

家畜改良センター 技術マニュアル 13

# 堆肥化処理の理論と実践Ⅲ

## (寒冷地における堆肥処理)

独立行政法人 家畜改良センター

## はじめに

家畜の排せつ物は、従来農作物や飼料作物の有機質資源として有効に活用されてきました。しかし、近年畜産経営の急激な規模拡大、高齢化等を背景に、家畜排せつ物の処理・利用が困難になりつつあり、地域環境に及ぼす影響も懸念されるようになってきました。

一方、資源の少ない我が国においては資源循環型社会への移行が求められるとともに、国民の環境意識が高まる中で、家畜排せつ物について、その適正な処理を行い、堆肥として農業の持続的な発展に資する土づくりに積極的に活用するなどの有効利用を一層促進する必要があります。

このため、畜産における家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進により、我が国畜産の健全な発展に資することを目的として、平成11年7月に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」（以下「家畜排せつ物法」という。）が公布され、たい肥舎等管理施設の構造設備に関する基準等は、平成16年11月より適用されます。

独立行政法人家畜改良センターでは、平成10年に「堆肥化処理の理論と実践Ⅰ」、平成14年に「堆肥化処理の理論と実践Ⅱ」を発行し、適正な堆肥処理の実践に向け活用いただいています。

本冊子は、現在においても堆肥の適切な処理に苦慮している畜産農家が存在している実態に鑑み、寒冷地に位置する独立行政法人家畜改良センター十勝牧場における肉用牛等の堆肥処理の実態を基に、基礎的な実践技術を紹介することを目的に作成したものであり、適切な堆肥処理の一助として活用いただければ幸いです。



# 目 次

はじめに	1
1. 家畜ふん尿処理に関わる法律	4
2. 北海道における家畜ふん尿の処理と利用の考え方	5
(1) 条件に合った家畜ふん尿処理利用技術	5
(2) 堆肥による循環利用	7
1) 有機質資源としての家畜ふん尿	7
2) 耕種農家との連携	7
3) 家畜ふん尿の堆肥化の必要性	8
3. ふん尿処理技術	8
(1) ふん尿の堆肥化の目的	9
(2) ふん尿の堆肥化方式	10
(3) 堆肥化を促進するための条件	11
1) 栄養分	11
2) 水分	11
3) 空気	12
4) 微生物	12
5) 温度	12
(4) 堆肥化におけるふん尿の基礎知識	13
1) ふん尿の状態と特徴	13
2) ふん尿混合物の性状とその処理方法	14
3) 飼養管理体系別のふん尿処理方法	15
4) 堆肥化に要する期間	15
4. 堆肥舎における一次処理	16
(1) 水分調整	16
(2) 均一な混合	17
(3) 堆積方法と高さ	17
(4) 切り返し	18
(5) 温度計での確認	18
(6) 発酵状況の確認	18
5. 堆肥処理施設	20
(1) 処理・保管施設	20
(2) 堆肥舎	20
(3) 通気型堆肥舎	21
(4) 発酵処理施設	22
(5) 簡易ふん尿処理施設	23

6. 独立行政法人家畜改良センター十勝牧場における家畜ふん尿処理の事例	--	26
(1) 家畜ふん尿排せつ量の算出	-----	27
(2) 飼養頭数及びふん尿混合物排出量	-----	27
(3) 飼養家畜のふん尿の排出方法	-----	28
1) 肉用牛	-----	28
2) 乳用種雄牛	-----	28
3) 馬(農用馬)	-----	28
4) めん羊	-----	29
(4) 排出されるふん尿の性状	-----	29
(5) ふん尿処理	-----	30
(6) 堆肥処理施設	-----	30
1) 一次処理用堆肥舎	-----	30
2) 通気型堆肥舎の活用	-----	31
3) 発酵処理施設(ロータリー式攪拌装置)	-----	31
(7) ふん尿処理機材	-----	31
1) ロータリー式攪拌装置	-----	31
2) ホイールローダ	-----	32
3) 送風機	-----	33
(8) ふん尿処理上の留意点	-----	34
1) 一次処理	-----	34
2) 通気型堆肥舎による処理	-----	37
3) 発酵処理施設による処理(ロータリー攪拌装置)	-----	40
4) 堆肥の腐熟度の判定	-----	42
7. 堆肥の活用	-----	43
(1) 戻し堆肥	-----	43
1) 敷料資源の不足	-----	43
2) 戻し堆肥への着目	-----	43
3) 戻し堆肥とは	-----	43
4) 戻し堆肥としての活用	-----	44
5) 戻し堆肥の敷料利用	-----	46
6) 十勝牧場における戻し堆肥の敷料利用	-----	47
(2) 融雪剤の代替えとしての活用	-----	48
1) 融雪剤としての効果	-----	48
2) 堆肥(発酵処理済み)の融雪剤代替雪上散布機の開発	-----	48
3) 堆肥(発酵処理済み)を融雪剤の代替えとして用いる場合の留意点	--	51
(3) 草地への還元	-----	52
おわりに	-----	53

## 1. 家畜ふん尿処理に関わる法律

家畜のふん尿処理は、深刻化する畜産環境対策の一つとしてとらえられ、「家畜排せつ物法」にとどまらず、「水質汚濁防止法」、「悪臭防止法」、「環境保全特別措置法」、「特定水道水障害の防止のための水道水源水域の水質の保全に関する特別措置法」、「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」、「海洋汚染防止法」、「河川法」、「大気汚染防止法」等によって規制されています。

家畜ふん尿の堆肥化は、資源の循環的活用を目的とした最適な処理方法とすることができます。

なお、「家畜排せつ物法」の規則では、家畜排せつ物の年間の発生量、処理の方法別の数量等について記録することが義務づけられています。

但し、牛及び馬にあつては10頭未満、豚100頭未満、鶏2,000羽未満の飼養農家については、排せつ物の発生量が少ないこと、自己所有の農地・草地に還元することで適切に処理及び管理できる可能性が高いことを踏まえ、「家畜排せつ物法」は適用されません。



## 2. 北海道における家畜ふん尿の処理と利用の考え方

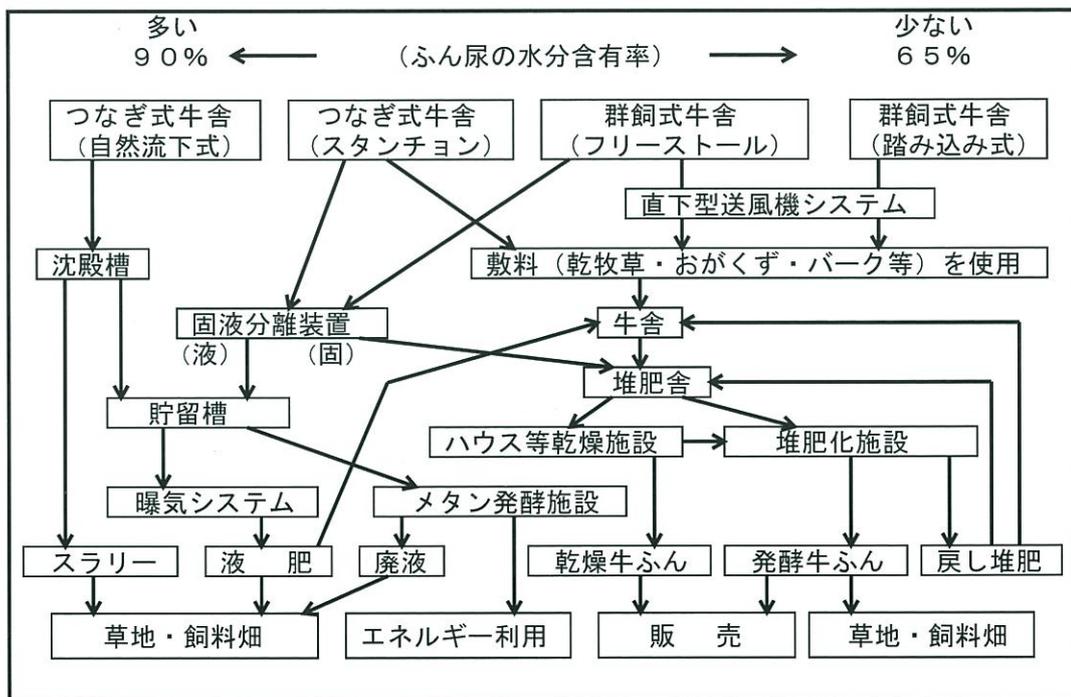
### (1) 条件に合ったふん尿処理利用技術

畜産農家における家畜の飼養頭羽数が増加するに伴い、ふんや尿を適切に処理・利用することが困難になり、悪臭や水質汚染など多くの問題が出てきています。

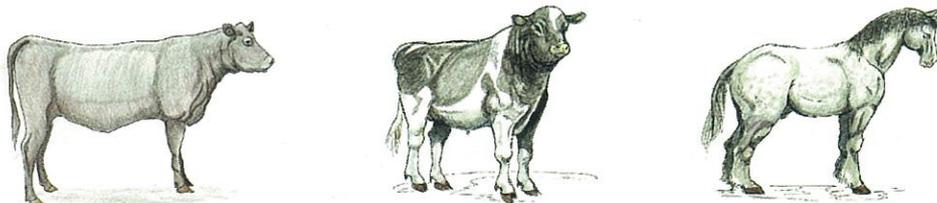
これらに対応するため、家畜ふん尿を有機質資源として有効利用し、環境への負荷を減少させるべく、様々な施設やシステムが提案されています。どの方法を選択すれば良いのかを決めることは、地域環境や経営形態、飼養規模等を配慮して決めなければならず難しいものです。大きな投資をしても期待した結果が得られないケースが少なくありません。

具体的に、どのようなふん尿処理方式を選ぶかは、①草地面積と飼養頭羽数、②立地条件、③気象条件、④労働条件、⑤経営条件などを十分検討することが望まれます。

図-1 牛のふん尿における水分含有率に応じた処理・利用方法



(雪印種苗(株)牛糞尿処理の現場の技術⑤ 'Dairy Japan' 2001年6月号を参考として作成)



〈酪農経営の場合：高水分含量の堆肥原料〉

酪農では、多くの農家が草地・飼料畑を有しているため、経営内でふん尿として利用することができる場合が多いのですが、近年では経営規模拡大から飼養頭数に比較して農地面積が少なくなっています。

この場合、環境汚染を防ぐため、余剰ふん尿を経営外に持ち出すこととなります。そのため、ふん尿に敷料や副資材を混ぜるか天日乾燥等により水分を低下させて堆肥化（運搬のしやすさ、処理量の減少）し、取り扱いやすい性状で耕種農家等に提供・販売することが必要となります。

スラリーは臭気が強く、耕種農家での利用は望めない場合が多いので、できる限り、経営内の農地に施用することとなります。ふん尿を処理する農地が確保できない場合には、自然流下式や敷料を使用しないフリーストール牛舎等のように、ふん尿がスラリーとして排出される飼養形態は避けることが望まれます。

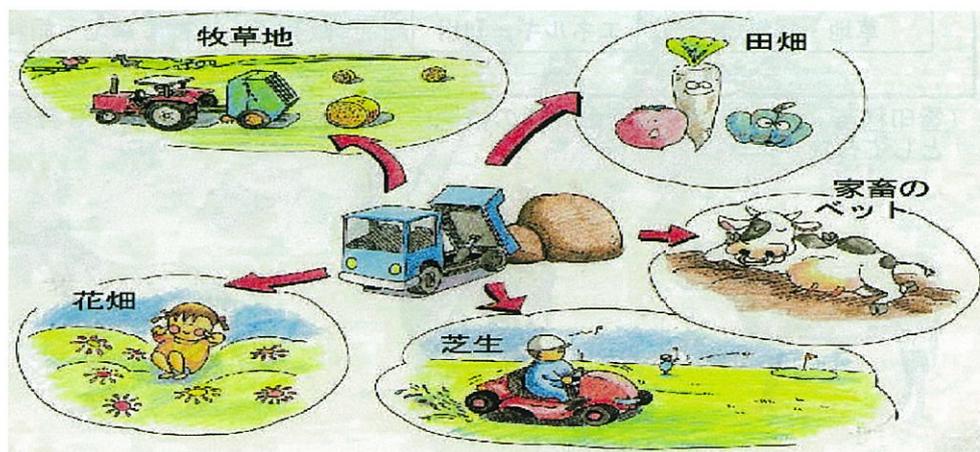
また、スラリーを用いたメタン発酵処理が最近見られるようになり、有効なエネルギー利用技術として注目されていますが、メタン発酵を行っても、廃液が残るので十分な還元農地が確保されない場合は留意する必要があります。

〈肉用牛肥育経営：低水分含量の堆肥原料〉

肉用牛の肥育においては、おがくずやバーク等の敷料を多量に用いる牛舎が一般的で廃液が少ないため、水分含有率は乳用牛に比較して少ない状態での排出となっていますが、前提となるのは敷料の確保です。

家畜改良センター十勝牧場の場合、給与ができなくなった乾牧草（降雨による品質低下牧草、刈り遅れ牧草等）を敷料の代替えとして活用しています。

一方、近年敷料の確保が困難なことから、攪拌発酵処理済み完熟堆肥を敷料（戻し堆肥）として用いる技術が普及しつつあり、敷料の節減、更じよく作業の削減、病原菌の抑制等衛生面の改善のほか、水分調整資材としても活用できる等のメリットがあり経営内に取り入れられつつあります。



## (2) 堆肥による循環利用

### 1) 有機質資源としての家畜ふん尿

家畜ふん尿に由来する水質、土壌、大気の汚染が問題視されています。北海道の家畜ふん尿による苦情発生では、80%強を水質と悪臭が占めています。このような環境問題をうけて、平成11年には農業環境3法、いわゆる「家畜排せつ物法」と「持続農業法」および「肥料取締法」が制定・改正されて、家畜ふん尿の処理については、ひととき厳しくなっています。

畜産農家においては、家畜ふん尿による環境汚染低減への積極的な取り組みが求められています。畜産農家の中には十分な貯留施設を有していない経営体も見受けられ、貯留施設に収容できないふん尿は、ほ場に野積みや素堀りで貯留されているところも見受けられます。

家畜のふん尿が適切に管理されていない状況にあつては、ふん尿中の成分が河川・地下水に流入し水質汚染の発生要因となりますが、適切に処理され、ほ場に散布されれば肥料としての価値を得ることができます。

北海道施肥ガイドによると牧草の維持管理時のふん尿施用による減肥可能量は表-1のとおりになります。

また、有機物を多く含む堆肥については、緑肥栽培による有機物補給と同様に、土壌改良（地力向上）効果も期待できます。

表-1 維持管理時のふん尿（乳牛）の施用（当年）による減肥可能量

(kg/現物トン)

区分	土 壌	窒 素	リン酸	カリウム
堆 肥	火山性土	1.0 kg	1.0 kg	3.0 kg
	低地土	1.0 kg	1.0 kg	5.0 kg
スラリー 尿		2.0 kg	0.5 kg	4.0 kg
		5.0 kg	0.0 kg	11.0 kg

注：ふん尿分析値のない場合である。（北海道施肥ガイド、2002）

### 2) 耕種農家との連携

近年、個々の酪農家では乳牛頭数が増すにつれて1頭当たりの経営面積が少なくなっています。乳牛の適正飼養密度は条件により明確ではありませんが、ha当たり2頭程度ともいわれることから、成牛100頭以上の大規模経営では、草地等が50ha未満であればふん尿過剰となります。

