日 本 中 央 競 馬 会
特別振興資金助成事業

堆肥化施設設計マニュアル

畜産環境対策技術総合設計基準調査普及事業

令和４年３月

Livestock Industry's
Environmental
Improvement
Organization

一般財団法人　畜産環境整備機構

はじめに

平成11年（1999年）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」をはじめとする環境三法が公布され、家畜排せつ物の適正管理と利用促進が推進されることとなった。堆肥化技術についても堆肥化の意義、堆肥化技術、堆肥化施設の設計等を網羅した既刊の「堆肥化施設設計マニュアル（1987年3月発行、中央畜産会）」をベースに新しい時代に対応した「堆肥化施設設計マニュアル（2000年10月発行、中央畜産会）」が作成され、堆肥化技術のバイブルとして広く普及、利用されてきた。しかし、2003年に第3版として改訂され約20年が経過し、いまだ多くの出版要望があるにもかかわらず、現在、同書は絶版の状況にある。その間、堆肥化技術は一定の進歩を遂げており、また、堆肥の利用に当たっては「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」が2020年に変更が公表され、堆肥の利用拡大が施策として取り上げられるようになった。一方、法的な面では、2012年には堆肥（特殊肥料）と普通肥料を混合して利用できる公定規格の混合堆肥複合肥料（普通肥料）の生産が可能となり、さらに2021年12月には、堆肥と肥料の配合に関する規制の見直しによる指定混合肥料（届出制）が新たに設けられるなど使いやすく生産しやすい堆肥を活用した資材を耕種農家に提供できるようになった。また、堆肥舎については、建屋の床面積に応じた滞在人数が少なくて滞在時間も短いことやその用途などが考慮され一般建築物よりも構造的に緩和された基準で建設することができる「畜舎特例法」が公布され（2021年12月）、低コストで建築できるようになった。

このようなことから、当機構において令和元～3（2019～2021）年度の日本中央競馬会特別振興資金助成事業（JRA畜産振興事業）により堆肥化技術の進歩と堆肥の利用拡大の流れをうけて、2003年版をベースに本マニュアルを作成することになった。刊行にあたっては、前書を刊行した中央畜産会のご理解とご協力をいただき、多数の図表を旧版から引用させていただいた。

本マニュアルを作成するにあたり、ご執筆の労をいただいた委員、執筆者の方々に感謝申し上げるとともに、本マニュアルの活用により、わが国の畜産経営における生産者、行政機関等の関係者の皆様方の一助となり、畜産振興の推進に資することができれば幸甚です。

令和４年３月

一般財団法人　畜産環境整備機構

利用者のために

このマニュアルは家畜のふんを主体に堆肥化し、その堆肥を農地に施用するのに必要な施設と機械および、農地施用に当たっての注意点等を中心に述べたものである。用語については必ずしも統一されたものが示されていないため、本書においては基本的にこれまでのマニュアルに従って下記のように用語を統一して用いることとした。

堆肥と厩肥（きゅう肥）について

従来は、ワラ類を主原料とするものを堆肥、家畜ふんを主原料とするものをきゅう肥として一応の区別がなされていた。しかし、現在では原料のいかんにかかわらず、堆肥という用語が一般的に用いられており、きゅう肥を用いる例はきわめて少ない。したがって、 ここでは堆肥を用いることにした。

副資材と水分調整材について

水分調整の目的で添加する資材は、水分調整だけでなく、物性の改良（とくに通気性）の役割が大きく、物性改良材とすべきであるとの意見もあるが、ここでは副資材の用語で統一した。

堆肥または乾燥ふんなどを副資材として反復使用することが多いが、これは戻し堆肥と呼ぶこととした。また、細かい木くずを副産物でなく主産物として扱う場合にオガ粉と呼んでいるケースもみられるが、ここではこれまで通りオガクズで統一した。

水分と含水率について

含水率は水分とし、特に水分の量を表す場合は水分含量、水分量とした。

通気、送風について

堆肥化に当たっては、乾燥させる場合と違って、比較的少量の空気を送り、しかも堆積物中を通過させることが目的なので、通気または通気量とした。

かさ密度について

堆肥や堆肥材料の単位容積当たりの質量について、旧マニュアルでは容積重と呼んだが、ここではかさ密度とした。

堆肥化施設設計マニュアル

目　　次

第１章　堆肥化の基本

１．堆肥化の目的

堆肥化が適切に行われれば、微生物が不安定な有機物を積極的に分解する。このときに生じる熱により、病原菌や雑草種子を不活化することができ、悪臭や汚物感のない衛生的な堆肥を製造することができる。良質な堆肥が生産されれば、耕種経営での利用が促進され、排せつ物の有効利用につながる。

１）堆肥化とは

堆肥化とは、有機質の材料を適切な操作のもとに微生物分解させて安定化し、植物栽培に用いる堆肥（英語ではコンポスト：compostに相当）に変換することである。したがい、家畜・家禽のふんや敷料との混合物をそのまま一時的に堆積したもの、あるいはそれらを一定期間放置したものは、堆肥とは異なるものである。これらはあくまでも、ふん尿あるいはふん尿混合物である（英語ではマニュア：manureに相当）。

堆肥化における有機物の分解は、主として酸素が必要な好気性微生物によって行われる。このため高水分の原料では乾燥や副資材の混合によって、通気性が確保できる水分範囲の材料に調節する必要がある。また微生物が必要とする酸素量は多く、材料に積極的に新鮮空気を供給する必要がある。こうした操作によって、分解しやすい有機物から分解が始まり、材料温度の上昇が開始する。材料温度は通常1～2日で60～70℃程度にまで上昇する。この自己発熱による材料昇温は、有機物分解を促進するほかにも多くの役割を持っており、堆肥化の最も重要な現象ととらえられている。

堆肥化に関連して、慣用的に「発酵」という用語が「発酵槽」、「一次発酵」、「二次発酵」などとして用いられているが、もともと「発酵」は嫌気的な微生物操作（例えば「メタン発酵」）に用いる用語である。材料の通気性を確保するだけにとどまらず、切返しや強制的な機械通気を行ってまでも好気的な有機物分解を促進する堆肥化の操作は、狭義の「発酵」とは異なる操作であることに注意が必要である。

２）畜産経営における意義

国内の畜産経営は規模拡大が進み、１事業所から発生する排せつ物量が増加している。現在の畜産経営では農地との分離が進み、養鶏や養豚では購入した飼料による飼養となっており、養牛の一部を除くと排せつ物の全量を経営内の農地に利用することは多くの経営体で困難となっている。この問題を解決するための方法の一つが堆肥化である。良質な堆肥を生産して耕種経営などの外部に供給することにより、排せつ物の有効利用が可能となる。

３）衛生面の改善

家畜排せつ物は、泥のような状態であり、汚物感があって取り扱いにくい。その原因は水分が高いことと、独特の悪臭を発するためであり、さらにはハエなどの衛生害虫を発生させるからである。また排せつ物には食中毒などの原因となっている病原菌が含まれていることもある。

堆肥化では、微生物が有機物を積極的に分解する。このときに、悪臭物質やそのもととな

る易分解性物質は微生物によって分解される。また、このときに生じる熱によって堆肥が高温となるため、一定の温度と時間が満たされれば病原菌や雑草種子は不活化されて、衛生的な堆肥を製造することができる。

4）操作性の向上

堆肥化時の高温により水分の蒸発が促進され、堆肥の水分を低下させることができる。また、肉牛や乳牛では排せつ物に粗飼料残渣が混合していることが多いが、堆肥化の間にこうした粗大物も有機物が分解されて細かくなる。このような水分の低下と有機物の分解が十分に進むと、堆肥は軽量なさらさらとした粒状となり、運搬や散布が容易となって作業性が向上する。

5）有機質資材としての植物栽培への利用

排せつ物をそのまま農地に施用すると、土壌や農作物に悪影響を与える恐れがある。土壌中での易分解性有機物の分解は、土壌空隙の酸素濃度を低下させたり、低級脂肪酸やフェノール性酸などの有害物質を生成させたりする。このように、未処理の排せつ物を施用するときには様々な悪影響が生じる可能性があり、注意が必要である。

堆肥化が適切に行われると、微生物の作用によって排せつ物中の易分解性有機物や低級脂肪酸、フェノール性酸などの有害物質は、積極的に分解されている。このため、適切に作られた堆肥はその施用直後に播種や苗の定植を行っても植物に悪影響を及ぼすことがない。

6）土壌機能の維持

堆肥の施用は土壌機能を維持・向上させるために不可欠とされている。堆肥に含まれる有機物は土壌粒子を結び付けて団粒を形成させ、通気性や保水性を向上させる。また、保肥力の向上などにより施肥量を減らすことができるようになる。また、有機物の土壌中への供給は、土壌微生物の活性を高めることにより、植物への養分の円滑な供給や病原菌の抑制にもつながる。

7）物質循環としての意義

家畜排せつ物を堆肥化して有効利用することは、資源循環型社会の中でその果たす意義は大きい。家畜排せつ物には、窒素、リン酸、カリといった主要な肥料成分が含まれている。これらの成分は飼料生産の際に施与された肥料に由来しており、排せつ物を次の飼料の生産に利用することは、肥料成分の循環利用ということができる。また家畜排せつ物には、肥料としては施用されない植物の生長に必要な微量要素も含まれている。このため、家畜排せつ物が堆肥などの形で耕種経営に適切に利用されることは、農地を中心とした地域内の物質循環を成り立たせるためにも不可欠なことである。

2．堆肥化の原理

有機物が分解されると、二酸化炭素、水、アンモニアなどが発生する。これらは材料の外部に放出されるが、リグニンなどの難分解性有機物や無機成分はそのまま堆肥の成分として残る。堆肥化により乾物量が減少するために、肥料成分であるリン酸やカリの含有率は上昇する。窒素含有率は増加することもあれば減少することもある。
材料に含まれる水は、表面からの蒸発や通気による持ち出しがあるが、逆に有機物分解では水が生じることを踏まえる必要がある。

1）微生物の作用

堆肥化の主役となるのは好気性微生物である。好気性微生物とは、空気に含まれる酸素を用いて有機物を分解し、生存のためのエネルギーを獲得する微生物である。好気性微生物による分解では、分解に伴う熱（呼吸熱）が多く発生し、このために堆肥の温度が上昇する。一方、嫌気性微生物は有機物の分解速度が遅いために熱の発生が少なく、堆肥の温度は上昇しない。さらに、分解によって悪臭物質である低級脂肪酸類などを生じさせる。

2）物質の変化と移動

微生物は、材料粒子の表面やそれを取り囲む液体に存在する。必要な酸素は材料の空隙を通過し、材料粒子を取り囲む液体を通じて好気性微生物に供給される。有機物は主として、糖質や繊維分は炭素、水素、酸素から構成され、タンパク質や脂質はこの他に窒素やリンを含んでいる。これらの易分解性有機物が分解されると、二酸化炭素、水、アンモニアが発生する。これらは材料の表面や空隙を通じて、その外部に放出される。リグニンなどの難分解性有機物や無機成分はそのまま堆肥の成分として残る。

3）熱の発生と移動

微生物による有機物の好気性分解は、緩やかな燃焼反応ともいえる。このため、燃焼時と同等の熱が発生する。この熱量は食品としての熱量と同等のものであり、糖質では17.4MJ/kg（4,150kcal/kg）、タンパク質では23.4MJ/kg（5,600kcal/kg）、脂肪では39.3MJ/kg（9,400kcal/kg）程度とされている[1)]。

発生した熱により、堆肥の温度が上昇する。堆肥の比熱は水の1/4～1/3と小さく、熱伝導率も水に比べてかなり小さい[2)]。このことが、材料温度が急激に大きく上昇する理由となっている。また、堆肥内部で熱の移動は比較的少ないといえる。このため熱発生速度が同じであっても、水分が高い材料では水分が低い材料よりもその温度上昇が遅くなる[3)]。

一方で、熱伝導率や熱の移動が比較的小さな堆肥であっても、床面・側壁への熱移動、表面からの放熱、水分蒸発などにより損失する熱量は無視できない。堆肥化早期の材料温度が上昇している間は活発な有機物分解による熱の発生が損失よりも大きく、その後の65～70℃の高温を維持している間は熱の発生と損失が均衡しており、温度が低下しているときにはこの熱の損失が発生よりも大きくなっている。

4）堆肥化のプロセス

堆肥化の経時的概要を**図1-2-1**に示す。微生物による有機分解は継続的な現象である。こ

のため実用技術としての堆肥化では、有機物分解を主目的とする１次処理（１次発酵）と、性状の安定化を主目的とする２次処理（２次発酵）とに分けて、その操作が行われることが多い。

１次処理では、好気性細菌を主とする微生物の増殖と代謝が促進される。この時に発生する熱により材料温度が大きく上昇するが、微生物叢は材料温度に合わせた遷移をしながら増殖していく。堆肥化では昇温時の40℃付近と60℃付近に、有機物分解が活発となる温度帯があることが知られている。材料温度がおおむね65℃以上に達し安定すると、堆肥中の微生物数はほぼ一定となり、有機物分解が最も活発となる。やがて易分解有機物が少なくなると、分解が緩やかになり、材料温度の低下が始まるようになる。この時期には、放線菌が増殖するようになり、堆肥の中に白い菌糸が観察されることも多い。

２次処理では、材料温度が低下するにつれて有機物分解も緩やかになる。材料温度が40℃付近にまで低下すると、担子菌類や子嚢菌類などのいわゆる糸状菌の増殖が始まる。これらの菌類が難分解性有機物であるセルロースやリグニンの分解に関与している。またこうした温度帯では硝酸化成も活発になり、酸素の供給があればアンモニア性窒素（NH_3,NH_4^+）が酸化され、硝酸性窒素（NO_2^-,NO_3^-）の増加も観察される。

堆肥の性状変化は連続して推移することから考えれば、こうした区分は施設設計や堆肥化の操作のために行われてきたともいえる。

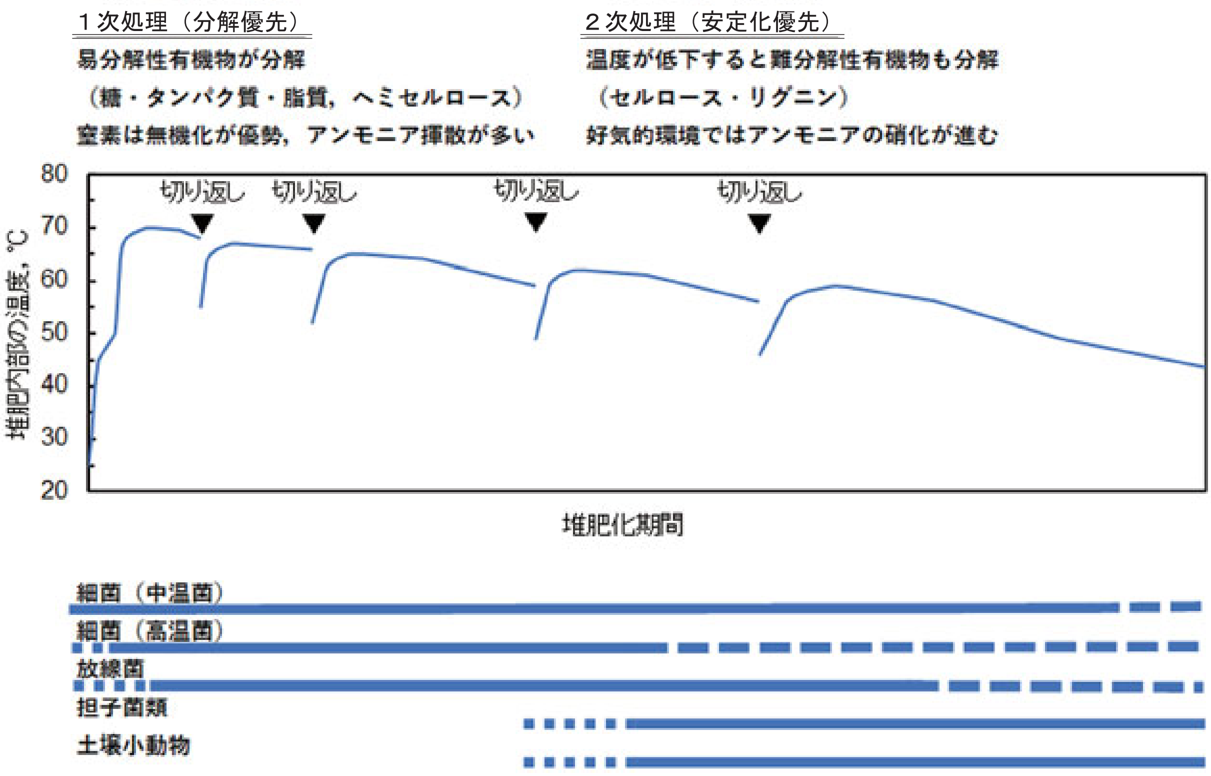


図1-2-1　堆肥化の経時的な概要

５）堆肥化による材料性状・成分の変化

堆肥化では、**図1-2-2**に示すように易分解有機物が二酸化炭素と水などに分解されて、材料中の固形物の量すなわち乾物量が減少する。固形物には様々な無機物が含まれているが、微生物体内に取り込まれることがあっても堆肥の外部には移動しないため、無機物の量すな

わち灰分量は変化しない。このため乾物分解に連動して有機物含有率は低下し、反対に灰分含有率は相対的に上昇する。このため、肥料成分であるリン酸やカリの含有率は上昇する。しかし窒素については、前述のようにアンモニアとしてその一部が堆肥の外部に揮散するため、乾物分解率と窒素の揮散率（相対揮散）との関係から、含有率は増加することもあれば減少することもある。

材料に含まれる水は、表面からの蒸発や通気によって堆肥の外部に持ち出されるが、その一方で有機物分解によって供給もされる。例えばデンプン($C_6H_{10}O_5$)nの酸化分解は以下のとおりである。なお、カッコ（　）内は分子量を示す。

$C_6H_{10}O_5$(162) $+6O_2$(6×32) →

$6CO_2$(6×44) $+5H_2O$ (5×18)

このため、理論的にはデンプン100gの分解により55.6gの水が生じる。このように有機物の1kgが分解されると0.5～0.6kgの水が生成されるため、有機物分解に対して水の蒸発が少ないときには、堆肥化によって水分が上昇することもある。

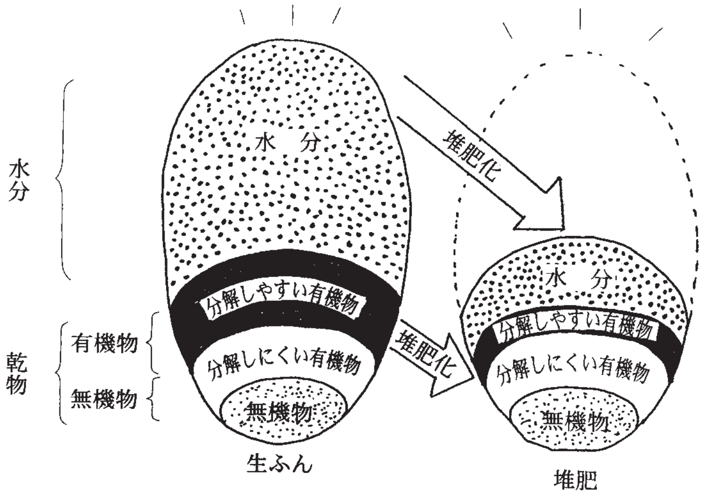


図1-2-2　生ふんから堆肥への成分変化

3．堆肥化を促進する条件

堆肥化を促進するためには、材料への酸素供給、材料のpH、材料の初期温度、堆肥化の期間などが重要である。

堆肥化を開始するときは、材料の通気性を確保するために、材料の水分を55～70%程度に調整する必要がある。材料に十分な空気を供給するためには、水分調整に加えて撹拌・切返し、強制通気などの操作が重要となる。強制通気を行うと処理期間の短縮が可能となり、適切な通気量は100L空気/分/㎥(材料) までの範囲と考えられている。

1）材料の栄養分

（1）有機物

家畜排せつ物は水と乾物から成り立っている。乾物は有機物と無機物（灰分）からなり、有機物には易分解性有機物と難分解性有機物とがある。堆肥化の一次処理において微生物の栄養源となるのは易分解性有機物であり、家畜排せつ物には十分に含まれている。

（2）無機要素と栄養のバランス

微生物が増殖するためには可溶性の糖やタンパク質、その他の窒素化合物、ビタミン、無機塩類が必要である。これらも家畜排せつ物には多量に含まれている。栄養バランスの指標としては、C/N比（炭素と窒素の比率、炭素率とも表される）がとりあげられてきた。

家畜ふんのC/N比は、牛で15～20、豚で10～15、鶏で6～10程度である。また、ワラ類、野菜残渣、野草類、樹木類、食品残渣などのC/N比は様々である。また、食品残渣でも植物性

表1-3-1 各種堆肥原料の成分（水分は現物%、他は乾物%[4]）

区分	資材名	水分	石灰	苦土	カリ	リン酸	窒素	炭素	C/N 比
家畜ふん尿	牛ふん	約80	1.5-2.0	0.5-1.0	1.5-2.0	2.0-2.5	2.0-2.5	40-45	15-20
	豚ふん	約70	4.0-5.0	1.0-1.5	1.5-2.0	5.0-6.0	3.0-4.0	40-45	10-15
	鶏ふん	約65	10.-15.	1.0-1.5	3.0-4.0	6.0-7.0	5.0-6.0	35-40	6-10
	牛尿（現物）		0.0	0.0	1.0-2.0	0.1	0.5-0.7		
	豚尿（現物）		0.0	0.0	0.5-1.0	0.1	0.3-0.5		
ワラ類	稲ワラ	約10	0.5	0.2	2.0-2.5	0.2-0.5	0.5-1.0	35-40	50-60
	麦ワラ	約10	0.5	0.2	2.0-2.5	0.1-0.3	0.5-1.0	40-45	60-70
	モミガラ	約10	0.1	0.1	0.5	0.1-0.3	0.3-0.5	35-40	70-80
野菜クズ	ダイコン葉	約90	5.0-7.0	0.3-0.5	5.0-6.0	0.8-1.0	5.0-6.0	40-45	8-10
	ニンジン葉	約80	3.0-4.0	0.5-0.7	5.0-6.0	0.8-1.0	3.0-4.0	40-45	10-15
	キャベツ	約90	1.5-2.0	0.2-0.3	5.0-6.0	1.0-1.5	5.0-6.0	40-45	8-10
	ハクサイ	約90	5.0-6.0	0.7-1.0	5.0-6.5	1.5-2.0	3.0-4.0	40-50	10-15
	キュウリ茎	約70	6.0-8.0	0.5-0.7	7.0-1.0	1.0-1.5	4.0-5.0	40-45	9-12
	サトイモ茎葉	約80	1.0-1.5	0.4-0.5	0.8-1.0	1.0-1.5	4.0-5.0	40-50	10-15
	カンショ茎	約70	4.5-5.0	0.3-0.5	0.7-0.9	1.0-1.5	2.0-3.0	40-45	10-15
	トウモロコシ茎	約70	2.5-3.0	0.7-1.0	1.5-2.0	1.0-1.5	3.5-4.0	40-50	10-15
	トウモロコシ実皮	約50	0.2-0.3	0.2-0.5	1.5-2.0	0.5-1.0	1.5-2.0	40-45	20-25
	ミカン皮	約80	4.0-4.5	0.2-0.3	0.5-1.0	0.2-0.5	1.0-1.5	45-50	30-40
野草類	イタリアン	約80	1.0-1.2	0.5-0.7	4.0-5.0	0.5-1.0	2.0-3.0	45-50	20-30
	クローバ	約90	2.0-2.5	0.7-1.0	4.0-5.0	0.5-1.0	3.0-4.0	45-50	10-15
	レンゲ	約90	2.0-2.5	0.7-1.0	2.0-3.0	0.5-1.0	3.0-4.0	45-50	10-15
	ヒメジオン	約85	1.0-1.5	0.3-0.5	1.0-1.5	0.3-0.5	1.0-1.5	40-50	20-30
	アカザ	約85	1.0-1.5	0.5-0.7	2.5-3.0	0.5-1.0	1.0-1.5	40-50	20-30
	イヌビエ	約85	1.0-1.5	0.5-0.7	1.5-2.0	0.3-0.5	1.5-2.0	40-50	15-25
	ツユクサ	約90	1.5-2.0	0.5-0.7	2.5-3.0	0.5-1.0	2.0-2.5	45-50	15-25
	タデ類	約85	2.0-2.5	0.5-1.0	2.0-2.5	0.5-1.0	2.5-3.0	45-50	15-20
	シロツメクサ	約90	1.0-1.5	0.3-0.5	2.0-2.5	0.5-1.0	2.5-3.0	45-50	15-20
	ヨモギ	約85	0.5-1.0	0.3-0.5	1.5-2.0	0.5-1.0	1.5-2.0	40-50	15-25
	シバ類	約60			2.5-3.0	0.5-1.0	1.0-1.5	40-50	30-50
樹木類	ヤナギ類	約70	1.0-1.5	0.2-0.5	1.0-1.5	0.5-1.0	1.0-1.5	45-50	30-40
	スギの葉	約60	0.3-0.5	0.2-0.5	0.1-0.2	0.1-0.2	1.0-1.5	45-50	40-50
	マツの葉	約60	1.0-1.5	0.2-0.5	0.3-0.5	0.1-0.2	0.5-1.0	45-50	50-60
	イチョウの葉	約50					2.0-2.5	45-50	20-25
	カキの葉	約60	2.5-3.0	0.5-1.0	4.0-5.0	4.0-5.0	3.0-4.0	45-50	15-20
	樹皮（パーク）	約30	2.0-2.5	0.1-2.0	3.0-4.0	0.1-0.2	0.0-0.1	45-50	500-
	オガクズ（広）	約10	0.3-0.5	0.1-0.2	0.1-0.2	0.0-0.1	0.0-0.1	45-50	500-

区分	資材名	水分	石灰	苦土	カリ	リン酸	窒素	炭素	C/N 比
植物性食品カス	ソバ殻	約15			1.0-1.5	1.0-1.5	2.0-2.5	40-50	20-30
	米ヌカ	約15			1.5-2.0	4.0-5.0	2.0-3.0	45-50	20-25
	ナタネ油カス	約10			1.5-2.0	2.0-3.0	5.5-6.5	45-50	7-10
	大豆油カス	約10			2.0-2.5	1.5-2.0	7.0-8.0	45-50	6-8
	酒カス	約65			0.1	0.5-1.0	7.0-8.0	45-50	6-8
	ビールカス	約75			0.1	1.5-2.0	4.0-5.0	45-50	8-10
	味噌カス	約40			0.5-1.0	0.5-1.0	5.0-6.0	45-50	6-8
	海そう	約75			2.0-2.5	0.5	1.5-2.0	40-45	20-30
	コーヒーカス	約75			0.1	0.1	2.5-3.0	45-50	15-20
	ココアカス	約10			2.5-3.0	1.0-1.5	2.5-3.0	45-50	15-20
	オカラ	約75	0.5-0.7	0.2-0.4	1.0-1.5	1.0-1.2	4.0-5.0	50	10-12
動物性食品カス	魚カス	約10				8.0-10.	8.0-9.0	45-50	6-8
	肉カス	約10				2.0-2.5	8.0-9.0	45-50	6-8
	骨粉	約5				10.0-12	6.5-7.0	35-40	6-8
	イワシ	約70				4.0-5.0	8.0-9.0	45-50	6-8
	カニ甲ら	約5			0.5	3.5-4.0	6.0-7.0	35-40	6-8
	タニシ	約60			1.0	1.0	3.5-4.0	35-40	8-10
	イナゴ	約60			1.0-1.5	1.5-2.0	8.0-9.0	45-50	6-8
	家畜内臓	約20			0.5-1.0	0.5-1.0	8.0-9.0	45-50	6-8
	皮クズ	約15			0.2	0.1	5.0-5.5	45-50	8-10

と動物性では大きく異なり、植物性の中でも豆類はC/N比が低い傾向がある（**表1-3-1**）[4]。家畜ふんの堆肥化に副資材として用いられてきたワラや樹木類はC/N比が高く、水分調整だけでなくC/N比の調整という役割を持っている。

堆肥化時のC/N比の調整は、揮散アンモニアの濃度の抑制には効果的である。しかし、必要となる副資材と堆肥材料の総量が増大することと、総揮散量の抑制効果は小さいことに注意が必要である[5]。

2）水分調整

（1）微生物と水分

堆肥化を開始するときは、材料の水分を55～70 %程度に調整する必要がある。これは材料内部の空隙を確保し、通気性を維持するためである。堆肥化に関わる好気性微生物は酸素の供給が十分であれば、かなりの高水分状態でも増殖が可能である。しかし、水分が高すぎると、材料の内部に十分な空気が供給されなくなり、好気性分解に支障をもたらす。こうした状態では、材料が嫌気的な状態となり悪臭を発生するようになる。したがって、通気性を保つような水分調整が、堆肥化のためには必要不可欠である。一方で、こうした微生物は乾燥状態には弱く、材料にもよるが水分が50 %以下になるとその活動が徐々に抑制される。このため堆肥化を進めたいときには、低すぎる水分も障害となる。

（2）水分調整の方法

家畜排せつ物の水分調整方法には、大きく分けて2種類がある。その一つはハウスなどによる乾燥法であり、もう一つはオガクズやモミガラ、あるいは戻し堆肥など、水分の少ない副資材の混合により水分調整を行う方法である。乾燥法では天候により目標とする水分が得られないこともあり、これらが併用されることも多い。

通気性発現の目安として、材料の空隙率（全体積に占める空隙の割合）が30%以上必要とされている。このときの材料の水分は畜種（**図1-3-1**）[6)7)]および混合する副資材の種類によって異なり（**図1-3-2**）[6)7)]、必要となる副資材の量も異なる（**図1-3-3**）[7)8)]。堆肥化開始時の水分は、①副資材を混合した場合には、豚ふんで62 %、牛ふんで72 %以下に、②乾燥または戻し堆肥混合の場合では、鶏ふんで52 %、豚ふんで55 %、牛ふんで68 %以下が目安とされている。

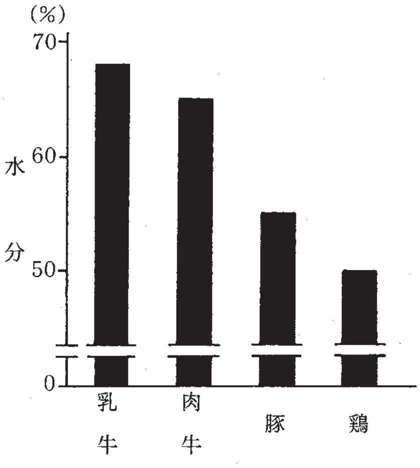


図1-3-1　各畜種別、通気性発現時のふんの水分（副資材未混合）[6)7)]

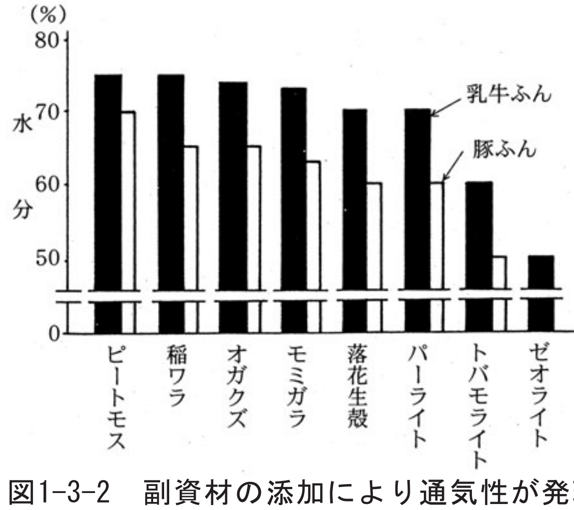


図1-3-2　副資材の添加により通気性が発現したときの混合物の水分[6)7)]

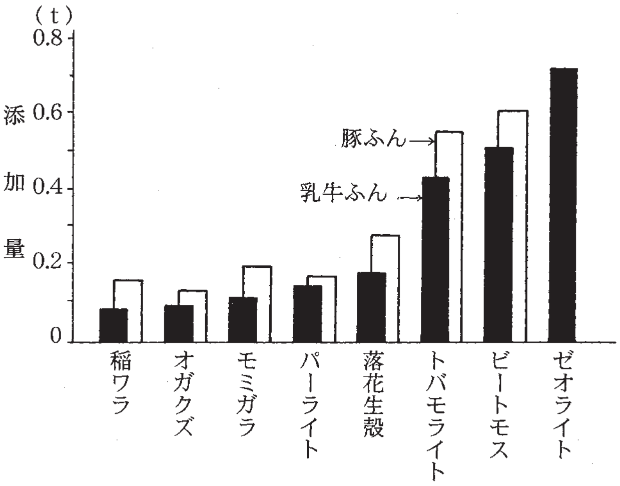


図1-3-3　畜ふんの通気性発現に要する副資材の添加量（ふん1t当り）[7)8)]

表1-3-3　副資材を保管のために堆積したときのかさ密度（単位：kg/m³）[9)]

	水分 %	堆積高さ（cm）100	150	200	250	300
おが粉	14	119	121	122	123	125
	25	130	132	134	136	138
	50	189	194	199	204	208
籾殻	11	107	108	109	110	111
	15	105	106	107	108	109
	20	104	105	107	108	109
豚ふん堆肥	23	514	520	526	531	536
	30	512	523	534	545	556
	40	539	567	594	620	647
	50	646	690	733	776	818
乳牛ふん堆肥	28	198	203	207	210	214
	40	220	229	236	243	250
	50	253	266	277	287	298

下線を付けた値は参考値

表1-3-2　主な副資材の特徴

	利　点	欠　点	備　考
稲ワラ・麦稈	①　材料の通気性改善効果大 ②　分解比較的容易	①　収集時期が限定される ②　収集作業が多労 ③　処理施設によっては細断必要	①　収集作業の共同化（機械化）必要 ②　粗飼料として利用される場合が多い
モミガラ	①　材料の通気性改善効果あり（未粉砕） ②　粉砕すると吸水性高まる	①　分解が比較的困難 ②　粉砕に多エネルギー必要	共乾施設で発生するモミガラの有効利用が必要
オガクズ バーク	①　材料の通気性改善効果・吸水性あり	①　入手がしだいに困難（高価のため） ②　分解が比較的困難 ③　作物の成育阻害物質を含むものあり	常時一定量入手可能な相手先の確保必要
無機質資材（パーライトなど）	①　材料の通気性改善効果・吸水性あり ②　安定した必要量の確保可能 ③　分解しない	①　高価である	①　使用量を極力少なくするよう畜ふんの水分低下をはかる ②　製品が高価販売できるよう努める
戻し堆肥	①　材料の通気性改善効果・吸水性あり（ただし低水分の場合） ②　確保が比較的容易	①　高水分の場合は通気性改善効果小 ②　分解による発生熱エネルギー小または無し ③　販売できる製品量が少ない	①　戻し堆肥の水分を低下させる乾燥施設を設ける必要あり ②　共同処理施設などでは，この例が多い

（3）副資材の混合

副資材を混合する第一の目的は、堆肥材料の水分を調整することであり、水分の調整により通気性を改善することができる。副資材としては入手が比較的容易なオガクズやモミガラ、

破砕バークなどの有機質資材が多く用いられているが、これらが不足する場合やその使用量を抑制するために、製品あるいは堆肥化中の堆肥を副資材として用いることが多くなっている（戻し堆肥）。また、パーライトなどの無機質資材が用いられることもある。主要な副資材の特徴を**表1-3-2**に、副資材を保管のために堆積したときのかさ密度[9]を**表1-3-3**に示す。

（４）かさ密度の改善

かさ密度（容積重）とは粉粒体を一定容積の容器に充填したときの質量をその体積で割った値をいい[10]、堆肥材料の通気性の指標の一つである。水分調整が行われると通気性が改善される。水分調整の本質的な意味はこの通気性の改善にあると考えてよい。材料内の空隙の増加とかさ密度（単位はkg/m^3＝g/L、t/m^{3}などが用いられる）の低下との関係が深いため、かさ密度を参考にして通気性の改善効果を評価することができる。また、堆肥材料のかさ密度の値は、施設規模算出の基本ともなる数値である。

堆肥材料のかさ密度については、豚ふんと各副資材との混合物を対象とした**表1-3-4**の値が他の畜ふんでも採用されている[11]。**表1-3-4**によると、水分が高く堆積高さが高くなるほどかさ密度は大きくなり、副資材が戻し堆肥のときにはオガクズやモミガラのときが400～800kg/m^{3}程度となるのに比べて、かさ密度が大きくなっている。堆肥化開始時のかさ密度を500kg/m^{3}にできるだけ近づけると通気性が良くなる。

３）材料のpH

材料のpHは堆肥化を促進する微生物の活動に影響を及ぼす。堆肥材料として適切なpHの範囲は7～9の間であり、それより低くても高くても微生物の活動は抑制される。特にpHが5以下あるいは10以上になると強い抑制を受けるとされている[12]。

家畜排せつ物は、排せつ時にはpHが6.5～7.0の微酸性から中性の範囲内である。その後、一時的な貯留によって内部が嫌気的な環境になると、低級脂肪酸が生成されてpHが低下する。特に温暖な時期に、こうしたpHの低下が生じやすい。このようにpHが低下した材料では、戻し堆肥の混合が効果的である[13]。

一方で、ハウス乾燥や堆肥化が行われると、好気的環境によって低級脂肪酸が生じにくく、また微生物による分解を受けるために、pHは上昇する。さらに尿が混入している場合は、尿素の分解によって生じるアンモニア性窒素もpHを上昇させる。材料あるいは堆肥のpHが9より高くなると、アンモニアの外部への揮散が増加してpHがそれ以上に上がらないように作用する。このため、堆肥化中の材料pHは高くても9程度に、ある程度の分解が進むと8～8.5前後に、それぞれ安定することが多い。

４）材料への空気の供給

（１）微生物と空気

好気性微生物の呼吸や増殖には酸素（空気）が不可欠である。微生物は酸素を利用して有機物を分解し、呼吸熱を発生し、水分蒸発を促進する。酸素の供給がない状態で家畜排せつ物を放置すると嫌気性微生物が活動するが、有機物の分解速度は低く、温度も上昇せず、硫化水素などの硫黄化合物や揮発性脂肪酸などの悪臭物質が生成して蓄積する。堆肥材料に十分な空気を供給するためには、水分調整などによる通気性の改善が必要であり、これに加え

表1-3-4　豚ふんと各副資材との混合物の堆積高別かさ密度と比容積[11)]

		かさ密度 (kg／m³)					比容積 (m³／t)					比率 (%)	
添加資材名	水分含量 ＼ 堆積高さ	50cm	100cm	150cm	200cm	250cm	50cm	100cm	150cm	200cm	250cm	容積重	比容積
オガクズ	40%	(302.6)	(303.9)	(304.8)	(305.2)	(305.2)	(3.30)	(3.29)	(3.28)	(3.28)	(3.28)	(100)	(100)
	45	(336.1)	(342.0)	(346.4)	(349.5)	(351.3)	(2.98)	(2.92)	(2.89)	(2.86)	(2.85)	(102)	(98)
	50	(371.6)	(387.9)	(401.7)	(413.0)	(422.0)	(2.69)	(2.58)	(2.49)	(2.42)	(2.37)	(107)	(94)
	55	413.4	443.2	467.1	489.4	506.9	2.42	2.26	2.14	2.04	1.97	110	90
	60	509.0	547.5	578.3	607.3	630.1	1.96	1.83	1.73	1.65	1.59	111	90
	65	705.8	776.5	834.7	889.9	935.0	1.42	1.29	1.20	1.12	1.07	115	87
	70	(793.2)	(868.7)	(930.3)	(989.1)	(1,036.8)	(1.26)	(1.15)	(1.07)	(1.01)	(0.96)	(114)	(88)
未粉砕 モミガラ	40	(205.6)	(215.2)	(224.5)	(233.4)	(242.0)	(4.86)	(4.65)	(4.45)	(4.28)	(4.13)	(108)	(92)
	45	(223.6)	(237.4)	(250.3)	(262.0)	(272.8)	(4.47)	(4.21)	(4.00)	(3.82)	(3.67)	(110)	(91)
	50	(252.6)	(273.5)	(292.5)	(309.5)	(324.6)	(3.96)	(3.66)	(3.42)	(3.23)	(3.08)	(113)	(88)
	55	291.8	315.4	334.5	352.4	366.6	3.43	3.17	2.99	2.84	(2.73)	112	90
	60	438.8	466.4	497.1	526.0	556.8	2.29	2.14	2.01	1.90	(1.80)	113	89
	65	648.2	711.7	763.9	813.4	853.8	1.54	1.41	1.31	1.23	(1.17)	114	87
	70	(766.4)	(832.5)	(890.5)	(945.3)	(993.2)	(1.30)	(1.20)	(1.12)	(1.06)	(1.01)	(114)	(88)
稲ワラ	55	139.4	190.6	244.3	298.7	355.2	7.17	5.25	4.09	3.35	(2.82)	157	64
	60	201.6	259.1	315.9	372.6	428.8	4.96	3.86	3.17	2.68	(2.33)	144	69
	65	355.8	443.5	527.4	610.4	690.3	2.81	2.25	1.90	1.64	(1.45)	138	73
	70	(440.4)	(530.0)	(614.0)	(697.1)	(775.8)	(2.27)	(1.89)	(1.63)	(1.43)	(1.29)	(132)	(76)
落花生殻	55	454.0	508.1	553.7	597.3	634.0	2.20	1.97	1.81	1.67	(1.58)	118	85
	60	585.0	658.6	721.1	781.0	831.9	1.71	1.52	1.39	1.28	(1.20)	119	84
	65	791.8	884.4	962.3	1,036.6	1,099.0	1.26	1.13	1.04	0.96	(0.91)	117	85
	70	(894.0)	(993.8)	(1,077.7)	(1,160.4)	(1,230.9)	(1.12)	(1.01)	(0.93)	(0.86)	(0.81)	(117)	(85)
堆肥	40	(432.8)	(479.1)	(520.1)	(555.8)	(586.1)	(2.31)	(2.09)	(1.92)	(1.80)	(1.71)	(116)	(86)
	45	(470.6)	(521.8)	(567.0)	(606.3)	(639.7)	(2.12)	(1.92)	(1.76)	(1.65)	(1.56)	(116)	(86)
	50	(525.3)	(581.3)	(630.8)	(673.7)	(710.0)	(1.90)	(1.72)	(1.59)	(1.48)	(1.41)	(116)	(86)
	55	573.0	631.3	675.0	716.0	(745.4)	1.75	1.58	1.48	1.40	(1.34)	113	89
	60	708.8	784.1	846.7	906.2	(955.4)	1.41	1.28	1.18	1.10	(1.05)	116	86
	65	938.4	1,007.0	1,061.9	1,113.3	(1,153.6)	1.07	0.99	0.94	0.90	(0.87)	111	91
	70	(1,037.8)	(1,111.2)	(1,174.9)	(1,234.5)	(1.285.8)	(0.96)	(0.90)	(0.85)	(0.81)	(0.78)	(111)	(90)

注）(1)　比率は堆積高さ100cmの比率である。
(2)　（　）内の値は，実測値から得た回帰式により求めた計算値である。

て、切返しや撹拌、強制通気などの操作が重要となる。

（２）材料への空気の供給方法

水分調整により材料のかさ密度を低下させれば空隙率を高めることにつながるため、通気性が改善されて材料への空気の供給が可能となる。しかし、この場合では材料の表面から30㎝程度までしか空気が供給されないため、定期的な切返しによって材料を反転し、材料全体に空気が供給されやすくすることが必要である。堆肥化の早期（１次処理に相当）では必要とされる酸素量が多いため、こうした方法では空気の供給量が不足しており、有機物分解は緩やかである。有機物分解を促進するためには、機械的な強制通気を併用することが有効であり、処理期間の短縮が可能となる。処理期間の短縮により、施設面積や切返しなどに要する労力の削減といった効果も期待される。

（３）強制通気における適正通気量

通気の目的は、最も重要なのが微生物への酸素供給であり、次いで材料中の水分の蒸発促進による乾燥効果である。その一方で、材料から熱を持ち出す冷却効果があることに注意が必要である。このため、微生物に十分な酸素を供給しつつ水分蒸発を促進し、これらを長期間維持するために材料温度を60～70℃に高く維持できる通気量が適切ということになる。

微生物の酸素要求量が最も大きいのは材料の昇温過程であり、温度が70℃近くにまで上昇すると高温により微生物の酸素消費が抑制され、その後は次第に分解性有機物が減少するために酸素消費が減少していく。切返しが行われると、それまでは分解が抑制されていた部分が分解されることや、材料温度の一時的な低下により微生物が活性化される温度になるために、材料の昇温が生じる。このときには一時的に酸素消費が大きくなるが、最初の昇温時よりも大きくなることはなく、以後は切返しの度に酸素消費は減少していく。

したがって、堆肥化の進行に合わせて早期の昇温・高温時には通気量を多く、その後に堆肥化が進み材料温度が低下していく過程では通気量を少なくすることが有効である。予乾した乳牛ふんを材料として強制通気により4週間の堆肥化を行ったときに、排気中の二酸化炭素濃度が3.5%となるように連続的に制御したときに有機物分解率が最も高かったとする報告がある。このときの通気量は、1週目が80L/分/m^3(材料)、2週目が46L/分/m^3、3週目が33L/分/、4週目が30L/分/m^3とされており、これらの通気量はオガクズやモミガラの混合により水分調整をした材料ではやや少ないとされている[14)]。また、戻し堆肥混合のように含水率が高い副資材を多量に利用する場合には易分解性有機物が相対的に少なくなるため適切な通気量はさらに少なくなる。一方で、逆に豚ふんや鶏ふんなどの易分解性有機物が多い材料では通気量を多くする必要がある。

実際には、堆積高1m以上の施設の場合には、100L/分/m^3程度の通気量として設計されている例が多いとみられる。近年は、材料の温度により自動的に通気量を調節する施設も開発されている。密閉型の堆肥化装置では熱損失が少なく加温も行われる場合があること、滞留時間が短く排出される堆肥の水分を水分蒸発により低く したいことから、通気量は大きく設定されている。

（４）通気に関する留意点

堆肥材料と通気量については以下の点に留意する必要がある。

①堆肥材料は副資材の混合、予備乾燥、固液分離などによりあらかじめ水分調整を行い、膨軟化（かさ密度が低い状態に）しておく。

②堆肥化の早期には連続通気が好ましく、十分な通気を行う。堆肥化開始直後は酸素の必要量が少なく発熱量も小さいため、初めは通気量を少なくし、昇温を確認してから通気量を多くすることも有効である。

③材料に含まれる易分解有機物が多いときには通気量を多めにする。

④通気する空気は基本的に常温であるが、寒冷地の冬季間や堆肥化の開始直後では加温も有効である。この場合の熱源としては、コストの面から電気よりも化石燃料や未利用資源の燃焼熱の直接利用を検討する。

⑤過度な通気は材料温度の早い低下につながり、分解を抑制させる。ある程度の分解が進んだら（２次処理に移行したら）、間欠通気も有効である。

また、通気設備に関しては以下の点に留意する必要がある。

①送風機は、静圧が2kPa（200mmH_2O）程度の時に必要な通気量が出るもの（ターボファンなど）を選定する。材料の堆積高さが2m以上となるときにはより大きな静圧が得られる送風機の選定が好ましい。

②通気用配管は空気が通りやすい（通気抵抗の少ない）構造とする。

③堆肥化の通気床は目詰りが発生するので、必要に応じて回復のための保守・管理作業を行う。

なお、前記留意点②について注意すべきことは次の通りである。

ア．送風機を通気床の近くに設置して管路はなるべく短くする。

イ．管径は大きくする。目安として、送風機吐出口の口径程度とする。

ウ．管路に、バルブ、曲り部、拡大、縮小部等はなるべく設けない。

エ．通気床には溝を設け、その中に適度に開孔した管を敷設する。管はオガクズ（粒の大きなもの）、モミガラ、バーク、砂利などで被覆する。

通気状態の確認方法としては、材料が高温を維持している間の外気温が低い時間帯に、材料表面全体からの湯気の立ち上がり方を観察し、それにムラがないかどうかを確認する方法が容易である。表面から50cm以上深いところでも60～70℃程度の温度になっているかを確認する方法もあるが、複数箇所の確認を行う必要がある。部分的に通気不良の部位がある場合は、材料の水分が高すぎる、堆積時の方法が良くない、などの問題がある。

（５）切返し・撹拌

切返しや撹拌は、材料と空気とを接触させることにより、好気性微生物に酸素を供給する重要な手法である。また、自重により沈下・圧縮した材料に切返しや撹拌を行うと、内部の空隙を多くすることができ、通気性を改善することにつながる。通気をしている場合でも、堆積高さが高く（1.5～2.0m）なると分解の進み具合や水分が不均一になりやすく、定期的な切返しや撹拌が必要である。また、これらの操作によって材料の塊を砕くことができるため均質な製品が得られやすくなる。開放型堆肥化装置における機械撹拌は、材料を一定距離先まで移送する役割も兼ねる場合が多い。**図1-3-4**や**図1-3-5**にみられるように、切返しや撹

拌の直後は一時的に材料温度が低下する[15]。これは、材料が新鮮な空気と接触するときに、その内部の熱エネルギーが放出されるためである。過度の切返しや撹拌は、堆肥化を抑制する結果につながることにもなるので注意しなければならない。

切返しや撹拌の方法は、堆肥化方式によって異なっている。堆積方式ではホイールローダやトラクタ用のフロントローダを用いて切返しを行うが、労力と燃料費を必要とするので実際には1ヶ月に1回程度の頻度となることが多い。また、開放型堆肥化装置では専用の各種撹拌機が設置されており、1～2回/日の撹拌が行われている。一方で、密閉型発酵装置の場合は断熱された密閉空間内で撹拌が行われることによって、熱の損失が少なくなっている。このため、頻繁な（10～24回/時）撹拌によって空気と材料との接触時間を多くし、分解を促進するのと同時に蒸発した水分を装置外へ積極的に搬出する構造になっている。

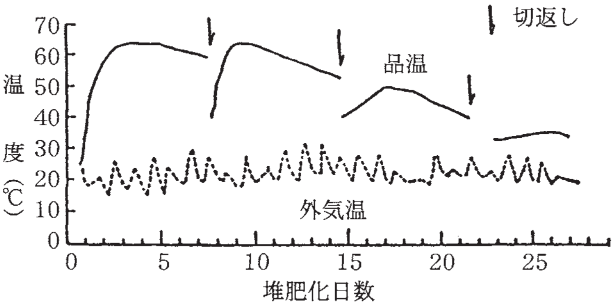


図1-3-4　堆積方式による牛ふんの堆肥化過程の温度変化[15]

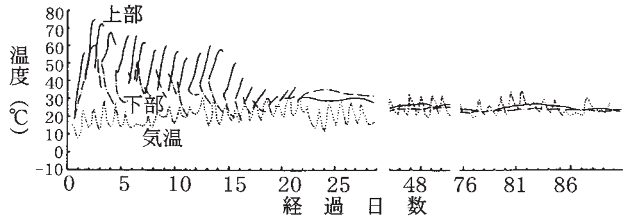


図1-3-5　撹拌方式による牛ふんの堆肥化過程の温度変化[15]

