

家畜ふん尿の乾燥及び燃料化技術の開発

環境エネルギー科 岡本哲志 宮原鐘一*
静岡県畜産技術研究所 佐藤克昭

Development of a fuel-conversion drying technology for livestock manure

OKAMOTO Tetsuji, MIYAHARA Shoichi and SATO Katsuaki

About 87 million tons of livestock manure are discharged annually, which is equivalent to about 27% of the organic waste generated in Japan, and much of it is returned to compost and other organic matter. However, compost production exceeds demand in some livestock concentration zones, causing environmental pollution and compost retention due to excess supply. Therefore, in this study, the authors developed a fuel-conversion drying technology for dairy cow manure, which has the highest water content in livestock manure. The Shizuoka Prefectural Research Institute of Animal Industry, which is a joint research organization, prototyped a dried dairy cow dung fuel using a variety of drying technologies, including pre-treatment technologies. To fulfill the share of work assigned to our laboratory, we evaluated the following: 1) the effect of removing nitrogen and sulfur from dairy cow manure by pre-treatment; and 2) the discharge characteristics of nitrogen oxides and sulfur oxides when pelletized dried dairy cow dung was burned in a biomass boiler. The results of our evaluation were as follows.

1) The quality standard of nitrogen and sulfur (wood chips for fuel [Class 4]) was met by combining solid-liquid separation and drying for dairy cow manure.

2) If dried dairy cow dung can be completely burned, the nitrogen oxides and sulfur oxides present in the exhaust gas can be reduced to below the regulated value.

Keywords : livestock manure, drying, combustion, nitrogen oxide, sulfur oxide

家畜ふん尿は国内で発生する有機性廃棄物のおよそ27%に相当する年間約8,700万トンが排出されており、その多くは堆肥等に還元されている。しかし、堆肥の生産は一部の畜産集中地帯で需要を超え、過剰供給による環境汚染や堆肥の滞留を引き起こしている。そこで本研究では、家畜ふんの中で最も含水率の高い乳牛ふんを対象に、乾燥させて燃料化する技術を開発した。共同研究機関の静岡県畜産技術研究所が前処理技術を含む各種乾燥技術により乾燥乳牛ふん燃料を試作した。当研究所の分担として、1) 前処理による乳牛ふん中の窒素及び硫黄の除去効果と、2) ペレット化した乾燥乳牛ふんをバイオマスボイラーで燃焼させた時の窒素酸化物及び硫黄酸化物の排出特性を評価し、以下のことがわかった。

1) 乳牛ふん尿に対し、固液分離と乾燥を組み合わせることで窒素及び硫黄の品質基準（燃料用木質チップClass4）をクリアした。

2) 乾燥乳牛ふんを完全燃焼させることができれば、排ガス中の窒素酸化物及び硫黄酸化物を規制値以下にすることが可能であった。

キーワード：家畜ふん尿、乾燥、燃焼、窒素酸化物、硫黄酸化物

*現 浜松工業技術支援センター 研究統括官

1 はじめに

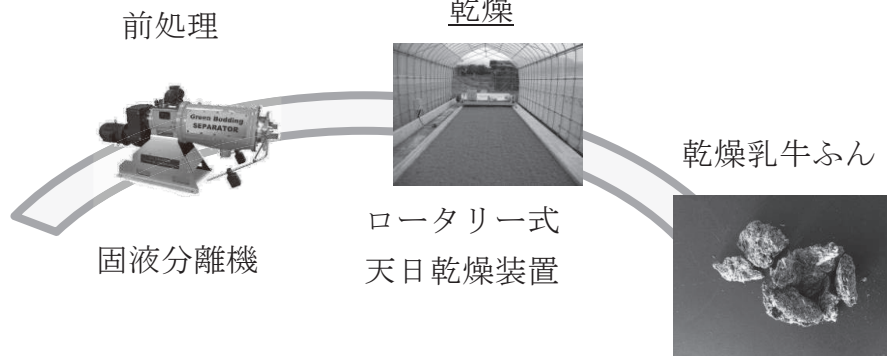
家畜ふん尿は国内で発生する有機性廃棄物のおよそ27%に相当する年間約8,700万トンが排出されており、その多くは堆肥等に還元されている。しかし、堆肥の生産は一部の畜産集中地帯で需要を超え、過剰供給による環境汚染や堆肥の滞留を引き起こしている。一例として県内の朝霧地区では、乳牛・肉牛合わせて6,500頭が飼育されているが、乳牛100頭規模で年間1,000万円の処理・流通経費が掛かっている。