一方、畑作、園芸地帯では堆肥が不足していることをよく見聞きしますが、酪農家から出るふん尿は水分率80%以上と多く、いわば水を運搬するようなもので、「いわゆる生糞」の状態では輸送効率が悪く、有効な活用が図られていないようです。

この対策には、家畜のふん尿の有効活用と環境への影響を配慮した堆肥化処理によって、耕種農家と畜産農家の需給がうまくかみあうよう、両者の関係に努める必要があります。

### 3) 家畜ふん尿の堆肥化の必要性

家畜のふん尿は、「悪臭が強い」、「水分含有量が多い」「汚物感がある」等から、搬送、貯蔵、施用などの作業に困難を極め、生の状態で施用すると、土壌環境の悪化や作物の生育障害を招く要因となります。ふん尿の処理は環境等の汚染防止を基本として、ふん尿を取り扱いやすく衛生的なものにすることに併せて、施用するふん尿が作物及び土壌にとって安全なものである必要があります。

堆肥化することによって量・悪臭・水分が減少し、取り扱いが容易となります。また、家畜のふんには病原菌、寄生虫の卵、雑草の種子などが含まれることがありますが、堆肥化の過程で発生する発酵熱でこれらを死滅させることが可能です。堆肥の田畑への還元は、窒素、リン酸、カリを始め微量元素など肥料成分が含まれ、速効、緩効双方の機能を備える有効な有機質の利用方法です。

### 3. ふん尿処理技術

十勝地方での家畜の排せつ物は、畜舎から排出されたものを堆積し、多くが嫌気状態で畑等のほ場へ有機質肥料として還元されるのが一般的な処理方法でした。

近年、種々の家畜のふん尿処理技術が開発され、排出されるふん尿の性状に応じた処理に関する多くのマニュアルが発行されています。

しかし、提示される技術を活用しても期待する成果が得られないなどといった意見が聞かれるほか、投入費用の点から貯蔵施設等の整備が遅れている畜産農家も少なくないと思われます。このことは、畜産農家個々のふん尿の性状や作業体系及び経営形態が異なることが大きな要因であると推察されます。

この対策の一つには、数多くの実践事例を見聞し、自分の経営に適合したふん尿処理体系を構築することが求められることから、ここでは北海道内で冬季の冷え込みの厳しい地域に位置する家畜改良センター十勝牧場で実施している、肉用牛のふん尿処理技術を主体に紹介します。なお、先に述べた通り、ふん尿処理に関してはすでに多くの文献が発行されていますが、本書では一般的理論及び実践技術を紹介します。

(1) ふん尿の堆肥化の目的

ふん尿の堆肥化は環境保全等のみではなく、堆肥化されたふん尿のような良質の有機物肥料を田畑へ施用した場合、直接的な作物の栄養分としての効果に加えて、地力が増進し、土壌の物理性および化学性が改善され、土壌中の生物相が質量ともに豊富になります。

このことは化学肥料の代替と資源・エネルギーの節約が図られることに加えて、増大された土壌の化学的・生物学的緩衝能により農薬等の使用を大幅に削減できる可能性も持ち合わせる事となります。

一方、未処理のものは、搬送、貯蔵、施用等の作業性が悪く、悪臭やハエ等の発生、病原菌や寄生虫の卵が含まれる等、環境および衛生上の問題を含み、さらには利用に当たって作物の生育障害や雑草の発生が懸念されるため、人間や作物にとって安全で取り扱いやすくする必要があります。

家畜排せつ物の堆肥化の目的は、①水分の低下により汚物感を取り除き臭気成分の分解により悪臭をなくし、家畜ふん尿を作業者にとって取り扱いやすいものとする事、②発酵時に発生する発熱（60～80℃）により病原菌を死滅させて衛生面で安全なものにすると同時に雑草の種子等をも死滅させる事、③未処理のふん尿中に含まれる土壌中での急激な分解による作物等に悪影響を与える生育阻害物質等を分解・除去して作物にとって肥料成分を含み、安全なものにする事、④C/N比を低下させる事によって、作物の窒素飢餓を防止する事等があります。堆肥の品質に関して備えるべき品質条件については表-2のとおり整理されます。

高品質の堆肥とは、ふん尿資材が有する不利な点が改善され、取り扱いやすく安全で、高い施用効果を有するものと言えます。表-2の「1. 取り扱いやすい性状」および「2. 土壌・作物にとって安全」の各項目は不利な点の改善について示したもので、いずれも（有害物質を含まない）ふん尿を堆肥化（腐熟）することで達成できるとされています。一方、「3. 土壌・作物にとって有効」は堆肥の施用効果を示したものです。

表-2 堆肥の品質に関して備えるべき条件

1. 取り扱いやすい性状	2. 土壌・作物にとって安全	3. 土壌・作物にとって有効
①水分が適度である ②臭気が強くない ③病原菌・寄生虫卵などを含まない	①施用後急激な分解をしない ②窒素飢餓を生じさせない ③生育阻害物質を含まない ④有害物質を含まない ⑤植物病原菌等を含まない ⑥雑草の種子を含まない	①植物に養分を供給する ②土壌の化学的性質を改善する ③土壌の物理的性質を改善する ④土壌中の生物活動を維持・増進する

(中央畜産会「堆肥化施設設計マニュアル」より)

## (2) ふん尿の堆肥化方式

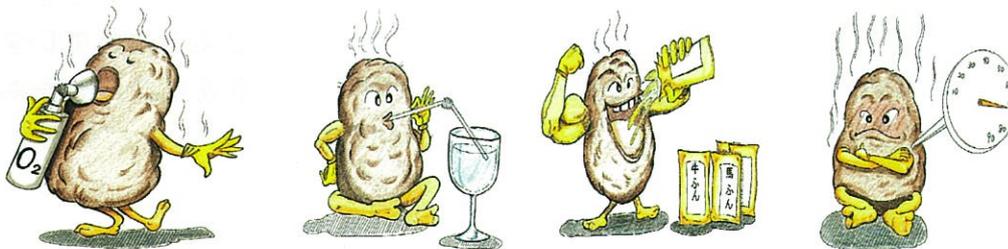
ふん尿の堆肥化には、好気性発酵方式と嫌気性発酵方式があります。好気性発酵方式は、ふん尿および敷料の有機物を好気性を主体とする微生物（ふん尿中の微生物によるほか、有用な好気性微生物群を添加する場合もある。）によって分解（発酵）するものです。

好気性発酵に求められる条件は、①栄養源、②水分、③空気（通気、攪拌）、④温度、⑤C/N比などです。一方、嫌気性発酵方式は、ふん尿などの有機物を嫌気的条件下で、有用な嫌気性微生物を主体とする微生物群により分解（発酵）するもので、水分調整、通気、攪拌・切り返しやC/N比の調整は必要としませんが、ふん尿の処理にあたって、ふん尿に含まれる腐敗性微生物（フザリウム菌など）の働きにより、アンモニア、硫化水素、低級脂肪酸などの悪臭物質等が発生します。好気性と嫌気性発酵処理方式の簡単な相違点については、表-3に示したとおりです。

表-3 好気性・嫌気性発酵方式の相違点

好気性発酵処理	嫌気性発酵処理
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ふん尿は、堆肥舎・発酵施設等で切り返し、攪拌、通気等を行い発酵させる。</li> <li>・発酵は、糖・セルロース・リグニン分解期の3段階を経て進行。</li> <li>・堆肥の温度は、60～80℃に上昇する。</li> <li>・発酵中は、アンモニア等悪臭物質が発生する。</li> <li>・発酵堆肥は、原形が崩れてポロポロな状態となり、黒褐色となる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ふん尿は、堆肥舎等で堆積するのみで発酵させる。</li> <li>・発酵は、働く微生物の種類、作用や分泌される物質によって異なる。</li> <li>・発酵中の堆肥は、若干の温度上昇があるものの常温に近い。</li> <li>・アンモニア、硫化水素、低級脂肪酸等の悪臭物質が発生する。</li> <li>・発酵堆肥は、ふん尿の原形が残り易く褐色化する場合が多い。</li> </ul>

(農協／全農／経済連「飼料作物の栽培と堆肥・液肥利用」平成6年5月から抜粋)



### (3) 堆肥化を促進するための条件

家畜改良センターでは、好気性微生物による堆肥化に取り組んでいることから、好気性発酵方式における条件について紹介します。

#### 1) 栄養分

家畜のふん尿中には未消化、未吸収の分解しやすい有機物（易分解性有機物）が多量に含まれ、これらは微生物の栄養源として適しているため、堆肥化のために特別なものを加える必要はありません。

しかし、家畜の飼養体系で更じょく間隔が短い、牛体を汚さない飼育などで家畜ふん尿の量が敷料の量に比べて少ない事例では微生物の栄養分が不足する傾向にあり、この場合は栄養分の供給が必要になることもあります。

供給する資材としては、米ぬかや酒かすなどの食品製造かす類を使用すると、ふん尿の栄養バランスが良く、窒素成分の比率が高くなります。なお、堆肥化処理過程においてアンモニアガスが発生しやすくなります。

#### 2) 水分

水分は微生物が活動するのに必要ですが、多すぎると通気性が悪くなり、好気性微生物の活動が低下し、好氣的な堆肥化ができずに嫌気発酵を起こして、悪臭を発生するようになります。一方、少なすぎる（40%以下）と微生物の活動が低下して、増殖が抑制され発酵の抑制要因となります。

これらから、水分率は一般的には60～70%程度が適切と言われ、ふん尿中の通気性をよくすると堆肥化が順調に進みます。

しかし、栄養分で述べた、家畜ふん尿が少ない場合、夏季には自然蒸散によりさらに水分率が低くなります。この場合、堆肥化は困難な条件になることから、散水等による水分調整が求められます。家畜ふん尿が少ない原材料の夏場の処理には、排汁がにじみ出る程度に散水しますが、寒冷地の冬季においては水分率は低いほう（60%）で堆肥化が容易になります。

一般的に乳用牛ではふん尿の水分率は80～90%と非常に高いため、堆肥化するためにはあらかじめ固液分離処理やハウス・エプロン等で予備乾燥をしたり、副資材（オガクズ、バーク等）の添加による水分調整が必要になります。副資材の条件としては、①吸水・保水性に優れていること、②通気性が改善されること、③安価で入手可能であることがあげられます。

### 3) 空気

好気性微生物が増殖し、栄養源である易分解性有機物を分解するためには、酸素の供給が必要です。酸素の供給方法としては、堆積物の適度な切り返し、攪拌作業、送風機による強制送風等があげられ、通気性をいかに確保するかです。

通気性の目安として空隙率（気相率）30%以上が必要といわれており、現場では堆肥化のスタート時には堆肥（堆積物）1リットルの重さが0.5 kgにできるだけ近づけるのが目安とされています。

しかし、畜舎より堆肥舎へ搬入された直後の敷料とふん尿が均一に混和されておらず、容積重はサンプリング場所により異なるので測定は慎重に行うことが肝要です。

### 4) 微生物

堆肥化には好気性微生物が必要です。しかし、特殊な微生物を加える必要はありません。ふん1 g 中には1~10億個微生物が生きています。この中の微生物に働いてもらえばよいのです。堆肥化促進剤といった微生物資材が流通していますが、調査報告等では明確な成果はでておらず決め手を欠いている現状にあります。

資材に多額の費用を投入するより、微生物が活動しやすい条件づくりに費用と手間を投入することが得策です。また、身近なもので自家産の堆肥を別途製造し混合活用するのも一案です。良質な堆肥であれば堆肥化に有用な微生物が多く含まれています。

### 5) 温度

栄養源、水分、空気、微生物の条件が揃うと、微生物が活動して、堆肥内の発酵温度は60℃以上になります。さらに、60℃以上の温度が数日続くと、ふん中の病原菌、寄生虫の卵、雑草の種子などが死滅します。

発酵は外気温5℃程度から可能とされていますが、夏季の高温時に比べ、冬季は発酵の立ち上がりは遅くなります。これは堆肥化に関与する微生物が30℃以上の環境のもとで活動が旺盛になるためといわれています。

寒冷地の対策として、堆肥化時の堆積物の加温・保温、温風の利用等が考えられますが、コストがかかります。また、冬期間の頻繁な切り返しと攪拌は、発酵で暖められた熱を放出して、冷気を注入することで微生物の活動が抑制され、堆肥化が遅くなるので初期の処理は温度の測定等によって発酵状況を確認するなど慎重に作業することが必要です。

#### (4) 堆肥化におけるふん尿の基礎知識

##### 1) ふん尿の状態と特徴

ふん尿の状態と特徴を北海道立農業試験場・畜産試験場の家畜糞尿プロジェクト研究チームは、次のように区分しています。

固形状：ソリッド、水分率84%未満
半固形状：セミソリッド、水分率84～87%
液状：スラリー、水分率87%以上

##### ア、固形状（ソリッド）

牛舎等で乾牧草や麦稈などの敷料が多量に使用されている場合や、肉用牛の肥育牛舎等でオガクズを大量に利用している場合などのふん尿性状で、このふん尿は搬出直後でも堆肥処理場へ容易に高く積み上げることができます。

水分率が70%以上の場合であれば、堆肥化には固液分離するか、ふん尿を固形状にするために副資材や戻し堆肥を添加して水分調整することが必要ですし、太陽光による水分蒸散が考えられます。

また、高水分のふん尿を堆肥舎等へ直接搬入するふん尿管理の場合は、排汁が排出されるので、排汁とふんを分離する尿分離構造が付設された堆肥舎の設置が適切です。

##### イ、半固形状（セミソリッド）

敷料使用量が少ない場合のふん尿で、流動性が高いため堆肥処理場へ堆積した場合の高さは1 m以上に積み上げることができない状態のものです。

一般的にこの状態のふん尿の畜舎からの搬出は、バークリーナーやスクレーパー等で行われます。トラクターなどの進入が可能な屋根付きの半地下式の施設等に排汁が流出しない施設にふん尿は貯留されます。この状態のふん尿の取り扱いは、粘度が高く通常のポンプでの汲み出しが困難であるため、貯留施設への搬出にはバケットローダが用いられます。

##### ウ、液状・泥状（スラリー）

敷料を使用していないか、使用している場合でも極めて少ない場合、あるいはふんと尿が分離されていない場合の性状で水分含有量が高く、流動性に富んだ状態で、半固形状のふん尿に汚水などを加水した液、

固液分離した液分、尿汚水などもこれらに分類されます。

貯留施設は、地下ピットや雨水を考慮したスラリーストアや遮水シート敷設ラグーンとなりますが、雨水の混入する施設では浮遊物が発生するので、断続的な攪拌など浮遊物対策が必要です。

## 2) ふん尿混合物の性状とその処理方法

牛舎から搬出されるふん尿の水分率の状態によって処理方法を表-4のとおり区分することができます。

表-4 水分率によるふん尿の分類と処理方法

名称	搬出時水分率	特 徴	処理時水分率	製 品	特 徴
固形	～84%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 敷料が多く混入し、高さ1～1.5m程度に堆積できる</li> <li>・ 水分調整資材を混入することで堆肥処理ができる。</li> </ul>	～65%	発酵堆肥	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 適切な腐熟で良好な発酵堆肥となる。</li> <li>・ 製品は高水分ふん尿の堆肥化処理開始時の水分調整資材として使用出来る。</li> </ul>
			65～70%	発酵堆肥	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 処理時に水分調整資材を投入すると適切な発酵が得られる。</li> </ul>
			70～84%	発酵堆肥	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 排汁の除去等の処理を行い、水分調整資材の投入することで堆肥化が可能となる。</li> </ul>
半固形	84～87%	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 敷料がある程度含まれるが、積み上げようとしても横に流れ出し、積み高さ0.5～1m程度にしか堆積できない。</li> </ul>	84～87%	セミソリッド	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 流動性が高く、嫌気状態となる。</li> <li>・ 散布時に悪臭を伴うことが多い。</li> </ul>
液状	87%以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 敷料などの混合物が少なくスラリー処理が可能である。</li> </ul>	87%～	スラリー	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 流動性に富み、ポンプによる搬出ができる。</li> <li>・ 固液分離処理により、液の粘度を下げ、ポンプによる取り扱い性を向上させる。</li> <li>・ 固形分を堆肥化処理することができる。</li> <li>・ ほ場への直接散布が出来る。</li> </ul>

