

牛ふんと生ゴミの混合堆肥化における高温発酵と悪臭低減効果

内田啓一・白石 誠・脇本進行・古川陽一・奥田宏健

Establishment of high temperature fermentation and stench decrease in mixture compost making about cow excrement and raw garbage

Keiichi UCHIDA, Makoto SHIRAIISHI, Nobuyuki WAKIMOTO, Youichi FURUKAWA and Kouken OKUDA

要 約

牛ふんと生ゴミの混合堆肥化において、生ゴミの添加量の違いが発酵温度や発生臭気の濃度に及ぼす影響を調査した。

- 1 牛ふんに対する生ゴミの混合割合が25%以上で60 以上の高温発酵が進行した。一方、生ゴミの混合割合が75%以上では発酵温度のピークが後退し、発酵温度は緩慢に推移した。さらに、生ゴミの混合割合が75%以上ではアンモニア、トリメチルアミン、メチルメルカプタンなどの悪臭発生を顕著に認めた。
- 2 生ゴミは熱量が高く、易分解性有機物を多く含むため、高温堆肥化が可能であるが、生ゴミの添加量が増加するに伴って通気性が悪化し、嫌気性発酵を引き起こした。
以上のことから、牛ふんに生ゴミを混合して堆肥化する場合、生ゴミの混合割合を50%以下にすることで高温発酵および発生臭気の低減が可能となった。

キーワード： ADF、アンモニア、牛ふん、生ゴミ、堆肥化、トリメチルアミン

緒 言

近年、本邦では環境保全や安全な農作物志向が高まり、バイオマスの有効利用が叫ばれている。なかでも生ゴミ等食品廃棄物のリサイクルは最も身近な取り組みと考えられている。著者らは、安全な農産物の生産を担う農業と地域の共存を図るため、家畜ふんと生ゴミの一体的堆肥化による有機資源地域リサイクルシステム構築に関する研究を進めているが^{1,5)}、生ゴミの堆肥化時には特有の悪臭発生および発酵停滞が報告されていることから^{5,7,10)}、地域での生ゴミリサイクルシステム導入には慎重な意見が多い。そこで、本研究では牛ふんと生ゴミの混合堆肥化における発酵状態および悪臭発生などを調査し、望ましい堆肥化条件を検討した。

材料及び方法

1 供試材料

牛ふんは当日採取した新鮮な肉用牛ふんを用い、生ゴミは標準生ゴミ(表1)とした。標準生ゴミは細切した後、直ちに各材料ごとに冷凍保存し、使用の度に解凍および調製を行った。水分調整材にはモミガラを使用した⁴⁾。なお、供試材料の水分率は標準生ゴミ77.3%、牛ふん83.0%、モミガラ10.5%とした。

2 試験区の設定

牛ふんと生ゴミの混合割合を75%：25%とする1区、50%：50%とする2区、25%：75%とする3区、および0%：100%とする4区を設け、対照区として牛ふんだけの区を設けた。水分率はモミガラを用いて75%に調整した¹⁾。

3 堆肥化試験

各区とも十分に混合したのち図1に示す小型堆肥化実験装置(富士平工業株式会社製、発酵槽有効容積12.3L)に10L投入し、堆肥化試験をおこなった。試験期間は14日間とし、切り返しは試験開始後7日目に1回のみ行った。通気量は投入材料1Lにつき毎分500mlとし、24時間連続通気とした。

表1 標準生ゴミの組成

材 料	仕 様	混合割合(%)
にんじん		1.8
キャベツ		1.8
バナナの皮		1.0
リンゴ		1.0
グレープフルーツの皮	絞った後	1.0
鳥骨	加熱後	0.8
魚	アジの干物	1.0
卵殻		0.2
米飯		1.0
茶葉	10分水中に浸漬後、10分水切	0.4
合 計		10.0

注 1)建設省総合技術開発プロジェクト(平成6年度～平成8年度)