5）微生物

（1）堆肥化時の微生物の遷移

家畜排せつ物には多種・多様の微生物が存在し、その総数は1g当たり1億（10^8CFU/g）以上に達する。堆肥化は特定の微生物によって行われるのではなく、多種類の微生物群が温度条件や栄養条件の変化などに応じて、入れ替わりながら進行する。例えば、豚ふんとオガクズの混合物を堆肥化したときの微生物の変化は、最初は細菌が優先しているが、4週目に放線菌が出現し、12週目には糸状菌・セルロース分解菌がみられたことが報告されている[16]。堆肥が高温になったときには高温微生物が優勢となるが、中温微生物が死滅するわけではなく10^4～10^6個/gは存在している[17]。材料温度が低下し再び中温域になると中温微生物や糸状菌が優勢になり、担子菌類によるセルロースの分解も進む。この段階になると、堆肥は特有の堆肥臭（放線菌臭）となっている。

（2）微生物の添加について

堆肥化のための微生物は、排せつ物中、空気中、畜舎など自然に存在するもので十分であり、特別に添加する必要はない。好気性微生物が活動できるように、水分調整や通気性などの環境条件を整えることが重要である。有機物の分解促進や悪臭低減を標榜した微生物資材が販売されているが、その効果については不明な点が多い。

良好な堆肥化が行われているときには、製品堆肥や一次処理を終えた堆肥の中に、堆肥化を進行させる微生物が多く含まれている。このため、戻し堆肥を副資材（の一部）として利用することは、堆肥の材料中の有効な微生物量を確保することにもつながっている。豚ふん

の堆肥化において種堆肥を加えたときには、早期の温度上昇時の中温域から高温域への移行が円滑になることが報告されている[13)]。

6）温度と熱エネルギー

（1）温度と微生物

堆肥の温度が上昇することは微生物による活発な有機物分解の結果であり、堆肥化が順調に進行している重要な証拠でもある。微生物を活動に適した温度によって分類すると、常温微生物（12～18℃）、中温微生物（30～37℃）、高温微生物（55～60℃）の3つに分けることができる。

堆肥材料の高温をもたらす高温微生物の増殖にはおおむね45℃以上の温度が必要であるが、この45℃付近までの温度上昇は中温微生物によってもたらされる。この中温微生物の増殖には30℃以上が適しているため、初期温度がそれよりも低いときには温度上昇に明確な遅れがみられる。**図1-3-6**はそれを調査した結果であり、寒冷期（2月）では温度上昇の開始が遅れている[18)]。堆肥化開始時の材料温度として20℃程度の温度が確保できれば、開始直後の温度上昇は緩やかであるがその後は活発な温度上昇が行われて温暖時と同様に70℃程度の最高温度を得ることができる。

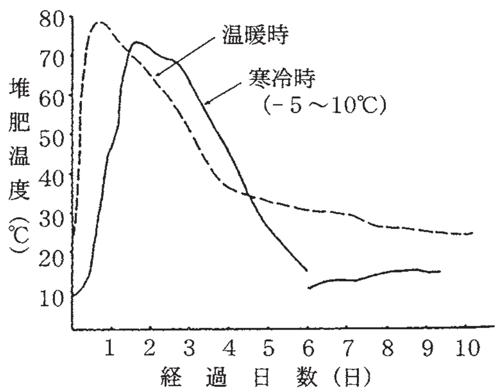


図1-3-6　環境温度が異なる場合の材料温度変化の違い[18)]

（2）材料水分、通気量と温度との関係

堆肥化時の材料温度を病原菌や雑草種子の不活化のために重要な60℃以上の高温に到達させるためには（詳細は（5）で後述）、水分と通気量をそれぞれ適切に調整することが重要である。この理由としては第一に、材料水分が低すぎれば過乾燥によって、高すぎれば空隙が不足して酸素供給が不足して、微生物の活動が抑制されるためである。また適切な水分範囲においても、水分が高ければ材料の比熱が大きくなり、温度上昇は緩やかになる。さらに、通気は材料に酸素を供給する一方で、材料から熱を持ち出す側面を持ち合わせている。微生物によって利用される酸素量には限界があるため、通気量が過剰になると持ち出される熱量が大きくなり、材料温度の上昇が抑制される。**図1-3-7**に示すように、実験室内で行われた

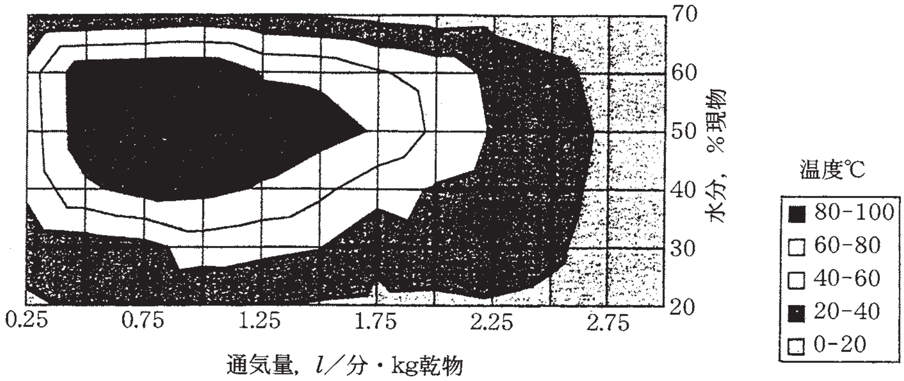


図1-3-7　材料の水分と通気量が最高温度に及ぼす影響[19)]

豚ふんを主体とした堆肥化においては、温度が60℃以上に達するには、水分35〜65%、通気量0.3〜2.0L/分/kg乾物となっている（実規模での材料1m^3の乾物量は150kg〜200kg程度）[19]。

このような通気量と温度との関係は、堆肥材料の易分解有機物量や熱の逃げやすさなどの影響を受ける。このため、畜種や副資材種類とその混合比、開放型か密閉型か、施設規模、外気温によっても変化する。

（3）乾物分解時に発生する熱量

家畜ふんの持つ熱量を**表1-3-5**に示した。家畜ふんの発熱量は、乾物1kg当り牛と豚の場合は18.8MJ（4,500kcal）、鶏ふんの場合は15.1MJ（3,600kcal）とされ、畜種によりふんの有機物含有率（あるいは灰分）が異なることを考慮すると、家畜ふんに含まれる有機物の熱量としては21.0〜22.7MJ（5,000〜5,500kcal）/kg程度となる。堆肥化過程で分解・消失する乾物1kg当たりの発熱量については明確に示されていないが、分解される乾物は灰分を除いた有機物であり、乾物分解当たりに発生する熱量も有機物の熱量に近い値になると考えられる。ただし、畜種と畜舎などの飼養条件、給与する飼料の種類および排せつから堆肥化装置に投入するまでの時間などによっても、乾物分解により発生する熱量は変化するため、施設設計においては、堆肥化処理時に分解・消失する乾物1kg当りの発生熱量として、18.8MJ（4,500kcal）/kgの値が採用されている。

堆肥化に用いられる副資材のうち、主として有機質から構成されその乾物の一部が分解する副資材、たとえばオガクズやモミガラの乾物の発熱量は、**表1-3-6**に示すように乾物1kg当り12.6〜16.7MJ（3,000〜4,000kcal）となっている[20]。副資材により有機物含有率（あるいは灰分）が異なることを考慮すると、オガクズやモミガラの有機物は、14.5〜18.7MJ（3,530〜4,550）/kgの熱量を持つことになり、炭水化物やセルロースの熱量とされる15.5〜17.3MJ（3,750〜4,200kcal）/kg[1]と大きな相違はない。ただし、副資材の場合も家畜ふんの場合と同様に、分解・消失する乾物1kg当たりの発熱量については明確に示されていないことから、堆肥化施設の規模算定では安全側をみて副資材の乾物分解による発生熱量は12.6MJ（3,000kcal）で計算される場合が多い。

表1-3-5　新鮮ふんの熱量（総エネルギー）

家畜別	ふんの種類	熱量 kcal/kg乾物
採卵鶏	ひな	3,660
	成鶏	3,660
ブロイラー	ひな（2週齢）	3,777〜3,888
豚	子豚（体重10〜30kg）	4,944
	肥育豚（体重30〜115kg）	4,739
	繁殖豚　妊娠豚	4,432
	授乳豚	4,753
乳牛	泌乳牛	4,512
	育成牛	4,352
肥育牛	黒毛	4,426
	ホルスタイン	4,295

出典：農林水産省 畜産試験場 栄養部データ（1999）

表1-3-6　熱源と発熱量（現物1kg当り）[20]

熱源	発熱量
石炭	20.9〜33.5 MJ(5,000〜8,000kcal)／kg
モミガラ	12.6〜14.7 MJ(3,000〜3,500kcal)／kg
薪	16.7〜18.8 MJ(4,000〜4,500kcal)／kg
燃料油	37.7〜43.1 MJ(9,000〜10,300kcal)／kg
プロパン	50.2 MJ(12,000kcal)／kg
メタン	54.4 MJ(13,000kcal)／kg
電熱	3.6 MJ(860kcal)／kWh

（4）水分の蒸発

水分1kgを蒸発させるのに必要な熱エネルギーは、理論上は約2.51MJ（600kcal）である。堆肥化時に消費されるエネルギーにはこの他に、材料の温度上昇に利用される熱エネルギー、通気空気により堆肥から持ち出される熱エネルギー、発酵槽側壁や床面からなどから損なわれる熱エネルギー、堆肥の表面から損なわれる熱エネルギー、などがある。また前述のように、乾物分解時には分解された乾物質量の50-60%に相当する代謝水が生じるため、この分の蒸発も考慮する必要がある。こうしたことから、堆肥化において材料の水分1kgを蒸発させるのに必要な熱エネルギーは、前記の2.51 MJよりも大きくなる。

ハウス内における堆積高さ30cm、無通気での豚ふん堆肥化試験の条件と結果とを**表1-3-7～10**に示した[21)]。これらの結果から、乾物分解による発生熱を水分の蒸発量で除した値は、4.19～5.02MJ（1,000～1,200kcal）/kg程度となる。この事例では堆積高さが低いため、堆肥槽側壁や床面からの熱伝導による熱損失が相対的に大きいと考えられる。実際の堆肥化施設では堆積高さが1m以上であるため、熱損失はこの事例よりも小さくなると考えられる。こうしたことから、堆肥材料中の水分1kgを蒸発させるために必要となる熱エネルギーは、開放型においては3.77MJ（900kcal）程度、密閉型では3.35MJ（800kcal）程度とされている。これらの値は温暖地域では小さくなり、逆に寒冷地では大きくなる。

表1-3-7　堆肥化過程における尿散布試験の概要(1)[21)]

区　名	供試材料と条件	水　分	重　量	高　さ	面　積
1　少量，連続散布区	豚生ふん尿＋豚仕上がり物 1,130.0kg　698.0kg (1)　(0.62)	55.7%	250.0kg	30cm	1.26m²
2　多量，連続散布区		55.7	250.0	30	1.26
3　少量，間欠散布区		55.7	250.0	30	1.26
4　多量，間欠散布区		55.7	250.0	30	1.26
5　無　散　布　区		55.7	250.0	30	1.26

表1-3-8　堆肥化過程における尿散布試験の概要(2)[21)]

区　名	容　積	通　気	尿散布量	攪　拌	期　間	備　考
1　少量，連続散布区	0.38m³	—	3kg／m³	1回／日	57.9.4 ～9.18 (14日間)	間欠散布区は3～4日分の尿を一括して散布した。
2　多量，連続散布区	0.38	—	6			
3　少量，間欠散布区	0.38	—	3			
4　多量，間欠散布区	0.38	—	6			
5　無　散　布　区	0.38	—	0			

表1-3-9　堆肥化過程における蒸散量、乾物減少量および消失熱量(1)[21)]

区分	開始時			終了時			投入尿量	蒸散量	日・m³当り蒸発量
	重量	水分	乾物kg当りの熱量	重量	水分	乾物kg当りの熱量			
	kg	%	kcal	kg	%	kcal	kg	kg	kg
1	250.0	55.70	3,617	158.8	43.58	3,198	37.8	108.3	6.14
2	250.0	55.70	3,617	186.5	54.52	3,100	75.6	113.6	6.44
3	250.0	55.70	3,617	155.0	42.42	3,143	37.8	111.1	6.30
4	250.0	55.70	3,617	182.0	53.18	3,124	75.6	117.2	6.64
5	250.0	55.70	3,617	141.0	31.81	3,120	0	94.4	5.35

表1-3-10 堆肥化過程における蒸散量、乾物減少量および消失熱量(2)[21]

区分	日・m³当り蒸散量	乾物減少量	同左 %	全消失熱量	同左 %	蒸散kg当りに要する熱量	※乾物減少1kg当り消失熱量
	kg	kg	%	kcal	%	kcal	kcal/kg
1	20.46	20.7	18.77	114,058	28.5	1,053.2	5,510
2	21.47	25.5	23.12	137,640	34.4	1,211.6	5,400
3	20.99	21.7	19.57	120,073	30.0	1,080.7	5,530
4	22.15	26.4	23.67	134,379	33.5	1,146.6	5,090
5	17.84	14.6	13.19	100,601	25.1	1,065.7	7,890

注）※は表中の値から計算して求めたものである。

（5）病原菌や雑草種子の死滅

堆肥化により60℃以上の材料の高温が数日間続くと、病原菌や寄生虫を死滅させることができる。主な病原菌の死滅温度を**表1-3-11**に示す[22)23)]。雑草種子についても**表1-3-12**に示すように[24)]、堆肥化時の熱によって発芽率を大きく抑制することが可能である。ただし、堆肥の中心部は高温であっても、表面、側壁や床面の近くでは低い温度となっていることが多いことに注意が必要である。このため、堆肥材料の全体が高温に曝されるように、切返しや撹拌を複数回、確実に行うことが重要である。

表1-3-11 主な病原菌および寄生虫の死滅温度[22)23)]

種類	温度（℃）	時間（分）
腸チフス菌	55～60	30
赤痢菌	55	60
ブドウ球菌	50	10
大腸菌	55	60
	60	15～20
回虫（卵）	60	15～20
クリプトスポリジウム	60	30
	常温・乾燥	1～4日間

表1-3-12 牛ふん堆肥埋設の雑草種子の発芽率（単位：%）[24)]

種類	埋設条件 50℃未満	埋設条件 60℃2日間	対照
メヒシバ	96	0	74
ノビエ	72	0	87
カヤツリグサ	56	0	30
オオイヌタデ	8	0	53
イヌビユ	68	0	70

7）堆肥化の期間

切返しや移動を行った後に、堆肥の温度が上昇しなくなるまで堆肥化を行うことが推奨されている。しかしながら、堆積時の体積、切返し・移動の頻度、水分、通気の有無などにより、堆肥の温度の推移は様々となる。このため、温度変化だけでは堆肥化の進行度を評価することはできない。

堆肥化期間の一応の目安としては、後述のように堆積方式では家畜排せつ物のみの場合では2ヶ月程度、農作物残渣（モミガラ、イナワラ）との混合物では3ヶ月程度、木質物（オガクズ、バーク）との混合物では6ヶ月程度が必要とされている。しかしながら、堆肥化施設の容量や需要の季節変動などの制約から、長期間の堆肥化が不可能な場合もある。また堆肥を利用する側のニーズについても、必ずしも熟度の高いもの（いわゆる「完熟」）を求めて

いない場合も多い。未処理に近い堆肥や一次処理が終了しただけの堆肥などの様々なニーズもあり、それぞれの堆肥の性状に適合した施用方法（機械・時期）などに留意する必要がある。詳細については第5節で述べる。

4．堆肥原料の性状

家畜ふんの水分が増加するに伴って泥状、液状となり、外見の形状も変化する。乳牛ふんは水分が高くてもふんの形状を保っているが、豚ふんや鶏ふんでは低い水分で液状となる。水分調整に利用する副資材としては、吸水性・保水性に富み、混合後の材料の通気性を向上させることが求められる。副資材には植物系のオガクズやモミガラなど、無機質系のパーライトやゼオライトなどがある。また半製品の堆肥も、戻し堆肥として利用される。

1）家畜排せつ物

家畜ふんは水分によってその状態が変化し、堆肥化にも影響を及ぼす。たとえば、乳牛ふんは水分が少ないときには固体状を呈しているが、水分が増加するに伴って泥状、液状となり、外見の形状も変化する（図1-4-1）[25]。この関係は飼料に含まれる繊維分の影響を受け、同じ水分であっても粗飼料が多く給餌されていれば硬く、濃厚飼料が多ければ柔らかい性状となる[26]。

このように家畜ふんの物理的性状は水分によって異なるため、農地への散布やポンプによる搬送の適用範囲が異なることが明らかにされている（図1-4-2）[25]。新鮮な家畜ふんに水を加えて水分を増加させると粘性は低下するが、同一粘度を呈したときの水分は、乳牛が最も高く、豚・鶏では低い（図1-4-3）[27]。このことは、乳牛ふんは水分が高くてもふんの形状を保っているが、豚ふんや鶏ふんでは低い水分で液状となることを示している。一方で、生ふんに同種の乾燥ふんを混入して水分を低下させると、ふんは軟泥状、硬泥状を経て団塊状となり、さらに細粒状となる（図1-4-4）[6]。このような形状の畜ふんのそれぞれについて通気型の堆肥化を想定した通気性の測定を

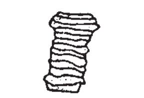
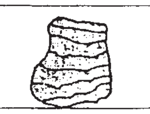
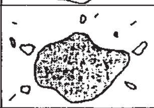
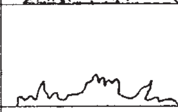
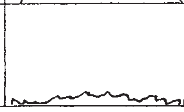
特　　徴	平面見取	側面見取	水　分（%） 含水比（%）
ふんは５－８cmに切れる。			80.4－80.8 410－420
切れないでつながっている。層状の部分ははっきりとくぼみがある。			80.8－82.1 450－460
牛ふんらしいかたちになる。あまり盛り上がらない。			83.3 500前後
上よりも盛り上がらず、層状の部分はなめらか。			84.6－85.7 550－600
層状の模様はまだ残っている。			85.7－86.7 600－650
飛散が目立つようになる。			87.5 700前後
飛散する。ドロドロ状。			88.9 800前後
飛散はひどい。落ちたところも高くならない。			90.5 950前後

図1-4-1　乳牛ふん（生）の見かけとその含水比[25]

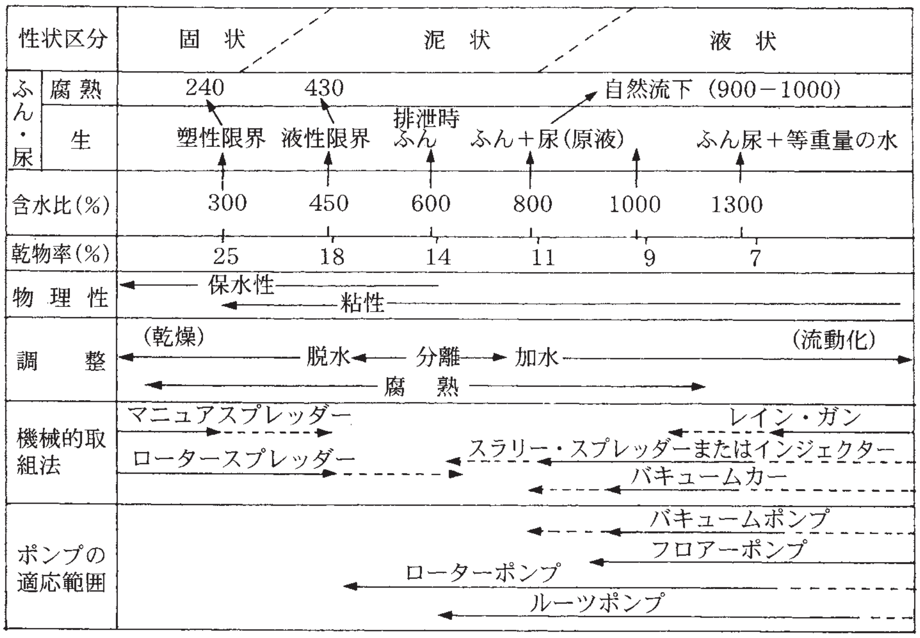


図1-4-2　乳牛ふん尿の性状区分と機械的取扱基準[25)]

行うと、通気抵抗が低く、かつ堆積高さに応じた通気抵抗のなめらかな増加が認められるのは、全体が細粒状を呈した場合である。この時の水分には畜種による差があり、乳牛では70%弱であるが、鶏では50%程度でないと良好な通気性は得られなかった（前出の**図1-3-1**）とされる。さらに、生ふんに副資材を混合して水分を変化させた場合の形状変化と通気性についての試験では、乳牛ふんと豚ふんの間に、異なる副資材の間に、それぞれ差のあることが認められている（前出の**図1-3-2**）[6),8),27),28)]。これらの結果から、形状・性状が同じであっても、畜種が異なればふんの水分には明らかな相異があることがわかる。

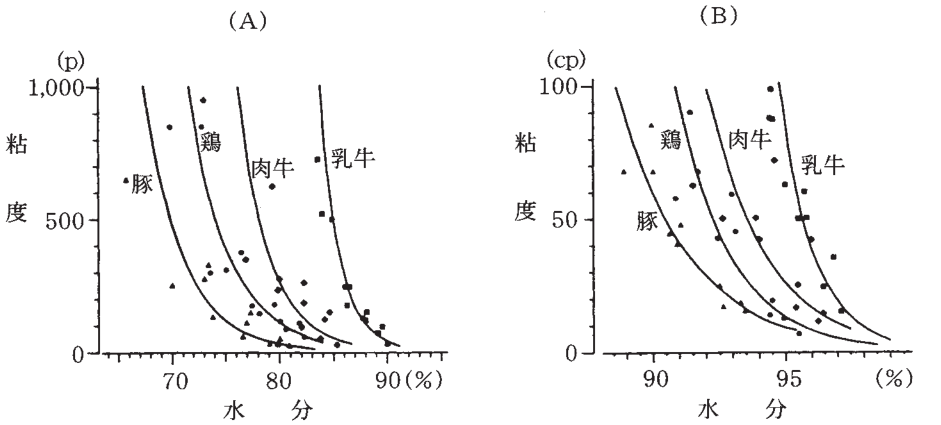


図1-4-3　新鮮家畜ふんに水を加えて水分を変化させた場合の粘性[27)]
1P（ポアズ）=0.1Pa・s（パスカル秒）、(A) は1P（ポアズ）以上、(B) は1P（P= 100 cP（センチポアズ））以下

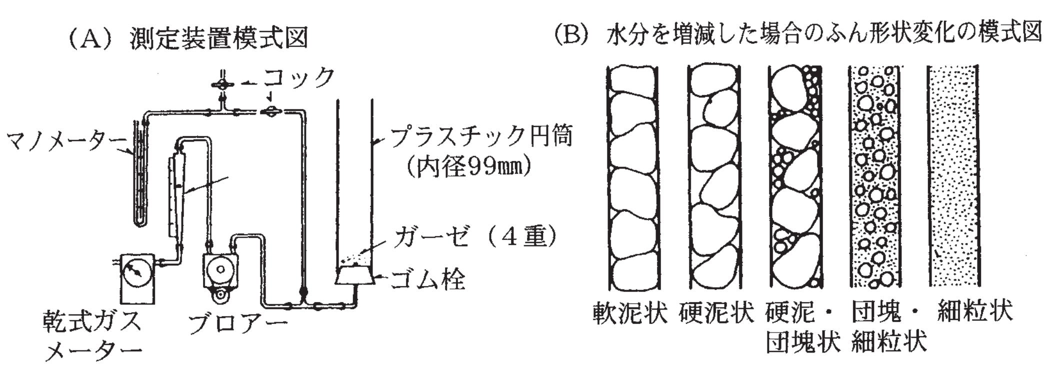


図1-4-4　家畜ふんの水分を同種の乾燥ふんで調査した場合の形状変化[6)]

2）副資材

副資材の具備すべき条件としては、吸水性・保水性に富み、家畜ふんと混合した場合にその通気性が高められることが必要である。これらの条件を満足させる副資材の特徴と性状を**表1-4-1～4**に示した[29)30)31)32)]。植物系のオガクズやモミガラは家畜ふんに比較して分解速度は小さく分解率も低いが、その分解によるエネルギーを有し、材料の水分蒸発を助ける利点がある。しかし、オガクズは樹種により作物の生育阻害物質を含有している場合があり、これらの分解のために時間と施設面積が必要となるといった問題点がある。未粉砕のモミガラは、吸収性はよくないが通気性改善の面では良好な性質があり、粉砕したモミガラは逆の性質を持っている。また、未粉砕でも粉砕しても分解に大きな差はない。

無機質系の副資材としてパーライト、ゼオライトなども使用されている。これらの資材は水分の吸収と物性改良の効果があるが、乾物分解による熱エネルギーの発生は期待できず、物理性の改良のみの効果があるといえる。無機質資材は有機質資材に比較して、混合質量比が大となることに注意が必要である（**図1-3-3**）。無機質副資材はもともと土壌改良材として用いられているものであり、堆肥の施用に当たってはその添加量によって土壌改良効果が期待できる。

戻し堆肥は、半製品あるいは製品堆肥の一部を副資材として利用するものである。利用に際してはできるだけ水分の低いもの（50%以下）を用いないと、混合する戻し堆肥の量が多くなるので注意が必要である。また、戻し堆肥を利用する場合には、粒度が細かいために通気性が次第に低下する傾向や、堆肥の塩類濃度が高くなることがあるため、オガクズやモミガラなどの新鮮な副資材を常に少量ずつ混合することが必要である。

表1-4-1　各種副資材の性質および性状[29)]

資材	水分(%)	容積重(t/m^3)	吸水率(%)	T—C(%)	T—N(%)	C/N	セルロース(%)	ヘミセルロース(%)	リグニン(%)
オガクズ	25～45	0.2～0.25	280～450	44～60	0.03～0.53	230～1,670	50～60	10～25	20～38
杉	17.1～26	—	310	45.2～50.9	0.08～0.16	283～636	49～56.6	13.5～21.1	28～37
松	15.2～29	—	280	44.8	0.13	345	48.6～58.3	13.7～23.8	24.9～31
桧	24.5～31	—	350	43.9～51.6	0.04～0.19	231～1,296	50.8～58.1	12.3～20.7	25.7～35
ラワン	23.7～27	—	280	46.0～48	0.11～0.13	354～436	—	—	28.9
米松	15.2	—	—	50～60.1	0.03～0.53	1,150～1,670	—	—	25.6
ヘムロック樹皮（バーク）	45	—	—	52.4	0.24	218	21.9	11.7	38.1
チップ	19.3	0.1	152	45	0.1	450	—	—	—
稲ワラ	9.7～15	0.05	300～430	35.6	0.61	58	24.7	20.6	7.7
小麦ワラ	9.2～11.9	0.03	226～498	37.3	0.30	124	—	—	—
大麦ワラ	12～15	0.02	285～443	—	—	—	—	—	—
モミガラ	9.5～15.0	0.1～0.13	75～80	33.5～39.8	0.56	60～72	32～42	29～37	1.3～38
粉砕モミガラ	8.3～9.1	0.2	136～250	—	—	—	—	—	—

表1-4-2 各種物性改良材の性状[30)]

	物性改良材	水分	灰分	容積重	最大容水量	容水量	溶解度	pH	備考
		%	%	kg/l	%	%	%		
有機質	オガクズA	14.65	0.90	0.10	399.35	361.38	0.10	5.1	有機質系素材の対照区
有機質	オガクズB	13.09	0.95	0.11	756.59	566.15	0.10	5.4	無機質系素材の対照区
有機質	落花生殻	12.84	3.38	0.16	214.22	212.34	0.33	5.1	直径約5cmのキューブを手揉み解体
有機質	稲ワラ	13.86	17.59	0.07	347.23	350.16	0.31	7.1	約1.5cmに細断
有機質	モミガラ	11.00	27.32	0.09	229.26	219.52	0.04	7.2	未粉砕
有機質	ピートモス	64.48	3.27	0.04	1,167.03	1,455.13	0.04	3.5	カナダ産，中粒
無機質	パーライト	0.78	98.39	0.08	405.01	343.18	0.04	7.5	平均粒度4.6μm
無機質	トバモライト	13.18	81.77	0.57	115.90	126.37	0.12	8.5～9.5	粉末
無機質	ゼオライト	7.78	87.62	0.75	84.63	97.46	0.16	5.7～6.5	モルデナイト系，粒径1.5mm以下

注：柴田ら：千葉畜セ研報9（1995），千葉畜研報10（1996）から作成した。
水分・灰分：JIS K0102工場排水試験方法による。
容積重・最大容水量：土壌物理性測定法：養賢堂（東京）(1976)，京大・農業化学実験書（1974）による。
容水量：蒸留水に24時間浸漬後，漏斗上で24時間放置したのち，重量を測定した。
溶解度：蒸留水中で30分撹拌後静置して得た上澄液中の溶出量より算出。

表1-4-3 モミガラおよびオガクズの粒径と吸水率[31)]

材料名	粒径別(mm)	含水率(%)	吸水率(%)	備考
モミガラ	現物	9.5	74	
モミガラ	2.0mm以上	8.3	136	現物の1/2程度粉砕
モミガラ	2.0 ～0.85	8.7	150	〃 1/4～1/5程度粉砕
モミガラ	0.85～0.4	9.1	237	オガクズ程度
モミガラ	0.4 ～0.25	9.0	244	細粉状
モミガラ	0.25～0.11	8.8	250	細粉～微細粉
モミガラ	0.11以下	8.3	215	微細粉
オガクズ	現物(0.25～0.85)	34.2	249	

表1-4-4 敷料および副資材の種類[32)]

		水分%	仮比重	m³／トン	吸水比	pH	多孔性	単価円／kg
植物系	オガクズ	25～35	0.2～0.25	4～5	3.5～4.5	6～6.5	非常に多い	15～25
植物系	木工くず	5～10	0.2～0.4	2～5	4～5		〃	7～10
植物系	モミガラ(原)	5～15	0.2～0.3	3～5	1～2		少ない	
植物系	モミガラ(粉)	10～15	0.4～0.5	2～2.5	4～5		非常に多い	
植物系	バーク	40～55	0.7～0.9	1～1.5	1	7<	少ない	
植物系	稲ワラ	5～10	0.2	5～6	4～5		多い	80<
植物系	麦ワラ	5～10	0.1	10	2～4		少ない	
植物系	トビ粉	7～15	0.6	1.5	4～		非常に少ない	5<
植物系	食品粕類	75～85	0.8	1～1.5	(2～3)	6～7	〃	4～9
植物系	新聞紙(古紙)	10			4～5		〃	5～10
鉱物系	ゼオライト	10～20	1.5	0.6	～2		非常に少ない	30<
鉱物系	パーライト	5>	0.2	3～5	0.5		〃	100<
鉱物系	バーミキュライト	5>	0.1	8～10	3～4		多い	100<
鉱物系	ALC－P	8～15	0.5～0.6	1.5～2	2～3	8～9	〃	20

福光健二ほか：促成堆肥調製に関する試験III，群馬県畜産試験場研究報告，1979
〃 ：特殊肥料利用の手引き（有機資材編），群馬県特殊肥料協会，1989
注：1）オガクズは，スギ，カラマツ，ハンノキ，ブナ，ラワンの総平均。
2）木工クズは，自動カンナくず，ノコギリくずの平均。
3）バークは，スギ。食品粕類は，コーヒー粕，茶粕，ビール粕など。
4）食品粕類の吸水比は，乾燥後水分45～50%の状態をいう。また，価格は現物の場合。
5）吸水比の測定：ナイロンストッキングに資材を入れ，水に24時間浸漬後，4時間以上（水滴の落下が認められなくなるまで）経過してから重量を測定。

5．堆肥の熟成・安定化

地力の維持・増強を目的として有機質資材を農業利用するためには、あらかじめ微生物の作用により易分解有機物を分解して安定化しておく必要がある。その到達目標としては、有機質資材を土壌に施用しても作物に生育障害を起こさず、土壌微生物に活動のエネルギーを十分に与えて地力を維持し、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である。この過程は原料によって異なるため、それに応じた堆肥化の期間を取ることが重要である。

1）堆肥の熟成・安定化とは

家畜ふん堆肥が地域内あるいはさらに広域的に流通して利用が促進されるためには、堆肥が十分に熟成・安定化して、植物の生育障害を引き起こさないことが重要である。このような、堆肥の熟度・安定性の指標として用いられてきた「腐熟」や「腐熟度」という用語は、以下のように定義されている。すなわち、「腐熟とは地力の維持・増強を目的として有機質資材を農業利用する場合に、あらかじめその有機質資材を処理して、微生物の作用によりある程度目標まで腐朽させておくことである。その到達目標としては、有機質資材を土壌に施用しても作物に生育障害を起こさないで、土壌微生物に活動のエネルギーをじゅうぶんに与えて地力を維持し、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である。そしてこの到達目標に合致した時が腐熟の終了時（完熟）であり、この目標に到達するまでのさまざまな腐熟の程度を腐熟度という用語で表すことにした」[33),34)]。したがって、ここでいう「完熟」とは、きわめて長時間の堆肥化を行って有機物の大部分が分解され、ほとんど不活性に近い状態になったものではなく、上記の定義において述べたように有機質がまだ十分に維持されながら、作物に生育障害を起こすことがなくなった状態ということができる。

この定義によれば、「腐熟」とは有機質資材を農地に施用できる状態にまで「腐朽」させる操作の総称であるが、「腐朽」は樹木や木材などが常温のもとで微生物分解されていく現象である。また「堆肥化」は、高水分などの何らかの問題を抱える原料（有機質資材）に最低でも水分調節と膨軟化を施し、その早期には細菌の呼吸熱により材料が高温になることを積極的に利用して効率的に分解をすすめようとする操作である。このため「堆肥化」は「腐朽」とは全く異なる一つの大きな技術体系といえるが、有機物の微生物による分解という点では共通するものであるため、「腐朽」とともに「腐熟」の中に含まれる形で扱われてきた。このため、「腐熟度」については、「堆肥化」や「腐朽」によって得られた農地への施用を前提とした有機質資材について、その分解の程度を評価すための用語ということができる。ただし「腐」の字が「腐敗」を連想させ、「腐敗」は嫌気的環境のもとで微生物の活動により悪臭を発するなどの人間にとって不都合な状態となることであるため、用語として既に「腐熟」や「腐熟度」が用いられてはいるものの、誤解につながりやすい表現ともいえる。

2）堆肥の熟成・安定化の目的

堆肥化の目的については第1節で述べたが、それらは次の2つに整理できる。第一の目的は、家畜ふんを作業者にとって取り扱いやすく衛生的にも安全なものにすることである。家畜ふんは流動性があり独特のふん尿臭を発することから汚物感が強く、取扱い難いものである。しかしながら、堆肥化を適切に行うことにより悪臭がなくなり、取り扱い性も向上する。ま

た、家畜ふんには人・畜・植物の病原菌、寄生虫卵、雑草種子などが含まれることがあるが、堆肥化の１次処理の際に材料温度を60℃以上に長時間維持することにより、これらを死滅あるいは不活化させることが可能である。

第二の目的は、家畜ふんを栽培される農作物にとって安全な物にすることであり、これは２次処理の間に堆肥の熟成と安定化が進むことにより達成される。有機物分解が不十分な堆肥を施用すると、その易分解性有機物が土壌中で急速に分解する。このときに多量の二酸化炭素を発生させたり、低級脂肪酸やフェノール性酸などの有害物質を生成したりし、さらには害虫を集めることもあり、様々な害が生じる危険性がある。２次処理により熟成・安定化された堆肥は、土壌や作物に害を及ぼすことがないばかりか、土壌微生物の活動を活発にさせて地力の維持に貢献する。

3）原料による堆肥化への要求性の違い

有機物分解が不十分な堆肥を施用した場合の農作物に対する障害の現われ方は、**表1-5-1**に示すように堆肥の原料となる有機質資材の種類によって次の3つに大別して考えることができる。すなわち、第一は家畜ふんのみをその材料とする堆肥、第二は家畜ふんに副資材としてイナワラやムギワラなどの作物収穫残渣（繊維質資材）を混合したものを材料とする堆肥である。第三は家畜ふんに副資材としてオガクズや細断バークなどの木質資材を混合したものを材料とする堆肥である[35)]。

表1-5-1　未熟堆肥の施用によって生じる障害の原因および腐熟の目的[35)]

原料資材	混合比	障害の原因	腐熟の目的
家畜ふんのみ		高濃度の無機態窒素 土壌の異常還元 生育阻害物質	家畜ふん中の易分解性有機物の分解 生育阻害物質の分解
家畜ふん＋繊維質資材	家畜ふん多	高濃度の無機態窒素 土壌の異常還元 家畜ふんおよび繊維質資材中の生育阻害物質	家畜ふん中の易分解性有機物の分解 生育阻害物質の分解
	繊維質資材多	窒素飢餓 土壌の異常還元 繊維質資材および家畜ふん中の生育阻害物質	C／N比の低下 繊維質資材および家畜ふん中の易分解性有機物の分解 生育阻害物質の分解
家畜ふん＋木質資材	家畜ふん多	高濃度の無機態窒素 土壌の異常還元 家畜ふんおよび木質資材中の生育阻害物質	家畜ふん中の易分解性有機物の分解 生育阻害物質の分解
	木質資材多	木質資材および家畜ふん中の生育阻害物質 窒素飢餓 土壌の異常還元	生育阻害物質の分解 C／N比の低下 木質資材および家畜ふん中の易分解性有機物の分解

（1）家畜ふんのみを材料とした堆肥化

モミガラやオガクズなどの副資材が量的あるいは価格的に入手困難になっている。また、副資材の混合は堆肥処理量の増大に繋がるため、施設規模や労力を抑制するためにプラスチックハウス等で予備乾燥して堆肥化する方式、あるいは戻し堆肥を副資材として混合する方式が広く用いられるようになった。さらには、基本的には副資材を利用しない密閉縦型堆肥化装置も養豚・養鶏では採用が多くなっている。パーライトやゼオライト等の無機質資材を副

資材とする方式においても、その有機物成分は全て家畜ふんに由来するものであるため、家畜ふんのみの堆肥化と同様に考えてよいものと考えられる。

家畜ふんは一般的に窒素含量が高いためにC/N比が低く、また易分解性の有機物を多く含む。このためこれを未処理あるいは有機物分解が不十分な状態で施用すれば、易分解性有機物が急激に分解し、タンパク質などとして含まれる有機性（態）窒素の無機化が急速に進み、土壌中で無機性（態）窒素の濃度が高くなる。とくにアンモニウム態窒素の濃度が高くなると農作物に障害を起こすことが知られている。また、土壌中で易分解性有機物が急速に分解される際には酸素が急速かつ多量に消費され、土壌は還元（嫌気）状態になる。このような状態では、有機物は微生物により嫌気的に分解され、有機酸などの代謝産物が生成されて、発芽を阻害したり作物の生育を抑制したりすることが知られている。

したがって、家畜ふんのみを材料として堆肥化を行う際には、堆肥を施用した後に土壌中での急激な分解を生じないように、家畜ふんに含まれている易分解性有機物を十分に分解することが重要となる。

（2）家畜ふんに副資材として繊維質資材を混合した材料の堆肥化

作物収穫残渣などの繊維質資材は、一般的にC/N比がやや高くその有機物も比較的分解されやすい。このため、未処理あるいは有機物分解が不十分な状態で施用すれば、土壌中の窒素が微生物に取り込まれ、窒素の有機化が生じる。ワラ類などには一般に微生物に利用されやすい形態の炭素化合物が多く含まれる。このような資材を施用すると、微生物は土壌中でこれらの炭水化物をエネルギー源として利用して増殖し、その菌体成分を合成するために必要な窒素として、資材に含まれる有機態窒素が無機化されて生じる窒素を体内に取り込む。これを窒素の有機化という。その場合に、菌体合成に必要な量以上の無機態窒素が土壌中に存在していなければ、作物は窒素を吸収することができなくなって窒素欠乏症状を起こし、窒素飢餓といわれる現象が生ずる。

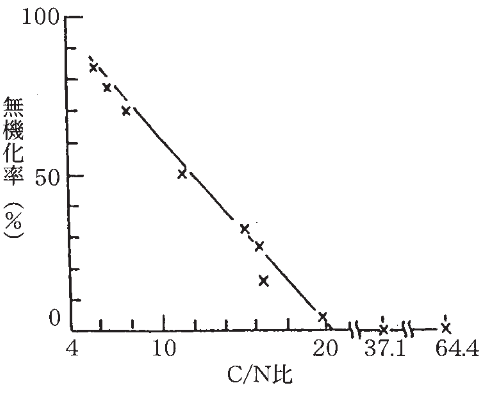


図1-5-1　有機態窒素の無機化率とC/N比の関係[37)]

表1-5-2　物体に含まれるフェノール性酸の含量[37)]

作物および部位 ＼ フェノール性酸		バニリン酸	p―オキシ安息香酸	フェルラ酸	p―クマル酸
陸稲	茎葉	133	166	1,792	4,165
	根	42	42	1,792	1,842
畑水稲	茎葉	94	93	1,667	3,167
	根	26	35	1,890	1,883
大麦	茎葉	39	28	1,720	1,983
	根	33	29	1,650	3,000
小麦	茎葉	53	28	729	1,608
	根	33	33	250	1,539
大麦茎葉堆肥（堆肥舎で5カ月堆積）		11	9	420	735

有機質資材のC/N比と窒素の無機化率の関係を**図1-5-1**に示した。C/N比が20以上の資材では土壌中で分解されても無機態窒素は現れてこない。それ以下のC/N比ではじめて無機化が有機化にまさり、無機化率はC/N比が低下するにともなって直線的に増加する[36]。このため、イナワラやムギワラなどの作物収穫残渣を副資材とした堆肥については、C/N比が20以下となるように有機物分解を進めることが妥当と考えられる。イナワラのC/N比は50～70、ムギワラでは70～100の値であるため、家畜ふんに対する混合比が高く堆肥のC/N比が高い場合には、窒素飢餓が生ずる危険性がある。ただし、家畜ふんに対する混合比が低いときや堆肥時の有機物分解によりC/N比が低くなっていれば、作物が窒素飢餓を起こすことはない。イナワラやムギワラなどには各種のフェノール性酸が含まれ、また分解過程でも生成されるため、そのまま土壌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が、堆肥化によりこれらに含まれるフェノール性酸の量が著しく減少することが報告されている（**表1-5-2**）[37]。

このため、家畜ふんに副資材として繊維質資材を混合した材料では、堆肥化に求められることはC/N比を低下させること、易分解性有機物を分解すること、および生育阻害物質を分解することであり、これらの各項目はいずれも重要である。

（3）家畜ふんに木質資材を混合した材料の堆肥化

オガクズやバーク（樹皮）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。**表1-5-3**は新鮮な木質物が植物の発芽を阻害し、初期生育を抑制することがあるが、堆肥化したものではそうした作用が軽減されることを示している[38]。このような阻害・抑制の作用は、木質物中に含まれるフェノール性酸、タンニン、精油などの物質によって生じると考えられている。木質物のC/N比は130～1,400というようにきわめて高い。木質物には多く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、一般的には微生物に分解され難い難分解性である。木質物の分解性を**表1-5-4**に示したが、窒素を添加した場合には広葉樹の分解はやや促進されるが、針葉樹ではほとんど効果がないとみられる[33]。

このように家畜ふんのような窒素源を加えた場合、木質物の分解は促進されることもあるが、イナワラやムギワラのような顕著な分解促進効果はみられず、木質物と家畜ふんの分解過程はそれぞれ別に進行すると考えられている。また、木質資材の分解性は部位や樹種によって異なり、たとえば木質物は樹皮に比べて、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いる。これらの比較的分解しやすい木質物を未熟なまま施用した場合には、イナワラやムギワラについて述べたような窒素飢餓が起こる可能性もある。しかし、木質物を含む堆肥ではC/N比が20より高くても必ずしも窒素の有機化を生じないため、イナワラ堆肥などについて示された窒素の有機化・無機化の限界値としてのC/N比20という値は木質物では用いることができない。さらに、十分な堆肥化により木質物中の易分解性有機物を分解したものについては、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。

木質物を混合した未熟な家畜ふん堆肥を施用した場合に生ずる障害の現われ方については、原料資材の混合比により次の2つに分けて考えることとする。すなわち、家畜ふんの混合比の高い材料では主として家畜ふん中の易分解性有機物の急激な分解に起因する障害が起こり、木質物中の生育阻害物質による障害については木質物の混合比が低い場合には特に問題にはならない。また、この場合には窒素飢餓が起こる可能性は考えられないため、堆肥化の主な

目的は家畜ふんの易分解性有機物を分解することであり、副次的に木質物中の生育阻害物質を分解することである。

その一方で、木質物の混合比が高い材料では第一に木質物中の生育阻害物質による障害が考えられる。生育阻害物質自体はきわめて分解されやすい物質であるが、木質物はこれまで述べてきたように概して難分解性であり、木質組織の内部に存在する生育阻害物質まで分解するにはかなりの期間が必要であることが報告されている。第二にはC/N比が高いために生ずる窒素飢餓の可能性が考えられるが、これは混合された木質物がとくに分解されやすい樹種の物である場合に限られる。第三には易分解性物質の急激な分解による障害の可能性が考えられるが、家畜ふんの混合比が低い場合には全体として易分解性有機物含量が低く、しかも家畜ふんを混合しても木質物の分解はそれほど促進されないため、これが原因で障害が起こることは少ないと考えられる。したがい、この場合の堆肥化の主な目的は生育阻害物質の分解であり、副次的に易分解性有機物の分解となる。

表1-5-3　木質物および木質堆肥がハツカダイコンの種子の発芽および芽ばえ時の生育におよぼす影響[38)]

材料	5日後の発芽率(%)	5日後の生長指数	
		地上部長	根長
対照	90	100 (2.7cm)	100 (3.5cm)
栂　オガクズ	90	121	120
杉　〃	95	95	90
桧　〃	50	27	47
米産桧　〃	40	50	64
〃松　〃	65	63	70
スプルス　〃	60	55	50
ラワン　〃	80	96	128
ヘムロック樹皮	55	70	75
杉　オガクズ堆肥	100	133	90
桧　〃	90	60	65
米産桧　〃	85	60	70
ラワン　〃	100	138	93
ヘムロック樹皮堆肥　〃	90	100	86

表1-5-4　木質資材の分解性[33)]

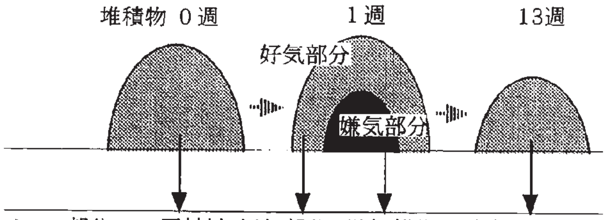
		無窒素区		窒素添加区	
		軟材（針葉樹）	硬材（広葉樹）	軟材（針葉樹）	硬材（広葉樹）
木質部	試料点数	19	9	19	9
	最大値	25.2	38.1	51.0	49.1
	最小値	1.5	24.9	3.4	38.5
	レンジ	23.7	13.2	47.6	10.6
	平均値	12.8	30.3	12.0	45.0
	変動係数	0.48	0.13	0.86	0.07
	標準偏差	6.3	4.1	10.60	3.50
	相関係数**	−0.013	−0.378		
樹皮部	試料点数	19	9	19	9
	最大値	23.3	37.5	23.2	42.0
	最小値	2.1	11.7	2.1	9.6
	レンジ	21.2	25.8	21.1	32.4
	平均値	8.8	22.4	8.2	24.5
	変動係数	0.59	0.31	0.69	0.28
	標準偏差	5.35	7.48	5.82	9.98
	相関係数**	−0.288	−0.057		

注）(1)　*60日間の培養により解放出されるCO_2態炭素の全炭素に占める％
(2)　**資材のC／Nとの相関係数

4）堆肥化時に嫌気的状態となったときの成分変化

堆肥化の条件によっては原料にかかわらず堆肥化の過程で農作物に対する阻害作用が生ずることがある。堆肥舎などに材料を堆積する場合に通気や切返しなどの管理が不適切であると、堆積物の内部が嫌気的状態になり、材料中に当初含まれていたよりもはるかに多量の揮発性脂肪酸やフェノール性酸が生成される（**図1-5-2**）[39)]。牛ふんにオガクズを混合した材料では揮発性脂肪酸とフェノール性酸がそれぞれ2,191mg/kg乾物、201mg/kg乾物であった。この材料を堆積方式により堆肥化したときの1週後の堆積物内部（嫌気的部分）には揮発性脂肪酸とフェノール性酸がそれぞれ11,410mg/kg乾物、1,147mg/kg乾物と、きわめて高濃度に存在していた。この嫌気的部分の水抽出物はコマツナ種子の発芽をきわめて強く阻害し、発芽率は21.3%であった（**表1-5-5**）[39)]。このような嫌気的部分は、そのまま堆積していただけでは時間をかけても解消できず阻害性も強いままであるが、通気や切返しなどの適切な管理

を行うことにより、揮発性脂肪酸やフェノール性酸は比較的速やかに分解される。このため堆肥化を最初から適切な条件で行い、生育阻害物質を生成させないことが重要である。



項目＼部分	原材料	好気部分	嫌気部分	腐熟した堆肥
臭気	悪臭	堆肥臭	悪臭	堆肥臭
揮発性脂肪酸	2,191	990	11,410	52
フェノール性酸	201	tr	1,147	

単位：mg/kg乾物；　tr：痕跡；　-：不検出

図1-5-2　揮発性脂肪酸とフェノール性酸の消長[39]

表1-5-5　牛ふん・オガクズ混合物の堆積式堆肥化過程における嫌気性部分の成分的特徴[39]

時間＼成分	0週	1週		2週	13週
	初発混合物	好気部分	嫌気部分		
水　分（%）	75.53	71.21	76.37	72.81	57.15
全炭素（%乾物）	46.39	45.20	45.50	43.60	41.56
全窒素（%乾物）	0.988	1,071	0.997	1,187	1,321
有機物（%乾物）	91.77	91.10	91.03	90.25	89.77
BOD(mg/kg乾物)	36,820	24,080	32,130	16,020	11,000
揮発性脂肪酸(mg/kg乾物)	2,191	990	11,410	760	52
酢　酸	1,930	990	8,270	760	52
プロピオン酸	84	—	1,370	—	—
イソ酪酸	48	—	430	—	—
n-酪酸	10	—	690	—	—
2-メチル酪酸	9	—	200	—	—
イソ吉草酸	78	—	320	—	—
n-吉草酸	32	—	130	—	—
フェノール性酸(mg/kg乾物)	201	tr	1,147	nd	—
p-ヒドロキシ安息香酸	21	tr	138	nd	—
p-クマル酸	44	tr	34	nd	—
安息香酸	136	tr	975	nd	—
コマツナ種子発芽率(%)	24.0	59.6	21.3	57.4	78.7

—：検出されず；tr：痕跡；nd：測定せず

5）堆肥の熟成・安定化に要する堆肥化の期間

堆肥化に要する期間として、支障がなく施用（販売）が可能な堆肥が得られるまでの期間として考えることとする。想定する堆肥化の期間については、作業上あるいは施設の設計上の観点から非常に重要な問題であるが、一概に何日と言い切ることはきわめて難しい。一般的に家畜ふんは分解されやすい資材であるが、副資材として繊維質資材のように分解されやすいものが用いられる場合、逆に分解されにくい木質系の資材が用いられる場合、あるいは分解しない無機質系のものが用いられる場合が、想定されるためである。また最近では経費の節減などのため副資材の一部として戻し堆肥が使われる事例も多くなっており、こうした場合では新鮮な副資材のときとは異なることも予想される。これまでに述べたように、堆肥化の重要な目的は易分解性有機物分解と生育阻害物質の分解であることから、この2つの観点から堆肥化の期間について考えることとする。