(北海道立農業試験場・畜産試験場の家畜糞尿プロジェクト研究チームの

「家畜糞尿処理・利用の手引き1999」を参考として作

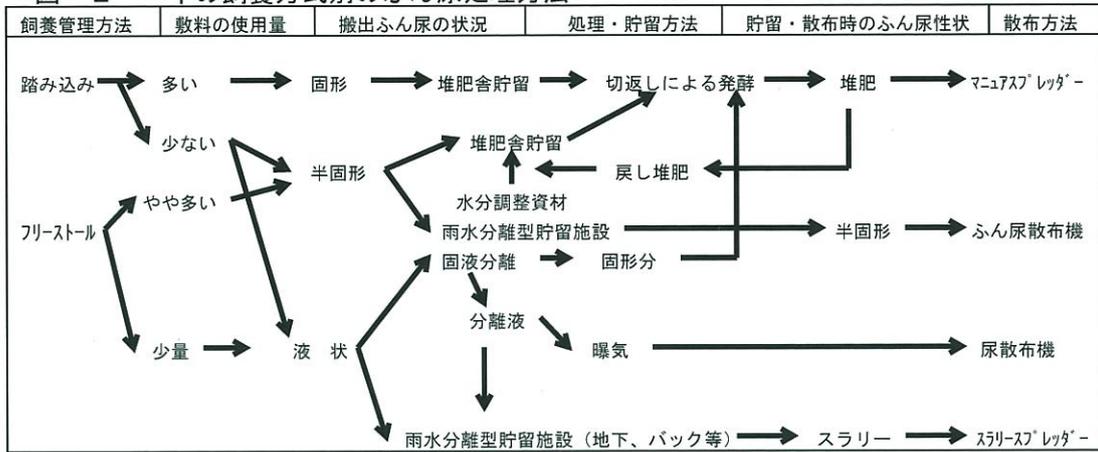
成)



### 3) 飼養管理体系別のふん尿処理方法

牛舎等から搬出されるふん尿・敷料混合物の性状は、飼養頭数やつなぎ、フリーストールのような飼養形態、用いられている敷料の種類及び使用量などによって大きく異なり、処理方法は北海道立農業試験場・畜産試験場のふん尿プロジェクト研究チームの、基本的な牛のふん尿処理方式を参考にして図-2のように示した。

図-2 牛の飼養方式別のふん尿処理方法



ふん尿性状や取扱いの改善方法として、固液分離処理や曝気処理等があります。それぞれの処理方式に共通するのは、①搬出からほ場散布までのいずれの段階においても、ふん尿が河川等へ流出しないよう細心の注意が求められる、②牛舎から搬出されるふん尿は、最終的にほ場等に還元されること等です。



### 4) 堆肥化に要する期間

堆肥化方式や飼養管理に用いられる敷料や水分調整の副資材によって異なります。一応の目安としては、中央畜産会の「堆肥化施設設計マニュアル」によると堆積方式では、家畜ふんのみの場合で2ヶ月間程度、作物収穫残渣との混合物で3ヶ月程度、木質物との混合物では6ヶ月程度と長くなります。

発酵槽を用いて数日～30日程度を一次処理（一次発酵）、その後堆積する方式で二次処理を行う場合は、堆積だけで行う方式よりも堆肥化期

間を短縮することができるかとされています。

#### 4. 堆肥舎における一次処理

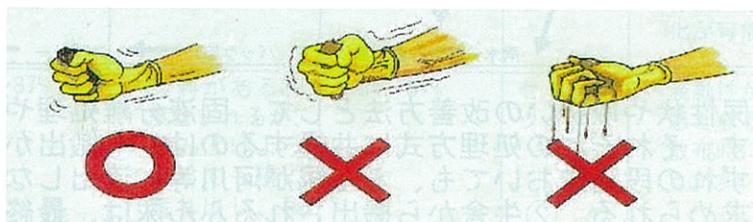
畜舎で排泄されたふん尿は、敷料との混合物となって更じょく作業により堆肥舎に持ち込まれます。持ち込まれた敷料と混合されたふん尿の性状は飼養体系により異なり、容積及び重量の判断は難しいのですが、ふんの量、敷料の種類等の目視とバケツでの搬出回数や搬入トラックでの台数で推定し、堆肥化処理作業においては容積重を確認してから開始します。

堆肥化の一次処理作業は良好な発酵に求められる水分調整となります。適切な水分率は、発酵時の外気温等によって異なりますので、ここでは寒冷地である家畜改良センター十勝牧場の主な事例を参考に説明します。

##### (1) 水分調整

ふん尿の堆肥化に適した水分率は概ね60～70%で、この状態のふん尿は畜舎から搬出し堆積しておくで、尿など排汁がにじみ出る程度です。

ちなみに水分率60%とは手で握りしめて、湿り気を感じるが指の間等から水が出てこない程度であります。



水分率が高すぎたり、低すぎると好気性微生物が活動できないので、水分調整を行うこととなります。水分を下げるには次の方法があります。

- ① 堆肥舎のエプロン等で天日乾燥させる。
- ② オガクズなどの水分調整資材を加える。
- ③ 戻し堆肥を混合する。

等ですが、オガクズ、戻し堆肥が十分確保されていない場合には、処理中途の堆肥原料を混合するなど考えられます。水分調整資材は、吸水する資材を選択することが必要です。

ふん尿・敷料混合物（以下「堆肥原料」）の水分が少ない場合には、散水による加水が必要となります。堆肥原料の吸水性が悪いと堆積物の表面を流れ落ちるだけになってしまいますし、散水しすぎた場合には排汁がにじみ出ることとなり、水分調整の役割を果たさないこととなります。

堆肥原料の水分調整には、微生物を活用する点から戻し堆肥の添加が有効です。添加に当たっては、堆肥原料の水分含有量及びふんの量を確認しながら適宜調整しますが、冬季は夏季に比較して発酵が遅いことから、水

分含有量が少なくなるよう調整し、発酵の促進を図ります。

また、冬季は発酵温度が上昇すると蒸気が堆肥の表面上部で外気温に冷やされて水滴となって滞留し堆肥内を水滴が下降して、排汁として流れ出ることがあり、このような状況が見られる場合には、再度水分調整のために副資材を混合する必要があります。

戻し堆肥を水分調整資材として活用する場合には、水分率の低い（40%以下）ものが適しています。但し、このような発酵処理済み堆肥は、発酵ふんや敷料資材が分解して粒子が細かくなっているため、多量に添加すると通気性を低下させることがありますので注意が必要です。

## (2) 均一な混合

堆肥化では軽視されがちですが、副資材の混合や切り返しによる水分調整では、均一な混合が重要なポイントです。混合が均一に行われない場合は発酵ムラが生じるため、堆肥化に長期間要したり均一な発酵が行われないことから、堆肥としての使用時に作物の生育を阻害すること等も危惧されます。容積重の均一性や通気性の確保のためにも注意が必要です。

### 均一な混合



## (3) 堆積方法と高さ

好気性発酵処理の場合、微生物は呼吸しているので酸素が必要です。酸素の供給のためには、堆肥の中に空気が流通できるすき間をつくることが重要です。ふん尿中の水分含有量が適正であっても堆積重で押しつぶされ、空気の流通が阻害されると微生物は活動できず、十分な発酵は行われません。

適切なふん尿の堆積方法は、バケツ等より落下させる時、一度に多量を落下させず、少量ずつ落下させるように堆積することで空隙が確保されます。この時の容積重は0.5kg／リットルに近づけ、堆積の高さは、発酵熱を保温するという観点から1m以上の高さとして発酵温度を蓄積することが重要です。また、2mをはるかに越える堆積は、堆積物の自重により、すき間がなくなるので堆積中央部の通気性が悪くなり、発酵が不均一になるので好ましくありません。

#### (4) 切り返し

切り返し作業は、好気性菌への酸素の供給と、資材の均一混合の両方の役割があり、一次発酵処理の初期は週1回程度行うことが必要です。冬季の場合あまり頻繁に行うと外気により内部温度が下がり、発酵を遅らせる原因となります。

堆肥原料の性状にもよりますが、順調であれば堆積後2～3日目には堆肥内で微生物の活動が活発となり、発酵熱で温度が60℃以上になります。堆肥舎で堆積した場合は、乾燥する表面近くや酸素供給できない中央部などでは温度が上がりきらない箇所も出現しますので、堆肥原料の全体が60℃以上になるよう繰り返し均一になるよう混合しながら切り返しを行うことが発酵促進の重要なポイントです。

なお、堆積物中の好気性菌が活動出来ない状態のまま放置すると原料の中が嫌気性に変化して悪臭がしたり乾燥しない状態になります。一度嫌気発酵すると、その後に切り返しても好気性菌の活動に適した環境を整えることは著しく困難ですので、適切な切り返しは好気性発酵処理の前提条件の一つです。

気温が高い夏季の切り返し作業は、空気を堆肥内に取り込むように行うことが鉄則です。しかし、寒冷地で外気温が低い冬季は、頻繁な切り返しは避け、切り返し作業は堆肥原料を置いていくように切り返し、堆積することで発酵熱の発散を最小限に押さえることが、冬季の切り返し作業の要点です。

#### (5) 温度計での確認

堆肥化の促進には、原材料の発酵状況を的確に把握し、温度があまり下がらない前に切り返しを行うことが、発酵を良好に維持する条件です。発酵温度を常に確認することが必要です。

温度の測定は、専用の温度計で行いますが測定位置によって温度差が大きいため、好気性微生物が活発に活動している堆肥原料の表層より70cm～1mでの測定が適切です。

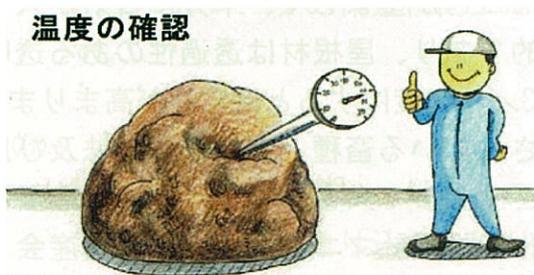
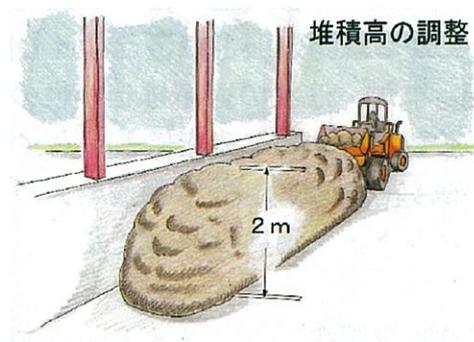
通常、切り返しによる堆積後の温度は60℃以上になるのが一般的で、もし温度の上昇が見られない場合は、①すでに堆肥原料の有機物の分解がかなり進んでいるか、②水分や空気の不足により好気性微生物の働きが押さえられているか等の理由が考えられます。

#### (6) 発酵状況の確認

堆肥化の進行状況は、視覚と臭覚で確認することができます。視覚による判断は堆肥原料の色調で行われ、①酸素の供給が十分に堆肥化が進むと堆肥原料は黒褐色を帯びて来て、②さらに進むと敷料など混合物の形状が壊れ、③その後、表層付近に放線菌や糸状菌による白色の菌糸が見られるようになり、この時点では発酵が終息に近い状態となっています。

なお、適切な切り返し作業が行われず、嫌気発酵した部分は黄緑色を呈してきます。

堆積した原材料の中央部は、視覚での確認ができないことがありますが、この場合は臭覚で確認することとなります。切り返しの時に好氣的に発酵している部位は堆肥臭となり、逆に嫌氣的発酵部位の場合には悪臭を放つので、好氣的発酵か嫌氣的発酵かを容易に判断することができます。





## 5. 堆肥処理施設

### (1) 処理・保管施設

家畜排せつ物法の「家畜排せつ物の処理又は保管用に供する施設の構造設備に関する基準」では、「固形状の家畜排せつ物の管理施設は、床面を不浸透性材料（コンクリート等汚水が浸透しないもの）で構築し、適当な覆い及び側壁を設けること」と定められています。

ふんや尿を敷料等で吸着させ固形状になったものを管理するための施設としては、堆肥舎や乾燥施設が一般的です。この基準では、このような施設から汚水が飛散したり、流失したりすることのないように、床をコンクリートで打設したり、防水シートを敷いたりすることが求められています。

屋根の付設は必ずしも義務付けられるものではなく、防水シートを敷き上から被覆シートで覆うなどの簡易な方法であっても良いとされています。

また、液状の家畜排せつ物の管理については、不浸透性材料で設置した貯留槽とすることとされ、尿やスラリーと言った液状の家畜排せつ物を管理するための施設は尿溜やスラリータンクが一般的ですが、不浸透性の防水シートを用いた貯留でも良いとされています。

### (2) 堆肥舎

- 1) 堆肥舎は、太陽熱を利用することが望ましく、十分に日射が入り込むよう開放面は南向きが理想的であり、屋根材は透過性のある透明樹脂板を用います。屋根傾斜は、3/10程度にすると滑雪性が高まります。
- 2) 堆肥舎の必要面積は、飼養されている畜種と飼養管理及び用いられる敷料並びに処理方法などによって大きく異なります。必要面積の算出に関する詳細は、堆肥化施設設計マニュアル（中央畜産会：平成12年10月30日発行）等の資料に掲載されているので参照して下さい。
- 3) 堆肥舎での作業は、ホイールローダなどで堆積した堆肥原料の切り返しが主体となるので、床はバケットの衝撃や凍結深度に耐える強度が

必要で、寒冷地では100mm厚以上の鉄筋入りコンクリート盤が望ましい。

壁は堆肥原料を積む高さ2m程度にあわせるべきですし、仕切壁はホイールローダがぶつかっても大丈夫なように150mm以上とすることが望まれます。



- 4) 堆肥舎は、ロータリー式攪拌発酵方式等の施設に比較して、①構造が簡易であるため面積当たりの建設単価が安く、②維持管理経費も安価であることに加えて、③水分調整と乾牧草等の敷料を多く含む長期間の発酵を必要とする堆肥原料の堆肥化作業に適しているほか、④他の発酵施設で発酵処理した堆肥の後熟の堆積場としても利用でき、⑤機械のトラブルが少なく、作業性がよいことから比較的Lowコストで堆肥化が可能、等の利点があります。

一方、①広い面積を必要とすること、②切り返し等の労力を多く必要とすること、③水分の多い堆肥原料は乾燥化が進まず発酵も不均一になることが多い、④適切な切り返しによる攪拌等きめ細かな処理管理が必要等の欠点があります。

