

2段式堆肥乾燥施設の導入による戻し堆肥の敷料利用システム

農林水産省 草地試験場 飼料生産利用部
上席研究官 加茂 幹男

1. はじめに

わが国の酪農は、これまで、通年サイレージ方式の定着、飼養管理技術の向上、泌乳能力の向上などにより安定的に発展し、規模拡大が図られてきた。一方、家畜の生産とともに排泄されるふん尿は、有効な有機物資源として活用され、土―草―家畜による資源循環を基本とする良質自給飼料の生産と健全な乳生産に大きく貢献してきた。

しかしながら、近年は、規模の拡大と専門化が一層進み、家畜排泄物の集中化と偏在化が顕著となり、これらに起因する悪臭や水質汚染などの環境問題が大きな社会問題になっている。これらの問題の多くは、家畜排泄物の適切な処理や循環利用が行われないことが大きな原因とされている。

家畜排泄物が適切に処理されなくなった大きな原因は、先ず、規模拡大とともに処理しなければならないふん尿量が急激に増加し、圃場面積とのバランスが保てなくなったことである。土―草―家畜による資源循環が成立するためには、ふん尿量の増加に対応して飼料の生産基盤や処理施設が適正に整備されることが重要で、十分に対応できていないのが現状である。また、労働従事者の高齢化や担い手不足などで労働力が不足し、適切な処理や利用が行われ難い状況も原因になっている。さらには、規模の拡大とともに飼養管理方式が繋ぎ飼い方式から放し飼い方式（フリーストール方式）への移行、あるいは、十分な敷料を使用しない牛の飼養などによりふん尿の質が固形から液状へと変化し、適正な処理を難しくしている。

このような状況の中で、平成11年に家畜ふん尿の適正な管理と有効利用を進める家畜排泄物管理・利用促進法、たい肥の成分表示を制度化した改正肥料法、そして持続型農業を目指す持続型農業促進法の環境三法が公布され、家畜排泄物の適正な管理と有効利用による持続的な農業生産方式の確立が今日的な課題になっている。

このような情勢に対応して、わが国の酪農におけるふん尿処理の実態を調査して問題点を明らかにするとともに、堆肥を乾燥処理して敷料素材として再利用するための研究を実施し、2段式堆肥乾燥施設を開発したので、それぞれについて紹介する。

2. 敷料の使用状況

平成9年から平成10年度に実施したふん尿処理実態調査における調査数は819件で、その内、繋ぎ飼い方式が679件、放し飼い方式が130件、不明が10件であった。

1) 敷料の種類

敷料は、牛を清潔に管理するだけでなく、牛床に適度な柔らかさと弾力性を与えて快適な居住空間を牛に提供している。また、牛から排泄されるふん尿の水分を低下させて物性を改善し、ふん尿を適正に堆肥化処理するための重要な役割を果たしている。繋ぎ飼い方式の牛舎で使用されている敷料は、オガクズが最も多く、次いで、もみ殻、わら類、カンナクズなどとなっており、戻し堆肥を利用している事例もある。一方、敷料を全く使用していない事例が20%程度を示しており、ふん尿を適正に処理し難い状況にある結果が示されている。

放し飼い方式の牛舎で利用されている敷料は、繋ぎ飼い方式と同様にオガクズが最も多く、次いでみ殻、戻し堆肥、カンナクズ、砂となっており、繋ぎ飼い方式と異なり、戻し堆肥を敷料として再利用している割合が多い。敷料を全く使用していない事例は、わずか5%程度で、敷料の使用を基本とする飼養管理が行われている。

2) 敷料の使用量

敷料を利用する主目的は牛を清潔に管理することであり、できるだけ新鮮で清潔な敷料を豊富に利用することが重要である。しかし、オガクズの販売価格が比較的高価なこと、あるいは、安定して入手することが困難なことから、必ずしも十分な敷料が使用されていない。オガクズの1月当たりの平均使用量は、牛1頭当たりで繋ぎ飼い方式が0.4m³、放し飼い方式が0.76m³で、放し飼い方式は繋ぎ飼い方式の2倍程度の使用量を示している。