家畜ふん尿は高含水率であることから、そのエネルギー利用技術は、湿式メタン発酵が最も一般的であるが、太陽熱等の自然エネルギーを利用した乾燥を行えば、焼却によるエネルギー回収も可能である。そこ

で本研究では、家畜ふんの中で最も含水率の高い乳牛ふんを対象に、乾燥させて燃料化する技術を検討した。図1に研究で検討したシステムの全体像を示した。最初に、畜産農家側で乳牛ふんを乾燥させる。本研究では、条件検討した前処理や開発した天日乾燥装置により、乾燥乳牛ふんとした。次に、乾燥乳牛ふんを燃料として流通させるため、ペレット状に成型加工し、ガス化発電システムやバイオマスボイラーの燃料としてエネルギー実需者に供給する。

本研究における技術的課題と解決策について表1にまとめた。最初に、乾燥においては、含水率の高い乳牛ふんをエネルギー利用可能な含水率（30%以下）まで下げる必要があり、乾燥過程で微生物による

1. 乾燥



2. 燃料化

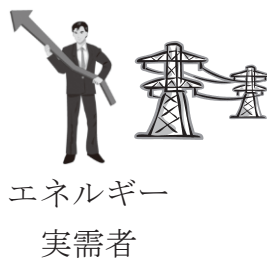


図1 本研究で開発した技術によるシステムの全体像

表1 本研究の技術的課題と解決策

1 乾燥		2 燃料化	
技術的課題	解決策	技術的課題	解決策
含水率が高い（乳牛ふん85%）	乾燥促進剤の添加及び太陽熱温水パネルの加熱により、エネルギー利用可能な含水率（30%以下）まで短期間で下げる。	木質バイオマスより低い発熱量 窒素・硫黄が多く、排ガス中の窒素酸化物・硫黄酸化物が増える可能性	前処理（固液分離及び加水・圧搾）により窒素及び硫黄を除去し、熱量アップと燃焼時の排ガス低減を図る。
乾燥過程で微生物による分解（堆肥化）が進む恐れ			

分解が進むと、乳牛ふんの持つ熱量が失われるため、短期間で乾燥を完了する必要がある。これらの解決策として、乾燥促進剤の添加や太陽熱温水パネルによる加熱を利用した。次に、燃料化においては、乳牛ふんの持つ熱量は木質バイオマスよりも低く、熱量アップが必要であった。また、木質バイオマスと比べると、乳牛ふんには窒素・硫黄分が多く、燃焼させた場合、排ガス中の窒素酸化物、硫黄酸化物が増える可能性があった。これらの解決策として、固液分離及び加水・圧搾等の前処理で窒素及び硫黄を除去した。

本稿では、当研究所が実施した、1) 前処理による乳牛ふん中の窒素及び硫黄の除去効果と、2) 乾燥乳牛ふんをバイオマスボイラーで燃焼させた時の窒素酸化物・硫黄酸化物の排出特性の評価について、以下に報告する。