なお、切り返し及び乾燥場所のスペースとしてエプロンを設けるとホイールローダの作業性向上が図られ、水分調整作業が容易となります。

### (3) 通気型堆肥舎

- 1) 通気型堆肥舎とは、堆肥舎の床面から強制的に送風し堆積した堆肥原料内へ空気を送り込み、切り返し作業に代わって好氣的発酵の促進を図るものです。
- 2) 寒冷地で気温が氷点下になる冬期間には、補助加温として暖房器具や送風機室を設けて温風を送風する等の方法が取られている施設もある。

ります。

- 3) 通気型堆肥舎の効果は、堆肥原料、通気量、通気管の配置方式で異なります。搬入された堆肥原料を直接投入する場合には、比較的水分調整が容易な肉用牛が有利で、使われている敷料もバークなど空隙の確保されるものが有効です。
- 4) 厳寒期においても、加温等を行わない送風のみでも発酵温度の上昇が緩慢ではあるが、発酵温度60℃を一定期間持続する傾向を示し、発酵と水分の蒸散作用が得られています。
- 5) 堆肥原料の水分含有率によって違いがありますが、水分率の高い堆肥原料に対して厳寒期に送風した場合には、夜間に表面でシャーベット状に凍結した氷が解け、堆肥原料の中へ流れ込む悪循環の繰り返しとなり、期待する発酵熱が得られないことがあります。



- 6) なお、ランニングコストを最小限に留めつつ効率的な発酵の促進を図る方法としては、あらかじめ堆肥舎で水分調整した堆肥原料を堆積し日中のみの送風で十分な効果が得られます。

#### (4) 発酵処理施設

- 1) 家畜改良センター十勝牧場では、ハウス型上屋での屋根は、透明の樹脂板または透光性が良く寒冷時にも硬化することなく滑雪性能が高い、裂けない、破れないなどの利点をもったフッ素フィルム等を使用し、太陽熱を利用して蒸散作用を促進しています。発酵促進のため直線の単列または複列の上面が開放された発酵槽（幅5～10m、深さ1.2

m、長さは70m)にロータリー式の強制攪拌装置を設置しています。屋根勾配は、水滴が発酵槽内に落すことを最小限にするため5/10にしています。

- 2) 堆肥原料を発酵槽の一方から毎日定量投入し、攪拌機の回転により前方へ送り、他方から発酵等処理を終了した製品を取り出します。

発酵槽の床面は、赤土等の土間(防水シート敷設)として処理堆肥中の水分の吸収等調整できるようになっているのが一般的です。床面から強制送風して発酵する施設も開発されています。



- 3) 施設整備費は嵩みますが、①攪拌が自動的に行われるため省力化が図られるほか、②処理済み堆肥は製品性状が均一で取り扱いが容易であるなど利点があります。

反面、①維持費が嵩むほか、②攪拌処理時に堆肥舎同様に悪臭が発生する場合があります。アンモニアガスによる施設機材の防錆対策には、上屋の構造(母屋)に板材を使用することが有効です。

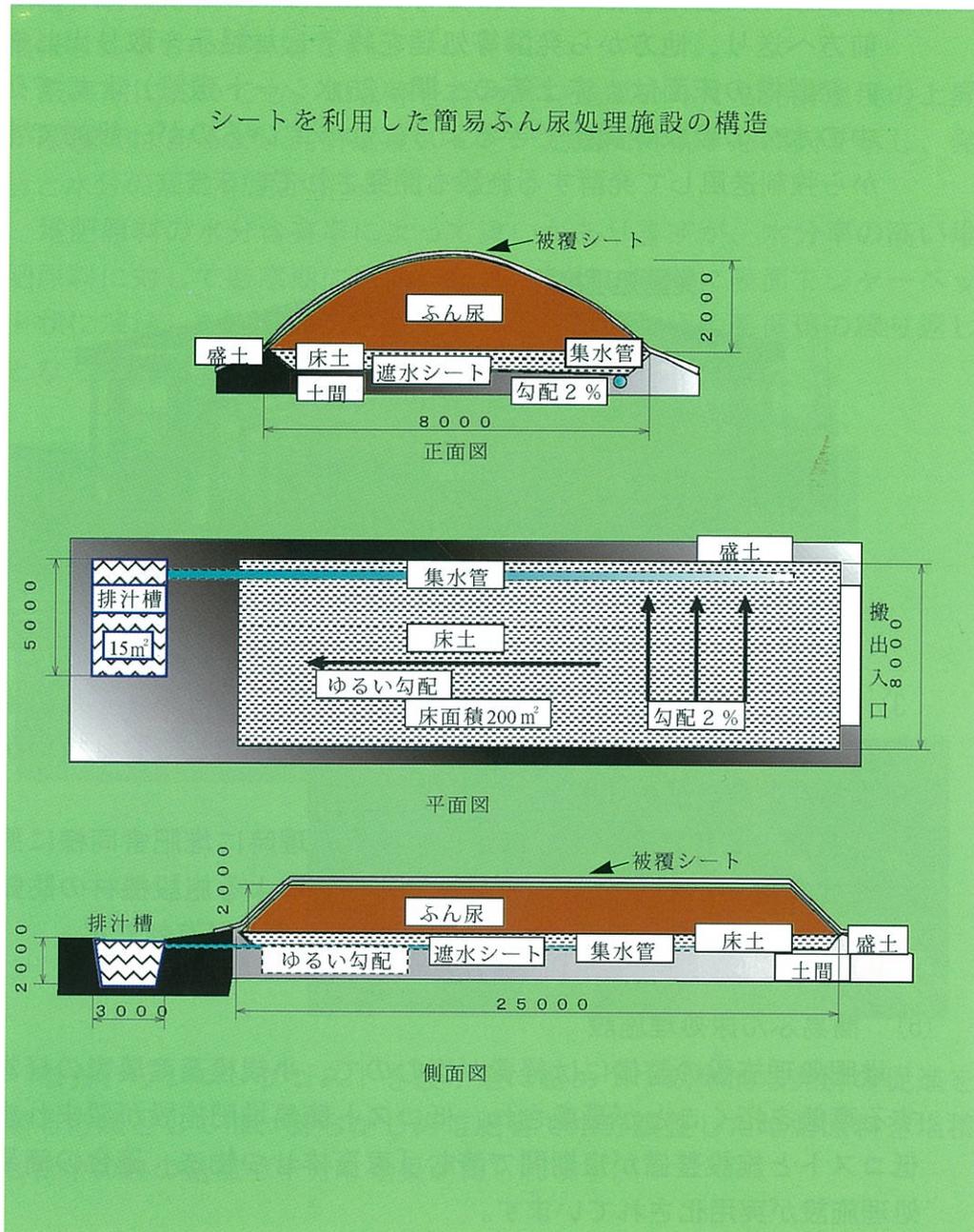
#### (5) 簡易ふん尿処理施設

堆肥処理施設の整備には経費が嵩むので、小規模畜産農家の経営を圧迫する事態を招くことが憂慮され、低コスト簡易堆肥施設が望まれます。低コストと施設整備が短期間で済む「家畜排せつ物法」適合の簡易ふん尿処理施設が実用化されています。

この施設は北海道立畜産試験場で考案されたシートを用いたシンプルな構造で排汁を漏らさずにふん尿を管理する方法です。特長は、①簡単な構造で安価、②短期間で施工が可能、③自家工法や共同作業での設置が可能等があげられます。

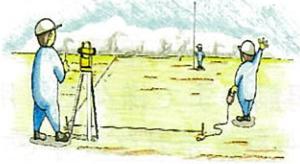
十勝牧場で設置した簡易ふん尿処理施設（実証展示施設）

シートを利用した簡易ふん尿処理施設の構造

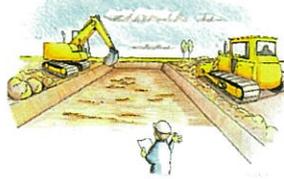


## 簡易ふん尿処理施設施工手順

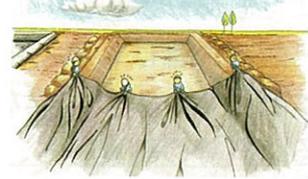
① 測量



② 土間の掘削



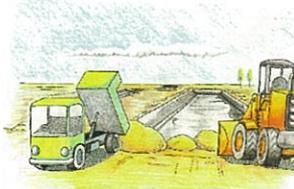
③ シート敷設



④ 集水管設置



⑤ 基盤整備（火山灰等）



⑥ 基盤の整地・鎮圧



⑦ 排汁槽の設置



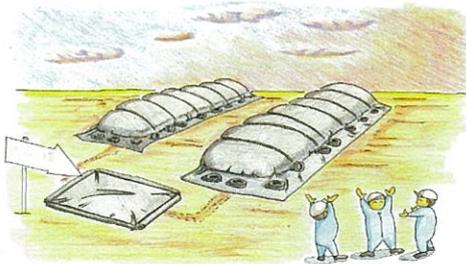
⑧ ふん尿の堆積



⑨ シートで覆う



⑩ 完成



野積みは罰せられます



## 6. 独立行政法人家畜改良センター十勝牧場における家畜ふん尿処理の事例

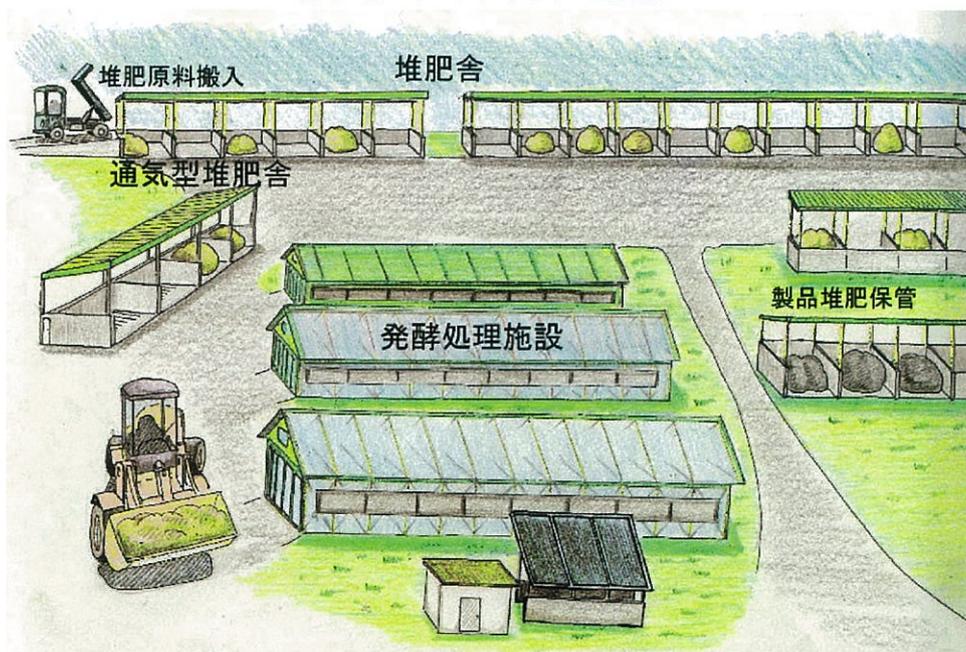
独立行政法人家畜改良センター十勝牧場（以下「十勝牧場」）は、北海道の道東に位置し、気温の最も高い8月でも平均気温25.5℃と比較的冷涼です。気温の最も低い1月の平均気温は-16.2℃で、日によっては-30.0℃となることもあります。

飼養家畜は、肉用牛、乳用種雄牛、馬（重種主体）、めん羊です。飼養形態は畜種等によって異なり、ルーズバーンから単房飼いまで様々で、用いられる敷料等の副資材も、低質乾牧草、えん麦稈、バーク、オガクズ等ですので、排出されるふん尿の性状も畜種等によって大きく異なります。

年間に排出されるふん尿（敷料を含む）は、概ね10,200トンですが、搾乳牛が飼養されていませんので雑排水等汚水の排出はありません。

排出されるふん尿の処理は、適切な家畜防疫を図るため畜種毎、飼養基地毎の処理を基本として、畜種間、飼養基地間のふん尿を混合することなく堆肥化処理し、その全量を自場のほ場に還元しています。

十勝牧場における堆肥処理施設



堆肥原料を堆肥舎で一次処理 → 通気型堆肥舎へ搬入 → 発酵処理施設  
(水分調整及び切り返し等による発酵) (発酵促進と水分蒸散) (発酵と乾燥)

(1) 家畜ふん尿排せつ量の算出

ふん尿の排出量は、家畜の種類・体重、給与飼料の種類・質・量・生産能力、さらに飲水量、飼養体系、季節など諸条件によって大きく変動するため、その量を正確に把握することは著しく困難です。十勝牧場では、堆肥処理施設整備に必要となる畜種別ふん尿の排せつ量の算出を表－５の数値を参考としています。

表－５ 畜種別ふん尿排せつ量の算出基礎 (単位：kg)

畜種	種	体 重	1日1頭あたり排せつ量	
			ふ ん	尿
肉用牛	2才未満	200～400	16	7
	2歳以上	400～700	18	7
乳用種雄牛	乾乳牛相当	550～650	21	6
	育成牛	40～500	16	7
馬		500	10.1	12.4
めん羊		20	0.3	0.5
		40	0.6	1.0

注1：牛は、中央畜産会「堆肥化施設設計マニュアル」より抜粋。

注2：馬及びめん羊は、(財)畜産環境整備リース協会「畜産環境整備のための技術及び機械装置集(1993)」より抜粋

(2) 飼養頭数及びふん尿混合物排出量

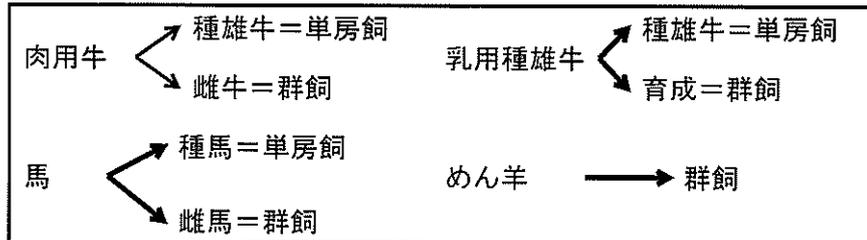
ふん尿・敷料混合物の排出量は、畜種毎に飼養体系が異なるため、畜舎からの排出時に使用する作業機(ホイールローダ)のバケット回数をもとに年間の処理量を把握しています。しかし、敷料の種類(低質乾牧草、麦稈、木質系資材)、放牧期間、頭数により季節的に変動します。

表－６ 畜種別飼養頭数と処理量(平成14年度) (単位：頭・m3)

畜種	平均頭数	月別の敷料混じり・ふん尿発生量												
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
肉用牛	成	404	893	879	1,082	883	842	1,024	911	904	1,028	1,034	990	1,081
	育	109												
	子	162												
乳用種雄牛	成	43	401	435	401	435	435	380	435	380	435	435	358	435
	育	42												
	子	41												
馬	成	152	504	454	174	62	62	60	62	60	525	525	504	504
	育	63												
	子	37												
めん羊	成	64		88			24		8				74	
	育	12												
	子	30												

### (3) 飼養家畜のふん尿の排出方法

畜種、単房飼、群飼い等飼養管理体系と利用している敷料の種類及び使用量によって、排出されるふん尿の性状と水分率は異なりますが、概ね70%前後で推移し、多量の排汁が出る状態ではありません。冬季は外気温が-20℃以下となることも珍しくなく、畜舎内のふん尿の凍結も見られます。



#### 1) 肉用牛

肉用牛の飼養管理は、種雄牛が単房飼、雌牛は群飼が主体です。妊娠牛のみを5月から11月中旬まで放牧し、種雄牛、肥育牛、子牛は技術開発等調査実験等のため通年舎飼しています。