放し飼い方式は、牛は好きなときに好きな場所で自由に休息することが許されており、牛にとってはストレスが少ない飼養管理方式と言われている。しかし、ストール(牛床)の構造や寸法が適切でない場合には、ストールがふん尿で汚染され、牛体が汚れて乳房炎が発症したり、搾乳能率が低下したりするなどの問題が生じる。このために、敷料を豊富に使用し、ふん尿で汚染された敷料を取り除くなどの適切な牛床管理を行う必要がある。

3) 敷料の交換方法

繋ぎ飼い方式では、一輪車を用いて人力で敷料をストールに投入している事例が最も多く、頭数規模が多くなると、敷料を投入する作業も多労な作業になる。放し飼い方式では、多くの酪農家がローダ類を用いて省力的に敷料をストールに投入している。近年は、麦わらのロールベールを解体しながらストールに投入したり、オガクズをストールに投入する作業機を海外から導入している事例、戻し堆肥の自動的にストールへに投入する装置を導入している事例などが見られる。

3. ふん尿の処理方法

牛舎から搬出されたふん尿の処理状況を生ふん、スラリー、固液分離、切り返し堆肥、攪拌堆肥及び乾燥に分類すると、生ふん処理が最も多く、次いで、切り返し堆肥化処理、スラリー処理、固液分離処理、攪拌堆肥化処理、乾燥処理となっている。これらのうち、生ふん処理、切り返し堆肥化処理、攪拌堆肥化処理の実態について紹介する。

1) 生ふん処理

生ふん処理は、牛舎から搬出されたふん尿を生のまま直接圃場に散布したりする処理方式である。飼養方式別に比較すると、繋ぎ飼い方式が57%、放し飼い方式が38%となっており、生ふん処理を実施している事例は、繋ぎ飼い方式において多い。

繋ぎ飼い方式での処理内容は、直接圃場に散布している事例が61%、野積みを行っている事例が50%、廃棄が0.5%、その他が4.7%を示している。すなわち、生ふん処理を行っている酪農家の5割程度が野積みを行っている(図1)。

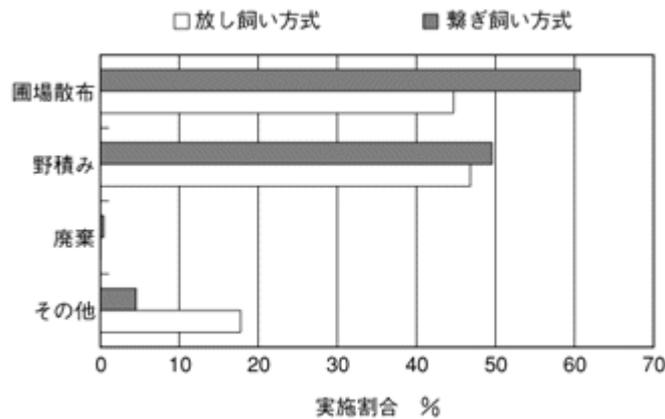


図1 生ふんの処理別実施割合

放し飼い方式での処理内容は、直接圃場に散布している事例が45%、野積みを行っている事例が47%、その他が18%を示している。廃棄処理を行っているとの回答は無かったが、その他が増加しており、野積みを行っている酪農家が5割程度見られる。

2) 繰り返し堆肥化処理

牛舎から排出されるふん尿を、水分調整資材を用いたり、太陽熱を利用して水分調整し、ローダ類で積み換えして繰り返しを行い堆肥化する処理方式である。飼養管理方式別に比較すると、繋ぎ飼い方式が45%、放し飼い方式が52%となっている。