（1）有機物分解からみた堆肥化の期間

材料と堆肥化方式により大きく異なるが、ここでは撹拌方式を前提として考えることとする。**図1-5-3**はスクープ式撹拌装置によるときの有機物分解の推移である[15)40)]。家畜ふんのみ（畜ふん+パーライトが相当する）のときの有機物分解についてみれば、牛ふんと豚ふんでは4～5週間、鶏ふんではもっと速く2～3週間でほぼ安定化することが示されている。その一方で、オガクズ混合では混合物としての有機物分解の推移となるが、家畜ふんのみの場合とあまり変わりなく、約1ヶ月ではほぼ安定化することが示されている。木質物については難分解性であり、家畜ふんとオガクズの分解は別個に進行してオガクズの分解は小さいと考えられる。堆肥化の過程で分解されない有機物は土壌に施用しても急激に分解されることはないため、木質物のような難分解性の有機物は無理に分解させる必要はないと考えられる。繊維質のイナワラを単独で堆肥化した場合には70～80日が経過してもなお分解を続けることが報告されているが、イナワラに家畜ふんを混合すれば有機物の分解が促進され、より早く安定化するものと考えられる。

したがって、有機物分解という観点からみた堆肥化の適切な期間は、家畜ふんのみの場合は約1ヶ月、副資材（有機質）を混合した場合にはそれより多少長くなると考えられる。ただし、これは理想的な条件で堆肥化した場合のことであり、一般的にはさらに1カ月ほど長く堆積したほうが安全である。

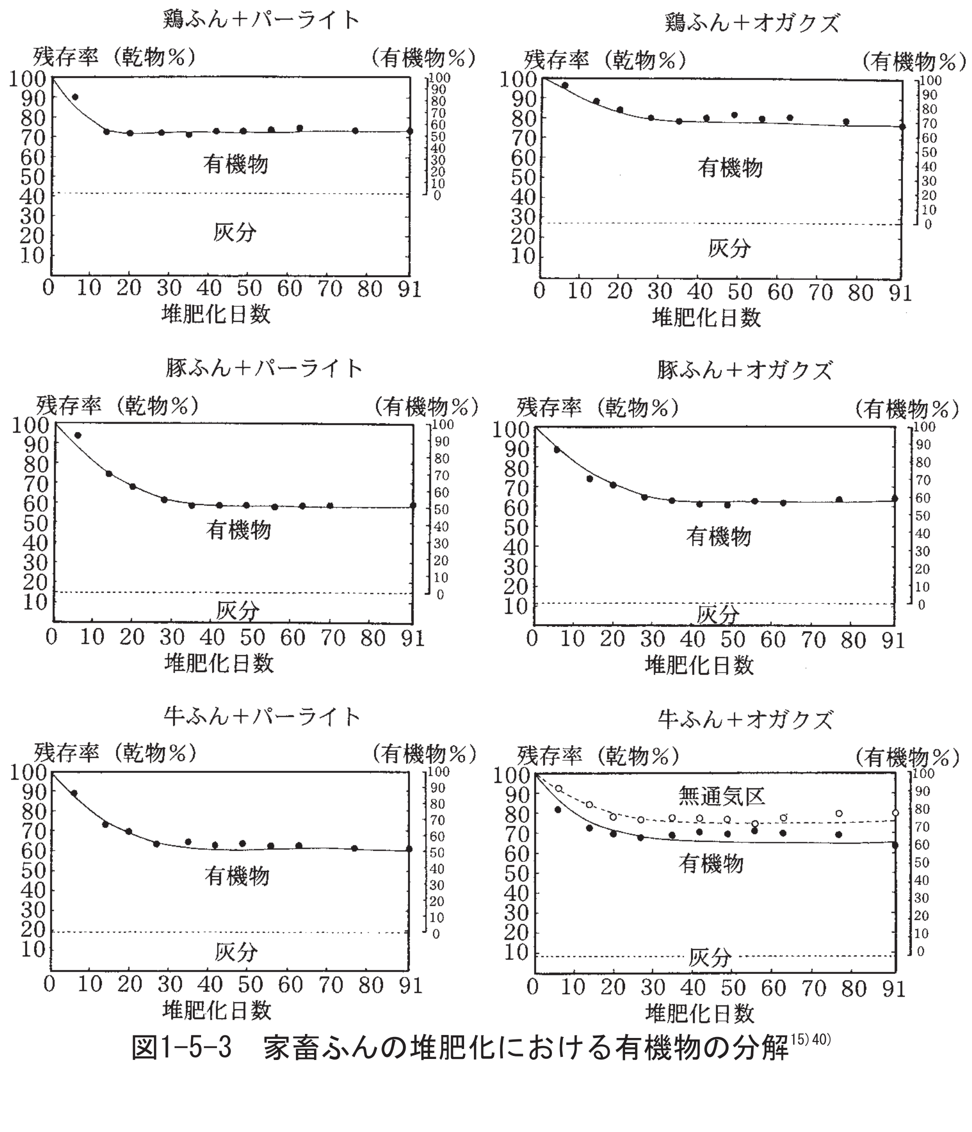


図1-5-3　家畜ふんの堆肥化における有機物の分解[15)40)]

（2）生育阻害物質の分解からみた堆肥化の期間

堆肥化における生育阻害物質の消長に関する研究は乏しいが、ワラ類については、大麦茎葉中のフェノール性酸の含有率が5ヶ月間堆肥化することによって元の量の1/3～1/4程度に減少することが報告されている（前出**表1-5-2**）。木質物については、ハツカダイコンの種子を用いた発芽試験から、オガクズを3ヶ月間堆肥化することによってその阻害性が軽減されることが示されている（前出**表1-5-3**）。また、牛ふん、オガクズ混合物の堆肥化試験においても、フェノール性酸および揮発性脂肪酸が比較的すみやかに分解され、コマツナ種子に対する発芽阻害も3ヶ月程度の堆肥化でほぼ解消できることが示されている（前出**表1-5-5**）。しかし、オガクズと鶏ふんを混合したものについて発芽障害を軽減（発芽率70%）させるためには4ヶ月程度の堆積が必要であること、また発芽率を100%にするためには野外でさらに1ヶ月以上堆積する必要があることが報告されている（**図1-5-4**）[41]。以上のように生育阻害物質については不明な点が多く、この観点から堆肥化の期間を設定することは困難であるが、安全側から考えて有機物分解からみた堆肥化期間よりも多少長い期間を取るべきと考えられる。

このような考察から、堆肥化に要する期間の一応の基準としては、家畜ふんのみの場合で2ヶ月程度、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ヶ月程度が妥当と考えられる。これらは主に堆肥舎に堆積する場合について考えた期間であり、強制通気や機械撹拌による堆肥化では、フェノール性酸の新たな生成は少なく、また速やかな分解が予想されることから、生育阻害物質の分解の期間は短縮されていると考えられる。

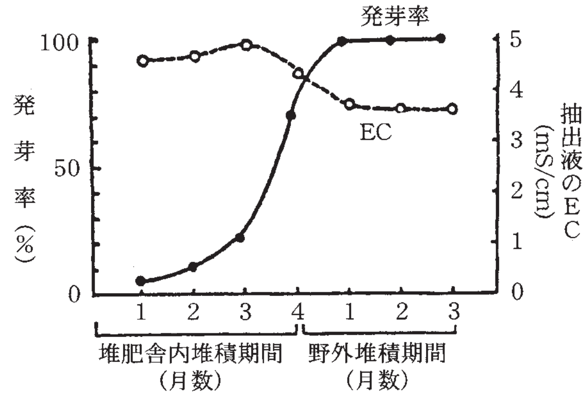


図1-5-4　鶏ふん・オガクズ混合物の堆肥化にともなうコマツナ種子発芽率および抽出物のECの変化[41]

6．堆肥の熟度評価を目的とした腐熟度判定法

堆肥を製造する側においても、またそれを利用する側においても堆肥の熟度や安定性を評価することが重要となる。このため、堆肥の熟度や安定性を評価するものとして「腐熟度」という考え方が取り入れられ、その指標や判定法についても数多くの提案がなされてきた。どのような堆肥にも確実に適用できる簡易な方法は少ないが、堆積物（堆肥化時の）の温度変化、外観・臭気などがよく利用されている。

1）堆肥の熟度評価について

今日のように経営規模の拡大が進み畜産と耕種とが分離し、さらには各地に堆肥センターなどが設置されるようになると、堆肥の利用者はその製造過程についての情報が得られにくくなった。このため、製造過程と原料の種類や混合比が不明な堆肥が提供された場合に、利用者がその施用の適否を判定することは困難と考えられる。

堆肥を製造する側においても、またそれを利用する側においても、施用の適否を判断するために堆肥の熟度や安定性を評価することが重要となる。このため、堆肥の熟度や安定性を

評価するものとして「腐熟度」という考え方が取り入れられ、その指標や判定法についても数多くの提案がなされてきた（**表1-6-1**）[42]。これらの中には、分析に時間や高度な技術を要するもの、特殊な原料にしか適用できないもの、などが含まれている。どのような堆肥にも確実に適用できる簡易な方法は少ないが、その中でも、堆積物（堆肥化時）の温度変化、外観・臭気、コマツナ種子の発芽試験、硝酸性窒素の検出、評点法などがよく利用されており、それらの概要を以下に記す（具体的な方法については７.に記す）。

表1-6-1　腐熟の指標および腐熟度判定法[42]

A．微生物活動からの判定	
1）堆積物の温度	Golueke（1972）
2）BOD	羽賀・原田（1984）
3）酵素活性	Godden ら（1986）
4）ガス発生量（ポリ袋法）	吉野（1979）
B．生物を用いた判定	
1）発芽試験	藤原ら（1980），長田ら（1985）
2）幼植物試験	高橋（1976），河田（1981）
3）ミミズを用いた試験	吉野（1979）
4）花粉管生長テスト	若澤ら（1986）
C．物理性からの判定	
1）物体色	菅原ら（1979）
2）微細形態の観察	藤原ら（1980）
3）篩別残渣重量	日向（1981）
D．化学性からの判定	
1）C／N比	Poincelot（1975），Golueke（1981）
2）水抽出物のC／N比	Chanyasak・久保田（1981）
3）還元糖割合	井ノ子・原田（1979）
4）アンモニアの不検出	Spohn（1978），森・木村（1984）
5）硝酸イオンの検出	原田（1983），Finstein（1985）
6）COD	Lossin（1971）
7）pH	Jann ら（1960）
8）EC	日向（1981）
9）揮発性成分	羽賀ら（1978）
10）遊離アミノ酸	原ら（1991）
11）水抽出物のゲルクロマトグラフィー	吉田・久保田（1979）
12）CEC	原田・井ノ子（1980）
E．腐植物質による判定	
1）円形濾紙クロマトグラフィー	Hertelendy（1974），井ノ子（1979）
2）腐植物質含量	Morel（1982），渡辺・栗原（1982）
3）沈殿部割合	菅原・井ノ子（1981）
F．総合的判定	
1）評点法	川辺・高野（1979），原田（1983）
2）判別スコア値	下水汚泥資源利用協議会（1985）
3）近赤外分光分析法	中谷・原田（1994）

２）各種の判定項目の概要

（１）堆積物の温度変化

堆肥化が適切に行われれば易分解性有機物が微生物によって好気的に分解され、その際の発熱により材料温度は急速に上昇して70℃程度にまで上昇する。その後、材料温度は緩やかに低下するが、切返しを行う度に再上昇を繰り返し、次第に再上昇が小さくなり低下していく（前出**図1-3-4**）。易分解性有機物が全て分解されれば材料温度の上昇は生じないと考えられるため、堆肥製造の場における実用的な指標として一般的に用いられている。しかしながら、過度に乾燥した材料など微生物の活動が阻害される条件では、易分解性有機物が残っていても発熱が抑制されて温度が上昇しないことに注意が必要である。

（2）発芽試験

堆肥中の生育阻害物質の有無を調べるためには、植物の種子を用いた発芽試験が簡易である。堆肥の水抽出液を試料液として、シャーレなどを用いてコマツナ種子の発芽したものの割合（%）と、それと水など対照区との比較により評価を行う。コマツナを用いる理由は、発芽が早いこと、発芽率が良いこと、同じ品種のものが容易に入手できることなどである。ただし、塩類含有率が高い堆肥では抽出液の塩類濃度が高くなり、吸水が悪くなって発芽率が低下することがあるので注意を要する。

（3）硝酸性窒素の検出

堆肥化中の材料には、最初から含まれているあるいは堆肥化の進行にともなって含窒素化合物の分解により生じる、アンモニウム性（態）窒素が含まれている。材料温度が中温域に低下してくると、硝化細菌の作用によって硝酸態窒素や亜硝酸態窒素といった硝酸性窒素が生成される。このため硝酸性窒素は堆肥の熟成が進むと生成される物質のひとつと考えられている。ただし、鶏ふん堆肥のようにアンモニウム性窒素が多量に蓄積している場合には、硝化細菌の作用が阻害されて硝化が進まない場合がある。逆に、牛ふん堆肥の表面近くなど高温となりにくいところでは局所的に硝化が進むことがあり、注意が必要である。

（4）評点法

堆肥の色や臭気などの外観上の項目を評点で表し、各項目の合計点から総合的に腐熟度を判定する方法である。**表1-6-2**[43]に示す例では、色、形状、臭気、水分、堆積時（堆肥化時）の最高温度、堆積（堆肥化）期間、切返し回数、強制通気の有無を評点の対象とし、合計点が30点以下で未熟、31～80点で中熟、81点以上で完熟とされている。

表1-6-2　現地における腐熟度判定基準[43]

色	黄～黄褐色（2），褐色（5），黒褐色～黒色（10）
形　状	現物の形状をとどめる（2），かなりくずれる（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つく…60%前後（5），強く握っても手のひらにあまりつかない…50%前後（10）
堆積中の最高温度	50℃以下（2），50～60℃（10），60～70℃（15），70℃以上（20）
堆積期間	家畜ふんだけ………………20日以内（2），20日～2か月（10），2か月以上（20） 作物収穫残渣との混合物…20日以内（2），20日～3か月（10），3か月以上（20） 木質物との混合物…………20日以内（2），20日～6か月（10），6か月以上（20）
切返し回数	2回以下（2），3～6回（5），7回以上（10）
強制通気	なし（0），あり（10）

注　（　）内は点数を示す。
これらの点数を合計し，未熟（30点以下），中熟（31～80点），完熟（81点以上）とする。

7．堆肥化や熟度評価のための各種の計測項目とその方法

堆肥やその原材料の性状を把握するためには、水分、かさ密度、pHおよび電気伝導度（EC）、有機物／灰分、温度、酸素消費量などがある。これらの計測には必ずしも高額な専用機器を必要とするものだけではなく、工夫によって効率的に測定を行うことができるものある。水分や温度などは日常的に測定を行うことにより、堆肥化の工程管理に必要な情報を得ることができる。

1）水分（含水率）

家畜ふん、副資材、堆肥の水分は、視覚や触覚では判断が困難な物であるから、堆肥化施設には、取扱いの容易な水分測定器の整備が望まれる。施設本体の投資額に比べると、その機能を支援する水分測定器の価格は相対的に安価な物といえる。水分の測定法には各種があるが、家畜ふんに比較的容易に応用される方法について、その概略を述べる。試料を所定の温度で加熱したときに減少する質量を水分とみなす方法を加熱減量法といい、基本的な水分測定法である。しかし、水以外の揮発性分ならびに化学変化による質量の減少等の誤差が介入するおそれがあり、公定法では乾燥温度、乾燥時間が定められている。

（１）常圧加熱減量法

常圧加熱減量法は、各種公定法に採用されている方法であり、磁製のルツボあるいは蒸発皿に、蒸発量もしくは乾物量が測定誤差を上回る量の試料を入れ、恒温器を用いて所定の温度ならびに時間で乾燥し、室温に冷却後に化学天秤（電子式直示天秤）で秤量する。105～110℃の条件で恒量に到達するまで乾燥し、減量をもって水分とする。ただし、恒量に到達するまで何回も秤量する手間と時間とを省略して簡便さを図るために、実際には105℃で24時間（一晩）加熱して恒量に到達したとして、翌日に秤量することが多い。研究所や分析機関では定温乾燥器（10万円程度から、換気扇下に設置）と電子天秤（試料サイズにもよるが0.01g精度以上のもの）を必要とするが、同時に複数の試料の測定を行うことができるため、試料数が多い時には赤外線水分計よりも便利である。現場でも、分析試料を50g程度とすれば、試料をアルミ箔製の食器皿などに入れ、調理用秤（0.5g精度）を用いて質量を測定しても相応の精度での測定が可能である。

（２）赤外線水分計

赤外線水分計は、試料を天秤の秤量皿にのせ、上方から赤外線ヒーターで加熱し、試料が乾燥した恒量に達したところで秤量し水分を測定する方法である。電子式直示天秤とマイクロコンピューターを組み合わせ、乾燥温度の調節と恒量到達の検出を自動的に行えるようにした装置が市販され、短時間で容易に測定ができる（**図1-7-1**）。試料1つについて10分程度の時間で簡便に結果を求める方法としては、赤外線水分計が適している。

図1-7-1　赤外線水分計の例（株式会社ケツト科学研究所のホームページより）

（3）水分と含水比

水分は、通常、湿物質量を100とし、これに占める水の質量を百分率で表示する（湿量基準)。物質に含まれる水の量をいうときも水分と呼ばれることがあり、これとの区分が紛らわしい場合には「水分（%)」とする。広く各方面で用いられており、大方の理解が得られる表示方法である。しかし、これでは物質に含まれている水の量を直接比較することはできない。堆肥化処理、乾燥処理等、水分を減少させる場合に、減少させるべき水の量を直接知ることは困難である。このような場合には、乾物質量を基準（乾量基準）にした含水比を用いると都合がよい。例えば、水分70%、10%は、それぞれ含水比233%、11%に相当するが、水分70%のものを10%にする場合、水分（%）で表示したのでは量的相互関係がわからないが、含水比なら約21倍量であることと直読できる。これらの計算方法ならびに水分と含水比の換算式は、次の通りである。

水分（%）＝（全質量M_1－乾物質量M_2）／全質量M_1×100

含水比（%）＝（全質量M_1－乾物質量M_2）／乾物質量M_2×100

水分を含水比に換算する式

水分（%）／（100－水分（%)）×100＝含水比（%）

含水比を水分に換算する式

含水比（%）／（含水比（%）＋100）×100＝水分（%）

2）かさ密度

かさ密度は容積重とも呼ばれ、一定容積の容器に材料を充填したときの質量をその体積で割った値であり、kg/Lやt/㎥などの単位を用いて表す（kg/Lとt/㎥によって表された値は同値となる)。かさ密度には、材料の粒子の体積、粒子内部の空間の体積、粒子と粒子あるいは容器との空間の体積などが含まれる。密度にはかさ密度、真密度、粒子密度、みかけ密度などの複数の名称があり、それぞれ定義が異なっている。混同されやすい「みかけ密度」は閉空間を含む粒子の密度である。また「密度」のかわりに「比重」が用いられることがあるが、比重はその物質の密度を基準物質とする4℃の水の密度で割った比率である（単位はない)。堆肥化において、かさ密度はある質量の堆肥材料について堆積高さを決定した場合にどの程度の面積になるかを検討する、規模算定に必要な指標値である。

かさ密度は、土壌などの粒子が見掛け上変形しないとみなされるもの（たとえばゼオライト）では、土壌物理性測定法を準用して測定を行うことができる。しかしながら、堆肥やその材料では、上部の荷重によって粒子が塑性変形することにより生じる沈下があることから、実験室内で実施可能な方法で推定することが試みられている。前出の**表1-3-3～4**はいずれもそのようにして推定されたものである。

かさ密度の簡略な測定法としては、例えば一定容積の容器（バケツなどでテーパーが小さく円筒形に近い形状のもの）などに堆肥材料を充填し、容器を床面に数回軽く叩きつけて隙間をなくし、沈下した分は材料を新たに加えて質量を計測し、質量を容積で除すことにより求める方法がある。このようにして求めた値は、堆肥材料の膨軟化や通気性の指標として用いられることがある。

3）pH

酸性・アルカリ性の指標とするpHは水溶液中のH^+イオンの濃度[H^+]を表す値であり、次のとおり定義されている。

pH= −log[H^+]

市販のpH計は、ガラス電極を用いて試料液と標準pH液とのpHの差によって生じるガラス薄膜内外の電位差を測定し、pHに換算して表示する。pH計は、安価なものから研究機関で使う高価なものまで、固定式とポータブル式など、様々な機器が市販されている。測定に際しては、電極の校正を適切に行う必要があり、材料や堆肥の測定では、pH:7とpH:9の標準液を用意するのが好ましい。

土壌のpH測定は、乾土1に対して水が2.5となるように調整した試料液を測定に用いるが、堆肥や家畜排せつ物といった保水性の高い試料の測定においては、この比率では十分な液量が得られないことが多い。このため堆肥や家畜排せつ物では、現物試料1に対して、質量比10倍量の水を加えて試料液を調整することが多い。このとき試料の含水率によって試料液中の乾物と水の比率が異なることになるが、pH値に及ぼす影響は小さい。試料液の調整条件を統一したいときは、次項の電気伝導度測定と同様に行う。

4）電気伝導度（EC）

試料に含まれる塩分濃度の指標とされるのが電気伝導度（EC）である。ECは1㎠の2枚の電極板間の電気抵抗値の逆数を表し、単位はdS/m（=mS/cm）を用いる。EC計もpH計と同様に、様々な機器が市販されている。

ECの測定では、試料液に含まれるイオン濃度が測定値に影響を及ぼすため、試料と加える水の量が異なると、計測値も異なる。一般的には、事前に試料の水分を測定し、試料の乾物1に対して試料に含まれる水と加える水の総量が10となるように調整した試料液を測定に用いる。同時にpHの測定を行うときには、同じ試料液を用いて、ECを測定した後にpHの測定を行うと便利である。

5）有機物と灰分

磁製のルツボあるいは蒸発皿に絶乾した試料を入れて強熱処理（550℃～600℃）を行うと、有機物はガス化して揮発し、無機物は灰として残存する。このときの試料の質量減少率が有機物（強熱減量）であり、灰としての残存率が灰分（無機物含有率）であり、有機物（%乾物）と灰分（%乾物）の和は100となる。測定には加熱のための電気炉（趣味用のものが10万円程度からある）、質量測定のための精密天秤（1mg単位の計測が可能なもの）、ルツボあるいは蒸発皿といった耐熱容器、試料や容器の吸湿防止のためのデシケーターと乾燥剤などが必要となる。有機物含有率は全炭素のおおむね2倍程度の値となる。

灰分（粗灰分）と有機物（強熱減量）は以下に示す式により求める。

有機物（%乾物）＝（全質量M_1－灰質量M_2）／全質量M_1×100

灰分（%乾物）＝（灰質量M_2）／全質量M_1×100

6）材料温度

堆肥用の温度計としては、バイメタル温度計とデジタル温度計とがあり、堆積物の表面か

ら深さ30cm程度の位置の温度を測定する。バイメタル温度計は現場で温度を目視するのには良いが、筆記によって記録する必要がある。デジタル温度計は様々な機能と価格のものが販売されている。いずれもセンサ部分を棒に固定し、この棒を堆肥に差し込むことによって温度を測定する。専用のソフトウェアにより、測定時間の間隔の設定や測定データのダウンロードが可能である。測定に際しては、本体部分を堆肥からの熱や水蒸気から守る措置（ビニール袋やポリ容器を利用）や、センサを防水・耐熱仕様のものを選定するなどの注意が必要となる。

7）酸素消費量（酸素消費速度）

堆肥化では好気性微生物が酸素を利用して有機物を分解する。酸素消費は有機物分解が進むと次第に小さくなり、堆肥としての熟成が進行するとその消費量はさらに小さくなっていく。このため、堆肥の酸素消費量は堆肥の熟度判定の指標となると考えられている。

堆肥の酸素消費量は、分析試料を密閉容器に充填して恒温とし、少量の通気を行いながら排気酸素濃度を測定することにより、通気量と酸素濃度の変化から計算することができる。しかしながら、こうした計測には習熟が必要である。

この課題を解決するために**図1-7-2**に示す「コンポテスター」が開発され[44]、市販されている。この装置では、専用の容器に試料として現物堆肥50gを入れて装着すると、試料は35℃になるように30分間かけて加温され、その温度を維持しながら容器内のヘッドスペースの酸素濃度が測定され、30分後に酸素消費量の測定値が表示される。この測定値の単位はμg-酸素/g-現物/minであるので、正確には酸素消費速度である。

図1-7-2　コンポテスター（富士平工業株式会社のホームページより）

8）発芽試験

堆肥の植物への安全性を評価する方法として、コマツナ種子を用いた発芽試験法がある。簡単な方法としては、質量比で堆肥の現物1に対して沸騰水10を加えて1時間放置した試料液のろ液を用いる方法がある[45]。こうした方法では堆肥の水分によって抽出液に含まれる堆肥成分の濃度が異なるという問題がある。このため、事前に試料の水分を測定し、試料の乾物1に対して試料に含まれる水と加える水の総量が20となるように熱水抽出・ろ過した試料液を用いることも行われている。

試験の方法は、シャーレにろ紙2枚を敷き、その上にコマツナ種子30～50粒を播種する。その後に、ろ液10mLをシャーレに分注する。対照として、水10mLを入れたものを用意する。シャーレにふたをし、20℃（あるいは室温）に温度管理して、5日後（温度により調整する）の発芽数から発芽率を求める。対照区の発芽率と比較して、堆肥の発芽率を評価する。試験用のキットも販売されている。

参考文献

1）藤田賢二・北脇秀敏：コンポスト原料の発生熱量、都市と廃棄物、14（1）、19-25（1984）
2）岩渕和則・上出順一：含水・多孔体を対象とした熱物性値の迅速簡便測定－コンポスト資材の熱物性測定の試み－、農業機械学会誌、55(3)73-79（1993）
3）岩渕和則・木村俊範：家畜糞の好気性分解反応特性(第1報)-熱発生速度、酸素消費速度を指標とした考察-、農業機械学会誌、56(2)、67-74（1994）
4）藤原俊六郎・加藤哲郎:ベランダで堆肥作り、農山漁村文化協会、156pp(1990)
5）前田武己・小藤田久義・立石貴浩・築城幹典：異なる副資材を用いた乳牛ふん堆肥化早期のアンモニア揮散、農業機械学会誌、71（5）、81-87（2009）
6）岡田光弘・栗原　勇・遠藤　篤・大泉長治・中村丹美・荻田恒男:オガクズ等の水分調整材を用いないで堆肥化処理する場合の家畜ふんの水分と通気抵抗との関係について、千葉畜セ研報、7、55～ 61(1983)
7）岡田光弘・栗原　勇・遠藤　篤・大泉長治・柴田るり子・高山文雄:オガクズ等の水分調整材を用いないで堆肥化処理する場合の鶏ふんの水分と通気抵抗との関係について、千葉畜セ研報、9、 95～ 97(1985)
8）柴田るり子・岡田光弘・曽根一幸・高山文雄:有機質資材が家畜ふんの物性改良に及ぼす効果、千葉畜セ研報、10、71～ 76(1986)
9）前田武己・齋藤雅貴・小島陽一郎・阿部佳之：家畜排せつ物の堆肥化に利用される副資材のかさ密度の推定、農業施設、52（4）、81-89（2021）
10）小川幸春：粉砕、農産食品プロセス工学、第1版（編：豊田淨彦・内野敏剛・北村　豊)、文永堂出版、73-75（2015）
11）大泉長治・岡田光弘・萩田恒男・鮎川伸治：堆積した堆肥の容積重推定法に関する一考察、千葉畜セ研報、7、45-53（1983）
12）藤田賢二：コンポスト化技術―廃棄物有効利用のテクノロジー―、技法堂出版、p.93～94(1993)
13）宮竹史仁・岩渕和則・阿部佳之・本田善文：種堆肥の混合が家畜ふん堆肥化の初期過程に及ぼす影響―温度上昇に関わる微生物活性と材料pHの検討―、農業機械学会誌70(2)、97～103(2008)
14）薬師堂謙一：乳牛ふんの堆肥化方式と堆肥のペレット化：九州農業研究、62、19～24（2000）
15）Harada,Y., Haga, K., Osada, T., Izawa, T.and Nishimura. Y.: Decomposition oforganic matter during the maturing process of cattle waste compost, Anim. Sci. Technol., 69, 1085-1093(1998)
16）加藤博美・早川岩夫・沢田守男・山川芳男:家畜ふん尿のコンポストに関する研究(第6報)おがくず入り豚ふん堆肥の熟成と微生物変動、愛知農総試研報、13、448- 452(1981)
17）斉木　隆:高温菌利用による簡易浄化装置の開発利用、農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究試験成績書(第6集)一家畜排泄物の処理利用技術の開発―、農林水産技術会事務局、p.90～94(1979)
18）伊澤敏彦他:堆肥製造の機械化に関する研究、農機研研究成績、53-5、p.7(1979)
19）木村俊範:コンポスト化の基本反応、生物系廃棄物コンポスト化技術、木村俊範、中崎清彦監修、シーエムシー、p.9～24(1999)
20）道宗直昭:乾燥処理、畜産環境保全論、押田敏雄・柿市徳英・羽賀清典編、養賢堂、p.55(1998)
21）山下滋貴・田口清美・石山英光・井上尊尋:発酵処理における高水分家畜ふん尿混合物の乾

燥促進、福岡農総試研報、C-3、73～78(1984)
22) Golueke,C.G.: Composting— A study ofthe process and its principle－, Rodale Press, Inc., USA, p.66(1974)
23) 厚生省生活衛生局水道環境部水道整備課監修・金子光美編:水道のクリプトスポリジウム対策、ぎょうせい、p.59(1997)
24) 高林実ら：牛の採食による雑草種子の伝播に関する研究、農事試研報27、69-91 (1978)
25) 新井澄男・塩谷哲夫。今泉七郎:家畜ふん尿の機械処理利用技術の開発改良に関する研究-1.乳牛ふん尿の物理的性状(コンシステンシー、液体としての性質・性状)とそれによる分類―、草地試研報、9、90～102(1976)
26) 菊池　実：糞のモニター、生産獣医療システム 乳牛編2、全国家畜畜産物衛生指協会、120-124 (1998)
27) 岡田光弘・栗原 勇・遠藤 篤・大泉長治・柴田るり子・高山文雄:家畜ふんの水分と粘性との関係、千葉畜セ研報、10、65～70(1986)
28) 柴田るり子・大泉長治・岡田光弘・高山文雄:無機質系土壌改良資材が家畜ふんの物性改良に及ぼす効果、千葉畜セ研報、9、57～62(1985)
29) 家畜排泄物の発酵処理利用技術、福岡農総試畜産技術レポートNo.2、p.20福岡農総試(1984)
30) 家畜排泄物処理・利用の手引き、202pp畜産環境整備機構(1998)
31) 家畜ふん尿のコンポストに関する研究(中核試験)、環境保全部畜産公害資料No.2、p.43愛知農総試(1986)
32) 福光健二:敷料、マニュア・マネージメント、羽賀清典監修、デーリィマン社、p.50-51(1996)
33) 井ノ子昭夫・原田靖生：各種有機物の腐熟度についての考え方、肥料時報、27、2-16 (1986)
34) 原田靖生：家畜ふん堆肥の腐熟度についての考え方、畜産の研究、37、1079-1086 (1983)
35) 原田靖生：家畜ふん堆肥の腐熟度、畜産環境対策大事典、農山漁村文化協会、p.127-133(1995)
36) 熊田恭一：土壌有機物の化学、東大出版会、p.174 (1977)
37) 草野　秀・小川和夫：作物体に含まれるフェノール性酸について、土肥誌、45、29-36(1974)
38) 佐藤　俊：きゅう堆肥の生産利用からみた木質物類（おがくず・樹皮）の特性、畜産の研究、30、227-230(1976)
39) Haga, K., Osada, T., Harada, Y.,Izawa, T.and Nishimura,Y.: Constituents of the anaerobic portion occurring in the pile during composting of cattle wastes,J. Soc. Agric.Struct. Jpn., 29, 125-130(1998)
40) Harada,Y.:Composting and application of anilnal wastes、FFTC Extension Bull., 311, 19-31(1990)
41) 藤原俊六郎・鎌田春海・井ノ子昭夫：おが屑混合鶏ふん堆積物の腐熟にともなうおが屑の分解－走査電子顕微鏡による微細形態変化の観察－、土肥誌、51、203-209 (1980)
42) 原田靖生:腐熟の促進、腐熟の判定、再生と利用、60、68-74 (1983)
43) 藤原俊六郎：有機物の腐熟度判定法、有機廃棄物資源化大事典、有機質資源化推進会議編、農山漁村文化協会、p.41-50(1997)
44) 古川智子・伊藤　稔・岡田光弘・高橋栄二・山本朱美・古谷　修：微生物の呼吸作用を指標とする腐度判定技術および簡易測定装置の試作、畜産環境技術研究所年報、4、55-60 (2001)
45) 熱水抽出液によるコマツナの発芽率、堆肥等有機物分析法 (2010年版)、財団法人　日本土壌協会、p.18 (2010)

第２章　堆肥化施設・機械の基本

１．堆肥化方式の分類・概要

１）堆肥化方式の分類

> 堆肥化方式は、大別すると堆積方式と撹拌方式に分けられ、前者には堆肥舎タイプがあり後者には開放型タイプおよび密閉型タイプがある。堆肥化処理は、基本的には１次処理と２次処理の二つの処理法の組合せで行う。

堆肥化方式にはいろいろなタイプがあり、大別すると堆積方式と撹拌方式に分けられる（**図 2-1-1**）。前者にはシート等で覆った堆肥盤や通気型堆肥舎で代表される堆肥舎タイプがある。後者には開放型の発酵槽上部に撹拌機が走行し、堆肥材料を定期的に撹拌し少しずつ移動させる開放型タイプおよび密閉された円筒状の発酵槽に堆肥材料を投入し内部の撹拌羽根などによって堆肥材料が撹拌されながら堆肥化される密閉型タイプがある。いずれの方式でも材料全体をよく混合・攪拌し、堆肥内部に部分的に嫌気状態を作らないよう適切に運転することが大切である。

区　分			名　称	実用上の呼称等
堆肥化処理	堆積方式	無通気型	堆肥盤	堆肥盤
			堆肥舎	堆肥舎
			バッグ	バッグ
		通気型	通気型堆肥舎	通気型堆肥舎
	撹拌方式	開放型	直線型堆肥化装置　（単列・複列）	開放・直線型堆肥化装置
			円型堆肥化装置	開放・円型堆肥化装置
			回行型堆肥化装置　（楕円形）	開放・回行型堆肥化装置
			横行型堆肥化装置　（コの字形）	開放・横行型堆肥化装置
		密閉型	縦型堆肥化装置	密閉・縦型堆肥化装置
			横型堆肥化装置	密閉・横型堆肥化装置

撹拌方式の開放型の堆肥化装置には、通気型と無通気型がある

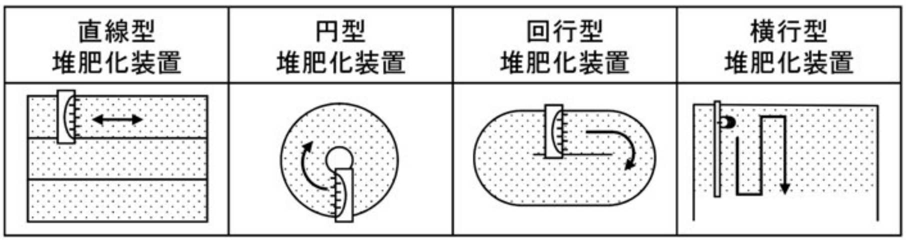


図 2-1-1　堆肥化処理方式の種類

堆肥化処理は基本的には１次処理と２次処理の二つの処理の組合せで行う。１次処理は堆肥材料を作物へ施用した時に生育障害の原因となりやすい易分解性有機物を早期に分解させ、２次処理でさらに後熟させて安定化を図るという方法である。堆肥舎のみを使用する場合はこの

区別をしないが、通気型堆肥舎や開放型堆肥化装置、密閉型堆肥化装置を使用する場合はこれらの装置を１次処理用とし、２次処理に堆肥舎を使う組合せが多い。寒地、寒冷地などでは、堆肥舎で１次発酵したのち、堆肥の乾燥や均一化のために、２次処理に撹拌装置が用いられる事例もある。

２）堆肥化処理施設・機械の特徴・概要

これまでの堆肥化施設の利点および検討項目の概要を**表2-1-1**、**表2-1-2**に示した。また、主な堆肥化処理施設・機械の特徴と利用状況を**表2-1-3**に示した。

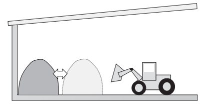
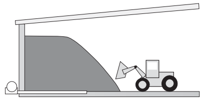
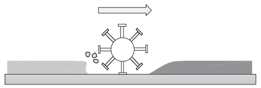
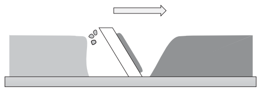
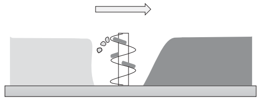
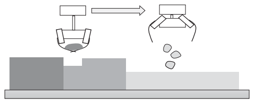
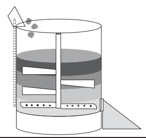
表2-1-1　堆肥化施設・機械の特徴

利　点	備　考
① 堆肥の大量生産が可能である。 ② 毎日排せつされるふんを周辺環境汚染をせずに省力的に堆肥化処理できる。 ③ 施設･機械によって臭気その他の悪い作業環境から作業者をある程度開放できる。 ④ 従来よりも厳しい条件でも堆肥化が可能であり、さらに未利用資源の有効利用も可能である。 ⑤ 年間を通して比較的均一な品質の堆肥を短期間に生産でき、さらに形状を揃えるなど製品の斉一化も可能である。	① 水蒸気と悪臭にさらされるので建屋･機械が腐食しやすく、特に金属部の防食加工が必要である。 ② 施設･機械の適切な使用と日常の保守点検が必要である。 ③ 施設･機械等の設備費、副資材費、電気代、その他を含めると生産コストがかかる。 ④ 大量処理の場合、悪臭が集中的に発生しやすく、臭気対策の検討も必要である。

表2-1-2　処理施設導入にあたっての検討項目と対応策の例

畜　産　農　家	堆肥化処理センター
ふん等の材料水分の低減化対策	処理能力の維持・向上対策
１）畜舎内ふん尿分離の徹底化 ① 畜舎およびふん尿溝の構造検討・改善 ② ふん尿搬出方法の検討・改善 ２）余剰水の混入防止 ① 飲水器の改良 ② 飲水器のこぼれ水の別途処理 ③ 洗浄水・雨水・地下水等の混入防止とその別途処理 ３）畜舎内での材料水分の低減化 ① 畜舎内予備乾燥装置の導入（採卵鶏） ４）軟便の防止 ① 畜舎内の環境改善 ② 飼養密度の改善および鶏種の選定 ③ 給飼，給水方法の改善 ５）処理施設による材料水分の低減化 ① 既存処理施設の活用 ② 前処理施設の新設	１）処理施設の処理能力および処理材料の重量・水分（%）の変動への対応 ① 処理施設規模の設定はその能力が低下する冬期を基準とし，余裕をみる ② 前処理装置の導入 ア．高水分材料の固液分離処理 イ．処理材料，戻し堆肥等のハウス乾燥等による予備的処理の実施 ③ 副資材の確保 ２）トラブル発生時の対応 ① 処理施設の複数・複系列化 ② 材料堆積場の確保

表2-1-3　主な堆肥化処理施設・機械の特徴と利用状況

処理施設名			区分	施設の特徴：太陽熱の利用	副資材添加の必要性	悪臭処理の難易	労力負担	施設必要面積	施設費・運転費	処理期間	経営別の利用状況：畜種 3) 酪農	肥育牛	養豚	養鶏	規模 大・中	小	設置・使用上の留意点
堆積方式	堆肥舎			(あり) 1)	あり	難	多	大	中・小	長	◎	◎	○	△	△	○	・排汁溝の設置が必要 ・堆積底部に乾材を敷く ・材料の通気性確保に留意し、徐々に落下させる
堆積方式	通気型堆肥舎 4)			(あり)	あり	易	多	中	中・中	中	○	○	○	○	○	○	・通気床上に乾材を敷くとともに、通気床目詰まり部の清掃を行う
撹拌方式	開放型	ロータリ式		(あり)	あり・なし 2)	易	少	中	中・中	中・短	○	○	○	◎	○	△	・材料中へ石・鉄片等の異物を混入させない ・高水分材料を一か所に投入しない ・通気床上の目詰まり部の清掃を行う ・撹拌機の停止位置に留意する
撹拌方式	開放型	スクープ式		(あり)	あり・なし	易	少	中	大・中	中・短	○	○	○	○	○	△	
撹拌方式	開放型	スクリュ式		(あり)	あり・なし	易	少	中	大・中	中	◎	○	○	○	○	△	
撹拌方式	開放型	クレーン式		(あり)	あり・なし	易	少	中	大・中	中	◎	◎	△	△	○	○	
撹拌方式	密閉型			なし	あり・なし	易	少	小	大・大	短	△	△	◎	◎	○	△	・硬い異物を混入させない ・撹拌軸に過負荷をかけない ・豚ふんや鶏ふん処理では副資材を使わない処理も可能

1) (あり) は利用することが望ましい
2) あり・なしは両方の場合があるとの意味で、副資材には戻し堆肥も含む
3) ◎：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
4) ホイルローダのほかウインドローを作りながら切返しをする堆肥切返し機、スクリュ式やクレーン式との組み合わせもある。

２．堆積方式による堆肥化

堆肥舎は主として切返しによって家畜排せつ物を好気的に分解・腐熟させて堆肥化するための施設である。また、有機物の分解を促進するために、切返しだけでなく、送風機などにより強制的に通気を行う通気型堆肥舎がある。

堆肥舎や堆肥盤は、堆肥生産を行うだけではなく、後述する発酵槽で１次処理したものを２次処理したり、製品の貯蔵を行うなど堆肥化処理には欠くことのできない施設である。堆肥舎は、屋根、柱、壁および隔壁や擁壁などから構成されている施設である。それに対して、堆肥盤は、コンクリートや鋼板、遮水シート等不浸透性材料で床を築造した堆肥の処理や保管をおこなうための簡易な施設であり、雨水の侵入防止と家畜排せつ物の流出・飛散防止のためフィルムやシートで覆いをして利用されている。

堆肥舎の建設においては、家畜排せつ物の適正な管理と利用が可能であることが基本であり、施設設計の前提となる立地条件や経営条件等を考慮し、第3章を参考に適正な施設規模を算出することが重要である。施設の構造設計に当たっては第4章を参考にし、作業性、安全性および経済性など総合的に検討して決定することが重要である。

１）堆肥舎と切返し機

（１）堆肥舎

堆肥舎（**図2-2-1**）は、ホイールローダなどの切返し機を用いて切返しのみによって家畜排せつ物を好気的に分解・腐熟させて堆肥化するための施設で、有機物の分解速度が遅いために処理期間が長い。空気が堆肥材料表面から内部に浸透する深さはわずか30cm程度であり[1]、切返しを適時行うことが、堆積された堆肥の好気的な分解・腐熟を保つ上で極めて重要である。

堆肥舎における堆肥の堆積高さが200cmを超えると自重による圧密により好気的な発酵条件が維持され難くなるので、堆積高さは175-200cmの事例が多い。

（２）切返し機

堆肥材料の切返し作業は、通気性の改善と堆肥材料への酸素供給を行って堆肥化を促進させる目的で行うが、この作業機が切返し機である。堆肥舎で一般的に用いられている切返し機としては、ホイールローダやショベルローダなどが用いられる。これらの作業機の作業性および処理能力は、バケット容量、バケット幅、輪距および最小旋回半径などによって影響されるので、堆肥発酵槽の幅や施設内の作業通路幅との関連を十分に考慮して決定することが重要である。

①ホイールローダ

堆肥舎における堆肥の切返し機として、また堆肥材料の運搬用として使われている。トラクタのフロントにバケットを取り付けたタイプのほか、建設用機械を転用したタイプの使用例が多い。走行方式に4輪スキッドステアリング、車体中央で屈曲するアーティキュレートなどがあり、堆肥化施設や畜舎の構造により選定する（**図2-2-2**)。堆肥専用に使うためにバケットを特注で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るので十分注意した運転が求められる。

機体質量3t以上の機種は、車両系建設機械（整地・運搬・積込み用及び掘削用）運転技能講習を受講しておく必要がある。また、ホイールローダの代わりに荷役用のショベルローダが利用される場合もあるが、最大荷重1t以上のショベルローダの場合は運転技能講習を受講しておく必要がある。

図2-2-1　堆肥舎の例

図2-2-2　堆肥切返し用ホイールローダ

②自走式堆肥攪拌装置

自走式堆肥攪拌装置は、レールなどに固定されず、作業場所を限定されないことが特徴で、ウィンドロー式や吹き上げ式などがある。ウィンドロー式については、堆肥舎や堆肥盤で堆肥材料のウィンドローを作り、2週間から1ヶ月に一度、ウィンドローを作り直しながら切返しを行う方式である。発酵槽がなく作業は省力的であるが堆肥化の期間が長い。**図2-2-3**はトラクタサイド装着型切返し機の作用図である[2)]。吹き上げ式については、堆肥舎などで堆積されている堆肥材料を、除雪用作業機を改造した機械で集め、吹き上げ移動しながら隣に堆積していく方式である。堆肥材料にある程度の水分が必要であるが、適正な水分状態の堆肥材料であれば3m程度の高さまで吹き上げながら堆積することができる（**図2-2-4**）。どちらも構造物として発酵槽を必要としないものの、屋根付きの堆肥舎内で処理する必要がある。

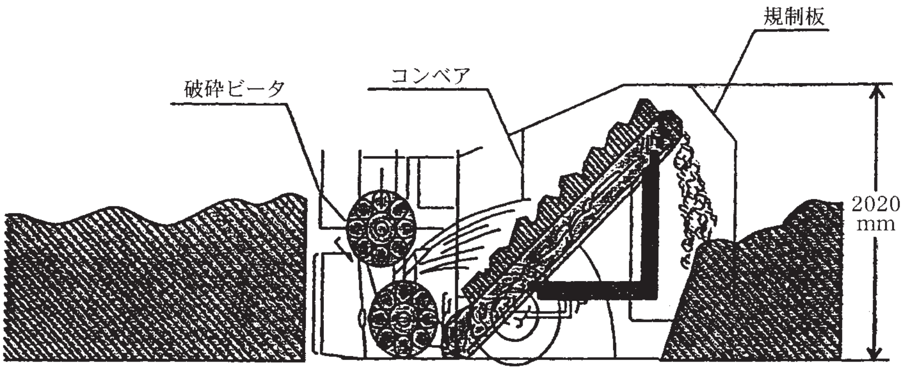


図2-2-3　堆肥舎の例

③その他

マニュアスプレッダを定置にし、切返しする堆肥材料をホイールローダでマニュアスプレッダの荷台に投入しビータで混合・拡散して切り返す応用例もみられる（**図2-2-5**）。また、次項で解説するスクリュ式攪拌装置やクレーン式攪拌装置を堆肥舎に導入し、数日に一度の切返しを行う例もある。

図2-2-4　吹き上げ式による切返し作業

図2-2-5　マニュアスプレッダによる堆肥の切返し作業

2）通気型堆肥舎と通気装置

（1）通気型堆肥舎

通気型の堆肥舎（**図2-2-6**）は、切返しだけではなく、ブロワなどの通気装置を用いて強制的に通気を行って家畜排せつ物を好気的に分解・腐熟させて堆肥化するための施設で、通気装置の無い堆肥舎に比べて有機物の分解速度が速く、処理期間が短い。通気型堆肥舎の切返し機は、前項の１）堆肥舎の場合と同様である。

図2-2-6　通気型堆肥舎の通気床の例

（2）通気装置

通気装置（**図2-2-7**）には、空気を強制的に供給する送風機と配管、および空気を堆肥材料内に均一に分散させて好気的な状態を維持するための通気床で構成される。なお、通気方式に関しては、通気床から堆肥材料に空気を送る圧送通気式が多く利用されるが、通気床から空気を吸引する吸引通気式も悪臭対策[3]や発酵熱を回収利用[4][5]するため一部で採用されている。

図2-2-7　通気装置の例

送風機の選定に当たっては、堆肥材料に通気する場合の通気量と通気抵抗を考慮しなければならない。適正な通気量は、堆肥材料の水分や通気性によって異なるが、堆肥材料1㎥当り毎分50～300L程度と言われており、一般的には毎分100L程度で運転されている場合が多い。通気抵抗とは、堆肥材料に空気を供給する場合の抵抗値で、配管系の管路抵抗を考慮して0.98～2.45kPa程度の静圧を持った送風機を選定する。また、吸引通気式の場合は、排気に堆肥化で発生したガスや熱が含まれ、送風機が腐食しやすいことから、耐腐食性が高く、耐熱仕様のものを選定する。

①送風機

堆肥化処理で一般に用いられる送風機は、羽根車の回転によって空気に速度と圧力のエネルギーを与えるターボ形の機種であり、JIS規格(B0132)によると単位質量当たりのエネルギーが25 kNm/kg（kJ/kg）未満のもの（25kNm/kg：標準空気の場合の送風機全圧が約30kPa）を送風機、あるいはファンと呼び、圧縮機のうち有効吐出し圧力が200kPa以下のものをブロワと分類している[6]。ただし、慣例的に以前の規格を踏襲して、送風機が以下のように分類されている場合がある。すなわち、吐出し圧力と吸込み圧力の比である圧力比が1.1未満、または吐出口側の圧力（ゲージ圧力）上昇（吸込み圧力は大気圧）が10kPa未満の送風機がファンであり、圧力比が1.1以上2.0未満、または圧力上昇が10～100kPaの範囲にある送風機がブロワである(**図2-2-8**)[7]。

ターボ形送風機には、羽根車の構造や気体の流れ方などから遠心式、軸流式、斜流式、横流式などの形式があるが、通気型堆肥舎では、遠心式の送風機が通気装置としてよく用いられる。また、高い静圧が必要な場合は渦流送風機（商品名：リングブロワ）も利用される。密閉縦型堆肥化装置で静圧をさらに高めて安定的に通気する場合に圧縮機であるルーツブロワが利用されることもあるが、ここでは便宜的にルーツブロワも送風機と共に紹介する。

送風機の駆動は一般的に電動機で行われ、動力伝達方式にはベルト式と直結式がある。

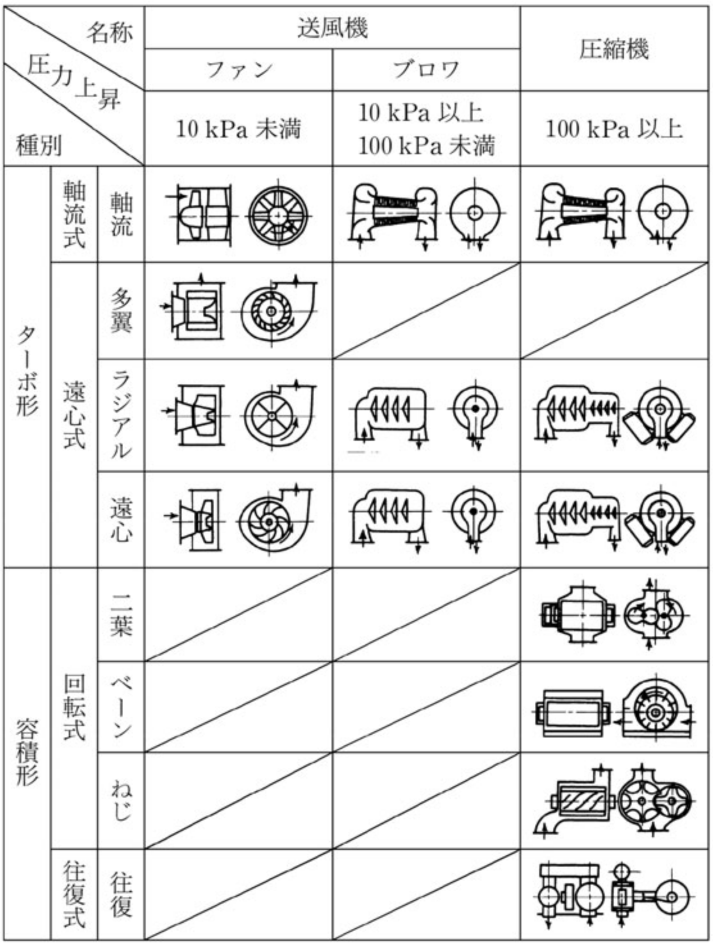


図2-2-8　送風機、圧縮機の分類(機械工学便覧より)[7]