舎飼期に用いられる敷料は、乾牧草と麦稈が主体です。一部の畜舎では戻し敷料やバークを用いています。

ふん尿の排出頻度は、牛舎毎の收容頭数及び收容家畜の月齢等によって異なり1～2週間に1回間隔です。戻し敷料を利用している牛舎は、概ね週1回トラクタに装備したロータリーで表層を攪拌し、敷料表面の水分調整を行い、戻し敷料の表面が固くなる3ヶ月毎に搬出しています。

ふん尿の排出はホイールローダまたはトラクターで集積し、ダンプトラックで堆肥舎へ運搬します。

#### 2) 乳用種雄牛

乳用雄牛は、成牛が単房式で育成牛は群飼、子牛はカーフハッチ及びスーパーハッチで3ヶ月管理しその後群飼されています。

子牛以外は、全頭通年舎飼で1週間の間隔で敷き詰の乾牧草の敷料とふん尿をホイールローダで集積し、ダンプトラックで堆肥舎に運搬しています。

#### 3) 馬（農用馬）

馬は、種雄馬と繁殖雌馬です。飼養管理は、種雄馬が単房式で通年舎飼、育成馬（雌）及び成雌馬は群飼、5月上旬より11月末までの間は放牧、冬期間は舎飼となります。

種雄馬のふん尿の排出は、毎日手作業で汚れた部分のみを排出し、馬

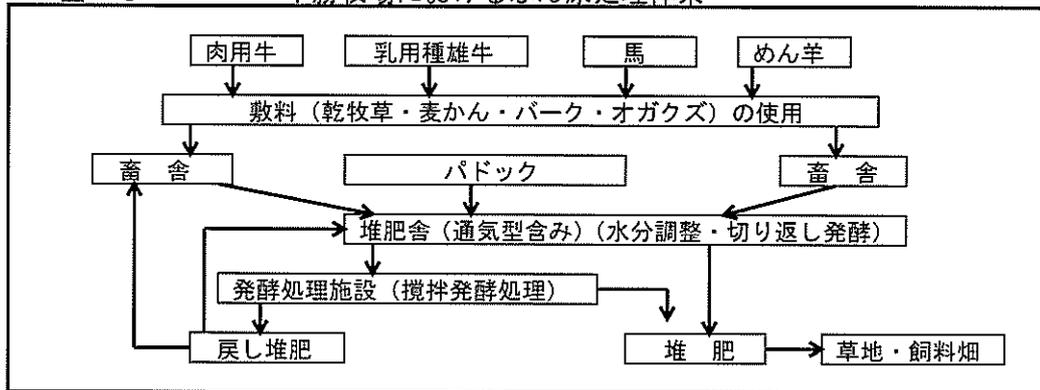
房全体が汚れた時点で敷料の麦稈を入れ替えています。種雌馬は12月から5月まで4週間毎の間隔で厩舎内に敷き詰の乾牧草の敷料とふん尿をホイールローダで集積し、ダンプトラックで堆肥舎へ搬出しています。

#### 4) めん羊

めん羊は群飼、5月から11月中旬まで昼夜放牧による管理をしています。一部の実験羊等が舎飼管理で、夏季も処理の必要な敷料とふん尿が排出されます。

冬期間は全頭舎飼で敷料として乾草を敷き詰し、ふん尿の排出は2月と5月に敷料とふん尿をホイールローダにより集積し、ダンプトラックで堆肥舎へ運搬しています。

図-3 十勝牧場におけるふん尿処理体系



#### (4) 排出されるふん尿の性状

1) 畜種及び管理施設と飼養管理体系によって排せつされるふん尿の性状は大きく異なります。

北海道立農業試験場・畜産試験場の家畜糞尿プロジェクト研究チームは水分率84%未満を固形状、水分率84~87%を半固形状、水分率87%以上を液状に区分しています。これで見ると、十勝牧場で排出される各家畜のふん尿の性状は、いずれも低品質乾牧草や麦稈、木質系等の敷料資材を十分利用しているため、ほとんどが固形状(75%以下)の分類となります。堆肥化が容易にできるものに分類されます。

2) 家畜毎のふんの性状を見ると、牛のふんは水分が多く柔らかで取扱いづらい性状に対して、馬及びめん羊は固まり状の形状を呈しており、取り扱いやすく堆肥化も容易です。

3) パドック内のふん尿については、夏季の場合太陽熱で水分の蒸散が図られ、ホイールローダ等により集積しダンプトラックで堆肥舎に運搬しています。パドックには屋根が設けられていないため、ふんが散乱している等の状態を放置すると降雨時に流失するので、パドックは

常に清掃に努めています。

また、寒冷地である当地は冬季の積雪が多いことと外気温が氷点下になるため、ふん及び尿が凍結して雪が混入し処理が困難となるので降雪の都度排雪を行っています。

#### (5) ふん尿処理

飼養している家畜はいずれも敷料を用いた管理がなされているため、排出されるふん尿の水分率は70%以下で排汁が少なく、堆積と切り返しが容易です。このため、堆積方式の堆肥舎で水分調整・切り返し攪拌等の一次処理を行い、強制攪拌処理を発酵処理施設で行っています。

堆肥処理の基本は、①好気性微生物による発酵処理と、②終末処理のほ場散布です。全量をほ場還元をするため有害物質となる疾病要因の抑制と雑草種子の死滅等を目的とした処理に努めています。

#### (6) 堆肥処理施設

##### 1) 一次処理用堆肥舎

ア、水分調整に関わる蒸散作用の促進には太陽熱の利用が経済的で有効であることから、十分に日射が入り込むよう開放面は南向きとして、屋根材には透過性のある透明な合成樹脂板を用いています。

イ、一次処理の作業の主体は、ホイールローダによる切り返しと戻し堆肥を用いた水分調整であるため、間仕切りの壁は堆肥を積む高さ2mにあわせて設置し、1スパーンの幅は10mでホイールローダがぶつかっても大丈夫なように間仕切りの壁は150mm以上の厚さとしています。また、ホイールローダの作業性と水分調整場所としてエプロンを設けている。エプロンは、凍結深度を考慮して、120mm以上の厚さの鉄筋コンクリートとしています。

ウ、堆肥舎での作業は、畜舎より排出されるふん等（ふんと尿吸着敷料）を堆積し、発酵促進のため定期的にホイールローダで切り返し攪拌を行っています。この一次処理方法は低質乾牧草等の敷料を多く含み、長期間の発酵を必要とする場合に適しています。

堆肥原料の受け入れ



切り返し攪拌



水分65%程度まで調整



## 2) 通気型堆肥舎の活用

通気型堆肥舎は、床面に通気管が埋設されて堆積した堆肥原料へ強制的に空気を送り込み、好気性菌の活発な活動によって腐熟の促進を図る施設です。

十勝牧場での通気型堆肥舎の活用は、一次処理で水分調整と好気性菌の活動の環境を整えた堆肥原料を堆積して、再度切り返しを行って堆肥原料に含まれる水分の蒸散と腐熟の促進を図っています。

## 3) 発酵処理施設（ロータリー式攪拌装置）

堆肥舎と通気型堆肥舎での切り返しによって、発酵が進み水分を約70%以下に調整した堆肥は、ロータリー式攪拌装置に投入してさらに腐熟と水分の蒸散を図っています。

発酵処理施設内部



ロータリー式攪拌装置による作業風景



## (7) ふん尿処理機材

### 1) ロータリー式攪拌装置

ア、攪拌装置の構造は、攪拌主軸パイプに取り付けられた攪拌棒に鉋刃が固定され、攪拌主軸パイプの回転によって投入側の堆肥原料を排出側に移送しながら攪拌を行う方式です。発酵槽の深さは一般的には0.5～2mであり、攪拌幅は発酵槽の全幅または半分の幅となります。

イ、十勝牧場へ導入されているロータリー式攪拌装置は表-7に示す3機種で、発酵槽の深さは、冬季間室内の温度が0℃以下となりますので発酵温度の保持の観点から、深さは1.2mとしています。

表-7 ロータリー式攪拌装置の仕様

型式	D-1200-5	D-1200-4W	NDR-1200-5W
全長 (mm)	70,000	70,000	70,000
全幅 (mm)	11,338	9,473	11,365
攪拌時全高 (mm)	3,145	3,290	3,084
発酵槽の深さ (mm)	1,200	1,200	1,200
攪拌幅 (mm)	4,950	4,017	4,900
走行速度 (m/分)	0.4	0.4	0.56

ウ、使用上の留意点は、

- ① 攪拌時の抵抗を軽減し、スムーズな回転を得るために堆肥原料の水分率を70%以下に調整してから搬入する、
- ② 攪拌棒への衝撃による損耗を防止するために堆肥原料に石や鉄片など異物が混入しないようにする、
- ③ トラブルは比較的少ないのですが、冬季は攪拌時に発生するアンモニア混じりの水蒸気の付着により腐食するため、駆動チェーンやベアリングの給油等保守管理を1週間毎に実施し、
- ④ 日々の保守管理はチェーン部の注油が主体となりますが、時間を要することからオイル点滴器具を別途装備しました。

ロータリー式攪拌装置



オイル点滴器具



- ⑤ また、攪拌棒は使用頻度にもよりますが3年程度で摩耗するので交換品を事前に準備しています。

## 2) ホイールローダ

牛舎内のふん尿の搬出、堆肥舎における堆肥原料の切り返し作業、材料並びに製品の運搬用として広く使用しています。

ホイールローダの作業用アタッチメントはフォークとバケットで、畜舎からの更じょく物の搬出と堆積堆肥の切り返し作業にフォーク、切り返し等で原料堆肥中の有機質が分解して敷料等副資材が細かくなった状態ではバケット作業とアタッチメントを使い分けています。

堆肥処理施設に配置しているホイールローダ



ホイールローダの日常点検は、旋回・屈曲箇所の油脂注油、切り返し等の衝撃による亀裂の有無を日々確認しています。

表－８ 十勝牧場で堆肥処理に用いているホイールローダの仕様

型 式	LX120	910F	910E	FL310
バケット容量(m3)	2.9	1.3	1.3	1.3
全 長 (mm)	7,550	6,100	6,080	6,180
全 幅 (mm)	2,700	2,400	2,430	2,350
全 高 (mm)	3,310	3,050	3,050	3,000
ブーム最高(mm)	3,970	3,410	3,410	3,380
出 力 (ps)	162	81	81	95
総排気量 (cc)	6,788	4,249	4,390	4,329
使用場所	堆肥処理施設	肉用牛舎	乳用雄牛舎	馬・めん羊舎

### 3) 送風機

送風機は床面に設置された通気管から、空気を強制的に堆肥原料の底部へ供給するものと、通気型堆肥舎及び発酵処理施設での送風による堆肥化の促進に使用しています。

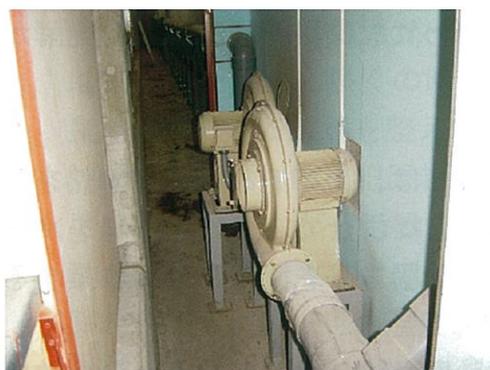
使用している送風機は、高圧タイプと風量タイプで、高圧タイプは堆肥原料の水分が多く面積の広い通気型堆肥舎、風量タイプは堆肥原料の水分調整後に処理する発酵処理施設の発酵槽で使用しています。

送風機の日常の点検では、モーターの外面にほこりがたまっていないか確認し、送風を妨げないように清掃し、3ヶ月ごとに、振動・異常音発生の有無、1年毎に絶縁を点検しています。

表－９ 十勝牧場で使用している送風機の仕様

型 式	KSB-1500	VB-004S-E
相数・電圧(V)	3相・200V	1相・100V
出 力 (kw)	1.5	0.35
回転数 (rpm)	2,800	3,000
最大静圧 (kpa)	2.75	8.8
最大風量 (m3/min)	35	1.7
設置場所	堆肥舎	発酵処理施設

通気型堆肥舎内の送風機



送風機の配置



## (8) ふん尿処理上の留意点

### 1) 一次処理

#### ア、最適な処理方法を見いだす

好気性発酵処理は、単に施設と機材を整備しても、必ずしも適切な処理が出来るものではありません。堆肥原料の性状、堆肥処理施設、気象環境等によって調整処理方法が異なるので、発酵条件など基礎的な事項をもとに試行錯誤を繰り返しながら早期に堆肥原料にあった処理方法を見いだすことが重要です。

十勝牧場においても施設の整備を図り、堆肥処理マニュアルに従って堆肥化に取り組みましたが期待する成果を得ることができませんでした。堆積した堆肥原料の水分調整、米ぬかの添加、マニユアスプレッダーによる切り返し等種々試みましたが、いずれの方法でも的確な好気性発酵を促すことができませんでした。

試行錯誤を繰り返す中で、①畜舎から搬出された堆肥原料の嫌氣的酵、②発酵の促進を図る一次処理時の寒冷時における切り返し作業方法の2点が大きな課題として指摘されました。

#### イ、堆肥原料の嫌氣的発酵が問題

一般的に堆肥処理施設が整備され、最初に堆肥原料の処理作業に入る場合、それまでに畜舎から搬出され堆積された堆肥原料を用いようと考えますが、堆積され長時間経過した堆肥原料は嫌氣的発酵が進んでいます。一度嫌氣的発酵した堆肥原料を好氣的発酵へ転換するのは困難です。

初めて堆肥原料を処理する場合は、畜舎から搬出された堆肥原料を堆積放置することなく、5～7日間隔で切り返し作業を行うことによって、施設内に好氣的発酵に必要な微生物を多く常在させることができます。

なお、畜舎から排出された堆肥原料を堆積放置すると、夏季は短期間で嫌氣的発酵し、冬季に発酵が行われなない場合は凍結して発酵が困難となります。

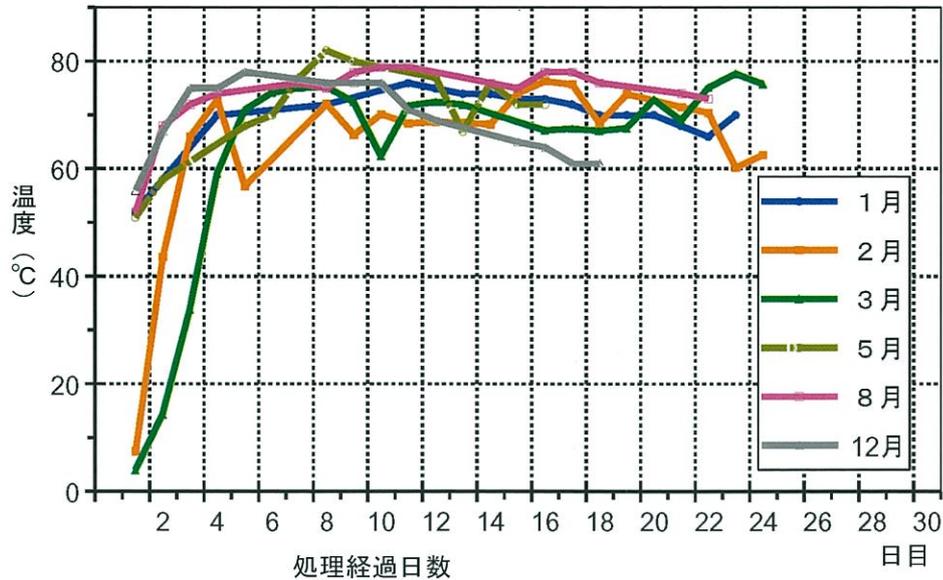
#### ウ、寒冷時の切り返し作業が課題

寒冷地での一次処理時の切り返しは、①可能な限り発酵熱を低下させないように短時間で作業することに併せて、②堆肥原料を冷たい外気の中でバラバラにせず、小さな固まりを置くように作業することが良好な発酵温度維持の要点です。

