

ビニールハウスとトラクターを活用した冬期における 高水分ふん尿の低コスト堆肥化処理

有馬儀信 松本百合子 宇谷道弘

要約 水分が高い乳用牛ふん尿の低コストな堆肥化処理方法の開発を目指し、園芸用のビニールハウス（ハウス）とトラクターを利用して攪拌方式の堆肥化処理を行った。ハウス（大きさ7×44m）は天井を高くし、床は遮水シートの上を土間仕上げにして堆肥化施設に改築した。攪拌・移送作業をロータリーを装着したトラクターで行ったところ十分機能し、ハウス内の発酵床（幅5m、長さ28m）において2m³の堆肥化物を1m移送するために約30分の攪拌作業と2リットルの燃料を要した。冬期の7週間に、乳用牛ふん尿（平均日量817.8kg、水分80.9%）、肉用牛敷料（平均日量334.7kg、水分61.5%）および食用油の廃油（平均日量5.7kg）を堆肥化原料とし1m/日の速度で移送した。ハウス内の日最低気温および日最高気温の平均値は外よりそれぞれ1.1 および4.4 高かった。堆肥化物の温度は原料投入場所から7m地点が43.1 で最も高かったが、28m地点では14.2 と最も低かった。水分は投入場所の70.7%から28m地点で55.9%に、容積重は548kg/m³から405kg/m³に、C/N比は29.9から23.1にと低下した。堆肥化物表面からの水分蒸発量は4.88kg/m²・日であった。ハウスから取り出した堆肥化物を堆積切返し方式で堆肥化を続けた結果、内部の最高温度は60 以上となったが、堆積開始後80日以降は切返し後の温度上昇がなくなり、C/N比は18.7を示したことから、約4か月で堆肥化したと考えられた。

この堆肥化処理方法は、乳用牛成牛1頭当たりの施設費が5万円、ランニングコストが1日当たり約1.5分間の労働費と0.1リットルの軽油購入費で、他の堆肥化方式に比較して極めて低コストであった。

キーワード：ふん尿処理 堆肥化 低コスト

「家畜排せつ物の管理の適正化と利用の促進に関する法律」の施行に伴い、畜産農家にとっては排泄物処理施設の整備が急がれるが、特に1戸当たりの飼養頭数が比較的多く、高水分ふん尿の処理が必要な酪農家にとっては、低コストで水分処理機能が十分な堆肥化施設の整備が緊急の課題となっている。

一般的な堆肥化方法は堆積切返し方式であるが、この方式は堆肥化速度が遅く、広い処理面積を要することから施設費が大きく、必ずしも低コストではない。これに比べ攪拌方式は、堆肥化速度が速く施設はコンパクトになるが、攪拌機やそれを設置する複雑な建築構造など施設費が高く、電気代などランニングコストも大きい²⁾。

建築費が安く水分蒸発能力が高いハウスを堆肥化施設とし、攪拌機として農耕用トラクターを活用できれば、これを既に所有している農家は低コストで攪拌方式による処理が可能となる。そこで、これらを組み合わせた堆肥化方法をハウスの乾燥能力が低下する冬期に実証することを試みた。

材料および方法

1. ハウス

ハウスは間口7m、奥行き44mの延べ面積408m²とした。ハウス内で大型機械の作業や運搬車がダンプできるよう、直径32mmのアーチパイプを直径38mmのパイプで80cm継ぎ足し、天井を4.3mの高さにかさ上げした。床は厚さ0.1mmビニールを敷いた上に10~15cmの土層を敷く土間仕上げとした。両間口は幅1.5m、高さ3.2mの引き戸を2枚づつ設置し、間口の一方を投入口、他方を取出口とした。積雪および強風対策としてアーチパイプの間隔を一般ハウスより10cm狭い40cmとし、被覆ビニールは通常使われるものより1.5倍厚い0.15mmを用いた。