ア）遠心送風機

空気が羽根車内の大半の流路を半径方向に通過し、主に遠心力の作用で圧力が上昇する。羽根車の形状には、前向き羽根、径向き羽根、後向き羽根、などがあり、それぞれ多翼ファン、ラジアルファン、後向きファンと呼ばれている。軸流式に比べて1段当りの圧力上昇を大きく取ることが容易で、構造上、機械の外形に対し羽根車入口径が小さいことから、軸流式に比べて小風量に適している。また、風量変化に対する圧力変化が緩慢であることから風量制御が比較的容易であり、軸流式に比べて効率が5-10%程度低いが、比較的広い範囲で高効率が維持される。騒音に関しては、同一圧力の場合、軸流式に比べて羽根車の周速度が小さく有利である。

多翼ファン

シロッコファンと言う名称で広く知られており、羽根車は、半径方向に短く、軸方向に長い多数の羽根(36～64枚）から構成されている（**図2-2-9**)。羽根の断面形状は円弧状で、回転方向に対して前向きに両側の円板（主板および側板）に取付けられ、必要に応じて補強されている。ケーシングは渦巻き状で、必要に応じて形鋼で補強されている。

前向き羽根であるため、直径が同一で、回転速度が同一の場合には多くの風量と圧力が得られるため、他の遠心送風機に比べて小形である。しかし、羽根の構造上高速回転に適さないので、ファンの静圧は980Pa程度までである。

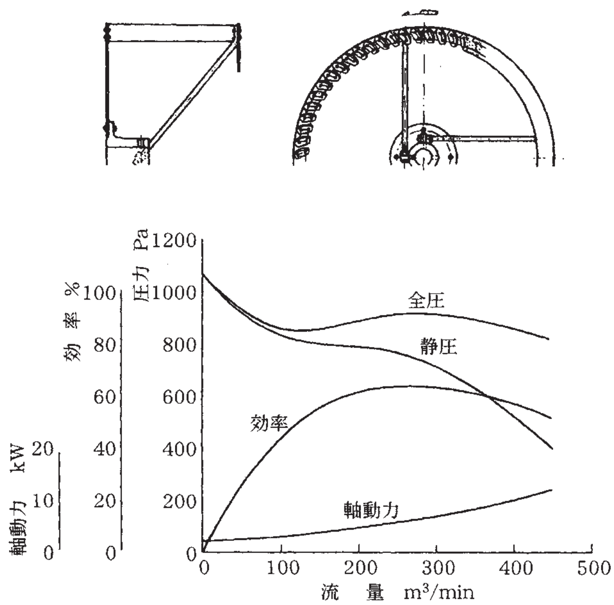


図2-2-9　多翼ファンの羽根車と特性曲線（機械工学便覧より）[7]

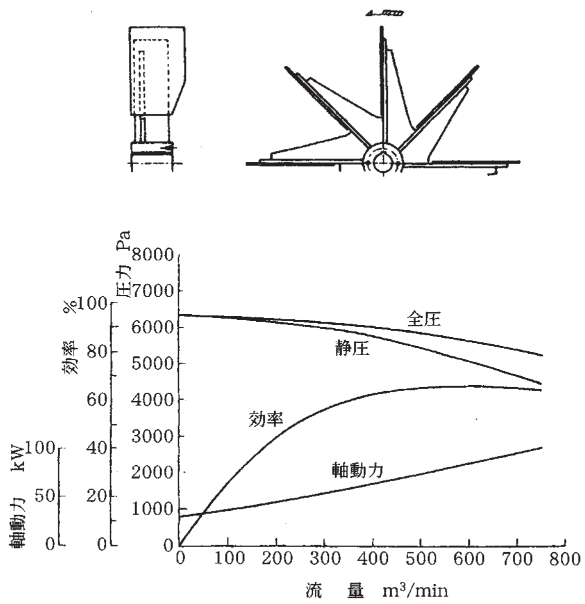


図2-2-10　パドルファンの羽根車と特性曲線（機械工学便覧より）[7]

ラジアルファン

羽根の出口部が半径方向に向いているもので、羽根の形状には直線状と曲線状があり、主板と側板に取り付けられている。直線上の羽根を放射状のスポークに取り付けた構造の羽根車はパドルファンと言われ、羽根枚数は6-8枚程度である（**図2-2-10**)。

後向き羽根ファン

ターボファンと言う名称で知られており、圧力比1.1未満の場合は後向き羽根ファン（**図2-2-11**）、圧力比1.1以上2.0未満の場合は遠心ブロワと呼ばれている。羽根の出口角度は、後向き（30-60度）で、入り口部から出口部に向けて曲線状に成形した羽根板を等厚の主板・側板に溶接かリベット締めされている。同一の風量・風圧に対して、羽根車やケーシングの大きさが遠心ファンの中で最も大きいが、効率が高く優れた性質を持っていることから一般産業用送排風装置として広く用いられている。耐腐食性を必要とする場合には、羽根車等にステンレス鋼が用いられる。

遠心ブロワは、ファンに比べ、ブロワの羽根車は高速で回転するように設計されており、1個の羽根車で所定の圧力を満足する単段形（**図2-2-12**）と数個の羽根車を取り付けて更に高圧空気を送風する多段形がある。また、後向き羽根ファンには、吸い込み口が片側だけにある片吸込み形と両側にある両吸込み形がある。

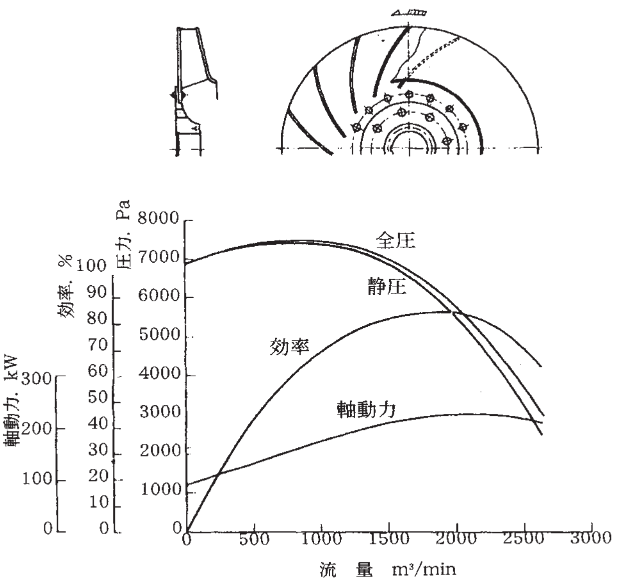


図2-2-11　ターボファンの羽根車と特性曲線（機械工学便覧より）[7]

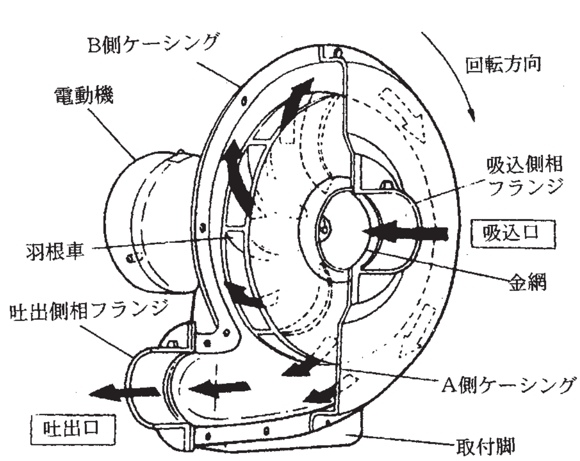


図2-2-12　単段・片吸込みターボファン

イ）渦流送風機

遠心式と同様に空気が羽根車内の大半の流路を半径方向に通過して遠心力の作用で圧力が上昇するが、ケーシング内では渦流を形成して圧力の上昇を繰り返しながら排出される特徴がある（**図2-2-13**）。このため、多段式のターボファンに相当する高風圧が得ることができる。羽根車形状は渦流ポンプと類似しており、羽根は前向きであるが、流路面積、羽根の高さと幅などが渦流ポンプより大きい（**図2-2-14**）。一般的には、15m^3/分以下の小風量、静圧30kPa以下で用いられるが、圧力比2程度のものもある。

圧力係数が大きく小形軽量で、低騒音であり、性能曲線が右下がりで安定作動範囲や流路範囲が広く、構造が簡単で信頼性が高い利点がある一方で、効率が50%以下と低い欠点がある。

ウ）ルーツブロワ（回転容積形圧縮機）

ルーツブロワは回転容積形圧縮機の一種であり、ケーシング内の2本の平行軸上に位相をずらして取付けられた一対のロータを同期歯車で互いに逆向きに回転させることで、ケーシ

ング内壁とロータとで作られた押しのけ室の容積分を繰り返し圧送する（**図2-2-15**）。圧力による送風量への影響が小さく、ロータの回転数に比例して一定量の空気を送ることができるため、密閉縦型堆肥化装置など背圧が高い条件で安定的に通気する場合に使用される[8]。ロータ形状には二葉形や三葉形、三葉形でねじれたものがある。構造が複雑であることから、設置現場での修理が困難な場合がある。

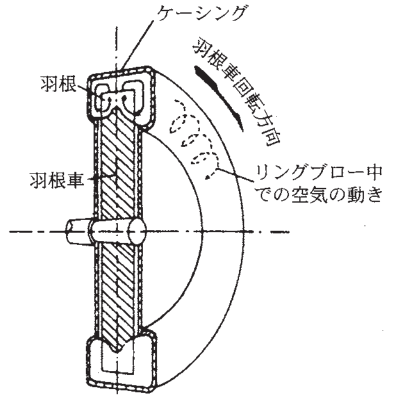


図2-2-13　渦流送風機での空気の動き

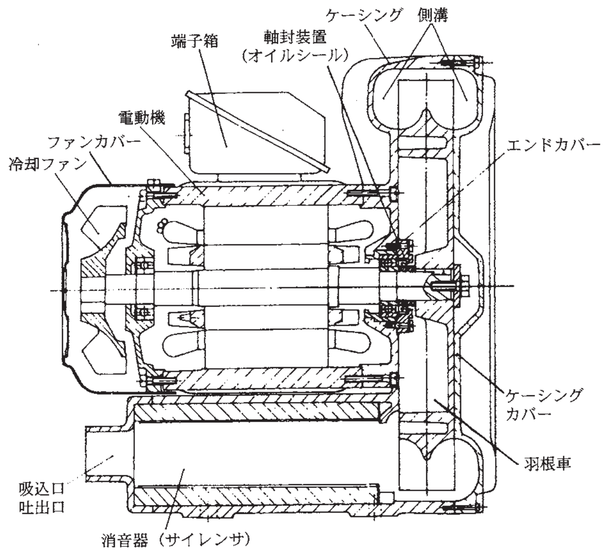


図2-2-14　渦流送風機の構造（機械工学便覧より）[7]

②配管

配管は、空気を送風機から通気床に輸送するため用いられる。通気型堆肥舎では、塩化ビニルやポリエチレンなどが用いられており、機械的強さは大きくないが、軽くて、耐腐食性に優れている。

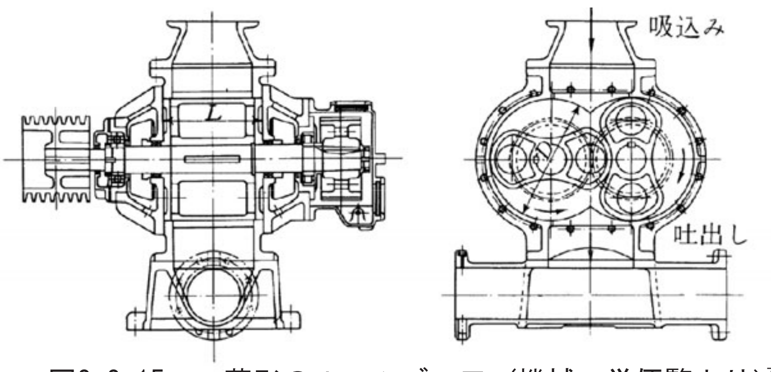


図2-2-15　二葉形のルーツブロワ（機械工学便覧より）[7]

管路の設計に当たっては、管路における圧力損失をできるだけ少なくするために、管路の長さをできるだけ短くしたり、曲がり部、拡大部、縮小部、分岐部をできるだけ少なくすることが大切である。

③通気床

通気床は、堆肥材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ために設置される（**図2-2-16**）。通気床は、一般的には、堆肥舎床面に通気用配管を設置し、通気用配管が目詰まりを起こさないように周囲にオガクズ、モミガラ、木材チップ、あるいは砂利などが敷設されている。しかし、ホイールローダなどで切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りやすい。また、堆肥材料の水分が適正に調整されていない場合には、オガクズ、モミガラ、木材チップなどが腐食し、通気管の目詰まりの原因になる。したがって、堆肥材料の温度が上昇しない場合には、発煙筒を用いて通気状態を確認する必要がある。

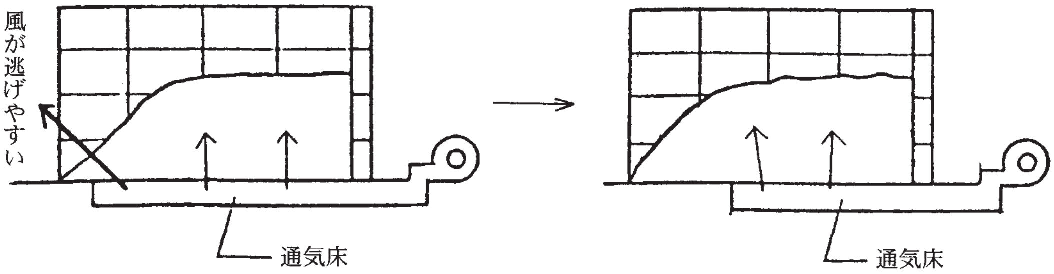


図2-2-16　通気型堆肥舎の通気床と改善例

3）設置・使用上の注意

（1）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、場所の選定に当っては、周囲温度の極端な変化（季節、昼夜）などを避け、十分な地耐力がある場所を選び、搬入、分解点検に必要なスペースを確保すること。

（2）堆肥材料の水分は70　%以下に調整する。高水分の家畜排せつ物を搬入する場合には、水分調整に必要なエリアを確保するとともに、堆肥材料から排汁が出てくるので、排汁の排水構と貯留槽を設置する。

（3）堆肥材料の水分が高く堆積高さが200cm以上になると、堆肥材料が自重で圧密し、空気を均一に供給できなくなる可能性があるので、堆積高さは200cm程度を限度とする。200cmを超える場合には、切返しを数多く行う。

（4）通気装置の機能が十分に発揮されない場合には、好気的な条件を維持しながら発酵を促進することが困難になることから、発煙筒を用いて通気状態を適時監視し、不備がある場合には通気床の改善を行う。

（5）隔壁や擁壁を有する堆肥舎では、ホイールローダが衝突して破損している例が見られることから、ホイールローダ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こと。

（6）配管取付け時には、接続部を正しく接合し、配管の質量が過大に送風機にかからないようにすること。

3．攪拌方式による堆肥化

攪拌方式による堆肥化は、発酵槽および堆肥材料を攪拌・混合および移送する攪拌装置により堆肥材料の良好な好気的環境を維持して堆肥化を促進する方法であり、通気装置を有するものと有しないものがある。装置の構造から開放型と密閉型に分類される。

攪拌方式による処理期間は開放型で15～20日程度、密閉型で10～14日程度（1次処理）としているケースが多く、さらに1次処理を終えた堆肥材料を堆肥舎で堆積して2次処理が行われるのが一般的である。

開放型の発酵槽の大きさは幅2.0～20m、深さ0.3～3.5m、長さ20-60m程度で、上面が開放されている。発酵槽の形状には、直線型、直線部分と旋回部分からなる回行型および円型、横行型に分類される。密閉縦型堆肥化装置の発酵槽は円筒容器形状で、大きさは8-90m^3程度である。堆肥材料の処理量に応じて発酵槽の大きさを決定する。処理量の多い畜産農家では複数台の装置を同時に使用する事例もある（**図2-1-1**、**表2-1-3**）。

1）攪拌装置

開放型における専用の攪拌装置には、ロータリ式（**図2-3-1**）、スクープ式[9]（**図2-3-2**）、スクリュ式(**図2-3-3**)およびクレーン式（**図2-3-4**）[10] がある。堆肥材料は、発酵槽の上部を走行する攪拌装置で堆肥材料を1日１～２回ほどの頻度で攪拌・混合する場合や、1週間に１～数回程度の頻度で攪拌・混合する場合があり、少しずつ移送されながら堆肥化されるか、あるいは次の発酵エリアへの移し換えによる切返しが定期的に行われて堆肥化される。

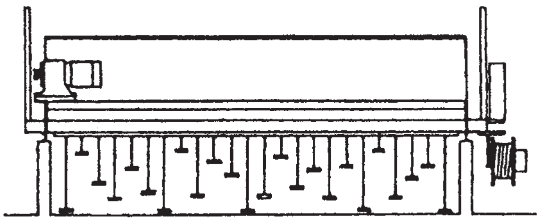


図2-3-1　ロータリ式攪拌装置

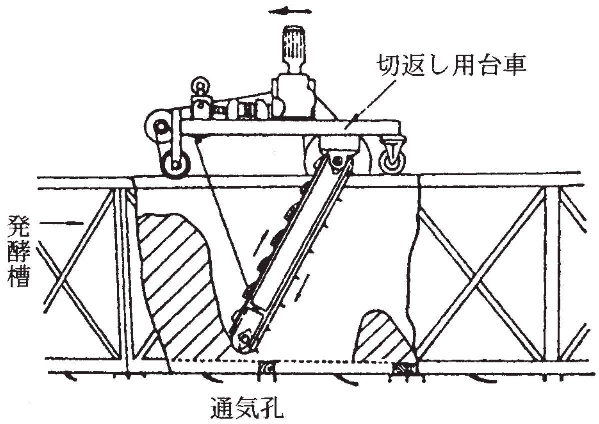


図2-3-2　スクープ式攪拌装置

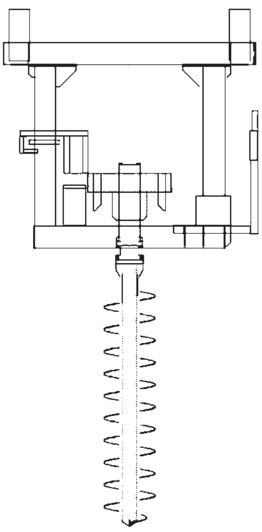


図2-3-3　スクリュ式攪拌装置

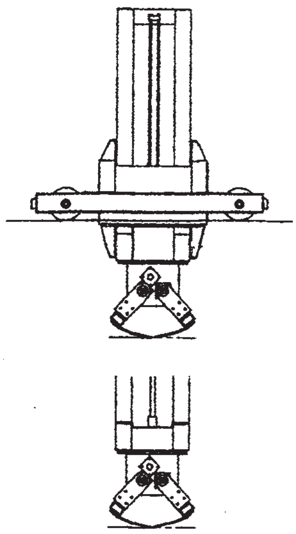


図2-3-4　クレーン式攪拌装置

（1）ロータリ式攪拌装置

水平軸にスパイラル状に取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堆肥材料を後方に掻き上げながら攪拌する方式である(**図2-3-5**)。切返し深さ0.6～2.5mの発酵槽の他、乾燥を目的とした0.5m以下の浅い乾燥ラインにも用いられており、作業幅は発酵槽全幅となる。堆肥材料の攪拌時に空気が混合されるほか、堆積高さが高いものについては、施設底部から強制通気を行い、堆肥材料を好気的環境に保つ。堆肥材料の攪拌・移送は1日に数回行い、処理期間は2週間から1ヶ月程度である。直線型堆肥化装置では、攪拌終了後に攪拌部分が上方に持ち上がって堆肥材料と接触しないようにして後方に移動してスタート地点に戻る。回行型堆肥化装置では、発酵槽側壁付近の堆肥材料の攪拌を行うと

同時に堆肥材料のかたよりを防止するために、縦軸のスクリュ羽根が左右の側壁付近に取付けられたものもある。

（２）スクープ式撹拌装置

チェーンに取り付けられたコンベヤ状の掻き上げ板が堆肥材料を斜め上に拾い上げ、堆肥材料を進行方向の後方に落としながら撹拌する方式で、切返し深さ1.0m以上の発酵槽に用いられている(**図2-3-6**)。作業幅には、発酵槽全幅を撹拌する装置と発酵槽の1/2幅を撹拌する装置がある。堆肥の断面を掻き取るように切り崩して、掻き上げ板に乗せた堆肥材料を後方に移送するため、堆肥材料の堆積高さを高くした場合でも装置にかかる負荷トルクが比較的小さく、確実に移送できる。撹拌による空気の混入と強制通気により堆肥材料に空気を供給する。スクープ式は、水分蒸散が比較的活発で出来上がりの堆肥の含水率が低くなる傾向がある。撹拌頻度は1日に1回程度であり、処理期間は2週間から1ヶ月程度である。直線型堆肥化装置では、撹拌終了後に掻き上げ装置を上方に持ち上げ堆肥材料と接触しないようにして後方に移動してスタート地点に戻る。

図2-3-5　ロータリ式撹拌装置
（写真提供：岡田製作所）

図2-3-6　スクープ式撹拌装置
（写真提供：岡田製作所）

（３）スクリュ式撹拌装置

垂直もしくは傾斜をつけた片持ちのオーガスクリュを回転させて撹拌あるいは移送を行う方式である。オーガスクリュは１本型(**図2-3-7**)の他、2本組、4本組(**図2-3-8**)の型式があり、複数本のオーガを用いる型式は、反対に回転する2本が対となって作業する。走行用のレール､横行用のレール、オーガスクリュ、走行用レール上を並行に移動する移動台車、撹拌・移動のためのモータなどで構成される。撹拌による空気の混入と強制通気を行うが、堆肥材料底部から通気する方式のほか、オーガの先端から空気を圧送する方式も利用されている。また、オーガから通気をする際に電熱ヒーターにより加温された通気を行うこともできる。

図2-3-7　スクリュ式撹拌装置（1本型）
（写真提供：岡田製作所）

堆積高さは、3.5m程度まで対応可能であり、横行型の場合は撹拌時の移送が行われないためホイールローダ等で堆肥材料の投入や搬出を行う。この場合、作業幅は最大20m程度とは

広く発酵槽の縦横比を柔軟に設定できるため、既存の堆肥舎の寸法に合わせて本装置を導入しやすい。スクリュを傾斜して設置することで堆肥原料の撹拌と同時に移送も可能となるため、直線型や円型でも利用されている。

図2-3-8　スクリュ式撹拌装置（4本組）
（写真提供：天神製作所）

（4）クレーン式撹拌装置

堆肥クレーンとも呼ばれ、発酵槽内にある堆肥材料をクレーンで自動的に掴み、次の発酵槽に移し換えながら切返しを行う方式である。クレーン式撹拌装置は、地下式角型サイロからのサイレージ取り出し用の機械であるサイロクレーンを基に開発された装置で、発酵槽の側壁上に設置されたレール上を走行するレール走行型クレーンと堆肥発酵槽の上部に設置された高架レールに懸垂されながら走行する懸垂型クレーンがある（**図2-3-9**）。レール走行型クレーンは、レール上を走行する本体、堆肥を掴むためのグラブ、グラブの昇降および開閉用の油圧装置から構成されている。また、懸垂型クレーンは、ブラブ昇降用のホイストや制御盤の固定枠が走行部を兼ねており、この他、堆肥を掴むグラブ、グラブを開閉する油圧装置などから構成される。近年は、グラブ昇降機構にホイストを採用した懸垂型クレーンが主流であるが、原料となるふん尿や副資材のハンドリング用にはパンタグラフ式の昇降装置が備わった小型の堆肥クレーンも採用されている。

図2-3-9　懸垂型堆肥クレーン
（写真提供：岡本製作所）

2）直線型堆肥化装置

撹拌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、堆肥材料の撹拌・混合あるいは把持と移送を行い堆肥化する装置で（**図2-3-10**）、発酵槽には、単列式と複列式がある。複列式では、撹拌装置が各列に設置されているものと1台の撹拌装置で複数の発酵槽の切返しを行うものがある。一般的には、発酵槽の一端で台車に乗せ替え他の発酵槽に移動する方式が多いが、移動台車ごと他の発酵槽に移動する方式もある。

図2-3-10　直線型堆肥化装置の例
（写真提供：岡田製作所）

3）回行型堆肥化装置

発酵槽の形が運動場のトラック状で、撹拌装置が発酵槽の側壁レールを走行し、直線走行と旋回走行を繰り返しながら堆肥材料の撹拌・混合および移送を行い、堆肥材料を堆肥化する装置である（**図2-3-11**）。撹拌装置の作業動線や、仕上がった堆肥は副資材（戻し堆肥）として発酵槽内にしばらく滞留することから、エンドレス型とも呼ばれている。

図2-3-11　回行型堆肥化装置の例
（写真提供：岡田製作所）

4）円型堆肥化装置

発酵槽の形状が円形状で、撹拌装置の中心が円型発酵槽の中心と偏心しており、発酵槽の外周部に投入された堆肥材料は撹拌・混合とともに発酵槽の中心部に少しずつ移送されながら堆肥材料を堆肥化する装置である（**図2-3-12、2-3-13**）。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され、さらに堆肥舎で2次処理される。

図2-3-12　円型堆肥化装置の例

図2-3-13　円型堆肥化装置の内部

5）横行型堆肥化装置

隔壁のない堆肥舎や堆肥盤の構造を利用し、3方を壁に囲まれた空間に堆肥材料を投入する施設形状である。堆肥舎奥側の壁にスクリュ式撹拌装置の走行部が懸垂しており、撹拌部が走行部に沿って垂直に横行する。撹拌部が走行部を一列横行した後、走行部が一定距離移動して、再度撹拌部が横行する動作を繰り返して材料を撹拌・堆肥化する。既存の堆肥舎の形状に合わせた設計が容易であり、開口部のどこからでも投入・取り出しが可能である（**図2-3-14**）。撹拌装置の動作の及ぶ距離は20m程度であり、撹拌装置を支えて走行する車輪が開口側に取り付けられている。コの字型とも呼ばれている。

図2-3-14　横行型堆肥化装置の例
（写真提供：岡田製作所）

6）密閉縦型堆肥化装置

発酵槽は断熱材で被覆した円筒形の鋼板製容器を縦に設置した形をしており、機種によって外観は多少の相違はあるが、**図2-3-15**と**図2-3-16**にその概要を示す。円筒形の本体の上部に堆肥材料の投入口が設けられており、堆肥材料が入ったホッパが昇降機により持ち上げられ、投入口に達したホッパから堆肥材料が発酵槽に投入される。本装置は、投入された堆肥材料は発酵槽内部で含水率が低下した滞留物と混合されながら発酵が進む連続式の装置である。発酵槽内部には回転する撹拌羽根が設けてあり、この撹拌羽根に付設された小穴から通気して発酵を促進させている。この時、送風機の圧縮効果で高温となった空気または、排気と熱交換した温風あるいは電気ヒーターにより加温された空気を通気すれば、堆肥材料は比較的早く発酵乾燥が進む。

１次発酵が終了した堆肥の含水率が高い場合、取り出しにかかる撹拌羽根への負荷が大きくなるため、高水分な堆肥材料を投入する場合は投入量を調整する、あるいは堆肥化の期間を延長して発酵槽内の堆肥材料の含水率を65%以下まで落とす必要がある。また、乳牛ふんでは、副材料として発酵熱量の大きな廃白土を投入する。連続式の堆肥化であるため正確な処理日数の特定は困難であるが、10～20日間としているものが多い。肥料成分を散逸させたくない場合などはバッチ式で処理して処理期間を数日と短くする場合もある。

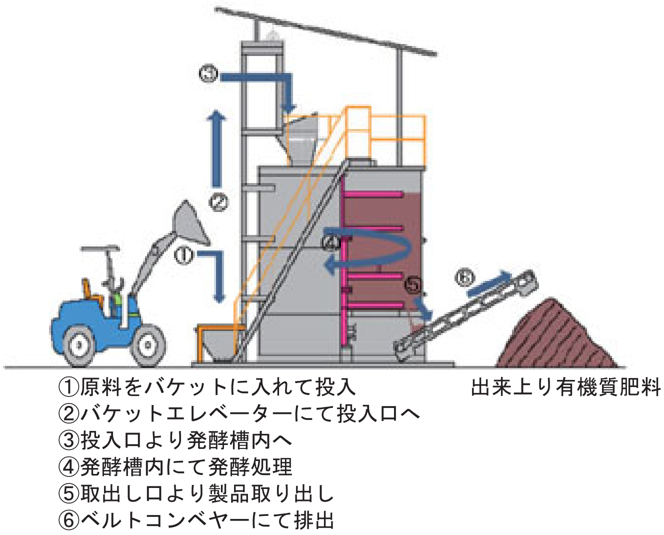


図2-3-15　密閉縦型堆肥化装置の概要
（図の提供：中部エコテック）

図2-3-16　密閉縦型堆肥化装置
（写真提供：中部エコテック）

7）密閉横型堆肥化装置

密閉横型堆肥化装置は、ロータリキルン式ともよばれ、都市ゴミや家畜ふんの堆肥化処理用として開発されたものである。断熱材で被覆された円筒形の鋼板製容器を横方向に、堆肥材料投入口をやや高く傾斜をつけて回転用架台に乗せ、駆動用モータで円筒形の発酵槽をゆっくり回転させる。発酵槽内壁面に撹拌羽根が取り付けられており、投入された堆肥材料は回転撹拌されながら排出口へ5～7日間かけて

図2-3-17　密閉横型堆肥化装置

移動し、その間に空気と接触し堆肥化処理される（**図2-3-17**）。近年では畜産向けの新規の導入実績は極めて少なく、稼働事例も少なくなっている。

8）設置・使用上の留意点

（1）堆肥材料に石や鉄片などの異物が混入しないように留意する。

（2）開放型装置では、堆肥材料の水分を70%以下に調整してから搬入する。密閉縦型堆肥化装置において、堆肥水分が高い場合は投入量を減らす必要がある。高水分な堆肥材料の処理では、撹拌軸の駆動部に負荷をかけることになり故障が発生しやすくなる。

（3）冬季など適切に水分調整を行っても一時的に堆肥材料の温度上昇が不十分な場合には、前処理(予備発酵)として3〜7日間の堆積期間を経てから発酵槽に投入することで初期発酵が順調になることがある。

（4）開放型装置では、通気装置を設置した場合には、通気床の機能が常に発揮されていることが大切で、発煙筒を用いて通気状態を適時監視し、不備がある場合には通気床を点検して機能の修復を図る。

（5）撹拌装置は常に腐食の激しい条件下で使用されるため、保守管理を適時行う。

（6）冬期に寒風や降雨が直接当らないよう簡易な建屋等で防ぐ必要がある。

4．付属機械・施設

堆肥化を促進させるための前処理、あるいは、堆肥の取り扱い性を高める後処理のための付属機械・施設の種類は多いが、どの機械、装置をとっても石や鉄片などの異物混入は避けなければならない。機械の致命的な破損につながることが多いからである。

1）前処理装置

（1）固液分離機

家畜ふんを堆肥化するには、初期の水分が60%程度であれば副資材の混合なしに堆肥化することが可能であり、堆肥化にとっては理想的な状態にあるといえるが、搾乳牛のように排せつ直後でも82〜86%と高い水分状態にあるもののほか、一般的には尿が混合され水分が高い状態になっている場合が多い。また、ふん尿混合方式の畜舎ではふん尿はスラリー状で畜舎から搬出されるため、固形分と水分をある程度分離しないと堆肥化することが困難であり、その分離に固液分離機が使用される。

固液分離の方法は、大別すると自然分離法と機械的分離法に分けられるが、畜舎から搬出された家畜ふん尿の固液分離では機械的分離法の採用がほとんどで、重力、圧力、真空、遠心力などを利用して固液分離を行う。固液分離の方法はそれぞれの畜産農家の家畜ふん尿処理方式によって異なる。一般に尿汚水など液状物のなかの粗大固形物は振動篩や傾斜スクリーンなどで分離し、スラリーや余剰汚泥などの固液分離にはスクリュープレス、ローラプレス、ベルトスクリーン、遠心脱水機などが使われている。

固液分離機に求められるのは、固形物の分離割合（回収率）が高く、しかも分離固形物の水分ができるだけ低いことである。

①スクリーン
　特殊な形状をしたウェッジワイヤと呼ばれる線材で0.1～2.0mm幅の網目のスクリーンで構成されており、傾斜したスクリーン上にふん尿を上部からかけ流す方式で、主に粗めの固形物を除去するものである。排水の浄化処理では前処理として使われることが多い。構造が簡単で搾る機構がない重力式の固液分離機である（図2-4-1）。

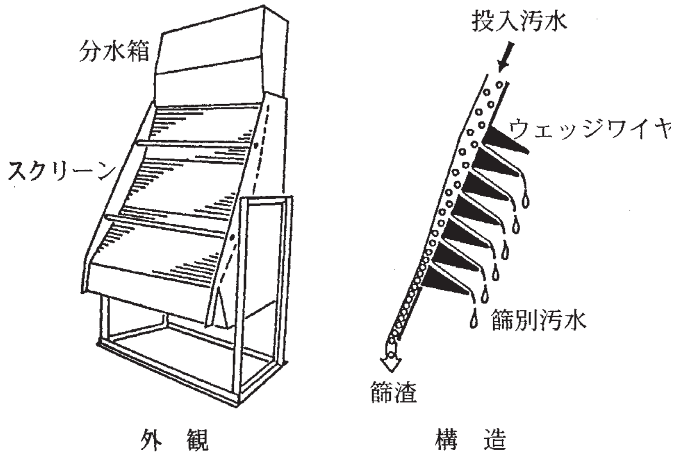


図2-4-1　スクリーン

②振動篩
　わずかに傾斜させた濾網（スクリーン）に振動を与え、上流から尿汚水のような粘性の低いふん尿を流して濾網の篩で主に粗めの固形物を除去する（図2-4-2）。振動は、クランク機構による往復または円弧運動、偏心軸による旋回運動、振動モータとスプリングで支持された濾網の共振などによる。


図2-4-2　振動篩
（図の提供：中部エコテック）

③スクリュープレス
　スクリュと圧搾板により固液分離を行う方式で、円筒の一端のホッパからスクリュに原材料を圧入し、途中のケーシングに設けた濾過部分（スクリーン）で液分を分離した後、他端から固形物を排出する固液分離機である（図2-4-3）。ふん尿を圧搾する機構としてスクリュのピッチが出口に向かって細かくなる形式、スクリュの軸径が大きくなる形式、スクリュの外筒が小さくなる形式などがある。分離固形物の水分調整は排出口に設けたウエイトによる圧搾板で行っている。供給するふん尿の水分や条件によって分離固形物の水分や回収量は異なる。敷料や小石などの混入にこの機種は特に弱く、故障の原因になりやすい。

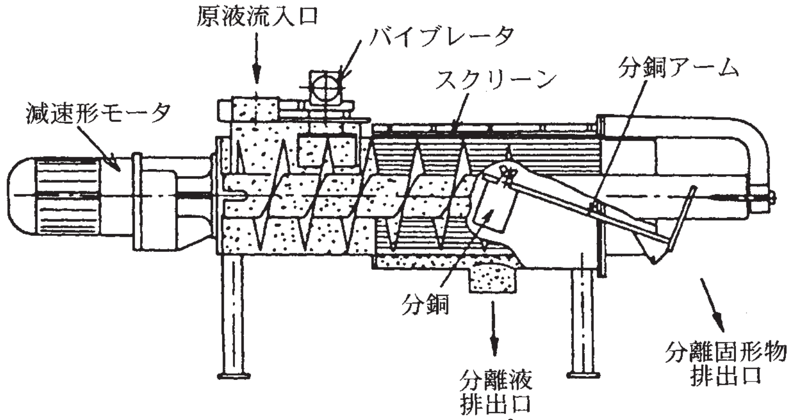


図2-4-3　スクリュープレス

第2章　堆肥化施設・機械の基本

④ローラプレス

ローラプレスには多くの形式のものがあるが、比較的簡単な構造のものは**図2-4-4**に示すようなスクリーンをドラム状にして回転させ、その上にふん尿を流しローラで圧搾し、液分はドラムスクリーン内に流れ、固形分はドラムスクリーン外周表面に付着するため、ドラムの回転とともにかき落とし板で取り除く形式である。ローラの加圧方法はコイルバネを利用しているが、空気圧を利用しているものもある。他にドラムスクリーンを2連にして、2段圧搾にした形式のものもある。

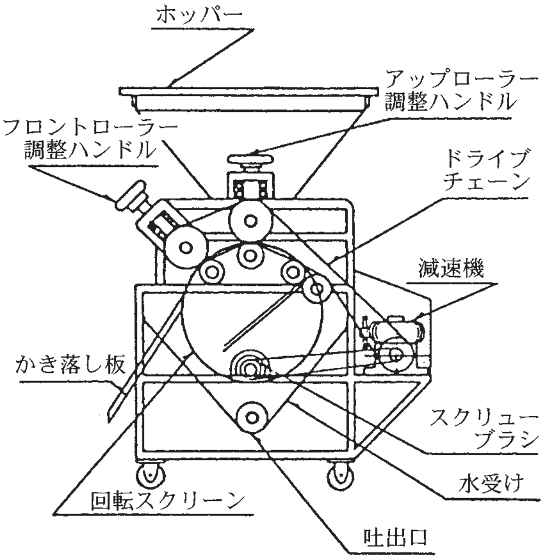


図2-4-4　ローラプレス

⑤ベルトスクリーン

ベルトスクリーン（**図2-4-5**）はスクリーンにベルト状に成型した織網の布ベルトを使用しているためローラの加圧力はそれほど強くなく、ほとんどローラの自重（約70kg）で作用させている。ベルトの網目は他の機種より細かく、高水分のふん尿の固液分離に適しており、ふん尿は一般にポンプにより供給されるため供給用ホッパはない。分離固形物の水分は75～85%程度、分離固形物の乾物回収率は50～60%程度等の性能として利用されているのが一般的である。

1. フィルターマット	10. 加圧ローラースクレーパー
2. 加圧ローラー	11. 制御盤ボックス
3. 調整ローラー	12. エアーバルブ
4. 駆動ローラー	13. 電　極
5. テンションローラー	14. フィルタースクレーパー
6. 調整スイッチ	15. 減　圧　弁
7. ストップスイッチ	16. 回転検知器
8. 駆動モータ	17. 加圧ローラー調節ねじ
9. 調整ローラーブラケット	18. フィルターマット張り調節ねじ

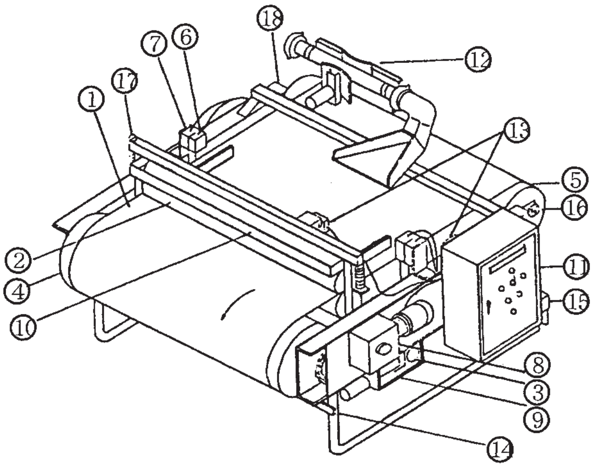


図2-4-5　ベルトスクリーン

⑥固液分離機の分離特性

各固液分離器の分離特性については、性能試験などのデータを用いて**表2-4-1**のような調査結果が示されている。固液分離後の固形分水分は、材料水分が高いほど低下する傾向にあり、液分の水分は材料水分が高いほど高くなる傾向にあった[11]。フリーバーン牛舎から排出されるような材料水分が比較的低い場合は、固液分離後の液分をふん尿に混合することで水分をあらかじめ上昇させて固液分離効率を向上させる方法もあり[12]、分離液を曝気処理することでその効果を更に高められる[11]。

表2-4-1　固液分離機の分離特性

方　式	原料水分 (%)	原料粘度 (mPa·s)	流量（t／h） 固　口	液　口	合　計	水分（%） 固形物	固形物回収率	分離液	固口流量割合(%)	備　考
SP-1	91.96	280	3.51	7.27	10.78	77.73	90.19(%)	96.16	32.53	縦溝
SP-2	92.34	—	1.05	5.61	6.66	69.44	62.90	96.57	15.75	φ1.5mm
SP-3	29.40	350	3.0	9.6	12.6	78.8	66.42	96.4	23.81	φ2.0mm
RP-1-1	91.95	—	2.37	9.85	12.22	75.16	59.85	96.13	19.38	農試
RP-1-2	92.15	—	1.69	9.31	10.99	78.33	42.45	94.15	15.29	現地
RP-2-1	91.97	475	2.09	8.10	10.19	80.98	48.58	95.49	20.58	農試
RP-2-2*	93.50	300	1.56	15.15	16.71	80.90	27.43	94.81	9.34	現地
PP-1	87.50	—	1.9	4.2	6.1	79.0	52.33	91.4	31.15	現地
BS-1	85.57	—	1.64	0.44	2.08	84.77	83.22	88.47	78.85	現地

SP：スクリュープレス，RP：ローラプレス，PP：圧搾方式，BS：バーンクリーナ用
RP-2-2は，希釈に曝気処理液を利用していた。
固口：固形物排出口，　液口：分離液排出口

（2）乾燥装置

家畜ふんの乾燥装置は、太陽エネルギー、風（空気）等の自然エネルギーを利用してふん尿中の水分を取り除く処理装置である。ビニルなどを用いたプラスチックハウス（以下ハウス）内に家畜ふんを10〜15cm程度の厚さに広げて堆積し、太陽エネルギーとハウス内を通り抜ける大量の風とで乾燥を図る装置である。ハウス内には広げた堆肥材料を反転・均一化・搬送するための自動走行可能な撹拌機が設置されている。撹拌機はロータリ式撹拌装置を用いる例が多く、1〜2m/分程度のゆっくりした速度で走行しながら堆肥材料を撹拌している。この処理方式は広い敷地面積を必要とするが、火力乾燥法などと比べて処理経費が少なく、いろいろな畜種のふんの乾燥装置として広く利用されている。

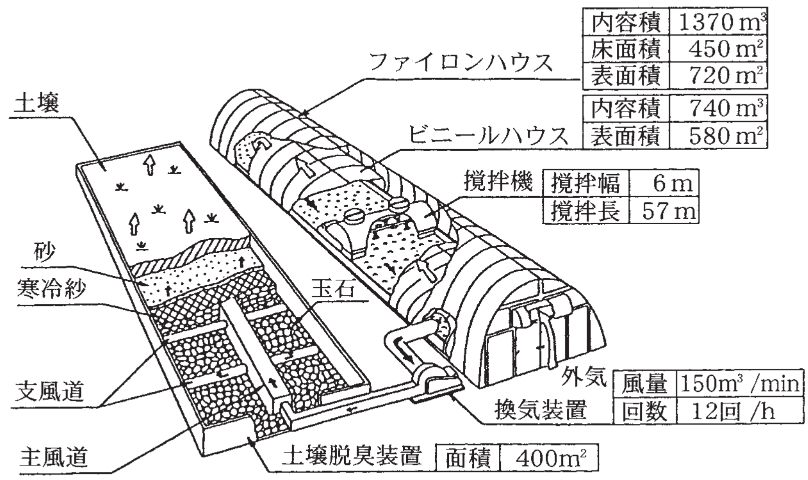


図2-4-6　強制換気型乾燥装置

乾燥装置の型式は、脱臭装置を付設してハウス内の臭気を脱臭する強制換気型（密閉型）（**図2-4-6**）[13]と水分の蒸発のみを行う自然換気型（開放型）（**図2-4-7**）がある。堆肥材料の水分を低下する目的の前処理装置として利用する場合は排気空気の臭気が問題となる場合があ

り、自然換気型は一次発酵終了後の堆肥の乾燥を目的とした後処理装置として利用される場合が多い。

自然換気型乾燥装置では、自然のエネルギーを利用するために水分蒸発量は、日射量、温度、湿度、風量などによって大きく変動する。一般に関東以南の地域の水分蒸発量は、夏期で4.5～5.0kg/(㎡/日)、冬期で1.0～1.5kg/(㎡/日)である。なお、自然換気型乾燥装置では自然換気に含まれる水蒸気量(ふん尿から蒸発した水分)に限界があるため、大量の風がハウス内に流入・排気できるように、ハウスの裾は開放している。さらに乾燥を促進させるためにハウスの天井に換気扇を設置し天井付近の暖かい空気を堆肥材料に送風して乾燥を図っている例もある。

図2-4-7　自然換気型乾燥装置
（写真提供：岡田製作所）

（3）混合機

排せつ直後の家畜ふんの水分は、搾乳牛は80-86%、肉用牛は約78%、肥育豚は約72%、採卵鶏は約70%であり、いずれも堆肥化を行うための理想的な水分よりは高く、堆肥化を促進させるためには水分の低い通気性の優れた材料である副資材を混合する必要がある。副資材としてオガクズ、モミガラ、戻し堆肥の他、バーク堆肥、コーヒー粕、米ぬか、廃菌床などが使われている。これらの副資材と家畜ふんを均一に混合する機械が混合機である。

混合機は、特に専用機としているものは少なく、スクリューコンベヤやベルトコンベヤ、小型のミキサ、飼料撹拌機などを部分的に改造して使用している例が多い（図2-4-8）。副資材との混合状態によっては堆肥化の促進状態が変わるので空隙性を保ちながら均一に混合することが求められる。

図2-4-8　混合機

加圧混練機も混合機の一種であり、ふんと戻し堆肥を高圧で加圧混合し、加圧によって発生する熱で材料温度の上昇と水分の蒸発を期待している。この方式は、物理的な加温であり堆肥化のための前処理機であって、好気性微生物による堆肥化を促進させるには混練機を通した後、前述したような堆積あるいは撹拌方式による堆肥化を行わなければならない。

2）後処理装置

（1）堆肥造粒装置

堆肥の造粒装置は、堆肥の取り扱い性や貯蔵性を改善するために粒状化するための装置であり、家畜ふん堆肥では撹拌造粒方式や押出造粒方式がよく採用されている。前者は、堆肥化の状態を調整することで撹拌による自発的な造粒を促すことができ、後者は高圧・高温条件下で堆肥を圧縮成型してペレットなどにする方式である。

堆肥は、バラの状態ではかさ密度が小さく貯蔵効率が低いため、その取扱い性や貯蔵性が極めて悪い。このため、袋詰めやバラ詰めでの堆肥の広域流通を図ることは、コスト面から

も難しい。造粒装置を用いて堆肥を粒状化することは、堆肥の取扱い性や貯蔵性を改善し、その利用を拡大する上からも重要である。

①撹拌造粒方式

ロータリ式撹拌装置の発酵槽の終端では、意図せず粒状になった堆肥を見かけることが多い。このように、堆肥の水分など造粒に適した条件を整えることで、豚ふん堆肥や採卵鶏ふん堆肥を比較的簡易に造粒することできる(**図2-4-9**)。

採卵鶏ふん堆肥の事例では、造粒適正水分に調整された原料は、ロータリ式撹拌装置により均一に練り返されて塊が造粒される（**図2-4-10**)。このとき、造粒促進のため、腐植酸資材などを添加する場合もある。この工程では原料粒子のすき間にある空気が押し出されて密度が高まり、粒子間の接着力が生まれるため、最終製品の強度や歩留まりが高まる。その後、塊がナタ爪によって削り取られ、削り取られた原料がナタ爪の表面の一定距離を転がることにより造粒物が生じる。粒の転がり距離は①ナタ爪の種類、②撹拌ロータリの回転数、③機械の走行回数により概ね決定される。ナタ爪幅（L1）が広く、軸に対する爪の取り付け角度（θ）が広いほど、爪上転がり距離（π）は長くなり造粒しやすい。しかし、爪の幅や取り付け角度によっては、機械負荷が大きくなることから、適切な爪を選定する必要がある（**図2-4-11**)。造粒の仕組みの詳細については、浄水ケーキの造粒システムおよび造粒方法[14]を参考にされたい。導入事例では、ウインドウレス鶏舎より排出された採卵鶏ふんの乾燥粉砕物に腐植酸質資材を乾物比で5%添加して調整した原料を用いた時の造粒が開始する水分範囲は、60～63%であった。これは一般的に鶏ふんの堆肥化に適しているとされる含水率と同程度かやや高い。堆肥の含水率が30～35%に低下した後も撹拌を続けると造粒物が崩れて細粒化するため、速やかに堆肥を乾燥レーンに搬出し、乾燥する必要がある[15]。

また、同様の反応を利用して、小型のコンクリートミキサや比較的大型の回転式混合機を用いた造粒方式もある。この方式では造粒材として粘性の高い資材を添加するとともに造粒に適した水分に堆肥を調整することで、豚ふん堆肥の造粒率(原料に対する造粒物の割合)は90%以上に達する[16]。

図2-4-9　撹拌造粒方式による造粒物の外観[15]

撹拌開始前　**撹拌10往復**　**撹拌30往復**

図2-4-10　ロータリ式撹拌装置により造粒中の堆肥の形状変化[15]

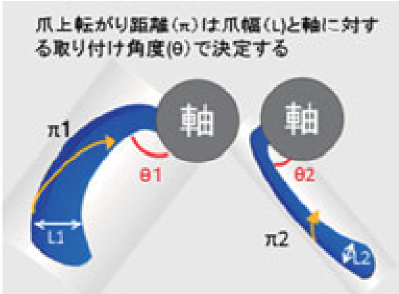



図2-4-11　ロータリ式撹拌装置による撹拌造粒のためのナタ爪形状[15)]

②押出造粒方式

　堆肥をペレットに押出成型する方法は、多数の孔があけられたダイにローラで材料を押込むローラ方式が主流である。ローラ方式は、成型部の構造からディスクダイ式（**図2-4-12**）とリングダイ式（**図2-4-14**）に分けられる。どちらの方式も、堆肥を成型するのに必要な押出力はダイス（成型孔）に堆肥が押し込められる際に発生し、高温条件は成型孔と成型材料との摩擦によって発生する。

　堆肥を成型する場合の成型性やペレット製品の耐久性は、成型時における堆肥の水分や副資材の混合割合によって大きく影響されるため、成型材料の水分を乾燥調製やスチーム等による加水により成型に適した水分領域にまで水分調整することが重要である。成型時における適正な水分は成型機の構造や大きさによって異なり、ローラ式は20～25%と言われている。成型材料の水分が低すぎるとダイスに材料が焼き付いて目詰まりが生じる原因になるとともに、成型時の動力が急激に増大する。

　また、成型後のペレット製品の水分が高い場合には、貯蔵中あるいは流通過程においてカビが発生し、品質の低下を招くことにもなるので、成型後にカビが発生しない水分領域まで乾燥処理を行う必要がある。

ア）ローラ・ディスクダイ式

　多数のダイスを有する水平に取り付けられたディスクダイとその上を垂直軸の回転とともに公転と自転を行う2～5個の押出用ローラから構成され、ローラの回転によって堆肥が摩砕されながらダイスから押し出されて成型される（**図2-4-12、2-4-13**）。

