

家畜糞尿を材料としたバイオガスプラントから排出される廃棄物の堆肥化に関する基礎的研究

天野 實*・平野 繁*・岡庭良安**・大谷 忠***

(平成 14 年 8 月 26 日受付/平成 15 年 1 月 29 日受理)

要約: 家畜糞尿からメタンガスを回収するバイオガスプラントは、すべての処理が密閉槽内で行われるため臭気対策の点においても有効な処理方式である。しかし、発酵前後に排出される大量の搾汁分離かすや汚泥の処理問題が残る。本研究は、これらの廃棄物の堆肥化を図るにあたり、まず、それぞれの廃棄物の特性を明らかにする目的で、総量 10 kg 規模程度の基礎的試験を実施した。その結果、1) 搾汁分離かすのみの調製では、調製後の温度上昇は大きい乾燥しやすい特性を持つこと。2) 搾汁分離かすに汚泥を混合することによって水分含有率が維持されること。3) 汚泥の混合比率が高い場合は稲藁ないし米糠を加えることによって温度上昇が大きくなること、特に、4) 稲藁を加えた場合は混合量が少量でも温度上昇が大きくなることを明らかにした。

キーワード: 家畜糞尿, バイオガスプラント, 汚泥, 堆肥化, 臭気

緒 言

家畜糞尿からメタンガスを回収するメタン発酵処理は、エネルギー利用に加え、密閉槽の中ですべて処理するため臭気対策の上からも有効な処理方式である¹⁾。しかしながら、本処理法はメタン発酵の効率化を図るために行う搾汁後に排出される大量の搾汁分離かすとメタン発酵後に発酵槽から排出される消化液の処理問題が付随的に派生する¹⁾。その対策として後者の消化液は、窒素、リン、カリウム等の肥料成分を多く含むことから液肥としての利用・研究が多くなされている²⁻⁶⁾。しかし、液肥として利用できない場合や地域では、何らかの方法でこれらの消化液を脱水汚泥として固形化し利用する必要があるが、そのような研究は極めて少ない^{7,8)}。さらに固形化後、堆肥化する研究例はないようである。

そこで筆者らは、消化液を固形化した脱水汚泥ならびに前処理で排出された搾汁分離かすの堆肥化に必要なそれぞれの特性を把握する目的で、本学農学部設置されている家畜糞尿用メタンガス発生設備（住友重機械工業株式会社製）より排出される廃棄物を用いて、実験的規模（総量 12 kg）で基礎的試験を実施したところ、若干の知見を得たので、その結果について報告する。

本研究は、本学農学研究所プロジェクトチームと住友重機械工業株式会社の研究チームとが共同で、同プラントの性能調査を兼、2001 年 4 月より実施したものである。なお、実施に当たっては、本学農学研究所平成 13 年度プロジェクト研究の研究助成を受けた。

材料および方法

バイオガスプラント施設（以下「プラント」と称す）には、本学農学部畜産学科の実験動物舎から排出される糞尿（豚、山羊、綿羊、鶏、兎、犬、鼠などの混合）が、1 日あたり約 150 kg 投入されている。これらの糞尿は、まず混合し、カッターで粉碎した後、固形物（搾汁分離かす）と液体（搾汁液）に分離し、搾汁液はメタン発酵槽へ導入するが、残った搾汁分離かすが、一つ目の廃棄物（以後「搾汁分離かす」と称す）となる。次に、メタン発酵槽の消化液を脱水した汚泥が、二つ目の廃棄物となる。なお、このプラントでは、実験動物舎からの洗浄汚水を浄化させる活性汚泥装置が併設されており、この装置で沈殿する汚泥は消化液の汚泥と混合・脱水された後、排出されるので、この脱水された汚泥を、プラントからの二つ目の廃棄物としてとらえる（以後「脱水汚泥」と称す）。以上、プラント廃棄物の「搾汁分離かす（水分含有率：61.80%）」と「脱水汚泥（水分含有率：71.33%）」を材料に、堆肥調製するにあたり、それぞれの廃棄物の特性を検討した。