2. トラクターおよびロータリー

トラクターは33~70Hpを用い、ロータリーは耕幅2m、耕深30cmを用いた。投入した堆肥化原料を攪拌しながら厚さ50~60cmの層にして、ハウスの取出口から投入口へ一方方向のみトラクターを進めながら攪拌を行い、攪拌に伴う堆肥化物の移動で移送を行った。

3. 堆肥化方法

平成13年1月21日までを試験前の慣らし期間と

してハウスを通常の処理を行う状態にした後、1月22日～3月9日の7週間を試験期間として堆肥化状況を調査した。

堆肥化原料は、主原料として当场乳用牛試験牛舎から排出された乳用牛ふん尿、副資材として肉用牛肥育試験牛舎から排出されたオガクズ主体でふん尿を含む敷料(肉用牛敷料)、そして、発酵エネルギー源として食用油の廃油を用いた。原料の投入と攪拌作業は日に1回とした。投入場所から28mの地点に達した堆肥化物はハウス内の取出口付近に堆積した後、週に1回程度まとめて搬出した。搬出した堆肥化物の一部は完熟化のため堆積処理を行った。

ハウスへ搬入した原料および搬出した堆肥化物は全て重量を測定した。ハウス内気温は最高低温度計をハウス奥行き3分の1地点の床から1mの高さの壁際に設置して測定し、ハウス外気温はハウス内での測定位置の壁から1m離れた地上高1mに最高低温度計を設置して測定した。堆肥化物の温度、水分および容積重は投入場所を起点とする7m毎の5か所で攪拌前に測定した。堆肥化物の温度は表面から深さ20cmに棒温度計を差し込んで測定し、水分は80℃風乾で蒸発した水量とし、容積重は15リットル容量バケツを満たして秤量することで測定した。気温と堆肥化物温度は毎日、水分と容積重は週1回、それぞれ攪拌作業前に測定した。堆肥化物の成分は2月5日、3月6日および堆積後90日目に水分測定した風乾物からサンプルを採取して分析³⁾した。堆積処理中の堆肥化物の温度は表面から30cmの深さへ棒温度計を差し込んで、ほぼ毎日測定した。その温度が50℃前後に低下すると切返しを行い、堆積処理

は切返し後温度が上昇しなくなるまで続けた。

結 果

ハウスは最も安価で自家労働で建築出来る園芸用ハウスとした。コストは2,900円/㎡となった(表1)。

ハウスは、作業上二つの課題が明らかになった。一つ目は、ハウスの床は防水シートとしてビニールを敷き、その上に土層を敷く土間仕上げとしたが、投入口付近がふん尿の水分で泥濘化した。これは、土層の上に鉄板を敷くことで解決した。二つ目は、側面がビニール壁であるので機械類の接触による破損を防ぐため、壁際が利用できずハウス内の有効面積が制限された。

トラクターは33～70Hpの3機種を用いたが、堆肥化物の攪拌負荷は土の耕耘負荷に比較して非常に軽く、馬力の小さなトラクターでも十分可能であった。また、野草や稲ワラが混ざっていても問題はなく、破碎能力も高かった。反面、土に比べ堆肥化物は柔らかで耕深の調整が当初難しく、土床を引っ搔かないよう図1に示す装置を考案してロータリーに装着した。しかし、運転技術が上達するにつれ、不要となった。1回に投入する原料の混合物は約2㎡で、これを1m/日の速さでハウス内の発酵床(幅5m、長さ28m)を移送した。1回の攪拌で20～30cmの移送ができ、1m移送するには3～5回の攪拌を要した。その作業時間は30分で、トラクターの燃料消費量は約2リットルだった。2㎡の堆肥化物は乳用牛成牛20頭分のふん尿1日分をオガクズで水分調整した容積²⁾と概ね同じであることから、1頭の乳用牛成牛の処理に必要なランニングコストは約1.5