注 2)混合割合は湿潤重量で表している。

注 3)各材料を堆肥化装置に入るように細切した。

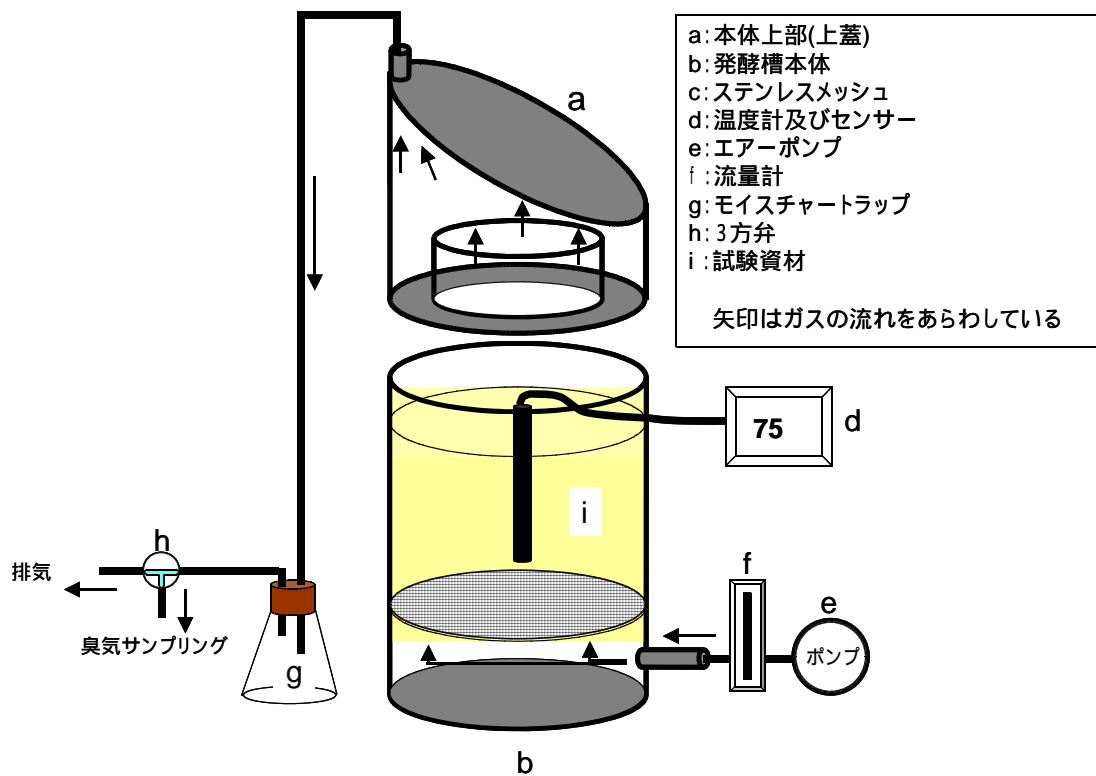


図1 堆肥化装置の概要

4 調査項目

発酵温度は、サンプル中心部に設置した自動温度記録計により1時間間隔で測定した。排気ガスは実験装置上部の排気口より三方弁を介してサンプリングした。排気ガス中の悪臭成分であるアンモニア、トリメチルアミンおよびアセトアルデヒドは北川式ガス検知管、硫黄化合物（硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル）はガスクロマトグラフ(GC-FPD)、低級脂肪酸（プロピオン酸、n-酪酸、i-吉草酸、n-吉草酸）はガスクロマトグラフ(GC-FID)によりそれぞれ1日1回測定した。なお、試験開始後7日目の測定値は、切り返しの作業前に測定した。

5 供試材料および試験区の成分組成

牛ふんと生ゴミの混合堆肥化において、生ゴミの添加が発酵に及ぼす影響を検証するため、生ゴミの成分組成を分析した。分析では、熱量はカロリーメーターで、C/N比はCNコーダーにより行った。そして、酸性デタージェント分析により得られる酸性デタージェント繊維含量（以下ADF）を難分解性有機物とし^{8,11)}、強熱灰化法により得られた有機物含量からADFを差し引いたものを易分解性有機物とした。

供試材料の成分組成では、熱量は牛ふん337kcal/100g、標準生ゴミ397kcal/100g、モミガラ291kcal/100gであった。試験区別にみると、1区で352kcal/100g、2区で345kcal/100g、3区で393kcal/100g、4区で384kcal/100gであり、対照区は338kcal/100gであった。