　この方式では、ダイスの孔径によって任意の径のペレットを成型できるが、ディスクダイとローラの摩耗が激しいため、これらを交換する頻度が高い。特に、成型材料以外に石や金属などの硬い異物が混入した場合に損耗が大きい。

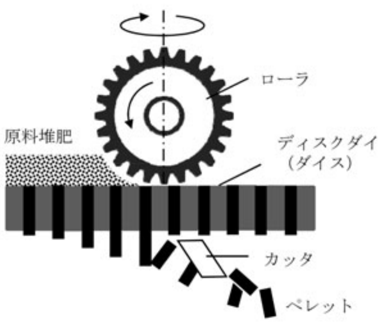


図2-4-12 ディスクダイ式の造粒機構

図2-4-13　ディスクダイ式
（ローラ2個、 外ケーシングを外したところ）

イ）ローラ・リングダイ式

多数のダイスを有するリングダイとリングの内側で回転する2対の押出用ローラから構成されており、1〜2個のローラの公転と自転に伴って堆肥が摩砕されながらダイスから押し出されて成型される方式と、リングダイの回転とともに2対のローラが回転し堆肥が摩砕されながらダイスから押し出されて成型される方式などがある（**図2-4-14、2-4-15**）。

これらの方式も、ダイスの孔径を選択することにより任意の径のペレットを成型できるが、ディスクダイ式と同様にリングダイとローラの摩耗が激しく、石や金属などの硬い異物が混入した場合に損耗が大きい。

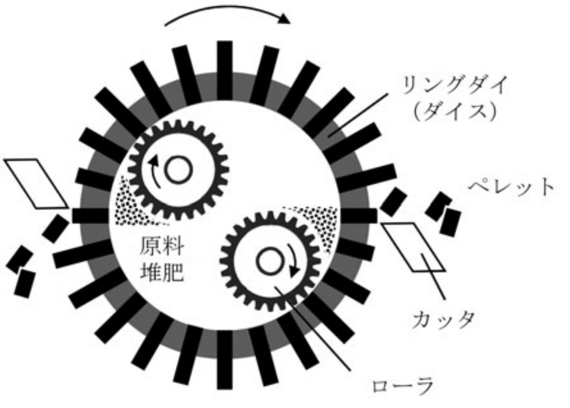


図2-4-14　リングダイ式の造粒機構

図2-4-15　ツインダイス式（現地設置）

③圧縮造粒方式（ブリケッティング）

ブリケッティングは、表面に成型物の母形となるポケットが刻まれた回転する2本のロール間で粉体を成型する圧縮造粒方式の一種であり（**図2-4-16**）、化学肥料のほか、各種医薬品や化学原料、豆炭の成型などに広く採用されている。木質系の副資材など粗い混合物の混入が少なく粒度の細かな豚ふん堆肥や鶏ふん堆肥についても本方式での成型は可能であり、これらを原料にした混合堆肥複合肥料の成型にも肥料工場で使われている。

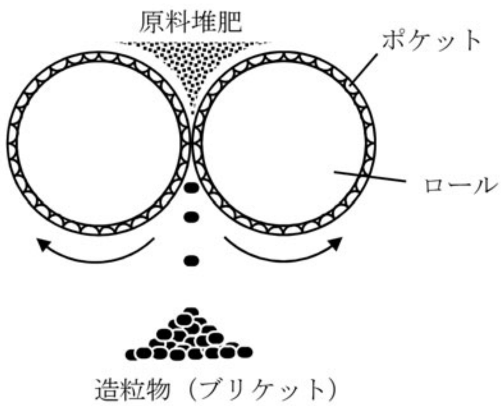


図2-4-16　ブリケッティングの造粒機構

④設置・使用上の注意

ア）造粒材料の水分や副資材の混入の程度は、作業能率や造粒性に大きく影響することから、造粒機の特性や季節（外気の温湿度）に応じた適正な水分調整や粒度調整を行う。また、造粒後の製品の水分は、貯蔵中や流通過程でのカビの発生や品質の低下に大きく影響することから、貯蔵上安全な水分領域まで乾燥する。

イ）押出造粒方式では、成型材料中に石、金属などの異物が混入していると、成型部分の損耗が激しくなる。したがって、成型材料中に異物ができるだけ混入しないようにするとともに、選別装置を設置するなどして異物の除去を行う。

ウ）押出造粒方式では、運転後にダイの孔などに残った堆肥をそのまま放置すると、材料が成型部で固まり目詰まりの原因なる。これを防ぐには、運転の最後に廃油などを混ぜた材料や米ぬかを供給して成型部の堆肥を押し出す必要がある。

（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る。袋詰め機は、通常、計量しながら一定量の製品堆肥が袋に入ると供給が止まりシール機へ送られるよう構成されている。1日の袋詰め量が少ない場合は、計量とシール機の間に人手が入り作業することになるが、袋詰め量が多くなると計量からシール、搬送、パレット詰め込みまで自動化されたロボットのような自動袋詰め装置まで導入される（**図2-4-17、2-4-18**）。袋詰め作業は、埃が多く作業環境がよくないことや屈む姿勢が多いことなど作業者にとっては肉体的にもきつい作業であって、人手のいらない作業ロボットは導入効果が高い。袋詰め量は質量によるものが多く、1袋15kg、20kg入りなどがあり、容積(L)単位の表記も用いられる。

図2-4-17　袋詰め用ロボット

図2-4-18　堆肥袋詰めライン
（写真供：岡田製作所）

3）堆肥運搬車、散布装置

（1）堆肥運搬車

堆肥材料や堆肥の運搬には、専用の運搬車が使われる（**図2-4-19**）。ダンプトラックの荷台部分を改造し、水分が漏れないようにしたもの、腐食に耐えるよう内側をステンレス製に張り替えているもの、堆肥材料の比重が水より軽いため荷台の堆積高さを高くして多くの量を積載できるようにしたものなどがある。とくに材料となる家畜ふん尿を公道運搬する際に道路上に家畜ふん尿をこぼさないようにすることが重要で、コンテナ車のように密閉化された荷台をトラック本体から積み下ろしできるタイプのものもある。ダンプカーの改造による堆肥運搬車は公道をトラック並に走行できるのでかなり離れたところまで運搬・輸送が可能であり、散布装置を積載し、運搬と散布の両方の機能を持ったものもある（**図2-4-20**）。**図2-4-21**は後輪がキャタピラになっているが公道走行が普通車並に可能で、草地などへも入り堆肥散布が可能なタイプである。

図2-4-19 堆肥専用運搬車

図2-4-20　堆肥運搬・散布車

図2-4-21　堆肥運搬・散布車（後輪はキャタピラ）

（２）有機物施用機

①堆肥散布機

マニュアスプレッダに代表される堆肥散布機は、堆肥等を圃場の表面に散布するために使う機械である。構造は、車体、堆肥搭載用の荷台、散布部からなり、積み込まれた堆肥は荷台底部にあるスラットコンベヤあるいは油圧で徐々に後方に送られ、散布部のビータで打ちほぐされながらビータの遠心力により散布される。トラクタ牽引式のもの（図2-4-22)が多いが、走行部が軟弱地向きでクローラ走行の自走式のものもある（図2-4-23)。

散布方式には横軸ビータ方式、縦軸ビータ方式があり、前者はパドル型またはオーガ型ビータで後部上方に堆肥を跳ね上げ散布するものであるが、上方に跳ね上げるため軽い材料や粒子の細かいものは風による散布ムラを生じやすい。後者は2軸または4軸のパドル型ビータで左右後方に幅広く散布するものであり、ビータの一番下にはスピナが取り付けられて、パドルから落ちこぼれた材料を飛ばす仕組みになっており、比較的均一に散布できる。

図2-4-22 トラクタけん引式マニュアスプレッダ

図2-4-23 自走式マニュアスプレッダ

②ペレット散布機

堆肥ペレットの散布機としてブロードキャスタ（**図2-4-24**）を利用している例が多い。構造はアジテータ付きの円錐形または角錐形のホッパから落下した粒子を羽根車または揺動散布筒の遠心力で散布するようになっている。型式にもよるが散布幅は4～10m程度である。散布量の調節は調節レバーによるシャッター開度、散布幅、車速および重複散布により調節する。

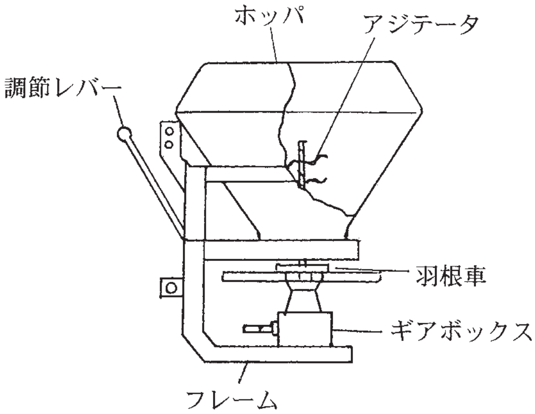


図2-4-24　羽根車式ブロードキャスタ

③条施用機（局所施用機）

一般に堆肥散布機は幅広く全面散布方式が主であるか、本施用機は堆肥を条施用する機械で、茶園への追肥やたばこ耕作前および野菜植え付け前の基肥条散布に使用される。歩行型トラクタ装着式、自走式および乗用トラクタ直装式があり、走行部、ホッパ部、堆肥繰り出し部からなる。走行しながら覆土もできるものや化学肥料を同時に施用することも可能なものもある。

参考文献

1）畜産環境整備機構:畜産農家のための安くて便利な技術集、14-20（2007）
2）西崎邦夫：堆肥調製システムの開発、農業機械学会誌、 61(1)、 195-202（1999）
3）阿部佳之・本田善文・福重直輝:吸引通気式堆肥化処理におけるアンモニア回収と資源化、におい・かおり環境学会誌、40(4)、221-228（2009）
4）小島陽一郎・阿部佳之・天羽弘一:吸引通気式堆肥化施設で回収した発酵熱による水の加温-加温特性と実規模施設における乳牛への温水供給-、農業施設、45(3)、99-107（2014）
5）小堤悠平・長峰孝文・畠中哲哉・道宗直昭：堆肥発酵熱を用いた堆肥の乾燥、日本畜産学会報、86(2)、219-227（2015）
6）日本産業規格：送風機・圧縮機用語、JIS B 0132（2005）
7）日本機械学会：機械工学便覧DVD一ROM版（2014）
8）中久保亮・石田三佳・小島陽一郎・竹内和敏・鈴木直人・吉田達宏・荒川友子、密閉縦型堆肥化装置の通気１制御手法の開発、2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会講演要旨集、197（2019）
9）三浦保・伊沢敏彦・森本国夫：家畜ふん尿の堆肥化、農業機械学会誌、39(1)、93-95（1977）
10）伊吹俊彦・畠中哲哉・斎藤雅典・関澤啻朗:自動切返しと戻し利用を特徴とする牛ふん尿の堆肥化処理、草地試験場報告、58、38-57（1999）
11）北海道立根釧農業試験場：酪農施設機械試験成績書、15、129-139（1999）
12）古橋賢一・田中章浩・黒田和孝:半固形状乳牛ふん尿をメタン発酵及び堆肥化で複合処理するためのスクリュープレスによる固液分離技術の開発(英文)、農業施設、50(1)、16-23（2019）
13）福森功・道宗直昭：家畜糞の乾燥システムの開発、 農水省大型別枠研究グリーンエナジー

計画昭和61年度事業報告書、生研機構（1987）
14） 原 正之・鎌田正行・浅井俊次・服部正明・岡本康男：造粒システムおよび造粒方法、特許4474501号（2010）
15） 農林水産省委託プロジェクト有機質資材コンソーシアム：混合堆肥複合肥料の製造とその利用、71-85（2020）
16） 畜産環境整備機構：畜種別家畜ふん堆肥の造粒調製技術、家畜ふん堆肥の簡易造粒・配合利用技術に関する手引き、1-2（2020）

第３章　施設規模の算定

１．規模算定に当たっての留意点

　第１章で述べた堆肥化の仕組と条件、堆肥化を促進する具体的な方法、腐熟などについて十分理解し、堆肥化施設の選定においては、第２章で述べた施設と機械の構造、性能、使用条件などについて、事前の検討を行うことが重要である。
　また、堆肥化処理は夏期と冬期で処理能力が異なるが、施設規模の算定においては、最も処理能力が低下する冬期間を前提とする。従って、後述の設計計算例では温暖地域の冬期における堆肥化処理を前提とし、地域差については余裕率(地域係数)で補正した。

ア．処理条件の検討には、搬入される畜ふんの性状、特に水分量、堆肥の生産および利用計画、副資材（水分調整材）入手の難易と価格、立地・気象条件などについて、事前に十分な調査・検討が必要である。

イ．副資材（特にオガクズ）の入手が価格の高騰とともに困難になっており、その際には発酵の終了した堆肥を再び水分調整材として利用する戻し堆肥の活用が選択肢となる。この場合でも、少なくとも戻し堆肥ができるまでの期間（処理方式によって異なるが１～３ヵ月程度）は副資材が必要となることに留意が必要である。

ウ．副資材として戻し堆肥を利用する場合、堆肥化施設の処理能力が低下する冬期間においてその水分が高くなるため、水分調整に要する戻し堆肥量が大幅に増加する。そのため、①オガクズ等の副資材の確保、②温暖地域ではハウス乾燥装置による戻し堆肥の乾燥（水分の低減)、③通気型堆肥舎と同構造の乾燥舎での常温通風または温風通風による戻し堆肥の乾燥、④処理能力が向上する夏期等の期間内で生産された水分の低い堆肥等を一部保管・確保するなどの対策が必要である。

エ．排せつされた畜ふんは堆肥化施設に搬入されるまでの間に、尿や余剰水（給水器のこぼれ水や雨水、雑用水など）の混入、畜舎内での換気ファン等による乾燥、敷料の混入、畜舎内床上での堆積中の発酵等により、水分量および乾物量が変化することに留意が必要である。

オ．堆肥の水分と生産量（歩留り）とは表裏一体の関係にある。堆肥の水分を低減するためには、乾物（有機物）分解率を高くすることにより、水分蒸発を促進する必要があり、堆肥の生産量は少なくなる。従って、地域の堆肥ニーズを考慮した上で、完成堆肥の目標水分を設定することが望ましく、通常は完成堆肥の目標水分を50～60％に設定することが生産コスト等の面からみて有利である。なお、堆肥の生産量は次の式によって求められる。

$$\text{堆肥生産量}=(\text{処理量}\times\text{乾物率})\times\frac{100-\text{総乾物分解率}(\%)}{100-\text{堆肥の水分}(\%)}$$

　堆肥の生産量より歩留り（％）を求め、堆肥の水分と歩留りとの関係を**図3-1-1**に示した。堆肥材料の水分（乾物量）および総乾物分解率と堆肥の水分との関係でみると、堆肥材料の水分を68％に調整した場合（乾物率32％）は、堆肥の水分が60％では製品歩留り50～65％程度であるが、50％では40～50％となる。また、畜ふんのみで水分が80％以上(乾物率20%以下)の場合（戻し堆肥を添加した場合も同じ）には、60％の水分では製品の歩留りが30％以下となる。

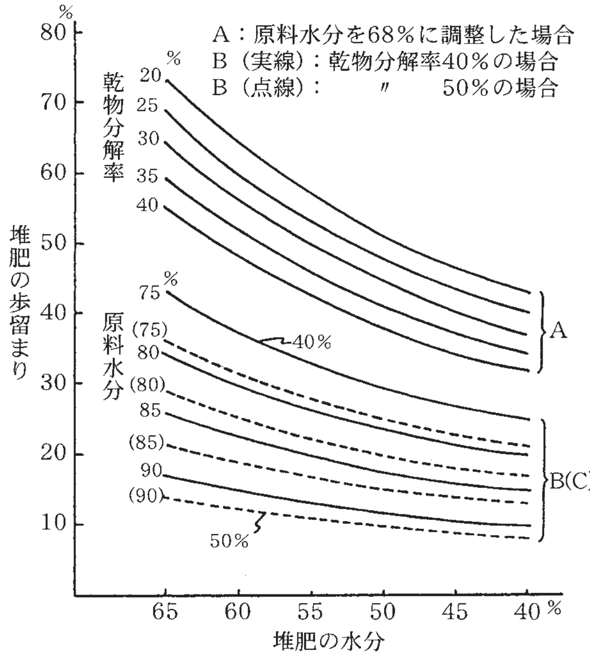


図3-1-1　堆肥の水分と歩留りとの関係

　本マニュアルでは旧マニュアルと同様に、基本的には1次処理を行い、その後に２次処理（堆肥舎）を行う堆肥化処理方式を取っており、１次処理、２次処理、全期間それぞれについて、処理日数の目安を示した。作物などに障害を与えない程度まで堆肥化を行うための処理日数として、腐熟の観点から設定したものである。後述の「４．堆肥化施設の設計計算例」ではこの考え方を基本として規模算定の例を示している。
　１次処理後の堆肥材料は、大部分の易分解性有機物は分解されていることから、未分解の有機物が若干残存していることを考慮した上で、堆肥として活用可能である。例えば、１次処理後の堆肥材料を自家利用する、あるいは施設野菜を除いた一般作物に利用することにより、２次処理に要する施設規模の縮小が図られ、施設費の低コスト化が可能となる。従って、１次処理後に全量を堆肥として施肥することが難しい場合においても、その一部を堆肥として利用する等の方策を検討することが望ましい。なお、水分調整のために戻し堆肥を利用する場合には、必要となる戻し堆肥量を差し引いた量が２次処理されることに留意する必要がある。

２．規模算定に必要な基礎数値

　規模算定に当たっては、それに関与する要因を数値化して用いることになるが、これらの基礎資料が乏しいため、現状においては推定値を用いざるを得ない。
　従って、以下に示す基礎数値をそのまま機械的に使用せずに、処理条件や地域性（立地・気象条件）などを勘案して、それぞれの条件に適した数値を使用することが望ましい。

１）ふん尿の排せつ量と処理量

（１）排せつ量（１日１頭羽当り）

ア．排せつ量の原単位に関しては、飼養家畜の改良や栄養学的に改善が進んだ給餌飼料の変化

などを踏まえ、これまでの原単位が全面的に改定されて**表3-2-1**のように設定された。詳細は「汚水処理施設設計・維持管理マニュアル」を参照のこと。

イ．ただし、堆肥化処理施設で実際に堆肥化されるふん尿の量については、家畜の飲水量の違いや排せつ後の蒸発量の違い等による変動の影響が大きいため明確な数値を示すことは困難であり、これまで堆肥化施設等の規模算定に用いられてきた排せつ量については**表3-2-2**の数値を引き続き使うこととする。

ウ．ふんの水分が大きく異なる場合は、この表に示した乾物量に変動がないものとして、ふん質量を計算する。

エ．搾乳牛の排せつ量は、生乳生産量の違いによって大きく変動する。

オ．採卵鶏での水分70％は低床式鶏舎、60％は高床式鶏舎の場合を想定している。

カ．ブロイラーでの水分40％については、床暖房式のウィンドレス鶏舎の場合を想定している。

表3-2-1　家畜排せつ物量，窒素およびリン排せつ量原単位

区分			排せつ物量（kg/頭/日）		窒素量（gN/頭/日）		リン量（gP/頭/日）	
			ふん	尿	ふん	尿	ふん	尿
乳用牛	搾乳牛	初産	42.9	18.7	163.6	101.0	42.4	1.3
		２産	46.7	17.1	185.5	104.5	47.1	1.3
		３産以上	48.2	16.9	194.7	96.4	47.4	1.3
	乾乳牛		28.4	15.3	85.2	101.4	16.4	1.2
	育成牛	2歳未満、7ケ月以上	23.2	12.5	58.5	71.1	13.9	1.4
		月齢3～6ケ月	15.9	5.1	24.9	44.2	5.3	1.4
肉用牛	肥育牛雄	1歳以上	10.8	7.1	59.1	71.9	17.8	0.7
		月齢7～12ケ月	10.3	6.3	51.3	71.6	7.8	0.7
		月齢3～6ケ月	3.1	3.0	20.7	48.2	3.3	0.7
	肥育牛雌	1歳以上	11.2	5.8	46.4	57.2	14.3	0.7
		月齢7～12ケ月	8.2	5.4	42.7	60.4	8.1	0.7
		月齢3～6ケ月	4.7	3.1	22.0	51.6	3.5	0.7
	繁殖雌牛	2歳以上	18.2	7.4	61.8	74.9	19.0	0.7
		月齢7～24ケ月	14.2	6.8	56.2	70.6	11.9	0.7
		月齢3～6ケ月	5.7	3.4	24.3	54.3	3.5	0.7
	乳用種	月齢7か月以上	14.6	7.8	61.3	85.5	15.1	0.7
		月齢3～6ケ月	8.2	4.0	31.8	61.8	4.6	0.7
	交雑種	月齢7か月以上	14.4	7.7	60.2	83.0	15.1	0.7
		月齢3～6ケ月	9.7	4.2	33.2	65.8	4.6	0.7
豚	肥育豚		1.7	3.9	14.2	25.0	7.3	2.4
	繁殖豚		2.2	4.7	19.8	30.7	8.0	4.6
採卵鶏	雛		0.041	−	0.99	−	0.20	−
	成鶏		0.090	−	1.73	−	0.55	−
ブロイラー			0.085	−	1.45	−	0.50	−

表3-2-2　堆肥化施設，貯蓄槽等の規模算定に用いる排せつ量

畜　種		体重	ふん（日・頭羽）			尿（日・頭羽）	合計（日・頭羽）	合計（年・頭羽）
			乾物量	水分	生重			
乳用牛	搾乳牛[1)]	700kg	7.5kg	86%	54kg	17kg	71kg	25.6t
	搾乳牛[2)]	700kg	6.8kg	86%	50kg	15kg	65kg	23.7t
	搾乳牛[3)]	600 ～ 700kg	5.7kg	84%	36kg	14kg	50kg	18.3t
	乾乳牛	550 ～ 650kg	4.2kg	80%	21kg	6kg	27kg	9.9t
	育成牛	40 ～ 500kg	3.6kg	78%	16kg	7kg	23kg	8.4t
肉用牛	2才未満	200 ～ 400kg	3.6kg	78%	16kg	7kg	23kg	8.4t
	2才以上	400 ～ 700kg	4.0kg	78%	18kg	7kg	25kg	9.1t
	乳用種	250 ～ 700kg	3.6kg	78%	16kg	7kg	23kg	8.4t
豚	子豚	3 ～ 30kg	0.15kg	72%	0.5kg	1.0kg	1.5kg	0.55t
	豚育豚	30 ～ 110kg	0.53kg	72%	1.9kg	3.8kg	5.7kg	2.08t
	繁殖豚	150 ～ 300kg	0.83kg	72%	3.0kg	7.0kg	10.0kg	3.65t
採卵鶏	雛	—	13g	70%	43g	—	43g	15.7kg
	成鶏[4)]	—	30g	70%	100g	—	100g	36.5kg
	成鶏[5)]	—	30g	60%	75g	—	75g	27.4kg
肉　鶏	ブロイラー	—	26g	70%	87g	—	87g	31.8kg
	ブロイラー[6)]	—	26g	40%	43g	—	43g	15.7kg

注）1）生乳生産量が年間10,000kg以上の場合
　　2）生乳生産量が年間10,000kg程度の場合
　　3）生乳生産量が年間7,600kg程度の場合
　　4）低床式鶏舎のふんの場合
　　5）高床式鶏舎のふんの場合
　　6）床暖房式のウィンドレス鶏舎のふんの場合

（2）処理量（生ふん量）

ア．堆肥化施設の規模を算定する場合は、排せつ量ではなく施設に搬入される量（処理量）を基礎にする。なお、敷料を使用している場合はこれを加えた値を用いる。

イ．標準的な飼養形態での処理対象ふん量（生ふん量）の目安を**表3-2-3～7**に示す。なお、生ふんの水分を実測し、**表3-1-2**に示す乾物量を用いて次式により生ふん量を算出しても良い。

$$生ふん量＝乾物量×\frac{100}{100-水分(\%)}$$

ウ．畜舎内で排せつされたふん量および水分は、予備乾燥、尿、飲水器のコボレ水、雨水、敷料の混入等により、堆肥化施設に搬入されるまでの間に大きく変化する（**表3-2-8～9、図3-2-1**）。

表3-2-3　処理対処ふん量の目安

【乳用牛】

	ふん量（kg/頭・日）	ふんの水分（%）	尿量（kg/頭・日）
搾乳牛	36～54	84～86	14～17
育成牛	16	78	7

注）①100,000kg以上の高泌乳牛も対象に入れ，ふんの量と水分および尿量について，上記のような範囲を示す。対象牛群の平均乳量から，これらの数値を設定する。
②乾乳牛の頭数は経産牛の2/14とし，ふん量を搾乳牛の1/2として搾乳牛に換算する。

参考）
①繋ぎ飼い式牛舎において，処理対象牛群の推定平均泌乳量および尿の混入を考慮にいれ，ふん量を45kg/頭・日および水分86%と設定し，処理対象頭数を経産牛116頭，育成牛12頭とした場合の処理対象ふん量と水分の求め方を以下に示す。
乾乳牛頭数：116頭×2/14＝16.6頭
乾乳牛の搾乳牛換算頭数：16.6頭×1/2＝8.3頭
総搾乳牛換算頭数：116頭×12/14＋8.3頭＝107.7頭≒108頭（切り上げて整数にする）
処理対象ふん量：108頭×45kg＋12頭×16kg＝5,052kg
ふん水分量：108頭×45kg×0.86＋12頭×16kg×0.78≒4,330kg（切上げる）
処理対象ふん水分：4,330kg÷5,052kg×100＝85.7%
②牛舎内でふん尿分離ができない場合（フリーストール牛舎，自然流下式牛舎等）は，それらの牛舎に飼養されている頭数に14～17kgの尿量を乗じて，ふん量に加算して処理対象ふん量とする。この場合，水分は尿量を加えて計算する。
③牛舎の床面からの水分蒸発量は計算に入れない。
④敷料を使用する場合は，敷料の量と水分を計算して処理対象ふん量に加える。

表3-2-4　処理対象ふん量の目安

【肉用牛】

	ふん尿合計（kg/頭/日）	同左の水分（%）
肥育牛	20	81

注）① 和牛，F１，乳用種等の区別はしない。
② ふん搬出までの牛舎内床面での水分蒸発量を考慮に入れている。
③ １日平均使用敷料量を処理対象ふん尿量に加算する。なお，使用敷料量は立地条件、気象条件，天井ファン設置の有無等により大きく変動する。

表3-2-5　処理対象ふん量の目安

【豚】

	ふん量（kg/頭/日）	ふんの水分（%）	尿量（kg/頭/日）
子　豚	0.6	75	0.9
肥育豚	2.1	75	3.6
母　豚	3.0	72	7.0

注）①子豚と肥育豚については，ふんに尿が混入することを想定して水分を75%とし，乾物量は変わらないものとして，ふん量を設定している。
② ふんがさらに乾燥する場合には，ふんの水分を推定し，乾物量に基づいて計算する。
③ 一貫経営の場合は，繁殖母豚数を10倍して肥育豚換算頭数とし，肥育豚のふん量を乗じて処理対象ふん量とする。
④ 豚舎内でふん尿分離ができない場合（オガクズ豚舎，ふん尿混合豚舎等）は，それらの豚舎に飼養されている頭数に尿量を乗じて，ふん量に加算して処理対象ふん量とする。 この場合，水分は尿量を加えて計算する。

表3-2-6　処理対象ふん量の目安

【採卵鶏】

	ふん量（ｇ／羽／日）	ふんの水分（%）
低床式（毎日除ふん）	140	78
低床式（週1回除ふん）	120	75
ウィンドレス鶏舎（予乾装置付）	75	60
高床式	42～50	40～50

注）① 低床式（毎日除ふん）は排せつ直後のふんで，水分の蒸発がないものとする。
② 中大雛のふん量（水分）は43g（70%）とし，幼雛がいる場合はその羽数に1/3を乗じて中大雛羽数に換算してふん量を求める。
③ ふんがさらに乾燥する場合には，ふんの水分を推定し，乾物量に基づいて計算する。
④ なお，ふんの乾物量は表３－２の排せつ量での成鶏の乾物量30g／羽・日と同じとし，実態と合せるために水分量を増している。

表3-2-7　処理対象ふん量の目安

【ブロイラー】

	ふん量（kg/羽/回）	ふんの水分（%）
出荷羽数当り	2.0	35

注）① オールアウト時のふん量で使用した敷料を含めている。オガクズ等の敷料はふん量の約30%以下とみられるが，飼養開始当初に敷く敷料の重量を把握できる場合には，その数値を用いる。
② 年間出荷回数（4回程度）を乗じて，365日で除し１日平均処理対象ふん量としてもよい。

表3-2-8　１日１頭羽当り生ふん量と水分との関係

	水分 %	60	65	70	72	75	78	80	81	85	86	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
搾乳牛	乾物量	6.3	6.3	6.3		6.3		6.3		6.3	6.3	6.3
	水分量	9.5	11.7	14.7	—	18.9	—	25.2	—	35.7	38.7	56.7
	計	15.8	18.0	21.0		25.2		31.5		42.0	45.0	63.0
肥育牛	乾物量	3.8	3.8	3.8		3.8	3.8	3.8	3.8	3.8		3.8
	水分量	5.7	7.1	8.9	—	11.4	13.5	15.2	16.2	21.5	—	34.2
	計	9.5	10.9	12.7		15.2	17.3	19.0	20.0	25.3		38.0
肥育豚	乾物量	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53		0.53		0.53		0.53
	水分量	0.80	0.98	1.24	1.37	1.57	—	2.12	—	3.00	—	4.77
	計	1.33	1.51	1.77	1.90	2.10		2.65		3.53		5.30
採卵鶏	乾物量	0.030	0.030	0.030		0.030		0.030		0.030		0.030
	水分量	0.045	0.056	0.070	—	0.090	—	0.120	—	0.170	—	0.270
	計	0.075	0.086	0.100		0.120		0.150		0.200		0.300

注）⑴ 乾物量は変化しないものとした。
⑵ 　は排せつ時の生ふん量（表3-2-2）
⑶ 　は処理対象生ふん量（表3-2-3～7）であり，産卵鶏では低床式週１回除ふんの場合である。

表3-2-9　肥育豚１日１頭当り生ふん量と水分およびオガクズ添加量との関係

		水分 % 60	65	70	72	75	80	85	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
肥育豚	乾物量	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
	水分量	0.80	0.98	1.24	1.37	1.57	2.12	3.00	4.77
	計	1.33	1.51	1.77	1.90	2.10	2.65	3.53	5.30
添加後の目標水分65%の場合	オガクズ水分別の添加量	水分25%	0.221	0.333	0.525	0.994	1.77	3.31	
		水分30%	0.253	0.380	0.600	1.14	2.02	3.79	

注）(1)乾物量は変化しないものとした。

(2) [二重枠] は排せつ時の生ふん量（表3-2-2），[枠] は処理対象生ふん量（表3-2-5）である。

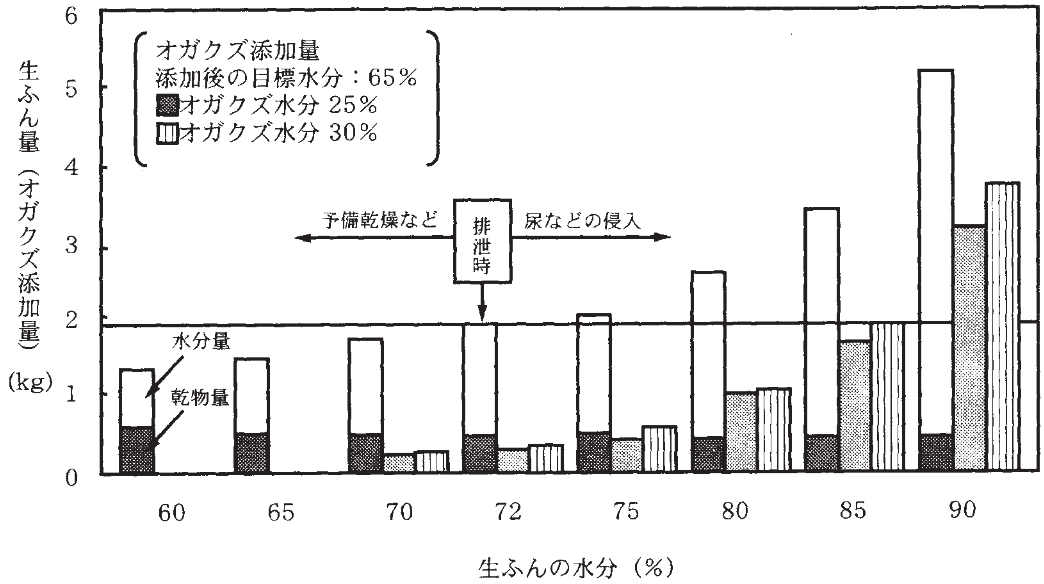


図3-2-1　肥育豚１日２頭当りふん量と水分やよびオガクズ添加量との関係

＊＊＊＊

実際の処理対象ふん量は様々であり、特に共同堆肥化処理施設などを新設する場合には、実態把握は困難である。本マニュアルでは、規模算定の簡素化にも配慮し、標準的な飼養形態を想定した場合の処理対象ふん量を目安として提示する。

なお、マニュアル改訂に当り処理対象ふん量の改訂についても検討を行ったが、畜種別、飼養形態別に体系的に処理対象ふん量を示した新たな事例はほとんどなかったため、今回の改定では見送ることとした。

＊＊＊＊

２）副資材の水分と添加量

> 生ふんに物性改良（水分調整および通気性向上）を目的として添加する主な副資材は、オガクズ、モミガラ、戻し堆肥、無気質系資材などがあり、その性状等については第１章の**表1-3-2～3**や**表1-4-1～4**などを参照する。

ア．副資材の水分が高いと添加する量が多くなり（処理経費の増加）、また、堆肥化に必要とする容積、面積も増加するので、なるべく水分の少ない資材の添加が望ましい(**表3-2-8～20、**

図3-2-1～13)。なお、副資材の添加量は次式より求める。

$$副資材の添加量＝生ふん量\times\frac{生ふんの水分（\%）-調整目標水分(\%)}{調整目標水分(\%)-副資材の水分(\%)}$$

イ．副資材の粒径は水分調整（吸水性）の観点では小さなものが望ましく、通気性の観点ではある程度大きなものが有効である。

ウ．副資材の平均的な水分は次の通りである。

ａ．オガクズ：20～30％

ｅ．モミガラ：15～25％（加水粉砕モミガラは20%以上）

ｃ．無機質資材：１～15％

ｄ．戻し堆肥：50%以下（通風またはハウス乾燥処理などが必要）

表3-2-10　副資材の水分別の添加量（生ふん1kg当り）

［添加後水分60％に調整した場合］

生ふん水分 ＼ 副資材水分	生ふんの水分別の添加量					副資材の水分による比率
	70％	75％	80％	85％	90％	
％	kg	kg	kg	kg	kg	
10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	1.0
20	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	1.3
30	0.33	0.50	0.67	0.83	1.00	1.7
40	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	2.5
50	1.00	1.50	2.00	2.50	3.00	5.0
生ふんの水分による比率	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	—

表3-2-11　副資材の水分別の添加量（生ふん1kg当り）

［添加後水分65％に調整した場合］

生ふん水分 ＼ 副資材水分	生ふんの水分別の添加量					副資材の水分による比率
	70％	75％	80％	85％	90％	
％	kg	kg	kg	kg	kg	
10	0.09	0.18	0.27	0.36	0.45	1.0
20	0.11	0.22	0.33	0.44	0.56	1.2
30	0.14	0.29	0.43	0.57	0.71	1.6
40	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	2.2
50	0.33	0.67	1.00	1.33	1.67	3.7
60	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	11.1
生ふんの水分による比率	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	－

表3-2-12　副資材の水分別の添加量（生ふん1kg当り）

［添加後水分68％に調整した場合］

生ふん水分 ＼ 副資材水分	生ふんの水分別の添加量					副資材の水分による比率
	70％	75％	80％	85％	90％	
％	kg	kg	kg	kg	kg	
10	0.03	0.12	0.21	0.29	0.38	1.0
20	0.04	0.15	0.25	0.35	0.46	1.2
30	0.05	0.18	0.32	0.45	0.58	1.5
40	0.07	0.25	0.43	0.61	0.79	2.1
50	0.11	0.39	0.67	0.94	1.22	3.2
60	0.25	0.88	1.50	2.13	2.75	7.2
生ふんの水分による比率	1.0	3.5	6.0	8.5	11.0	—

表3-2-13　副資材の水分別の添加量（生ふん1kg当り）

［添加後水分72％に調整した場合］

生ふん水分 ＼ 副資材水分	生ふんの水分別の添加量				副資材の水分による比率
	75％	80％	85％	90％	
％	kg	kg	kg	kg	
10	0.05	0.13	0.21	0.29	1.0
20	0.06	0.15	0.25	0.35	1.2
30	0.07	0.19	0.31	0.43	1.5
40	0.09	0.25	0.41	0.56	1.9
50	0.14	0.36	0.59	0.82	2.8
60	0.25	0.67	1.08	1.50	5.2
生ふんの水分による比率	1.0	2.7	4.3	6.0	－

表3-2-14　搾乳牛１日１頭当り生ふん量と水分およびオガクズ添加量との関係

水分		% 60	65	70	75	80	85	86	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
搾乳牛	乾物量	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
	水分量	9.5	11.7	14.7	18.9	25.2	35.7	38.7	56.7
	計	15.8	18.0	21.0	25.2	31.5	42.0	45.0	63.0
添加後の目標水分72%の場合		オガクズ水分別の添加量	水分25%	1.61	5.36	11.6	13.4	24.1	
			水分30%	1.80	6.00	13.0	15.0	27.0	

注）(1) 乾物量は変化しないものとした。

(2) [ ] は排せつ時の生ふん量（表3-2-2），[ ] は処理対象生ふん量（表3-2-3）である。

表3-2-15　肥育牛１日１頭当り生ふん量と水分およびオガクズ添加量との関係

水分		% 60	65	70	75	78	80	81	85	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
肥育牛	乾物量	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
	水分量	5.7	7.1	8.9	11.4	13.5	15.2	16.2	21.5	34.2
	計	9.5	10.9	12.7	15.2	17.3	19.0	20.0	25.3	38.0
添加後の目標水分72%の場合		オガクズ水分別の添加量	水分25%	0.97	2.21	3.23	3.83	7.00	14.6	
			水分30%	1.09	2.47	3.62	4.29	7.83	16.3	

注）(1) 乾物量は変化しないものとした。

(2) [ ] は排せつ時の生ふん量（表3-2-2），[ ] は処理対象生ふん量（表3-2-3）である。

表3-2-16　採卵鶏１日１羽当り生ふん量と水分およびオガクズ添加量との関係

水分		% 60	65	70	75	80	85	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
採卵鶏	乾物量	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
	水分量	0.045	0.056	0.070	0.090	0.120	0.170	0.270
	計	0.075	0.086	0.100	0.120	0.150	0.200	0.300
添加後の目標水分65%の場合	オガクズ水分別	水分25%	0.0125	0.0300	0.0563	0.010	0.188	
		水分30%	0.0143	0.0343	0.0643	0.114	0.214	

注）(1) 乾物量は変化しないものとした。

(2) [ ] は排せつ時の生ふん量（表3-2-2），[ ] は処理対象生ふん量（表3-2-6）

である。なお，低床式週１回除ふんの場合である。

表3-2-17　搾乳牛１日１頭当り生ふん量と水分および戻し堆肥添加量との関係

水分		% 60	65	70	75	80	85	86	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
搾乳牛	乾物量	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3
	水分量	9.5	11.7	14.7	18.9	25.2	35.7	38.7	56.7
	計	15.8	18.0	21.0	25.2	31.5	42.0	45.0	63.0
添加後の目標水分68%の場合	戻し堆肥水分別の添加量	水分40%	1.50	6.3	13.5	25.5	28.9	49.5	
		水分50%	2.33	9.8	21.0	39.7	45.0	77.0	

注）(1) 乾物量は変化しないものとした。

(2) [ ] は排せつ時の生ふん量（表3-2-2），[ ] は処理対象生ふん量（表3-2-3）である。

第３章　施設規模の算定

表3-2-18　肥育牛１日１頭当り生ふん量と水分および戻し堆肥添加量との関係

水分		% 60	65	70	75	78	80	81	85	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
肥育牛	乾物量	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
	水分量	5.7	7.1	8.9	11.4	13.5	15.2	16.2	21.5	34.2
	計	9.5	10.9	12.7	15.2	17.3	19.0	20.0	25.3	38.0
添加後の目標水分68%の場合		戻し堆肥水分別の添加量	水分40%	0.91	3.80	6.18	8.14	9.3	15.4	29.9
			水分50%	1.21	5.91	9.61	12.7	14.4	23.9	46.4

注）（１）乾物量は変化しないものとした。

（２）［二重枠］は排せつ時の生ふん量（表3-2-2），［枠］は処理対象生ふん量（表3-2-4）である。

表3-2-19　肥育豚１日１頭当り生ふん量と水分および戻し堆肥添加量との関係

［添加後の目標水分60%の場合］

水分		% 60	65	70	72	75	80	85	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
肥育豚	乾物量	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53	0.53
	水分量	0.80	0.98	1.24	1.37	1.57	2.12	3.00	4.77
	計	1.33	1.51	1.77	1.90	2.10	2.65	3.53	5.30
戻し堆肥水分別の添加量		水分40%	0.38	0.89	1.14	1.56	2.65	4.41	7.95
		水分50%	0.76	1.77	2.28	3.15	5.30	8.83	15.9

注）（１）乾物量は変化しないものとした。

（２）［二重枠］は排せつ時の生ふん量（表3-2-2），［枠］は処理対象生ふん量（表3-2-5）である。

表3-2-20　採卵鶏１日１羽当り生ふん量と水分および戻し堆肥添加量との関係

［添加後の目標水分60%の場合］

水分		% 60	65	70	75	80	85	90
		kg	kg	kg	kg	kg	kg	kg
採卵鶏	乾物量	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
	水分量	0.045	0.056	0.070	0.090	0.120	0.170	0.270
	計	0.075	0.086	0.100	0.120	0.150	0.200	0.300
戻し堆肥水分別の添加量		水分40%	0.022	0.05	0.09	0.15	0.25	0.45
		水分50%	0.043	0.10	0.18	0.30	0.50	0.90

注）（１）乾物量は変化しないものとした。

（２）［二重枠］は排せつ時の生ふん量（表3-2-2），［枠］は処理対象生ふん量（表3-2-6）である。なお，低床式週１回除ふんの場合である。

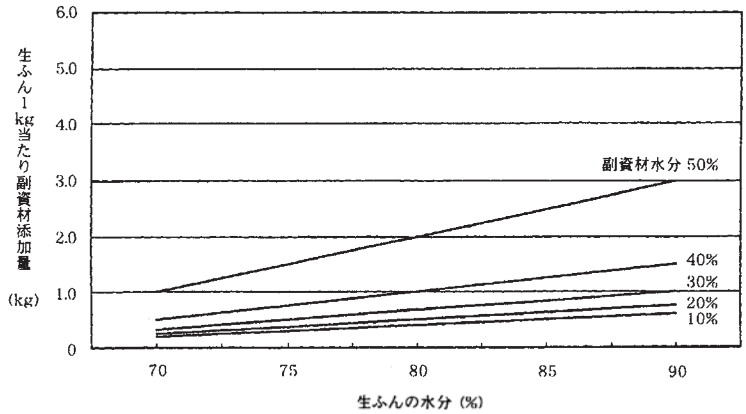


図3-2-2　副資材の水分と添加量との関係（添加後水分60%に調整した場合）

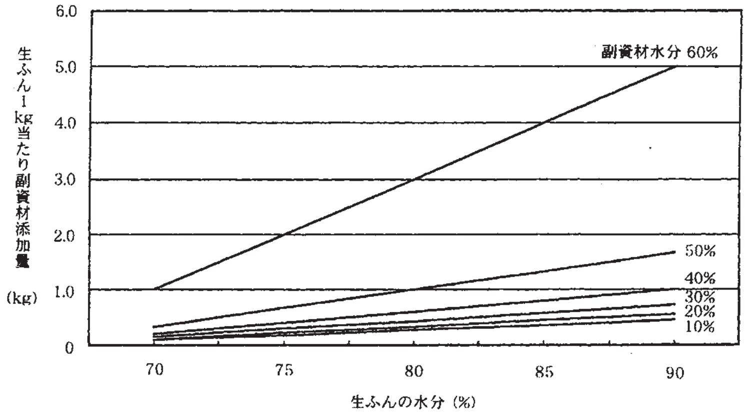


図3-2-3　副資材の水分と添加量との関係（添加後水分65%に調整した場合）

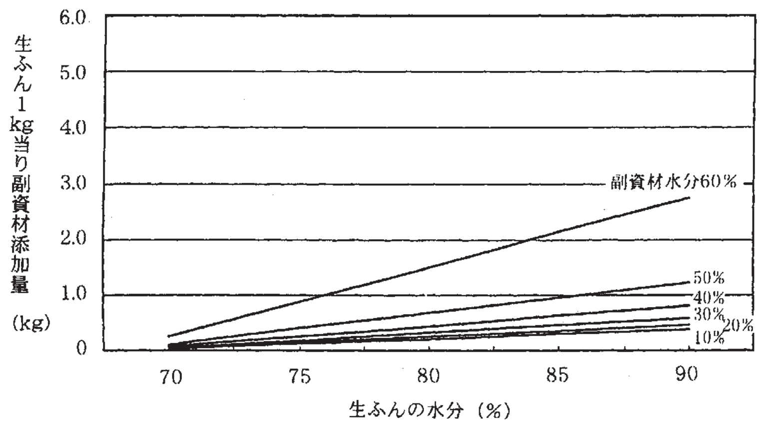


図3-2-4　副資材の水分と添加量との関係（添加後水分68%に調整した場合）

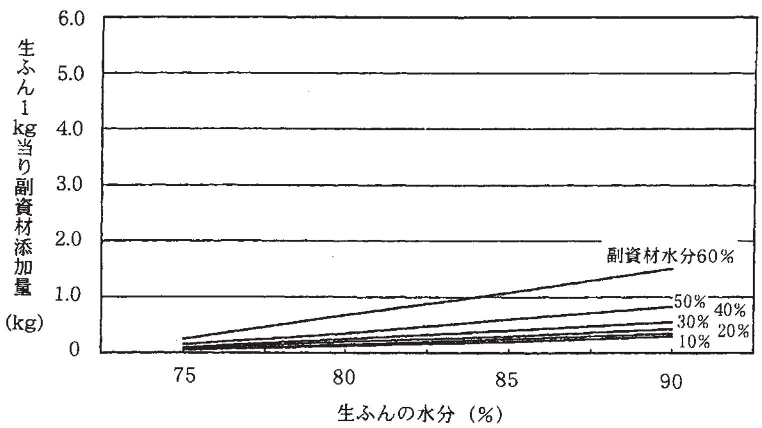


図3-2-5　副資材の水分と添加量との関係（添加後水分72%に調整した場合）

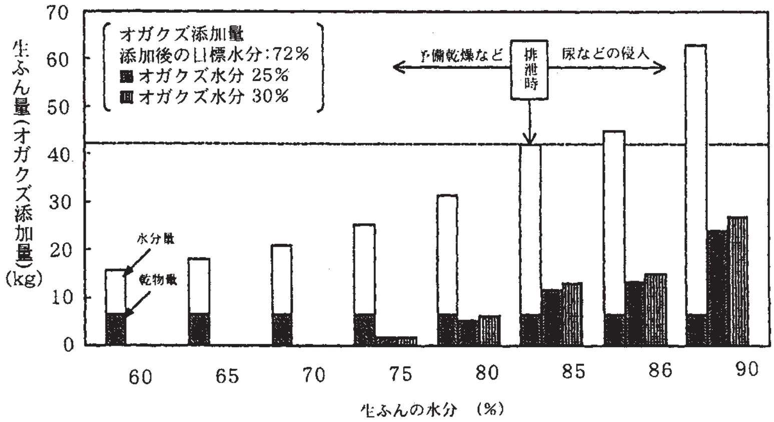


図3-2-6　搾乳牛１日１頭当り生ふん量と水分およびオガクズ添加量との関係

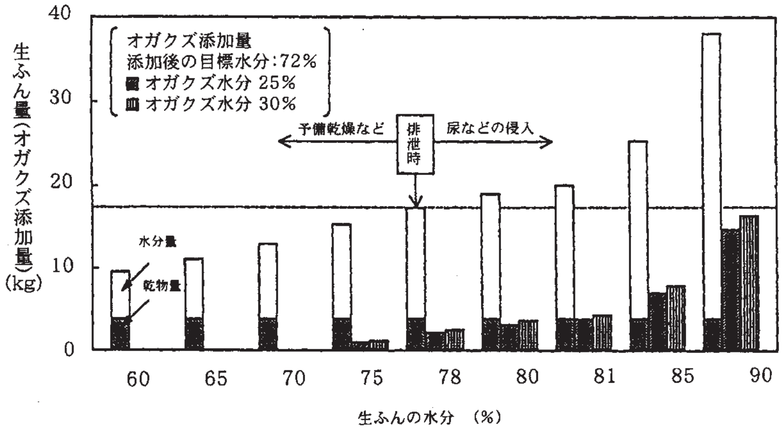


図3-2-7　肥育牛１日１頭当り生ふん量と水分およびオガクズ添加量との関係

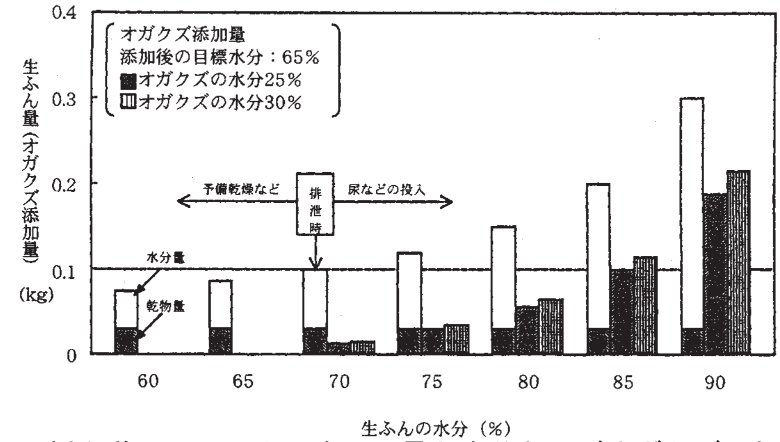


図3-2-8　採卵鶏１日１羽当り生ふん量と水分およびオガクズ添加量との関係

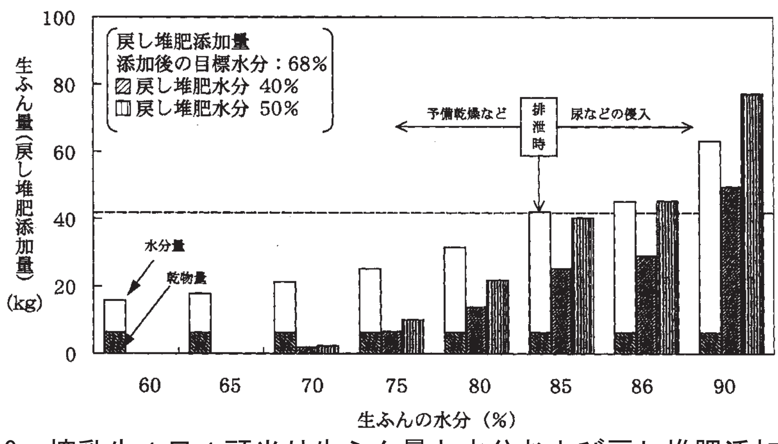


図3-2-9　搾乳牛１日１頭当り生ふん量と水分および戻し堆肥添加量との関係

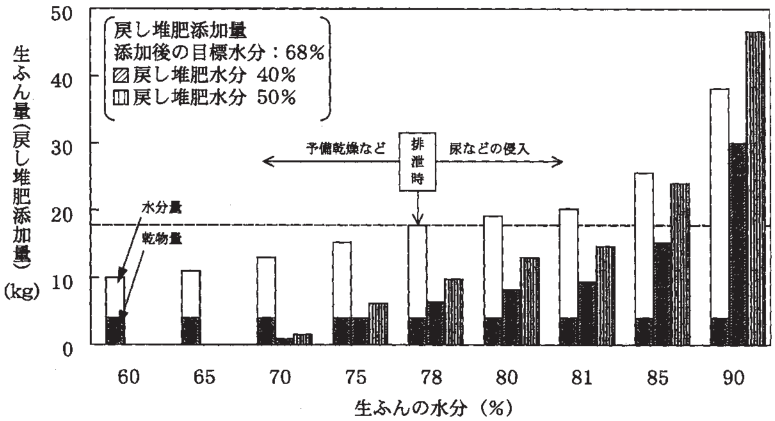


図3-2-10　肥育牛１日１頭当り生ふん量と水分および戻し堆肥添加量との関係

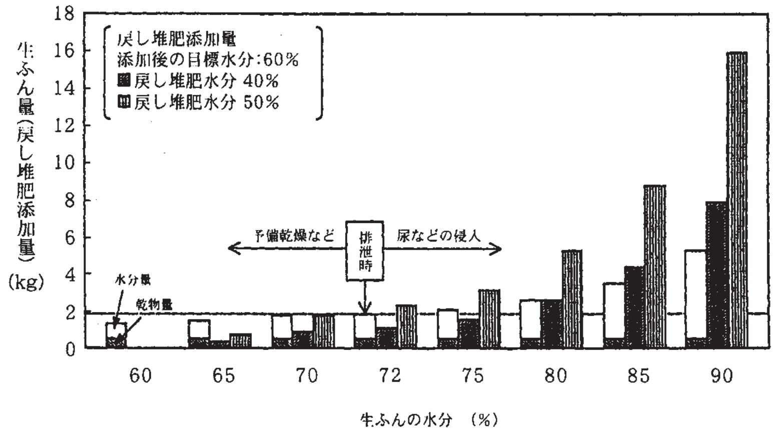


図3-2-11　肥育豚１日１頭当り生ふん量と水分および戻し堆肥添加量との関係

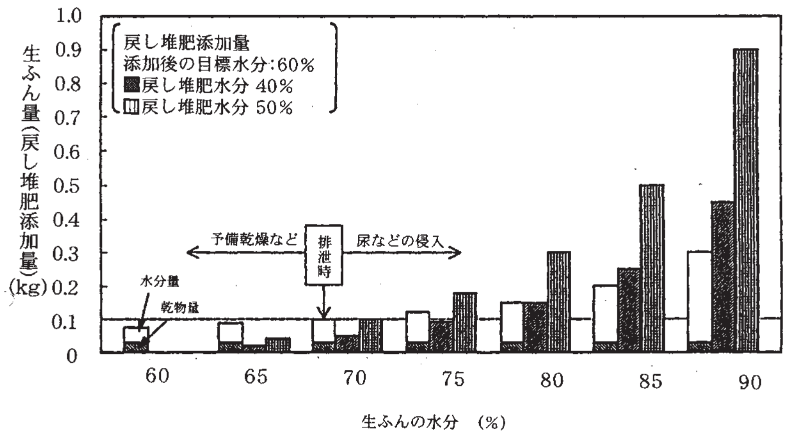


図3-2-12　採卵鶏１日１羽当り生ふん量と水分および戻し堆肥添加量との関係

3）かさ密度

副資材を添加して水分調整した堆肥材料（新鮮ふんの投入時）のかさ密度については、千葉県畜産センターの試験成績より作成したデータを目安として提示した（**表3-2-21**）。かさ密度800kg/㎥以上および400kg/㎥以下の場合はデータが不足しているため、それぞれ800kg/㎥および400kg/㎥の固定値を計算事例では暫定的に用いる。