表1. 堆肥化施設建築費の見積額^{注1)}の比較

種類	㎡ 単価	1頭 ^{注2)} 当たり単価
園芸用ハウス ^{注3)}	2,900	
園芸用ハウスを堆肥化処理用に改築 ^{注4)}	5,000	50,000
堆肥化処理用ハウス ^{注5)} (パイプ構造、既製品)	12,000	120,000
堆肥化処理用乾燥舎 ^{注5)} (木造)	18,000	180,000
堆肥舎(木造) ^{注5)}	21,000	188,000
堆肥舎(鉄骨) ^{注5)}	30,000	269,000

注1: 建築労働費を含むが攪拌機などの設備費は含まない

注2: 乳用牛成牛

注3: 販売業者の見積額

注4: 当試験結果と農家の建築からの見積額

注5: 最近建築された堆肥化施設の設備費を除外した建築見積額

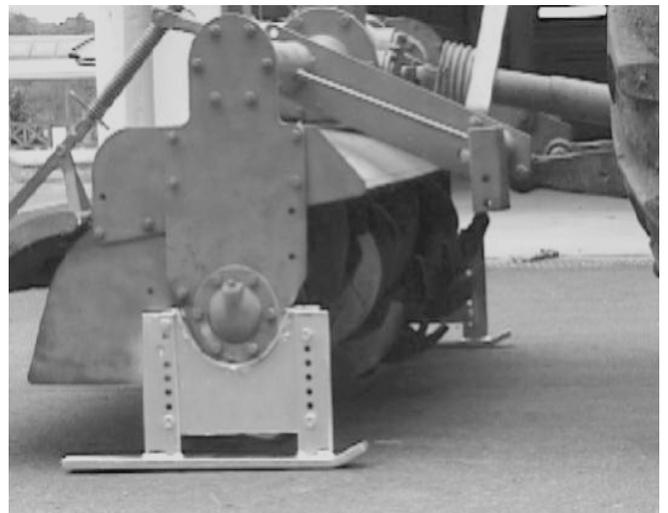


図1. 攪拌深さ調整のために考案した装置を取り付けたロータリー。調整はソリの部分を2.5cm単位で上下して行う。

分間/日の労働費と0.1リットル/日の軽油購入費(約8円)と見積もられた。

悪臭は投入直後のふん尿を攪拌する際に感じられたが、アンモニア臭は少なく新鮮なふん尿特有の臭いで牛舎内の臭いに似ていた。トラクターの運転作業に強い不快感はなく、ハウス外では悪臭は感じられなかった。

堆肥化原料の投入量は期間の平均日量で乳用牛ふん尿が817.8kg(水分80.9%)、肉用牛敷料が334.7kg(水分61.5%)、廃油が5.7kgであった。

堆肥化処理中のハウス内外の平均最低気温は、それぞれ1.6と0.5で、その差は1.1であった。平均最高気温はそれぞれ13.2と8.8で、その差は4.4であった(表2)。

堆肥化物の温度は、投入場所から7m、14m、21mおよび28mの地点でそれぞれ35.2、43.1、33.9、27.6および14.2であり、28m地点の温度はハウス内の最高気温近くまで低下していた。

堆肥化物の水分率は、70.7%に調整して堆肥化処理を始め、投入場所から7m、14m、21mおよび28mの地点でそれぞれ67.9%、64.9%、60.5%および55.9%に低下した。

堆肥化物の容積重は、投入場所、投入場所から7m、14m、21mおよび28mの地点でそれぞれ548、490、468、443および405kg/m³だった(表3)。容積重と水分率には正の相関が認められた(図2)。試験開始後1～3週における原料の投入量とそれが移送され取り出されると推定される試験開始後5～7週の取り出し量を比較したところ水分蒸発量は683kg/日となり堆肥化物表面(140m²)の蒸発量は4.88kg/m²・日であった。また、乾物の分解率は29.0%であった(表4)。