本実験は、プラント運転初期に実施したことから、2 つのプラント廃棄物の排出割合は不明であった。したがって、搾汁分離かす割合が多い場合を想定して実験 1 を、脱水汚泥割合が多い場合を想定して、実験 2 を実施した。

実験 1 は、搾汁分離かすに混合する脱水汚泥の割合を、重量比で 50%、40%、33% および 0% の 4 水準（区分名はそれぞれ、汚泥 50% 区、汚泥 40% 区、汚泥 33% 区および汚泥 0% 区）を設定した。この実験は平成 13 年 6 月 27 日

* 東京農業大学農学部農学科

** 住友重機械工業株式会社

*** 東京農業大学農学部畜産学科

より行った。

実験 2 は、脱水汚泥の排出割合が、重量で搾汁分離かすの 2 倍の場合を想定して実施した。なお、脱水汚泥は水分含有率が 71.33% と大きく水分調整が必要なことから、水分調整材として稲藁（水分含有率：42.00%）と米糠（水分含有率：20.79%）を用い、調整後の水分含有率が 65% および 67% となる 2 水準（区分名はそれぞれ、稲藁 65% 区と稲藁 67% 区、米糠 65% 区と米糠 67% 区）を設定した。なお、この稲藁は、実験動物舎で家畜の敷き料として使用され廃棄されたものを用いたことから、尿などの水分を含んでおり乾燥した稲藁と比較すると水分含有率は高かった。したがって、稲藁の搾汁分離かすに対する混合割合は 65% 区で 40%、67% 区で 10% であった。また、米糠の搾汁分離かすに対する混合割合は、65% 区で 20%、67% 区で 5% であった。この実験は平成 13 年 8 月 28 日より行った。

両実験には、生ゴミ処理機（日立電気社製：ゴミパックン 12kg 入り、攪拌装置付き）にエアレーション装置と自動計測温度センサーを取り付け実施した。なお、この生ゴミ用処理機の攪拌は 2 回/分であるが、本実験では堆肥調整中の極端な温度低下と乾燥防止のため、自動的に行う堆肥の切り返し（攪拌）を 12 時間ごとに 5 分間にした。また、攪拌機が設置された開放型堆肥化施設において機械的通気を行う場合、通気量は 1 分あたり発酵槽容量の 10% が適量とされていることから⁹⁾、コンポスター容量 20 l に対し、1 分あたり 2 l の通気をするように改良した。さらに、同コンポスターには外気温の影響を受けないよう全体を厚さ 3 cm の発砲スチロール板で囲んだ。

堆肥温度の変化は自動記録計で測定し、水分含有率の推移は通風乾燥機（135℃ で乾燥）を用いて測定した。C/N 比（実験 2 のみ）は、CN コーダー（MT-700：ヤナコ分析工業株式会社製）を用いて測定した。

調査期間は実験 1、2 とともに、2 週間（14 日間）とし、堆肥のサンプリングは、堆肥調製（実験開始）時、1 週間後、調査終了時の 3 回とした。

結果および考察

1. 実験 1

堆肥温度の推移を図 1 に示した。いずれの区も調製直後から 60℃ 以上と高かった。特に、搾汁分離かすのみの汚泥 0% 区と搾汁分離かす比率の高い汚泥 33% 区は 70℃ 前後に達する高温を示した。汚泥 0% 区の堆肥温度は、調製直後に急上した後、5 日目以降は他の 3 区に比較して低下が著しかった。これに対し、脱水汚泥が混和されている汚泥 33%、40% および 50% 区の堆肥温度は、調製直後は低いが、5 日目から 10 日目では 50℃ 程度を維持し、その後ゆっくりと低下した。

水分含有率の推移を表 1 に示した。汚泥 0% 区的水分含有率は、堆肥調製後急激に下がり、その後も徐々に低下が見られた。これに対して、他の 3 区的水分含有率は調製後の変化が少なかった。

