差率
亜鉛	肥料分析法(1992年)7.5 ICP発光分析法	82.5 mg/kg 有誤差率
ナトリウム	前処理後 原子吸光法	0.05 wt% 有誤差率
脂肪	飼料分析法・解説(2004年)第3章II 3.2.1	0.1未満 wt% 有誤差率
ヒ素	肥料分析法(1992年)5.24.2に準じ ICP法	1未満 mg/kg 有誤差率
カドミウム	肥料分析法(1992年)5.6.1 原子吸光法	0.5未満 mg/kg 有誤差率
全水銀	肥料分析法(1992年)5.12.1 還元酸化法	0.01未満 mg/kg 有誤差率
蒸発残留物	肥料分析法(1992年)3.1 加熱減量法	6.7 wt%
強熱減量	肥料分析法(1992年)3.2 強熱灰火法	4.4 wt%

4. 減量効果評価方法

消化液の減量を総合的な液量の減量と有機物量・無機物量の減量とに分けて評価を行う。また、減量効果に伴う電気エネルギー使用量も減量効果を評価するうえで重要な指標として評価した。

4.1 処理消化液量による評価方法

その評価方法は、処理槽内へ消化液を投入し、担体である木材チップが湿潤状態にあるときを評価開始とし、木材チップが乾燥状態に至ったときを1回の評価試験の終了時点として、これを繰り返して実施した。具体的には、処理装置の質量を計測するロードセルの値の経時変化として消化液減量速度により評価する。この評価には、処理装置内の制御温度が重要な制御因子となるため、30℃から50℃の範囲で実施した。

4.2 有機物・無機物による評価方法

消化液中の水分は、熱エネルギーを供給することにより容易に蒸発減量される。しかし、木材チップを担体として生息する好気微生物がどの程度、有機物、無機物を減量させるか評価することも重要である。本項での有機物・無機物各々の分析方法はTable2中に示した肥料分析法により、試験期間中に約1ヶ月に1回の割合で分析評価した。

4.3 電気エネルギー使用量

電気エネルギー使用量は、総電力使用量を装置制御盤内の電力量計の表示値を定期的に記録し、処理装置の処理状況と関連付けて評価した。

5. 結果と考察

5.1 処理消化液量による減量評価

Fig.5 に示すように、処理装置内制御温度設定値を上昇させるほど消化液処理速度も向上する。これは、90%以上含まれている消化液中の水分が蒸散していることに他ならない。しかしながら、実際の消化液の減量化処理を想定した場合制御温度設定値は重要となる。温度 X を制御パラメータとしたときの消化液減量化速度 Y (kg/日) は、 $Y=0.72X-15.0$ と表すことができる。Fig.1 の実施設での消化液 2t/日を減量化処理するためには、処理装置のスケールアップは、制御温度 30℃、50℃を例に取ると次のようになる。

制御温度 30℃:約 300 倍の装置スケールアップ
 制御温度 50℃:約 100 倍の装置スケールアップ
 となる。また、その際の装置の概寸は、Table1 の緒元から
 制御温度 30℃:5m (W) × 5m (H) × 18m (D)
 制御温度 50℃:5m (W) × 5m (H) × 6m (D)

と試算される。より現実的な装置概寸は 50℃の場合といえる。また、制御温度を 50℃よりも高く設定することでよりコンパクト化が図れることになる。高温好気発酵での発酵適正温度 60℃¹⁾ に制御温度を設定した場合には、本試験装置の約 70 倍のスケールアップで済み、その装置概寸は、5m (W) × 5m (H) × 4m (D) とよりコンパクトになる。しかしながら、制御温度を高く設定することは、熱エネルギーを多く供給する必要があるため装置のランニングコストは上昇することになる。

実処理装置を設計する場合、装置寸法をより大きくすることにより、制御温度がより低く設定可能となりランニングコストを低減できる。

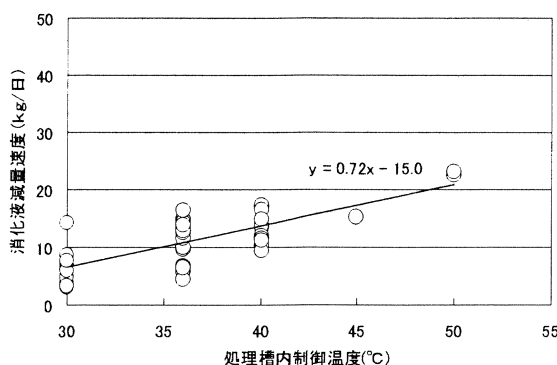


Fig.5 Relation between control temperature and digestive liquid loss in weight speed

5.2 有機物・無機物による評価方法

消化液の減量化で重要な点は、消化液中の水分を蒸散させた後の蒸発残留物の挙動である。生ごみ処理機の場合には、投入物がほとんど完全消滅する。消化液の場合には、Table2 の組成表で示したように、蒸発残留物が約 7% 存在し、これが継続的に投入されることになる。

投入消化液中の無機物は、蒸発残留物と強熱減量との差の値とする。また、強熱減量は有機物とする。投入消化液量に対する各成分変化を Fig.6 に示す。

処理槽内の初期有機物量 70kg-DS は初期の杉チップの有機物量を示している。投入消化液中の有機物量は、消化液積算投入量の増加に比例する。しかし、処理槽内の有機物量は、投入消化液中の有機物と比例して増加せず、消化液積算投入量 3000kg付近でやや上昇傾向が認められるものの、初期 70kg-DS 近辺の値である。このことから、消化液中の有機物は、木材チップを処理担体とする好気処理において分解が進んだものと判断できる。一方、投入消化液中の無機物と処理槽内の無機物量は、ほぼ一致し、消化液積算投入量とともに増加蓄積傾向にある。

