

家畜改良センター 技術マニュアル 1

堆肥化処理の理論と実践

農林水産省 家畜改良センター

はじめに

家畜から排せつされた生ふんは水分が高く、取り扱いが煩わしいものである。また、生ふんをそのまま土壤に施用することは、作物の生育に悪影響を与えるばかりでなく、家畜に有害な病原菌や雑草を蔓延させることにもなる。

さらに、場合によっては悪臭、河川汚染、地下水汚染など周辺地域を巻き込んだ深刻な環境問題にまで発展することがある。

堆肥化とは、こうした問題を解決するため、酸素が十分に存在する状態で活躍する好気性微生物を利用して家畜排せつ物を処理する技術である。

「家畜改良センターだよりNo.21」に掲載された家畜改良センター本所の宮田雄一技官の体験記に次のような記述がある。

『堆肥を作り始めると「水分含有率が高いからどうのこうの。」と必ずいわれる。しかし、方法は違うが水中であっても酸素は送り込めるのである。それを考えれば、最初に私たちが行った副資材の投入も、水分調整のためではなく、実は堆肥の山の通気性を改善したものであったことが理解できる。水分含有率90%だからこれを70%に下げるために副資材を混合したわけではない。通気性の確保を充分に行おうとしたところ、結果的に70%になったのである。』

堆肥の見方が、「物質」から「生物」へと変化していったと前述したが、これは堆肥を生産する者の思い入れからである。好気性微生物が食物（ふん中の有機物）を食べ、呼吸し、発熱までやってくれる。「物質」であれば人為的に加工しようとするが、「生物」であれば自分の都合だけではどうにもならないことが多々あるはずである。飼育していると考えれば、餌もやらねばならないし、世話もしてやらねばならない。餌はふん中にたくさんあるはずであるが、それでも場合によっては足りないこともあり、その時は餌を追加してあげなければならない（副資材の投入によるエネルギー源の供給）。窒息しそうになれば、新鮮な空気を送り込んであげなければならない（切り返しや副資材の投入による酸素の供給）。このように、堆肥の生産（好気性微生物の育成）を行う者にとっては、あたかも堆肥を「生物」と考えた方が非常に都合がいいのである。

堆肥は生きているのである。』

これは、筆者が堆肥の山と連日悪戦苦闘したからこそコメントできる「実際に作業を行う者にとっての堆肥化技術理論」の真髄であるといえよう。

この小冊子は、家畜改良センターにおいて実際に堆肥化処理業務を行う者を対象に、基礎的な技術理論と実践方法を詳解しようと取りまとめたものである。

堆肥化とは、堆肥の山を何とかしようとするのではなく、堆肥の山の中に潜む微生物を何とかしようとする技術であることを理解していただきたい。

また、堆肥化処理業務が単なる家畜を飼うための末端処理業務ではなく、実は家畜管理及び飼料生産とともに牧場を健全に運営していく上で欠くことのできない重要な要素であることを理解していただければ幸いである。

家畜改良センター 技術マニュアル 1 目次

堆肥化処理の理論と実践

はじめに	1
------------	---

「堆肥化の技術理論」編

Ⅰ. 堆肥化の目的	5
Ⅱ. 堆肥化の条件	8
Ⅲ. 堆肥化における有機物の化学的变化	10
Ⅳ. 堆肥化における微生物の役割	14

「堆肥化の実践」編

Ⅰ. 牧場運営における堆肥化処理業務の位置づけ	20
Ⅱ. 堆肥材料の質・量の把握と調整	22
Ⅲ. 堆肥化促進のための攪拌・切り返し作業	26
Ⅳ. ホイルローダー等による堆肥化処理業務のあり方	32
Ⅴ. 堆肥の腐熟度判定	42
Ⅵ. 堆肥の利用	46

おわりに	52
------------	----

「堆肥化の技術理論」編

I. 堆肥化の目的

堆肥化には多くの目的があるが、それらは次の三つに大別できる。

1. 作業者にとって取り扱いやすいものにする

堆肥化の第一の目的は、水分低下及び臭気成分の分解により、家畜ふんを作業者にとって取り扱いやすいものにするることである。

家畜ふんは悪臭が強く、粘性が高くて汚物感があり、作業者にとって極めて取り扱いがたいものであるが、堆肥化すれば悪臭や汚物感がなくなり、取り扱いやすい性状になる。

2. 衛生面で安全なものにするとともに雑草の種子等を死滅させる

堆肥化の第二の目的は、発酵温度により衛生面で安全なものにするとともに雑草の種子等を死滅させることである。

家畜ふんには病原菌、寄生虫の卵、雑草の種子などが含まれることがあるが、適正な堆肥処理を行えば発酵熱によって温度が上昇し、これらを死滅させることができる。

表1は、病原菌や寄生虫が死滅する温度と時間を示している。いずれも堆肥化による発酵温度（約70℃）で短期間に死滅させることができる。

また、表2は堆肥化中の牛ふん堆肥に雑草種子を埋設し、一定期間後の発芽率を調べた結果である。50℃未満の場合では大部分の種子が生き残ってしまうが、60℃で2日間埋設すれば全て死滅させることができる。

表1 病原菌及び寄生虫の死滅温度

種 類	温度(℃)	時間(分)
チ フ ス 菌	55～60	30
サルモネラ菌	56	60
	60	15
ヨ ー ネ 菌	60	30～60
	65	5
赤 痢 菌	55	60
ブドウ球菌	50	10
連鎖球菌	54	10
結 核 菌	66	15～20
ジフテリア菌	55	45
ブルセラ菌	61	3
条 虫	55～60	5
回 虫	60	15～20

表2 堆肥埋設後の雑草種子の発芽率(%)

	50℃未満	60℃ 2 日間
メ ヒ シ バ	96	0
ノ ビ エ	72	0
カヤツリグサ	56	0
シ ロ ザ	26	0
オオイヌタデ	8	0
スベリヒユ	85	0
イヌビユ	68	0
エノキグサ	7	0
クワクサ	26	0

3. 作物にとって安全なものにする

堆肥化の第三の目的は、あらかじめ易分解性物質を分解・安定化させるとともに生育阻害物質を分解して作物にとって安全なものにすることである。

未熟な堆肥を施用した場合に生じる障害の現れ方は、堆肥の原料となる有機質資材の種類によって大きく異なる。一般に家畜ふんから堆肥を製造する場合、混合する副資材の有無及び種類によって、①家畜ふんだけで製造する堆肥、②家畜ふんに牧草、麦稈、稲わら等の繊維質作物資材を混合して製造する堆肥、③家畜ふんにオガクズや樹皮（パーク）等の木質資材を混合して製造する堆肥の三つに大別することができる。

したがって、家畜ふんを製造する場合、①家畜ふん、②繊維質作物資材、③木質資材を原料資材の代表として考えればよい。

これらの原料資材から製造された堆肥を未熟なまま土壤に施用した場合の障害の現れ方及び堆肥化の目的は、次のように整理できる。

（1）家畜ふん

家畜ふんは一般的に窒素含有量が高く（C/N比が低く）、極めて分解されやすい資材である。これを堆肥化せずに施用すると、家畜ふん中に多量に含まれる各種の易分解性有機物が急激に分解し、有機態窒素の分解が激しく起こり、土壤中で無機態窒素の濃度が高くなる。特にアンモニウム態窒素の濃度が高くなると作物が生育障害を起こすことが知られている。