ア．粉砕モミガラを用いた場合のかさ密度は、未粉砕モミガラの場合よりも高くなるものと推定されるが、試験データがないため、オガクズ添加時のかさ密度を採用することとする。

イ．搾乳牛での半乾燥ふんおよび固液分離ふんのかさ密度については、図3-2-13、表3-2-22の数値を用いる。

ウ．発酵終了時のかさ密度については、表3-2-21、22、図3-2-13などから得られた該当水分のかさ密度の値を用いる。

〔例〕オガクズ添加、堆積高さ200㎝、肥育豚の場合

ａ．処理前の水分70％の場合のかさ密度：800kg/㎥

ｂ．処理後の水分60％の場合のかさ密度：610kg/㎥

エ．堆肥化処理施設に搬入された副資材未添加の新鮮な生ふんのかさ密度は900～1,000kg/㎥程度、さらに長期間堆積した古いふんの場合は1,000kg/㎥以上とする。

表3-2-21　水分調整後の堆肥材料のかさ密度（副資材別・堆積高別）

（kg／㎥）

種類	オガクズ添加					未粉砕モミガラ添加					戻し堆肥添加				
水分＼高さ	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm	250 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm	250 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm	250 cm
%															
40	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	430	480	520	560	590
42	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	450	500	540	580	610
44	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	460	510	560	600	630
46	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	480	530	580	620	650
48	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	500	560	610	650	680
50	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	530	580	630	670	710
52	〃	〃	〃	420	440	〃	〃	〃	〃	〃	540	600	650	690	720
54	〃	420	450	470	490	〃	〃	〃	〃	〃	560	620	670	710	740
56	430	460	490	510	540	410	410	420	430	430	600	660	730	750	770
58	470	510	530	560	590	420	440	460	480	490	660	720	780	780	790
60	510	550	580	610	640	440	470	500	530	560	710	780	800	800	800
62	590	640	670	680	700	520	560	600	640	650	750	790	〃	〃	〃
64	670	730	760	760	770	610	660	710	750	750	780	800	〃	〃	〃
66	720	780	800	800	800	670	730	770	800	800	800	〃	〃	〃	〃
68	760	790	〃	〃	〃	720	770	790	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
70	790	800	〃	〃	〃	770	800	800	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
72	800	〃	〃	〃	〃	800	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

注）①千葉県畜産センターの成績より作成した。

表3-2-22　半乾燥ふんおよび固液分離ふんのかさ密度

（kg／㎥）

種類	半乾燥ふん				固液分離ふん			
水分＼高さ	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm	50 cm	100 cm	150 cm	200 cm
%								
64	—	—	—	—	450	460	480	500
66	—	—	—	—	470	490	510	540
68	—	—	—	—	490	520	550	580
70	—	—	—	—	520	550	590	620
72	—	—	—	—	550	580	630	660
74	—	—	—	—	580	620	670	700
76	—	—	—	—	670	730	800	—
78	380	400	420	440	—	—	—	—
80	390	420	460	500	—	—	—	—

注）草地試験場の試験成績（図3-2-13）より作成した。

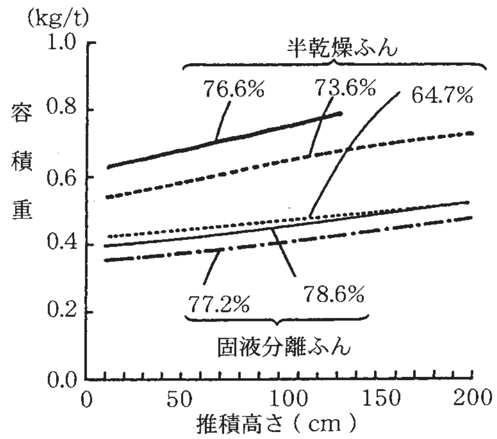


図3-2-13　半乾燥ふんおよび固液分離ふんのかさ密度

４）処理条件

堆肥化施設の処理条件の設定にあたっては、第１章などに示した基本的な考え方と手順および規模算定に用いる基礎数値を熟読・理解したうえで、処理方式と地域の条件に最も適した処理条件を設定しなければならない（**表3-2-23～25**）。

以下に、標準的な処理条件において目安となる数値を示すが、これらは相互に関連する数値であることに留意する必要がある。

（１）堆肥材料の水分調整

ア. 水分調整は堆肥材料の通気性を改善し、好気的発酵を促進するために重要である。調整目標水分は原則として68%以下とする。なお、**表3-2-24**に畜種別、副資材別にその目安を示す。

イ．戻し堆肥を利用して水分調整を行う場合において、処理後の材料水分が当初予定の水分まで乾燥しない場合は、下記の方法でその乾燥を図る。

ａ．ハウス乾燥装置（温暖地域以外では冬期の乾燥能力が無くなることに留意すること）

ｂ．乾燥舎（通気型堆肥舎と同構造で、材料堆積高さは１ｍ程度とする）における通気量0.5～1.0m^3/分/m^3前後による常温通風あるいは温風通風

ｃ．前記２方式の組み合わせ

（２）堆肥（製品）水分の目安

ア．堆肥（製品）の水分は低くすることが望ましい反面、副資材や燃料等の運転経費を圧迫しやすいため、以下を堆肥水分の目安とする。

ａ．密閉縦型堆肥化装置：55%以下

ｂ．密閉縦型堆肥化装置以外：40～70%（流通・市販の場合は60%以下が望ましい）

（３）切返しまたは撹拌回数

ア．良好な発酵状態を維持するとともに、材料の粉砕・混合による品質の均一化を図るために、切返しまたは撹拌は重要な操作である。目安を以下に示す。

ａ．堆肥舎：月１回以上。なお、堆積初期は10～20日に１回程度が望ましい。

b．開放型堆肥化装置：１～２回/日程度

c．密閉縦型堆肥化装置：10～24回転/日程度

イ．冬期での開放型堆肥化装置における過度の撹拌操作は、放熱により発酵を阻害する場合があるため、注意が必要である。

＊＊＊＊

密閉横型堆肥化装置については近年導入事例が極めて少ないことから、規模算定に要する数値については参照できる状態としつつも、施設規模の設計計算例としては示さないこととした。

＊＊＊＊

表3-2-23　堆肥化処理条件

施設 / 条件	堆肥舎	通気型堆肥舎		開放型堆肥化装置		密閉型堆肥化装置	
		発酵槽	堆肥舎	発酵槽	堆肥舎	発酵槽	堆肥舎
材料水分	牛：72%以下 豚：65%以下 鶏：　〃	牛：72%以下 豚：65%以下 鶏：　〃	—	牛：72%以下 豚：65%以下 鶏：　〃	—	横型：60%以下	—
堆肥水分	50～70%	—	50～70%	—	40～70%	縦型：55%以下	横型：50%以下
切返し回数	1回／月以上	—	1回／月	—	1回／月	—	1回／月
撹拌回数	—	—	—	1～2回/日	—	10～24回/日	—
通気量	—	0.05m^3/分/m^3以上	—	0.1m^3/分/m^3前後以上	—	0.1～0.2m^3/分/m^3	—

表3-2-24　調整目標水分の目安

	牛（搾乳牛，肉用牛）	豚・鶏（採卵鶏，ブロイラー）
オガクズ添加	72%以下	65%以下
戻し堆肥添加	68%以下	60%以下

注）①牛の場合，深形の発酵槽の開放型堆肥化装置では，調整目標水分が高いと堆肥材料が団子状態に成り易いので，65%以下とする。

②牛の場合，①以外の処理方式（堆肥舎，通気型堆肥舎，浅形の発酵槽の開放型堆肥化施設など）で，出来上がりの堆肥製品を自家利用する場合は，表記水分を目安とするが，流通させる場合は表記水分より低く設定し，製品水分の低減化を図ることも検討する。

③豚･鶏の場合，堆積材料の圧密が危惧される深形の発酵槽での場合であり，浅形の発酵槽では表記水分よりも高くすることができる。

④なお，深形≧発酵槽内材料有効堆積高さ≒1 m程度＞浅形を想定。

表3-2-25　処理日数の目安

日数 / 処理施設	畜ふんのみ（戻し堆肥を含む）			副資材添加の場合		
	発酵槽	堆肥舎	合計	発酵槽	堆肥舎	合計
堆肥舎	— 日	— 日	50 ～ 60 日	— 日	— 日	150 ～ 180 日
通気型堆肥舎	20 ～ 25	15 ～ 20	35 ～ 45	25 ～ 30	65 ～ 90	90 ～ 120
開放型堆肥化装置	15 ～ 20	15 ～ 20	30 ～ 40	20 ～ 25	40 ～ 65	60 ～ 90
密閉型 縦型	10 ～ 14	20 ～ 26	30 ～ 40	—	—	—
密閉型 横型	5 ～ 7	25 ～ 33	30 ～ 40	—	—	—

注）モミガラその他作物収穫残渣添加の場合は下限日数，オガクズその他木質系副資材添加の場合は上限日数とする。

（４）通気量

ア．堆積材料中への通気は、酸素供給による好気性発酵促進、その結果生じた発酵熱による蒸

発水分の持出し、腐熟促進による高品質化、堆肥化処理期間の短縮（施設の必要面積の減少）など、様々な効果が期待される。通気量の目安は次の通りである。

ａ．通気型堆肥舎および開放型堆肥化装置：0.05㎥/分/㎥堆積材料以上、なお、堆積高さ1m以上の場合は0.1㎥/分/㎥堆積材料前後以上とし、発酵材料温度が60～70℃以上になった場合は間欠通気としても良い。なお、堆肥舎においては、エアコンプレッサで簡易にごく少量を通気する方法もある。

ｂ．密閉縦型堆肥化装置：0.1～0.2㎥/分/㎥堆積材料程度

イ．通気操作の前提として、副資材による水分調整等により堆積材料の通気性を確保することが必須である。送風機は必要な通気量および静圧から選定する必要があり、ターボファン、リングブロワ、ルーツブロワ等から処理方法に適した機種を選択することにより、電力消費の最適化を図ることができる。

（５）処理日数の目安（表3-2-26、27参照）

ア．処理日数については、上述の処理条件（１)～(４）を順守することを前提として、以下を考慮して目安を設定した。

ａ．腐熟の目標は、作物などに障害を与えない程度にまで処理することとする。

ｂ．施設野菜のように特に完熟堆肥を必要とする場合は、さらに堆肥の利用者が処理（後熟）することも併せて検討する。

５）総乾物分解率と分解に伴う発熱量

表3-2-26、27に示した目安は前項の処理条件を前提としたものであり、処理条件が異なる場合にはこれを修正して適用する。無通気型堆肥舎以外の処理では１次処理は通気型堆肥舎または発酵槽、２次処理は１次処理終了後の堆肥舎における堆積発酵処理を基本とする。なお、１次処理を堆積方式で行った上で、２次処理を撹拌方式で処理する場合には本項で示す１次処理、２次処理それぞれの目安を入れ替えて施設規模の算定を行う。

ア．畜種により乾物（有機物）の分解速度と乾物分解に伴う発熱量に差があるが、計算の簡略化のため、畜種によらず統一値を目安として採用し、また、副資材についても同様の扱いとした。なお、総乾物分解率については処理方式別に設定している。

イ．戻し堆肥および無機質系副資材は分解しないものとする（発熱量を0kcalとする)。

ウ．１次処理および２次処理での総乾物分解率および処理日数については、相互に若干の融通を行い計算することは可であるが、全期間における総乾物分解率および処理日数は表に示す範囲内で計算する。

エ．総乾物分解率と処理日数は、それぞれ一定の幅をもたせて目安を設定しており、連動した数値を採用する。例えば、施設規模等を多少の余裕を持って設計する場合は総乾物分解率および処理日数の上限値を採用し、逆に余裕を見込まない場合にはそれぞれの下限値を採用する。

オ．採卵鶏およびブロイラーの場合は、牛や豚の場合と比較して総乾物分解率が低くなるという試験データに基づき、表中の下限値となる総乾物分解率を採用する、処理日数はこれに連

動する必要はなく、通常値等を採用する。

表3-2-26　畜ふんの総乾物分解率と乾物分解発熱量の目安（戻し堆肥添加を含む）

処理施設	1次処理 処理日数	1次処理 1次処理期間中の総乾物分解率（A）	1次処理 乾物分解発熱量	2次処理 処理日数	2次処理 2次処理期間中の総乾物分解率（B＝C－A）	2次処理 乾物分解発熱量	全期間 処理日数	全期間 全期間の総乾物分解率（C）
	日	%	kcal/kg	日	%	kcal/kg	日	%
堆肥舎	—	—	—	50～60	計算により求める	4,500	50～60	30（25～33）
通気型堆肥舎	20～25	22（20～25）	4,500	15～20		4,500	35～45	35（27～38）
開放型堆肥化装置	15～20	27（23～30）	4,500	15～20		4,500	30～40	40（30～43）
密閉型 縦型	10～14	30（27～33）	4,500	20～26		4,500	30～40	35（27～38）
密閉型 横型	5～7	15（13～20）	4,500	25～33		4,500	30～40	35（27～38）

注）①固液分離した畜ふんの分解発熱量は4,000kcal／減量乾物1kgとする。
　　②分解率は1次処理前の乾物量に対する割合である。
　　③全期間における処理日数と総乾物分解率では，その上下限値は相互に連動する。
　　④鶏での総乾物分解率は下限値を採用するが，処理日数の下限値とは連動しない。
　　⑤各総乾物分解率の欄の括弧（　）前の数値は平均値ではなく，通常値である。

表3-2-27　副資材添加畜ふんの総乾物分解率と乾物分解発熱量の目安

処理施設		1次処理 処理日数	1次処理 1次処理期間の総乾物分解（A）	1次処理 乾物分解発熱量	2次処理 処理日数	2次処理 2次処理期間中の総乾物分解率（B＝C－A）	2次処理 乾物分解発熱量	全期間 処理日数	全期間 全期間の総乾物分解率（C）
		日	%	kcal/kg	日	%	kcal/kg	日	%
堆肥舎	畜ふん	—	—	—	150～180	計算により求める	4,500	150～180	30（25～33）
	副資材						3,000		9（8～10）
通気型堆肥舎	畜ふん	25～30	27（20～30）	4,500	65～90		4,500	90～120	35（27～38）
	副資材		9（8～10）	3,000			3,000		11（10～12）
開放型堆肥化装置	畜ふん	20～25	34（25～38）	4,500	40～65		4,500	60～90	40（30～43）
	副資材		12（11～13）	3,000			3,000		14（13～15）

注）①副資材はオガクズ，パーク，モミガラ，麦藁などの有機質副資材などである。
　　②分解率は1次処理前の乾物量に対する割合である。
　　③全期間での処理日数と総乾物分解率では，その上下限値は相互に連動する。
　　④鶏での総乾物分解率は下限値を採用するが，処理日数の下限値とは連動しない。
　　⑤各総乾物分解率の欄の括弧（　）前の数値は平均値ではなく，通常値である。

6）水分1kg当りの蒸発熱量

水分1kg当りの必要蒸発熱量は理論上は600kcal程度であるが、壁面および撹拌時の熱損失や通気空気が持出す熱エネルギーなどを考慮した場合の必要蒸発熱量は冬期で800～1,000kcal/kg水分程度と考えられる。下記の数値により施設規模の算定を行う。

ア．密閉縦型堆肥化装置

ａ．800kcal/kg水分。ただし、排気煙道でのプレートフィン式熱交換等により温風を通気する場合は700kcal/kg水分程度とする。

ｂ．灯油等の化石燃料の使用により加温を行う場合は燃料1L当り水10kg、また、電気ヒータでは消費電力1kWh（1kWのヒータを1時間使用した祭に得られる熱量）当り水1kgが蒸発するものとする。

ｃ．リングブロワ等の場合、背圧が高い場合には空気の圧縮や電動機の発熱により通気空気

がヒータ利用時と同程度に加温される場合がある。この場合、背圧が通常の場合に比べてリングブロワ等の消費電力が増加するが、この増加分が通気空気の加温に使用されるとして、電気ヒータと同様に水分蒸発量を算出しても良い。ただし、その背圧はリングブロワ等の仕様範囲内であり、かつ、必要な通気量が確保できることを必ず確認する。

d．密閉縦型堆肥化装置は発酵槽が断熱材で覆われており、また、密閉型であるために、外気との接触による蒸発水分の結露が生じにくいため、この効果を考慮して0.05kg/$m^3_{通気量}$の水分蒸発量を加算できる。

e．堆肥化処理の発酵熱源として、食用油精製過程で発生する廃白土を活用する場合がある。廃白土は油分を30～40％程度含有し、また水分が５％程度と低いことから、発酵促進効果が高い。廃白土は8500kcal/kg程度の発熱量を有しており、投入１kg当り９～12kgの水分蒸発することになる。廃白土の発熱量は油分の含有量や種類、保管方法により様々であるため、施設規模の算定にあたっては、その地域で入手可能な廃白土の発熱量を調べた上で活用する。なお、廃白土の入手性は地域により大きく異なることに留意し、入手の難しい地域においては、廃白土の利用を前提とした施設規模の算定は行わない。

＊＊＊＊

堆肥舎および開放型堆肥化装置では、堆積材料の表層温度は外気温による影響を受けるために、堆積材料の中心温度と比較して低く、特に圧送通気式の堆積材料の表層で結露が発生しやすい。これに対して密閉縦型堆肥化装置では、発酵槽全体が断熱材で覆われていることから、堆積材料表層での結露が発生しにくいために、通気による水分の持ち出しが比較的多く乾燥能力が高い。

マニュアル改訂にあたり、このような密閉縦型堆肥化装置に特有の断熱効果を考慮した。具体的には、冬期における堆肥舎および開放型堆肥化装置の堆積材料の表層温度を30℃（飽和水蒸気量30.4g/m^3)、密閉縦型堆肥化装置の排気温度を50℃（飽和水蒸気量82.9g/m^3）とし、その差分、82.9g/m^3−30.4g/m^3=52.5g/m^3≒0.05kg/m^3を密閉縦型堆肥化装置の水分蒸発量に加算できる断熱効果とした。

＊＊＊＊

イ．密閉縦型堆肥化装置以外の堆肥化施設：900kacl/kg水分。発酵槽床下への断熱材の敷設などの断熱保温性の優れた施設では、前記数値から50kcal/kg水分程度を減じた数値（850kcal kgg水分）を使用しても良い。

ウ.なお、堆肥化処理能力が向上する春から夏、秋にかけてでは、前記数値から50～100kcal/kg水減じた数値（800～850kcal/kg水）程度と想定される。

７）余裕率（安全係数）

規模の算定にあたっては排せつされるふん中の水分の変動および立地・気象条件などを考慮して次の余裕率を用いる。なお、地域区分については**図3-2-14**を参照する。

ア．ふん中の水分の変動（全国共通）：10％

イ．地域係数（**表3-2-28**）

a．温暖地域：０％

b．中間地域：10％

c．寒冷・積雪地域：20％

ウ．密閉縦型堆肥化装置は断熱性能が高いため地域係数：０％とする。

エ．余裕率の計算例を表3-2-29に示す。

オ．飼育頭羽数は処理量に直接影響する変動要因である。最大飼育頭数を前提として施設規模を算定する。

表3-2-28　地域別の余裕率（地域係数）の目安

	最寒月の月平均値	２月の積雪深	余裕率
温暖地域	2℃以上	0 cm	0 %
中間地域	2℃以上	20以下	10
寒冷・積雪地域	−2℃以下	20以上	20

表3-2-29　余裕率の試算例

［堆肥化に必要とする実容積500㎥の場合］

	水分の変動	地域係数	計	必要容積
温暖地域	10 %	0 %	10 %	550 ㎥
中間地域	10	10	20	600
寒冷・積雪地域	10	20	30	650

図3-2-14　地帯区分参考図

8）その他

（1）天日乾燥

> 堆肥化施設の前処理（予備乾燥）の一つとしてハウス乾燥装置が利用されている。施設規模の算定は冬季条件下において実施するべきであることから、冬期の温度低下によりハウス乾燥能力が期待できなくなる中間地域や寒冷・積雪地域では活用が難しいが、関東以南の温暖地域では利用可能である。**表3-2-30**にハウス乾燥施設の規模算定方法を参考として示す。

ア．太陽熱利用のハウス乾燥装置は関東以南の温暖地域で広く利用されており、その冬期における水分蒸発能力は1.0～1.5kg/$m^2_{\text{ハウス乾燥床面積}}$/日程度とされている。なお、関東より北の寒冷・積雪地域などに設置されたハウスは、冬期間の乾燥能力が十分に期待できないことから、春から秋に限定して乾燥能力を有するものと考える（**表3-2-31**）。

イ．堆肥化施設としても同様であり、冬期においては関東以南の温暖地域においてのみ、天日乾燥の活用が可能である。本マニュアルは処理能力の最も低下する冬季を前提として施設規模の算定を行うものであるから、太陽熱の活用は温暖地域に限定されるものとなる。

ウ．一般にハウス乾燥装置では、年間１～５kg/$m^2_{\text{ハウス乾燥床面積}}$/日程度の乾燥能力と言われており、その平均値である３kg/m^3/日で乾燥施設の規模設計を行う事例が散見されるが、冬季の処理能力が設計値を下回ることに留意しなければならない。なお、これは関東以南の温暖地域での場合であり、それ以外の寒冷・積雪地域などでは冬季の処理能力はゼロとなる。

エ．中央気象台が昭和26年に測定した地域別の蒸発量（**表3-2-32**）は、①小さな蒸発皿を利用して測定しているため、ハウス乾燥や堆肥化施設のように広い面積を有する場合と比較して、蒸発能力が高く示されること、②蒸発皿の水が凍結しない日の蒸発量をのみを測定していることから、北海道の冬期でも平均1.27（0.6～1.8）kg/m^2/日の蒸発量となり、蒸発能力が過大評価されいること、などから、太陽熱による乾燥処理能力の根拠としては不十分であることに留意する。

オ．ハウス乾燥施設や堆肥化施設では、発酵槽内などの材料が夜間に凍結すると、その翌日太陽熱による乾燥処理が利用可能な状態であったとしても、融解熱にそのエネルギーが利用されるため、水分蒸発にまで至らないのが現状である。

カ．太陽熱利用型の建屋は、全国どこでも春から秋にかけては利用可能である。しかし、冬季の寒冷・積雪地域などでは、冷たい外気により容易に冷却される施設構造が仇となり、堆肥化処理の進行に伴う乾物分解により発生した熱エネルギーが容易に建屋外へ放出されるため、材料温度の低下により堆肥化処理の進行の遅延や発酵停止といった状態に陥りやすい。

キ．寒冷・積雪地域などの冬季外気温の低い地域において、冬期の堆肥化処理を円滑に実施するためには、堆肥化施設の断熱・保温に配慮した施設設計とすることが望ましい。例えば、発酵槽床下への断熱材の敷設、あるいは、スレート葺きの建屋等への格納による冷気の遮断が有効である。このような施設では夏場の太陽光利用はできないが、冬期での処理能力で施設設計を行うことにより、夏期でも十分な処理能力を有することになる。

ク．また、関東以南の温暖地域でも、太陽熱利用のハウス内に設けた発酵槽において順調に堆肥化が進行する場合、堆肥表面から多量の水蒸気が発生し、堆肥表面近傍の空気が飽和水蒸気状態（霧状）となり、堆肥水分の蒸発速度が著しく低下する。このことを勘案し、本マニュアルでは**表3-2-31**に示す最低の乾燥能力の1/5となる0.2kg/m^2/日により、堆肥化施設の設計

計算例を示した。

ケ．なお、送風機の設置等により、ハウス等の建屋内の換気条件を改善する場合には、ハウス乾燥装置での乾燥能力と同等程度（1.0kg/㎡/日）としてもよい。しかし、温暖地域であっても、豚ふんや鶏ふんの処理施設の場合には、臭気拡散防止対策としてハウス等の建屋を締め切って利用する例が多々ある。このような運用形態が想定される場合には、乾燥能力を0.2 kg/㎡/日程度とする。

コ．堆肥化処理方式のうち、撹拌機等により毎日切返す開放型堆肥化装置の場合には、規模算定においてこの天日乾燥能力を加算できる。

表3-2-30　ハウス乾燥装置の規模算定法

1．本装置において冬期での乾燥（水分蒸発）を期待する場合は，関東以南の温暖地域にのみ適用可能である。

2．冬期の乾燥能力を基準とし，乾燥後の材料水分（目標水分）はそのまま堆積発酵可能となる55%程度とする。

3．規模算定式

a．原材料より蒸発すべき水分量（kg）＝1日当りの処理対象原材料量（kg／日）

$$\times \frac{\text{原材料水分（\%）－目標水分（\%）［55\%程度］}}{\text{目標水分の乾物率（\%）［100-55＝45\%程度］}}$$

b．必要となるハウス乾燥床面積（㎡）

$$= \frac{\text{原材料より蒸発すべき水分量（kg）}}{\text{冬期のハウス乾燥能力［1.5kg／㎡／日］}} \times 1.1\sim1.2\text{（余裕率）}$$

計算例

○ 搾乳牛50頭，ふん量45kg／日・頭および水分86％と設定した場合

○ 1日当りの処理対象生ふん量は，45×50 ＝2,250kg／日である。

○ また，水分55%まで乾燥するために生ふんより蒸発すべき水分量は，

2,250（kg／日）×（86－55）÷45 ＝1,550（kg／日）

○ 故に必要となるハウス乾燥床面積（㎡）は，

1,550（kg／日）÷1.5（kg／m²／日）×1.1 ＝1,137（㎡）

○ 撹拌幅6 mの撹拌機での必要乾燥床の長さ（m）は，

1,137（㎡）÷6（m）≒190（m）

となる。

表3-2-31　地域別・季節別ハウス乾燥能力の目安

（単位 ： kg／㎡／日）

	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
冬期間	1.0〜1.5	不適	不適
春期間，秋期間	3.0（2.5〜3.5）		
夏期間	5.0（4.5〜5.5）		

注）地域区分は図3-2-14参照。

表3-2-32　地域別の水分蒸発量（kg／m²／日）

（中央気象台・昭和26年による）

地　域	測定地	冬期蒸発量（12～2月）	梅雨期蒸発量（６月）	夏期蒸発量（7・８月）
	ヵ所	kg／m²／日	kg／m²／日	kg／m²／日
南　九　州	11	2.28 (1.6 ～ 2.9)	4.25 (3.5 ～ 5.0)	5.66 (4.5 ～ 7.0)
北　九　州	10	1.98 (1.5 ～ 2.6)	4.71 (4.0 ～ 5.1)	5.22 (4.9 ～ 5.7)
四国・山陽	15	1.79 (1.3 ～ 2.0)	4.32 (3.3 ～ 5.7)	4.95 (3.6 ～ 5.7)
山陰・北陸	19	1.36 (0.9 ～ 2.6)	5.00 (3.5 ～ 6.3)	5.69 (4.5 ～ 6.5)
近畿・東海	16	1.68 (1.1 ～ 2.6)	4.48 (3.6 ～ 5.2)	5.45 (4.3 ～ 6.4)
関　　東	11	2.15 (1.6 ～ 3.1)	4.29 (3.6 ～ 5.8)	4.78 (4.4 ～ 5.2)
東　　北	12	1.41 (1.0 ～ 2.7)	4.08 (3.4 ～ 4.8)	4.53 (3.8 ～ 6.0)
北　海　道	16	1.27 (0.6 ～ 1.8)	3.37 (2.9 ～ 4.3)	4.20 (3.4 ～ 6.3)

注）上段：平均値，下段：（最低値～最高値）

3．必要容積および面積の求め方

堆肥化処理による水分減少は、微生物による有機物分解により発生する発酵熱に依るところが大きい。発酵熱により材料中の水分が蒸発することにより、堆肥水分は減少する。次式を用いてこのプロセスを計算することにより、堆肥化処理に必要となる容積と面積を求める。

１）生ふん量（kg）：

$$生ふん量＝乾物量\times\frac{100}{100-水分(\%)}$$

２）副資材添加量（kg）：

$$副資材の添加量＝生ふん量\times\frac{生ふんの水分(\%)－調整目標水分(\%)}{調整目標水分(\%)－副資材の水分(\%)}$$

３）乾物減少量（kg）：

畜ふんおよび副資材の処理前の乾物量×処理期間中の総乾物分解率

４）乾物分解熱発生量（kcal）：

乾物減少量×畜ふんまたは副資材の乾物分解１kg当りの発熱量

５）水分蒸発量（kg）：

畜ふんおよび副資材の乾物分解による総発熱量÷水１kgの蒸発に要する熱量

6）終了時質量（kg）：

a．乾物量：畜ふんおよび副資材の処理前総乾物量－畜ふんおよび副資材の乾物減少量

b．水分量：処理前総水分量－水分蒸発量

c．総質量：処理前総質量－(乾物減少量＋水分蒸発量)

7）かさ密度（kg/㎥）：

a．処理前：**表3-2-21、22**などに示す資材、水分、堆積高さ別のかさ密度

b．処理後：同上該当水分の処理前かさ密度×1.0とする。

8）堆肥できあがり量（kg）：

$$(\text{処理量}\times\text{乾物率})\times\frac{100-\text{総乾物分解率}(\%)}{100-\text{できあがり堆肥水分}(\%)}$$

なお、オガクズ等の乾物分解する材料を副資材とした場合では、式中の総乾物分解率は畜ふんと副資材の両者の総乾物分解量を合算して換算した値となる。

9）必要容積（㎥）：

{(処理前質量÷処理前かさ密度)＋(処理後質量÷処理後かさ密度)}÷2×処理日数

ただし、処理過程で材料の堆積高さが順次低くなる堆肥舎、通気型堆肥舎および開放・直線型堆肥化装置などの場合は処理前の質量およびかさ密度のみで計算する。

10）必要面積（㎡）：（必要容積÷堆積高さ×余裕率）

なお、余裕率については**表3-2-28、29**を参照する。

11）その他：

a．堆肥化施設（開放型堆肥化装置）での冬期間における天日乾燥能力が期待できるのは、関東以南の温暖地域に限定され、その乾燥能力も最大で1.0～1.5kg/㎡（乾燥床面積）/日程度であり、通常はその1/5程度と見込むのが無難である。

b．ハウス乾燥装置を併用（前処理、後処理）する場合の必要面積の求め方などについては、**表3-2-30、31**および関連する記述を参照する。

堆肥化施設規模算定様式例

堆肥化原料（１日当り）

	種　　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料					
	小　　計				
副資材①					
	小　　計				
計	合　　計				

堆肥処理条件

		１　次　処　理	２　次　処　理	全　　期　　間
堆肥化処理施設			堆　肥　舎	ー
	処理日数	日	（　ー　）＝　　日	日
	材料堆積高さ	cm	cm	ー
	撹拌回数	回／日	ー	ー
	切返し回数	ー	１回／月程度	ー
	通気量	m^3/分/m^3	ー	ー
総乾物		%	（　ー　）＝　　%	%
分解率		%	%	%
乾物分解		kcal/kg	kcal/kg	ー
発熱量		kcal/kg	kcal/kg	ー
水分蒸発熱量／水　１kg		kcal/kg	kcal/kg	ー
備　　考	・堆肥舎における切返し頻度は、堆積初期では10～20日間毎とする。			

物質収支試算表

<table>
<tr><td colspan="3"></td><td>水分（%）</td><td>処理量（kg）</td><td>乾物量（kg）</td><td>水分量（kg）</td></tr>
<tr><td rowspan="5">処理前</td><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">小　　計</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">かさ密度（kg／m³）</td><td>（　　）</td><td>−</td><td>−</td><td>−</td></tr>
<tr><td rowspan="6">1次処理</td><td rowspan="4">減少量</td><td></td><td>−</td><td>−</td><td>②</td><td>−</td></tr>
<tr><td></td><td>−</td><td>−</td><td>②</td><td>−</td></tr>
<tr><td></td><td>−</td><td>−</td><td>②</td><td>−</td></tr>
<tr><td>小　計</td><td>−</td><td></td><td></td><td>③</td></tr>
<tr><td colspan="2">終了時</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">かさ密度（kg／m³）</td><td>（　　）</td><td>−</td><td>−</td><td>−</td></tr>
<tr><td colspan="3">2次処理へ移行しない量</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="3">2次処理への移行量</td><td></td><td>④</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="5">2次処理</td><td rowspan="3">減少量</td><td></td><td>−</td><td>−</td><td>⑥</td><td>−</td></tr>
<tr><td></td><td>−</td><td>−</td><td>⑥</td><td>−</td></tr>
<tr><td>小　計</td><td>−</td><td>−</td><td></td><td>⑦</td></tr>
<tr><td colspan="2">終　了　時</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">かさ密度（kg／m³）</td><td>（　　）</td><td>−</td><td>−</td><td>−</td></tr>
<tr><td rowspan="4">堆肥生産量</td><td colspan="2">戻し堆肥保留量</td><td></td><td>⑧</td><td>−</td><td>−</td></tr>
<tr><td rowspan="3">生産量</td><td>1日当り</td><td></td><td>⑨</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>年間</td><td></td><td>⑨　　t</td><td>年間稼働日数</td><td>日</td></tr>
<tr><td>生産量／処理量</td><td>−</td><td>%</td><td>%</td><td>%</td></tr>
<tr><td rowspan="3">施設規</td><td colspan="2">堆肥化施設</td><td colspan="2">1次処理</td><td colspan="2">2次処理</td></tr>
<tr><td colspan="2">必要容量</td><td colspan="2">⑩　　m³</td><td colspan="2">⑫　　m³</td></tr>
<tr><td colspan="2">必要面積</td><td colspan="2">⑪　　m²</td><td colspan="2">⑬　　m²</td></tr>
<tr><td colspan="3">備　　考</td><td colspan="4">注）1次処理で戻し堆肥利用の場合には、必要となる戻し堆肥量確保のため、2次処理へ移行すべき量は決定されることに留意する必要がある。</td></tr>
</table>

計算用紙

（処理前）

①副資材添加量：　　　kg× $\frac{(\quad - \quad)\%}{(\quad - \quad)\%}$ ≒　　　kg

（１次処理期間）

②１次処理期間の総乾物分解量

A．畜ふん：　　　kg× $\frac{\quad}{100}$ ≒　　　kg

B．副資材：　　　kg× $\frac{\quad}{100}$ ≒　　　kg

③１次処理期間の水分蒸発量：

$\frac{(\quad \text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})+(\quad \text{kg}\times 3,000\text{kcal/kg})}{\text{kcal}}$ ≒　　　kg

④２次処理へ移行する量：(　　　kg－　　　kg)=　　　kg

⑤天日による水分蒸発量（温暖地域のみ適用可）：　m^2×0.2kg/m^2・日)≒　　　kg/日

（２次処理期間）

⑥２次処理期間の総乾物分解量

A．畜ふん：　　　kg× $\frac{(\quad - \quad)}{100}$ ≒　　　kg

B．副資材：　　　kg× $\frac{(\quad - \quad)}{100}$ ≒　　　kg

⑦２次処理期間の水分蒸発量：

$\frac{(\quad \text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})+(\quad \text{kg}\times 3,000\text{kcal/kg})}{\text{kcal}}$ ≒　　　kg

（堆肥生産量）

⑧戻し堆肥保留量：　　　kg× $\frac{100}{(100-\quad)}$ ≒　　　kg

⑨堆肥生産量

A．１日当り：　　　kg－(　　kg＋　　kg)≒　　　kg

B．年　　間：　　　kg×　　　日≒　　　t

（堆肥化施設の必要規模）

⑩１次処理施設の必要容積：

{(　　kg÷　　kg/m^3)+(　　kg÷　　kg/m^3)}÷2×　　　日≒　　　kg

⑪１次処理施設の必要面積：m^3÷堆積高　　m×1.1～1.3≒　　　m^2

⑫堆肥舎の必要容積：

{(　　kg÷　　kg/m^3)+(　　kg÷　　kg/m^3)}÷2×　　　日≒　　　kg

⑬堆肥舎必要面積：m^3÷堆積高　　m×1.1～1.3≒　　　m^2

４．堆肥化施設の設計計算例

規模算定に必要とする基礎数値を用いた試算例を以下に示す。設計計算例として想定した家畜頭羽数および処理対象ふん量は以下の通りである。
【豚】肥育豚換算2,000頭規模、処理対象ふん量4,200kg/日（水分75%）
【採卵鶏】35,000羽規模、処理対象ふん量4,200kg/日（水分75%）
【ブロイラー】年間出荷羽数390万羽規模、処理対象ふん量2,140kg/日（水分30%）
【搾乳牛】経産牛116頭 と育成牛12頭規模、処理対象ふん量5,052kg/日（水分86%）
【肥育牛】200頭規模、処理対象ふん量4,000kg/日（水分81%）

１）豚ふん、鶏ふんの場合

（１）堆肥舎

（１）－１　オガクズ添加の場合

肥育豚換算2,000頭規模の豚ふんを対象とする。処理対象ふん量は、
2.1kg／(頭・日)×2,000頭=4,200kg／日　（水分75%）

計算用紙（表3-4-1、2、3）

①副資材添加量：$4,200\text{kg} \times \dfrac{(75-65)\%}{(65-25)\%} \fallingdotseq 1,050\text{kg}$

②全期間の総乾物分解量

A．豚ふん：$1,050\text{kg} \times \dfrac{30}{100} \fallingdotseq 315\text{kg}$

B．副資材：$788\text{kg} \times \dfrac{9}{100} \fallingdotseq 71\text{kg}$

③水分蒸発量：$\dfrac{(315\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg}) + (71\text{kg} \times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 1,811\text{kg}$

⑨堆肥生産量
A．１日当り：5,250kg－2,197kg≒3,053kg
B．年間：3,053kg×365日≒1,114t
⑩堆肥舎の必要容積：(5,250kg÷780kg/㎥)×165日≒1,111㎥
⑪堆肥舎の必要面積
a．温暖地域：1,111㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒611㎡
b．中間地域：1,111㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒666㎡
c．寒冷・積雪地域：1,111㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒722㎡

表3-4-1　堆肥化原料（１日当り）［堆肥舎，オガクズ添加の場合］

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主　原　料	豚　ふ　ん	75	4,200	1,050	3,150
副資材①	オ ガ ク ズ	25	1,050	788	263
合　計		65	5,250	1,840	3,143

表3-4-2　堆肥化処理条件［堆肥舎，オガクズ添加の場合］

		全　期　間
堆肥化処理施設		堆　肥　舎
処理条件	処理日数	165日
	材料堆積高さ	200cm
	撹拌回数	—
	切返し回数	１回／月程度（堆積初期は１回／20日以内）
	通気量	—
総乾物分解率	豚　ふ　ん	30%
	オ ガ ク ズ	9%
乾物分解発熱量	豚　ふ　ん	4,500kcal/kg
	オ ガ ク ズ	3,000kcal/kg
水分蒸発熱量／水１kg		900kcal/kg
備　考		

表3-4-3　物質収支試算表［堆肥舎，オガクズ添加の場合］

			水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	豚　ふ　ん		75	4,200	1,050	3,150
	オ ガ ク ズ		25	① 1,050	788	263
	小　計		65	5,250	1,838	3,413
	かさ密度（kg／m³）		(780)	—	—	—
全期間	減少量	豚　ふ　ん	—	—	② 315	—
		オ ガ ク ズ	—	—	② 71	—
		小　計	—	2,197	386	③ 1,811
	終　了　時		52	3,053	1,452	1,601
	かさ密度（kg／m³）		(420)	—	—	—
堆肥生産量	１日当り		52	⑨ 3,053	1,452	1,601
	年　間		52	⑨ 1,114 t	—	—
	生産量／処理量		—	58 %	79 %	47 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷･積雪地域
	必要容積	堆肥舎		⑩ 1,111 m³	1,111 m³	1,111 m³
	必要面積	堆肥舎		⑪ 611 m²	666 m²	722 m²
備　考						

（１）－２　戻し堆肥添加の場合

採卵鶏の成鶏換算35,000羽、低床式（週１回除ふん）を対象とする。処理対象ふん量は、120 g/(羽/日)×35,000羽＝4,200kg/日　（水分75%）

計算用紙（表3-4-4、5、6）

①副資材添加量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$4{,}200\text{kg}\times\dfrac{(75-60)\%}{(60-40)\%}$ ≒3,150kg

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$4{,}200\text{kg}\times\dfrac{(75-60)\%}{(60-50)\%}$ ≒6,300kg

②全期間の総乾物分解量

鶏ふん：$1{,}050\text{kg}\times\dfrac{25}{100}$ ≒263kg

③水分蒸発量：$\dfrac{(263\text{kg}\times4{,}500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒1,315kg

⑧戻し堆肥保留量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$1{,}890\text{kg}\times\dfrac{100}{(100-54)}$ ≒4,110kg

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$3{,}150\text{kg}\times\dfrac{100}{(100-56)}$ ≒7,160kg

⑨堆肥生産量

ア．戻し堆肥水分40％の場合

A．１日当り：7,350kg－(1,578kg＋4,110kg)≒1,660kg

B．年間：1,660kg×365日≒610t

イ．戻し堆肥水分50％の場合

A．１日当り：10,500kg－(1,578kg＋7,160kg)≒1,760kg

B．年間：1,760kg×365日≒640t

⑩堆肥舎の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(7,350kg÷800kg/m^3)×55日≒505m^3

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(10,500kg÷800kg/m^3)×55日≒722m^3

⑪堆肥舎の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合

a．温暖地域：505m^3÷堆積高さ2.0m×1.1≒278m^2

b．中間地域：505m^3÷堆積高さ2.0m×1.2≒303m^2

c．寒冷・積雪地域：505m^3÷堆積高さ2.0m×1.3≒328m^2

イ．戻し堆肥水分50％の場合

a．温暖地域：722m^3÷堆積高さ2.0m×1.1≒397m^2

b．中間地域：722m³÷堆積高さ2.0m×1.2≒433m²

c．寒冷・積雪地域：722m³÷堆積高さ2.0m×1.3≒469m²

表3-4-4　堆肥化原料（１日当り）［堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	鶏　ふ　ん	75	4,200	1,050	3,150
副資材①	戻　し　堆　肥	40	3,150	1,890	1,260
		50	6,300	3,150	3,150
合　計	40%の場合	60	7,350	2,940	4,410
	50%の場合	60	10,500	4,200	6,300

表3-4-5　堆肥化処理条件［堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

		全　期　間
堆肥化処理施設		堆　肥　舎
処理条件	処理日数	55日
	材料堆積高さ	200cm
	撹拌回数	—
	切返し回数	１回／月程度（堆積初期は１回／20日以内）
	通　気　量	—
総乾物分解率	鶏　ふ　ん	25%
	戻　し　堆　肥	0%
乾物分解発熱量	鶏　ふ　ん	4,500kcal/kg
	戻　し　堆　肥	0kcal/kg
水分蒸発熱量／水１kg		900kcal/kg
備　考		

表3-4-6　物質収支試算表［堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

		水分40%戻し堆肥添加の場合				水分50%戻し堆肥添加の場合			
		水分（%）	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)	水分（%）	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	鶏　ふ　ん	75	4,200	1,050	3,150	75	4,200	1,050	3,150
	戻　し　堆　肥	40	① 3,150	1,890	1,260	50	① 6,300	3,150	3,150
	小　計	60	7,350	2,940	4,410	60	10,500	4,200	6,300
	かさ密度（kg／m³）	(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
全期間	減少量　鶏　ふ　ん	—	—	② 263	—	—	—	② 263	—
	減少量　戻し堆肥	—	—	② 0	—	—	—	② 0	—
	減少量　小　計	—	1,578	263	③ 1,315	—	1,578	263	③ 1,315
	終　了　時	54	5,772	2,677	3,095	56	8,922	3,937	4,985
	かさ密度（kg／m³）	(710)	—	—	—	(750)	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量	54	⑧ 4,110	—	—	56	⑧ 7,160	—	—
	生産量　１日当り	54	⑨ 1,660	760	900	56	⑨ 1,760	770	990
	生産量　年間	54	⑨ 610 t	—	—	56	⑨ 640 t	—	—
	生産量　生産量/処理量	—	40 %	72 %	29 %	—	42 %	73 %	31 %
施設規模	対象地域		温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域	—	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積　堆肥舎		⑩ 505 m³	505 m³	505 m³	—	722 m³	722 m³	722 m³
	必要面積　堆肥舎		⑪ 278 m²	303 m²	328 m²	—	397 m²	433 m²	469 m²
備　考	・端数整理の関係上，40%と50%で計算上多少の差が生じた。								

戻し堆肥調製施設の規模算定等

ア．水分40％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬季の場合（**表3-4-7**）

960kg/日÷1.5kg/(㎡・日)÷6ｍ≒107ｍ　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６ｍ）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0ｍ程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10ｍ/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

4,110kg/日×10日間÷620kg/㎡　÷1.0ｍ≒66㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１Ｌ当り約10㎏の水分蒸発量が期待できるので、

960kg÷10　kg/L≒96L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(96L÷10日間÷24時間)×10日間≒４L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。

・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式又は温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

イ．水分50％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬季の場合（**表3-4-8**）

860kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷6m≒96ｍ　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６ｍ）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積

（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200mm水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

7,160kg/日×10日間÷660kg/㎡ ÷1.0m≒108㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、

860kg÷10kg/L≒86L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(86L÷10日間÷24時間)×10日間≒3.6L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。
・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式又は温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。
・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

表3-4-7　蒸発すべき水分量

項　　目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥必要量	①保　留　量	54	4,110	1,890	2,220
	②当初計画量	40	3,150	1,890	1,260
①のかさ密度（kg／㎥）		(620)	—	—	—
①—②		—	960	0	960

表3-4-8　蒸発すべき水分量

項　　目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥必要量	①保　留　量	56	7,160	3,150	4,010
	②当初計画量	50	6,300	3,150	3,150
①のかさ密度（kg／㎥）		(660)	—	—	—
①—②		—	860	0	860

（２）通気型堆肥舎

（２）－１　オガクズ添加の場合

肥育豚換算2,000頭規模の豚ふんを対象とする。処理対象ふん量は、

2.1kg/(頭・日)×2,000頭=4,200kg/日　(水分75%)

計算用紙（表3-4-9、10、11）

①副資材添加量：$4,200\text{kg} \times \dfrac{(75-65)\%}{(65-25)\%} \fallingdotseq 1,050\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

A．豚ふん：$1,050\text{kg} \times \dfrac{27}{100} \fallingdotseq 284\text{kg}$

B．副資材：$788\text{kg} \times \dfrac{9}{100} \fallingdotseq 71\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(284\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg}) + (71\text{kg} \times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 1,657\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

A．豚ふん：$1,050\text{kg} \times \dfrac{(35-27)}{100} \fallingdotseq 84\text{kg}$

B．副資材：$788\text{kg} \times \dfrac{(11-9)}{100} \fallingdotseq 16\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(84\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg}) + (16\text{kg} \times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 473\text{kg}$

⑨堆肥生産量

A．１日当り：5,250kg－(2,012kg+573kg)≒2,665kg

B．年間：2,665kg×365日≒972t

⑩１次処理施設の必要容積：(5,250kg÷780 kg/㎥)×25日≒168㎥

⑪１次処理施設の必要面積

a．温暖地域：168㎥÷堆積高さ2.3m×1.1≒80㎡

b．中間地域：168㎥÷堆積高さ2.3m×1.2≒88㎡

c．寒冷・積雪地域：168㎥÷堆積高さ2.3m×1.3≒95㎡

⑫堆肥舎の必要容積：(3,238kg÷480kg/㎥)×(115－25)日≒607㎥

⑬堆肥舎の必要面積

a．温暖地域：607㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒334㎡

b．中間地域：607㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒364㎡

c．寒冷・積雪地域：607㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒395㎡

表3-4-9　堆肥化原料（１日当り）[通気型堆肥舎＋堆肥舎，オガクズ添加の場合]