したがって、消化液中の有機物は処理槽内で生物分解処理により減量されるものの、無機物は蓄積することが分かる。

2t/日の消化液の実処理施設で生物処理が能力を発揮した場合、減容化の観点からは、水分ならびに有機物はほぼ分解等除去できるものの、無機物は50kg/日蓄積することになる。したがって、無機物の蓄積が有ることから、定期的な内容物の引き抜きと担体補充が必要となる。

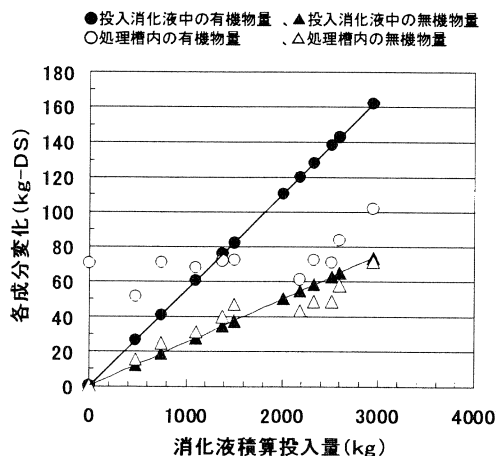


Fig.6 Changing of organism and inorganic substance

5.3 電気エネルギー使用量

ほぼ1年間の試験運転で、消化液積算投入量は、約3000kgに達した。処理装置の処理運転には、熱源や攪拌に電力が必要となり、その積算電力量は Fig.7 に示すように推移した。

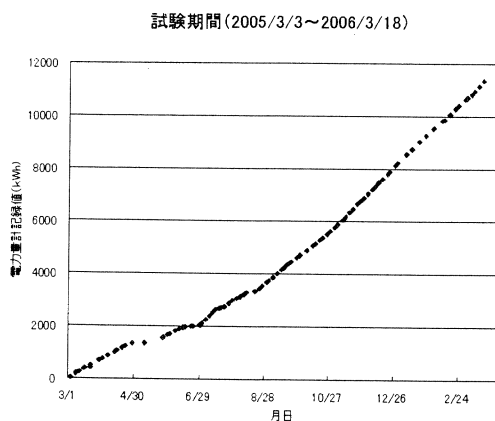


Fig.7 Passage of integral power consumption

消費電力比率が高いと考えられる温調はほとんどの期間を通じて、30℃と36℃で運転された。そのため、四季を通じてほぼ電力量計記録値の変化は安定したものであった。処理装置の断熱材の効果があったものと考えられる。また、夏季の短期間に制御温度を40～50℃に設定した。

外気温と消費電力量との詳細関係を Fig.8 に示す。各制御温度とも平均気温が低下するほど、処理装置へ通気する空気の加温ならびに処理装置からの熱損失により日消費電力量が上昇することが分かる。温風発生器以外の攪拌電動機等の消費電力は計測したところ 5.7kWh/日であった。

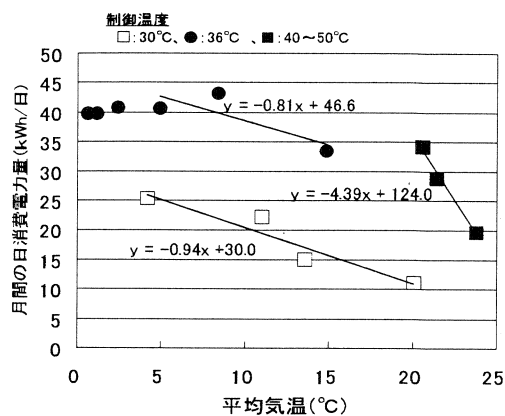


Fig.8 Relation between outside temperature and amount of power consumption

また、処理装置制御温度例 30℃、50℃のときの平均消費電力量 Y (kWh/日) は、平均気温を 20℃とした場合、各々、11.2kWh/日と 36.2kWh/日となる。

電気エネルギー使用量を抑えて最大限の消化液処理速度を得たい場合には、制御温度が発酵槽加温温度と同一の 36℃の場合に投入消化液の加温に要する熱エネルギーが最少となる。したがって、処理効率を考慮した場合、制御温度 36℃、消化液減少速度約 11kg/日が本装置の運転に適した条件と考えられる。この際の日消費電力量は、平均気温 20℃の場合、30.4kWh/日となる。この消化液処理速度に対するランニングコストである電力料金は非常に割高なものとなる。ちなみに、実規模では本試験装置の約 200 倍のスケールアップが必要である。

6.まとめ

生ごみ処理機の処理方式を畜産メタン発酵消化液の減量化処理に応用できるか小型処理装置を製作しフィールドに於いて試験を実施した。試験の結果、ランニングコストが高く、また、無機物の蓄積による減量化の限界を確認した。ランニングコストを低下させるには、高温好気発酵法のように、炭素源として天ぷら油などの廃食用油を熱源として利用すれば 70℃の高温で発酵ができる¹⁾可能性がある。しかし、無機物の蓄積は装置内容物の定期的な引抜を必要とするため、引抜時期の明確化、木材チップの補充などの作業を要することになり簡便で手のかからない処理方法とは言えない。処理対象を無機物の割合が多い畜産メタン発酵消化液とした場合、生ごみ処理方式の導入には工夫の余地があると判断された。

7.おわりに

約 1 年間の長期にわたり快くフィールドを借用させていただいた養豚場様に感謝を致します。また、本試験を実施するに当たり、社内外の関係各位に感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 家畜排せつ物の処理・リサイクルとエネルギー利用、株式会社エヌ・ティー・エス(2004).pp152-155