繋ぎ飼い方式の水分調整は、水分調整資材を用いるが53%、野積みが38%、太陽熱利用が11%を示しており、水分調整を行わない事例が24%もある。一方、放し飼い方式では、水分調整資材を用いるが47%、野積みが24%、太陽熱利用が10%を示しており、水分調整を行わない事例は31%になっている(図2)。

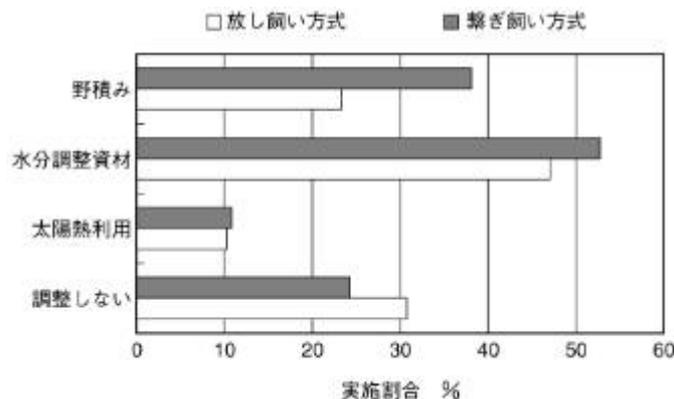


図2 繰り返し発酵堆肥における水分調整方法

このように、堆肥原料の繰り返しによる堆肥化処理では、野積みによる水分調整が簡便な方法として行われている事例が多い。

ふん尿の水分調整には、オガクズ、もみ殻、わら類、戻し堆肥などの資材が用いられている。飼養方式別に比較すると、繋ぎ飼い方式では、オガクズ利用が50%程度と最も多く、次いで、もみ殻が40%程度、わら類や戻し堆肥が10%程度になっている。放し飼い方式では、オガクズ利用が70%と最も多く、次いで、戻し堆肥が40%程度、もみ殻が30%程度を示しており、戻し堆肥が多くの酪農家で利用されている。

3) 攪拌発酵堆肥化処理

牛舎から排出されるふん尿を、水分調整資材を用いたり、あるいは、太陽熱を利用して水分調整し、ロータリー式やスクープ式の装置で攪拌混合して切り返しを行い堆肥化する処理方式である。飼養方式別に比較すると、繋ぎ飼い方式が10%、放し飼い方式が27%となっており、放し飼い方式の実施割合が多い。

繋ぎ飼い方式の水分調整方法は、水分調整資材を用いるが81%、太陽熱利用が30%を示しており、水分調整を行わない事例は14%である。一方、放し飼い方式では、水分調整資材を用いるが67%、太陽熱利用が20%を示しており、水分調整を行わない事例は23%になっている。このように、攪拌混合による堆肥化処理では、太陽熱利用による水分調整の実施割合が多く、野積みによる水分調整は全く行われていない結果が示されている(図3)。

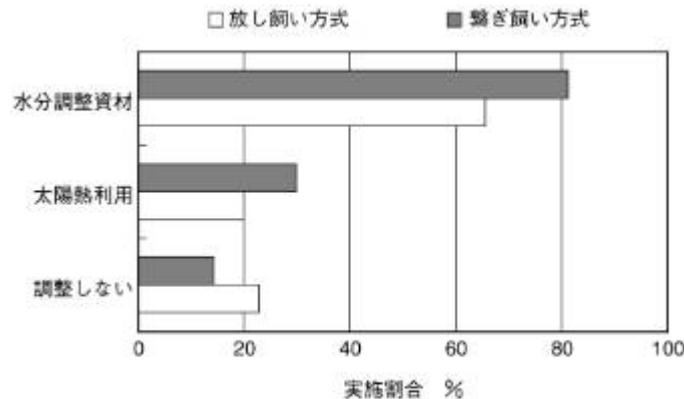


図3 攪拌発酵堆肥における水分調整方法

ふん尿の水分調整には、オガクズ、もみ殻、戻し堆肥などの資材が用いられている。繋ぎ飼い方式では、オガクズ利用が60%程度と最も多く、次いで、もみ殻が30%程度、戻し堆肥が20%程度となっており、わら類の利用例が無く、戻し堆肥の利用が増加している。放し飼い方式では、オガクズ利用が50%程度と最も多く、次いで、戻し堆肥が40%程度、もみ殻が30%を示しており、切り返し堆肥化処理と同様に戻し堆肥の利用が多い。