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	豚　ふ　ん	75	4,200	1,050	3,150
副資材①	オガクズ	25	1,050	788	263
合　計		65	5,250	1,838	3,413

表3-4-10　堆肥化処理条件 [通気型堆肥舎＋堆肥舎，オガクズ添加の場合]

		1次処理	2次処理	全期間
堆肥化処理施設		通気型堆肥舎	堆　肥　舎	―
処理条件	処理日数	25日	(115-25)＝90日	115日
	材料堆積高さ	230cm	200cm	―
	撹拌回数	―	―	―
	切返し回数	―	1回／月程度	―
	通気量	0.1m³/分･m³	―	―
総乾物分解率	豚ふん	27%	(35-27)＝8%	35%
	オガクズ	9%	(11- 9)＝2%	11%
乾物分解発熱量	豚ふん	4,500kcal/kg	4,500kcal/kg	―
	オガクズ	3,000kcal/kg	3,000kcal/kg	―
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal/kg	900kcal/kg	―
備考	1次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

表3-4-11　物質収支試算表 [通気型堆肥舎＋堆肥舎，オガクズ添加の場合]

			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	豚ふん		75	4,200	1,050	3,150
	オガクズ		25	① 1,050	788	263
	小計		65	5,250	1,838	3,413
	かさ密度（kg／m³）		(780)	―	―	―
1次処理	減少量	豚ふん	―	―	② 284	―
		オガクズ	―	―	② 71	―
		小計	―	2,012	355	③ 1,657
	終了時		54	3,238	1,483	1,756
	かさ密度（kg／m³）		(480)	―	―	―
2次処理	減少量	豚ふん	―	―	⑥ 84	―
		オガクズ	―	―	⑥ 16	―
		小計	―	573	100	⑦ 473
	終了時		48	2,665	1,383	1,283
	かさ密度（kg／m³）		(400)	―	―	―
堆肥生産量	生産量	1日当り	48	⑨ 2,665	1,383	1,283
		年間	48	⑨ 972t	―	―
		生産量／処理量	―	51%	76%	37%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	通気型堆肥舎		⑩ 168m³	168m³	168m³
		堆肥舎		⑫ 607m³	607m³	607m³
	必要面積	通気型堆肥舎		⑪ 80m²	88m²	95m²
		堆肥舎		⑬ 334m²	364m²	395m²
備考						

（２）－２　戻し堆肥添加の場合

採卵鶏の成鶏換算35,000羽、低床式（週１回除ふん）を対象とする。処理対象ふん量は、
120g/(羽・日)×35,000羽=4,200kg/日　（水分75％）

計算用紙（表3-4-12、13、14）

①副資材添加量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$4,200\text{kg} \times \dfrac{(75-60)\%}{(60-40)\%} \fallingdotseq 3,150\text{kg}$

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$4,200\text{kg} \times \dfrac{(75-60)\%}{(60-50)\%} \fallingdotseq 6,300\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

鶏ふん：$1,050\text{kg} \times \dfrac{20}{100} \fallingdotseq 210\text{kg}$

③水分蒸発量：$\dfrac{(210\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 1,050\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

鶏ふん：$1,050\text{kg} \times \dfrac{(27-20)}{100} \fallingdotseq 74\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(74\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 370\text{kg}$

⑧戻し堆肥保留量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$1,890\text{kg} \times \dfrac{100}{(100-53)} \fallingdotseq 4,020\text{kg}$

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$3,150\text{kg} \times \dfrac{100}{(100-55)} \fallingdotseq 7,000\text{kg}$

⑨堆肥生産量

ア．戻し堆肥水分40％の場合

Ａ．１日当り：7,350kg－(1,704kg＋4,020kg)≒1,630kg

Ｂ．年間：1,630kg×365日≒590t

イ．戻し堆肥水分50％の場合

Ａ．１日当り：10,500kg－(1,704kg＋7,000kg)≒1,800kg

Ｂ．年間：1,800kg×365日≒660t

⑩１次処理施設の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(7,350kg÷800kg/㎥)×20日≒184㎥

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(10,500kg÷800kg/㎥)×20日≒263㎥

⑪１次処理施設の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合

ａ．温暖地域：184㎥÷堆積高さ2.3ｍ×1.1≒88㎡

ｂ．中間地域：184㎥÷堆積高さ2.3ｍ×1.2≒96㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：184㎥÷堆積高さ2.3ｍ×1.3≒104㎡

イ．戻し堆肥水分50％の場合

ａ．温暖地域：263㎥÷堆積高さ2.3ｍ×1.1≒126㎡

ｂ．中間地域：263㎥÷堆積高さ2.3ｍ×1.2≒137㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：263㎥÷堆積高さ2.3ｍ×1.3≒149㎡

⑫堆肥舎の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(6,090kg÷730 kg/㎥)×(40−20)日≒167㎥

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(9,240kg÷770 kg/㎥)×(40−20)日≒240㎥

⑬堆肥舎の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合

ａ．温暖地域：167㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.1≒92㎡

ｂ．中間地域：167㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.2≒100㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：167㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.3≒109㎡

イ．戻し堆肥水分50％の場合

ａ．温暖地域：240㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.1≒132㎡

ｂ．中間地域：240㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.2≒144㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：240㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.3≒156㎡

表3-4-12　堆肥化原料（1日当り）［通気型堆肥舎＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

	種　類	水分（％）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	鶏　ふ　ん	75	4,200	1,050	3,150
副資材①	戻し堆肥	40	3,150	1,890	1,260
		50	6,300	3,150	3,150
合　計	40％の場合	60	7,350	2,940	4,410
	50％の場合	60	10,500	4,200	6,300

表3-4-13　堆肥化処理条件［通気型堆肥舎＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

		1次処理	2次処理	全期間
堆肥化処理施設		通気型堆肥舎	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	20日	(40-20)＝20日	40日
	材料堆積高さ	230cm	200cm	—
	撹拌回数	—	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.1m^3/分・m^2	—	—
総乾物分解率	鶏ふん	20%	(27-20)＝7%	27%
	戻し堆肥	0%	0%	0%
乾物分解発熱量	鶏ふん	4,500kcal/kg	4,500kcal/kg	—
	戻し堆肥	0kcal/kg	0kcal/kg	—
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal/kg	900kcal/kg	—
備考	1次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

表3-4-14　物質収支試算表［通気型堆肥舎＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

			水分40%戻し堆肥添加の場合				水分50%戻し堆肥添加の場合			
			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	鶏ふん		75	4,200	1,050	3,150	75	4,200	1,050	3,150
	戻し堆肥		40	① 3,150	1,890	1,260	50	① 6,300	3,150	3,150
	小計		60	7,350	2,940	4,410	60	10,500	4,200	6,300
	かさ密度（kg／m^3）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
1次処理	減少量	鶏ふん	—	—	② 210	—	—	—	② 210	—
		戻し堆肥	—	—	② 0	—	—	—	② 0	—
		小計	—	1,260	210	③ 1,050	—	1,260	210	③ 1,050
	終了時		55	6,090	2,730	3,360	57	9,240	3,990	5,250
	かさ密度（kg／m^3）		(730)	—	—	—	(770)	—	—	—
2次処理	減少量	鶏ふん	—	—	⑥ 74	—	—	—	⑥ 74	—
		戻し堆肥	—	—	⑥ 0	—	—	—	⑥ 0	—
		小計	—	444	74	⑦ 370	—	444	74	⑦ 370
	終了時		53	5,646	2,656	2,990	55	8,796	3,916	4,880
	かさ密度（kg／m^3）		(700)	—	—	—	(730)	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量		53	⑧ 4,020	—	—	55	⑧ 7,000	—	—
	生産量	1日当り	53	⑨ 1,630	770	860	55	⑨ 1,800	810	990
		年間	53	⑨ 590t	—	—	55	⑨ 660t	—	—
		生産量／処理量	—	39%	73%	27%	—	43%	77%	31%
施設規模	対象地域		対象地域	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域	—	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	通気型堆肥舎	通気型堆肥舎	⑩ 184m^3	184m^3	184m^3	—	263m^3	263m^3	263m^3
		堆肥舎	堆肥舎	⑫ 167m^3	167m^3	167m^3	—	240m^3	240m^3	240m^3
	必要面積	通気型堆肥舎	通気型堆肥舎	⑪ 88m^2	96m^2	104m^2	—	126m^2	137m^2	149m^2
		堆肥舎	堆肥舎	⑬ 92m^2	100m^2	109m^2	—	132m^2	144m^2	156m^2
備考				・端数整理の関係上，40%と50%で計算上多少の差が生じた。						

戻し堆肥調製施設の規模算定等

ア．水分40％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬季の場合（**表3-4-15**）

870kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷6m≒97m　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６m)。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

4,020kg/日×10日間÷610kg/㎡ ÷1.0m≒66㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10㎏の水分蒸発量が期待できるので、

870kg÷10kg/L≒87L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(87L÷10日間÷24時間)×10日間≒3.6L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。

・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式又は温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

イ．水分50％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬季の場合（**表3-4-16**）

700 kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷6m≒78m　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６m)。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積

（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

7,000kg/日×10日間÷640kg/㎥ ÷1.0m≒109㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、

700kg÷10kg/L≒70L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(70L÷10日間÷24時間)×10日間≒2.9L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。
・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式又は温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。
・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

表3-4-15　蒸発すべき水分量

項目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥必要量	① 保留量	53	4,020	1,890	2,130
	② 当初計画量	40	3,150	1,890	1,260
① のかさ密度（kg／㎥）		(610)	—	—	—
①—②		—	870	0	870

表3-4-16　蒸発すべき水分量

項目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥必要量	① 保留量	55	7,000	3,150	3,850
	② 当初計画量	50	6,300	3,150	3,150
① のかさ密度（kg／㎥）		(640)	—	—	—
①—②		—	700	0	700

（３）開放・直線または円型堆肥化装置

（３）-１　オガクズ添加の場合（天日乾燥の加算なし）

肥育豚換算2,000頭規模の豚ふんを対象とする。処理対象ふん量は、

2.1 kg/(頭/日)×2,000頭＝4,200kg/日　（水分75％）

計算用紙（表3-4-17、18、19）

①副資材添加量：$4,200\text{kg} \times \dfrac{(75-65)\%}{(65-25)\%} ≒ 1,050\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

A．豚ふん：$1,050\text{kg} \times \dfrac{34}{100} ≒ 357\text{kg}$

B．副資材：$788\text{kg} \times \dfrac{12}{100} ≒ 94\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(357\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg}) + (94\text{kg} \times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} ≒ 2,098\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

A．豚ふん：$1,050\text{kg} \times \dfrac{(40-34)}{100} ≒ 63\text{kg}$

B．資材：$788\text{kg} \times \dfrac{(14-12)}{100} ≒ 16\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(63\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg}) + (16\text{kg} \times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} ≒ 368\text{kg}$

⑨堆肥生産量

A．１日当り：5,250kg－(2,549kg＋447kg)≒2,250kg

B．年間：2,250kg×365日≒820t

⑩１次処理施設の必要容積：(5,250kg÷780kg/㎥)×20日≒135㎥

⑪１次処理施設の必要面積

a．温暖地域：135㎥÷堆積高さ2.3m×1.1≒74㎡

b．中間地域：135㎥÷堆積高さ2.3m×1.2≒81㎡

c．寒冷・積雪地域：135㎥÷堆積高さ2.3m×1.3≒88㎡

⑫堆肥舎の必要容積：(2,701kg÷400kg/㎥)×(85－20)日≒439㎥

⑬堆肥舎の必要面積

a．温暖地域：439㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒241㎡

b．中間地域：439㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒263㎡

c．寒冷・積雪地域：439㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒285㎡

表3-4-17　堆肥化原料（1日当り）

［開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ添加の場合］

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	豚　ふ　ん	75	4,200	1,050	3,150
副　資　材　①	オ　ガ　ク　ズ	25	1,050	788	262
合　計		65	5,250	1,838	3,412

表3-4-18　堆肥化処理条件

［開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ添加の場合］

		1次処理	2次処理	全期間
堆肥化処理施設		開放・直線型 堆肥化装置	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	20日	(85−20)＝65日	85日
	材料堆積高さ	200cm	200cm	—
	撹拌回数	1回／日	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.1m^3/分・m^3	—	—
総乾物分解率	豚ふん	34%	(40−34)＝6%	40%
	オガクズ	12%	(14−12)＝2%	14%
乾物分解発熱量	豚ふん	4,500kcal/kg	4,500kcal/kg	—
	オガクズ	3,000kcal/kg	3,000kcal/kg	—
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal/kg	900kcal/kg	—
備考	1次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

表3-4-19　物質収支試算表

［開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ添加の場合］

			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	豚ふん		75	4,200	1,050	3,150
	オガクズ		25	① 1,050	788	262
	小計		65	5,250	1,838	3,412
	かさ密度（kg／m^3）		(780)	—	—	—
1次処理	減少量	豚ふん	—	—	② 357	—
		オガクズ	—	—	② 94	—
		小計	—	2,549	451	③ 2,098
	終了時		49	2,701	1,387	1,314
	かさ密度（kg／m^3）		(400)	—	—	—
2次処理	減少量	豚ふん	—	—	⑥ 63	—
		オガクズ	—	—	⑥ 16	—
		小計	—	447	79	⑦ 368
	終了時		42	2,254	1,308	946
	かさ密度（kg／m^3）		(400)	—	—	—
堆肥生産量	生産量	1日当り	42	⑨ 2,250	1,300	950
		年間	42	⑨ 820t	—	—
		生産量／処理量	—	43%	71%	28%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	発酵槽		⑩ 135m^3	135m^3	135m^3
		堆肥舎		⑫ 439m^3	439m^3	439m^3
	必要面積	発酵槽		⑪ 74m^2	81m^2	88m^2
		堆肥舎		⑬ 241m^2	263m^2	285m^2
備考						

（３）－２　オガクズ添加の場合（天日乾燥の加算あり）

天日乾燥は冬季においてもその乾燥能力が期待できる温暖地域のみを対象とする。

計算用紙（表3-4-18、19、20）

①副資材添加量：4,200kg × $\frac{(75-65)\%}{(65-25)\%}$ ≒1,050kg

②１次処理期間の総乾物分解量

A．豚ふん：1,050kg × $\frac{34}{100}$ ≒357kg

B．副資材：788kg × $\frac{12}{100}$ ≒94kg

③１次処理期間の水分蒸発量：$\frac{(357\text{kg}\times4,500\text{kcal/kg})+(94\text{kg}\times3,000\text{kca/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒2,098kg

⑤天日による水分蒸発量（温暖地域のみ適用可）：74㎡×0.2kg/(㎡/日)≒15kg/日

終了時の質量は、

ａ．水分量：1,315kg－15kg≒1,300kg

ｂ．乾物量：1,386kg

ｃ．全質量：2,701kg－15kg≒2,686kg

ｄ．水　分：48%（かさ密度400kg/㎥）

⑥２次処理期間の総乾物分解量

A．豚ふん：1,050kg × $\frac{(40-34)}{100}$ ≒63kg

B．副資材：787kg × $\frac{(14-12)}{100}$ ≒16kg

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\frac{(63\text{kg}\times4,500\text{kcal/kg})+(16\text{kg}\times3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒368kg

⑨堆肥生産量

A．１日当り：5,250kg－(2,549kg＋447kg＋15kg)≒2,240kg

B．年間：2,240kg×365日≒818t

⑩１次処理施設の必要容積：(5,250kg÷780kg/㎥)×20日≒135㎥

⑪１次処理施設の必要面積

温暖地域：135㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒74㎡

⑫堆肥舎の必要容積：(2,686kg÷400 kg/㎥)×(85-20)日≒436㎥

⑬堆肥舎の必要面積

温暖地域：436m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒240m²

天日乾燥能力を加算しても堆肥舎の必要面積は大きく変わらない。

表3-4-20　物質収支試算表

［開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ添加，天日乾燥加算の場合］

			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	豚ふん		75	4,200	1,050	3,150
処理前	オガクズ		25	① 1,050	787	263
処理前	小計		65	5,250	1,837	3,413
処理前	かさ密度（kg／m³）		(780)	—	—	—
1次処理	減少量	豚ふん	—	—	② 357	—
1次処理	減少量	オガクズ	—	—	② 94	—
1次処理	減少量	小計	—	2,549	451	③ 2,098
1次処理	終了時		49	2,701	1386	1,315
1次処理	かさ密度（kg／m³）		(400)	—	—	—
	温暖地域・冬期における天日乾燥能力（0.2kg／m²／日）加算の場合					
天日乾燥	水分蒸発量			15	—	⑤ 15
天日乾燥	終了時		48	2,686	1,386	1,300
天日乾燥	かさ密度（kg／m³）		(400)	—	—	—
2次処理	減少量	豚ふん	—	—	⑥ 63	—
2次処理	減少量	オガクズ	—	—	⑥ 16	—
2次処理	減少量	小計	—	447	79	⑦ 368
2次処理	終了時		41	2,239	1,307	932
2次処理	かさ密度（kg／m³）		(400)	—	—	—
堆肥生産量	生産量	1日当り	41	⑨ 2,240	1,310	930
堆肥生産量	生産量	年間	41	⑨ 818t	—	—
堆肥生産量	生産量	生産量／処理量	—	43%	71%	27%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
施設規模	必要容積	発酵槽		⑩ 135m³	—	—
施設規模	必要容積	堆肥舎		⑫ 436m³	—	—
施設規模	必要面積	発酵槽		⑪ 74m³	—	—
施設規模	必要面積	堆肥舎		⑬ 240m³	—	—
備考						

（３）－３　オガクズ等敷料混合の場合（天日乾燥の加算なし）

年間出荷羽数：39万羽（≒1,070羽/日×365日/年）規模のブロイラーを対象とし、毎日1,070羽規模相当分のオガクズ等敷料混合ふんを堆肥化処理するものとしてその規模を算出する。なお、オガクズ等敷料はふん量の30%とする。処理対象ふん量は以下である。

1,070羽/日×2.0kg/羽=2,140kg/日　（水分35%）

なお、実際のブロイラー生産現場では、オールアウト時に大量の原料が一度に排出される。

その全量を一度に堆肥化処理できる施設規模等を試算すると過大なものとなるため、排出された原料を一時貯留する堆積場を確保した上で、徐々に堆肥化処理を行うこととする。
　堆肥化を順調に進めるために、水を原料に添加して水分調整を行う。

計算用紙（表3-4-21、22、23）

①添加水量：1,390kg÷(1－0.65)－2,140≒1,830kg

②１次処理期間の総乾物分解量

A．ブロイラーふん：975kg× $\frac{25}{100}$ ≒243kg

B．副資材：415kg× $\frac{12}{100}$ ≒50kg

③１次処理期間の水分蒸発量： $\frac{(243\text{kg}\times4,500\text{kcal/kg})+(50\text{kg}\times3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒1,382kg

⑥２次処理期間の総乾物分解量

A．ブロイラーふん：975kg× $\frac{(30-25)}{100}$ ≒49kg

B．副資材：415kg× $\frac{(14-12)}{100}$ ≒8kg

⑦２次処理期間の水分蒸発量： $\frac{(49\text{kg}\times4,500\text{kcal/kg})+(8\text{kg}\times3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒272kg

⑨堆肥生産量
A．１日当り：3,970kg－(1,675kg＋329kg)≒1,970kg
B．年間：1,970kg×365日≒719t

⑩１次処理施設の必要容積：
{(3,970kg÷780kg/m³)＋(2,295kg÷420kg/m³)}÷２×20≒106m³

⑪１次処理施設の必要面積
a．温暖地域：106m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒58m²
b．中間地域：106m³÷堆積高さ2.0m×1.2≒64m²
c．温暖地域：106m³÷堆積高さ2.0m×1.3≒69m²

⑫堆肥舎の必要容積：(2,295kg÷420kg/m³)×(85－20)日≒355m³

⑬堆肥舎の必要面積
a．温暖地域：355m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒195m²

b．中間地域：355㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.2≒213㎡
c．寒冷・積雪地域：355㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.3≒231㎡

（３）－４　オガクズ等敷料混合の場合（天日乾燥の加算あり）

天日乾燥能力を加算する場合は、「（３）－２開放・直線または円型堆肥化装置、オガクズ添加の場合（天日乾燥の加算あり」と同様に計算するが、天日乾燥による蒸発量が少ないため、規模算出結果にはほとんど影響しない。

表3-4-21　堆肥化原料（1日当り）

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	ブロイラーふん	35	1,500	975	525
副資材①	敷料（オガクズ）	35	640	415	225
合　計		35	2,140	1,390	750

表3-4-22　堆肥化処理条件

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

		１次処理	２次処理	全期間
堆肥化処理施設		開放・円型発酵槽	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	20日	(85-20)＝65日	85日
	材料堆積高さ	200㎝	200㎝	—
	撹拌回数	1回／日	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.1㎥/分/㎥	—	—
総乾物分解率	ブロイラーふん	25%	(30-25)＝5%	30%
	敷料（オガクズ）	12%	(14-12)＝2%	14%
乾物分解発熱量	ブロイラーふん	4,500kcal/kg	4,500kcal/kg	—
	敷料（オガクズ）	3,000kcal/kg	3,000kcal/kg	—
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal/kg	900kcal/kg	—
備　考	１次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

表3-4-23　物質収支試算表

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

			水分（％）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	ブロイラーふん		35	1,500	975	525
処理前	敷料（オガクズ）		35	640	415	225
処理前	添加水量		—	① 1,830	—	1,830
処理前	小計		65	3,970	1,390	2,580
処理前	かさ密度（kg／㎥）		(780)	—	—	—
1次処理	減少量	ブロイラーふん	—	—	② 243	—
1次処理	減少量	敷料（オガクズ）	—	—	② 50	—
1次処理	減少量	小計	—	1,675	293	③ 1,382
1次処理	終了時		52	2,295	1,097	1,198
1次処理	かさ密度（kg／㎥）		(420)	—	—	—
2次処理	減少量	ブロイラーふん	—	—	⑥ 49	—
2次処理	減少量	敷料（オガクズ）	—	—	⑥ 8	—
2次処理	減少量	小計	—	329	57	⑦ 272
2次処理	終了時		47	1,966	1,040	926
2次処理	かさ密度（kg／㎥）		(400)	—	—	—
堆肥生産量	生産量	1日当り	47	⑨ 1,970	1,040	930
堆肥生産量	生産量	年間	47	⑨ 719t	—	—
堆肥生産量	生産量	生産量／処理量	—	50%	75%	36%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
施設規模	必要容積	発酵槽		⑩ 106㎥	106㎥	106㎥
施設規模	必要容積	堆肥舎		⑫ 355㎥	355㎥	355㎥
施設規模	必要面積	発酵槽		⑪ 58㎡	64㎡	69㎡
施設規模	必要面積	堆肥舎		⑬ 195㎡	213㎡	231㎡
備考						

（３）－５　戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算なし）

採卵鶏の成鶏換算35,000羽、低床式（週１回除ふん）を対象とする。

処理対象ふん量は、

120g/(羽/日)×35,000羽=4,200kg/日　（水分75％）

計算用紙（表3-4-24、25、26）

①副資材添加量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$4{,}200\text{kg} \times \dfrac{(75-60)\%}{(60-40)\%} \fallingdotseq 3{,}150\text{kg}$

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$4{,}200\text{kg} \times \dfrac{(75-60)\%}{(60-50)\%} \fallingdotseq 6{,}300\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量：$1{,}050\text{kg} \times \dfrac{23}{100} \fallingdotseq 242\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(242\mathrm{kg}\times4,500\mathrm{kcal/kg})}{900\mathrm{kcal}}\fallingdotseq1,210\mathrm{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量：$1,050\mathrm{kg}\times\dfrac{(30-23)}{100}\fallingdotseq74\mathrm{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(74\mathrm{kg}\times4,500\mathrm{kcal/kg})}{900\mathrm{kcal}}\fallingdotseq370\mathrm{kg}$

⑧戻し堆肥保留量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$1,890\mathrm{kg}\times\dfrac{100}{(100-52)}\fallingdotseq3,940\mathrm{kg}$

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$3,150\mathrm{kg}\times\dfrac{100}{(100-55)}\fallingdotseq7,000\mathrm{kg}$

⑨堆肥生産量
ア．戻し堆肥水分40％の場合
Ａ．１日当り：7,350kg－(1,452kg＋444kg＋3,940kg)≒1,510kg
Ｂ．年間：1,510kg×365日≒550t

イ．戻し堆肥水分50％の場合
Ａ．１日当り：10,500kg－(1,452kg＋444kg＋7,000kg)≒1,600kg
Ｂ．年間：1,600kg×365日≒580t

⑩１次処理施設の必要容積
ア．戻し堆肥水分40％の場合：
{(7,350kg÷800kg/㎥)+(5,898kg÷710kg/㎥)}÷2×15≒131㎥

イ．戻し堆肥水分50％の場合：
{(10,500kg÷800kg/㎥)+(9,048kg÷750kg/㎥)}÷2×15≒189㎥

⑪１次処理施設の必要面積
ア．戻し堆肥水分40％の場合
ａ．温暖地域：131㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.1≒72㎡
ｂ．中間地域：131㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.2≒79㎡
ｃ．寒冷・積雪地域：131㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.3≒85㎡

イ．戻し堆肥水分50％の場合
ａ．温暖地域：189㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.1≒104㎡
ｂ．中間地域：189㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.2≒113㎡
ｃ．寒冷・積雪地域：189㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.3≒123㎡

⑫堆肥舎の必要容積：
ア．戻し堆肥水分40％の場合：(5,898kg÷710kg/㎥)×(35－15)日≒166㎥
イ．戻し堆肥水分50％の場合：(9,048kg÷750kg/㎥)×(35－15)日≒241㎥

⑬堆肥舎の必要面積
ア．戻し堆肥水分40％の場合
A．温暖地域：166㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒91㎡
B．中間地域：166㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒100㎡
C．寒冷・積雪地域：166㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒108㎡

イ．戻し堆肥水分50％の場合
a．温暖地域：241㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒133㎡
b．中間地域：241㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒145㎡
c．寒冷・積雪地域：241㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒157㎡

表3-4-24　堆肥化原料（1日当り）

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

	種　類	水分（％）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	鶏　ふ　ん	75	4,200	1,050	3,150
副資材①	戻し堆肥	40	3,150	1,890	1,260
		50	6,300	3,150	3,150
合　計	40％の場合	60	7,350	2,940	4,410
	50％の場合	60	10,500	4,200	6,300

表3-4-25　堆肥化処理条件（1日当り）

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

		1次処理	2次処理	全期間
堆肥化処理施設		開放・円型発酵槽	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	15日	(35-15)＝20日	35日
	材料堆積高さ	200cm	200cm	—
	撹拌回数	—	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.1㎥/分/㎥	—	—
総乾物分解率	鶏ふん	23％	(30-23)＝7％	30％
	戻し堆肥	0％	0％	0％
乾物分解発熱量	鶏ふん	4,500kcal/kg	4,500kcal/kg	—
	戻し堆肥	0kcal/kg	0kcal/kg	—
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal/kg	900kcal/kg	—
備　考	1次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

第3章　施設規模の算定

表3-4-26　物質収支試算表［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

			水分40％戻し堆肥添加の場合				水分50％戻し堆肥添加の場合			
			水分（％）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）	水分（％）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	鶏ふん		75	4,200	1,050	3,150	75	4,200	1,050	3,150
処理前	戻し堆肥		40	① 3,150	1,890	1,260	50	① 6,300	3,150	3,150
処理前	小計		60	7,350	2,940	4,410	60	10,500	4,200	6,300
処理前	かさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
1次処理	減少量	鶏ふん	—	—	② 242	—	—	—	② 242	—
1次処理	減少量	戻し堆肥	—	—	② 0	—	—	—	② 0	—
1次処理	減少量	小計	—	1,452	242	③ 1,210	—	1,452	242	③ 1,210
1次処理	終了時		54	5,898	2,698	3,200	56	9,048	3,958	5,090
1次処理	かさ密度（kg／㎥）		(710)	—	—	—	(750)	—	—	—
2次処理	減少量	鶏ふん	—	—	⑥ 74	—	—	—	⑥ 74	—
2次処理	減少量	戻し堆肥	—	—	⑥ 0	—	—	—	⑥ 0	—
2次処理	減少量	小計	—	444	74	⑦ 370	—	444	74	⑦ 370
2次処理	終了時		52	5,454	2,624	2,830	55	8,604	3,884	4,720
2次処理	かさ密度（kg／㎥）		(690)	—	—	—	(730)	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量		52	⑧ 3,940	—	—	55	⑧ 7,000	—	—
堆肥生産量	生産量	1日当り	52	⑨ 1,510	720	790	55	⑨ 1,600	720	880
堆肥生産量	生産量	年間	52	⑨ 550t	—	—	55	⑨ 580t	—	—
堆肥生産量	生産量	生産量／処理量	—	36％	69％	25％	—	38％	69％	28％
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域	—	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
施設規模	必要容積	発酵槽		⑩ 131㎥	131㎥	131㎥	—	189㎥	189㎥	189㎥
施設規模	必要容積	堆肥舎		⑫ 166㎥	166㎥	166㎥	—	241㎥	241㎥	241㎥
施設規模	必要面積	発酵舎		⑪ 72㎡	79㎡	85㎡	—	104㎡	113㎡	123㎡
施設規模	必要面積	堆肥舎		⑬ 91㎡	100㎡	108㎡	—	133㎡	145㎡	157㎡
備考			・端数整理の関係上，40％と50％で計算上多少の差が生じた。							

戻し堆肥調製施設の規模算定等

ア．水分40％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-27**）

790kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷6ｍ≒88ｍ　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６ｍ)。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0ｍ程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10ｍ/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

3,940kg/日×10日間÷600kg/㎡ ÷1.0ｍ≒66㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、

790kg÷10kg/L≒79L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(79L÷10日間÷24時間)×10日間≒3.3L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。
・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。
・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

イ．水分50％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-28**）

700kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷6m≒78m　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６m）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積(材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

7,000kg/日×10日間÷640kg/㎡　÷1.0m≒109㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、

700kg÷10kg/L≒70L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(70L÷10日間÷24時間)×10日間≒2.9L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。

・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

表3-4-27　蒸発すべき水分量

項　　目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥必要量	① 保　留　量	52	3,940	1,890	2,050
	② 当初計画量	40	3,150	1,890	1,260
①のかさ密度（kg／㎥）		（600）	―	―	―
①―②		―	790	0	790

表3-4-28　蒸発すべき水分量

項　　目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥必要量	① 保　留　量	55	7,000	3,150	3,850
	② 当初計画量	50	6,300	3,150	3,150
①のかさ密度（kg／㎥）		（640）	―	―	―
①―②		―	700	0	700

別法による戻し堆肥の水分調整例

中間・寒冷地域でも夏期を中心にしてハウスの蒸発量が３kg/㎡/日以上になることを利用して、貯蔵していた夏期の乾燥堆肥を冬期の戻し堆肥として利用する方法を**表3-4-65**の〔開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎、水分40%戻し堆肥添加〕の設計例を使用して計算した。なお、以下の計算に示す冬期とは、蒸発量が３kg/㎡/日以下の期間を意味する。冬期対策が必要な期間は地域によって１～５ヵ月の幅があるため地域に合った期間を設定する。

また、冬期が長い場合、かつ尿混入の高水分ふん(戻し堆肥量が多量)の場合は夏期貯蔵堆肥が不足するため、不足分はモミガラ・オガクズ等で補うか乾燥舎（温風利用）で材料の乾燥を図る必要がある。

ア．２次処理終了堆肥（**表3-4-65**）: 7,498kg（水分61%）、乾物量2,943kg、水分量4,555kg

イ．生産堆肥量（戻し堆肥の水分を40%に設定）: 2,943kg÷(1－0.4)=4,905kg/日

ウ．必要水蒸発量 : 7,498kg－4,905kg=2,593kg/日

エ．必要乾燥床長さ

乾燥床からの蒸発量を3kg/㎡/日、撹拌機幅6mとすると、

2,593kg÷3kg÷6m≒144m

オ．冬期必要乾燥堆肥量の半量

第3章　施設規模の算定

冬期３ヵ月間は、貯蔵していた夏期の乾燥堆肥で戻し堆肥の50%量をまかなう。貯蔵乾燥堆肥のかさ密度を400kg/m^3とすると、

4,180kg×0.5÷400 kg/m^3 ×30日≒470m^3

カ．乾燥堆肥貯蔵庫面積（堆積高さを２ｍに設定）：470m^3÷2m≒235m^2

（３）－６　戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算あり）

天日乾燥能力（0.2kg/m^2/日）を加算する場合は、「（３）－２開放・直線または円型堆肥化装置、オガクズ添加、天日乾燥加算の場合」と同様に計算するが、天日乾燥による蒸発量が少ないため、規模算出結果にはほとんど影響しない。

（４）開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置

本装置の利用法としては、①発酵槽内の材料を戻し堆肥として利用し、槽内に広く畜ふん等の原材料を表面散布し、そして槽内の撹拌機で撹拌・混合する方式と、②発酵槽外で槽内材料とは別の戻し堆肥等の資材で畜ふん等の原材料を水分調整し、発酵槽の一端から槽内に投入して敷設の撹拌機で他端へ搬送する間に堆肥化を図る方式とがある。ここでは、①での利用法に基づく場合の規模算定例を示すが、②の利用法の場合では、開放・直線型発酵槽などと同様な規模算定方式となる。

（４）－１　戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算なし）

ア．回行型(エンドレス型)発酵槽においては長期間発酵処理させている例が多いが、ここでは計算の都合上、処理期間を25日程度とし、また、畜ふんが主体であるので，２次処理は行わないこととする。但し、本章５節「堆肥化施設建屋面積算定」に示した建屋面積の試算例のように、製品のストックヤードを兼ねて２次処理施設を設ける必要はある。

イ．発酵槽での材料堆積高さは70cmと低く、発酵槽の表面積が広くなるので、中間および寒冷・積雪地域を除いた温暖地域での冬期を対象として、発酵と同時に天日乾燥による水分蒸発についても試算に含める。

ウ．肥育豚換算2,000頭規模の豚ふんを対象とする。処理対象ふん量は、

2.1 kg/(頭/日)×2,000頭＝4,200kg/日　　(水分75%)

なお、以下の試算では、水分調整に用いる戻し堆肥の水分と処理後（製品）の水分とが同一になるように適宜数値を入れて繰り返し試算し、同一の値となった場合の規模を算定している。

計算用紙 （**表3-4-29、30、31**）

①副資材添加量：4,200kg× $\dfrac{(75-65)\%}{(65-60)\%}$ ≒8,400kg

②１次処理期間の総乾物分解量

豚ふん：1,050kg× $\dfrac{40}{100}$ ≒420kg

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(420\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒2,100kg

⑧戻し堆肥保留量：3,360kg×$\dfrac{100}{(100-60)}$ ≒8,400kg

⑨堆肥生産量

Ａ．１日当り：12,600kg－(2,520kg＋8,400kg)≒1,680kg

Ｂ．年間：1,680kg×365日≒610t

⑩１次処理施設の必要容積：{(12,600kg÷800kg/m^3)＋(10,080kg÷750kg/m^3)}÷2×25日≒365m^3

⑪１次処理施設の必要面積

ａ．温暖地域：365m^3÷堆積高さ0.7ｍ×1.1≒574m^2

ｂ．中間地域：365m^3÷堆積高さ0.7ｍ×1.2≒626m^2

ｃ．寒冷・積雪地域：365m^3÷堆積高さ0.7ｍ×1.3≒678m^2

表3-4-29　堆肥化原料（1日当り）

［開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置，戻し堆肥添加の場合］

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	豚　ふ　ん	75	4,200	1,050	3,150
副資材①	戻　し　堆　肥	60	8,400	3,360	5,040
合　計		65	12,600	4,410	8,190

表3-4-30　堆肥化処理条件

［開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置，戻し堆肥添加の場合］

		全　期　間
堆肥化処理施設		開放・回行（エンドレス）型堆肥化装置
処理条件	処理日数	25日
	材料堆積高さ	70cm
	撹拌回数	1回／日
	切返し回数	—
	通気量	0.05m^3／分／m^3
総乾物分解率	豚　ふ　ん	40%
	戻し堆肥	0%
乾物分解発熱量	豚　ふ　ん	4,500kcal／kg
	戻し堆肥	0kcal／kg
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal／kg
備　考	①発酵温度60～70℃以上の場合は間欠通気（8～10時間／１日）可。 ②発酵槽表面から0.2kg／m^2／日程度の水分蒸発の例を示す。温暖地域での冬期における例であるが，臭気拡散防止のため建屋を締切る場合にこの値を採用する。	

表3-4-31 物質収支試算表

［開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置，戻し堆肥添加の場合］

			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	豚ふん		75	4,200	1,050	3,150
	戻し堆肥		60	① 8,400	3,360	5,040
	小計		65	12,600	4,410	8,190
	かさ密度（kg／㎥）		（800）	—	—	—
1次処理	減少量	豚ふん	—	—	② 420	—
		戻し堆肥	—	—	② 0	—
		小計	—	2,520	420	③ 2,100
	終了時		60	10,080	3,990	6,090
	かさ密度（kg／㎥）		（750）	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量		60	⑧ 8,400	—	—
	生産量	1日当り	60	⑨ 1,680	670	1,010
		年間	60	⑨ 610t	—	—
		生産量／処理量	—	40%	64%	32%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積		発酵槽	⑩ 365㎥	365㎥	365㎥
	必要面積		発酵槽	⑪ 574㎡	626㎡	678㎡
備考						

（4）－2　戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算あり）

天日乾燥は冬期においてもその乾燥能力が期待できる温暖地域のみを対象とする。

計算用紙（**表3-4-29、30、31、32**）

①副資材添加量：$4,200\text{kg} \times \dfrac{(75-65)\%}{(65-58)\%} \fallingdotseq 6,000\text{kg}$

②1次処理期間の総乾物分解量

豚ふん：$1,050\text{kg} \times \dfrac{40}{100} \fallingdotseq 420\text{kg}$

③1次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(420\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 2,100\text{kg}$

⑩1次処理施設の必要容積：$\{(10,200\text{kg} \div 800\text{kg/m}^3) + (7,680\text{kg} \div 720\text{kg/m}^3)\} \div 2 \times 25$日$\fallingdotseq 293\text{m}^3$

⑪1次処理施設の必要面積（仮置き）

温暖地域：$293\text{m}^3 \div$堆積高さ$0.7\text{m} \times 1.1 \fallingdotseq 460\text{m}^2$

まず、（4）－1「開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置、戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算なし）」において示される**表3-4-31**と同様に、天日乾燥能力を加算せずに1次処理施設の必要面積を求め、その面積において天日乾燥能力（0.2kg/㎡/日）を算出して、試算を進

める。天日乾燥を加算して算出した１次処理必要面積が、当初に仮置きした必要面積と一致するまで繰り返し試算を行う。また、水分調整に用いる戻し堆肥の水分と処理後（製品）の水分とが同一になることにも配慮する。

⑤天日による水分蒸発量（温暖地域のみ適用可）：460m²×0.2kg/(m²/日)≒92kg/日

終了時の質量

ａ．水分量：4,530kg－92kg≒4,438kg

ｂ．乾物量：3,150kg

ｃ．全質量：7,680kg－92kg≒7,588kg

ｄ．水分：58　％（かさ密度690kg/m³）

⑧戻し堆肥保留量：2,520kg× $\frac{100}{(100-58)}$ ≒6,000kg

⑨堆肥生産量

Ａ．１日当り：10,200kg－(2,520kg＋92kg＋6000kg)≒1,590kg

Ｂ．年間：1,590kg×365日≒580t

⑩１次処理施設の必要容積：{(10,200kg÷800kg/m³)+(7,588kg÷690kg/m³)}÷2×25日≒297m³

表3-4-32　物質収支試算表

［開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置，戻し堆肥添加，天日乾燥加算の場合］

		水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	豚ふん	75	4,200	1,050	3,150
処理前	戻し堆肥	58	① 6,000	2,520	3,480
処理前	小計	65	10,200	3,570	6,630
処理前	かさ密度（kg／m³）	(800)	—	—	—
1次処理	減少量 豚ふん	—	—	② 420	—
1次処理	減少量 戻し堆肥	—	—	② 0	—
1次処理	減少量 小計	—	2,520	420	③ 2,100
1次処理	終了時	59	7,680	3,150	4,530
1次処理	かさ密度（kg／m³）	(720)	—	—	—
施設規模	対象地域		温暖地域	中間地域	積雪・寒冷地域
施設規模	必要容積	発酵槽	⑩ 293 m³	—	—
施設規模	必要面積	発酵槽	⑪ 460 m²	—	—
温暖地域・冬期における天日乾燥能力（0.2kg／m²・日）加算の場合					
天日乾燥	水分蒸発量		92	—	⑤ 92
天日乾燥	終了時	58	7,588	3,150	4,438
天日乾燥	かさ密度（kg／m³）	(690)	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量	58	⑧ 6,000	—	—
堆肥生産量	生産量 1日当り	58	⑨ 1,590	670	920
堆肥生産量	生産量 年間	58	⑨ 580 t	—	—
堆肥生産量	生産量 生産量/処理量	—	38 %	64 %	29 %
施設規模	対象地域		温暖地域	中間地域	積雪・寒冷地域
施設規模	必要容積	発酵槽	⑩ 297 m³	—	—
施設規模	必要面積	発酵槽	⑪ 467 m²	—	—
備考					

⑪１次処理施設の必要面積

温暖地域：297m^3÷堆積高さ0.7ｍ×1.1≒467m^2

当初に設定した戻し堆肥水分と同じ値である終了時材料水分58％が得られるとともに、１次処理施設必要面積460m^2に近い値が得られた。

（５）密閉縦型堆肥化装置

ア．発酵槽から堆肥を毎日排出し、堆肥材料を毎日投入する方式として規模算定を行う。

イ．発酵槽が断熱材で覆われており、また、密閉されるため堆肥材料の表面が外気に露出しない密閉縦型堆肥化装置では、外気との接触による蒸発水分の結露が生じにくく通気により発酵槽外部への水分の持ち出しが多いため、断熱効果として0.05kg/$m^3_{通気量}$の水分蒸発量を加算する。

ウ．**表3-2-23**に示すように、１次処理終了時の目標水分を55％以下とする。発酵槽内に滞留する材料が戻し堆肥として機能する発酵方式であるが、規模算定にあたっては、戻し堆肥と合算せずに、処理対象ふんの乾物分解による乾物減少量および水分減少量とを求める。

エ．実際には、１次処理での出来上がり材料水分は40％以下となることが多い。これは発酵槽下部から上部へと通気することにより、発酵槽鉛直方向に水分勾配があり、乾燥した材料が発酵槽下部から排出されるものと推定される。

オ．断熱効果を加算せずに１次処理施設の必要容積を求め、その容積において通気量（0.1〜0.2m^3/分/$m^3_{堆積材料}$）を算出し、さらに断熱効果による水分蒸発量（0.05kg/$m^3_{通気量}$）を算出して、試算を進める。断熱効果を加算して算出した１次処理必要容積が、当初に仮置きした必要容積と一致するまで繰り返し試算を行う。

カ．発酵後の水分が55％よりも高くなる場合は、２節６）で説明した灯油等の化石燃料や電気ヒータ（リングブロワの昇温効果を含む）等の温風通気による外部エネルギー利用による乾燥促進を図るものとする。

キ．肥育豚換算2,000頭規模の豚ふんを対象とする。処理対象ふん量は、

2.1 kg/(頭/日)×2,000頭=4,200kg/日　（水分75％）

なお、以下の試算では、水分調整に用いる戻し堆肥の水分と処理後（製品）の水分とが同一になるように適宜数値を入れて繰り返し試算し、同一の値となった場合の規模を算定している。

計算用紙（**表3-4-33、34、35**）

②１次処理期間の総乾物分解量

$$豚ふん：1,050kg×\frac{30}{100}≒315kg$$

③１次処理期間の水分蒸発量

排気煙道による熱交換による温風通気により、水分蒸発熱量を700kcal/kgとする。

$$乾物分解による水分蒸発量：\frac{(315kg×4,500kcal/kg)}{700kcal/kg}≒2,025kg$$

断熱効果による水分蒸発量

Ａ．まず、断熱効果を加算せずに１次処理施設の必要容積を求め、その容積において通気量

（0.1～0.2m^3/分/$m^3_{堆積材料}$）を算出し、さらに断熱効果（0.05kg/$m^3_{通気量}$）による水分蒸発量を算出して、試算を進める。

B．断熱効果を加算して算出した１次処理必要容積が、当初に仮置きした必要容積と一致するまで繰り返し試算を行う。

C．繰り返し試算を行った結果として、発酵槽容積を44m^3に仮置きした際の試算結果を以下に示す。

通気量：0.2 m^3/(分/$m^3_{堆積材料}$)×44m^3＝8.8m^3/分

断熱効果による水分蒸発量：0.05kg/$m^3_{通気量}$×8.8m^3/分×60分×24時間＝634kg/日

⑩１次処理施設の必要容積：{(4,200kg÷800kg/m^3)＋(1,226kg÷590kg/m^3)}÷2×12日≒44m^3

仮置きした１次処理必要容積と同じ値が得られ、かつ１次処理終了時の材料水分も目標値である55%以下の値が得られた。

⑥２次処理期間の総乾物分解量：1,050kg×$\frac{(35-30)}{100}$≒53kg

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\frac{(53\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$≒265kg

⑨堆肥生産量

A．１日当り：4,200kg－(2,340kg＋634kg＋318kg)≒908kg

B．年間：908kg×365日≒331t

⑫堆肥舎の必要容積：(1,226kg÷590 kg/m^3)×(38－12)日≒54m^3

⑬堆肥舎の必要面積

a．温暖地域：54m^3÷堆積高さ2.0m×1.1≒30m^2

b．中間地域：54m^3÷堆積高さ2.0m×1.2≒32m^2

c．寒冷・積雪地域：54m^3÷堆積高さ2.0m×1.3≒35m^2

以上に示すように、断熱効果による水分蒸発量は大きいため、通気量に不足があれば発酵槽内からの水分蒸発が不十分となり、材料水分の上昇により発酵槽下部からの材料排出に支障をきたし、また通気が過多であれば、発酵槽内の材料水分の低下により、発酵槽内が過乾燥となり、発酵材料がダストとなり排気煙道を閉塞させる。そのため、適切な通気量を算出した上で送風機を選定することが、規模算定において重要である。

表3-4-33　堆肥化原料（1日当り）［密閉縦型堆肥化装置＋堆肥舎］

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	豚ふん	75	4,200	1,050	3,150
合　計		75	4,200	1,050	3,150

表3-4-34　堆肥化処理条件（1日当り）［密閉縦型堆肥化装置＋堆肥舎］

		1 次 処 理	2 次 処 理	全 期 間
堆肥化処理施設		密閉縦型堆肥化装置	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	12日	(38-12)＝26日	38日
	材料堆積高さ	250cm	200cm	—
	撹拌回数	10～24回転／日	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.2m^3／分／m^3	—	—
総乾物分解率	豚ふん	30%	(35-30)＝5%	35%
	—	—	—	—
乾物分解発熱量	豚ふん	4,500kcal/kg	4,500kcal/kg	—
	—	—	—	—
水分蒸発熱量／水1kg		700kcal/kg	900kcal/kg	—
断熱効果による水分蒸発量／通気1m^3		0.05kg/m^3	—	—
備考				

表3-4-35　物質収支試算表［密閉縦型堆肥化装置＋堆肥舎］

			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	豚ふん		75	4,200	1,050	3,150
	かさ密度（kg／m^3）		—	—	—	—
1次処理	減少量	豚ふん	—	—	② 315	—
		小計	—	2,340	315	③ 2,025
	終了時		60	1,860	735	1,125
	かさ密度（kg／m^3）		(800)	—	—	—
乾燥による減量	減少量	断熱効果	—	634	—	634
		小計	—	634	—	③ 634
	終了時		40	1,226	735	491
	かさ密度（kg／m^3）		(590)	—	—	—
2次処理	減少量	豚ふん	—	—	⑥ 53	—
		小計	—	318	53	⑦ 265
	終了時		25	908	682	226
	かさ密度（kg／m^3）		(460)	—	—	—
堆肥生産量	生産量	1日当り	25	⑨ 908	682	226
		年間	25	⑨ 331t	—	—
		生産量／処理量	—	22%	65%	7%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	密閉縦型堆肥化装置		⑩ 44m^3	44m^3	44m^3
		密閉縦型堆肥化装置（余裕率考慮）		⑩ 48m^3	48m^3	48m^3
		堆肥舎		⑫ 54m^3	54m^3	54m^3
	必要面積	密閉縦型堆肥化装置		⑪ —	—	—
		堆肥舎		⑬ 30m^2	32m^2	35m^2
備考		・断熱効果を加算せずに密閉縦型堆肥化装置の必要容積を求め、その容積において通気量を算出し、さらに断熱効果による水分蒸発量を算出して、試算を進める。断熱効果による水分蒸発を加算して算出した1次処理必要容積が、当初に仮置きした必要容積と一致するまで繰り返し試算を行う。 ・副資材未添加の新鮮な生ふんのかさ密度は900～1,000kg/m^3程度としてもよい。 ・密閉縦型堆肥化装置の必要容積については、余裕率10%を考慮した値も併記している（密閉縦型堆肥化装置は余裕率を必要面積の算出時に考慮できないため）。				

（6）計算結果の要約（表3-4-36）

表3-4-36　試算結果の要約（豚ふん，鶏ふんの場合）

			オガクズ添加又は敷料混合				戻し堆肥添加							
			堆肥舎	通気型堆肥舎	開放・直線又は円型		堆肥舎		通期型堆肥舎		開放・直線又は円型		開放・回行	密閉型
							40%戻し堆肥	50%戻し堆肥	40%戻し堆肥	50%戻し堆肥	40%戻し堆肥	50%戻し堆肥	(エンドレス)型	縦型
原料	対象畜種		肥育豚	肥育豚	肥育豚	ブロイラー	採卵鶏		採卵鶏		採卵鶏		肥育豚	肥育豚
原料	畜ふんの水分と量（%，kg/日）		75 4,200	75 4,200	75 4,200	35 1,500	75 4,200	75 4,200	75 4,200	75 4,200	75 4,200	75 4,200	75 4,200	75 4,200
原料	オガクズの水分と量（%，kg/日）		25 1,050	25 1,050	25 1,050	35 640	—	—	—	—	—	—	—	—
原料	戻し堆肥の水分と量（%，kg/日）		—	—	—	—	40 3,150	50 6,300	40 3,150	50 6,300	40 3,150	50 6,300	60 8,400	—
原料	計（%，kg/日）		65 5,250	65 5,250	65 5,250	65 3,970	60 7,350	60 10,500	60 7,350	65 10,500	60 7,350	60 10,500	65 12,600	75 4,200
処理条件	条件		表3-4-2	表3-4-10	表3-4-18	表3-4-22	表3-4-5		表3-4-13		表3-4-25		表3-4-30	表3-4-34
処理条件	処理日数	1次（日）	—	25	20	20	—		20		15		—	12
処理条件	処理日数	2次（日）	—	90	65	65	—		20		20		—	26
処理条件	処理日数	計（日）	165	115	85	85	55		40		35		25	38
総乾物分解率	1次処理	畜ふん（%）	—	27	34	25	—		20		23		—	30
総乾物分解率	1次処理	副資材（%）		9	12	12			—		—			—
総乾物分解率	2次処理	畜ふん（%）	—	8	6	5	—		7		7		—	5
総乾物分解率	2次処理	副資材（%）		2	2	2			—		—			—
総乾物分解率	全期間	畜ふん（%）	30	35	40	30	25		27		30		40	35
総乾物分解率	全期間	副資材（%）	9	11	14	14	—		—		—		—	—
堆肥	水分と量（%，kg/日）		52 3,050	48 2,660	42 2,250	47 1,970	54 1,660	56 1,760	53 1,630	55 1,890	52 1,510	55 1,600	60 1,680	25 908
堆肥	製品歩留り（%）		58	51	43	50	40	42	39	43	36	38	40	22
発酵槽	実容積	三地域共通（㎥）	—	168	135	106	—	—	184	263	131	189	365(297)	48
発酵槽	面積	温暖地域（㎡）	—	80	74	58	—	—	88	126	72	104	574(467)	—
発酵槽	面積	中間地域（㎡）	—	88	81	64	—	—	96	137	79	113	626	—
発酵槽	面積	寒冷・積雪地域（㎡）	—	95	88	69	—	—	104	149	85	123	678	—
堆肥舎	実容積	三地域共通（㎥）	1,110	607	439	355	505	722	167	240	166	241	—	54
堆肥舎	面積	温暖地域（㎡）	611	334	241	195	278	397	92	132	91	133	—	30
堆肥舎	面積	中間地域（㎡）	666	364	263	213	303	433	100	144	100	145	—	32
堆肥舎	面積	寒冷・積雪地域（㎡）	722	395	285	231	328	469	109	156	108	157	—	35

