

家畜ふん堆肥の燃料化による環境負荷低減技術の研究

脇本亘¹⁾・須藤華織・大林康信²⁾・埜和靖俊・笠井勝美¹⁾

1) 茨城県農林水産部畜産課 2) 茨城県県央農林事務所

Study of the environmental load reduction technology by using livestock feces compost as fuel

Wataru WAKIMOTO, Kaori SUDOH, Yasunobu OBAYASHI, Yasutoshi HAGA and Katsumi KASAI

要 約

密閉縦型発酵処理施設で製造された水分含量の低い豚ふん堆肥（25%以下）を対象として、小型焼却炉を用いた燃料利用と燃焼灰の肥料利用による環境負荷低減効果について検討した。密閉縦型発酵処理施設で発酵処理された豚ふん堆肥は、木質資材と混合して燃焼させることで、重量ベースで90%以上の削減が可能であった。また、リン酸肥料としての燃焼灰は、過リン酸石灰に比べて若干肥効が劣るもののリン酸肥料として有用であった。以上のことから、豚ふん堆肥の燃焼利用は、養豚業が盛んな地域において環境負荷低減に有用な手法の一つである。

キーワード：豚ふん堆肥 小型焼却炉 排熱利用 リン酸肥料

緒 言

茨城県は、全国第3位の農業産出額のうち約4分の1を畜産物が占めており、畜産業は主要な産業の一つである。一方で、混住化が進み県民の生活環境に関心が高まる中で、環境負荷低減など環境に配慮した取り組みが求められている。しかしながら、畜産経営においては専門化や経営規模拡大が進んだことにより、家畜排せつ物を地域内のみで循環利用することが難しい現状である。

県内で発生する家畜排せつ物量は18,280トン/年間（窒素換算量）¹⁾あり、うち12,529トンは堆肥化し県内農地へ還元されるものの、約5,000トンは農業以外の用途に向けなければならない。

こうしたなか、農外利用のひとつとしてエネルギー源としての利活用が求められており、県内でも、鶏ふんボイラーを導入して燃料として利用する取り組みが報告されている。また、各地の試験研究機関で牛ふんや鶏ふんをバイオマスとして利活用する研究成果が報告されている。しかし、豚ふん堆肥を燃料利用する取り組み事例は数少ない。

そこで本研究では、県内の養豚農家にも数多く利用されている密閉縦型発酵処理施設で製造された水分含量の低い豚ふん堆肥を対象として、小型焼却炉を用いた燃料利用による減量化および燃焼灰の肥料利用による環境負荷低減効果について検討した。

材料および方法

1 副資材として配合する木質資材の選定

1) 使用機器及び供試資材

畜産センターに設置した無煙化小型焼却炉（トクB 800 サイクロン水冷；（有）關口鐵工所，飯田市）（図1）を使用し、茨城県畜産センター養豚研究所の密閉縦型発酵処理施設で製造した豚ふん堆肥（水分含量25%以下，以下豚ふん堆肥）を木質資材（オガクズまたは木材チップ）と混合して燃焼試験を実施した。

2) 試験期間および条件

2018年3月2日

堆肥4kgに対して、同体積となるようにオガクズは2kg，木材チップは1.48kg加え，それぞれ燃焼時間は180秒とした。

3) 調査項目

炉内温度

2 燃焼による家畜ふん堆肥の減量化と熱エネルギー回収利用に関する検討

1) 供試資材

豚ふん堆肥，オガクズ

2) 試験項目および実施期間

(1) 1日に燃焼可能な堆肥の量に関する検討

2018年2月26日（最大燃焼可能量の検討）

2019年2月19日（製品規格に基づく燃焼）

(2) 木質資材の混合割合に関する検討 (体積比)

2019 年 2 月 22 日 (8 割相当量を混合)

2019 年 2 月 25 日 (6 割相当量を混合)

2019 年 2 月 28 日 (4 割相当量を混合)