C/N比は、牛ふんで22.5、標準生ゴミで8.4、モミガラで89.1であった。試験区別では、1区が16.8、2区が19.3、3区が11.4、4区が11.4であり、対照区は27.1であった。

有機物含量は、牛ふんで83.1%、標準生ゴミで90.8%、モミガラで81.3%であった。試験区別では1区で84.6%、2区で82.7%、3区で85.6%、4区で84.1%であり、対照区は83.0%であった。さらに、有機物中に占める難分解性有機物の割合は、牛ふん51.9%、標準生ゴミ9.8%、モミガラ64.9%であった。試験区別にみると、1区が37.6%、2区が36.0%、3区が26.9%、4区が15.1%であった。

結 果

1 発酵温度

堆肥化装置内の発酵温度の推移を図2に示した。試験期間中の最高発酵温度は1区が65.6、2区が71.5、3区が69.3、4区が61.8であり、いずれの区とも対照区の46.9を上回る温度であったが、発酵パターンは生ゴミの混合率により異なった。1区および2区では、堆肥化開始後3日目に発酵温度がピークを示し、下降も速やかであったのに対し、3区および4区では温度の上昇は緩やかであり、長期間高温が持続した。

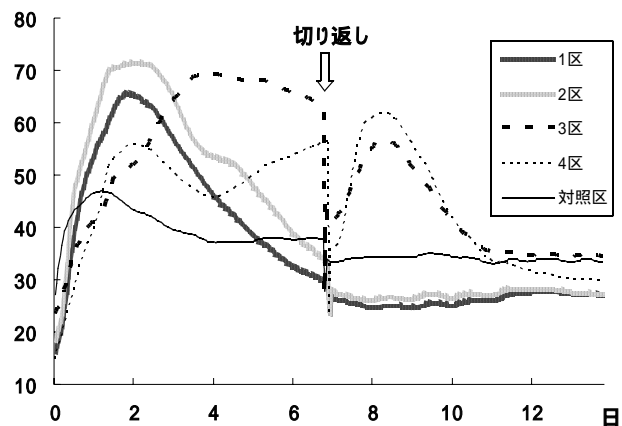


図2 試験区別の発酵温度の推移

2 臭気

排気ガス中の悪臭成分は、試験区のいずれもアンモニア、トリメチルアミンおよび硫黄化合物（硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチル）の発生が多くなったが、発生臭気のうちアンモニア、トリメチルアミンおよびメチルメルカプタンについては特徴的な発生動向が観察された。一方、アセトアルデヒドは4区で試験開始後2日目に10ppmを検出したが、その後は検出限界以下であり、他の区も検出限界以下であった。

また、低級脂肪酸はすべての区で検出されたが、1区および2区では試験開始3日目から揮散量が顕著に低下し、3区および4区においても3日目から揮散量が緩やかに低下した。

(1) アンモニア

アンモニア発生量の推移を図3に示した。すべての区において試験期間中を通じて高濃度の発生が認められた。1区および2区では試験開始後2日目から発生量が増加し、7日目まで高濃度の発生が持続し、試験期間中の最高濃度は1区で試験開始後3日目に800ppm、2区で6日目に600ppmとなり、いずれも対照区の400ppmを上回った。しかしながら、切り返し後は対照区と同程度の200ppm以下で推移した。一方、3区および4区では試験開始後5日目から著しい発生があり、3区では開始後9日目に、4区では開始後10日目にいずれも2,000ppmと顕著に高濃度の発生となった。

(2) トリメチルアミン

トリメチルアミンの発生量の推移を図4に示した。トリメチルアミンの発生パターンはアンモニアの発生パターンと類似しており、1区および2区では、発生量が試験開始後4日目まで増加し、その後切り返し時まで持続したが、切り返し後は徐々に低下した。一方、3区では試験開始後5日目に最高濃度800ppmの発生量を記録し、その後も高濃度で推移した。また、4区では発生は開始後5日目から認められ、試験終了時まで増加しながら持続した。