十勝牧場が過去の試行錯誤から見いだした要点を用いた一次処理の切り返し・攪拌によって得られた月別発酵温度の経時的変化が図-4

です。

図-4 月別一次処理（切り返し・攪拌）の経時的变化



夏季においてはスムーズに発酵温度が60℃以上になり、条件が良ければ80℃まで上昇しています。しかし、冬季においては、堆肥原料（ふん尿）の性状、敷料として用いた戻し堆肥の混合割合、外気温によって発酵熱の温度状況は大きく異なります。特に、2月、3月の厳寒期は、堆肥原料にもよりますが温度上昇が緩慢になったり、堆肥化初期の切り返し時に外気温の影響を受け一時的な堆肥温度の低下が見られます。

#### エ、寒冷地における堆肥化

寒冷地においては、夏季は外気温が高いことから、堆肥化を進行させるための条件の栄養分、空気（酸素）、水分が十分調整されていれば、比較的スムーズに好気性発酵が進み堆肥化できます。

それに対し、北海道の冬季は、外気温が昼夜を通して氷点下（十勝地方の場合、最低気温が-20℃以下）になることから、微生物の活動は鈍く堆肥化にも多くの時間及び期間を要するので、いかに微生物が良く活動できる環境を整えるかが重要な技術となります。

好気性微生物は堆肥原料の温度が5℃から、空気と水分が十分供給されていると緩慢ながら活動を始めますが、堆肥原料を発酵させるのに必要な活動を期待するには時間が必要で、適切な発酵には処理する堆肥原料が10℃程度以上の温度を保持していることが理想です。

冬季の厳寒期は、温度上昇が緩慢となり、堆肥化初期の切り返し時に、低い外気温で堆肥内の温度が低下しますが、極力熱を逃がさない

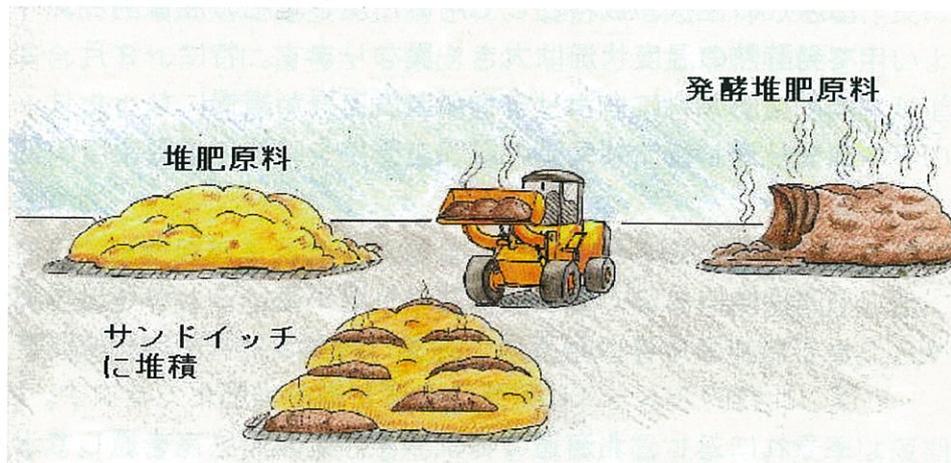
など適切な保温管理と繰り返し技術を駆使して行えば、繰り返し後の発酵による温度上昇が見られ、堆肥化は十分に図ることができます。

寒冷地における堆肥化の課題は、いかに微生物が活動できる堆肥中の熱を保つかです。このためには堆肥原料を冷やさないよう繰り返し等の処理作業を素早く行うことが最も重要です。

#### オ、氷雪混じりの堆肥原料（融解処理）

寒冷地では、畜舎やパドックから搬入される堆肥原料は氷や雪が混入したり、尿が凍結してシャーベット状になったものや大塊状の更じよく物も堆肥原料として堆肥舎に搬入されます。このような性状の堆肥原料は融解させることがまず必要です。

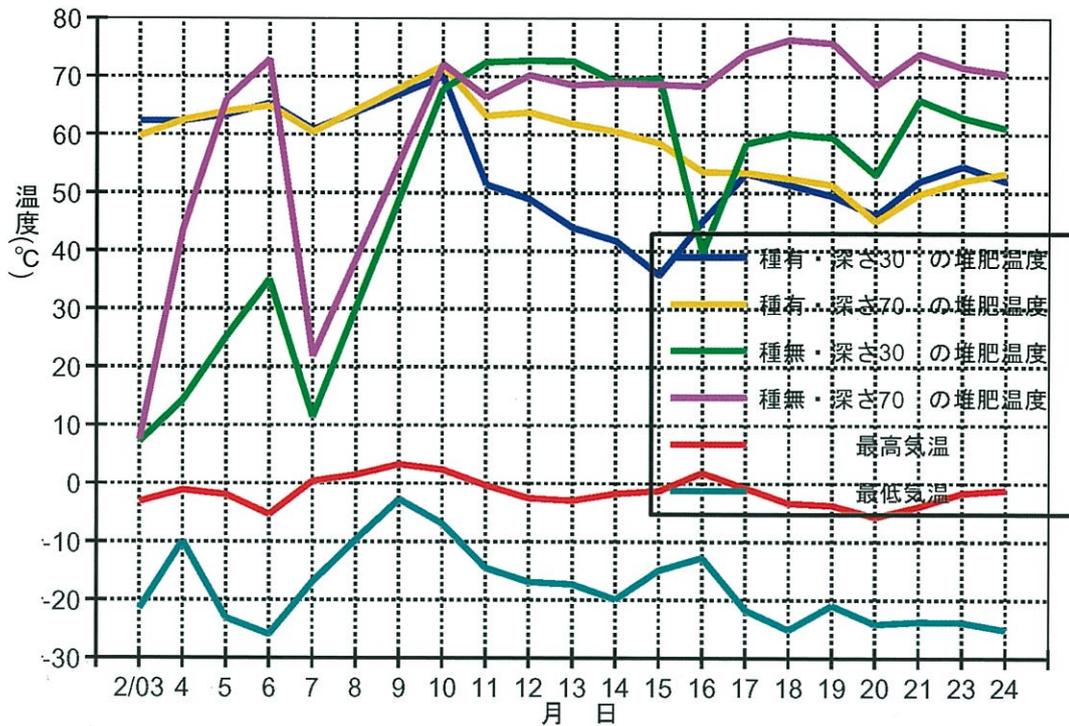
凍結や氷塊の混入した堆肥原料は、あらかじめ65℃以上に調整した種堆肥を確保しておき、1対1の割合でサンドイッチのように積み重ねて堆積し、発酵熱を利用して融解して堆肥化します。頻りに繰り返しを行うと発酵熱が奪われるので繰り返し作業は5～10日間隔程度にとどめ、堆積物はバラバラにした攪拌は行わず、移動させるようにして繰り返します。



この方法で調整した堆肥原料の発酵状況と従来の種堆肥無しの堆積による発酵状況の経時的変化を比較したのが図-5です。堆肥の発酵温度の推移は、種堆肥を利用した場合は発酵温度が堆積当初より60℃に保持されているのに対して、種堆肥無の方は緩慢な温度の上昇で60℃以上に達しているのが分かります。このことから、厳寒期の氷塊などが混入した堆肥原料であっても、発酵温度の上昇に差は生じますが堆積方法や繰り返し方法等によって、堆肥化を図ることが可能で、より効率的な堆肥化処理には種堆肥の利用が有効な手法であると言えま

す。

図-5 種堆肥の有無による堆肥の経時的変化



注1：切り返しは、2月6日、15日、19日に実施した。

#### カ、凍結した堆肥原料

厳寒期にパドック内や堆肥舎で完全に凍結した堆肥原料は微生物の活動が押さえられるので堆肥化は困難です。凍結した堆肥原料は冬期間堆肥舎に一時貯留して寒気がゆるみ融解が始まる春先から順次堆肥化することとなります。融解による排汁がにじみ出るので副資材を用いた水分の調整が必要です。

### 2) 通気型堆肥舎による処理

#### ア、通気性

通気型堆肥舎は、堆肥舎の床面からの強制的な送風によって堆積した堆肥原料内へ空気を送り込み、頻繁な切り返し作業を行わずに好気性発酵の促進を図るものです。通気システムは、堆肥原料、送風機の通気量、通気管の配置方式により、機能は異なりますし、搬入された堆肥原料を直接投入する場合には堆肥原料の水分含有率・容積重など通気性に注意することが必要です。十勝牧場が通気型堆肥舎を用いているのは、処理する堆肥原料は肉用牛の更じょく物が主体で比較的水

分調整が容易であることからです。

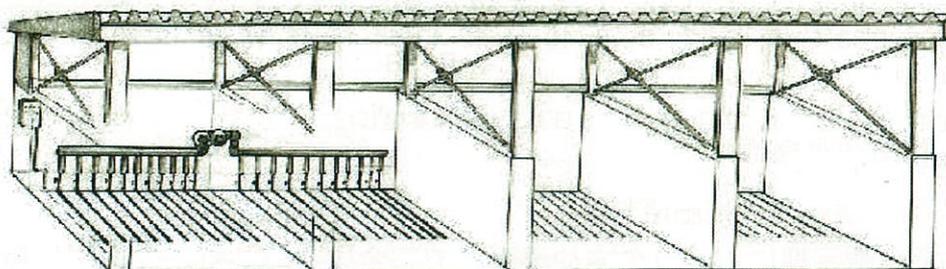
寒冷地では、通気システムを取り入れても、設置上の問題や取り扱いの誤りによって機能していないか、期待した好気性発酵処理による堆肥化ができない事例も見受けられます。導入に当たっては機種の特性や通気の方法、堆積量に必要な風量や圧力等事前に見聞きする等検討が必要です。

#### イ、十勝牧場の活用事例

十勝牧場での通気型堆肥舎の活用は、あらかじめ堆肥舎で適正に水分調整し発酵が進んだ処理途上の堆肥原料についての発酵段階に用い、この段階を経て、発酵処理施設のロータリー式攪拌装置に移ります。

切り返しは、底部より空気を取り入れることで好気性発酵が保たれるので夏季は4週間（原料によっては2週間）に1回程度、冬季は2週間に1回の割合で実施していますが十分な発酵が得られています。

通気型堆肥舎



なお、冬期間の昼夜連続通気は、夜間の冷たい外気を取り入れることから、堆肥内の温度を低下させることが考えられるので、日中の6時間送風をしています。

日中の通風時間は、堆肥原料中の水分含有率によって異なりますが、概ね6時間（9時～15時）の送風にとどめています。また、送風装置にもよりますが送風は必ずしも温風でなくても効果が発揮され、十勝牧場では送風のための暖房は用いていません。

#### ウ、通気管の保守管理

通気管は発酵堆肥などによって目詰まりが生じますので、発酵による分解の遅い資材を選択することが有効であり、木質材やモミガラ等を通気管の溝に沿って敷き詰めています。

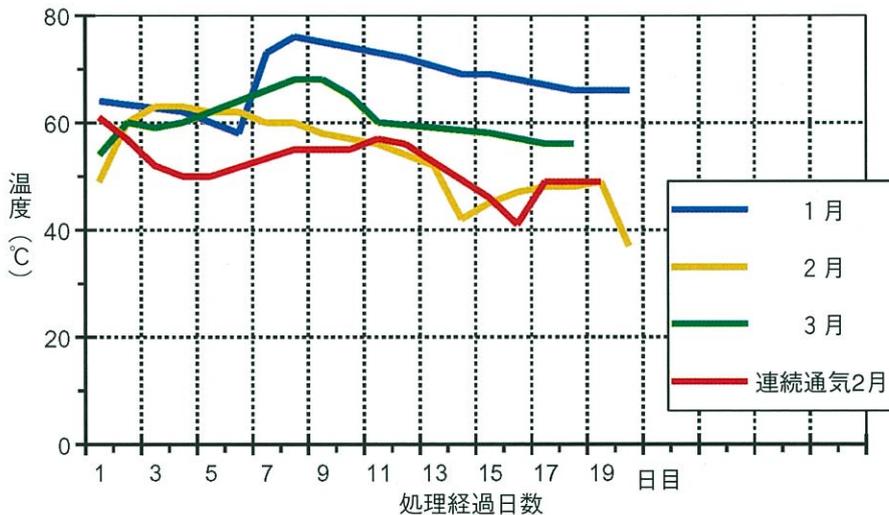
通気型堆肥舎の維持管理は、切り返し毎に通気管の目詰まりの清掃と被覆資材の補充もしくは交換が必要です。

## エ、発酵温度の推移

図－6は通気型堆肥舎での堆肥の経時的発酵温度の変化を比較したものです。2月は送風機による送風は日中6時間と昼夜連続通気で比較しています。

厳冬期は発酵温度の上昇が緩慢な上、60℃以上保持する期間が短くなる傾向になり、堆積した堆肥上部の表面がシャーベット状か一部凍結します。また、連続送風した場合には夜間の冷気が送風機により送り込まれるため、日中6時間通気に比較して堆肥温度は低く推移していることから厳寒期の連続送風は逆効果となることが考えられます。

図－6 通気型堆肥舎の送風による堆肥温度の経時的変化



## オ、水分含有率・容積重の推移

搬入時と搬出時の水分及び容積重からみると、夏季は十分な蒸散が図られています。冬期間は蒸散が少なく堆肥上部に水滴が見られ、堆積期間（発酵期間）が長くなり堆肥内の水分が多くなって、水分および容積重が増加します。水分含有率が増すと、堆肥内の水滴は下降して堆肥舎床面より排汁として流れ出ることもありますので、通気型堆肥舎への堆積堆肥は十分な水分調整が必要です。

表－ 10 通気型堆肥舎の月別処理時の水分含有率と容積重

項目 / 月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
水分含有率 (%)	搬入時	58.5	48.2	51.6	51.4	63.0	54.2	64.6	53.4	63.8	68.2	68.6	63.4
	搬出時	57.5	45.5	48.6	48.8	58.9	52.1	57.8	52.7	62.4	68.3	69.7	61.9
容積重 (kg/斗)	搬入時	0.44	0.43	0.41	0.30	0.38	0.42	0.45	0.50	0.41	0.38	0.44	0.48
	搬出時	0.42	0.38	0.38	0.26	0.32	0.35	0.39	0.47	0.39	0.38	0.46	0.47
堆積日数	8	15	6	5	13	14	15	7	14	34	16	10	

注1：堆積高さは2mとし、切り返しは1月のみ1回実施した。

注2：送風の際に暖房機による加温は実施していない。

### 3) 発酵処理施設による処理（ロータリー式攪拌装置）

単に堆肥原料を投入して攪拌装置で強制的に発酵処理させようとしても、発酵に必要な栄養と送風等の条件が揃っていなければこの施設でも堆肥化はできません。

#### ア、水分

事前に切り返しに等によって水分が調整され通気等が確保された堆肥原料を投入することが重要です。ある程度の発酵が得られた水分が高い堆肥原料の場合は、攪拌装置で移送される途上で水分は低下しますが、製品は荒い粒子状になります。適切に前処理された堆肥原料を投入すると、ホイールローダなどの切り返しに比べ堆肥原料全体がまんべんなく攪拌されることから、均一で良質な製品を生産することができます。