また、土壤中で活発な微生物活動が起こって易分解性有機物が急激に分解される際に、酸素が急速かつ大量に消費され、土壤中は還元状態になる。このような状態では、嫌気性微生物による有機物の分解が生じる結果、有機酸などの有害物質が生成され、作物の発芽を阻害したり生育を抑制することが知られている。

したがって、家畜ふんそのもの堆肥化の目的は、施用した後に土壤中で急激な有機物の分解が生じないように、家畜ふん中の易分解性有機物をあらかじめ分解しておくことである。

（2）繊維質作物資材

牧草、麦稈、稲わら等の繊維質作物資材は、一般に炭素含有量が高く（C/N比が高く）、しかも微生物に利用されやすい形態の炭水化物の含量が多い。このような資材を未熟のまま施用すると、微生物は土壤中でこれらの炭水化物をエネルギー源として利用しながら増殖し、その菌体成分を合成するために、資材から無機化されて出てくる窒素を体内に取り込む。この場合、土壤中に十分な無機態窒素があれば問題はないが、菌体合成に必要な量以上の無機態窒素が存在していなかったならば、微生物は作物が必要とする無機態窒素まで奪ってしまう。この結果、作物は窒素を吸収することができなくなり窒素欠乏症を起こしてしまう。このような現象を窒素飢餓という。

また、繊維質作物資材にはフェノール性酸が含まれており、土壤中にすき込まれた場合に作物の生育を阻害する可能性がある。

したがって、繊維質作物資材の堆肥化の目的は、窒素飢餓を起こさないように無機態窒素が十分に供給できる状況（窒素が多い家畜ふんと混合した状況）であらかじめ易分解性の炭水化物を分解しておくこと及びフェノール性酸などの生育阻害物質を分解しておくことである。

(3)木質資材

オガクズや樹皮（パーク）のような木質資材には、作物の生育を阻害する物質が含まれていることが報告されている。このような阻害作用は、木質資材中に含まれるフェノール性酸、タンニン、精油等によって生じると考えられている。

したがって、木質資材の堆肥化の目的は、木質資材中に含まれる生育阻害物質をあらかじめ分解しておくことである。

木質資材のC/N比は極めて高い。また、木質資材にはかなりの量のセルロースが含まれているが、その大部分はリグニンと強固に結合し、あるいは一部は結晶化しているため微生物に分解され難くなっている。家畜ふんのような窒素源を加えた場合、木質資材の分解が促進されることもあるが、繊維質作物資材のような顕著な分解促進効果は見られない。

したがって、木質資材の場合、たとえC/N比が高くても窒素飢餓を起こす危険性はほとんどないと考えられる。

ただし、木質部は樹皮に比べて、また広葉樹は針葉樹に比べて多少分解しやすいことが示されており、これら比較的分解しやすい木質資材を未熟なまま施用した場合には、窒素飢餓が起こる可能性もあるので注意が必要である。

以上のように、原料資材の成分的特徴から、これらを施用した時に起こりうる障害の原因と堆肥化の目的について述べてきたが、管理の仕方によっては原料資材の種類にかかわらず堆肥化の過程で作物に対する生育阻害物質が生じることがある。原料資材を堆肥舎などに堆積する場合、切り返しなどの管理が不適切であると堆積物の内部が嫌気の状態になり、原料資材中に当初含まれていた量よりもはるかに多量の揮発性脂肪酸が生成される。

このような嫌气的部分は、そのまま堆積していただければ時間をかけても解消できず阻害性も強いままであるが、適切な管理を行って好气的条件に転じさせれば、揮発性脂肪酸やフェノール性酸は比較的すみやかに分解される。したがって、この場合の堆肥化の目的は生成された生育阻害物質を分解することである。しかし、最初から適切な管理を行って生育阻害物質を生成させないことが何よりも重要である。



写真1 堆肥散布

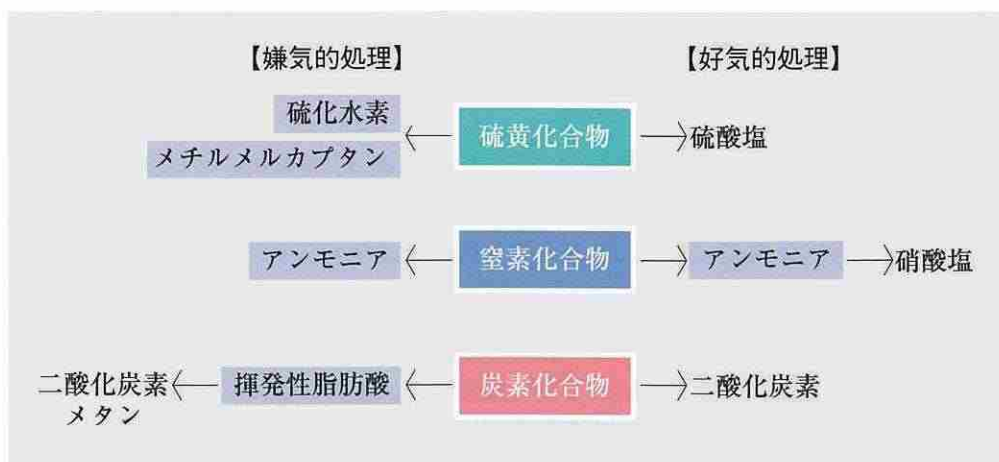
堆肥が完熟していると機械への負担が小さいため、作業効率が高く故障も少ない。また、汚物感がないため、作業者に不快感を与えない。

Ⅱ．堆肥化の条件

前述のとおり、堆肥化处理とは、好気性微生物の活動によって家畜ふんなどの堆肥原料をあらかじめ分解することにより、取り扱いを容易にし、高温発酵によって病原菌や雑草の種子などを死滅させ、作物への生育阻害作用を除去または軽減することである。

したがって、堆肥化の条件は好気性微生物の増殖に適した条件を整えることであり、その条件の主なものは、①栄養源、②温度、③水分、④酸素（空気）の供給である。なお、①～③は嫌気性微生物にも共通する条件であり、④の酸素の供給がない場合には嫌気性発酵に移行し、悪臭の発生、生育阻害物質の発生などの問題が生じるので注意する必要がある。

図1 家畜ふんの好氣的・嫌氣的処理



注： は悪臭を放つ物質であり、その他は無臭の物質である。

1. 栄養源

家畜ふん中には未吸収の栄養物が含まれている。これらは、家畜の体内である程度消化されているので分解が容易であり、微生物の栄養源として最適である。

排せつされた家畜ふんは水分と乾物から、また乾物は有機物と無機物から成り立っており、この有機物の中には易分解性有機物と難分解性有機物とがある。

堆肥化は微生物の働きによって行うものであり、微生物が活動するためのエネルギー源となる成分（炭素；C）や微生物が増殖するために菌体を構成する成分（窒素；N）が必要である。