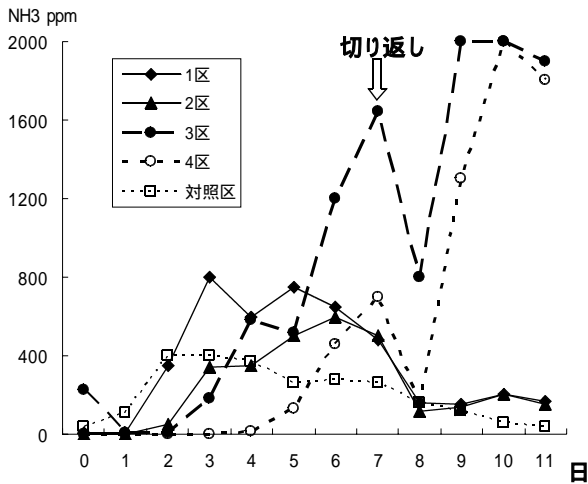


図3 試験区別のアンモニア発生量の推移

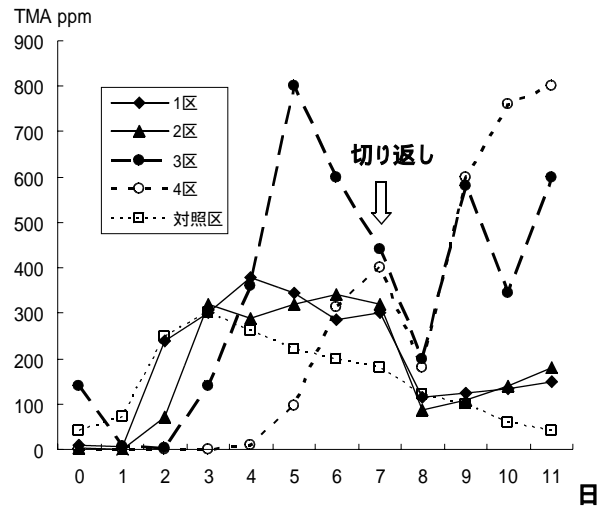


図4 試験区別のトリメチルアミン発生量の推移

(3) メチルメルカプタン

メチルメルカプタンの発生量の推移を図5に示した。発生は全区とも試験開始当初から高濃度であり、特に4区では高濃度の発生が持続し、8日目には111ppmと顕著に高くなった。なお、硫黄化合物系臭気のうち、硫化水素、硫化メチルおよび二硫化メチルはいずれの区においても低濃度であり、対照区と同程度であった。

また、硫黄化合物系臭気は発酵温度の低下と共に発生量が減少し、メチルメルカプタンをはじめ硫化水素、硫化メチルおよび二硫化メチルのすべての硫黄化合物系臭気は、全試験区において試験開始後11日目には対照区と同程度まで収束した。

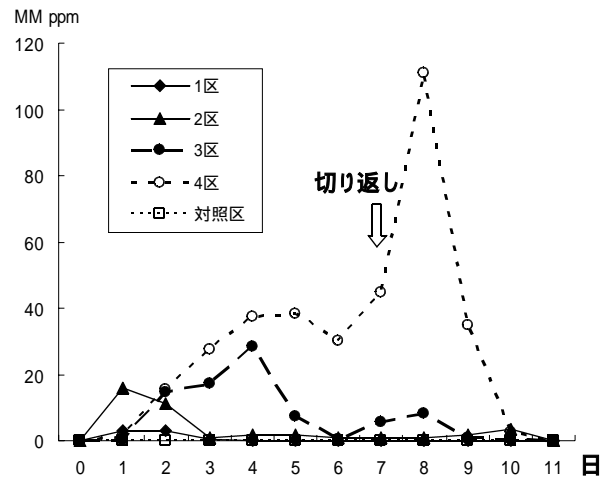


図5 試験区別のメチルメルカプタン発生量の推移

考 察

1 熱量および有機成分組成と発酵温度

牛ふんに生ゴミを添加した結果、牛ふん単独の堆肥化より高温で堆肥化が進行した。生ゴミは397kcal/100gと、牛ふんと比較して高い熱量を持つことが要因と考えられた。また、生ゴミは易分解性有機物含量が牛ふんやモミガラに比べて高く、微生物の分解活動が促進されたことも要因と考えられた。牛ふんなどの家畜ふんを高温で発酵させることは、0-157などの病原性大腸菌、クリプトスポリジウムなどの原虫、および糞中に含まれる外来強害雑草種子の死滅に有効であることから⁹⁾、牛ふんの堆肥化時に生ゴミを添加することは、良質な堆肥生産が図られるばかりでなく、疫学的にも安全で有益であると考えられた。