発酵処理施設でのロータリー式攪拌装置による堆肥処理では、季節により水分の蒸散量が大きく異なります。発酵槽内の堆肥原料中の水分含有率、容積重、堆肥温度の変化を表－11で見ると、夏季は水分の蒸散が進み投入口より60m地点で水分率35%以下になり堆肥原料は微細な性状でほこりが立つほどになりますが、冬季は水分の蒸散が少なく50～55%前後です。

容積重は、夏季は投入口より30m地点で、冬季は10m地点で一番軽く、60m地点では、微細な性状になって密度が多くなり重くなります。

#### イ、温度

堆肥の温度は、発酵槽に通気管を設置されているいないに拘わらず、夏季は処理期間中50℃以上を保ちます。

冬季については、10m～20m地点に通気管が設置されている発酵槽は、通気装置付近で66℃以上を確保していますが、40m以降では43℃以下に低下します。通気管のない発酵槽は堆肥温度が50℃程度までしか上がらず30mで43℃以下に低下しています。

冬季の発酵処理で通気を行わない場合には、堆肥温度を保持するた

め攪拌行程（2～3日／1回程度）の検討や一次処理において発酵温度を確保する等の対策が必要です。

通気システムを備えた発酵処理施設

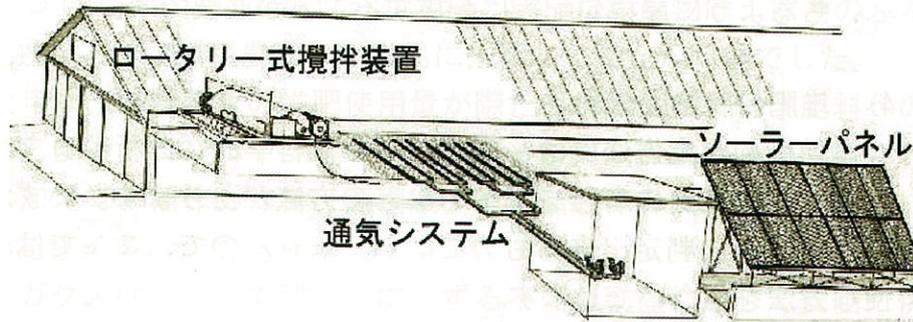


表-11 発酵処理施設における水分含有率、容積重、堆肥温度の変化

区分	採取位置	0m	10m	20m	30m	40m	50m	60m
堆肥温度 (°C)	夏季	68	65	71	64	55	52	50
	冬季(無)	46	50	50	43	38	31	11
	冬季(有)	46	76	66	51	43	29	12
水分含有率 (%)	夏季	65.0	59.7	58.8	56.2	52.4	49.6	32.7
	冬季(無)	58.8	58.1	57.1	57.2	55.9	54.9	54.3
	冬季(有)	58.8	57.9	56.4	54.0	53.7	52.0	49.7
容積重 (kg/m <sup>3</sup> )	夏季	388	384	380	336	384	444	460
	冬季(無)	384	348	368	428	460	456	528
	冬季(有)	384	316	368	404	488	440	560

注1：測定は、夏季が6月19日～7月21日、冬季が1月6日～2月17日である。

注2：冬季(無)は発酵槽に通気管が付設されていない。

冬季(有)は発酵槽の10m～20mの床面に通気管が付設されている。

#### ウ、攪拌発酵装置の稼働

十勝牧場での攪拌発酵装置の活用は、1日1回堆肥原料投入攪拌で移送距離60mを30日間で搬出側へ到達します。

#### エ、留意事項

攪拌発酵装置による原料堆肥の使用で留意すべき事項として、

- ① 腐熟の確保から急激な水分蒸散を防止する。
- ② 冬季は外気の冷たい空気による攪拌時の発酵熱損失防止のため施設を閉鎖して、室内の空気の流通を少なくすることがあげられます。
- ③ 但し、搬入側は発酵温度が高いため水蒸気の発生が多く、アンモニアを吸着した水滴の付着で施設の部材が腐食することが懸念されるので、搬入側施設の上部には換気用の開口部を設けることが望まれます。
- ④ また、施設の屋根の形状と勾配などの諸条件が不適切である場合、

冬季に攪拌された時に発生する発酵熱による蒸発水分が冷えた空気に触れて屋根材に付着し、発酵槽内等に水滴となって落下するため、発酵終了時製品の水分含有率が低下しないことがあります。

施設の設計時には部材に付着する水滴が発酵槽の擁壁外側に流れ落ちるように屋根勾配等に配慮することが必要です。

#### 4) 堆肥の腐熟度の判定

腐熟度の判定方法には、機器を用いた科学的な分析やコマツナを用いた生育阻害物質の有無を調べるなどの方法があります。いずれの方法も現場で即座に判定出来るものではありませんので、ここでは表-12に簡便な方法を紹介いたします。

表-12 現場における腐熟度判定基準

色	黄～黄褐色(2)・褐色(5)・黒褐色～黒色(10)
形状	現物の現状をとどめる(2)・かなり崩れる(5)・ほとんど認めない(10)
臭気	ふん尿臭強い(2)・ふん尿臭弱い(5)・堆肥臭(10)
水分	強く握ると指の間からしたたる・・・70%以上(2) 強く握ると手のひらにかなり付く・・・60%前後(5) 強く握っても手のひらにあまり付かない・・・50%前後(10)
堆積中の温度	50℃以下(2)・50～60℃(15)・ 60～70℃(15)・70℃以上(20)
堆積期間	家畜のふんのみ 20日以内・・・(2) 20日～2ヶ月・・・(10) 2ヶ月以上・・・(20) 作物残渣との混合 20日以内・・・(2) 20日～3ヶ月・・・(10) 3ヶ月以上・・・(20)
木質との混合	20日以内・・・(2) 20日～6ヶ月・・・(10) 6ヶ月以上・・・(20)
切り返し回数	2回以下・・・(2)・ 3～6回・・・(5) 7回以上・・・(10)
通気	無し(0)・ あり(10)

注：( )内の数字は点数を示し、これらの点数を合計して、未熟(30点以下)

中熟(31～80点)、完熟(80点以上)とします。

(中央畜産会「堆肥化施設設計マニュアル」より)

## 7. 堆肥の活用

### (1) 戻し堆肥

#### 1) 敷料資源の不足

家畜の使用に用いられる敷料は、ふん尿の処理を行う上で重要な条件の一つで、過去には、稲ワラや麦稈といった副産物は、家畜のふん尿との交換などで、耕種農家から容易に入手することが可能でした。

近年は、耕種農家の堆肥使用量が際だって減少し、化学肥料への依存による多投、コンバイン等の大型機械普及により稲わらが回収されない等に加えて、稲作の作付け面積減少で、畜産への供給が激減している実態にあります。

オガクズは、かつて製材時に生ずる不要な副産物として安価に供給されていましたが、住宅用建材が外国材の製材輸入に変わりオガクズの発生量が減少し、燃料への用途拡大等もあり、近年は品薄からの価格高騰、入手難になっています。

敷料は家畜の飼養には欠かせないもので、定期的に交換を実施することから需要量はかなりの量になり、飼養頭数拡大の絡みからも敷料の効率的な利用が求められています。

#### 2) 戻し堆肥への着目

これらから、近年発酵乾燥させたふん尿堆肥（戻し堆肥）を敷料に再利用する農家が見受けられるようになりました。戻し堆肥の使用当初はなじみがなく半信半疑で使っていたと思われませんが、使用例の拡大とともに、乳房炎の予防効果が期待できる等の研究成果が発表されて、利用する農家や利用を検討する農家が多くなっています。

#### 3) 戻し堆肥とは

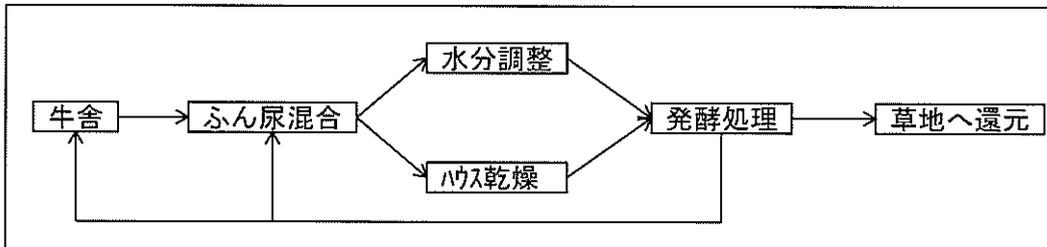
一般に肉・乳牛などの生ふんに敷料や水分調整資材を混合して水分70%以下にした堆肥原料を好氣的発酵処理したものを、再び牛舎の牛床の敷料や水分調整資材として用いることを「戻し堆肥」と称しています。

戻し堆肥を生産利用する方法としては、できあがった堆肥を種堆肥として戻し利用する方法と、牛床の敷料および水分調整資材として戻し利用する方法があります。

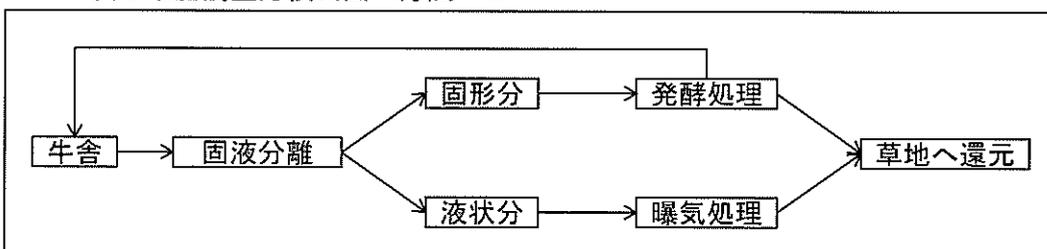
戻し堆肥を利用する堆肥化には、図-7のふんと尿等を一緒に混合して処理する場合と、ふんと尿を分離して処理する場合とがあり、方法-1は、ふん尿を混合して水分調整後に堆肥化処理する方法、方法-2は、水分調整資材を用いず、ふん尿を固液分離したのち固形分を堆肥化する

方法で、どちらもできあがった堆肥を種堆肥として、または牛床敷料や水分調整資材として戻し利用することが可能となります。

図-7 戻し堆肥調整方模式図・方法-1



戻し堆肥調整方模式図・方法-2



(畠中哲哉「Dairy Japan 2000-12」より)

戻し堆肥の調整は、広く普及している方法としては、開放式および密閉の攪拌発酵装置を用いた堆肥化处理です。攪拌発酵処理は、飼養頭数に対して農地面積が比較的少なく、堆肥のほ場還元処理に大きな制約を受けている地域、あるいは周辺環境に十分注意を払いながらふん尿処理を行わなくてはならないような農住混在地、および都市近郊などの地域で用いられる手法です。

#### 4) 戻し堆肥としての活用

ア. 敷料に用いる場合は完熟堆肥を利用する。

戻し利用する堆肥の発酵温度は70℃以上に上昇させることが必要です。一般に、病原菌、生虫（卵）および雑草種子は60℃前後で数時間から数日間で死滅することが報告されていますが、安全のため65℃（十勝牧場）で数日間継続して発酵した堆肥がよいと思われます。

イ. 発酵ムラのない堆肥作りをする。

堆肥づくりでは、「水分が多い」、「発酵温度が上がらない」、「繰り返し回数が少ない」などによる発酵ムラはよくあることです。このような発酵ムラは、大腸菌や病原菌の温床になります。繰り返しをする場合ムラをなくし、（特に強制攪拌装置を保有しない場合は）繰り返し

をこまめに行って均一な堆肥を作ることが重要となります。

表-14 病原菌及び寄生虫の死滅温度

種 類	温度 (°C)	時間 (分)
大腸菌	55	60
	60	15~20
サルモネラ菌	56	60
腸チフス菌	55~60	30
赤痢菌	55	60
ブドウ球菌	50	10
連鎖球菌	54	10
結核菌	66	15~20
ヨーネ菌	60	30~60
条 虫	55~60	5
回虫 (卵)	60	15~20

(中央畜産会「堆肥化施設設計マニュアル」

薬師堂謙一「DAIRYMAN 2001-10」より抜粋)

#### ウ. 戻し堆肥の水分

50~70%と水分率の高い堆肥を水分調整資材として戻し利用する場合、戻しの量が生ふんの数倍の量になるので、作業時間や保管場所に問題が生じることがあります。

また、水分が高いと吸着性が悪く、その部分が嫌氣的となり病原菌の温床になる等の恐れがあります。一方乾燥しすぎると、戻し堆肥が微細粒の性状であることから、ほこりの発生要因となって、家畜の呼吸器疾患の要因となるほか作業性にも問題が生じる場合があります。戻し堆肥の水分は40~50%が理想とされています。

#### エ. 堆肥の塩類濃度を適正なレベルに

戻し堆肥の利用を繰り返すことにより、堆肥の塩類濃度は高くなります。

- ① 戻し利用を重ねた塩類濃度の高い堆肥には、陽イオンではナトリウムやカリウムイオンが、陰イオンでは塩素や硝酸イオンが主体となって含まれています。
- ② これらのイオン濃度は有機物の分解によって高まりやすく、堆肥中の塩類濃度を適正レベルに保つためには、イオン濃度を薄めるような水分調整資材の利用が求められます。
- ③ 塩類は尿に多く含まれるため、尿をふんと混合処理する場合は特に注意することに併せて、田畑への施用では事前に堆肥中の塩類量を測定し、塩類が高い場合は施用量を少なくするなどの対策が必要とされています。

塩類蓄積の程度を評価する方法として電気伝導度 (EC) が使われ

ており、これが高いほどたくさんの塩類があると見なされ、畑に散布する堆肥は、5ミリジーメンス以下が望ましいとされています。

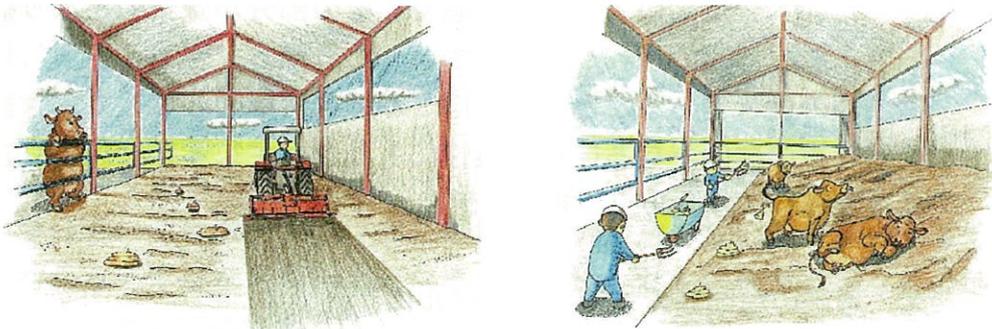
## 5) 戻し堆肥の敷料利用

### ア. 利点

戻し堆肥を敷料利用した場合の利点としては、

- ① 牛舎の衛生環境の改善と乳房炎の予防効果や寄生虫の増殖抑制が図られる。
- ② オガクズ等の敷料や水分調整資材に費やす経費が節約できる。
- ③ 堆肥を循環して使えるので畜舎外に出す堆肥の量が少なくなる。
- ④ 種堆肥となるので堆肥原料と混ぜて発酵させるときに発酵の立ち上がりが早くなる。
- ⑤ 尿等の悪臭の軽減が期待できる。

等があげられますが、本来排せつ物であるふん尿を敷料に利用する際には解決しておかなければならない問題もいくつかあり、また実際に利用する際には注意すべき点もあるとされています。



### イ. 敷料利用の留意点

第一の問題点として考えられるのが、「衛生上、大丈夫か」という点です。牛の排せつ物には各種病原菌や寄生虫が生息していることもあり、これが戻し堆肥に残っている場合病気を拡散する要因となります。特に、夏季に攪拌式発酵処理施設で処理した場合に、施設内の温度が高いため、水分の蒸散が激しくなることから乾燥が急速に進み十分な発酵処理がされません。この状態の堆肥を利用した場合、熱処理の不足から病原菌が死滅せず、病気を誘発することが想定されますので、このような戻し堆肥を使用する場合は大腸菌（O-157）等の検査をすることが必要です。

第二の問題点として、戻し堆肥を水分調整資材として利用した場合、ふん尿による塩類が蓄積して、畑に散布する場面で作物に吸収蓄積す

る問題が生じますので、繰り返し使用する場合は、ほ場への散布時は堆肥中の塩基濃度を検査（堆肥成分分析）して施肥量を低減するなど対策が必要です。

ちなみに、十勝牧場の堆肥の成分分析数値を表-13に示しましたがカリとEC（電気伝導度）の濃度が高い傾向にあります。

表-13 十勝牧場の堆肥成分分析数値（現物中%）

分析時期	全窒素	リン	カリ	CaO	Mg	全炭素	C/N比	EC
15年8月	1.77	1.10	4.00	1.91	0.61	12.57	7.09	10.9
16年3月	1.65	0.79	3.09	1.37	0.50	10.18	6.18	13.84

注：戻し堆肥を水分調整資材として利用している。

#### 6) 十勝牧場における戻し堆肥の敷料利用

ア. 十勝牧場では、ルーズバーンの肉用牛舎で戻し堆肥を敷料として用いています。使用期間は、4月中旬から外気温が下がり戻し堆肥の敷料の表面およびふん尿が凍り始める11月までとしています。

イ. 敷料として利用する戻し堆肥の水分は40%以下（かなりほこりっぽい粒子）のものを牛床全体（800㎡）に約20～30cmの厚さに敷いて、敷料表面の湿り具合を観察しながら、月2～3回ロータリーハロを掛け床面にある水分の低いものと混和して3ヶ月程度（水分率により利用期間は異なる）利用しています。

ウ. 敷料の交換の目安は、水分率が高くなり（60%）、戻し堆肥の敷料の表面が固くなって、牛体へのふんの付着が始まる時期をメドに交換しています。

戻し堆肥を敷料として活用（肉用牛ルーズバーン牛舎）



#### エ. 戻し堆肥の敷料活用のメリット

- ① 生ふんに発酵堆肥を混ぜると悪臭が軽減されることが知られていますが、十勝牧場の使用例では悪臭は気になりません。堆肥による悪臭成分の吸着、微生物体内への取り込みや分解作用が複合的に作

用しているものと考えられています。

②十勝牧場では発酵処理した堆肥（水分率40%以下）を敷料として再利用することで従来は月2回の更じょく作業を行っていましたが、更じょく作業が2～3ヶ月に1回へと軽減され、敷料の節約も図られています。

## (2) 融雪剤の代替えとしての活用

### 1) 融雪剤としての効果

ア. 北海道の十勝地方では年間約37,500haの秋蒔き小麦が作付けされ、雪腐れ病防止と生育促進を目的に融雪剤が散布されています。融雪剤の代替えとして攪拌発酵処理済み堆肥を活用出来ないか、ブロードキャスターを用いて攪拌発酵処理済み堆肥を雪上散布し、市販の融雪剤と比較調査した結果、 $1.2\text{m}^3/\text{ha}$ の散布量で市販の融雪剤と差がなく自然融雪より13日早い融雪効果が得られました。

イ. 市販の融雪剤は、微量要素等肥料効果が添加されたもので1ha当たり約300～400kgの散布が必要で、その費用は1ha当たり概ね6,800円必要となります。十勝牧場の試算では攪拌発酵処理済み堆肥（生産費2,000円/ $\text{m}^3$ ）を融雪剤の代用として用いた場合を $1.2\text{m}^3/\text{ha}$ の散布量と市販の融雪剤より4,400円/haの節約効果が得ることが推察されました。

### 2) 堆肥（発酵処理済み）の融雪剤代替雪上散布機の開発

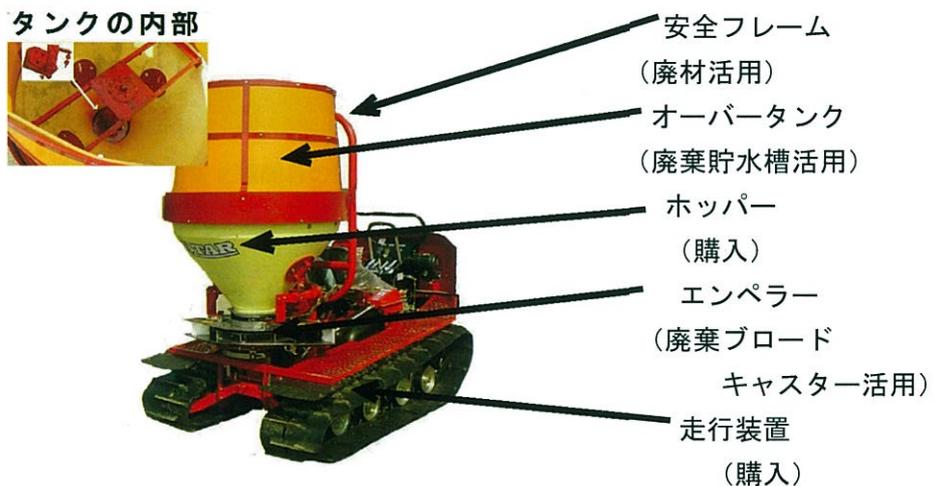
ア. 発酵処理済み堆肥の融雪剤としての活用を肥料散布機のブロードキャスターを用いて試みた結果、①期待した融雪効果は得られたものの、②発酵処理済み堆肥は比重が軽いため飛散幅が狭く作業効率が悪い、③積雪が概ね70cm以上であるとトラクターの走行が困難である、④発酵処理済み堆肥の比重が軽いことに加えて粒子が不揃いであるなどからタンク内でブリッチムラが生じるなど問題が指摘されました。

イ. これらの課題をもとに、十勝牧場では新たに発酵処理済み堆肥の融雪剤代替雪上散布機を開発しました。

①開発した発酵処理済み堆肥の融雪剤代替雪上散布機は、クローラータイプの雪上走行車を購入し、タンクと散布装置を装着したものです。②指摘されたタンク内の堆肥ブリッチの破壊に改良型攪拌装置を装着、③散布量を一定とするための強制落下と落下量の調整には、パネルの取り付けと吐き出し口の開閉調整装置、④飛散幅拡大には風圧を高めるエンペラーの上部へ風圧ガードを装着、⑤タンク



購入した雪上走行車



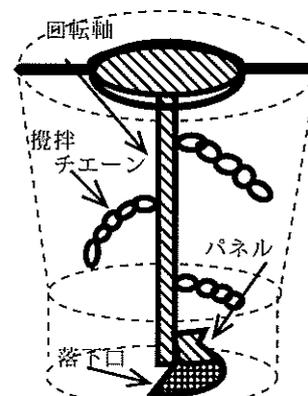
開発機の全景

は市販のFRP製の小型タンクと貯水槽を接合して作成し、容積は発酵処理済み堆肥の比重と作業効率を考慮し0.4m<sup>3</sup>容量と大型化しました。

なお、大型化したことによって、散布機の重心が高くなり、作業時の安定性の保持が危惧されたため、安全フレーム兼用のタンク支持装置を装備しました。

ウ. 開発機の特長は、散布する発酵処理済み堆肥は微粉末が含まれ比重が軽いことから、散布時にタンク内に堆肥のブリッジができて自然落下しないことがありました。このためブリッジ破壊装置を考案装着しました。タンク内のセンターシャフトへチェーンを取り付けたものです。シャフトの回転による遠心力と堆肥の水分率によってチェーンの回転幅が自動的に変化するもので負荷が少なく、堆肥の

状態に応じて的確に掻き下ろしができるもの  
 です。十勝牧場が独自に開発したこの装置は、  
 ブロードキャスター及び播種機などへの応用  
 も可能です。



#### エ. 雪上散布機の仕様

全長：2,030mm、全幅：1,345mm、全高：2,000mm

エンジン出力：570cc（18ps）

燃料：ガソリン

走行装置：無断変則・クローラー

走行速度：3.3km～9.1km/時

タンク容量：0.4m<sup>3</sup>（水分45%の発酵処理済み堆肥を200kg積載）

タンク内攪拌回転：500回/分

エンペラー回転：1,000回/分

自重：480kg

散布幅：5m以上（風力・風向によって異なる）

作業効率：3.0ha～5.0ha/時（雪質・風力・風向によって異なる）

#### オ. 作業性

ア) 融雪剤代替えの発酵処理済み堆肥は、散布機の性能から5mm以下の粒状及び粉末で水分含有率が概ね45%以下であることが必要です。この規格より大きな固形物等が混入している場合は篩にかけて5mm以上の夾雑物を取り除くことと、砂利の混入は散布装置の破壊要因となることから除去が必要です。

イ) 作業能力は、雪質と雪面の状態、散布する発酵処理済み堆肥の水分率、ほ場の形状、風速などによって大きく異なります。風速1～2m、雪面が固く散布機のクローラーが雪面から約10cm程度ぬかる状態、散布堆肥の水分率45%、飛散幅5mの条件下における作業能力は、毎時約3haです。雪質と風速によって走行速度と散布幅が異なり、散布に最適な雪質等の条件下では毎時概ね5haと高い作業効率が得られます。



開発機による融雪剤代替堆肥散布作業



融雪剤代替堆肥の散布直後



融雪剤代替堆肥布後2週間目のほ場



融雪剤代替堆肥を散布しなかった同時期のほ場

ウ) 融雪効果は発酵処理済み堆肥の散布量に大きく関わり、散布量が少ない場合は熱吸収率が低く、散布量が多い場合は雪面を堆肥が覆い吸収した熱を遮断するため期待する融雪効果は得られません。

融雪効果のもっとも高い散布量は、雪面が黒ずんだ状態であり、この場合の散布量は概ね540~600kg/ha（水分率45%の発酵処理済み堆肥1.2~1.3m<sup>3</sup>/ha）です。

- 3) 堆肥（発酵処理済み）を融雪剤の代替えとして用いる場合の留意点
- ア. 適切に処理された発酵処理済み堆肥であっても、雪上への放置及び投棄は「廃棄物の処理及び清掃に関する法律」「水質汚濁法」等関係法規への抵触が憂慮されます。従って、傾斜地や河川に近いほ場での散布及び融雪に必要とする量以外の散布は避けるなど、生活環境に影響を及ぼさない散布方法とすることが絶対条件となります。
- イ. 十勝牧場では、これらを配慮して発酵処理済み堆肥を融雪剤の代替えとして散布するほ場は、当面河川から遠隔で秋起し、翌年えん麦播種予定ほ場に限定していますが、将来的には融雪水の流出状況等を観察して安全性を確認後、採草ほ場へ散布することも計画しています。

### (3) 草地への還元

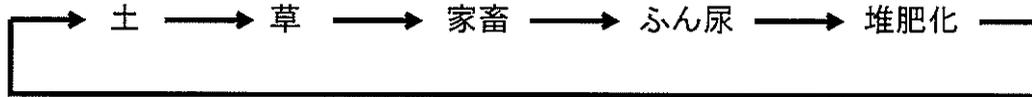
家畜ふん尿は①悪臭が強く、②粘性が高くて、③汚物感がありますが、好気性発酵済みの堆肥は、①水分が低下して臭気成分が分解され、②作業者にとって取り扱いやすい性状となり、③ほ場散布において機械への負担が小さいため、機械の故障が少なく作業効率が高くなり、④散布された堆肥は有機物含量が高く、⑤肥料成分も比較的豊富に含んでいるため、肥料および土壌改良資材として田畑へ還元利用できますし、⑥堆肥を連用すると土壌有機物含量が次第に増加し、土壌の団粒化が進んで土が軟らかくなります。

団粒化とは、土壌の単一粒子（一次粒子）が集合して二次粒子となり、これらがさらに大きな集合体を形成することで、団粒構造ができると土壌中空隙量が増加して、通気性、透水性、保水性が良好になります。団粒構造が発達して土壌が膨軟になれば、作物の根がよく発達して養分や水分の吸収能力も高まります。

一方、土壌では透水性が良くなるだけでなく、保水性も増大し干ばつの被害を受けにくくなるほか、粘着性、可塑性が減少して、乾燥しても粒子の固結性が弱まるので、耕耘が容易になります。

おわりに

これまで十勝牧場の調査データ、事例等を中心に紹介してきましたが、家畜のふん尿は栄養豊かな有機質資源であるとの共通認識のもと、



の循環系が適切に確保されてこそ、その途中工程にある畜産物の効果的  
生産が可能であるという基本に立ち、適正な堆肥化処理の重要性を再認  
識したいものです。

編 集 独立行政法人 家畜改良センター 十勝牧場

堆肥化処理プロジェクトチーム

小野 純一

渡 幸雄

鈴木 利明

奥 憲一

参考文献・引用資料

- 1) 北海道立農業試験場・畜産試験場家畜糞尿プロジェクト研究チーム  
：家畜糞尿処理・利用の手引き 1999
- 2) (財) 畜産環境整備機構：家畜ふん尿処理・利用の手引き（平成9年12月）
- 3) (財) 畜産環境整備機構：家畜糞尿処理・利用の手引き（1998年5月）
- 4) (社) 中央畜産会：堆肥化施設設計マニュアル
- 5) 全国農業協同組合連合会：飼料作物栽培利用の手引き（平成9年3月）
- 6) 農協／全農／経済連：飼料作物の栽培と堆肥・液肥利用、平成6年5月発行
- 7) 雪印種苗株式会社：牛糞尿処理の現場の技術（Dairy Japan 2001年6月号）
- 8) 薬師堂謙一：敷料としての堆肥利用－塩類、細菌類のコントロール（DAIRYMAN  
2001年6月号）
- 9) 北海道農政部：北海道施肥ガイド、2002発行
- 10) 畜産経営技術Q & A：酪農分野ふん尿の処理技術
- 11) 阿部英則：北海道における家畜ふん尿処理の実態と課題（「ぐらーず」2002年1月号）
- 12) 藤原俊六郎：良い堆肥生産のポイント（2）
- 13) 新編 畜産大事典：家畜の排泄物とその処理および利用（1996）
- 14) 畠中哲哉：畜産コンサルタント2000 426、P10-14
- 15) 畠中哲哉：DairyJapan2000. 12月号、P14-17
- 16) 仮屋喜弘：DairyJapan2002. 9月号、P15-19

家畜改良センター 技術マニュアル 13

## 堆肥化処理の理論と実践

著 者／家畜改良センター十勝牧場

堆肥化処理プロジェクトチーム

発 行／独立行政法人 家畜改良センター

企画調整部 企画調整課

発行日／平成16年3月

印刷所／有限会社マテリア