堆肥化原料および堆肥化物の成分分析の結果、投入場所から28m地点にかけての成分の変化は、水分は72.3%から54.4%、有機物が82.1%から74.5%、炭素率が36.6%から29.5%、C/N比が29.9%から23.1%、と漸減し、PHが8.3%から8.8%、コマツナ種子の発芽率が76%から97%、灰分が18.0%から25.5%、硝酸態窒素(硝酸態N)が70.5ppmから727.0ppm、全窒素(N)が1.22%から1.36%、リン酸(P₂O₅)が1.17%から1.31%、カリ(K₂O)が2.43%から2.77%と漸増する傾向が認められた。電気伝導度(EC)についてはほとんど変化しなかった(表5)。

攪拌処理を終えてハウスから取り出した堆肥化物の堆積処理では、堆積開始から約3か月後に切り返

表2. ハウス内外の1日の最高および最低気温の週平均値(°C)

期 間	最低気温			最高気温		
	内	外	差	内	外	差
試験開始後						
1週目(1/22～)	1.7	0.9	0.9	9.9	6.6	3.3
2週目(1/29～)	0.7	-1.0	1.7	10.7	6.8	3.8
3週目(2/5～)	1.9	0.6	1.3	12.0	8.1	3.9
4週目(2/12～)	0.1	-0.6	0.7	10.0	6.4	3.6
5週目(2/19～)	1.6	0.6	1.0	18.7	12.3	6.4
6週目(2/26～)	3.0	2.2	0.8	16.8	10.6	6.2
7週目(3/5～)	2.2	1.2	1.0	14.2	10.4	3.8
平 均	1.6	0.5	1.1	13.2	8.8	4.4

図2. ハウス内堆肥化物の容積重と水分率との関係

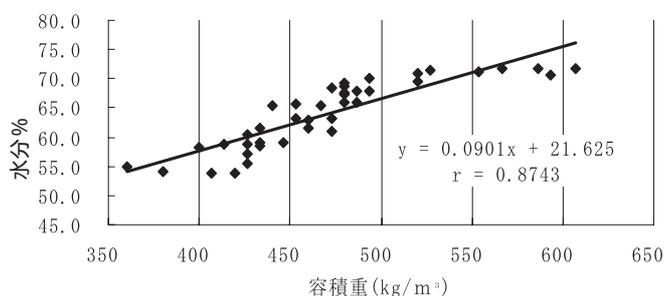


表3. ハウス内堆肥化物の温度、水分および容積重

項目	測定場所(投入場所からの距離)				
	0m	7m	14m	21m	28m
温度(°C)	35.2	43.1	33.9	27.6	14.2
水分(%)	70.7	67.9	64.9	60.5	55.9
容積重(kg/m ³)	546	490	468	443	405

表4. ハウス内処理による乾物分解率および水分蒸発量

	投入量(kg) ^{注1}	取出し量(kg) ^{注2}	減少量(kg)	減少率(%)
原物	27,621	11,290	16,331	59.1
日当たり	1,315	538	777	
乾物	6,967	4,947	2,020	29.0 ^{注3}
日当たり	332	236	96	
水分	20,654	6,314	14,340	69.4
日当たり	984	301	683	

注1: 試験開始後1～3週の期間

注2: 試験開始後5～7週の期間

注3: 乾物分解率

し後の発熱がなくなり水分率が35.3%、また、C/N比が18.7へと低下した(図3、表5)。

考 察

当試験に供したハウスの建設方法では、堆肥化処理施設として二つの課題が明らかになった。投入口付近の泥濘化については、長年の使用に耐え、ショベルローダーや掃除等の作業を行い易くするには、投入口付近および取出口付近はコンクリート床が望ましいと思われた。また、機械類の接触による破損を防ぐため、壁際が利用できなかったことについて

表5. 原料および堆肥化物の性状と成分 (成分は乾物中の割合)