堆肥化处理では主にこの易分解性有機物中の成分が微生物により利用される。

図2 家畜ふんの構成



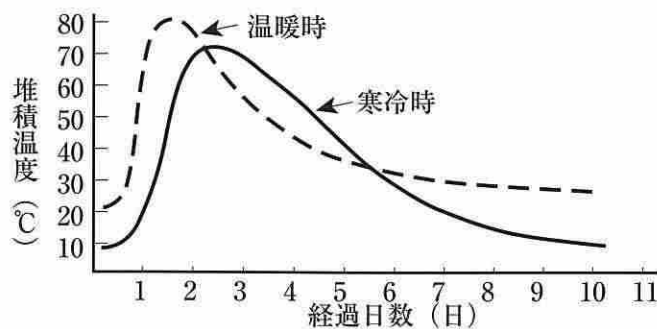
2. 温 度

堆肥化においては、易分解性有機物が好気的微生物によって分解される際に熱エネルギーが発生する。その結果、発酵熱が蓄積し、管理が適切であれば堆積物の温度は70～80℃程度まで上昇する。この発酵熱は引き続き好気性微生物の活発な活動を促すことにも役立っている。

微生物の活動は外気温の影響を受けやすく寒冷期には低下する。しかし、極端な低温でなければ、堆肥化初期の発酵温度の立ち上がりは多少遅れるものの、速効性の栄養源となる副資材の投入や放熱を少なくするための繰り返し頻度の見直しなどにより十分堆肥化は可能である。

ただし、極度の低温のために発酵温度の立ち上がりが全く不可能な場合は、温風を通気して微生物が活動を始めるまで加温することなどの工夫が必要な場合もある。

図3 環境温度が異なる場合の堆積温度の経過



3. 水 分

微生物は乾燥状態に弱く、堆肥資材の水分が40%以下になるとその増殖が抑制される。一方、高水分状態では増殖が盛んになるが、酸素の供給が十分であれば堆肥化に好ましい好気性微生物が活動し、酸素の供給が不十分であれば堆肥化に好ましくない嫌気性微生物が活動する。

一般に堆肥化する場合、堆肥資材の水分は60～65%程度が適当といわれている。これは、正確には、好気的微生物が必要とする十分な水分を供給しつつ、併せて酸素を供給できる空隙が堆肥資材中に適度に存在している場合、結果として水分が60～65%程度になっていたということであり、単に水分を60～65%程度にすると良いというわけではない。

例えば、堆肥資材の水分が60～65%程度であっても、高水分の堆肥資材を搾って水分を60～65%程度にしたのでは、酸素を供給する空隙が確保できていないため、好気性微生物の活動は期待できない。また、水分調整のため乾燥した副資材を混合して水分を60～65%程度にしても、副資材の粒子が小さい場合には酸素を供給する空隙を埋めてしまうので好気性微生物の活動は期待できない。

このように、水分含有率は堆肥資材の状況を把握するための重要な指標ではあるが、数値のみにとらわれるのは危険である。

4. 酸素の供給

堆肥化は好気性微生物の働きを活用する技術であることから、酸素の供給が不可欠である。従って、堆肥資材の通気性を確保し、繰り返しなどによって十分な酸素を供給することが必要である。

酸素を供給できない状態で堆肥資材を長期間放置しておくと、嫌気性微生物が増殖し、徐々に家畜ふん中の有機物が分解され、堆肥化処理時の熱源が減少する。また、このような条件下では、嫌気性微生物の働きによって生育阻害物質が生産され、臭気もひどくなる。

Ⅲ．堆肥化における有機物の化学的变化

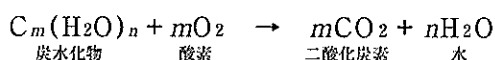
1. 堆肥化における化学反応

堆肥資材中の堆肥化可能な有機物は、炭水化物、脂肪及び蛋白質である。これらの有機物は、堆肥化の過程において好機条件の下で微生物により分解されたり、生物体に合成される。

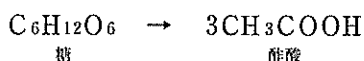
このような有機物が分解・合成する化学反応は、簡略化すると次のようになる。

(1) 炭水化物の分解

炭水化物は $C_m(H_2O)_n$ の形で表され、次の反応式のように酸素と反応して最終的には二酸化炭素と水とに分解される。この反応は、燃焼と同じであるが、堆肥化の場合は、生物が有する酵素が触媒として働いて低温で反応が進む。

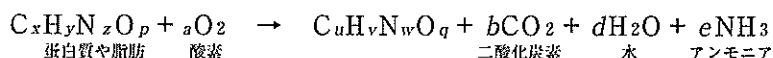


堆肥資材中への酸素の供給が不足して嫌機的な状態になると、次の反応式に示すように、有機酸が生じて pH が低下する。pH が低下すると反応速度は小さくなり、pH が 5 以下になると反応はほとんど停止してしまう。



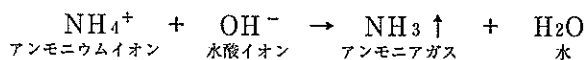
(2) 蛋白質及び脂肪の分解

蛋白質や脂肪は次の反応式のように分解して分子量の小さな物質になり、同時に二酸化炭素、水及びアンモニアを生じる。



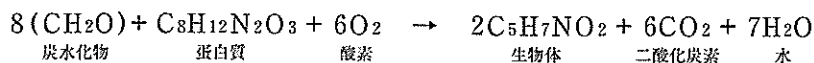
ここで生じたアンモニア NH_3 は水に溶けて水酸化アンモニウム NH_4OH になり、堆肥資材の pH を高める働きをする。このような反応により堆肥資材が弱アルカリ性になれば、堆肥化の速度が高まることとなる。

堆肥資材の pH があまり高くなりすぎると堆肥化の速度が低下することが知られているが、堆肥資材中では次の反応式に示すように、水に溶けていたアンモニウムイオン NH_4^+ はアンモニア NH_3 になって気散するので、堆肥資材の pH が 10 以上になることはほとんどない。



(3) 生物体の合成

生物は有機物を取り込んで自分の体を合成して増殖する。このとき好気性生物は次の式のように酸素を取り込み、二酸化炭素と水とを合成する。生物体を構成する蛋白質を合成するには、炭素のほかに窒素、リン及び微量元素を必要とするが、この反応式では生物体を $C_5H_7NO_2$ と簡単に表し、リンや微量元素については省略している。