2 発酵遅延とADF含量

生ゴミの添加により高温発酵が進行する一方で、添加量が増加するに従い堆肥の通気性悪化を招き、発酵遅延および悪臭の大量発生を引き起こした。1区および2区では、発酵温度の上昇は速やかで、発酵終了に伴う温度低下も早期であった。また、発生した悪臭は対照区よりも高濃度であったものの、切り返し時までには低濃度になったことから、通気量を増したり、嵩比重を下げるなどにより好気性発酵を促進させることで悪臭発生は低濃度に抑えることが出来ると思われた。一方、3区および4区では発酵の立ち上がりがかかなり遅くなったが、試験後半には高温発酵になった。このように発酵遅延を招きながら高温発酵となったことは、臭気発生状況から判断して好気性発酵が進んだとは考えにくい。すなわち、堆肥化装置により強制通気を行っているために生ゴミの空隙保

持力が悪くても徐々に発酵が進み、発酵熱の蓄積と併せて温度が上昇したと考えるのが妥当と思われる。

生ゴミの添加量の増加により通気性が悪化するの、生ゴミは含まれる繊維物質が少なく、空隙の確保が難しいことが原因と考えられた¹⁴⁾。そこで、繊維物質含量の指標としてADF含量を測定した結果、牛ふん中のADF含量は43.9%であり、これを有機物中でみると51.9%と高い含有率であった。また、モミガラはADF含量は牛ふん以上であり、これを有機物中でみると65%を占めており、牛ふんやモミガラは易分解性有機物が少ないかわりに空隙保持力を持つ難分解性有機物が多いことが示された。これに対して標準生ゴミのADFは有機物中のわずか10%であり、この違いが各試験区のADF含量に反映されて通気性を左右したものと推察された。

3 生ゴミ添加と臭気発生

一般に生ゴミの堆肥化には窒素化合物類、硫黄化合物類、アルデヒド類、アルコール類、エステル類、ケトン類、テルペン類および炭化水素類などの多種多様の臭気が発生し^{7,10)}、家畜ふんの堆肥化時にはアンモニアやトリメチルアミンなどの窒素化合物が発生することが知られている^{2,3)}。今回の試験においては、アンモニアおよびトリメチルアミンは試験区すべてで対照区を上回る発生となった。供試素材および各試験区のC/N比は、牛ふんでは23であるのに対し標準生ゴミは8であり、生ゴミの窒素含量が高いことが要因していた。すなわち、試験区別では1区が16.8、2区が19.3、3区および4区が共に11.4であったことから、生ゴミを添加することで堆肥化時のアンモニアおよびトリメチルアミンの発生量が増加したと考えられた。

3区および4区において試験開始後5日目からアンモニアおよびトリメチルアミンが急激な発生を開始し、切り返し後はさらに発生量が増加した。また、4区においてはメチルメルカプタンの顕著な発生を認めた。硫黄化合物類は嫌気状態でより多く発生するといわれていることから²⁾、3区および4区では通気性の悪化が考えられた。このように、生ゴミ混合率が75%以上という多量添加の場合は、堆肥化が進行するにつれて生ゴミが泥濘化し、切り返しを行っても通気性が改善しなかったことが要因と考えられた。一方、生ゴミの添加により堆肥化時のアセトアルデヒドの発生が予想されたが、4区において初期にわずかに発生したのみであり、その他の区では試験期間中まったく検出されなかった。したがって、混合堆肥化処理施設においてアセトアルデヒドは注意する必要はないと思われる。

また、低級脂肪酸はすべての区で検出されたが、1区および2区では試験開始3日目から揮散量が顕著に低下した。3区および4区においても3日目から揮散量が低下したものの、1区および2区と比べると高濃度で推移し、低下速度も緩やかであった。低級脂肪酸は、良好な堆肥化が進行するときは揮散が抑制され^{12,13)}、一方、嫌気的条件下では低級脂肪酸が高濃度に発生するという報告などから⁶⁾、3区および4区における通気性の悪化が重ねて示唆された。