4. 堆肥を敷料素材として再利用する場合の問題点

ふん尿処理の利用実態調査によると、堆肥は、圃場に還元し、有機質資源として有効に利用しているだけではなく、敷料素材や水分調整資材として再利用されている事例が多く見られる。このような堆肥の再利用は、家畜の飼養頭数と農地面積とのバランスが適正に保たれていない経営に有効な利用技術の1つである。すなわち、敷料の利用経費が軽減されるだけでなく、堆肥の圃場へ還元量の軽減が期待できる。

家畜ふん尿中に含まれる病原性細菌類は、堆肥化過程において発生する熱によって効果的に死滅される。しかし、水分60%以上の堆肥を敷料として利用する場合には、乳房炎原因菌が増殖して乳房炎を発症する可能性が大きい。また、堆肥の水分が高いため牛体が汚れ乳房洗浄に手間がかかる、敷料が固化して牛床管理に多労になるなどの問題がある。

したがって、堆肥を敷料として再利用するには、[1]牛床の構造や寸法を適切にする、[2]適正なストール管理を行うことなどに加えて、[3]堆肥を安全な水分まで乾燥させてことが重要な課題になる。

高水分の堆肥を乾燥させる方法には、化石エネルギーや太陽熱などを利用する方法がある。太陽熱を利用する方法は、化石エネルギーを利用する方法に比べて維持費が安いことから、水分40%程度まで太陽熱を利用して効果的に堆肥を乾燥させる方法について検討した。

5. 堆肥の乾燥促進

一般に市販されているハウス乾燥施設の乾燥能力は1日1m²当たりの水分蒸発量で示される。一般的には年間1～5kg/m²・日程度の乾燥能力があるとされており、その平均値の3kg/m²・日で乾燥施設の設計が行われている。しかしながら、冬期における乾燥能力は1.5～2kg/m²・日程度で、処理能力がかなり低下する。また、春期から秋期においても日々の天候条件によって乾燥能力が大きく左右されるため、年間を通じて安定した能力が必ずしも得られない。

したがって、堆肥をハウス乾燥施設で乾燥し敷料として再利用するには、[1]できるだけ季節や天候に左右されないこと、[2]乾燥能力の低い条件での処理能力を改善できる乾燥促進技術であることが重要となる。このような視点から、ハウス乾燥施設の乾燥通路面に上方から送風を行い、安定した空気の流れを作出して乾燥を促進する方法を試みた。

表1は、水分60%程度の堆肥を用いて、乾燥通路床面に対して送風機の傾斜角度を変えて水分蒸発量を測定した結果を示している。送風によるふん尿の水分蒸発量は0.36～0.47kg/m²・hrであり、送風しない場合の6～8倍程度の乾燥能力を示している。また、傾斜角度45度の乾燥能力は30度に比べて明らかに大きい。

表1 送風による堆肥乾燥促進効果(1997)

送風角度 (度)	表面近 の風速 (m/s)	乾燥 時間 (h)	乾燥中の平均			堆肥含水率(%)			水分蒸 発量 (kg/m ² h)	
			気温 (°C)	湿度 (%)	飽差 (mb)	乾燥前	乾燥後			
							0-5cm	5-10cm		
送風区	30	5.5	6.2	14.4	59.6	6.64	61.9	56.4	—	0.370
		5.5	6.7	15.3	71.8	5.11	62.6	55.0	60.9	0.363
		6.0	7.5	15.9	65.9	6.34	61.6	47.3	58.8	0.388
	45	6.1	8.2	12.4	50.2	7.51	62.5	43.2	60.9	0.465
		5.6	9.0	15.6	61.7	7.11	61.4	42.0	60.4	0.415
		5.8	8.3	13.5	45.0	8.75	62.3	43.4	61.3	0.389
送風無	—	24.0	28.4	77.4	11.80	59.4	—	—	0.054	