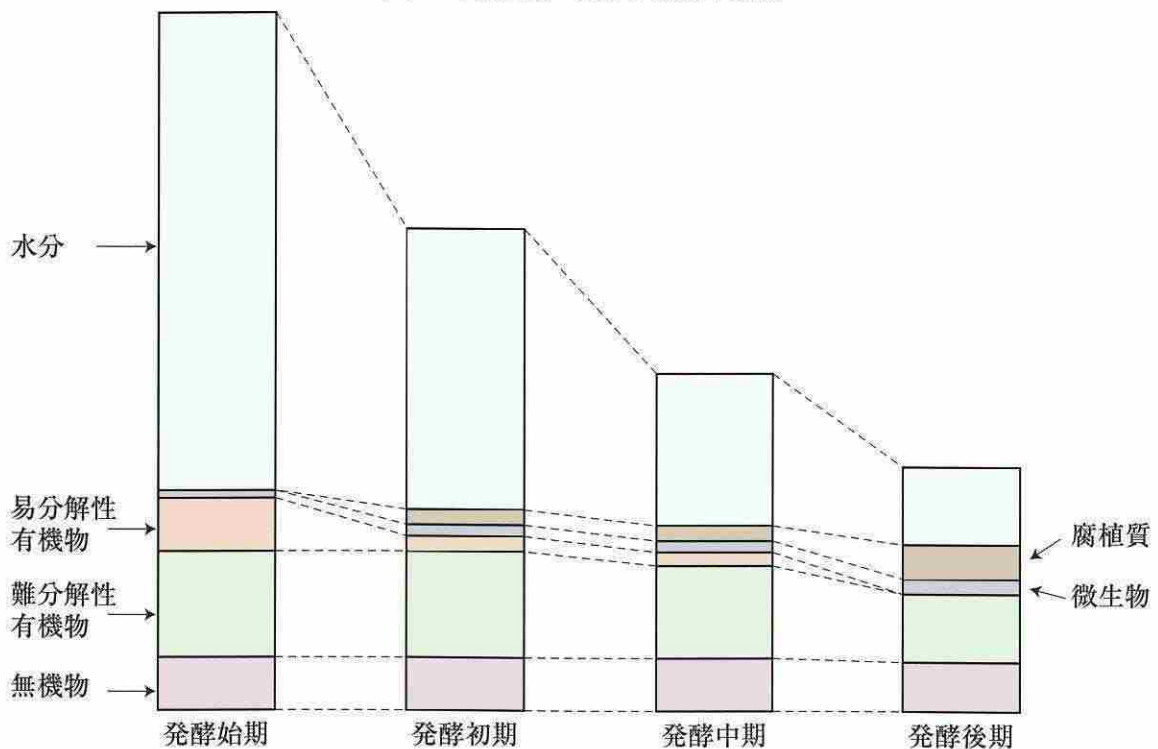


2. 堆肥化における組成変化

前述のように、堆肥化の過程において生分解可能な有機物は分解され、その一方で生物体の合成が行われる。

この場合、堆肥化の到達目標とは、「Ⅰ. 堆肥化の目的」で説明したように、長期間の処理を行って有機物の大部分を分解し、ほとんど不活性に近い状態にすることではなく、作物に生育障害を起こさないで地力を維持し、作物の生産性を高めるような成分組成を持つようにすることまでである。したがって、堆肥化の過程で分解されるのは主に易分解性の有機物であり、その組成変化を図示すると図4のようになる。

図4 堆肥化における組成の変化



- 発酵初期** 分解しやすい有機物が好気性微生物の働きにより急激に分解される。
また、この際に発生した発酵熱により水分が蒸散する。
- 発酵中期** 大部分の分解しやすい有機物が好気性微生物の働きにより分解され、一部の分解しづらい有機物も分解される。
また、この際に発生した発酵熱により水分がさらに蒸散する。
この時期が、概ね「完熟」に相当する。
- 発酵後期** 分解しづらい有機物が好気性微生物の働きによりさらに分解される。
難分解性有機物の分解速度は易分解性有機物の分解速度に比べかなり緩慢である。
また、この際に発生した発酵熱により水分がさらに蒸散する。
一方、動植物遺体に由来する腐植質が増加する。
この時期は、切り返し後にストック場所で堆積されている状態に相当する。

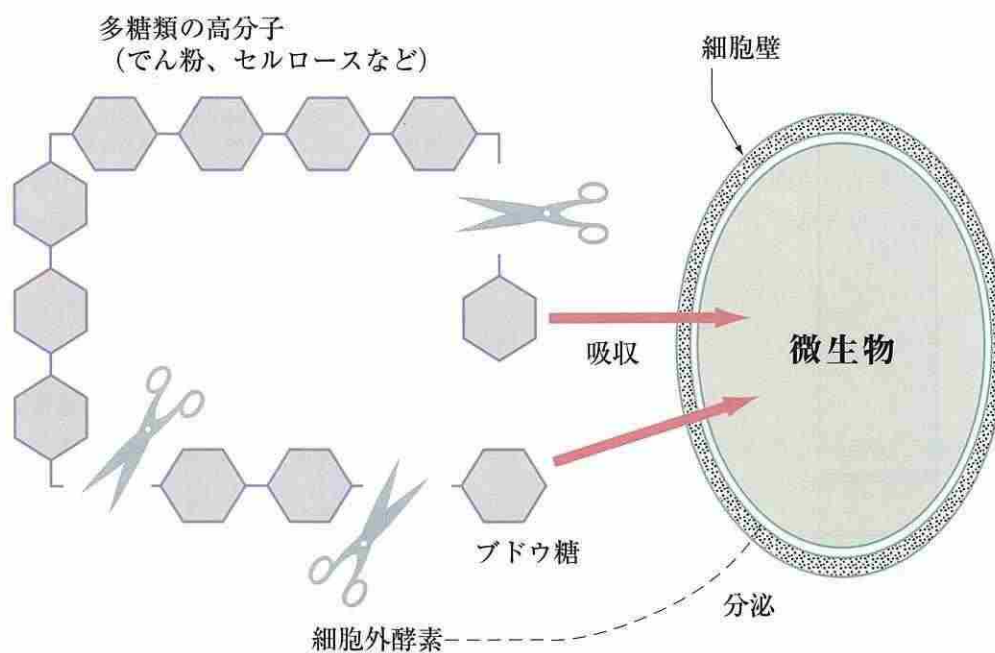
3. 微生物による有機物の分解・吸収機構

堆肥化の過程で働く主な微生物は、細菌、放線菌、糸状菌等である。

これらの微生物は、植物と同様に外側が堅い細胞壁で囲まれており、無機物やブドウ糖、アミノ酸などの低分子有機物はそのまま細胞壁を通して体内へ吸収できるが、堆肥資材中の大部分を占める高分子有機物はそのまま体内へ吸収できない。

このため、これら微生物は高分子有機物を分解するための酵素を細胞壁を通して対外へ分泌し（これを「細胞外酵素」という）、ブドウ糖やアミノ酸などの低分子有機物に分解した後で体内へ吸収している。

図5 微生物による有機物の分解と吸収



Ⅳ．堆肥化における微生物の役割

堆肥は、目に見えない細菌、放線菌、糸状菌や小動物など微小な生物の活発な活動によってつくられる。堆肥づくりのための微生物は、大部分が好気性の微生物であり、種類の異なる数多くの微生物が一定の法則をもって、現れては消えてゆく。堆肥化は、微生物的には3つの段階に分けて考えることができる。それは、堆積初期の糖分解期、発熱期のセルロース分解期、堆肥の温度が下がったところ起こるリグニン分解である。

1．糖分解期

堆肥資材中のタンパク質、アミノ酸、糖質などが分解される時期である。この時期は、好気的な分解であり、発育の速い糸状菌や細菌が主となって活動する。この過程で微生物の盛んな呼吸による熱が発生し、堆積物の温度は上昇する。

2．セルロース分解期

次の段階はセルロース分解期である。セルロース分解が堆肥化の主たる役割であるが、セルロースはリグニンやヘミセルロースで保護されるような状態になっているため、これらを除去する必要がある。なかでもヘミセルロースは、セルロースとリグニンの結合組織的役割をもっているため、これを効率よく分解する必要がある。

このセルロース分解期は発熱期であり、堆肥の温度は60～80℃になっている。このため一般の菌は活動できず、ごく限られた種類の高温菌が働く。

高温性好気性の放線菌（テルモアクチノミセスなど）が働いてヘミセルロースを分解し、セルロースをむき出しにする。このとき、酸素を盛んに吸収して自分のまわりに酸素不足の環境をつくる。そこに嫌気性のセルロース分解菌（クロストリジウム）が働く。堆肥化は全体としては好気的条件下で進行するが、このように部分的には嫌気性菌も役割を担っている。