2 方法

2.1 前処理による乳牛ふん中の窒素及び硫黄の除去効果

静岡県畜産技術研究所（以下、畜技研）で発生する乳牛ふん尿に対し、3種類の前処理（①圧搾による固液分離のみ、②固液分離後、加水せず再度圧搾、③固液分離後、加水し再度圧搾）を行い、105℃で2時間乾燥させることで、乾燥乳牛ふんを調製した。次に、各前処理条件の乾燥乳牛ふんについて、窒素及び硫黄を定量・比較した。

乾燥乳牛ふん中の窒素の定量には、有機微量元素分析装置 2400（株）パーキンエルマー・ジャパン製を用いた。また、乾燥乳牛ふん中の硫黄の定量には、燃焼イオンクロマトグラフ分析を用いた。具体的には、酸素フラスコ燃焼法¹⁾により試料中の硫黄を硫酸イオンとして水溶液に回収し、回収液中の硫酸イオンをイオンクロマトグラフ Integriion（サーモフィッシャーサイエントフィック（株）製）で定量した。イオンクロマトグラフ分析の測定条件は表2のとおりであった。

2.2 乾燥乳牛ふんの燃焼特性（窒素酸化物・硫黄酸化物の排出特性）の評価

畜技研の乳牛ふん尿に対し、2.1と同様に前処理を行い、天日乾燥装置（図1）により含水率が30%以下になるまで乾燥させた。次に、この乾燥乳牛ふんに対し、県内企業が保有するバイオマスボイラー（図1）を用い、空気比をパラメータとして燃焼試験を行い、排気ガス中の窒素酸化物及び硫黄酸化物を測定した。

表2 イオンクロマトグラフ分析条件

項目	内容
カラム	Dionex IonPac AS12A（分離カラム） Dionex IonPac AG12A（ガードカラム）
カラム温度	30℃
溶離液	2.7mM Na ₂ CO ₃ + 0.3mM NaHCO ₃
流量	1.5mL/min
検出器	電気伝導度（サブレッサー使用）
試料注入量	10 μL

排気ガス中の窒素酸化物及び硫黄酸化物を測定については関連する日本産業規格^{2,3)}を参考にした。具体的には、図2のような試料ガス採取装置を用い、ダクト内の排ガスを定量ポンプで毎分2Lの速度で吸引することで、ガス吸収瓶2本に吸収させた。次に、吸収瓶内の水溶液中の亜硝酸イオン、硝酸イオン、及び硫酸イオンをイオンクロマトグラフでそれぞれ定量した。亜硝酸イオン及び硝酸イオンの濃度から窒素酸化物、硫酸イオン濃度から硫黄酸化物の各濃度を算出した。

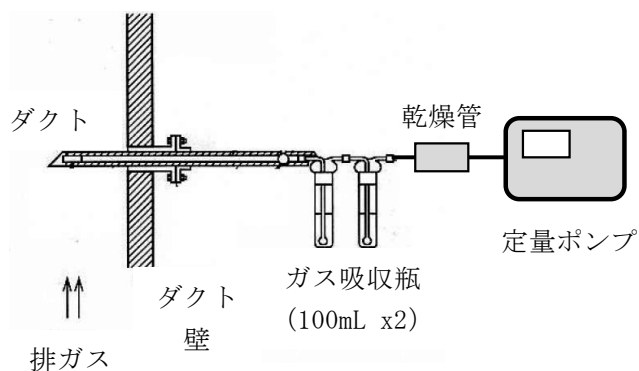


図2 試料ガス採取装置

3 結果および考察

3.1 乳牛ふんの乾燥における前処理条件の検討

乾燥乳牛ふんに含まれる窒素及び硫黄含有量と前処理条件の関係を表3に示した。前処理無しでは乾燥乳牛ふん中の窒素が2.20[wt%]、硫黄が0.30[wt%]だったが、固液分離のみの前処理により窒素は0.81[wt%]、硫黄は0.10[wt%]に減少した。一方、固液分離後、乳牛ふんに対し等量の水を加え再度圧搾することで、窒素の含有量は0.62[wt%]まで減少したが、硫黄は減少しなかった。燃料用木質チップの品質