これらの結果をもとに、実用規模のハウス乾燥施設に送風機を45度の角度で設置し、自然流下式ふん尿の乾燥試験を行い、有効性を調査した。試験時期は11月下旬から12月下旬で、初期水分は90%程度であった。40日後における仕上がり水分は、無送風区が64%、送風区が50%を示している(図4)。

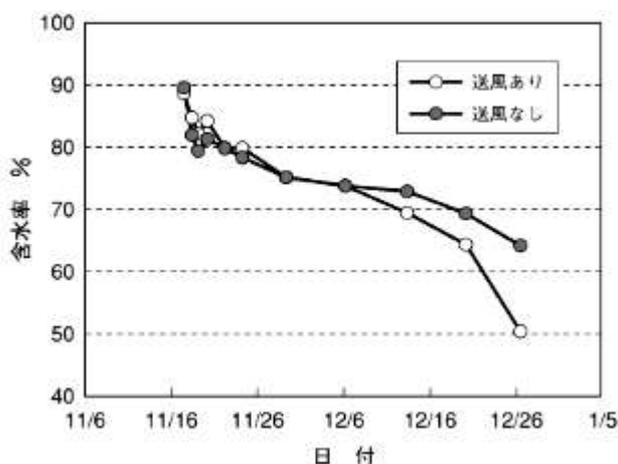


図4 乾燥施設における乾燥時のふん尿水分の変化

また、水分70～75%以上においては、両区の差が無く、水分70～75%以下の条件において乾燥が促進されている。これらの結果は、水分70%程度の材料を用いると、ハウス乾燥施設の乾燥能力が送風によって改善され、季節や天候による影響が緩和できる可能性が示している。

したがって、安価な太陽エネルギーを利用して堆肥を効果的に乾燥するには、水分70%程度の堆肥を安定して製造することが極めて重要である。

6. 2段式堆肥乾燥施設の考え方

草地試験場では、家畜ふん尿を省力的に堆肥化する堆肥クレーンによる堆肥化システムを開発するとともに、これと連動して病原性菌類の増殖を抑制できる安全な水分領域まで堆肥を乾燥し、敷料として再利用する2段式堆肥乾燥施設システムを開発した。

1) 堆肥クレーンによる堆肥化システム

新たに開発したレール走行型堆肥クレーン装置は(写真1)、酪農の現場において、酪農家、機械メーカ、普及指導機関、試験研究機関などが協力して開発した懸垂型堆肥クレーンを基本に開発した装置で、フリーストール牛舎からショベルローダで搬出されるふん尿の切り返しを自動的に行って堆肥化する。堆肥クレーンは、[1]発酵槽壁のレール上を走行する本体、[2]堆肥を掴むためのグラブ、[3]グラブの下降や昇降と開閉を行う油圧装置などから構成される。基本となった懸垂型堆肥クレーンでは、パンタグラフでグラブの水平を保持し、ホイストでグラブの下降と昇降を行っているが、本装置では、左右2本の油圧シリンダでグラブの下降と昇降を行い、傾斜センサでグラブの傾きを検知して水平を維持する。



写真1 堆肥クレーンによる切り返し作業

草地試験場の総合実験牛舎に設置されている自動堆肥化施設は、地下ピット、ふん尿の定量搬送装置、ふん尿分配装置、1週目貯留槽、4つの発酵エリアから構成される開放型堆肥発酵槽及びレール走行型堆肥クレーンから構成されている(図5)。