対象	水分 (%)	pH	EC (mS/cm)	発芽率 ^{注1} (%)	灰分 (%)	有機物 (%)	硝酸態N (ppm)	N (%)	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	炭素 (%)	C/N比
乳用牛ふん尿 ^{注2}	78.6	7.9	2.5	8	19.7	80.3	12.3	1.70	1.82	3.70	36.3	21.3
肉用牛敷料 ^{注2}	61.0	6.9	2.5	100	5.0	95.0	55.8	0.73	0.62	0.96	42.9	59.0
0 m ^{注3}	72.3	8.3	3.2	76	18.0	82.1	70.5	1.22	1.17	2.43	36.6	29.9
7 m ^{注3}	66.7	8.8	3.2	99	20.9	79.2	129.8	1.36	1.27	2.73	35.8	26.4
14m ^{注3}	64.4	9.1	3.0	100	27.1	73.0	90.0	1.40	1.46	2.83	31.4	22.6
21m ^{注3}	58.9	9.0	3.2	99	25.1	74.9	408.8	1.44	1.42	3.02	30.1	21.3
28m ^{注3}	54.4	8.8	3.1	97	25.5	74.5	727.0	1.36	1.31	2.77	29.5	23.1
堆積処理後	35.3	7.9	4.7	98	36.8	63.2	1287.4	1.56	1.82	5.95	29.1	18.7

注1：コマツナ種子の発芽試験

注2：2月5日に用いた堆肥化原料

注3：ハウス投入場所からの距離、各地点における分析値は2月5日と3月6日の平均値

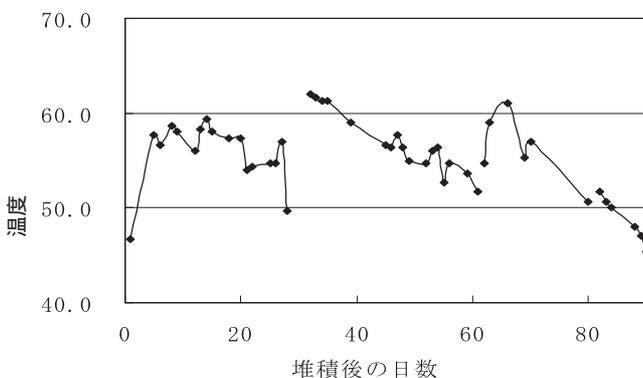


図3. ハウスから取り出した後、堆積した堆肥化物の温度の推移。グラフ線の途切れが切返しを示す。

は、掘用のコンクリートブロックをハウス壁の下部に用いるなど、堆肥化の有効面積を広くする対策が望ましいと思われた。

トラクターに農耕用のロータリーを装着し攪拌作業を行ったが十分に機能した。作業時間は30分/日を要したが、ロータリーの刃を長大化し形状を改良したり、タンデム型にするなど、移送能力を高くすれば省力化が可能と思われた。

ハウス内における堆肥化処理過程では、ハウス内外の最高気温の差は最低気温の差よりも大きく、日中、ハウスは有効に太陽熱を利用したと考えられた。

堆肥化物の温度は、投入場所から7m地点が43.1と最も高く、堆肥化物は日に約1m移送されることから、投入後7日前後が発酵のピークと考えられた。オガクズなど副資材を添加した畜ふんの攪拌による一次処理期間は20~25日間²⁾とされ、当試験でも投入場所から28m地点の温度はハウス内の最高気温近くに下降していたことから、一次処理が終了したと考えられた。

発酵ピーク時の温度については、堆積切り返し方式での温度が60℃以上になる²⁾ことに比べて低かったが、堆肥化物の温度は発酵による発熱量と水分の蒸発や熱の拡散による失熱量とによって上下するとすれば、高温にならない理由は、堆肥化物の層は薄く表面積が大きく、水分の蒸発面積も大きいことから、失熱量が大きく蓄熱が少なかったためと推察された。