以上のことから、発酵促進剤としての生ゴミの添加効果が示された。しかしながら、堆肥化の条件である通気性の確保という面では不利であり、多量の生ゴミ添加は通気性の悪化を招き、発酵遅延・悪臭発生を引き起こすことから、生ゴミ添加量を牛ふんと同量以下にすることで臭気を抑えた堆肥生産が可能であった。

引用文献

- 1) 畜産環境整備機構：畜産環境アドバイザー養成研修会資料【堆肥化施設の設計・審査技術】
- 2) 羽賀清典(1998)：臭気を抑えた家畜ふん尿処理と堆肥化．臭気の研究第29巻3号，7-17
- 3) 本多正俊ら(1997)：家畜糞の堆肥化過程から発生する臭気について．臭気の研究第28巻5号，27-31
- 4) 完田昌美ら(1999)：堆肥発酵時の悪臭防止試験()．鳥取県中小家畜試験場報52号，37-42
- 5) 北脇秀俊・藤田賢二(1984)：低級脂肪酸による堆肥化過程の阻害に関する研究．衛生工学研究論文集第20巻，175-182
- 6) 黒田和孝(1996)：マニユア・マネージメント(DAIRYMAN臨時増刊号)．デーリィマン社，46-47
- 7) 中川尚治ら(2001)：バイオ式生ごみ処理機の臭気の性状と脱臭技術．臭気の研究第32巻4号，10-19
- 8) 栽培植物分析測定法(1980)：養賢堂，494-495
- 9) 堆肥化施設設計マニュアル(2000)：中央畜産会，15
- 10) 高橋通正・長谷川敦子(1996)：中型生ごみ処理機から発生する臭気物質について．第12回臭気学会講演要旨集
- 11) 高橋朋子ら(1999)：易分解性有機物による堆肥の品質評価．群馬畜試研報第6号 90-99

- 12)田中ら(1979):別枠研究「農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究」試験成績書第6集第6集.農林水産技術会議事務局,546-548
- 13)TANAKA, H., K. KURODA, T. OSADA, M. YONAGA, M. SUZUKI, M. INABA(1991):AerialVFA in Livestock Houses and Animal Waste Treatment Facilities. Anim. Sci. Technol. (Jpn)62(10), 955-962
- 14)谷口孝誠ら(1994):残飯のコンポスト化、とくにその性状に及ぼす添加副資材の影響.日本土壌肥料学会誌第65巻第1号,48-52
- 15)内田啓一・谷田重遠(2002):生ゴミと牛ふんの混合堆肥化システムの確立().岡山総畜セ研報13号,31-38

Achievement of high temperature fermentation and stench decrease in mixture compost making about cow excrement and raw garbage

Keiichi UCHIDA, Makoto SHIRAISHI, Nobuyuki WAKIMOTO,
Yoichi FURUKAWA and Kouken OKUDA

S u m m a r y

The influence that the difference of the amount of addition of the raw garbage in the mixture compost making about the cow excrement and the raw garbage exerted on the fermentation temperature and the density of generation stench was investigated.

1. The high temperature fermentation of 60 or more progressed when the mixture ratio of the raw garbage to the cow excrement was 25% or more. On the other hand, the peak of the fermentation temperature appeared late when the mixture ratio of the raw garbage was 75% or more, and the fermentation temperature changed dully. In addition, the stench generation of ammonia, the trimethylamine, and the methyl mercaptan, etc. was remarkably admitted when the mixture ratio of the raw garbage was 75% or more.

2. The raw garbage is high the calorie, and contains a lot of fortune-telling decomposition organisms. Therefore, it is possible to make the high temperature compost. However, ventilation deteriorates accompanying an increase of the amount of addition of the raw garbage, and anaerobic fermentation is caused.

The high temperature fermentation and the decrease of the generation stench become possible because it adjusts the mixture ratio of the raw garbage to 50% or less when making it to compost mixing the raw garbage from the above-mentioned with the cow excrement.

Key words: ADF, Ammonia, Cow excrement, Raw garbage, Compost, Trimethylamine