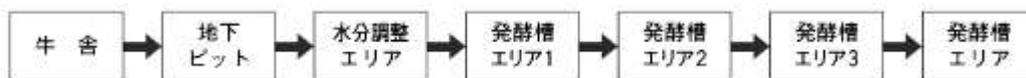


図5 自動堆肥化施設における処理の概要

地下ピットに集められた家畜ふん尿は、[1]ふん尿分配装置により1週目貯留槽に投入され、[2]7日後に、堆肥クレーンで2週目貯留槽に積み換えられ切り返しが行われ、[3]その後、堆肥クレーンが7日毎に積み換えと切り返し操作を繰り返して各発酵エリアを移動させ、5週間後に良質の堆肥を製造される。できあがった堆肥の一部は圃場に施用して利用し、一部を敷料素材として再利用するために2段式堆肥乾燥施設の上段に堆肥クレーンで搬入して乾燥処理する。

2) 2段式堆肥乾燥施設

2段式堆肥乾燥施設は、家畜排泄物プロジェクトで行われている「家畜排泄物の敷き料等再利用技術の開発」のなかで開発した施設である。この施設は、[1]堆肥クレーンを用いて材料の投入や製品の搬出を行うこと、[2]施設の設置面積を1/2にすること、[3]乾燥能力を改善することなどのコンセプトをもとに設計・開発した(写真2)。



写真2 2段式堆肥乾燥施設への材料投入

2段式堆肥乾燥施設の全乾燥面積は255m²で、乾燥通路長は下段が17m、上段が17mで、乾燥通路幅は堆肥クレーンが進入できる7.5mである。攪拌混合装置は各段に設置されている。

堆肥クレーンで上段に投入された材料は、攪拌・混合にともない順次移動して通路末端で下段乾燥通路に落下し、更に、順次移動しながら材料の投入側に戻ってくる。上段乾燥通路では、太陽エネルギーと強制換気で材料を乾燥するが、下段乾燥通路では、強制換気のみで材料の乾燥を行う。

これらの装置を用いた乾燥試験によると、初期水分70%程度の堆肥は、処理後28日後の仕上がり水分が25～30%の範囲にあり、乾燥能力が低下する冬期においても目標とする40%以下の水分が得られることが示された(図6)。

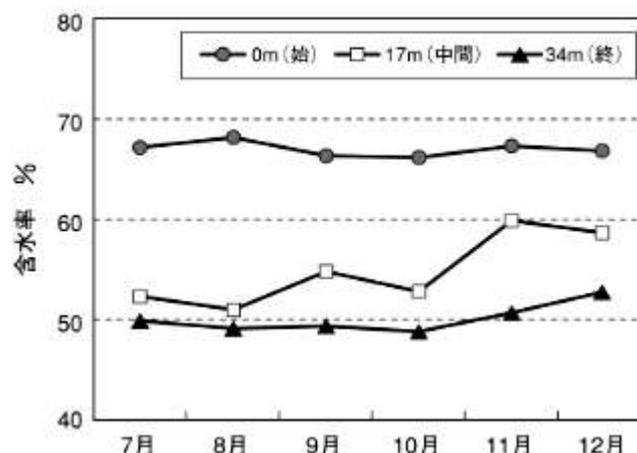


図6 2段式乾燥施設における堆肥乾燥経過
(送風機4m間隔、常時送風)

7. 結び

堆肥を敷料として再利用している酪農家を対象に行った聞き取り調査によると、使用前に比べて、乳房炎の発生が少ない、敷料の購入費が軽減される、圃場への還元量を少なくできるなどの効果が指摘されている。しかし、水分の高い堆肥を用いられているところでは、明らかに牛体が汚染されており、ストール(牛床)の管理が多労になっている。

開発した堆肥クレーンによる堆肥化システムと送風機を活用する2段式堆肥乾燥施設は、家畜ふん尿の省力的な堆肥化と乾燥が可能であり、年間を通じて水分40%の敷料素材を製造できることから、これらの問題を軽減できる有効なシステムである。また、これらのシステムは、家畜ふん尿を有機質資源や敷料として有効に活用するだけでなく、圃場面積との適正なバランスを維持する上でも有効な手段になると考えている。