規格⁴⁾によれば、最も規格の低いClass4で窒素1.0[wt%]以下、硫黄0.10[wt%]以下と定められており、乳牛ふんは固液分離と乾燥の組み合わせで窒素及び硫黄の品質基準をクリアできた。

表3 固液分離及び加水・圧搾による窒素・硫黄の変化

前処理条件	窒素 [wt%]	硫黄 [wt%]
固液分離前 (生ふん尿)	2.20	0.30
固液分離のみ	0.81	0.10
固液分離後加水せず 圧搾	0.72	0.11
固液分離後 加水(等量)して圧搾	0.62	0.11
固液分離後 加水(4倍量)して圧搾	0.71	0.10

3.2 乾燥乳牛ふんの燃焼特性の評価

次に、前処理は固液分離のみでパイロットスケールで生産した乾燥乳牛ふんに対し、空気比をパラメータとしてバイオマスボイラー(炉内容積:2.3[m³]、電熱面積:18[m²]、空気比:4.4~22.2[m³/kg])で燃焼した時の、排ガス中の窒素酸化物及び硫黄酸化物の変化を図3に示した。検討した空気比は完全燃焼の状態であり、本図より、乾燥乳牛ふんを完全燃焼させれば、排ガス中の窒素酸化物及び硫黄酸化物を規制値以下にすることが可能であることがわかった。

4 まとめ

本研究では、家畜ふんの中で最も含水率の高い乳牛ふんを対象に、乾燥・燃料化する技術を静岡県畜

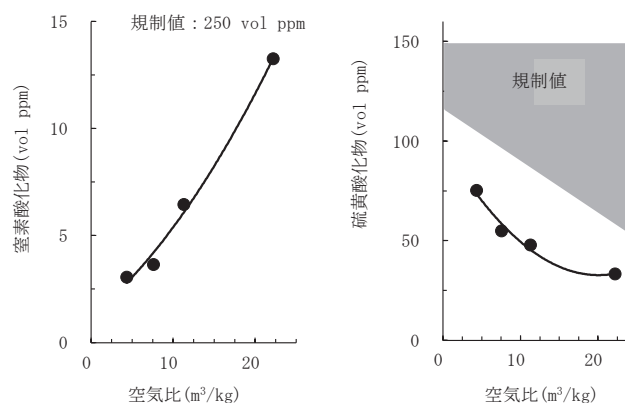


図3 空気比の調整による排ガス(窒素酸化物・硫黄酸化物)の変化

産技術研究所と開発した。当研究所の分担として、(1)前処理による乳牛ふん中の窒素及び硫黄の除去効果と、(2)ペレット化した乾燥乳牛ふんをバイオマスボイラーで燃焼させた時の窒素酸化物及び硫黄酸化物の排出特性を評価し、以下のことがわかった。

(1) 前処理による乳牛ふん中の窒素及び硫黄の除去効果

乳牛ふん尿に対し、固液分離と乾燥を組み合わせることで窒素及び硫黄の品質基準(燃料用木質チップClass4)をクリアした。

(2) ペレット化した乾燥乳牛ふんをバイオマスボイラーで燃焼させた時の窒素酸化物・硫黄酸化物の排出特性 乾燥乳牛ふんを完全燃焼させれば、排ガス中の窒素酸化物及び硫黄酸化物を規制値以下にすることが可能であった。

参考文献

- 1) 厚生労働省: 第十七改正日本薬局方. 一般試験法 1.06 (酸素フラスコ燃焼法), (2016).
- 2) 経済産業省: 日本産業規格 JIS K0103 (排ガス中の硫黄酸化物分析方法). (2011).
- 3) 経済産業省: 日本産業規格 JIS K0104 (排ガス中の窒素酸化物分析方法). (2011).
- 4) 木質バイオマスエネルギー利用推進協議会: 燃料用木質チップの品質規格. (2014).