(3) 水分割合の異なる堆肥による再現試験

2020 年 3 月 2 日

(含水率が 12.5%の堆肥 8 割相当量を混合)

3) 調査項目

資材投入量 (豚ふん堆肥, 木質資材), 燃烧灰回収量, 温水タンク水温



図 1 無煙化小型焼却炉

3 リン酸代替肥料としての燃烧灰の有用性に関する検討

1) 供試資材および施肥量

畜産センター内のビニールハウスに 1/5000 a ワグネルポットを用意し, 茨城県農業総合センター園芸研究所で採取した黒ボク土を充填した。黒ボク土 2.5 kg に対し, 化成肥料又は燃烧灰を施肥設計²⁾に基づく量 (表 1) 混合しポットに充填後, コマツナ種子を播種した。

2) 試験期間

2019 年 11 月 18 日~2020 年 2 月 15 日

3) 試験条件

- ・慣行肥料区 (対照区)
- ・燃烧灰代替区① (リン酸施肥量 1.0 g)
- ・燃烧灰代替区② (リン酸施肥量 1.5 g)
- ・燃烧灰代替区③ (リン酸施肥量 2.0 g)

4) 栽培管理及び調査項目

各試験区とも 3 反復を準備した。1 ポット当たり 6 粒×3 点 (18 粒) を播種し, 播種後 2 週目に 9 本/ポットとなるよう間引きを行った。2 回目の間引きは, 3 本/ポットとなるよう行った。対照区の草丈が 20 cm を超えた時点で, 草丈の調査を行い, その後収穫して乾燥させ, 乾物重量を測定した。

表 1 ポット試験における施肥設計

	慣行肥料区 (PO ₄ : 1.0g)	代替区① (PO ₄ : 1.0g)	代替区② (PO ₄ : 1.5g)	代替区③ (PO ₄ : 2.0g)
硫安 (N: 21.0%)	2.86	2.86	2.86	2.86
過リン酸石灰 (PO ₄ : 17.5%)	5.71	0.00	0.00	0.00
燃烧灰 (PO ₄ : 20.5%)	0.00	4.88	7.32	9.77
塩化カリ (K: 60.0%)	1.00	1.00	1.00	1.00

結果と考察

1 副資材として配合する木質資材の選定

オガクズまたは木材チップを同体積の豚ふん堆肥と混合して燃烧させたところ, 炉内温度の上昇はオガクズの方が大きかったことから, 木質資材としてはオガクズが適していることが示唆された (図 2)。このことを踏まえ, 以後の試験では副資材としてオガクズを使用した。

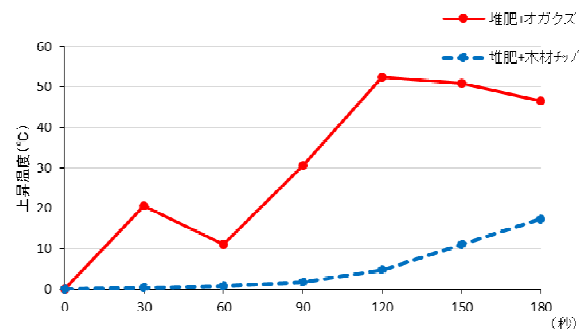


図 2 木質資材の種類と炉内温度上昇の関係

2 燃烧による家畜ふん堆肥の減量化と熱エネルギー回収利用に関する検討

(1) 1 日に燃烧可能な堆肥の量に関する検討

供試した堆肥の含水率, 焼却炉への投入量, 燃烧灰の回収量, 現物削減率を表 2 に示した。

表 2 小型焼却炉による豚ふん堆肥の燃烧可能量, 現物削減率と最高温度

	最大燃焼量	規格燃焼量
オガクズの混合割合 (堆肥との体積比)	10割	10割
堆肥の含水率	% 26.8	19.5
焼却炉への投入量		
堆肥	kg 480.0	297.0
堆肥+木質	kg 711.7	435.0
	(88kg/h)	(48kg/h)
焼却炉からの回収量		
燃烧灰	kg 39.7	28.6
現物削減率		
投入量ベース	% 94.4	93.4
堆肥ベース	% 91.7	90.2
最高水温	°C 100	54