上記の温度ならびに含水率の推移は、搾汁分離かすと脱水汚泥の物理的特性を如実に反映していると推察する。

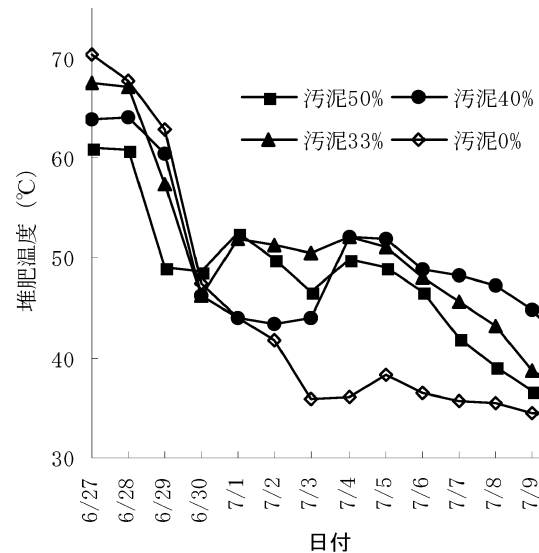


図 1 堆肥温度の推移（実験 1）

表 1 水分含水率の推移（実験 1） (%)

	汚泥 50%区	汚泥 40%区	汚泥 33%区	汚泥 0%区
調製直後	72.7	71.6	70.0	59.9
1 週間後	72.4	70.6	69.6	50.2
終了日	71.3	67.9	68.9	46.1

すなわち、搾汁分離かすのみの汚泥 0% 区でみられた 5 日目以降の温度低下は、初期の堆肥温度の上昇によって材料が乾燥し、堆肥化が抑制されたものと考えられ、これは、搾汁分離かすが糞以外に敷き料や残飼の繊維を多く含み、比重が小さく間隙の多い物理性から、通気が良好で微生物の活発な活動を促して堆肥温度の急上昇をもたらす一方で、水分の蒸発によって乾燥化が進み、急激な温度低下を招来したものとする。他方、脱水汚泥を混合した汚泥 33%、40% および 50% 区では、いずれも調査期間を通して顕著な水分含有率の低下がみられなかったことは、脱水汚泥の粒子が極めて小さいことから、搾汁分離かすに比べ通気性が小さく、微生物の活動がゆっくりと進んだものと考えられる。

2. 実験 2

堆肥温度の推移を図 2 に示した。調製直後では、稲藁 65% 区と稲藁 67% 区および米糠 65% 区の温度が、いずれも米糠 67% 区より高かった。3 日目から 7 日目の間では、米糠 65% 区の温度がもっとも高く推移し、ついで稲藁 65% 区および稲藁 67% 区が高く、米糠 67% 区の温度は低く推移した。その後、稲藁 65% 区と米糠 65% 区は、40℃ 程度を維持したのに対し、米糠 67% 区では 30℃ 程度となった。また、10 日目以降全ての区において再び温度上昇が認められたが、これは容器上面に結露した水滴が落下し水分条件が変化した結果ではないかと推察する。ただし、稲藁 67% 区における著しい温度上昇は、それ以外に攪拌

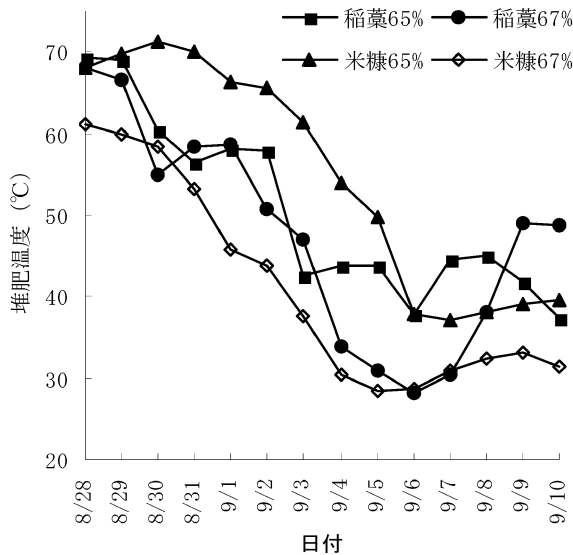


図 2 堆肥温度の推移 (実験 2)