ヘミセルロースやセルロースの分解がピークを超えると、堆肥の温度はゆっくりと下がってくる。このころからリグニン分解が始まり、次の段階へ入る。

3．リグニン分解期

これは堆肥の骨格が分解する時期であり、堆肥は黒褐色の壊れやすい性状となる。リグニン分解は、主として糸状菌の仕事であるが、この時期はセルロースなどの中間分解物も多く、堆肥の温度も低下しているため、他の微生物も非常に多くなる。多くの微生物が現われると、それを食べる小動物が現われ、さらにトビムシやミミズも見られるようになる。このように多くの微生物がこの時期に現われては死ぬ。さらに微生物同志の食いあいもある。こうして微生物の遺体が蓄積され、この微生物の遺体がやがて堆肥の窒素成分の大部分を占めるようになる。

以上のように、易分解性物質→ヘミセルロース・セルロース→リグニンの順序で分解され、それに携わる微生物もそれぞれに適合したものに変化している。すなわち、堆肥は単一種の微生物によってでなく、多くの種類の微生物によってつくられているのである。

図6 堆肥化過程における微生物相の変化

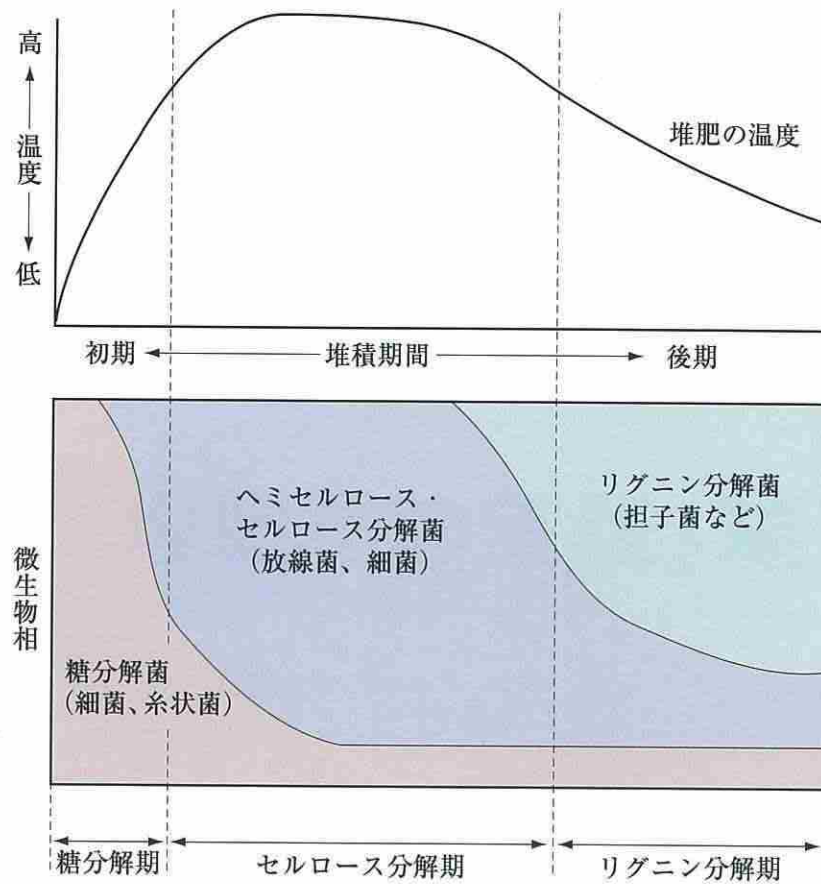


写真2 放線菌の層

堆肥が良好に発酵していると、酸素が豊富な表層部に白い放線菌の層を見ることができる。

「堆肥化の実践」編



写真 3 堆肥舎の全景

作業現場の汚れた環境は、作業者に不快感を与え、仕事への意欲を失わせる。

堆肥を処理する作業現場の環境は、常に綺麗でありたい。

I. 牧場運営における堆肥化処理業務の位置づけ

まず、堆肥化処理業務は、深刻化する畜産環境問題への対応策としてとらえなければならない。

これまでの大部分の牧場は、市街地から離れた場所に位置していることもあり、家畜ふん尿が牧場周辺の環境へ及ぼす影響をあまり気にしてこなかった。また、問題が発生しても悪臭の飛散など牧場周辺のごく一部の地域に限られるものであった。さらに、牧場周辺の住民も長年の慣習から多少の家畜ふん尿による問題は容認してきた。

しかし、最近の家畜ふん尿に起因する環境問題は、次のように随分と様相を変えてきている。

- ①牧場周辺に市街地などから新たな住民が転入してきており、これまで容認されてきたことであっても、こうした新たな住民からは問題として指摘されるようになってきている。
- ②河川や地下水の汚染により、問題が広域化している。
- ③家畜ふん尿が、人体に危害を与える大腸菌O-157やクロプトスポリジウムなどの病原性微生物の感染源とみられている。
- ④一般的な傾向として、国民の衛生意識が従来から比べるとかなり高まっており、一部には過剰とも思える状況になっている。

このようなことから、家畜ふん尿を適切に処理できなければ、牧場は多くの一般住民からの非難を受けることとなり、場合によっては牧場そのものの存在が危うくなる恐れがある。

したがって、これからの堆肥化処理業務は、牧場が地域の中で存続していくための必要条件として考えなければならない。

つぎに、堆肥化処理業務は牧場の業務全体を改善していく上での重要な業務としてとらえなければならない。

これまでの牧場における堆肥化処理業務には、単なる末端処理というイメージがあった。これは、家畜ふん尿を「飼料を生産し、家畜を飼養した結果、最終的に生じる必要悪」という考え方をしてきたためである。

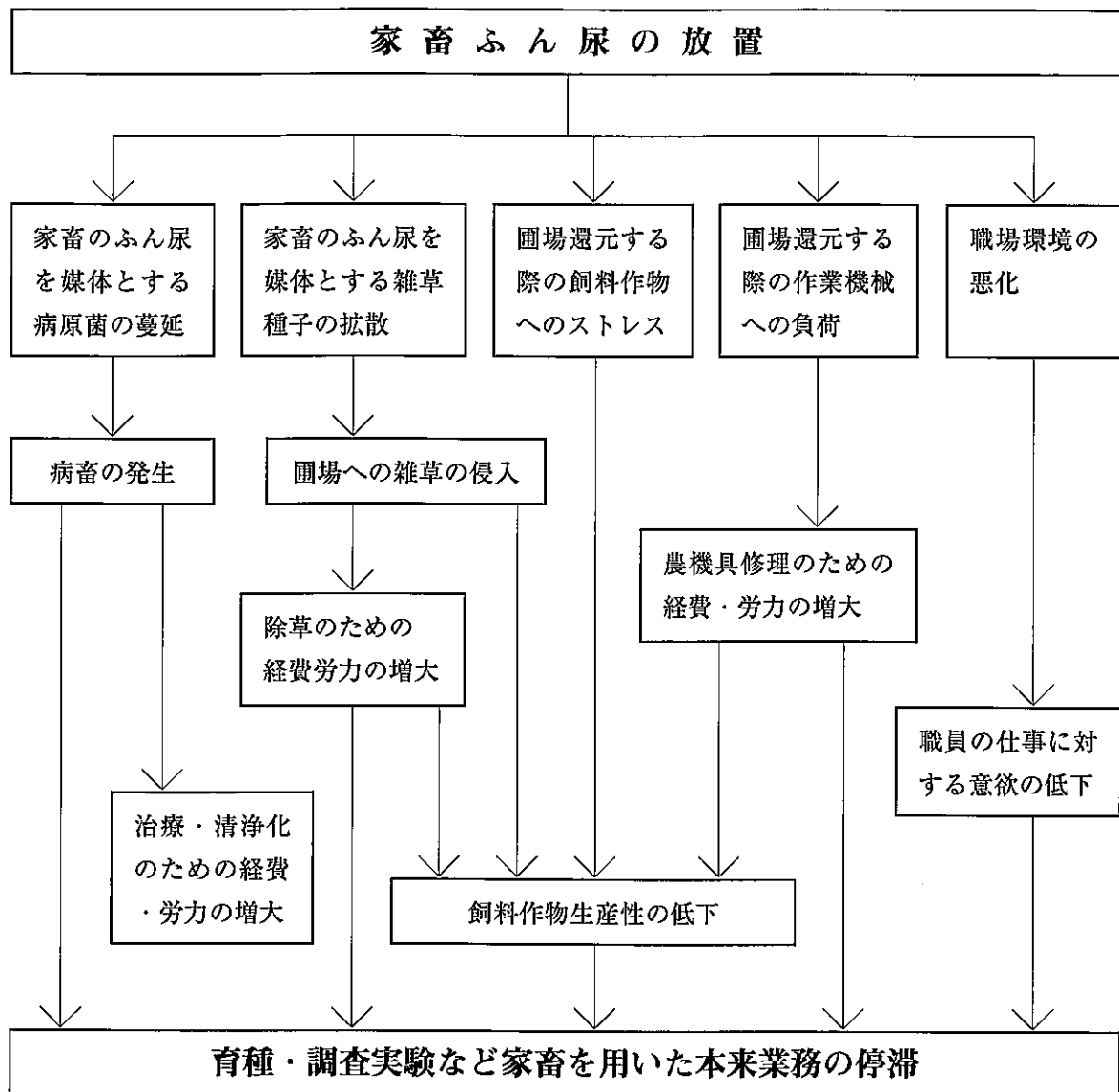
堆肥化処理はとても煩わしい作業であり、できればあまり関わりたくない業務として誰からも見られてきた。また、広大な敷地を有する牧場では、周辺住民との距離が確保されているため、堆肥の山を放置しておいても取り立てて問題視されることがなかった。

このため、堆肥化処理業務は、家畜の飼養管理業務、飼料生産業務、治療・防疫業務とは異なり、必ずしも牧場運営にとって不可欠なものとは考えられてこなかった。

しかし、こうした考え方が、図7に示したように牧場を運営する上で様々な問題を生じ、結果として育種業務や調査実験など家畜を用いた本来業務の停滞を招く一因となっていた。

したがって、堆肥化処理業務は健全な牧場運営を行うため、家畜の飼養管理業務、飼料生産業務、治療・防疫業務と同等のウエイトをもって取り組まねばならない重要な業務として考えなければならない。

図7 家畜ふん尿の未処理が牧場の業務に及ぼす悪影響



Ⅱ．堆肥材料の質・量の把握と調整

前編では、堆肥化処理の技術理論を説明してきたが、これらを理解したからといって、いきなり成果を期待できるものではない。実際に作業を行って成果を出すためには、あらかじめ準備しておかねばならない事項がある。

ここでは、より効果的に作業を進めるための準備作業について説明する。

1．堆肥材料の量の把握

堆肥化を計画的に行う場合、あらかじめ

- ①どの程度の量の堆肥材料（家畜ふん尿、敷料、副資材等）が発生するのか。
- ②堆肥化の過程でどの程度の減耗（水分の蒸散、有機物の分解等）が見込めるのか。
- ③どの時期にどの程度の堆肥の利用（圃場還元、戻し堆肥等）が見込めるのか。

を把握しておく必要がある。

堆肥化過程におけるおよその量の変化を見込んでおくことは、限られた施設で計画的に作業を行ううえで重要なことである。

特に、施設整備や機械導入をしようとする場合、この点を十分に検討しておかなければ設備不足や過剰投資を招く恐れがあるので注意する必要がある。

実際の現場では、ダンプトレーラーなどで運搬する際に、その容量からおよその発生量が把握できるのでチェックしておくといよい。また、ホイールローダーなどのバケットの容量でチェックする方法もある。こうした機材の容量から判断することができない場合には、下表のような数値を推定の算出根拠として用いることができる。ただし、最近では家畜の大型化や飼料効率の向上などから必ずしもこの数値が当てはまるわけではないので、あくまでも参考程度に止めておいた方がよいと思われる。

表3 家畜のふん尿排せつ量

畜 種	体 重 (kg)	1 日 1 頭羽あたり排せつ量(kg)		
		ふん	尿	
乳用牛	搾乳牛	700	50	15
	乾乳牛	550～650	21	6
	育成牛	40～500	16	7
肉用牛	2 歳未満	200～400	16	7
	2 歳以上	400～700	18	7
豚	子 豚	3～ 30	0.5	1.0
	肥育豚	30～110	1.9	3.8
	繁殖豚	150～300	3.0	7.0
採卵鶏	成 鶏	100 g		
肉用鶏	成 鶏	87 g		

2. 堆肥材料の質の把握と調整

堆肥化は堆肥材料がどのような状況であっても容易に行えるわけではない。場合によっては、何らかの方法により堆肥材料の質を調整する必要もある。したがって、処理前にあらかじめ堆肥材料の質について把握しておく必要がある。

この場合、チェックしておく項目には次のようなものがあげられる。

(1) 水分と通気性

技術理論編で述べたように、微生物は乾燥状態に弱く、堆肥材料の水分が40%以下になるとその増殖が抑制される。一方、高水分状態では増殖が盛んになるが、酸素の供給が十分であれば堆肥化に好ましい好気性微生物が活動し、酸素の供給が不十分であれば堆肥化に好ましくない嫌気性微生物が活動する。

一般に堆肥化する場合、堆肥材料の水分は60～65%程度が適当といわれている。ただし、これは前述のように、十分な水分を供給しつつ、併せて好氣的微生物が必要とする酸素を供給できる空隙が堆肥材料中に適度に存在している場合、結果として水分が60～65%程度になっていたということであり、単に水分を60～65%程度にすると良いというわけではない。

したがって、堆肥化処理を行う前に、堆肥材料中に水分と通気性が十分に兼ね備えられているかをチェックし、場合によっては改善する必要がある。

実際の現場では、水分は簡易水分計を用いて容易に把握することができる。

通気性は簡単に把握することが困難であるが、ある程度経験を積み、見た目や手に取った感触からその良し悪しを判断することができる。また、容積比重を通気性の目安とすることができるので活用するとよい。

この場合の容積比重は、0.5kg／リットル以下が望ましいとされている。

因みに家畜改良センター本所では、切り返しを行うたびに堆肥舎内で4リットルのプラスチック容器に堆肥材料を入れ、上皿秤で秤量し容積比重を算出している。

なお、牧場で見られる水分や通気性に関する代表的な問題の改決策には、次のようなものが考えられる。

① 水分が高く通気性に乏しい堆肥材料の場合

フリーストールから搬出される更褥物のように水分がかなり高く通気性に乏しい堆肥材料の場合には、次のような水分が低く通気性を確保しやすい副資材を添加すると効果がある。

【モミガラ】

未粉碎のモミガラは吸水性が良くないが、通気性を改善させる性質がある。一方、粉碎したモミガラは逆の性質を持っており、吸水性は良くなるが、通気性の改善は期待できない。

なお、未粉碎の場合であってもモミガラの堆肥化は十分可能であるとされている。

【乾牧草等】

乾牧草、麦稈、稲わら等の繊維質作物は、細断してもモミガラより通気性改善の効果が高く、有効な資材である。

【オガクズ】

オガクズは吸水性・保水性に富んでおり、家畜ふんに比較して分解速度は遅いが、その乾物分解による発生熱エネルギーで原料資材中の水分を蒸発させる利点がある。しかし、オガクズは作物の生育阻害物質を含有している場合があり、これらの分解に長期間が必要となるなどの問題点がある。また、粒子が細かいものは通気性を悪化させることがあるので注意する必要がある。

【戻し堆肥】

最近、堆肥化処理が完了した堆肥を副資材に用いる戻し堆肥という方法が実施されている。これには、堆肥材料の水分調整のみならず、既に繁殖した微生物の活用という一面もある。

なお、家畜ふんのみの戻し堆肥は粒子が細かいため、多量に添加した場合には通気性が低下するおそれもあるので注意が必要である。

また、畜舎によっては、次のようにその構造上の問題から更褥物の水分が高く、堆肥化処理を著しく困難にさせているものもある。

- 換気性が悪いため、床が乾きにくい。
- 給水器の配置が悪いため、零れ水が更褥物と混ざってしまう。
- 雨水が更褥物と混ざってしまう。

こうした構造上の問題を持つ畜舎は、所要の改修を行う必要がある。

また、畜舎を新設する際には、こうした過ちを繰り返さないように、設計段階で十分考慮する必要がある。

②水分が低い場合

一方、乾牧草などの敷料を多く含む更褥物のように水分がかなり低い堆肥材料の場合には、尿汚水などを添加することにより水分を補給する必要がある。また、この場合は後述するようにC/N比が高いため、窒素源の添加を伴わなければならないこともある。

牧場によっては、畜舎環境を少しでも良くしようと考え、大量に生産される乾牧草を敷料として糞尿に利用している場合が見られる。しかし、こうして得られた敷料を大量に含む更褥物は、水分が低く、C/N比が高いため、水分や窒素源を添加するという煩雑な作業を行わなければ適正に処理できないことがある。また、処理を要する更褥物そのものの発生量が無闇に増やし、余計な作業を作っていることにもなる。

畜舎環境の問題は、安易に敷料を大量に用いるのではなく、畜舎の構造そのものの改修を含めて検討すべきである。

(2) C/N比

堆肥化処理は微生物の働きによって行うものであり、微生物が活動するためのエネルギー源となる成分（炭素；C）と微生物が増殖するために菌体を構成する成分（窒素；N）の適切なバランスが必要である。

一般に、堆肥原料のC/N比が低いほど（相対的に窒素が多いほど）分解しやすく、高いほど（相対的に窒素が少ないほど）分解しづらいといわれており、実際の現場ではC/N比を30以下に調整しておく必要がある。

敷料を大量に用いた更褥物などC/N比が高い堆肥材料を処理しようとした場合、成分調整を行わねばならないこともある。

この場合、鶏ふんや硫酸などの窒素源を添加してC/N比を調整する方法もあるが、前述のように無闇に敷料を大量に使用しているのであれば、畜舎環境の改善策（例えば、換気性を高めるための改修、直下式ファンの設置など）を併用しつつ敷料の利用量を抑えるなどの方策をとる必要がある。

なお、主な原料資材のC/N比の目安は、次のとおりである。（ただし、資材中には微生物が利用しやすい易分解性部分と利用しづらい難分解性部分があるので注意を要する。）

(参 考)

各種資材のC/N比

牛 ふ ん	=	15～30（C/N比は粗飼料給与量が少ないほど低い）
豚 ふ ん	=	10～15
鶏 ふ ん	=	10以下
稲 わ ら	=	50～70
麦 稈	=	70～100
糊 が ら	=	60～72
オガクズ	=	200～1,500

Ⅲ． 堆肥化促進のための攪拌・切り返し作業

1. 攪拌・切り返しの効果

好気性微生物の増殖には酸素の供給が不可欠である。したがって、堆肥化を促進するためには、適度の攪拌または切り返しによって均一に堆肥中へ酸素を供給するとともに、余分な水分を蒸散させて通気性を高めることが必要である。

ただし、攪拌または切り返しを行った直後は一時的に堆肥材料の温度が低下する。これは材料中の内部に蓄積された熱エネルギーが飛散してしまうためであり、過度の攪拌または切り返しは逆に堆肥化を抑制する結果にもなるので注意しなければならない。

堆肥舎で行われている攪拌・切り返しは、一般にホイールローダーやフロントローダーを装備したトラクター等を用いて行われている。しかし、畜産農家の実態を見てみると、かなりの労力を必要とすることから1ヶ月に1回程度の作業に止まっているのが通例であり、その結果、堆肥化処理に長期間を要することとなっている。原料資材の状況、堆肥舎の規模、機械装備、気象条件等にもよるが、短期間に確実に処理しようとするならば、特に堆肥化初期には攪拌・切り返しをできるだけ頻繁（3日間に1回程度）に行うことが効果的である。



写真4 切り返し作業

切り返しの目的は、堆肥中へ酸素を送り込むと同時に、余分な水分を蒸散させることにある。

発酵状態がよいと、切り返す度に白い蒸気が立ち上がる。

2. 攪拌・切り返し方法の採用

これまで、堆肥化处理といえば、一般に堆肥舎や堆肥盤でのホイルローダー等による切り返しが行われてきた。

この方法は、堆肥材料の量がそれほど多くなく、担当者に技術力（知識及び機械の操作能力）が備わっていたならば、最も確実な方法ではある。

しかし、ホイルローダー等による切り返しは、①他の方法と比較すると作業効率が低く、多大な労力を要する。②ホイルローダーは飼料生産等他の業務と競合する。等の問題がある。

また、ホイルローダーで大量な堆肥の処理を行おうとすると、大規模な堆肥舎、大型ホイルローダー、大型ダンプトラックの整備のため、発酵堆肥舎の整備よりもコストが嵩むこともある。

表4に代表的な堆肥化处理方法を取りまとめた。この表を参考に各牧場に相応しい方法を検討していただきたい。

なお、一概には言えないが、多頭数の牛を飼養している牧場にあつては、発酵初期は堆肥材料の質の調整が行いやすい「ホイルローダーによる切り返し」を採用し、発酵中期からは、ロータリー式発酵処理施設を採用することが望ましいと考えられる。

また、中小家畜を多頭羽数飼養している牧場にあつては、牧場周辺への臭気の問題がなければロータリー式発酵処理施設を、牧場周辺への臭気の問題があれば密閉式発酵処理施設を採用することが望ましいと考えられる。

表4 堆肥化处理方法の比較

区 分		堆肥舎	発酵堆肥舎	
			開放式	密閉式
特 徴	処理労力	多 い	少ない	少ない
	施設必要面積	大きい	大きい	小さい
	処理に要する期間	長 い	中くらい	短 い
	副資材添加	必要性	場合によってあり	な し
		作業性	容 易	途中から添加は困難
	太陽熱	利用した方が良い	利用した方が良い	利用する必要なし
利 用 状 況	畜 種 別	悪臭対策の難易	困 難	容 易
		酪 農	◎	○
		肥 育	◎	○
		養 豚	○	○
	規 模 別	養 鶏	△	◎
		大規模	△	○
		中規模	△	○
		小規模	○	△