今回使用した小型焼却炉では, 豚ふん堆肥に体

積比で同量のオガクズを混合することで8時間で480 kgの豚ふん堆肥を燃焼させることが可能であり、また燃焼による豚ふん堆肥の重量削減率は90%以上であった。さらに、燃焼によって得られる排熱により、60℃以上の温水を継続的に作ることが可能であった(図3)。

次に、焼却炉の製品規格に従って、1時間当たりの資材投入量を48 kgとし8時間燃焼させた結果、現物削減率は前述と同程度であったが、排熱利用で得られた水温は最大で54℃であった(図4)。畜舎暖房や洗浄水で一般的に使用される温度が60℃以上であることを考えると、本焼却炉では、投入資材量をもう少し増やして排熱温度を高める必要があることが示唆された。

しかしながら、1日で豚ふん堆肥を480 kg燃焼した試験では、本来は発生しないはずの排塵が煙突から大量に飛散した他、不完全燃焼をうかがわせる黒煙が多くみられたことから、排熱利用効果を高めるための資材投入量の調整は、周辺環境への影響を鑑みたくえで最小限に抑える必要があると考えられた。

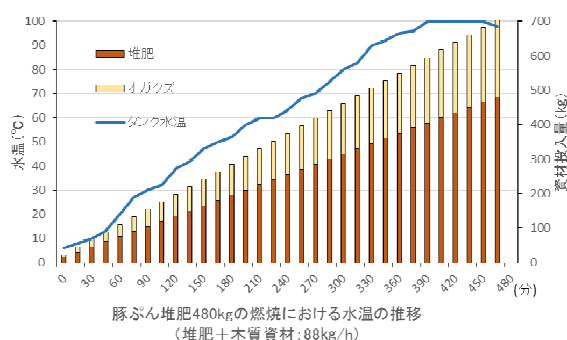


図3 タンク水温の推移(最大燃焼量)

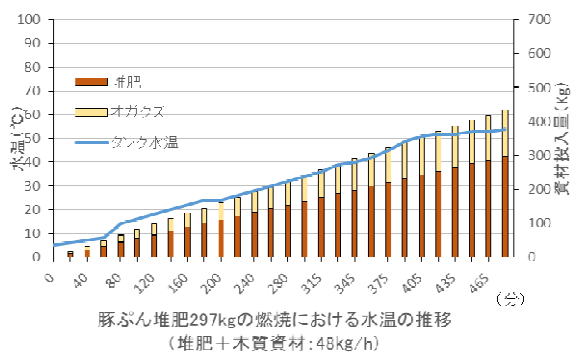


図4 タンク水温の推移(規格燃焼量)

オガクズの購入コスト低減を目的とし、燃焼時における豚ふん堆肥に対するオガクズの混合割合を検討するため試験を行った。なお、本試験では、最大燃焼量と規格燃焼量の中間をとり、かつ、本県平均規模(母豚60頭規模)の養豚農家から出される堆肥が、焼却炉の連続運転(24時間)によりすべて燃焼できるように、投入資材量(堆肥+オガクズ)を65 kg/hに設定した。

豚ふん堆肥に体積比で8割、6割、4割のオガクズを混合した結果について表3に示した。豚ふん堆肥の燃焼による重量削減率はオガクズの混合割合に関わらずすべて90%以上であった。また、8割、6割混合区では、燃焼によって得られる排熱を利用し、60℃以上の温水を継続的に作ることが可能であった(図5)。

一方で、オガクズの混合割合を4割まで低減したところ、水温40℃を目前とした6時間目以降は水温がほとんど上昇せず、炉内温度の上り幅も著しく小さくなった。7時間後には不完全燃焼による炉内温度低下と黒煙が見られたことから、限界であると判断して資材の投入を中止した(図5・図6)。