表 2 水分含水率の推移 (実験 2) (%)

	稲藁 65%区	稲藁 67%区	米糠 65%区	米糠 67%区
調製直後	67.5	71.6	66.3	71.0
1週間後	64.7	65.9	63.3	66.6
終了日	62.8	65.7	62.3	65.3

装置の異常稼働の生起、ないし、それに伴う温度センサーの異常感知等を考えるしかなく、その理由を明らかにすることはできなかった。

水分含有率の推移は表 2 のごとくであった。いずれの区においても堆肥調製後、水分含有率は暫時減少したが、その値は 4.0~6.0 ポイントで区間での顕著な差異は認められなかった。また、減少率においても区間での顕著な差異は認められなかった。

以上、堆肥温度の推移と水分含有率の推移から、脱水汚泥は堆肥温度が高くなっても水分含有率を高く維持する特性を持つことが示唆された。

すなわち、実験 1 では温度上昇の大きかった汚泥 0% 区では著しい水分含有率の低下が見られたのに対し、実験 2 で温度上昇の大きかった米糠 65% 区は、稲藁 65% 区に比べても著しい水分含有率の低下は認められなかった。このことは搾汁分離かすと脱水汚泥とでは水分保持特性が明らかに異なることを示唆している。

なお、調製直後の水分含有率は、あらかじめ調べた各資料の水分含有率から計算した含有率よりもやや大きかったが、これは試料のサンプリングやサンプリング方法による誤差の可能性が考えられ、今後検討しその要因を明らかにしたい。

C/N 比の推移を表 3 に示した。すなわち、調製直後では、稲藁区の C/N 比は米糠区よりも大きかった。これは、稲藁の C/N 比が 31.17% であるのに対し、米糠が 17.00% であったことに起因する。1 週間後では、稲藁区の C/N 比

表 3 C/N 比の推移 (実験 2) (%)

	稲藁 65%区	稲藁 67%区	米糠 65%区	米糠 67%区
調製直後	16.58	16.13	13.93	12.98
1週間後	12.06	11.67	11.80	12.89
終了日	10.47	10.29	10.22	12.13

が大きく低下した。調査終了時には、米糠 67% 区の C/N 比が他の区の 10% 程度と比べ 12.13% と高かった。

以上の結果を堆肥温度の推移との関係でみると、米糠 65% 区では、堆肥温度が高く推移し C/N 比の低下がみられたが、米糠 67% 区では堆肥温度は低く推移し C/N 比の低下もみられなかった。また、稲藁区の堆肥温度の推移は 65% 区と 67% 区とも同様な推移を示し、C/N 比も両区とも 10% レベルに低下した。これらの結果から、脱水汚泥の通気性に対する効果が、稲藁と米糠では異なると考えられた。すなわち、粉状の米糠と比較して、3 cm 程度に裁断された稲藁は、汚泥間の間隙を広くし通気性を大きくする。この良好な通気性が、微生物の活動に必要な酸素を供給し、稲藁の混和量の小さい稲藁 67% 区でも堆肥温度の上昇と C/N 比の低下が認められたものと推察された。また、通気性効果は小さいと思われる米糠を混和した米糠 65% 区の調製後における温度上昇は、米糠自体が分解しやすいなどの化学的特性の結果と考えられた。なお、米糠添加の温度上昇効果については、天野ら¹⁰⁾の実施した実験でも認められた現象である。

ま と め

本研究で得られた 2 種のプラント廃棄物の特性は、以下のようにまとめられる。

- 1) 搾汁分離かすは、通気性が大きく調製直後の温度上昇が大きいが、乾燥しやすい特性をもつこと。
- 2) 脱水汚泥は、通気性が小さく、調製直後の温度上昇が小さく、乾燥にくい特性を持つこと。
- 3) 脱水汚泥の通気性の改善には、稲藁のような水分調整材の効果が高いこと。