堆肥化物表面の蒸発量は4.88kg/m²・日であったが、これは地域別水分蒸発量、山陰・北陸地域12~2月期1.36kg/m²・日²⁾の3.5倍であり、発酵熱や太陽熱が水分蒸発量を多くしたことが示唆された。

乳用牛成牛1頭(泌乳305日、乾乳60日)当たりのふん尿の水分平均量は52.4kg/日²⁾であり、一次処理の目標をふん尿の乾物分解率30%、水分率55%にするとすれば、必要な蒸発量は47.0kg/日であることから、これに必要なハウス面積は9.6m²であった。

乾物分解率は、ふん尿とオガクズの乾物割合が確定できなかったが29.0%であり、一般的な攪拌方式による一次処理の分解率である畜ふんが25~38%、副資材が11~13%²⁾の範囲内であった。

堆肥化物の水分率と容積重との関係は相関係数が0.8743と高いことから、測定が簡易な容積重から水分率を推測することが考えられる。ところが、堆肥化物の堆積高50cmにおける容積重と水分率の関係²⁾を直線回帰式(水分%:y、容積重:x)で表した場合、オガクズ添加でy=0.0379x+39.851、モミガラ添加でy=0.0377x+41.307、戻し堆肥添加でy=0.0638x+15.389、当試験ではy=0.0901x+21.625と副資材や堆肥化方法によって異なる回帰式であること

から、各処理施設において固有の回帰式を得る必要があると思われた。

堆肥化物の成分の変化は、一般に堆肥化で起こる変化^{1, 2, 3)}と概ね一致していた。

攪拌処理を終えてハウスから取り出した堆肥化物の堆積処理過程では、堆積開始後約3か月で切返し後の温度上昇が認められなくなった。この現象は、微生物の活動が水分率が30%以下³⁾、或いは40%以下²⁾で低下することから、水分不足に起因する可能性もあるが、C/N比は18.7と低下しており、オガクズ・牛ふん混合堆肥のC/N比は20前後^{2, 3, 4, 5)}であることから、堆肥化が終了した現象と考えられた。堆肥化期間は合計4か月で、堆積切返し方式の目安である6か月²⁾より2か月短縮された。

コストについては、乳用牛成牛1頭に必要なハウス面積は9.6㎡であったが、余裕を見て10㎡とすれば、これの建築費は1万円である。二次処理のための堆積場が乳用牛成牛1頭当たり2㎡必要であるが、これもハウスで行えば1万円程度で合計約6万円になる。毎日のランニングコストは、乳用牛成牛1頭当たり約1.5分間の労働費と0.1リットルの軽油購入費(約8円)で、3～5年毎に張り替える被覆ビニー

ル購入費が1,500円/頭・年、トラクターの償却費が約1万円/頭・年と見積もられた。我々の調査(未発表)では農家や堆肥センターに設置された攪拌方式の施設費は乳用牛成牛1頭当たり20万円以上で、150万円の例もあった。それに比べて、当方式の施設費はハウスの設置費のみであり、既存のトラクターを利用することで極めて低コストであった。

参 考 文 献

- 1) 財団法人畜産環境整備機構. 家畜ふんたい肥利用マニュアル. 東京都. 2002.
- 2) 社団法人中央畜産会. 堆肥化施設設計マニュアル. 第二版. 東京都. 2001.
- 3) 財団法人日本土壌協会. 堆肥等有機物分析法. 第二刷. 東京都. 2000.
- 4) 島根県(農林水産部畜産振興課). 社団法人島根県畜産振興協会. 平成13年度堆肥品質共励会並びに土づくり研修会資料. 2002.
- 5) 島根県(農林水産部畜産振興課). 社団法人島根県畜産振興協会. 平成14年度堆肥品質共励会並びに土づくり研修会資料. 2003.