以上のことから、木質資材の混合割合を低減する場合、体積比で6割程度までにとどめる必要があることが示唆された。

(3) 水分割合の異なる堆肥による再現試験

半年間保管することで含水率を12.5%まで低下させた豚ふん堆肥を用いてオガクズの混合割合を8割とした条件で、再現試験を実施した。結果は、含水率22.3%で燃焼させた結果との間に差は見られなかった。

表3 木質を低減させ燃焼させた場合の現物削減率と最高温度

オガクズの混合割合 (堆肥との体積比)	木質低減 (再現実験)			
	8割	6割	4割	8割
堆肥の含水率 %	22.3	22.3	24.6	12.5
焼却炉への投入量				
堆肥 kg	380.2	408.0	457.5	384.0
堆肥+木質 kg	524.8	529.5	529.0	529.7
	(65kg/h)	(65kg/h)	(65kg/h)	(65kg/h)
焼却炉からの回収量				
燃焼灰 kg	40.6	36.9	42.1	45.3
現物削減率				
投入量ベース %	92.3	93.0	92.0	91.4
堆肥ベース %	89.3	91.0	90.4	88.2
最高水温 °C	83	69	40	78

(2) 木質資材の混合割合に関する検討

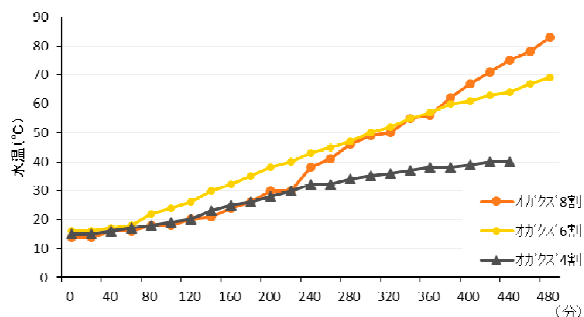


図 5 タンク水温の推移 (オガクズ低減)

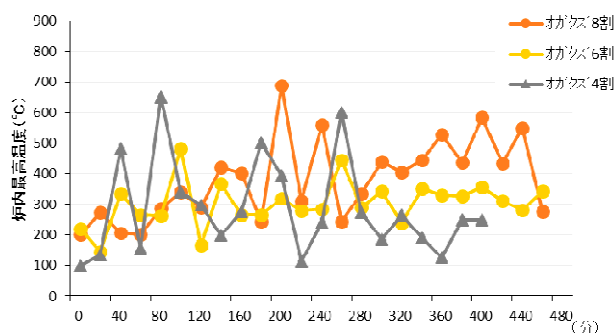


図 6 炉内温度の推移 (オガクズ低減)

3 リン酸代替肥料としての焼灰の有用性に関する検討

豚ふん堆肥焼灰のリン酸肥料としての効果を確認するため、堆肥とオガクズを同体積配合して焼させた 2018 年 2 月 26 日の焼灰を、単味のリン酸肥料(過リン酸石灰)と置き換えて、冬作コマツナのポット栽培試験を行った。収穫したコマツナの草丈と乾物重量の測定結果を図 7 に示した。

結果としては、リン酸施用量を慣行肥料区と同じ 1.0g とした試験区では、慣行肥料区と比べて乾物重量がやや減っている傾向にあったが、リン酸施用量を 1.5 g, 2.0 g に増やして代替した試験区では、慣行肥料区と同等の結果が得られた。先行研究において、ブロイラー鶏ふんや育成牛の牛ふんを焼焼することで得られるバイオマス焼灰に含まれるリン酸は可溶性リン酸が多く、過リン酸石灰区と比較して乾物重量が鶏糞で 125%, 牛糞で 140% となったという報告がある³⁾。今回使用した豚ふん堆肥の焼灰では、過リン酸石灰よりも若干肥効が落ちることから、牛ふん堆肥や鶏ふん堆肥の焼灰と比較して、植物が利用しにくい形態のリン酸を含んでいる可能性が示唆された。

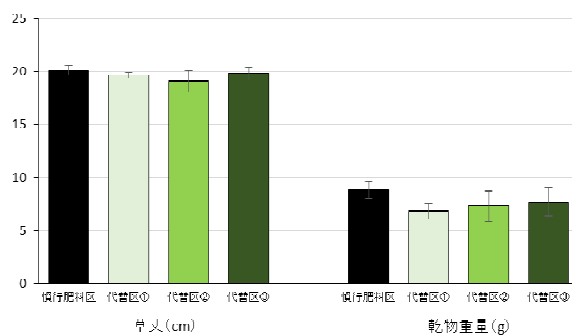


図 7 焼灰をリン酸肥料として栽培したコマツナの草丈および乾物重量

4 コスト試算

本試験で使用した焼却炉と、ヒーター式電気温水器^{※1}、大型ガス給湯器^{※2}の給湯コストを比較した。本焼却炉は設備価格が約 1,000 万円と高額ではあるが、副資材・燃料費は 1 日 1 m³あたり 625 円と、電気やガスを利用するより安価である。耐用年数も 15 年と、今回比較した大型ガス給湯器の 10 年と比較して長い。

本焼却炉は規模の小さな農家で簡易的な使用を推奨している製品であるものの、大規模農家や企業経営で使用する場合は、焼灰を肥料として販売することも可能である⁴⁾。また、セメント製造の原燃料として用いることが検討された例もある⁵⁾ことから、経営規模に合った焼却灰の利用については検討の余地がある。

※1 三菱電機, ヒーター式, 550L

※2 リンナイ, 大型ガス給湯器, 従量料金 300 円とした場合

結論

本試験の結果から、密閉縦型発酵処理施設で発酵処理された豚ふん堆肥は、オガクズと混合することで、小型焼却炉で焼させることができることが分かった。焼灰により、重量ベースで 90% 以上の削減が可能であることが分かった。その際の堆肥に対するオガクズの混合比は、体積比で 10 : 6 以上が望ましいと言える。また、その比率で畜舎洗浄等に利用できる 60°C の温水が得られ、オガクズの混合割合が多い方が水温が高かった。得られた焼灰はリン酸源として肥料利用が可能であることが分かった。

以上のことから、豚ふん堆肥の燃焼利用は、周辺環境への配慮は必要であるが、養豚業が盛んな地域において、圃場に還元される余剰窒素量の低減が可能であり、環境負荷低減に有用な手法の一つであるといえる。

参考文献

- 1) 茨城県家畜排せつ物利用促進計画, 2016, 茨城県
- 2) 小田部裕・藤田裕・上田稔宏・折本善之, 2004, クエン酸可溶性含量を指標とした家畜ふん堆肥中リン酸およびカリウムの肥効評価—コマツナのポット栽培による検討—, 日本土壤肥料科学雑誌第 85 巻第 5 号 : 461-465
- 3) 小林透・田中章浩, 2015, バイオマス燃料灰のリン酸の形態とコマツナに対する肥効, 日本作物学会紀事第 84 号 : 309-314
- 4) 上田浩三, 2015, 豚ふん堆肥を原料としたリン回収技術, 畜産技術 720 号 : 17-20, 公益社団法人畜産技術協会, 東京
- 5) 千葉行雄・宍戸貢・菅原隆志・斉藤博之, 1986, 鶏糞焼却灰の利用, 東北農業研究第 39 : 139-140
- 6) 小宮山鉄兵, 2015, リンを中心とした肥料成分の科学形態に基づいた家畜排泄物の有効利用に関する研究, 日本土壤肥料科学雑誌第 86 巻 : 364-366
- 7) 日置雅之・榊原幹男, 2013, 牛ふん堆肥燃焼灰の肥料効果, 愛知県農業総合試験場研究報告第 45 号 : 135-141
- 8) 薬師堂謙一, 2007, 家畜排せつ物の燃焼エネルギー利用の現状と課題, 畜産環境情報第 36 号 : 3-6, 畜産環境整備機構