以上のことから、本バイオガスプラントから排出される廃棄物を堆肥調製する際は、搾汁分離かすの割合が大きい時には乾燥しやすいことに、脱水汚泥の割合が大きい時には通気性が阻害されることに留意する必要があることである。すなわち、乾燥の回避と通気性の確保が重要である。

加藤ら⁸⁾も、同様な廃棄物「脱水ケーキ」の堆肥化には、1. 切り返し回数、2. 送風空気温度、3. 通気量の調節の 3 つが重要、と述べている。今後は、これらの点を踏まえ、排出される 2 種の廃棄物の排出割合が安定した段階で、両廃棄物の特性と水分調整材の特性を活かした実用的な堆肥調製法を検討する必要がある。

引用文献

- 1) 本多勝男, 1999. エネルギー利用システム, 無希釈・高有機物負荷メタン発酵法, 畜産環境対策大辞典 (第 5 版), 農山漁村文化協会, 417-427.
- 2) 志賀一一・藤田秀保・徳永隆一・吉原大二, 2001. 酪農に

- おける家畜ふん尿処理と地域利用—循環型農業をめざして—, 酪農総合研究所, 44-45.
- 3) 桑原 衛, 1995. バイオガス技術によるふん尿利用, 農業技術体系, 農山漁村文化協会, 畜産編 8, 環境対策, 454 の 2-454 の 4.
 - 4) 岡庭良安・野口真人・生村隆司, 2002. 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糞尿処理システムの開発, 畜産環境保全に関する発表会, 畜産環境整備機構, 3-4.
 - 5) 義平大樹・鈴木清恵・山中七瀬・成瀬佳代, 2002. サイレージ用トウモロコシに対するバイオガスプラント消化液の施肥効果, 平成 14 年度日本草地学会大会, 日本草地学会誌, 48 (別), 376-377.
 - 6) 干場信司, 2002. エネルギー的・経済的評価, 北海道バイオガス研究会, バイオガスシステムの現状, 23-25.
 - 7) 小林達治・木村紫晃・久米恒平・牧 孝昭, 1980. 発酵汚泥の植物病原菌に対する抑圧効果ならびに植物生長促進効果について, 微生物と資源, 2, No.12.
 - 8) 加藤明德・小林久泰・青井 透・鶴谷泰二・大村敏信, 1985. メタン発酵汚泥の堆肥化装置, 住友重機械技報, 33, No. 97, 108-111.
 - 9) 堆肥化施設設計マニュアル, 1988. p. 16-19, p. 52, p. 98 中央畜産会.
 - 10) 天野 實・大谷 忠, 2002. 有機性廃棄物の混合堆肥化に関する基礎的研究, 特に生ごみを中心として, 東京農大農学集報, 46, 265-269.

Basic Experiment in Composting of Organic Wastes Discharged from Bio-gasplant with Livestock Excreta

By

Minoru AMANO*, Shigeru HIRANO*, Yoshiyasu OKANIWA**
and Tadashi OTANI***

(Received August 26, 2002/Accepted January 29, 2003)

Summary : Bio-gasplant collects a methane gas from livestock excreta. This is a useful way of dealing with the bad smell because all treatment is carried out in closed tanks. But the treatment of digested sludge and other sludge discharged from the system becomes an issue. This study is an experiment in mixed composting of the digested sludge and other sludge. The purpose of this experiment is to grasp the essentials of the sludge for composting on a small scale ; 10kg approximately in total. The results show clearly 1) Only in digested sludge, the temperature of manure is high and it dries quickly; 2) In case of other sludge mixed with digested sludge, the moisture of manure maintains a certain level ; 3) In case of higher portion digested sludge, the degree of temperature of the manure is raised by the addition of rice straw or rice bran and ; 4) even a small addition of rice straw on manure raises the degree of temperature of the manure.

Key Words : Livestock excreta, Bio-gasplant, Sludge, Composting, Bad smell

* Department of Agriculture, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

** Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

*** Department of Zootechnical Science, Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture