

第Ⅱ章

堆肥化技術の種類と特徴

1. 堆肥化技術の基本

1) 堆肥作りの基礎

家畜ふんの堆肥化過程は、つぎの3つの過程で説明することができます（図2 - 1）。

家畜ふんに含まれる分解しやすい有機物（易分解性有機物）が好気性微生物に分解され、汚物感の原因である腐敗性が低下します。

有機物の分解にともなって発生する発酵熱を水分蒸発のエネルギーとすることで、一部の水分が蒸発します。

熱にさらされることにより衛生的に安全な堆肥になります。

こうしてできあがった堆肥は、蒸発しきれなかった水分と難分解性有機物、および無機物（灰分）で構成されます。

表2 - 1に示したように、堆肥化効率を左右する大きな影響因子は、微生物、栄養分、水分、酸素（空気）、温度、処理日数の6つがあげられます。堆肥化発酵は好気性微生物が分解し易い有機物を分解する作用ですから、微生物活動を活発にする適正な環境条件をえることが重要です。その意味からいえば、微生物の生育に適正な環境条件（表2 - 1 から の4項目）を整えてやれば微生物反応が進行し、結果として温度上昇が得られます。さらに、堆肥として有効なもの

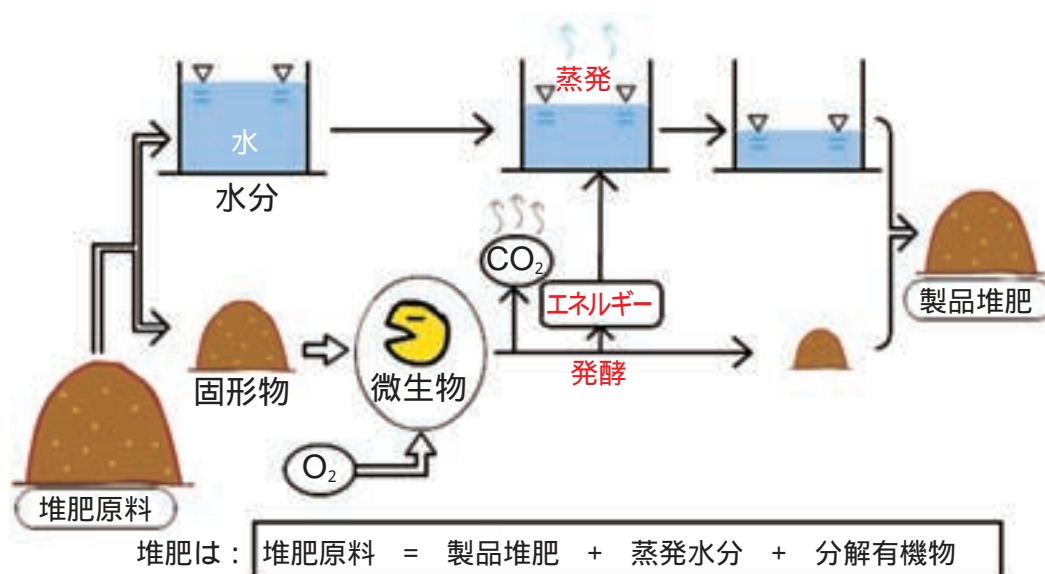


図2 - 1 堆肥化過程のイメージ

表2 - 1 堆肥化の条件と目安

条件	目安
微生物は沢山いるか	・ 十分にいる。家畜ふん、戻し堆肥で十分
栄養源は十分にあるか	・ 十分ある
	・ BOD 濃度が数万 mg/kg 以上が目安
	・ C/N 比は 20 前後が適当
水分は適当か	・ 水分含量は 55 ~ 70% が適当
	・ 通気性がよくなるように調整する
酸素（空気）は十分に送られているか	・ 通気性が確保できる高さに堆積する
	・ 容積量を 700kg/m ³ 程度に調整する
	・ 強制通気する場合には 50 ~ 300L/分・m ³ が目安
温度は上昇しているか	・ 60 以上が数日間続くように
時間をかけているか	・ 分解速度（堆肥化条件）により異なる。短い場合でも数か月が必要

（家畜ふん尿処理・利用の手引き、畜産環境整備機構：1997）を一部修正

するために、処理時間が関与してくるといいのかもしれませんが。

（1）微生物

家畜ふんにはもともと微生物が1億～10億個/g程度生息しています。一般に、微生物が作用を発揮するのに必要な数は100万個/g以上といわれていますから、生ふんや戻し堆肥中には十分な微生物が存在します。堆肥化促進や悪臭の発生抑制などの効果をうたった多くの添加資材がありますが、外部から微生物を添加しても大きな効果はあまり期待できません。それより、生ふん中に存在する微生物の活動環境を整えることの方が重要です。

（2）栄養

易分解性有機物が微生物の栄養分となります。家畜ふんは乾物中に有機物を80%前後含み、とりわけ易分解性有機物含有量が高いことから、栄養分は十分に含まれています。栄養バランスとしての窒素と炭素の比率（炭素率:C/N比）は8～20の範囲にあり、やや窒素の比率が高いのが特徴です。堆肥化過程では、微生物による有機物の分解と、発熱によるアンモニアの揮散が同時に起きますが、終了時には適正なC/N比に保持されます。

(3) 水分

水分は微生物の活動に必須であり、40%以下では生物活性が低下するといわれています。通常、家畜ふんは微生物にとって十分な水分を含んでいますが、高床式鶏舎のように、畜舎の構造、管理上、水分が低くなる場合には水分補給を考える必要があります。夏季に水分蒸発が多い場合も同様の配慮が必要です。

一方、水分は堆積物の通気性にも関係します。家畜ふんは水分が80～90%と高いため、比重が重く、通気性に欠けます。このため、おが屑やモミガラ、イナワラ等の副資材を添加して材料を膨軟な状態にし、堆肥原料中の空隙率を高めて通気性を良好にする必要があります。すなわち、副資材添加の目的は水分調整ではなく、家畜ふんの通気性を改善することにあります。家畜ふんの予備乾燥を行ったり、戻し堆肥を使う場合も同じです。

日常の管理では、手袋をはめぎゅっと握って、指の間から水がしみ出るか出ない状態に調整して下さい(しみ出るようでは、やや水分が高い)。

(4) 酸素(空気)

堆肥化発酵とは、家畜ふんに含まれる易分解性有機物が好気性微生物に酸化分解されることですから、家畜ふんの内部に十分な空気が存在しなければ微生物が活動できません。良質な堆肥を生産するために、酸素(空気)を十分に送って好气的条件を維持する必要があります。このためには、まず通気性を良くすることが必要です。通気性の目安として空隙率30%以上が必要といわれていて、容積重を500～700kg/m³(水分55～70%)程度に調整することが目安となります。

堆積物中に強制的に空気を送り込む通気方式の場合、材料の水分や通気性によって異なりますが、適正通気量は50～300L/分・m³の範囲にあって、一般には、100L/分・m³程度で運転する装置が多いようです。通気方式では、堆積後時間が経過すると堆積物内部に空気の通路が形成されます。この空気の通路はさらに乾燥して、そこだけ空気が通り全体に空気が行き渡らなくなります。そこで、適宜切り返しを行って、全体に空気を行き渡らせることが重要です。

いずれにしても、副資材の混合などによる通気性の改善が、堆肥化を順調に進行させるためのキーポイントです。日常の管理では、堆肥から強い腐敗臭を感じる時は嫌気状態で、酸素が行き渡っていない状態です。

堆肥化過程の進行を酸素の消長の状況でみると、つぎの3ステップで進行し

ます。

堆積物の内部に含まれていた酸素はすぐに消費され、新鮮空気と接している表面部分の堆肥化が進行する。

堆積物の内部は酸素と接触しにくいいため、切り返しを行って内部の未発酵部分と表面部分を置き換える。

堆積物底部から通気を行うと、堆積物の底部も新鮮空気と接触できるため、底部からも堆肥化が進行する。

すなわち、通気性の改善程度によって、切り返し頻度によって、新鮮空気との接触面積によって堆肥化の進行速度が異なるのです。

発酵槽の構造と堆積物内部の発酵状況を整理して図 2 - 2 に示しました。

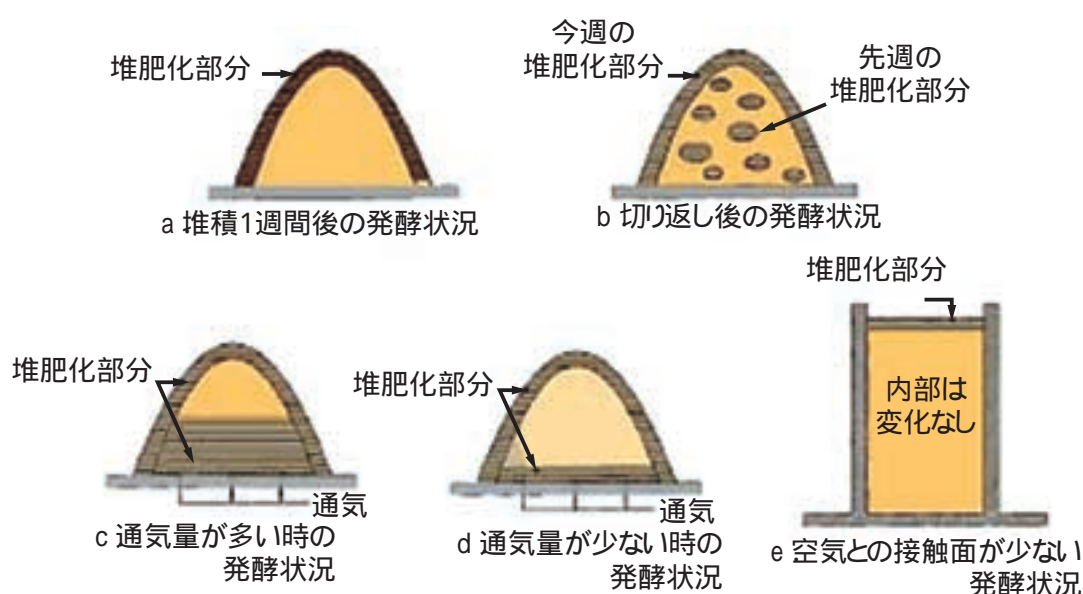


図 2 - 2 発酵槽の構造と発酵状況

(5) 温度

以上のように、微生物、栄養、水分、酸素（空気）の条件が揃うと堆肥化が進行し、微生物が有機物を分解する過程で反応熱が発生します。この反応熱によって堆肥の温度が上昇し 60 ~ 70 程度、ときには 80 以上にも達します。高温になることは、微生物が盛んに活動していることで、堆肥化が順調に進んでいることを示しています。

堆肥材料が高温にさらされることによって、3つの効果が得られるといわれています。1つ目は微生物の活性を高める効果、2つ目は水分の蒸発促進効果、3つ目は病原菌や寄生虫卵、雑草種子の殺滅効果です。病原菌や虫卵、雑草種

子を殺滅するためには60℃以上の温度を1週間程度続けることが必要とされていますから、堆肥全体が高温にさらされるように適宜切り返しを行うことが必要です。日常の管理では、温度計で堆肥の温度を測り、60℃以上であれば良好な発酵状態にあります。

(6) 処理日数

切り返しをすると再び堆積物の温度が上昇する間は、微生物が分解できる有機物が残っていて、分解途中の過程ですからまだ堆肥化は終了していません。切り返しをしても温度が上がらなくなるまでにはかなりの時間がかかります。必要処理日数は、易分解性有機物の分解速度、すなわち、有機物の組成や堆積深、調整水分、攪拌・切り返し頻度、通気量などの堆肥化条件によって大きく異なります。短い場合でも2か月、長い場合は6か月程度が必要処理日数の目安とを考えてください。

2) 堆肥作りの留意点

(1) 水分調整と通気性の改善

良質な堆肥を生産するために、通気性を確保することがもっとも重要であると述べましたが、通気性を確保するためには、予備乾燥を行ったり副資材を添加したりすることが重要です。通気性確保の目安として、空隙率を30%以上に保つことが必要といわれています。表2-2に主な副資材の特徴を整理しました。

表2-2 主な副資材の特徴

資材	容積重 (kg/m ³)	利点	欠点	備考
イナワラ・麦稈	70	通気性の改善効果大きい 分解が比較的容易	収集時間が限定される 収集作業量が多い 施設によっては細断が必要	収集作業の共同化(機械化)が必要 粗飼料として利用される場合が多い
モミガラ	90	未粉碎物は吸水性が低いが通気性の改善効果が大きい 粉碎物は吸水が高いが通気性の改善効果は低い	分解が比較的困難 粉碎に大量の動力が必要	共同乾燥施設で発生するモミガラの有効利用が必要
おが屑・バーク	100 ~ 150	通気性の改善効果大きい 吸水率高い	高価となり、次第に入手が困難 分解に比較的長時間を要する 作物の生育阻害物質を含む場合がある	常時、定量供給可能な入手先の確保が必要
無機資材 (パーライト、トバモライト、ゼオライト等)		通気性の改善効果大きい 吸水率高い 安定して入手可能	高価である	家畜ふんの水分低下をはかり、高価な資材の使用量を少なくする 高品質堆肥を生産し高価で販売できるようにする 分解しない
戻し堆肥	300 ~ 600	通気性の改善効果大きい(低水分の場合) 吸水率高い(低水分の場合) 比較的確保しやすい	高水分では通気性の改善効果が低い 分解によるエネルギー発生はほとんどない 販売できる製品量が少ない	冬季対策として戻し堆肥の水分を低下させる乾燥施設を設けることが望ましい 共同処理施設などでは、導入例が多い

(堆肥化施設設計マニュアル、中央畜産会：2000)

【例題 おが屑による豚ふんの水分調整】

a. 設定条件

- ・ 処理対象ふん量：2.1kg/頭・日 × 2,000頭 = 4,200kg/日(水分75%)
- ・ 処理対象ふん水分量：4,200kg/日 × 75/100 = 3,150kg/日
- ・ おが屑水分：25%
- ・ 調整後水分：62%

b. 必要おが屑量の計算

- ・ 調整後の水分量 = (豚ふん量 + おが屑量) / 日 × 62/100

$$= (4,200\text{kg/日} + \text{おが屑量kg/日}) \times 62/100$$
- ・ 豚ふん水分量 + おが屑水分量 = 4,200kg/日 × 75/100 + おが屑量kg/日 × 25/100

$$= \text{調整後の水分量}$$

したがって、

$$\begin{aligned} (4,200\text{kg/日} + \text{おが屑量kg/日}) \times 62/100 \\ &= 4,200\text{kg/日} \times 75/100 + \text{おが屑量kg/日} \times 25/100 \\ 4,200\text{kg/日} \times 62/100 + \text{おが屑量kg/日} \times 62/100 \\ &= 4,200\text{kg/日} \times 75/100 + \text{おが屑量kg/日} \times 25/100 \end{aligned}$$

豚ふんを右辺に、おが屑を左辺にまとめると

$$\text{おが屑量kg/日} \times (62/100 - 25/100) = 4,200\text{kg/日} \times (75/100 - 62/100)$$

- ・ 必要おが屑量(図2 - 3)

$$\begin{aligned} \text{おが屑量kg/日} &= 4,200\text{kg/日} \times (75/100 - 62/100) \div (62/100 - 25/100) \\ &= 1,475\text{kg/日} \end{aligned}$$

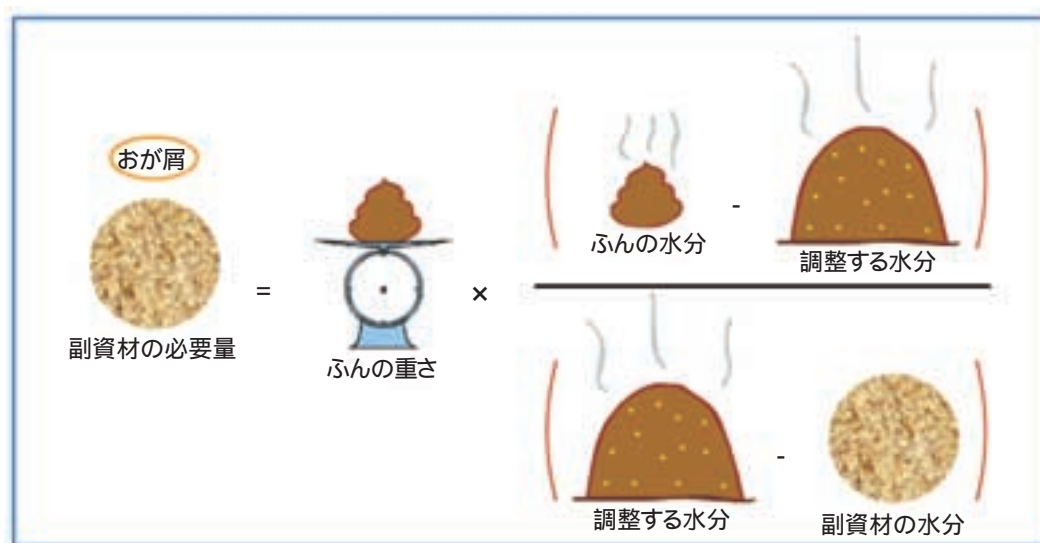


図2 - 3 水分調整に必要な副資材量の求め方

- ・ 検算：調整後の堆肥材料重量 = 4,200kg/日 + 1,475kg/日 = 5,675kg/日
 調整後の水分量 = 4,200kg/日 × 75/100 + 1,475kg/日 × 25/100 = 3,519kg/日
 水分(%) = 3,519kg/日 ÷ 5,675kg/日 = 62%

(2) 容積重の設定

堆肥化施設を設計する際、家畜ふんや堆肥の重量から容積を算出するために容積重の設定が必要になります。容積重は畜種、水分、副資材の有無により異なります。表2 - 3に畜種別に水分と容積重の関係を示しました。同じ水分でも、豚ふんや鶏ふんは、牛ふんに比べて容積重が重いことがわかります。

日常管理で容積重を知るには、10L程度のバケツに堆肥を一杯入れ、重量を

表2 - 3 家畜ふんの容積重 (単位: kg/m³)

水分	牛ふん	豚ふん	鶏ふん
90%	950	-	-
85%	900	-	-
80%	850	950	950
75%	800	900	900
70%	750	850	850
65%	700	800	800
60%	650	750	750
55%	600	700	700

(家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、畜産環境整備機構：2004)

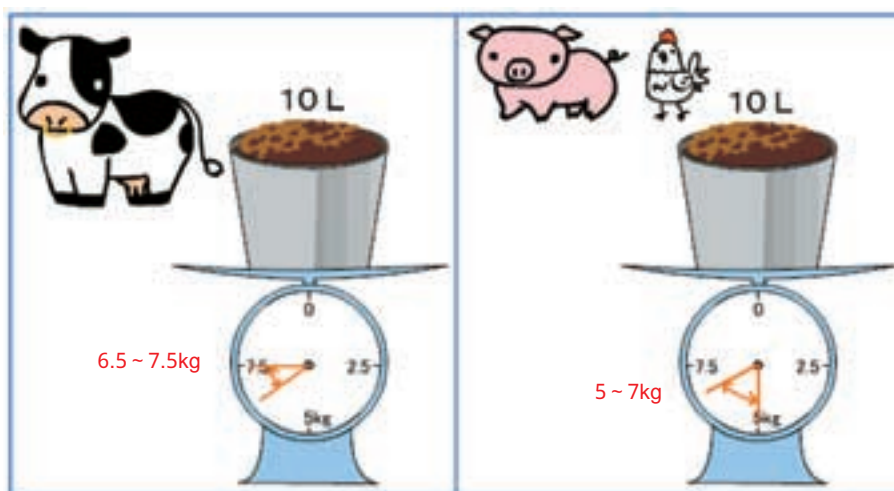


図2 - 4 畜種によって、容積重を適正に合わせる

測ることで求められます。図2 - 4に示したように、10Lのバケツに採った堆肥原料の重さが5～7kg程度であれば、容積重は0.5～0.7kg/Lとなり、通気性の改善が図られています。なお、バケツで容積重を測る場合、圧密が起こらないので実際よりも低く測定されがちです。バケツで測定するときには0.65kg/L以下を目安とするのがよいでしょう。

(3) 堆肥化処理がうまくいかない

堆肥化処理がうまくいかない場合は、ほとんどの場合、施設に投入する家畜ふんの水分が高いことが考えられます。必ず、水分調整して通気性を確保した上で、堆肥化施設に投入することが必要です。スタート時の水分は、副資材におが屑やモミガラを用いる場合、豚、鶏ふんで62～65%、牛ふんで72～75%以下に、予備乾燥する場合、豚、鶏ふんで55%以下、牛ふんで65%以下、戻し堆肥で調整する場合、豚、鶏ふんで58%以下、牛ふんで68%以下が目安とされます。

施設の設計能力（建設時の飼養頭数）を超えた排せつ物を投入した場合も堆肥化処理がうまくいきません。施設の能力を超えて投入すると、堆肥化期間が不足したり、水分調整が適正に行えないなどにより、正常な運転が不可能となり、施設は機能停止に陥ります。計画のふん処理量、調整水分、副資材の必要量などを守ることはもちろん、維持管理要領書（運転マニュアル）等で示されている堆積高さ、切り返し頻度、通気量などを指示どおり適正に行うよう維持管理しなければなりません。

なお、適正に稼働している施設でも、経年劣化により通気量の低下が起こります。送風機的能力低下、通気孔の閉塞などのほか、攪拌装置の攪拌羽根や刃の摩耗により、発酵槽底盤に家畜ふんの塊ができて通気量の低下を招くことも多いので注意が必要です。

(4) 悪臭対策

悪臭防止法では、アンモニアや硫化水素など22物質について、自治体が規制地域と悪臭物質ごとの基準値あるいは臭気指数の基準値を定めて規制することになっています。畜産の場合、敷地境界での濃度で規制されます。堆肥化施設から発生する恐れのある悪臭物質は、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、二硫化メチル、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉

草酸、イソ吉草酸などが主体です。近年は、物質濃度による規制に代えて、人間の嗅覚を利用した官能試験による臭気指数で規制されるところも多くなっています。

日常の管理では、堆肥をもみ砕いたときに悪臭がすれば、まだ十分に腐熟していないと判断できます。また、ガス検知管を用いれば、アンモニアや硫化水素などの悪臭成分の濃度を簡単に測定することができます。

3) 施設設計の基礎

(1) 処理対象とする家畜ふん尿の排せつ量

近年は、家畜ふん尿の排せつ量をコンピュータの計算プログラム（日本飼養標準に基づくものなど）によって簡単に求めることができますが、実際の処理対象ふん尿量は、飲水量や排せつ後の蒸発量の違いによって大きく変動します。とくに、搾乳牛の場合は生乳生産量の違いによって大きく変動しますし、採卵鶏やブロイラーふんの水分は、鶏舎の構造によって異なります。このほかにも、敷き料の材質、量や飼料の質、量、生産能力によっても処理対象ふん尿量が大きく異なります。処理対象ふん尿量は実測により把握することがもっとも望ましいやりかたですが、実務上困難です。そこで、「家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術（畜産環境整備機構：2004）」や「堆肥化施設設計マニュアル（中央

表 2 - 4 畜種別の処理対象ふん尿量と水分

畜種		ふん量 (kg/頭・日 g/羽・日)	ふん水分 (%)	尿量 (kg/頭・日 g/羽・日)
乳用牛	搾乳牛	36 ~ 54	84 ~ 86	14 ~ 17
	育成牛	16	78	7
肉用牛（ふん尿混合物）		20	81	-
豚	子豚	0.6	75	0.9
	肥育豚	2.1	75	3.6
	繁殖豚	3.0	72	7.0
採卵鶏	低床式鶏舎（毎日除ふん）	140	78	-
	低床式鶏舎（週1回除ふん）	120	75	-
	ウインドレス鶏舎（予備乾燥装置付）	75	60	-
	高床式鶏舎	42 ~ 50	40 ~ 50	-
ブロイラー（出荷羽数当たり）		2.0	35	-

（家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、畜産環境整備機構：2004）

畜産会：2000）」などの成書を参照するとよいでしょう。本書では、「家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術」を参考に、施設の規模算定等に用いられている処理対象ふん尿量として表2 - 4および図2 - 5に示しました。ここに示した値は、雑排水を含んだもの、あるいは、畜舎清掃までの間の圧搾による脱水、蒸発なども考慮して設定されています。なお、搾乳牛は設定値に幅がありますが、生乳生産量が多いほど排せつ量が増加することによるものです。

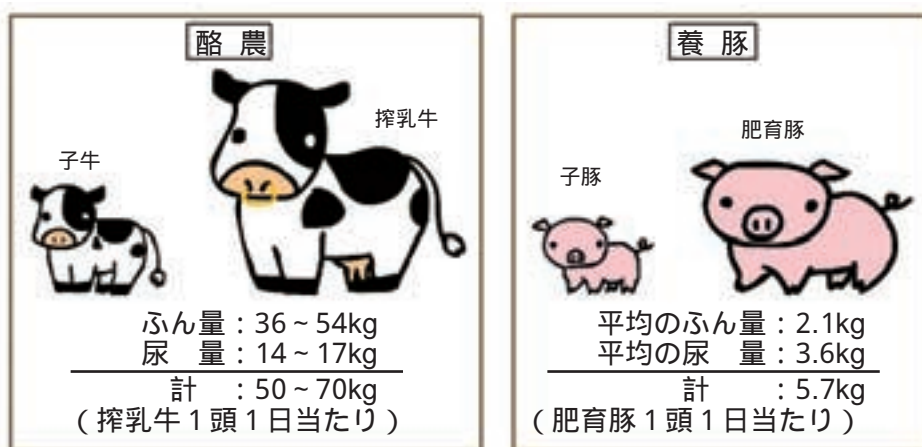


図2 - 5 平均的な処理対象ふん尿量

(2) 有機物の分解

堆肥化は、ふん中に含まれる易分解性有機物の分解によって進行します。通常、易分解性有機物の分解過程はつぎのように考えて計算します。

表2 - 5 畜種別の乾物分解率の目標

畜種・資材	目標分解率 (易分解性有機物量)
乳用牛	40%
肉用牛	40%
豚	40%
低床式採卵鶏 (毎日除ふん)	40%
高床式採卵鶏 (2 ~ 3 か月の除ふん間隔)	30%
ブロイラー (敷き料混合ふん)	20%
おが屑	10%
モミガラ	10%

(家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、畜産環境整備機構：2004)

堆肥化処理は、材料中の易分解性有機物の分解がほぼ終了するまで行うことが必要です。易分解性有機物の量や分解のしやすさは、畜種やふんの新鮮さ等によって多少異なりますが、設計上、新鮮ふんの易分解性有機物を40%、除ふん間隔の長い高床式採卵鶏は30%、プロイラーふんは敷き料混合で20%程度とするのが一般的です。したがって、いろいろな堆肥化の方式がありますが、目標とする総分解率（易分解性有機物量）は一定の値です。畜舎管理の方法によっては、除ふんまでの間に畜舎内で易分解性有機物の一部が分解するため、除ふん時の残存易分解性有機物量が分解目標とする有機物量となります。

なお、家畜ふんの堆肥化の場合、実用上の影響が小さいこと、計算が簡便であること等から、易分解性有機物に代えて、ふん中固形物（乾物）の分解率で表す方法が一般に行われています。表2 - 5に目標とする乾物の分解率（易分解性有機物量）を畜種別に整理して示しました。

（3）分解効率

家畜ふんの堆肥化は、家畜ふん中の易分解性有機物を化学的に安定した無機物に変換するプロセスと述べました。一方、家畜ふんの新鮮度、堆積物の通気性、切り返し・攪拌の頻度、堆積高さ、空気との接触面積、通気の有無等の条件により、分解性は大きく異なります。すなわち、空気との接触が積極的に行える方式、構造、管理方法であるほど高い分解効率（分解速度）が得られるか

表2 - 6 堆肥化方式と分解効率

堆肥化方式	堆積高さ	攪拌頻度	通気	乾物分解効率
堆肥舎	2 m	1回/月	無	0.3%/日
			有	0.4%/日
		1回/週	無	0.4%/日
			有	0.5%/日
開放型攪拌方式 (直線式、回行式)	2 m	毎日	有	0.8%/日
	1.5m	毎日	有	1.0%/日
	1 m	毎日	有	1.2%/日
	0.5m	毎日	無	1.2%/日
密閉型攪拌方式	縦型堆肥化装置			2.5%/日
	横型堆肥化装置			1.7%/日

(家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、畜産環境整備機構：2004)

らです。

表2 - 6 に堆肥化方式別に乾物の分解効率を整理して示しました。これから、堆肥化方式、堆積高さ、切り返し・攪拌の頻度、通気の有無によって分解効率が異なることがわかります。

(4) 必要処理日数

つぎに、易分解性有機物の分解が終了する（目標分解率）までに必要な日数を算出し、施設規模を設定することになります。

これまで述べた、目標乾物分解率と分解効率、必要処理日数、施設面積の関係を整理すれば次式のようにになります。

- **必要処理日数(日) = 目標分解率(%) ÷ 分解効率(%/日)**
- **施設面積(m²) = 堆肥原料(調整済:m³/日) × 必要処理日数(日) ÷ 堆積高さ(m)**

これから、必要処理日数、施設設置面積を求めることができます。すなわち、目標分解率が低く（易分解性有機物が少ない）、分解効率が大きいほど必要処理日数が少なくてすむことになります。必要処理日数が少ないということは、同じ容積重であれば、施設の容量、設置面積も小さくてすむことになります。しかし、容積重を小さく調整しすぎると、同じ目標分解率、分解効率でも大きな施設容量、面積が必要となるので注意してください。

なお、堆積高さを高くすると施設面積を小さくすることができますが、堆積高さを高くすると分解効率が低下するため、期待したほどの縮小効果を得ることはできません。たとえば、堆積高さ1 m（分解効率1.2%/日）の発酵槽を2 m（分解効率0.8%/日）にすると分解効率が2/3になるので1.5倍の処理日数（発酵槽容積）が必要になります（表2 - 6）。したがって、必要施設面積は1/2ではなく、1.5/2倍、すなわち3/4にしかならないことに注意してください。

(5) 分解反応熱と水分蒸発

堆肥化過程では、投入材料中の易分解性有機物の分解によって生成する反応熱で水分が堆肥材料中から蒸発します。乾物1 kgが分解されるときに発生する熱量を表2 - 7に示しました。堆肥化期間中に分解した家畜ふん、副資材、それぞれの乾物量に、発熱量を乗じて合算した熱量が水分蒸発のエネルギー源となります。

表 2 - 7 家畜ふん、副資材等の分解発熱量

畜種	発熱量	副資材	発熱量	燃料等 (参考)	発熱量	
	kJ/kg (kcal/kg)		kJ/kg (kcal/kg)		kJ/kg	(kcal/kg)
乳用牛	18,800 (4,500)	おが屑	12,600 (3,000)	薪	17,000 ~ 19,000	(4,000 ~ 4,500)
肉用牛	18,800 (4,500)	モミガラ	12,600 (3,000)	石炭	21,000 ~ 33,000	(5,000 ~ 8,000)
豚	18,800 (4,500)			燃料油	38,000 ~ 43,000	(9,000 ~ 10,300)
採卵鶏	18,800 (4,500)			プロパン	50,000	(12,000)
ブロイラー	14,600 (3,500)			メタン	54,000	(13,000)
				電力	3,600kJ/kW	(860kcal/kw)

注) 家畜ふん、副資材は分解乾物 1 kg 当たり、ブロイラーふんの発熱量は敷料のおが屑混入時
(家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、畜産環境整備機構:2004、堆肥化施設設計マニュアル、中央畜産会:2000)より作成

水 1 kg を蒸発させるのに必要な熱エネルギーは、約 2,500kJ (40.7kJ/mol 600kcal/kg) ですが、堆肥化処理では熱効率を考慮して、施設の方式により表 2 - 8 の数値を用いるのが一般的です。

そのほか、表 2 - 9 に示したように、屋根・壁面を光透過性の材質とし、毎

表 2 - 8 水 1 kg を蒸発させるに必要な熱量

堆肥化方式	必要熱量
堆積厚 50cm 以上の堆肥化方式	3,800kJ/kg (900kcal/kg)
堆積厚 50cm 以下の堆肥化方式	4,200kJ/kg (1,000kcal/kg)
密閉型発酵槽 (縦型・横型)	3,300kJ/kg (800kcal/kg)

(家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、畜産環境整備機構:2004)より作成

表 2 - 9 堆積物表面からの水の蒸発量

乾燥床の方式	蒸発量 (kg/m ² ・日)	備考	
堆肥舎 (堆積発酵)	0	<ul style="list-style-type: none"> 表面蒸発の条件は、切り返し・攪拌を毎日行い、屋根・壁材を光透過性の材質とする。 蒸発量を 1 kg/m²・日以上に設定する場合は、表面蒸発の見込めない冬季の対策を講じる。 冬季対策の必要期間は設定蒸発量や地域により異なる。 	
開放型・攪拌方式	堆積厚 50cm 以上 (発酵目的)		1
	堆積厚 50cm 以下 (乾燥目的)		1 ~ 3
天日乾燥ハウス	1 ~ 3		

(家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、畜産環境整備機構:2004)を一部改変

日、切り返し・攪拌を行うことで堆積物表面からの水分蒸発を期待することもできます。しかし、冬季は表面蒸発がほとんど期待できないので表面蒸発の見込めない冬季の対策（乾燥機、副資材添加、夏の低水分堆肥の貯留等）を講じる必要があります。

【例題 生ふんの乾燥処理（分解を伴わない水分蒸発）】

副資材の添加による水分調整の他に、ビニールハウス等を利用して生ふんの乾燥処理を行う場合があります。また、戻し堆肥を水分調整材として利用する場合、夏季は十分乾燥した戻し堆肥が得られますが、冬季は、堆肥化処理だけでは水分蒸発量が不足して戻し堆肥の水分が高くなるため、そのまま水分調整材として用いることができません。そこで、以下のように乾燥処理を行うか、おが屑等の副資材と併用する必要があります（冬季対策）。

（搾乳牛 40 頭、処理対象ふん量 45kg/ 頭・日、ふん水分 85%、乾燥目標水分を 65%とした場合の計算例）

- ・ 処理対象ふん量 : $40\text{頭} \times 45\text{kg} = 1,800\text{kg/日}$
- ・ 牛ふん乾物量 : $1,800\text{kg} \times (1 - 0.85) = 270\text{kg/日}$
- ・ 乾燥後の牛ふん量 : $270\text{kg} \div (1 - 0.65) = 771\text{kg/日}$
- ・ 必要蒸発水分量 : $1,800\text{kg} - 771\text{kg} = 1,029\text{kg/日}$
- ・ 乾燥床必要面積 : $1,029\text{kg/日} \div 3\text{kg/m}^2 \cdot \text{日} = 343\text{m}^2$

（水分蒸発量を $3\text{kg/m}^2 \cdot \text{日}$ とする）

注）乾燥床必要面積の計算で使用した $3\text{kg/m}^2 \cdot \text{日}$ の数値はハウスの水分蒸発能力を示す値で、この値により必要面積が決定する重要な値です。

ハウス乾燥床の水分蒸発能力は季節、天候、地域によって大きく異なり $1 \sim 6\text{kg/m}^2 \cdot \text{日}$ 程度の範囲にあります。低い蒸発効率で計算すれば安全ですが広大な施設が必要になり、建設費や敷地の制約から建設が困難になります。このため、水分蒸発効率を $3\text{kg/m}^2 \cdot \text{日}$ 程度に設定して必要面積を算出する例が多いのですが、この場合、水分蒸発能力が低下する冬季（水分蒸発量が $3\text{kg/m}^2 \cdot \text{日}$ 以下になる期間）の対策が必要です。

(6) 堆肥化施設の設計計算例

【副資材を添加する豚ふんの堆肥化处理】

a. 設定条件

- ・施設の構造と管理方法：堆積方式堆肥舎、切り返し1回/月、堆積高2m
- ・処理対象頭数：肥育豚2,000頭
- ・処理対象ふん量：2.1kg/頭・日
- ・処理対象ふん水分：75%
- ・処理対象ふん量：2.1kg/頭・日 × 2,000頭 = 4,200kg/日
- ・処理対象ふん水分量：4,200kg/日 × 75/100 = 3,150kg/日
- ・おが屑水分：25%
- ・調整水分：62%(容積重：700kg/m³)
- ・堆肥化による豚ふんの目標分解率(易分解性有機物量)：40%
- ・堆肥化によるおが屑の乾物分解率：10%
- ・無通気堆肥舎による平均乾物分解効率：0.3%/日
- ・分解乾物1kgあたりの発熱量：
豚ふん18,800kJ/kg(4,500kcal/kg)、おが屑12,600kJ/kg(3,000kcal/kg)

b. 設計計算

- ・必要おが屑量【例題 おが屑による豚ふんの水分調整】参照)
 $4,200\text{kg} \times (75\% - 62\%) \div (62\% - 25\%) = 1,476\text{kg/日}$
- ・おが屑水分量：1,476kg × 25/100 = 369kg/日
- ・おが屑乾物量：1,476kg - 369kg = 1,107kg/日
- ・混合物重量：4,200kg + 1,476kg = 5,676kg/日
- ・混合物水分量：3,150kg + 369kg = 3,519kg/日
- ・混合物乾物量：5,676kg - 3,519kg = 2,157kg/日
- ・混合物水分：3,519kg ÷ 5,676kg × 100% = 62%
- ・混合物容積：5,676kg ÷ 700kg/m³ = 8.1m³/日(容積重：700kg/m³)
- ・乾物分解量
豚ふん乾物分解量：1,107kg × 40/100 = 442.8kg
おが屑乾物分解量：1,107kg × 10/100 = 110.7kg

- ・ 乾物分解熱量 :

$$420\text{kg} \times 18,800\text{kJ/kg} (4,500\text{kcal/kg}) + 110\text{kg} \times 12,600\text{kJ/kg} (3,000\text{kcal/kg}) \\ = 9,293,000\text{kJ} (2,220,000\text{kcal})$$

- ・ 発酵熱による水分蒸発量 :

$$9,293,000\text{kJ} (2,220,000\text{kcal}) \div 3,800\text{kJ/kg} (900\text{kcal/kg}) = 2,467\text{kg}$$

(水の蒸発に要する熱量を3,800kJ/kg : 900kcal/kgとする)

- ・ 発酵後の残存乾物量 : $2,157\text{kg} - (420\text{kg} + 110\text{kg}) = 1,627\text{kg}$

- ・ 発酵後水分量 : $3,519\text{kg} - 2,467\text{kg} = 1,052\text{kg}$

- ・ 製品堆肥 : $1,627\text{kg} + 1,052\text{kg} = 2,679\text{kg}$

- ・ 製品堆肥水分 : $1,052\text{kg} \div 2,679\text{kg} \times 100\% = 39.3\%$

- ・ 製品堆肥容積 : $2,679\text{kg} \div 400\text{kg/m}^3 = 6.7\text{m}^3 / \text{日}$

(容積重を 400kg/m^3 とする : 表 2 - 10 参照)

表 2 - 10 製品堆肥の容積重 (kg/m^3)

水分	牛ふん堆肥		豚・鶏ふん堆肥		プロイラー	おが屑	モミガラ
	資材無	資材有	資材無	資材有			
60%	550	500	600	550	-	-	-
55%	500	450	550	500	-	-	-
50%	450	400	500	450	-	-	-
45%	450	400	500	450	-	-	-
40%	400	350	450	400	-	-	-
35%	400	350	450	400	400	350	-
30%	350	300	400	350	350	300	250
25%	-	-	-	-	-	250	200
20%	-	-	-	-	-	200	150
15%	-	-	-	-	-	150	100

(家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術、畜産環境整備機構 : 2004)

c. 堆肥舎面積

- 必要処理日数：40% ÷ 0.3% / 日 = 134日
- 必要堆肥舎容積：8.1m³ / 日 × 134日 1,086m³
- 必要堆肥舎面積：1,086m³ ÷ 2 m = 543m² (堆積高さを 2 m とする (図2 - 6))

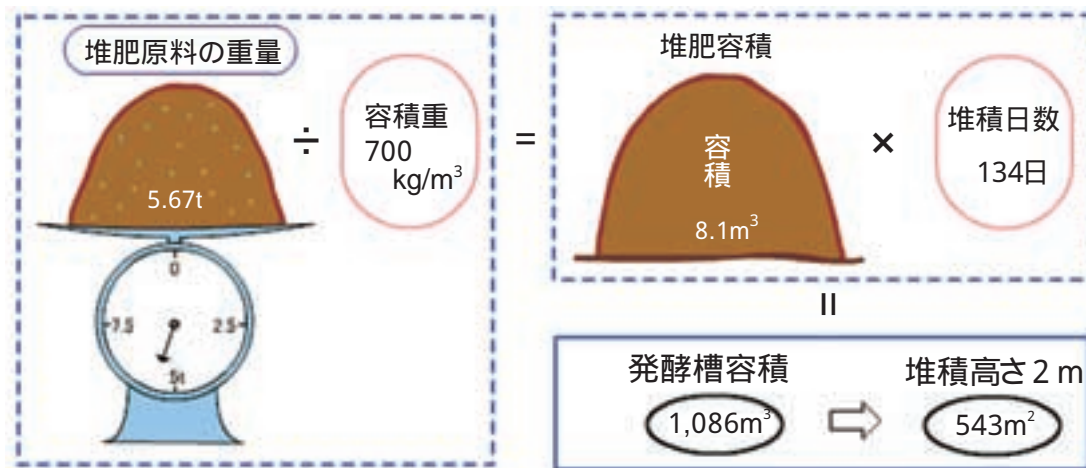


図2 - 6 堆肥発酵槽の容積の求め方

2. 堆肥化処理施設の種類と特徴

1) 堆肥化処理施設の種類

堆肥化処理施設の種類には表2-11に示したようにいろいろな構造があり、大別すると堆積方式と攪拌方式に分けられます。前者は、堆肥舎が一般的ですが、後者はさらに開放型と密閉型に分けることができます。密閉型は強制通気式ですが、開放型は無通気式、通気式の両方があります。一般には、これらを複数組み合わせ一つのシステムとしているものが多くみられます。

堆積方式の堆肥舎では、切り返しはショベルローダー等で行います。構造が簡単なことから広く普及している方式で、通気式の堆肥舎と無通気式の堆肥舎があります。

攪拌方式では、発酵槽内を攪拌機で攪拌する方式やクレーンで切り返ししながら少しずつ移動させる方式のものがあります。槽形状の違いによって直線型と回行型(エンドレス型)、円形型に分けられます。攪拌機にはロータリー方式、スクープ方式、自走式、スクリュウ・オーガ式などがあります。

密閉型のものでは、密閉された円筒状の発酵槽に堆肥原料を投入し、発酵槽の回転や内部の攪拌羽根によって堆肥原料を攪拌しながら堆肥化するもので、縦型の発酵槽や横型のロータリーキルンなどがあります。

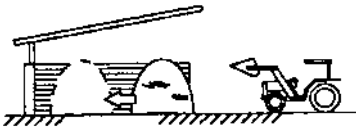
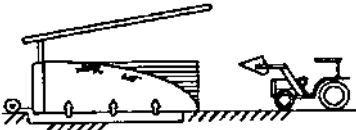
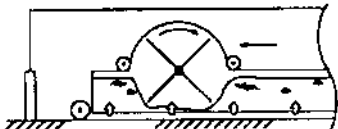
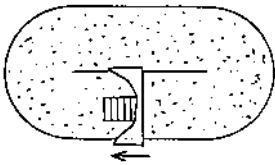
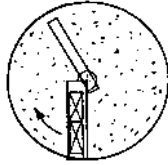
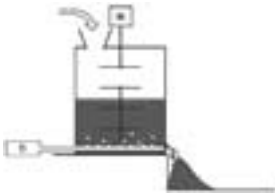
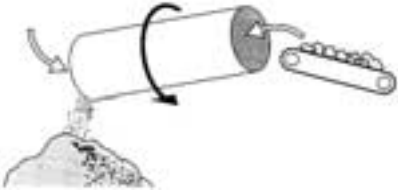
畜種別にみると、牛ふんは堆積方式が多く、豚ふんは堆積方式や開放型攪拌槽が多く用いられます。ときには密閉縦型発酵槽もみられます。鶏ふんも開放型攪拌槽が用いられますが、アンモニアの発生が多いこともあり密閉型もよく用いられます。

発酵槽内が好氣的に保持されていれば、硫黄化合物や揮発性脂肪酸に起因する悪臭の発生は抑えられますが、アンモニアは高濃度に発生します。このため脱臭施設を付設した例も多くあります。各種堆肥化処理方式の特徴を整理して、表2-12に示しました。

なお、堆肥化処理はいくつかの装置を組み合わせで行うのが一般的です。直列に組み合わせた場合、1次処理、2次処理と呼び、機械攪拌式の堆肥化装置を1次処理に、堆肥舎を2次処理に使うことが多いようです。なお、易分解性有機物の分解を1次発酵、セルロース、ヘミセルロースなどの分解を2次発酵と区別す

ることもありますが、1次処理、2次処理と混同しないよう注意してください。いずれにせよ、堆肥化では易分解性有機物の分解がどこまで進むかが重要です。

表2-11 堆肥化処理施設の種類

構造区分		呼称	構造の概要
堆積方式	無通気型	堆肥舎	
	通気型	通気型堆肥舎	
攪拌方式	開放型	直線型 (単列・複列)	
		回行型 (楕円形)	
		円形型	
	密閉型	縦型	
		横型	

注) 開放型攪拌方式堆肥化処理施設には、通気型、無通気型がある。
(堆肥化マニュアル、中央畜産会：2000)をもとに作成

表 2 - 12 各種堆肥化処理方式の特徴

処理方式	堆積方式 堆肥舎)				開放型				密閉型			
	無通気型	通気型	直線型	回行型	円形型	自走式	その他 (堆積型機械攪拌)	縦型	横型			
構造	雨よけの上屋と隔壁を設けた構造の堆肥舎。	堆肥舎底部に通気装置を設け、通気を行いながら切り返しを行う。	切り返し装置が発酵槽の側壁あるいは上部のレーン直線上に走行しながら、切り返しと移送を行う。	直線型とほぼ同様であるが、発酵槽の形状が長円形のドーナツ状である。	発酵槽の形状が円形状態で、切り返し装置の中心が円形発酵槽の中心と偏心している。	レーンやガイドなど固定されず、自走式、全自動あるいは半自動で攪拌・切り返し、移送を行う方式。発酵槽の形状は堆肥舎が多い。	その他、特殊な構造の攪拌装置で攪拌・切り返し、移送を行う方式。発酵槽の形状は堆肥舎が多い。	密閉された円筒形の縦型容器の内部に攪拌および通気装置が設置されている。	内壁面に攪拌羽根を取り付けた円筒容器を、傾斜をつけて横置きにしゆくり回転させる。			
特徴	シヨベルローダーなどにより切り返し・移動をしながら腐熟させる。分解速度が遅いため処理期間が長い。切り返しを同時行うことが重要。堆積高さは1.75～2 mのものが多い。	無通気型に比べて処理期間が短い。必要通気量は、材料の水分や通気性によって異なるが、100L/分程度で運転される例が多い。	直線走行する攪拌機により槽内の材料を攪拌・移送する。攪拌機の構造により、浅型、深型および単列式、複列式では、切り返し機が各列に設置されているものとして1台で複数列を切り返すものがある。	エンドレスともいう。切り返し装置が長円ドーナツ槽の側壁レーンに沿って直線走行と旋回を繰り返して、材料の攪拌、移送を行う。	投入された材料は切り返し装置により槽の外周から中心に少しずつ移送され、槽中心底部よりペルトコンベアなどで排出される。	自走式攪拌機により、材料の切り返し、移送・堆積、あるいはウインドローを形成する。複数の堆肥舎を1台の攪拌機で共用することもできる。	堆肥クレーンや通気型スクリューなど。	材料の水分が高いと処理能力が低下する。水分によって毎日の投入量を調整する。処理日数は通常2週間程度ではないので、乾燥、初期発酵槽として使われることが多い。密閉構造のため、脱臭対策が容易。	ロータリーキルンともいう。材料の水分を調整してから投入する。一般には、5～7日間かけて堆肥化する。完熟まで到らないので、前処理、初期発酵槽として使われることが多い。密閉構造のため、脱臭対策が容易。			
イニシャルコスト	安価	安価	中庸	中庸	やや高い	中庸	中庸	高価	高価			
ランニングコスト	安価	安価	中庸	中庸	やや高い	中庸	中庸	高価	中庸			
装置の構造、面積	単純、広大	単純、広大	単純、やや広い	やや複雑、やや広い	やや複雑、やや広い	単純、やや広い	単純、やや広い	複雑、狭い	やや複雑、やや狭い			
適用畜種	酪農・肥育牛(養豚)	酪農・肥育牛・養豚	養豚・養鶏(酪農・肥育牛)	養豚・養鶏(酪農・肥育牛)	養豚・養鶏(酪農・肥育牛)	酪農・肥育牛・養豚	酪農・肥育牛・養豚	養豚・養鶏(酪農)	養鶏			
適用施設規模	比較的小規模	小～大	大・中規模	大・中規模	大・中規模	小～中	小～中	中規模	中規模			
作業量	多い	やや多い	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない	少ない			
該当個番番号*	該当なし	2	浅型:1,3 中間:4,5,6,7,8,9, 10,11,12,13,14 深型:15,16,17,18	19,20	2(31)*	22,23,24	25,26	27,28,29,30 (32)**	(33)**			

注) *: 該当施設は、機械攪拌の方式で分類。個表 No.1,2は乾燥・堆肥化複合施設であるが、堆肥化施設の構造で分類。
 ** : () 書きは参考事例

2) 堆積方式

堆積方式の堆肥化施設は、一般に堆肥舎と呼ばれています。堆肥舎は、主として切り返しによって家畜排せつ物を好氣的に分解・腐熟させて堆肥化するための施設です。また、有機物の分解を促進するために、切り返しだけでなく、強制通気を行う通気型堆肥舎もあります。

堆肥舎は堆肥生産を行うだけではなく、機械攪拌式発酵槽で1次処理したものを2次処理したり、製品の貯蔵を行ったり、堆肥化処理には欠くことのできない施設です。堆肥舎は、屋根、柱、壁および擁壁や隔壁などで構成されます。

(1) 無通気型堆肥舎

堆肥舎は、ショベルローダーなどの切り返し装置を用いて、切り返しによって堆肥原料を好氣的に分解・腐熟させる施設です(図2-7)。有機物の分解速度が遅いため長い処理期間が必要です。堆肥原料の表面から内部に空気が浸透する深さは、容積重調整を行った場合でもわずか30cm程度でしかなく、切り返しを適時行うことが堆積物の好氣性を保つ上で極めて重要です。

一般に用いられている切り返し用の装置としては、ショベルローダー、フロントローダー等が用いられます。これらの機械の作業性および処理能力は、バケット容量、バケット幅、ホイールベースの長さおよび最小旋回半径などによって影響されるので、発酵槽の幅、施設内の作業通路幅との関連で決定することが重要です。

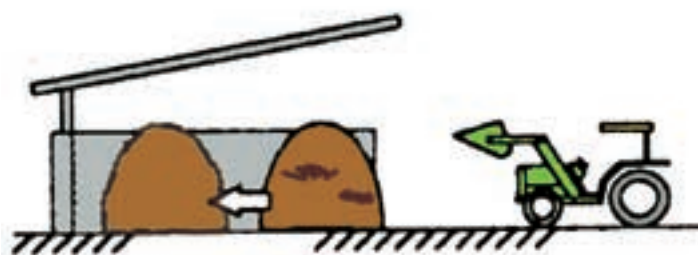


図2-7 無通気型堆肥舎

(2) 通気型堆肥舎

通気型の堆肥舎は、切り返しだけではなく、ブロワなどの通気装置を用いて強制的に通気を行って堆肥原料を好氣的に分解・腐熟させる施設で、無通気式

に比べて有機物の分解速度が速く、処理期間が短いなどが特徴です(図2-8)。

通気装置には、空気を供給する送風機、配管および空気を堆積物内に均一に分散するための通気床があります。

通気型堆肥舎では、無通気型に比べ堆肥の堆積高さを高くできますが、2 mを超えると自重による圧密により圧損が大きくなるので2 mを限度とするのが一般的です。

送風機の選定に当たっては、必要空気量と通気抵抗を考慮しなければなりません。適正な通気量は、材料の水分や通気性によって異なりますが、堆肥原料1 m³当り毎分50～300L程度といわれており、一般的には毎分100L程度で運転されています。

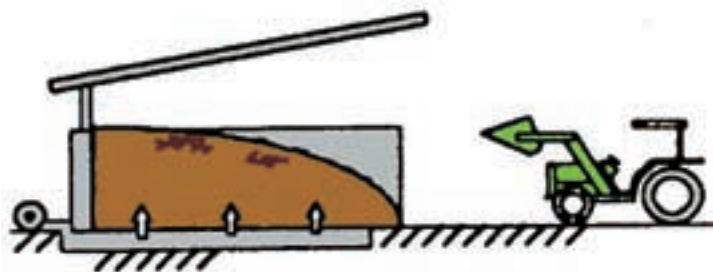


図2-8 通気型堆肥舎

(3) 設置・使用上の注意

堆肥舎の設置場所は、外部から雨水などが流れ込まない場所を選定する。この他、場所の選定に当たっては、周囲温度の極端な変化(季節、昼夜)を避け、十分な地耐力がある場所を選び、搬入、搬出、切り返し作業、装置の点検に必要なスペースを確保する。

堆肥原料の容積重を700kg/m³以下に調整する。高水分の家畜ふんを投入する場合には、容積重調整(水分調整)に必要なエリアを確保するとともに、堆肥原料からの排汁の排水溝と貯留槽を設置する。

堆肥原料の水分が高く堆積高が2 m以上になると、堆肥原料が自重で圧密され、空気を均一に供給できなくなるので、堆積高は2 m程度を限度とする。2 mを超える場合には、切り返しの頻度を増加する。

通気装置の機能が不十分な場合には、好気的な条件の維持が困難になるので、マンメーターや圧力計による圧損の確認、風量計や発煙筒による通気状態の確認などを適時行い、不備がある場合には通気管の清掃や通気床の改善を行

う。

堆肥舎の壁や擁壁にショベルローダーが衝突して破損している例が多く見られることから、ショベルローダーの移動や旋回に必要な通路幅を確保するとともに、発酵槽への進入時や退出時には十分注意して操作する。

ローダーの車輪で通気管を踏まないようにするため、配管ピッチを大きくとる施工例もみられるが、間隔が広いと通気効果のおよばない部分が生じるので、通気配管の間隔は90cm以下とする。

配管取付け時には、接続部を正しく接合し、送風機に過大な圧損がおよばないようにする。

(4) その他の関連設備・機器

通気装置

ア．通気床

通気床は、堆肥原料全体に空気をできるだけ均一に供給して好気的な条件を維持することによって堆肥化を促進する設備です。一般には、堆肥舎床面下部に通気用配管を設置し(図2-9(1))、通気用配管が目詰まりを起こさないよう周囲におが屑、モミガラ、木材チップ、あるいは砂利などを敷設します(図2-9(2))。しかし、ショベルローダーなどで切り返しを行う堆肥舎では、車輪の踏圧によって圧密され、空気が通りにくくなったり、全く通気されない状態になったりしやすいので注意が必要です。また、堆肥原料の水分が適正に

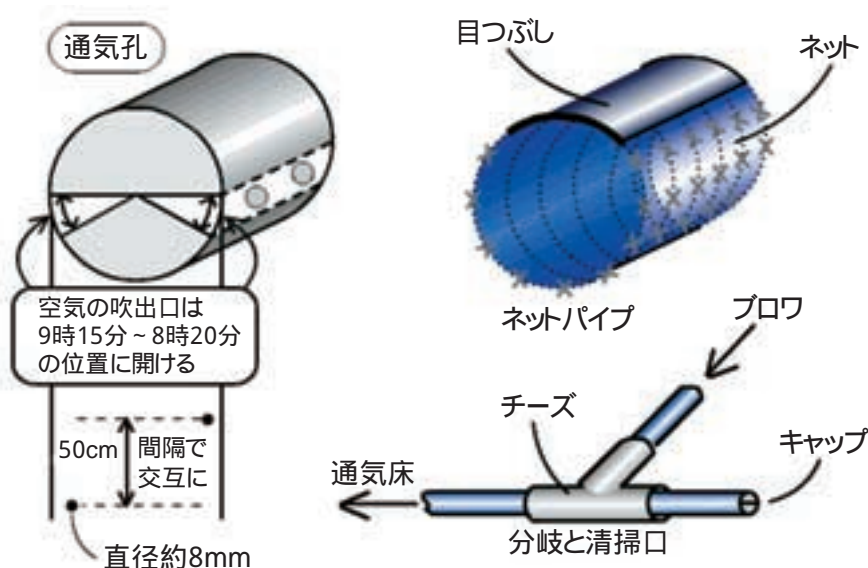


図2-9 配管のポイント(1)

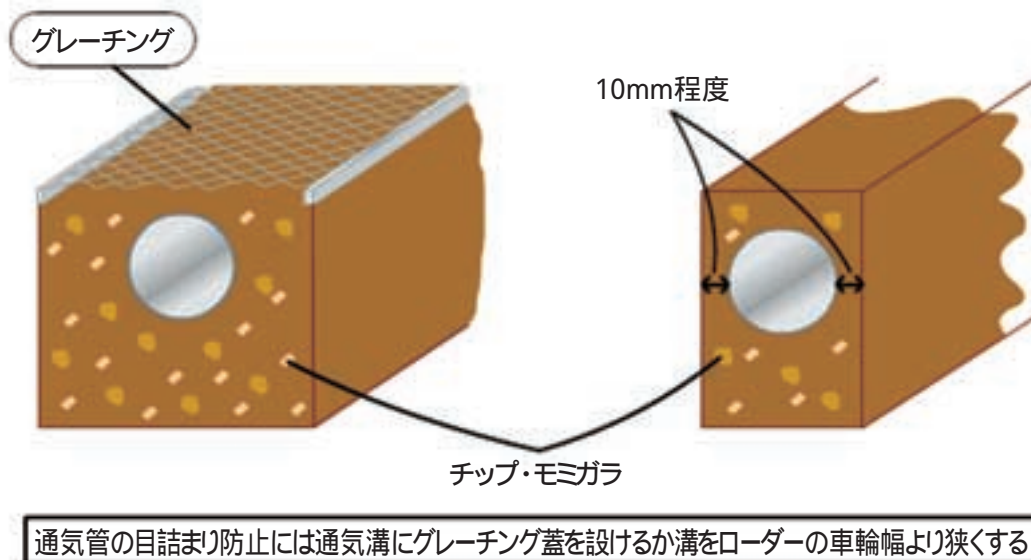


図2 - 9 配管のポイント(2)

調整されていない場合には、おが屑、モミガラ、木材チップなどに水分が移行して腐敗し、通気管の目詰まりの原因になることがあります。

また、最近、ネット状の暗渠パイプ(1/3目つぶし、呼び径50～65mm)が市販されています(図2-9(1))。穴あき塩ビ管の代わりにこれを用いることで通気抵抗が減少し、電力費が5～10%節約できたという事例が報告されています。

配管溝のグレーチング蓋についても、配管溝の幅を狭く(通気配管径+20mm程度)することで、目詰まりや圧密状態が回避され、グレーチング蓋に代わる対策として有効とされています(図2-9(2))。このとき、配管溝の底部には配管径に相当する深さでモミガラ等を敷いた上にネットパイプを埋め、堆肥舎底盤から配管上面まで30～40mm程度とすれば、配管は有効に保護できます。

なお、酪農など、排汁のおそれがある場合には、配管の曲がり部に清掃口を設ける、底盤内で分岐をしないなどの工夫をすると排汁による目詰まり対策として有効です(図2-9(1))。

いずれにせよ、堆肥原料の温度が上昇しない場合は通気がうまく行われていないことがほとんどです。このためにも、通気状態をこまめに確認することが重要です。

イ. 送風機

送風機は、吐出圧力に応じて、中量・中圧（吐出圧力 9.8 ~ 98kPa : 1,000 ~ 10,000mmAq）の空気を送るブロワと、換気用などに多量・低圧（吐出圧力 9.8kPa 以下 : 1,000mmAq 以下）の空気を送るファンに分けられます。

ブロワを構造別に分けると、a. 羽根車を回転させて気体に遠心力による圧力を与えるターボブロワ、b. ケーシング内のマユ型ロータで形成される空隙の容積を変化させて気体を押し出すルーツブロワ、c. ケーシング内の偏心したロータを回転させ、ロータから伸びるブレードにより仕切られたケーシング内の容積変化によって気体を押し出すロータリーブロワ、d. ピストンやダイヤフラムを電磁石で作動させ、この容積変化と弁の組み合わせで気体を吐出するダイヤフラムブロワなどがあります。

このうち、a. ターボブロワは比較的管理が容易で、大風量が得られる。b. ルーツブロワは騒音・振動が比較的大きいがターボブロワに比べ安価なので、中規模施設に適している。c. ロータリーブロワは比較的小規模施設で用いられる。d. ダイヤフラムブロワは小風量のため、堆肥化施設ではあまり用いられないなどの得失があります。

ブロワの能力は、吐出空気量（L/分）と、吐出圧力（kPa : mmAq）で表します。吐出空気量、吐出圧力とも常に一定ではなく、空気配管や堆積物の圧力損失によって変化します。したがって、ブロワの吐出圧力は、空気配管と堆積物による圧力損失を考慮して、2 kPa（約 200mmAq）の時に所要風量の得ら

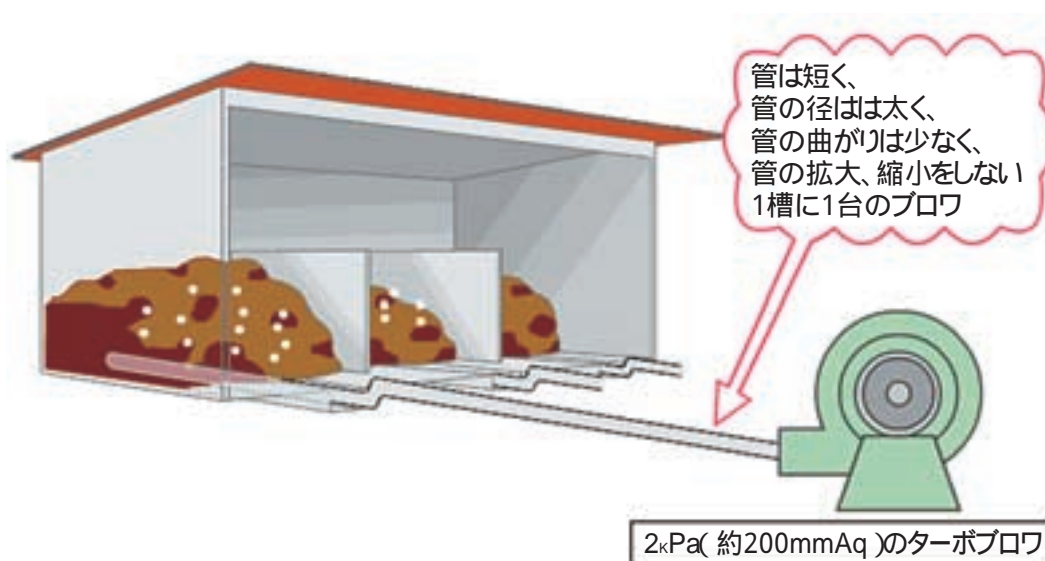


図2 - 10 通気用ターボブロワと配管のポイント

れるブロワを選定する必要があります。

空気配管の圧力損失は、配管径や距離、曲がり、分岐の数が多いほど抵抗が大きくなるので、図2 - 10に示したように、なるべく直線配管とし、1つの発酵槽に1台のブロワを設け、発酵段階に応じて通気量を調整できるようにするのが理想です。

切り返し装置

堆肥化は好気性微生物の働きによって進行しますが、水分が70%以上では堆肥原料へ空気が供給されにくくなって、好気性の維持が困難となります。逆に、堆肥原料が乾燥状態（水分40%以下）になると微生物の働きが抑制されてしまいます。堆肥原料の水分が高いときは、予備乾燥、副資材（おが屑、モミガラ、戻し堆肥等）の混合などにより投入原料の通気性を改善する必要があります。切り返し装置は、堆肥原料の混合・攪拌、通気性の改善、酸素供給などを行う装置です。

ア．ショベルローダー、フロントローダー

ショベルローダーやフロントローダーが堆積方式の堆肥化施設における堆肥の切り返し機として、また原料の運搬用として使われています。トラクタのフロントにバケットを取り付けたタイプのものが多く、4輪スキッドステアリング、後輪ステアリングなどがあります。堆肥専用にするためにバケットを大きくしている場合は、作業、旋回時にバケットが大回りするため、建屋の支柱や壁を破損することがありますので十分注意した運転が求められます（図2 - 11）。



図2 - 11 ショベルローダー

イ．堆肥クレーン

堆肥クレーンは近年開発された装置で、発酵槽内にある堆肥原料を自動的につかみ上げ、次の発酵槽に移し換えながら切り返しを行う方式です。発酵槽の構造は一般に堆肥舎が用いられますが、本書では、堆肥クレーンを機械攪拌設備として、「3）攪拌方式（開放型）（2）攪拌機の種類と特徴（54ページ）」

に解説しましたので参照してください。

ウ．自走式攪拌・切り返し装置

自走式攪拌・切り返し装置の代表的なものにはウィンドロー方式と吹き上げ方式があります。堆肥クレーンと同じく、機械攪拌設備として解説しましたので参照してください。

エ．その他

切り返し機に求められる条件は、堆肥化過程の材料を混合・粉砕し、空気とよく接触させて酸素を供給することにあります。自走式マニユアスプレッダの荷台に堆肥原料をショベルローダーで投入し、ビータで混合・拡散して切り返す方法なども行われています。

3) 攪拌方式(開放型)

開放型攪拌方式は、自動化された機械装置による混合や移し換えなどの切り返しによって堆肥原料を好氣的に分解・腐熟させて堆肥化するための装置で、発酵槽と切り返し装置から構成され、通気装置のあるものとなないものがあります。

開放型攪拌方式による処理期間は20～30日程度(1次処理)で、さらに堆肥舎で2次処理を行うのが一般的です。発酵槽の大きさは幅2～6m、深さ0.3～2m、長さ20～60m程度で上面が開放されています。

発酵槽の形状には、直線型、長円ドーナツ状の回行型(エンドレス)および円形型があります。切り返し装置には、ロータリー方式、スクープ方式、自走式、クレーン式、スクリュウ・オーガ式などがあります。堆肥原料は、堆積物の上部を走行する切り返し装置で1～2回/日程度の攪拌・混合による切り返しが行われ、少しずつ移送されるか、あるいは次の発酵エリアへの移し換えによる切り返しが定期的に行われます。

(1) 発酵槽の型式

直線型

切り返し装置が発酵槽の側壁レールあるいは上部レールを直線状に走行しながら堆肥原料の混合・攪拌あるいは把持などの切り返しと移送を行う装置で、単列式と複列式があります(図2-12)。複列式では、切り返し機が各列に設置されているものと1台の切り返し装置で複数の発酵槽の切り返しを行うものがあります。切り返し装置の移動は、発酵槽の終端で攪拌機を持ち上げて後方に

移動し、台車に乗せ替えて移動する機構が一般的ですが、台車ごと隣の発酵槽に移動する方式もあります。直線型発酵槽で1次処理の後、堆肥舎等で2次処理するのが一般的です。

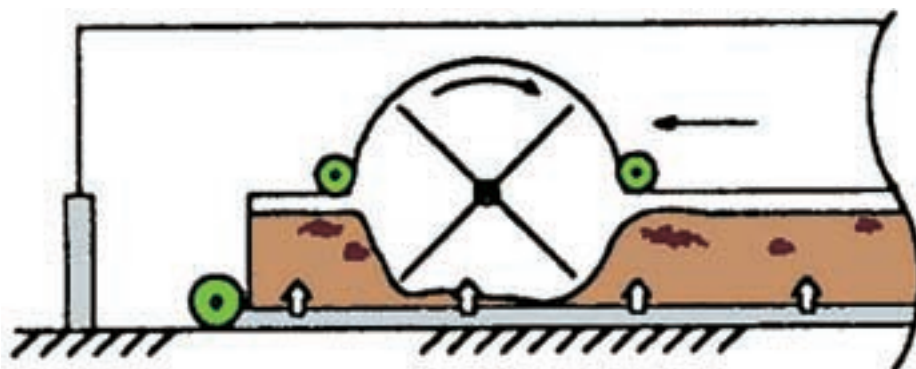


図2 - 12 直線型

回行型

発酵槽の形状が長円形のドーナツ状で、切り返し装置が発酵槽の側壁レールに沿って直線走行し、直線部分の終端で旋回して隣の直線路に移行します。これを繰り返しながら堆肥原料の攪拌・混合および移送による切り返しを行って堆肥化する装置で、堆肥舎等でさらに2次処理を行うのが一般的です(図2 - 13)。

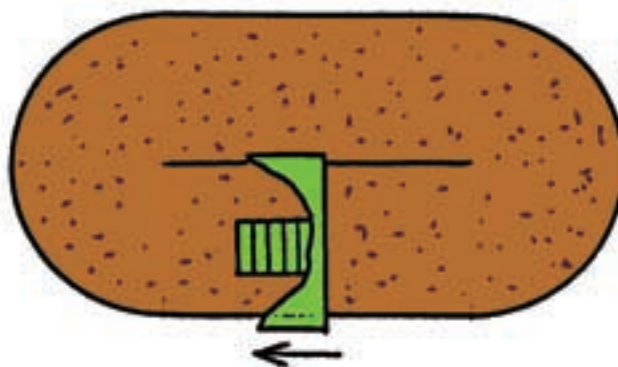


図2 - 13 回行型

円形型

発酵槽が円形で、切り返し装置の中心が発酵槽と偏心しており、発酵槽の外周部に投入された堆肥原料を混合・攪拌するとともに発酵槽の中心部に移送しながら堆肥化する装置です(図2 - 14)。堆肥化された製品は発酵槽の下部あるいは上部から搬出し、堆肥舎等でさらに2次処理を行うのが一般的です。

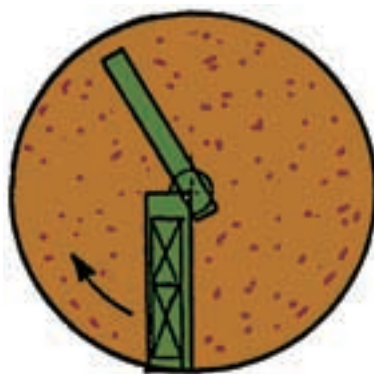


図 2 - 14 円形型

(2) 攪拌機の種類と特徴

ロータリー方式

ロータリー方式は、水平軸に放射状に取り付けられた攪拌爪や攪拌棒、あるいはスパイラル羽根などが回転と同時に材料を後方に掻き上げながら切り返し・移送を行う方式です(図 2 - 15)。従来は切り返し深さ 0.8m 以下の浅い発酵槽に用いられていましたが、最近では 1.5 ~ 2 m の深型のものも普及してきました。切り返し幅は発酵槽全幅あるいは、半幅のものがあります。構造が単純で、故障の少ないことが特徴です。

直線型堆肥化装置で用いる場合は、発酵槽の終端で攪拌機を持ち上げて後方に移動し、スタート地点に戻る機構が一般的です。回行型堆肥化装置で用いる場合は、発酵槽側壁付近の材料の攪拌を行うと同時に材料の偏りを防止するために、縦軸スクリーが左右の側壁付近に取り付けられています。

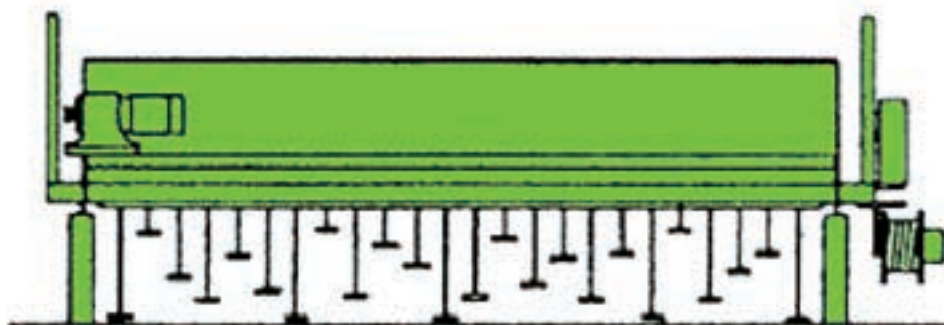


図 2 - 15 ロータリー

スクープ方式

スクープ方式は、幅広のベルトコンベア状の掻き上げ装置が材料を斜め上に

拾い上げ、後方に落としながら切り返しを行う方式で、堆積深さ 1 m 以上の深い発酵槽に用います（図 2 - 16）。発酵槽全幅を切り返す方式と発酵槽の半幅を切り返す方式があります。スクープ式攪拌機はロータリー式に比べ構造が複雑なため保守管理に十分気をつける必要があります。

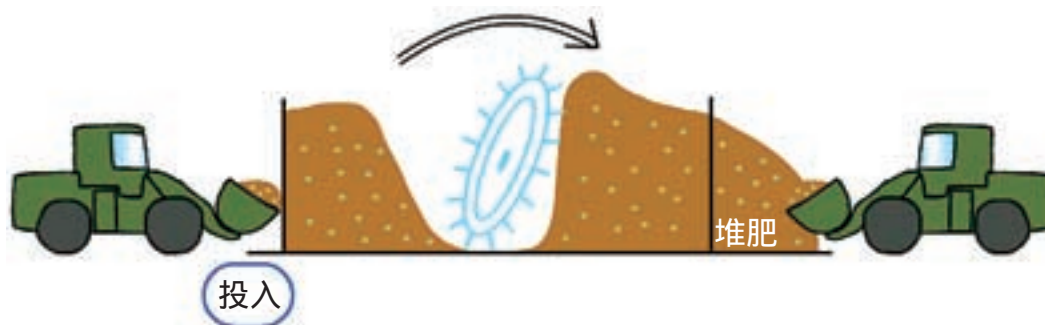


図 2 - 16 スクープ

自走式

自走式はレールなどに固定されず、作業範囲の自由度が大きいことが特徴で、ウインドロー式や吹き上げ式などがあります。ウインドロー式は、自走式の耕耘車輛で堆肥原料を切り返し、堆積、移送する方式です。構造物としての発酵槽を必要としませんが、屋根付きの堆肥舎などで行う必要があります。有人運転式の場合、複数の堆肥舎間を移動して作業することができます。

吹き上げ方式は、除雪用作業機を改造した機械で堆肥原料を寄せ集め、吹き上げながら隣に堆積していく方式です。堆肥原料にある程度の水分が必要ですが、適正な水分状態の堆肥原料では 3 m 程度の高さまで吹き上げながら堆積することができます。

堆肥クレーン

堆肥クレーンは、切り返し装置の所でも触れたように、発酵槽内の堆肥原料をつかみ上げ、移動させながら切り返しを行うものです。クレーンは、地下式角形サイロからのサイレージ取り出し用のサイロクレーンを基に開発された装置で、懸垂型と走行型があります（図 2 - 17）。堆肥クレーンもスクープと同様構造が複雑なため保守管理に十分気をつける必要があります。

スクリュウ・オーガ

スクリュウ・オーガは中間～深型の発酵槽で用いられます。堆積物に垂直方向にスパイラル・スクリュウを挿入し、スクリュウ（オーガ）の回転によって



図 2 - 17 堆肥クレーン



図 2 - 18 スクリュー・オーガ

下部の堆積物をすくい上げ、穴の周囲の堆積物が崩れ落ちて攪拌されるという機構です(図 2 - 18)。複数本のスクリューを組み合わせた、先端から通気できる機構のものもあります。ガイドレールにより堆肥舎内を縦横に移動しますが、堆肥の搬送効果は期待できません。一方、傾斜をもたせたスクリューが堆

肥舎内を移動する方式のものは、スクリーコンベアの働きによる堆肥原料の移送効果を期待したものです。

(3) 設置・使用上の留意点

堆肥原料の容積重を $700\text{kg}/\text{m}^3$ 以下に調整してから搬入します。

堆肥原料に石や鉄片などの異物が混入しないように留意します。

通気装置がある場合には、通気床の機能が常に発揮されていることが大切で、通気状態を適時確認し、不十分な場合には必要な対策を講じます。

攪拌機は、常に腐食の激しい条件下で使用されるため、保守管理を適時行います。

4) 攪拌方式(密閉型)

(1) 密閉縦型

構造・機能

図2-19に示したように、発酵槽は、断熱材で覆われた円筒形の鋼板製容器を縦置きにした形状で、一般には単槽です。堆肥原料を槽上部から投入し、内部に取り付けた攪拌装置で混合・攪拌を行います。槽内には回転する攪拌羽根があり、その先端から温風を通気して発酵・乾燥を促進します。灯油バーナー

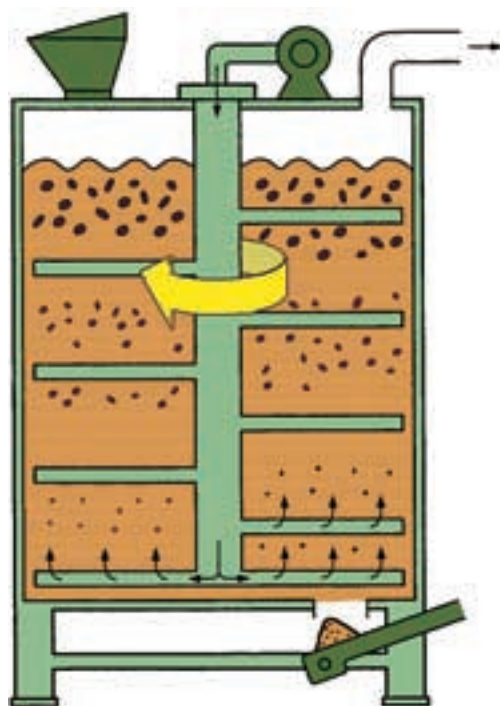


図2-19 密閉縦型

により槽内の堆肥原料の乾燥をするものもあります。槽内の滞留日数を2週間程度としているものが一般的です。元来、乾燥機から発展したもので、乾燥機として使う場合には1週間程度のものもあります。密閉型は臭気の捕集が容易なため脱臭対策を組み込みやすい方式です。処理日数が短いため、このあと、十分に時間をかけて2次処理を行うことが必要です。

設置・使用上の留意点

- (ア) 発酵槽の滞留時間が1～2週間程度では完熟は期待できないので、堆肥舎で十分時間をかけて2次処理したのち施用するか、施用後時間をおいてから作付けするなどの注意が必要です。
- (イ) 冬季に寒風や降雨、積雪等の影響を直接受けない配慮が必要です。
- (ウ) 上槽に生ふんを投入し、槽内に残っている発酵材料(水分40～45%)と混合し、55%程度の水分にすることが運転管理の上で重要です。投入材料の水分が高い場合は投入量を減らす必要があります。また、高水分材料との混合で団子状態になると、攪拌軸に負荷がかかり、故障しやすくなるので注意が必要です。
- (エ) 混合材料の投入量を上槽内容積の80%程度とし、攪拌軸に過負荷がかからないようにします。
- (オ) 攪拌羽根と槽底との間に石、鉄片などの異物が詰まると攪拌軸の故障原因となるので、事前に取り除きます。
- (カ) バーナー燃焼装置付きの場合は、バーナー燃焼部付近およびその火炎が届く周辺の清掃を励行し、製品が燃えないように留意してください。

(2) 密閉横型

構造・機能

この方式はロータリーキルンともよばれ、都市ごみや家畜ふんの堆肥化処理装置として開発されたものです。図2-20に示したように、断熱材で覆われた円筒形の発酵槽を傾斜をつけて横置きに設置し、駆動モータで発酵槽をゆっくり回転するものです。水分調整をして投入された堆肥原料は、発酵槽の回転と槽内部に設けられた攪拌羽根によって、攪拌されながら排出口へ5～7日間かけて移動し、堆肥化されます。堆肥原料の発酵槽内滞留時間を変えられるよう、発酵槽の回転を調整する機能や傾斜角度を変える機能が付いたものもあります。

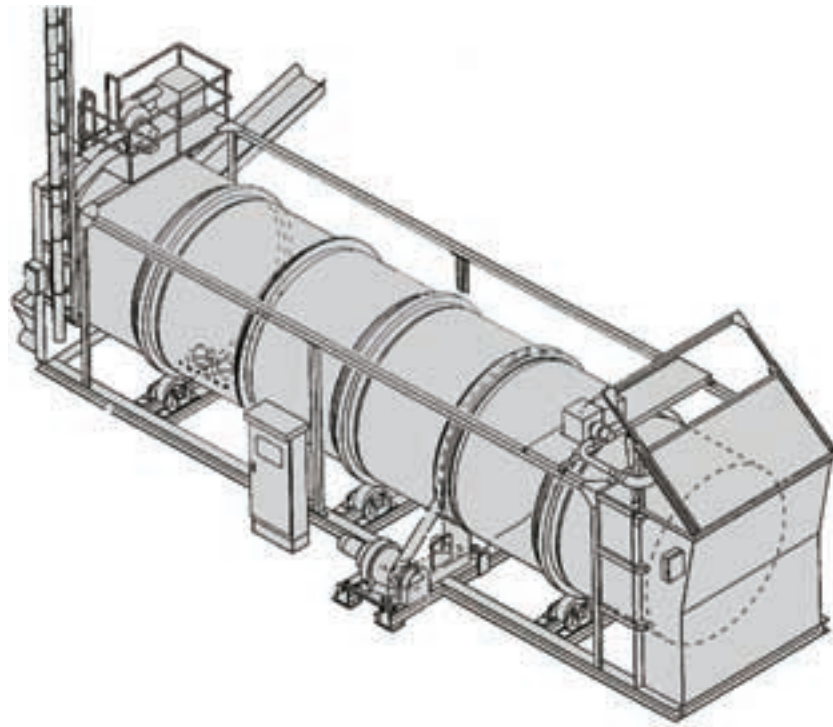


図 2 - 20 密閉横型

このほか通気装置または温風発生装置を備えたものもあります。また、内壁に爪の付いた外筒が回転するものと、外筒を固定したまま内部の攪拌羽根が回転する方式のものがあります。いずれも、前処理、混合、初期発酵槽として使われることが多い方式で、このあと、堆肥舎などによる2次処理が必要です。

設置・使用上の留意点

- (ア) 円筒形発酵槽は断熱されていますが、冬季に寒風や降雨が直接当たると冷却されて処理能力が低下するので、寒冷地では冬季対策を講ずることが有効です。
- (イ) 投入前に、堆肥原料の水分調整が必要で、60%以下（回分式の運転をする場合は55%以下）としなければ良好な発酵状態の維持は困難です。
- (ウ) 発酵槽内へ投入する堆肥原料の量は、発酵槽の内容積の70%以下とし、通気用風道を確保する必要があります。

5) 付帯設備

(1) 造粒装置

堆肥は、バラの状態では単位容積当りの重量が小さく貯蔵効率が低いため、その取り扱い性や貯蔵性に欠けるものです。このため、バラや袋詰め堆肥の広

域流通を図ることは、コスト面からも不利といえます。成型装置を用いて堆肥をペレット化することは、堆肥の取り扱い性や貯蔵性を改善し、その利用性を拡大する効果がありますので、そのような場合に導入を検討するとよいでしょう。

堆肥の成型装置は、取り扱い性や貯蔵性を改善するため、高温・高圧で圧縮成型してペレット化する装置です。

堆肥をペレットに圧縮成型する方式は、多数の孔がつけられたダイス（成型孔）に材料を押し込む構造からローラー方式とエキストラダ方式に分けられます。また、ローラー方式は、圧縮成型部の構造から、ディスク・ダイ式とリング・ダイ方式があります。

堆肥を成型する場合の成型性やペレットの耐久性は、成型時の堆肥の水分や副資材の混合割合によって大きく左右されます。したがって、材料の水分を成型に適した水分まで乾燥する工程が必要です。成型のための適正水分は、ローラー方式 25 ~ 30%、エキストラダ方式 30 ~ 35%といわれています。一方、水分が低すぎるとダイスに材料が焼き付いて目詰まりする原因になるとともに、成型時の動力が急激に増大するので水分管理が重要です。

（2）袋詰め装置

製品化された堆肥を広域利用する場合には堆肥の袋詰めが必要となります。袋詰め装置は、一定量ずつ計量しながら袋詰めし、袋口のシールを行います。量が少ない場合には、計量とシールの間に人手の作業が入りますが、量が多くなると計量からシール、搬送、パレット積み込みまで自動化されたロボット式自動袋詰め装置が導入されます。袋詰め作業はほこりが多く、作業環境がよくないこと、かがみ込む姿勢の作業が多いことなど、作業者にとって肉体的にもきつい作業なので、ロボットの導入は有効です。

袋詰め量は、15kg や 20kg 入りなど、重量によるものが多いようですが、容量表示（L）のものもあります。

（3）脱臭装置

堆肥化施設の設置にあたっては、脱臭装置を併設することが望ましいことです。脱臭装置は、脱臭効果が高い、効果の持続性がある、維持管理が容易、ランニングコストが安価であるなどの条件を満たす方式を選定すること

が重要です。

また、脱臭対策にあたっては、堆肥化の適正条件を守って好氣的な堆肥化を行い、できる限り嫌氣的な腐敗臭の発生を抑制するよう努める。それでも悪臭が問題となる場合に脱臭装置の導入を検討する。悪臭の発生場所をできる限り小さい容積で密閉し、強制換気によって脱臭装置へ全量を導く。堆肥化施設から発生する悪臭は、畜舎からの臭気に比べて高濃度なので適切な対策を検討する。堆積・切り返し方式と通気方式によって臭気の発生パターンが異なる。切り返し時にはとくに高濃度の臭気が揮散するので、臭気発生パターンに応じた対策を検討することなどに留意が必要です。

畜産分野で用いられている各種脱臭法の特徴を整理して表2 - 13に示しました。なお、水洗法やおが屑脱臭法は畜産でよく用いられますが、水洗法は脱臭を効果的に行おうとすればするほど大量の水と臭気物質を吸収した排水の処理が必要になります。また、おが屑を用いた方法は、おが屑の臭気物質吸着量がごく小さいためすぐに破過（吸着量の限界を超えて、臭気物質が素通り）してしまい、効果の持続は初期のごく短時間に限られます。散水して吸収法と併用する場合も多いようですが、水洗法の効果も決して高くはなく、有効な脱臭効果が発揮されていない例も多くみられます。

表2 - 13 各種脱臭方式の特性比較

脱臭方式		対象臭気		規模		管理性	建設費	維持管理費	脱臭効率
		堆肥舎	畜舎	大風量	小風量				
洗浄法	水洗								×
	酸・アルカリ洗浄					×			
吸収法	おが屑			×					×
吸着法	活性炭	×		×				×	
	イオン交換樹脂	×		×		×	×	×	
燃焼法	直燃・触媒燃焼		×	×		×	×	×	
酸化法	オゾン	×				×	×	×	
隠蔽・中和法	マスキング・中和	×		×				×	×
生物脱臭法	土壌・堆肥			×					
	ロックウール								

注) 脱臭効果 : とくに効果あり、効果あり、×効果小さい
 維持管理性 : きわめて有利、有利、×不利
 費用 : 安価、中庸、×高価

(生物脱臭の基礎と応用、臭気対策研究協会：1988)を一部改変して転載