（注）利用状況の欄の記号の意味は次のとおりである。

◎・・・多く利用されている。 ○・・・利用されている。

△・・・一部で利用されている。 ×・・・ほとんど利用されていない。

3. 施設設計の留意事項

密閉式発酵堆肥舎の施設整備についてはメーカーに委ねるところが大きいですが、堆肥舎及び開放式発酵堆肥舎の施設整備については設計を担当する職員に委ねられるところが多い。

そこで、次に堆肥舎及び開放式発酵堆肥舎の施設整備について、留意すべき事項を挙げておくので参考にさせていただきたい。

(1) 堆肥舎の場合

① 設置方向

太陽熱を十分に利用するため、開放面は南向きとする。

② 屋根

屋根材は、太陽熱を十分に利用するため、透明ポリカーボネイトまたは透明強化プラスチックを用いる。透明ポリカーボネイトは、強度及び光の透過性から見て最も適した材質であるが透明強化プラスチックよりも高価であることが難点である。

屋根はホイルローダーの作業性を考えると高いほど良いが、あまり高すぎると雨の降り込みがあるので注意を要する。

③ 壁及び柱

大型ホイルローダーによる作業を行うことから、腰壁は比較的強度が必要である。また、作業をしやすくするためにスペースを広くとるため、余計な柱や壁は少ない方がよい。

④ エプロン

堆肥舎の前面は泥濘化しやすいので、ホイルローダーによる作業スペース分のコンクリートエプロンを確保する必要がある。

(2) 開放式発酵堆肥舎の場合

① 攪拌機

機種は、ロータリー式とスクープ式がある。スクープ式は攪拌効率は高いが、機械の故障が多く、メンテナンスが大変なので避けるべきである。ロータリー式は、未分解の乾牧草が絡むこともあるが、故障が少なく、メンテナンスも容易なので推奨できる。なお、これらの攪拌機に詳しい取り扱い業者は、必ずと言っていいほどロータリー式を勧めている。

メーカーは多々あるが、ロータリー式についてはほとんど差が見られない。したがって、メーカーを選択する場合は、価格やアフターケア（電話1本で対応できる体制）がポイントとなる。規格は、各メーカーとも、およそ攪拌幅3～6m、攪拌深度0.3～1.5mである。

② 発酵槽の大きさ

発酵槽の深さは、堆肥材料が発酵初期～中期であり確実な発酵を求める場合には、比較的深い1.0m程度のものがよい。一方、堆肥材料が発酵後期であり乾燥を併せて狙うのであれば比較的浅い0.3～0.5m程度のものがよい。

なお、最近の酪農や肉用牛経営では、図8のように、深さ1.0m程度の発酵専用施設と深さ0.3m程度の乾燥専用施設を併設し、戻し堆肥を有効に利用している事例が見られる。

発酵槽の幅と長さは、毎日投入する堆肥材料の量及び水分、搬出する際の目標水分、地域ごとの気象条件、施設の被服材の材質等から算出される。この計算については各メーカーがそれぞれ設計プログラムを持っているので依頼するとよい。

③施設の骨格

基本的に簡単に壊れないものであれば何でもかまわない。過剰投資を避けるため、できれば軽量鉄骨ハウス材や園芸用パイプハウス材を用いることを勧めたい。

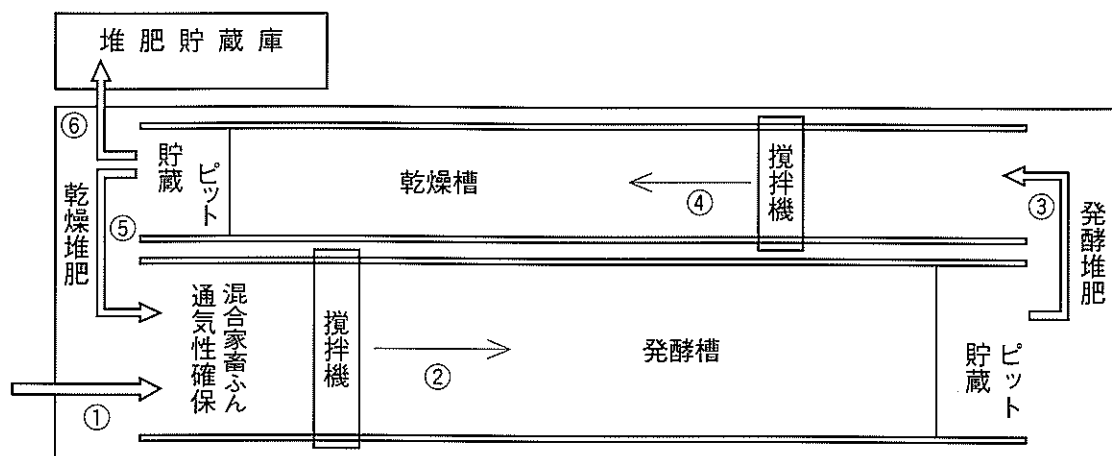
一部のメーカーでは、専用ハウスを取り扱っているので参考にするとよい。

④施設の被服材

太陽熱を十分に利用するため、堆肥舎の屋根材と同様に、透明ポリカーボネイトまたは透明強化プラスチックを用いるとよい。

ただし、ハウスの場合には、被服材の張り替えが比較的容易であり、堆肥舎ほど強度が必要なわけでもないので、園芸用ビニールを利用することも可能である。園芸用ビニールといえども、最近の商品はかなり強度があること、太陽熱の利用から見ると透明ポリカーボネイトや透明強化プラスチックに比べて効果が高いこと、割安であること等から利用価値は高いので検討してみるとよい。

図8 2槽式発酵堆肥処理施設



- ①畜舎から発生した家畜ふんを発酵槽へ投入する。
- ②適度に攪拌機で攪拌しながら、少しづつ矢印の方向へ移送する。
- ③貯蔵ピットに貯まった発酵堆肥を乾燥槽へ投入する。
- ④頻繁に攪拌機で攪拌しながら、矢印の方向へ移送する。
- ⑤貯蔵ピットに貯まった乾燥完熟堆肥の一部を調整副資材として発酵槽へ投入する。
- ⑥貯蔵ピットに貯まった乾燥完熟堆肥の一部を堆肥貯蔵庫にストックする。



写真5 ロータリー式攪拌機

ロータリー攪拌機

シンプルな構造であり、取り扱いやすく、メンテナンスをほとんど要しない。



出口から見た発酵槽の全景

発酵槽の中の堆肥は、攪拌されながら数ヶ月間かけて少しずつ出口に向かって移動する。



処理前の堆肥

発酵槽の入口付近の堆肥は、水分が高く、塊状であり、敷料である乾牧草の形状がはっきりと見える。



処理後の堆肥

発酵槽の出口付近の堆肥は、水分が低く、粒状であり、敷料である乾牧草の形状がほとんど見えない。



写真6 スクープ式攪拌機

攪拌能力は高いが、機械の構造が複雑であり、故障しやすいという欠点がある。



写真7 2槽式発酵堆肥舎

発酵舎(右側)と乾燥舎(左側)を併設し、乾燥舎から取り出した乾燥堆肥を副資材「戻し堆肥」として有効に活用している。



写真8 軽量鉄骨ハウス

発酵舎の建物は、必ずしも頑丈である必要はない。軽量鉄骨ハウスでも十分である。