注）面積，実容積における温暖地域での（　）の数値は，天日乾燥能力（0.2kg／㎥／日）を加算して，少なくなった場合である。

2）牛ふんの場合

（1）堆肥舎

（1）－1　オガクズ等敷料混合の場合

肥育牛200頭規模を対象とし、敷料としてオガクズを使用する場合とする。処理対象ふん量は、

20kg/(頭/日)×200頭=4,000kg/日　（水分81%）

計算用紙（表3-4-37、38、39）

①副資材添加量：$4{,}000\text{kg} \times \dfrac{(81-72)\%}{(72-25)\%} \fallingdotseq 770\text{kg}$

②全期間の総乾物分解量

A．肥育牛ふん：$760\text{kg} \times \dfrac{30}{100} \fallingdotseq 228\text{kg}$

B．副資材：$580\text{kg} \times \dfrac{9}{100} \fallingdotseq 52\text{kg}$

③全期間の水分蒸発量：$\dfrac{(228\text{kg} \times 4{,}500\text{kcal/kg}) + (52\text{kg} \times 3{,}000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 1{,}313\text{kg}$

⑨堆肥生産量

A．１日当り：4,770kg－1,593kg≒3,180kg

B．年間：3,180kg×365日≒1,160t

⑩堆肥舎の必要容積：(4,770kg÷800kg/m^3)×165日≒984m^3

⑪堆肥舎の必要面積

a．温暖地域：984m^3÷堆積高さ2.0m×1.1≒541m^2

b．中間地域：984m^3÷堆積高さ2.0m×1.2≒590m^2

c．寒冷・積雪地域：984m^3÷堆積高さ2.0m×1.3≒640m^2

表3-4-37　堆肥化原料（1日当り）［堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	肥育牛ふん	81	4,000	760	3,240
副資材①	敷料（オガクズ）	25	770	580	190
小計		72	4,770	1,340	3,430

表3-4-38 堆肥化処理条件［堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

		全期間
堆肥化処理施設		堆肥舎
処理条件	処理日数	165日
	材料堆積高さ	200cm
	撹拌回数	—
	切返し回数	1回／月程度（堆積初期は1回／20日以内）
	通気量	—
総乾物分解率	肥育牛ふん	30%
	敷料（オガクズ）	9%
乾物分解発熱量	肥育牛ふん	4,500kcal／kg
	敷料（オガクズ）	3,000kcal／kg
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal／kg
備考		

表3-4-39 物質収支試算表［堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	肥育牛ふん		81	4,000	760	3,240
	敷料（オガクズ）		25	① 770	580	190
	小計		72	4,770	1,340	3,430
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—
全期間	減少量	肥育牛ふん	—	—	② 228	—
		敷料(オガクズ)	—	—	② 52	—
		小計	—	1,593	280	③ 1,313
	終了時		67	3,177	1,060	2,117
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—
堆肥生産量	1日当り		67	⑨ 3,180	1,060	2,120
	年間		67	⑨ 1,160t	—	—
	生産量／処理量		—	67%	79%	62%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	堆肥舎		⑩ 983m³	983m³	983m³
	必要面積	堆肥舎		⑪ 541m²	590m²	640m²
備考			・出来上がり堆肥を市販・流通させる場合には，新たなオガクズの追加又は戻し堆肥添加等により調整目標水分を下げ，堆肥製品の水分が50%台になるように本規模算定を進める必要がある。なお，出来上がり製品を乾燥する方式，例えば「戻し堆肥調整施設の規模算定等」で示したハウス乾燥方式や常温通風又は温風通風の乾燥舎方式などもある。			

（1）－2　戻し堆肥添加の場合

表3-2-3「処理対象ふん量の目安」に示した参考例と同様に、処理対象頭数を経産牛116頭、育成牛12頭とする。処理対象ふん量は、

5,052kg/日　（水分85.7%）

計算用紙（**表3-4-40、41、42**）

①副資材添加量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$5,052\mathrm{kg}\times\dfrac{(85.7-68)\%}{(68-40)\%}\fallingdotseq 3,190\mathrm{kg}$

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$5,052\mathrm{kg}\times\dfrac{(85.7-68)\%}{(68-50)\%}\fallingdotseq 4,970\mathrm{kg}$

②全期間の総乾物分解量

搾乳牛ふん：$722\mathrm{kg}\times\dfrac{30}{100}\fallingdotseq 217\mathrm{kg}$

③　全期間の水分蒸発量：$\dfrac{(217\mathrm{kg}\times 4,500\mathrm{kcal/kg})}{900\mathrm{kcal}}\fallingdotseq 1,085\mathrm{kg}$

⑧戻し堆肥保留量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$1,914\mathrm{kg}\times\dfrac{100}{(100-65)}\fallingdotseq 5,470\mathrm{kg}$

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$2,485\mathrm{kg}\times\dfrac{100}{(100-66)}\fallingdotseq 7,310\mathrm{kg}$

⑨堆肥生産量

ア．戻し堆肥水分40％の場合

Ａ．１日当り：8,242kg－(1,302kg＋5,470kg)≒1,470kg

Ｂ．年間：1,470kg×365日≒540t

イ．戻し堆肥水分50％の場合

Ａ．１日当り：10,022kg－(1,302kg＋7,310kg)≒1,410kg

Ｂ．年間：1,410kg×365日≒510t

⑩堆肥舎の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(8,242kg÷800kg/㎥)×55日≒567㎥

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(10,022kg÷800kg/㎥)×55日≒689㎥

⑪堆肥舎の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合

ａ．温暖地域：567㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒312㎡

ｂ．中間地域：567㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒340㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：567㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒369㎡

イ．戻し堆肥水分50％の場合

ａ．温暖地域：689㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒379㎡

b．中間地域：689㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒413㎡

c．寒冷・積雪地域：689㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒448㎡

表3-4-40　堆肥化原料（1日当り）[堆肥舎，戻し堆肥添加の場合]

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	搾乳牛ふん	85.7	5,052	722	4,330
副資材①	戻し堆肥	40	3,190	1,914	1,276
		50	4,970	2,485	2,485
合　計	40%の場合	68	8,242	2,636	5,606
	50%の場合	68	10,022	3,207	6,815

表3-4-41　堆肥化処理条件［堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

		全　期　間
堆肥化処理施設		堆肥舎
処理条件	処理日数	55日
	材料堆積高さ	200cm
	撹拌回数	—
	切返し回数	1回／月程度（堆積初期は1回／20日以内）
	通気量	—
総乾物分解率	搾乳牛ふん	30%
	戻し堆肥	0%
乾物分解発熱量	搾乳牛ふん	4,500kcal／kg
	戻し堆肥	0kcal／kg
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal／kg
備　考		

表3-4-42　物質収支試算表［堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

			水分40%戻し堆肥添加の場合				水分50%戻し堆肥添加の場合			
			水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)	水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	搾乳牛ふん		85.7	5,052	722	4,330	85.7	5,052	722	4,330
	戻し堆肥		40	① 3,190	1,914	1,276	50	① 4,970	2,485	2,485
	小計		68	8,242	2,636	5,606	68	10,022	3,207	6,815
	かさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
全期間	減少量	搾乳牛ふん	—	—	② 217	—	—	—	② 217	—
		戻し堆肥	—	—	② 0	—	—	—	② 0	—
		小計	—	1,302	217	③ 1,085	—	1,302	217	③ 1,085
	終了時		65	6,940	2,419	4,521	66	8,720	2,990	5,730
	かさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量		65	⑧ 5,470	—	—	66	⑧ 7,310	—	—
	生産量	1日当り	65	⑨ 1,470	510	960	66	⑨ 1,410	480	930
		年間	65	⑨ 540 t	—	—	66	⑨ 510 t	—	—
		生産量/処理量	—	29 %	71 %	22 %	—	28 %	66 %	21 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域	—	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	堆肥舎		⑩ 567 ㎥	567 ㎥	567 ㎥	—	689 ㎥	689 ㎥	689 ㎥
	必要面積	堆肥舎		⑪ 312 ㎡	340 ㎡	369 ㎡	—	379 ㎡	413 ㎡	448 ㎡
備　考			・端数整理の関係上，40%と50%で計算上多少の差が生じた。 ・出来上がり堆肥を市販・流通させる場合には，新たなオガクズ又は戻し堆肥等の添加により調整目標水分を下げ，堆肥製品の水分が50%台になるように本規模算定を進める必要がある。なお，出来上がり製品を乾燥する方式，例えば「戻し堆肥調整施設の規模算定等」で示したハウス乾燥方式や常温通風の乾燥舎方式などもある。							

戻し堆肥調製施設の規模算定等

ア．水分40%戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-43**）

2,280kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷６ｍ≒253ｍ　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６ｍ）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0ｍ程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10ｍ/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

5,470kg/日×10日間÷800kg/㎡　÷1.0ｍ≒68㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10㎏の水分蒸発量が期待できるので、

2,280kg÷10kg/L≒228L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(228L÷10日間÷24時間)×10日間≒9.5L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。

・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

イ．水分50%戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-44**）

2,340kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷６ｍ≒260ｍ　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６ｍ）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積

（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

7,310kg/日×10日間÷800kg/㎥ ÷1.0m≒91㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10㎏の水分蒸発量が期待できるので、

2,340kg÷10kg/L≒234L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(234L÷10日間÷24時間)×10日間≒9.8L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

第3章　施設規模の算定

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。

・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

表3-4-43　蒸発すべき水分量

項　　目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥	① 保　留　量	65	5,470	1,914	3,556
必　要　量	② 当初計画量	40	3,190	1,914	1,276
①のかさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—
①—②		—	2,280	0	2,280

表3-4-44　蒸発すべき水分量

項　　目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥	① 保　留　量	66	7,310	2,485	4,825
必　要　量	② 当初計画量	50	4,970	2,485	2,485
①のかさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—
①—②		—	2,340	0	2,340

（１）－３　固液分離機利用の場合

搾乳牛ふんを対象として**表3-2-3**「処理対象ふん量の目安」の参考例で示した処理対象ふん

量5,052kg/日（水分85.7%）を固液分離するものとし、固液分離機で分離した固形分の水分は75%程度、固形物の回収率は50%程度とする。原料の初期水分は若干高いが、そのまま堆積しても堆肥化が順調に進むものとする。

計算用紙（表3-4-45、46、47）

②全期間の総乾物分解量

乳牛固液分離ふん：$361\text{kg} \times \dfrac{30}{100} \fallingdotseq 108\text{kg}$

③全期間の水分蒸発量：$\dfrac{(108\text{kg} \times 4{,}000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 480\text{kg}$

⑨堆肥生産量

A．１日当り：1,444kg－588kg≒860kg

B．年間：860kg×365日≒310t

⑩堆肥舎の必要容積：(1,444kg÷780kg/㎥)×55日≒102㎥

⑪堆肥舎の必要面積

a．温暖地域：102㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒56㎡

b．中間地域：102㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒61㎡

c．寒冷・積雪地域：102㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒66㎡

表3-4-45　堆肥化原料（1日当り）［堆肥舎，固液分離機利用の場合］

種　　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
搾乳牛個液分離ふん	75	1,444	361	1,083
合　　計	75	1,444	361	1,083

表3-4-46　堆肥化処理条件［堆肥舎，固液分離機利用の場合］

		全　　期　　間
堆肥化処理施設		堆　　肥　　舎
処理条件	処理日数	55日
	材料堆積高さ	200cm
	撹拌回数	—
	切返し回数	1回／月程度（堆積初期は1回／20日以内）
	通気量	—
総乾物分解率	個液分離ふん	30%
	—	—
乾物分解発熱量	個液分離ふん	4,000kcal／kg
	—	—
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal／kg
備考		

表3-4-47　物質収支試算表［堆肥舎，固液分離機利用の場合］

			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	搾乳牛固液分離ふん		75	1,444	361	1,083
処理前	かさ密度（kg／㎥）		(780)	—	—	—
全期間	減少量	乳牛固液分離ふん	—	—	② 108	—
全期間	減少量	小計	—	588	108	③ 480
全期間	終了時		70	856	253	603
全期間	かさ密度（kg／㎥）		(620)	—	—	—
堆肥生産量	1日当り		70	⑨ 860	260	600
堆肥生産量	年間		70	⑨ 310t	—	—
堆肥生産量	生産量／処理量		—	60 %	72 %	55 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
施設規模	必要容積	堆肥舎		⑩ 102㎥	102㎥	102㎥
施設規模	必要面積	堆肥舎		⑪ 56㎡	61㎡	66㎡
備考						

（２）通気型堆肥舎

（２）－１　オガクズ等敷料混合の場合

肥育牛200頭規模を対象とし、敷料としてオガクズを使用する場合とする。処理対象ふん量は、

20kg/(頭・日)×200頭=4,000kg/日　（水分81%）

計算用紙（表3-4-48、49、50）

①副資材添加量：$4,000\text{kg}\times\dfrac{(81-72)\%}{(72-25)\%}\fallingdotseq 770\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

A．肥育牛ふん：$760\text{kg}\times\dfrac{27}{100}\fallingdotseq 205\text{kg}$

B．副資材：$580\text{kg}\times\dfrac{9}{100}\fallingdotseq 52\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(205\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})+(52\text{kg}\times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}\fallingdotseq 1,198\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

A．肥育牛ふん：$760\text{kg}\times\dfrac{(35-27)}{100}\fallingdotseq 61\text{kg}$

B．副資材：$580\text{kg}\times\dfrac{(11-9)}{100}\fallingdotseq 12\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(61\text{kg}\times4,500\text{kcal/kg})+(12\text{kg}\times3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒345kg

⑨堆肥生産量

Ａ．１日当り：4,770kg－(1,455kg＋418kg)≒2,900kg

Ｂ．年間：2,900kg×365日≒1,060t

⑩１次処理施設の必要容積：(4,770kg÷800kg/㎥)×25日≒149㎥

⑪１次処理施設の必要面積

ａ．温暖地域：149㎥÷堆積高さ2.3m×1.1≒71㎡

ｂ．中間地域：149㎥÷堆積高さ2.3m×1.2≒78㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：149㎥÷堆積高さ2.3m×1.3≒84㎡

⑫堆肥舎の必要容積：(3,315kg÷800kg/㎥)×(115－25)日≒373㎥

⑬堆肥舎の必要面積

ａ．温暖地域：373㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒205㎡

ｂ．中間地域：373㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒224㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：373㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒242㎡

表3-4-48　堆肥化原料（１日当り）

［通気型堆肥舎＋堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

	種　　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主　原　料	肥育牛ふん	81	4,000	760	3,240
副資材①	敷料（オガクズ）	25	770	580	190
合　計		72	4,770	1,340	3,430

表3-4-49　堆肥化処理条件［通気型堆肥舎＋堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

		１次処理	２次処理	全期間
堆肥化処理施設		通気型堆肥舎	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	25日	（115-25）＝90日	115日
	材料堆積高さ	230cm	200cm	—
	撹拌回数	—	—	—
	切返し回数	—	１回／月程度	—
	通気量	0.1㎥／分／㎥	—	—
総乾物分解量	肥育牛ふん	27%	（35-27）＝8%	35%
	敷料（オガクズ）	9%	（11- 9）＝2%	11%
乾物分解発熱量	肥育牛ふん	4,500kcal／kg	4,500kcal／kg	—
	敷料（オガクズ）	3,000kcal／kg	3,000kcal／kg	—
水分蒸発熱量／水１kg		900kcal／kg	900kcal／kg	—
備考	１次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

第３章　施設規模の算定

表3-4-50　物質収支試算表［通気型堆肥舎＋堆肥舎，オガクズ等敷料混合の場合］

			水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	肥育牛ふん		81	4,000	760	3,240
処理前	敷料（オガクズ）		25	① 770	580	190
処理前	小計		72	4,770	1,340	3,430
処理前	かさ密度（kg／m^3）		(800)	—	—	—
1次処理	減少量	肥育牛ふん	—	—	② 205	—
1次処理	減少量	敷料（オガクズ）	—	—	② 52	—
1次処理	減少量	小計	—	1,455	257	③ 1,198
1次処理	終了時		67	3,315	1,083	2,232
1次処理	かさ密度（kg／m^3）		(800)	—	—	—
2次処理	減少量	肥育牛ふん	—	—	② 61	—
2次処理	減少量	敷料（オガクズ）	—	—	② 12	—
2次処理	減少量	小計	—	418	73	③ 345
2次処理	終了時		65	2,897	1,010	1,887
2次処理	かさ密度（kg／m^3）		(780)	—	—	—
堆肥生産量	1日当り		65	② 2,900	1,010	1,890
堆肥生産量	年間		65	⑨ 1,060 t	—	—
堆肥生産量	生産量／処理量		—	61　%	75　%	55　%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷･積雪地域
施設規模	必要容積	通気型堆肥舎		⑩ 149 m^3	149 m^3	149 m^3
施設規模	必要容積	堆肥舎		⑫ 373 m^3	373 m^3	373 m^3
施設規模	必要面積	通気型堆肥舎		⑪ 71 m^2	78 m^2	84 m^2
施設規模	必要面積	堆肥舎		⑬ 205 m^2	224 m^2	242 m^2
備考			・出来上がり堆肥を市販・流通させる場合には，新たなオガクズの追加又は戻し堆肥添加等により調整目標水分を下げ，堆肥製品の水分が50%台になるように本規模算定を進める必要がある。なお，出来上がり製品を乾燥する方式，例えば「戻し堆肥調整施設の規模算定等」で示したハウス乾燥方式や常温通風又は温風通風の乾燥方式などもある。			

（２）－２　戻し堆肥添加の場合

表3-2-3「処理対象ふん量の目安」に示した参考例と同様に、処理対象頭数を経産牛116頭、育成牛12頭とする。処理対象ふん量は、

5,052kg/日　（水分85.7%）

計算用紙（**表3-4-51、52、53**）

①副資材添加量

ア．戻し堆肥水分40%の場合：$5,052\text{kg} \times \dfrac{(85.7-68)\%}{(68-40)\%} \fallingdotseq 3,190\text{kg}$

イ．戻し堆肥水分50%の場合：$5,052\text{kg} \times \dfrac{(85.7-68)\%}{(68-50)\%} \fallingdotseq 4,970\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

搾乳牛ふん：$722\text{kg} \times \dfrac{22}{100} \fallingdotseq 159\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(159\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒795kg

⑥２次処理期間の総乾物分解量

搾乳牛ふん：722kg× $\dfrac{(35-22)}{100}$ ≒94kg

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(94\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒470kg

⑧戻し堆肥保留量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：1,914kg× $\dfrac{100}{(100-65)}$ ≒5,470kg

イ．戻し堆肥水分50％の場合：2,485kg× $\dfrac{100}{(100-65)}$ ≒7,100kg

⑨堆肥生産量

ア．戻し堆肥水分40％の場合

Ａ．１日当り：8,242kg－(1,518kg＋5,470kg)≒1,250kg

Ｂ．年間：1,250kg×365日≒460t

イ．戻し堆肥水分50％の場合

Ａ．１日当り：10,022kg－(1,518kg＋7,100kg)≒1,400kg

Ｂ．年間：1,400kg×365日≒510t

⑩１次処理施設の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(8,242kg÷800kg/m^3)×20日≒206m^3

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(10,022kg÷800kg/m^3)×20日≒251m^3

⑪１次処理施設の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合

ａ．温暖地域：206m^3÷堆積高さ2.3m×1.1≒99m^2

ｂ．中間地域：206m^3÷堆積高さ2.3m×1.2≒107m^2

ｃ．寒冷・積雪地域：206m^3÷堆積高さ2.3m×1.3≒116m^2

イ.戻し堆肥水分50％の場合

ａ．温暖地域：251m^3÷堆積高さ2.3m×1.1≒120m^2

ｂ．中間地域：251m^3÷堆積高さ2.3m×1.2≒131m^2

ｃ．寒冷・積雪地域：251m^3÷堆積高さ2.3m×1.3≒142m^2

⑫堆肥舎の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(7,288kg÷800kg/㎥)×(40−20)日≒182㎥

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(9,068kg÷800kg/㎥)×(40−20)日≒227㎥

⑬堆肥舎の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合

ａ．温暖地域：182㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.1≒100㎡

ｂ．中間地域：182㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.2≒109㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：182㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.3≒118㎡

イ．戻し堆肥水分50％の場合

ａ．温暖地域：227㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.1≒125㎡

ｂ．中間地域：227㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.2≒136㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：227㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.3≒148㎡

表3-4-51 堆肥化原料（1日当り）［通気型堆肥舎＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

	種 類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主 原 料	搾乳牛ふん	85.7	5,052	722	4,330
副資材①	戻 し 堆 肥	40	3,190	1,914	1,276
		50	4,970	2,485	2,485
合 計	40％の場合	68	8,242	2,636	5,606
	50％の場合	68	10,022	3,207	6,815

表3-4-52 堆肥化処理条件［通気型堆肥舎＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

		1 次 処 理	2 次 処 理	全 期 間
堆 肥 化 処 理 施 設		通気型堆肥舎	堆 肥 舎	—
処理条件	処 理 日 数	20日	(40-20) =20日	40日
	材 料 堆 積 高 さ	230 cm	200 cm	—
	撹 拌 回 数	—	—	—
	切 返 し 回 数	—	1回／月程度	—
	通 気 量	0.1㎥／分／㎥	—	—
総乾物分解率	搾 乳 牛 ふ ん	22％	(35-22) =13％	35％
	戻 し 堆 肥	0％	0％	—
乾物分解発熱量	搾 乳 牛 ふ ん	4,500kcal／kg	4,500kcal／kg	—
	戻 し 堆 肥	0kcal／kg	0kcal／kg	—
水 分 蒸 発 熱 量 ／ 水 1kg		900kcal／kg	900kcal／kg	—
備 考	1次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

表3-4-53　物質収支試算表［通気型堆肥舎＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

			水分40％戻し堆肥添加の場合				水分50％戻し堆肥添加の場合			
			水分（％）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）	水分（％）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	搾乳牛ふん		85.7	5,052	722	4,330	85.7	5,052	722	4,330
	戻し堆肥		40	① 3,190	1,914	1,276	50	① 4,970	2,485	2,485
	小計		68	8,242	2,636	5,606	68	10,022	3,207	6,815
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
1次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	② 159	—	—	—	② 159	—
		戻し堆肥	—	—	② 0	—	—	—	② 0	—
		小計	—	954	159	③ 795	—	954	159	③ 795
	終了時		66	7,288	2,477	4,811	66	9,068	3,048	6,020
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
2次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	⑥ 94	—	—	—	⑥ 94	—
		戻し堆肥	—	—	⑥ 0	—	—	—	⑥ 0	—
		小計	—	564	94	⑦ 470	—	564	94	⑦ 470
	終了時		65	6,724	2,383	4,341	65	8,504	2,954	5,550
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量		65	⑧ 5,470	—	—	65	⑧ 7,100	—	—
	生産量	1日当り	65	⑨ 1,250	440	810	65	⑨ 1,400	490	910
		年間	65	⑨ 460 t	—	—	65	⑨ 510 t	—	—
		生産量/処理量	—	25 %	61 %	19 %	—	28 %	68 %	21 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域	—	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	発酵槽		⑩ 206 m³	206 m³	206 m³	—	251 m³	251 m³	251 m³
		堆肥舎		⑫ 182 m³	182 m³	182 m³	—	227 m³	227 m³	227 m³
	必要面積	発酵槽		⑪ 99 m²	107 m²	116 m²	—	120 m²	131 m²	142 m²
		堆肥舎		⑬ 100 m²	109 m²	118 m²	—	125 m²	136 m²	148 m²
備考			・端数整理の関係上，40％と50％で計算上多少の差が生じた。 ・出来上がり堆肥を市販・流通させる場合には，新たなオガクズ又は戻し堆肥等の添加により調整目標水分を下げ，堆肥製品の水分が50％台になるように本規模算定を進める必要がある。なお，出来上がり製品を乾燥する方式，例えば「戻し堆肥調整施設の規模算定等」で示したハウス乾燥方式や常温通風又は温風通風の乾燥舎方式などもある。							

戻し堆肥調製施設の規模算定等

ア．水分40％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（表3-4-54）

2,280kg/日÷1.5kg/(m²/日)÷６㎜≒253m　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６m）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

5,470kg/日×10日間÷800kg/m²　÷1.0m≒68m²

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、

2,280kg÷10kg/L≒228L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、
(228L÷10日間÷24時間)×10日間≒9.5L/時
程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。
・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。
・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

イ．水分50％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-55**）

2,130kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷６ｍ≒237ｍ　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６ｍ）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0ｍ程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

7,100kg/日×10日間÷800kg/㎡ ÷1.0ｍ≒89㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、

2,130kg÷10kg/L≒213L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(213L÷10日間÷24時間)×10日間≒8.9L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式

を取入れて乾燥する。

・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

表3-4-54　蒸発すべき水分量

項　　目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥	①保　留　量	65	5,470	1,914	3,556
必　要　量	②当初計画量	40	3,190	1,914	1,276
①の容積量（kg／㎥）		(800)	―	―	―
①－②		―	2,280	0	2,280

表3-4-55　蒸発すべき水分量

項　　目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥	①保　留　量	65	7,100	2,485	4,615
必　要　量	②当初計画量	50	4,970	2,485	2,485
①の容積量（kg／㎥）		(800)	―	―	―
①－②		―	2,130	0	2,130

（２）－３　固液分離機利用の場合

搾乳牛ふんを対象として**表3-2-3**「処理対象ふん量の目安」の参考例で示した処理対象ふん量5,052kg/日（水分85.7%）を固液分離するものとし、固液分離機で分離した固形分の水分は75%程度、固形物の回収率は50%程度とする。原料の初期水分は若干高いが、そのまま堆積しても堆肥化が順調に進むものとする。

計算用紙（**表3-4-56、57、58**）

②１次処理期間の総乾物分解量

乳牛固液分離ふん：$361\text{kg} \times \dfrac{22}{100} \fallingdotseq 79\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(79\text{kg} \times 4,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 351\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

乳牛固液分離ふん：$361\text{kg} \times \dfrac{(35-22)}{100} \fallingdotseq 47\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(47\text{kg} \times 4,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 209\text{kg}$

⑨堆肥生産量

A．１日当り：1,444kg－(430kg＋256kg)≒760kg

B．年間：760kg×365日≒280t

⑩１次処理施設の必要容積：(1,444kg÷780kg/m³)×20日≒37m³

⑪１次処理施設の必要面積

a．温暖地域：37m³÷堆積高さ2.3m×1.1≒18m²

b．中間地域：37m³÷堆積高さ2.3m×1.2≒19m²

c．寒冷・積雪地域：37m³÷堆積高さ2.3m×1.3≒21m²

⑫堆肥舎の必要容積：(1,014kg÷660kg/m³)×(40－20)日≒31m³

⑬堆肥舎の必要面積

a．温暖地域：31m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒17m²

b．中間地域：31m³÷堆積高さ2.0m×1.2≒19m²

c．寒冷・積雪地域：31m³÷堆積高さ2.0m×1.3≒20m²

表3-4-56　堆肥化原料(1日当り)［通気型堆肥舎＋堆肥舎，固液分離機利用の場合］

種　類	水分（%）	処理量(kg)	乾物量（kg）	水分量（kg）
搾乳牛固液分離ふん	75	1,444	361	1,083
合　計	75	1,444	361	1,083

表3-4-57　堆肥化処理条件［通気型堆肥舎＋堆肥舎，固液分離機利用の場合］

		1次処理	2次処理	全期間
堆肥化処理施設		通気型堆肥舎	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	20　日	(40-20)＝20日	40　日
	材料堆積高さ	230　cm	200　cm	—
	撹拌回数	—	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.1m³／分／m³	—	—
総乾物分解率	固液分離ふん	22　%	(35-22)＝13%	35　%
	—	—	—	—
乾物分解発熱量	固液分離ふん	4,000kcal／kg	4,000kcal／kg	—
	—	—	—	—
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal／kg	900kcal／kg	—
備考				

表3-4-58　物質収支試算表［通気型堆肥舎，固液分離機利用の場合］

			水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	搾乳牛固液分離ふん		75	1,444	361	1,083
	かさ密度（kg／m³）		(780)	—	—	—
1次処理	減少量	乳牛固液分離ふん	—	—	② 79	—
		小計	—	430	79	③ 351
	終了時		72	1,014	282	732
	かさ密度（kg／m³）		(660)	—	—	—
2次処理	減少量	乳牛固液分離ふん	—	—	⑥ 47	—
		小計	—	256	47	⑦ 209
	終了時		69	758	235	523
	かさ密度（kg／m³）		(600)	—	—	—
堆肥生産量	1日当り		69	⑨ 760	240	520
	年間		69	⑨ 280 t	—	—
	生産量／処理量		—	53 %	66 %	48 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	通気型堆肥舎		⑩ 37 m³	37 m³	37 m³
		堆肥舎		⑫ 31 m³	31 m³	31 m³
	必要面積	通気型堆肥舎		⑪ 18 m²	19 m²	21 m²
		堆肥舎		⑬ 17 m²	19 m²	20 m²
備考						

（3）開放・直線または円型堆肥化装置

（3）－1　オガクズ添加の場合（天日乾燥の加算なし）

表3-2-3「処理対象ふん量の目安」に示した参考例と同様に、処理対象頭数を経産牛116頭、育成牛12頭とする。処理対象ふん量は、

5,052kg/日　（水分85.7%）

計算用紙（**表3-4-59、60、61**）

①副資材添加量：$5{,}052\text{kg} \times \dfrac{(85.7-65)\%}{(65-25)\%} \fallingdotseq 2{,}610\text{kg}$

②1次処理期間の総乾物分解量

A．搾乳牛ふん：$722\text{kg} \times \dfrac{34}{100} \fallingdotseq 245\text{kg}$

B．副資材：$1{,}960\text{kg} \times \dfrac{12}{100} \fallingdotseq 235\text{kg}$

③1次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(245\text{kg} \times 4{,}500\text{kcal/kg}) + (235\text{kg} \times 3{,}000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 2{,}008\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

A．搾乳牛ふん：722kg× $\frac{(40-34)}{100}$ ≒43kg

B．副資材：1,960kg× $\frac{(14-12)}{100}$ ≒39kg

⑦２次処理期間の水分蒸発量： $\frac{(43\text{kg}\times4,500\text{kcal/kg})+(39\text{kg}\times3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒345kg

⑨堆肥生産量

A．１日当り：7,662kg－(2,488kg＋427kg)≒4,750kg

B．年間：4,750kg×365日≒1,730t

⑩１次処理施設の必要容積：{(7,662kg÷780kg/m³)+(5,174kg÷540kg/m³)}÷2×20日≒194m³

⑪１次処理施設の必要面積

a．温暖地域：194m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒107m²

b．中間地域：194m³÷堆積高さ2.0m×1.2≒116m²

c．寒冷・積雪地域：194m³÷堆積高さ2.0m×1.3≒126m²

⑫堆肥舎の必要容積：(5,174kg÷540kg/m³)×(85－20)日≒623m³

⑬堆肥舎の必要面積

a．温暖地域：623m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒343m²

b．中間地域：623m³÷堆積高さ2.0m×1.2≒374m²

c．寒冷・積雪地域：623m³÷堆積高さ2.0m×1.3≒405m²

表3-4-59　堆肥化原料（１日当り）

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ添加の場合］

	種　　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	搾乳牛ふん	85.7	5,052	722	4,330
副資材①	オガクズ	25	2,610	1,960	650
合計		65	7,662	2,682	4,980

表3-4-60　堆肥化処理条件

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ添加の場合］

		1　次　処　理	2　次　処　理	全　　期　　間
堆　肥　化　処　理　施　設		開　放　・　円　型 堆　肥　化　装　置	堆　　　肥　　　舎	—
処理条件	処　理　日　数	20　　日	（85-20）＝65日	85　　日
	材料堆積高さ	200　　cm	200　　cm	—
	撹　拌　回　数	1回／日	—	—
	切　返　し　回　数	—	1回／月程度	—
	通　　気　　量	0.1m³／分／m³	—	—
総乾物分解率	搾　乳　牛　ふ　ん	34　　%	（40-34）＝6%	40　　%
	オ　ガ　ク　ズ	12　　%	（14-12）＝2%	14　　%
乾物分解発熱量	搾　乳　牛　ふ　ん	4,500kcal／kg	4,500kcal／kg	—
	オ　ガ　ク　ズ	3,000kcal／kg	3,000kcal／kg	—
水分蒸発熱量／水 1 kg		900 kcal ／ kg	900 kcal ／ kg	—
備　　　考	1次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

表3-4-61　物質収支試算表

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ添加の場合］

			水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	搾乳牛ふん		85.7	5,052	722	4,330
	オガクズ		25	① 2,610	1,960	650
	小計		65	7,662	2,682	4,980
	かさ密度（kg／m³）		(780)	—	—	—
1次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	② 245	—
		オガクズ	—	—	② 235	—
		小計	—	2,488	480	③ 2,008
	終了時		57	5,174	2,202	2,972
	かさ密度（kg／m³）		(540)	—	—	—
2次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	⑥ 43	—
		オガクズ	—	—	⑥ 39	—
		小計	—	427	82	⑦ 345
	終了時		55	4,747	2,120	2,627
	かさ密度（kg／m³）		(490)	—	—	—
堆肥生産量	生産量	1日当り	55	⑨ 4,750	2,120	2,630
		年間	55	⑨ 1,740 t	—	—
		生産量／処理量	—	62 %	79 %	53 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷･積雪地域
	必要容積	発酵槽		⑩ 194 m³	194 m³	194 m³
		堆肥舎		⑫ 623 m³	623 m³	623 m³
	必要面積	発酵槽		⑪ 107 m²	116 m²	126 m²
		堆肥舎		⑬ 343 m²	374 m²	405 m²
備　　考						

（3）-2　オガクズ添加の場合（天日乾燥の加算あり）

天日乾燥は冬期においてもその乾燥能力が期待できる温暖地域のみを対象とする。

計算用紙（表3-4-59、60、61）

①副資材添加量：$5,052\text{kg}\times\dfrac{(85.7-65)\%}{(65-25)\%}\fallingdotseq 2,610\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

Ａ．搾乳牛ふん：$722\text{kg}\times\dfrac{34}{100}\fallingdotseq 245\text{kg}$

Ｂ．副資材：$1,960\text{kg}\times\dfrac{12}{100}\fallingdotseq 235\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(245\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})+(235\text{kg}\times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}\fallingdotseq 2,008\text{kg}$

まず、（３）－１「開放・直線または円型堆肥化装置、オガクズ添加の場合（天日乾燥の加算なし）」において示される**表3-4-61**と同様に、天日乾燥能力を加算せずに１次処理施設の必要面積を求め、その面積において天日乾燥能力（1.0kg/㎡/日）を算出して、試算を進める。天日乾燥を加算して算出した１次処理必要面積が、当初に仮置きした必要面積と一致するまで繰り返し試算を行う（**表3-4-62**）。

⑤天日による水分蒸発量（温暖地域のみ適用可）：107㎡×1.0kg/(㎡/日)≒107kg/日

終了時の質量

ａ．水分量：2,972kg－107kg≒2,865kg

ｂ．乾物量：2,202kg

ｃ．全質量：5,174kg－107kg≒5,067kg

ｄ．水分：57%（かさ密度540kg/㎥）

⑥２次処理期間の総乾物分解量

Ａ．搾乳牛ふん：$722\text{kg}\times\dfrac{(40-34)}{100}\fallingdotseq 43\text{kg}$

Ｂ．副資材：$1,960\text{kg}\times\dfrac{(14-12)}{100}\fallingdotseq 39\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(43\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})+(39\text{kg}\times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}\fallingdotseq 345\text{kg}$

⑨堆肥生産量

Ａ．１日当り：7,662kg－(2,488kg＋107＋427kg)≒4,640kg

Ｂ．年間：4,640kg×365日≒1,690t

⑩１次処理施設の必要容積：{(7,662kg÷780kg/㎥)+(5,067kg÷540kg/㎥)}÷2×20日≒192㎥

⑪１次処理施設の必要面積
温暖地域：192㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.1≒106㎡

⑫堆肥舎の必要容積：(5,067kg÷540kg/㎥)×(85－20)日≒610㎥

⑬堆肥舎の必要面積
温暖地域：610㎥÷堆積高さ2.0ｍ×1.1≒336㎡

したがって、天日乾燥能力を加算しても堆肥舎の必要面積は大きく変わらない。

表3-4-62　物質収支試算表

［開放・円型堆肥化装置＋堆肥舎，オガクズ添加，天日乾燥加算の場合］

			水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	搾乳牛ふん		85.7	5,052	722	4,330
処理前	オガクズ		25	① 2,610	1,960	650
処理前	小計		65	7,662	2,682	4,980
処理前	かさ密度（kg／㎥）		(780)	—	—	—
1次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	② 245	—
1次処理	減少量	オガクズ	—	—	② 235	—
1次処理	減少量	小計	—	2,488	480	③ 2,008
1次処理	終了時		57	5,174	2,202	2,972
1次処理	かさ密度（kg／㎥）		(540)	—	—	—
温暖地域・冬期における天日乾燥能力（1.0kg／㎡・日）加算の場合						
天日乾燥	水分蒸発量			107	—	⑤ 107
天日乾燥	終了時		57	5,067	2,202	2,865
天日乾燥	かさ密度（kg／㎥）		(540)	—	—	—
2次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	⑥ 43	—
2次処理	減少量	オガクズ	—	—	⑥ 39	—
2次処理	減少量	小計	—	427	82	⑦ 345
2次処理	終了時		54	4,640	2,120	2,520
2次処理	かさ密度（kg／㎥）		(470)	—	—	—
堆肥生産量	生産量	1日当り	54	⑨ 4,640	2,120	2,520
堆肥生産量	生産量	年間	54	⑨ 1,690 t	—	—
堆肥生産量	生産量	生産量/処理量	—	61 %	79 %	51 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
施設規模	必要容積	発酵槽		⑩ 192 ㎥	—	—
施設規模	必要容積	堆肥舎		⑫ 610 ㎥	—	—
施設規模	必要面積	発酵槽		⑪ 106 ㎡	—	—
施設規模	必要面積	堆肥舎		⑬ 336 ㎡		
備考						

（３）－３　戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算なし）

表3-2-3「処理対象ふん量の目安」に示した参考例と同様に、処理対象頭数を経産牛116頭、育成牛12頭とする。処理対象ふん量は、

5,052kg/日　（水分85.7%）

計算用紙（表3-4-63、64、65）

①副資材添加量

ア．戻し堆肥水分40%の場合：$5,052\text{kg}\times\dfrac{(85.7-65)\%}{(65-40)\%}\fallingdotseq 4,180\text{kg}$

イ．戻し堆肥水分50%の場合：$5,052\text{kg}\times\dfrac{(85.7-65)\%}{(65-50)\%}\fallingdotseq 6,970\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

搾乳牛ふん：$722\text{kg}\times\dfrac{27}{100}\fallingdotseq 195\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(195\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}\fallingdotseq 975\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

搾乳牛ふん：$722\text{kg}\times\dfrac{(40-27)}{100}\fallingdotseq 94\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(94\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}\fallingdotseq 470\text{kg}$

⑧戻し堆肥保留量

ア．戻し堆肥水分40%の場合：$2,510\text{kg}\times\dfrac{100}{(100-61)}\fallingdotseq 6,440\text{kg}$

イ．戻し堆肥水分50%の場合：$3,485\text{kg}\times\dfrac{100}{(100-62)}\fallingdotseq 9,170\text{kg}$

⑨堆肥生産量

ア．戻し堆肥水分40%の場合

Ａ．１日当り：9,232kg－(1,734kg＋6,440kg)≒1,060kg

Ｂ．年間：1,060kg×365日≒390t

イ．戻し堆肥水分50%の場合

Ａ．１日当り：12,022kg－(1,734kg＋9,170kg)≒1,120kg

Ｂ．年間：1,120kg×365日≒410t

⑩１次処理施設の必要容積

ア．戻し堆肥水分40%の場合：(9,232kg÷800kg/㎥)×15日≒173㎥

イ．戻し堆肥水分50%の場合：(12,022kg÷800kg/㎥)×15日≒225㎥

⑪１次処理施設の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合

ａ．温暖地域：173㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒95㎡

ｂ．中間地域：173㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒104㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：173㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒112㎡

イ．戻し堆肥水分50％の場合

ａ．温暖地域：225㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒124㎡

ｂ．中間地域：225㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒135㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：225㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒146㎡

⑫堆肥舎の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(8,062kg÷800 kg/㎥)×(35-15)日≒202㎥

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(10,852kg÷800 kg/㎥)×(35-15)日≒271㎥

⑬堆肥舎の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合

ａ．温暖地域：202㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒111㎡

ｂ．中間地域：202㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒121㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：202㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒131㎡

イ．戻し堆肥水分50％の場合

ａ．温暖地域：271㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒149㎡

ｂ．中間地域：271㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒163㎡

ｃ．寒冷・積雪地域：271㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒176㎡

表3-4-63　堆肥化原料（１日当り）

［開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

	種　類	水分（％）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	搾乳牛ふん	85.7	5,052	722	4,330
副資材①	戻し堆肥	40	4,180	2,510	1,670
		50	6,970	3,485	3,485
合　計	40％の場合	65	9,232	3,232	6,000
	50％の場合	65	12,022	4,207	7,815

第3章　施設規模の算定

表3-4-64　堆肥化処理条件

［開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

		1　次　処　理	2　次　処　理	全　期　間
堆肥化処理施設		開放・直線型 堆肥化装置	堆　肥　舎	—
処理条件	処理日数	15　日	（35－15）＝20日	35　日
	材料堆積高さ	200　cm	200　cm	—
	撹拌回数	—	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.1m³／分／m³	—	—
総乾物分解率	搾乳牛ふん	27　%	（40−27）＝13%	40　%
	戻し堆肥	0　%	0　%	—
乾物分解発熱量	搾乳牛ふん	4,500kcal／kg	4,500kcal／kg	—
	戻し堆肥	0kcal／kg	0kcal／kg	—
水分蒸発熱量／水1kg		900 kcal ／ kg	900 kcal ／ kg	—
備　考	1次処理での処理日数は，施設費低減のために下限値を採用した。			

表3-4-65　物質収支試算表［開放・直線型堆肥化装置+堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

			水分40%戻し堆肥添加の場合				水分50%戻し堆肥添加の場合			
			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	搾乳牛ふん		85.7	5,052	722	4,330	85.7	5,052	722	4,330
	戻し堆肥		40	①4,180	2,510	1,670	50	①6,970	3,485	3,485
	小計		65	9,232	3,232	6,000	65	12,022	4,207	7,815
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
1次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	②　195	—	—	—	②　195	—
		戻し堆肥	—	—	②　0	—	—	—	②　0	—
		小計	—	1,170	195	③　975	—	1,170	195	③　975
	終了時		62	8,062	3,037	5,025	63	10,852	4,012	6,840
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
2次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	⑥　94	—	—	—	⑥　94	—
		戻し堆肥	—	—	⑥　0	—	—	—	⑥　0	—
		小計	—	564	94	⑦　470	—	564	94	⑦　470
	終了時		61	7,498	2,943	4,555	62	10,288	3,918	6,370
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量		61	⑧6,440	—	—	62	⑧9,170	—	—
	生産量	1日当り	61	⑨1,060	410	650	62	⑨1,120	430	690
		年間	61	⑨　390 t	—	—	62	⑨　410 t	—	—
		生産量/処理量	—	21 %	57 %	15 %	—	22 %	60 %	16 %
施設規模	対象地域		温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域		—	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	発酵槽	⑩　173 m³	173 m³	173 m³		—	225 m³	225 m³	225 m³
		堆肥舎	⑫　202 m³	202 m³	202 m³		—	271 m³	271 m³	271 m³
	必要面積	発酵槽	⑪　95 m²	104 m²	112 m²		—	124 m²	135 m²	146 m²
		堆肥舎	⑬　111 m²	121 m²	131 m²		—	149 m²	163 m²	176 m²
備　考	・端数整理の関係上，40%と50%で計算上多少の差が生じた。 ・出来上がり堆肥を市販・流通させる場合には，新たなオガクズ又は戻し堆肥等の添加により調整目標水分を下げ，堆肥製品の水分が50%台になるように本規模算定を進める必要がある。なお，出来上がり製品を乾燥する方式，例えば「戻し堆肥調整施設の規模算定等」で示したハウス乾燥方式や常温通風又は温風通風の乾燥舎方式などもある。									

戻し堆肥調製施設の規模算定等

ア．水分40％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-66**）

2,260kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷６ｍ≒251m　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６ｍ）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

6,440kg/日×10日間÷800kg/㎡ ÷1.0ｍ≒81㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10㎏の水分蒸発量が期待できるので、

2,260kg÷10kg/L≒226L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(226L÷10日間÷24時間)×10日間≒9.4L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。

・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

イ．水分50％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-67**）

2,200kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷６ｍ≒244m　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６ｍ）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、

10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200mm水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均 風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

9,170kg/日×10日間÷800kg/㎡ ÷1.0m≒115㎡

また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１L当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、

2,200kg÷10kg/L≒220L

となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、

(220L÷10日間÷24時間)×10日間≒9.2L/時

程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5/1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。
・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。
・中間地域、寒冷・積雪地域でも春から秋にかけてハウス乾燥能力は温暖地域と同程度と見られるので、低コストに乾燥できる本方式と温風乾燥方式とを組合わせて行うことも同様に検討する必要がある。

表3-4-66　蒸発すべき水分量

項目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥必要量	①保留量	62	6,440	2,510	3,930
	②当初計画量	40	4,180	2,510	1,670
①のかさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—
①−②		—	2,260	0	2,260

表3-4-67　蒸発すべき水分量

項目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥必要量	①保留量	62	9,170	3,485	5,685
	②当初計画量	50	6,970	3,485	3,485
①のかさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—
①−②		—	2,200	0	2,200

（３）−４　戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算あり）

表3-2-3「処理対象ふん量の目安」に示した参考例と同様に、処理対象頭数を経産牛116頭、育成牛12頭とする。処理対象ふん量は、

5,052kg/日　(水分85.7%)

計算用紙（表3-4-63、64、68）

①副資材添加量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：$5,052\text{kg}\times\dfrac{(85.7-65)\%}{(65-40)\%}\fallingdotseq 4,180\text{kg}$

イ．戻し堆肥水分50％の場合：$5,052\text{kg}\times\dfrac{(85.7-65)\%}{(65-50)\%}\fallingdotseq 6,970\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

搾乳牛ふん：$722\text{kg}\times\dfrac{27}{100}\fallingdotseq 195\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(195\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}\fallingdotseq 975\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

搾乳牛ふん：$722\text{kg}\times\dfrac{(40-27)}{100}\fallingdotseq 94\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(94\text{kg}\times 4,500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}\fallingdotseq 470\text{kg}$

まず、（３）－４「開放・直線または円型堆肥化装置、戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算なし）」において示される表3-4-65と同様に、天日乾燥能力を加算せずに１次処理施設の必要面積を求め、その面積において天日乾燥能力（1.0kg/㎡/日）を算出して、試算を進める。天日乾燥を加算して算出した１次処理必要面積が、当初に仮置きした必要面積と一致するまで繰り返し試算を行う。

⑤天日による水分蒸発量（温暖地域のみ適用可）：

ア．戻し堆肥水分40％の場合：95㎡×1.0kg/(㎡/日)≒95kg/日

　終了時の質量

ａ．水分量：5,025kg－95kg≒4,930kg

ｂ．乾物量：3,037kg

ｃ．全質量：8,062kg－95kg≒7,967kg

ｄ．水分：62％（かさ密度800kg/㎥）

イ．戻し堆肥水分50％の場合：124㎡×1.0kg/(㎡/日)≒124kg/日

　終了時の質量

ａ．水分量：6,840kg－124kg≒6,716kg

ｂ．乾物量：4,012kg

ｃ．全質量：10,852kg－124kg≒10,728kg

d．水分：63％（かさ密度800kg/m³）

⑧戻し堆肥保留量

ア．戻し堆肥水分40％の場合：2,510kg× $\frac{100}{(100-60)}$ ≒6,280kg

イ．戻し堆肥水分50％の場合：3,485kg× $\frac{100}{(100-61)}$ ≒8,940kg

⑨堆肥生産量

ア．戻し堆肥水分40％の場合

Ａ．１日当り：9,232kg－(1,170kg＋95kg＋564kg＋6,280kg)≒1,120kg

Ｂ．年間：1,120kg×365日≒410t

イ．戻し堆肥水分50％の場合

Ａ．１日当り：12,022kg－(1,170kg＋124kg＋564kg＋8,940kg)≒1,220kg

Ｂ．年間：1,220kg×365日≒450t

⑩１次処理施設の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(9,232kg÷800kg/m³)×15日≒173m³

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(12,022kg÷800kg/m³)×15日≒225m³

⑪１次処理施設の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合　温暖地域：173m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒95m²

イ．戻し堆肥水分50％の場合　温暖地域：225m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒124m²

⑫堆肥舎の必要容積

ア．戻し堆肥水分40％の場合：(7,967kg÷800kg/m³)×(35-15)日≒199m³

イ．戻し堆肥水分50％の場合：(10,728kg÷800kg/m³)×(35-15)日≒268m³

⑬堆肥舎の必要面積

ア．戻し堆肥水分40％の場合　温暖地域：199m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒109m²

イ．戻し堆肥水分50％の場合　温暖地域：268m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒147m²

　したがって、天日乾燥能力（1.0kg/m²/日）を加算しても堆肥舎の必要面積は大きく変わらない。

表3-4-68　物質収支試算表［開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加，天日乾燥加算の場合］

			水分40％戻し堆肥添加の場合				水分50％戻し堆肥添加の場合			
			水分(％)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)	水分(％)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	搾乳牛ふん		85.7	5,052	722	4,330	85.7	5,052	722	4,330
	戻し堆肥		40	①4,180	2,510	1,670	50	①6,970	3,485	3,485
	小計		65	9,232	3,232	6,000	65	12,022	4,207	7,815
	かさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
1次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	②　195	—	—	—	②　195	—
		戻し堆肥	—	—	②　0	—	—	—	②　0	—
		小計	—	1,170	195	③　975	—	1,170	195	③　975
	終了時		62	8,062	3,037	5,025	63	10,852	4,012	6,840
	かさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
温暖地域・冬期における天日乾燥能力（1.0kg／㎡／日）加算の場合										
天日乾燥	水分蒸発量			95	—	⑤　95	—	124	—	⑤　124
	終了時		62	7,967	3,037	4,930	63	10,728	4,012	6,716
	かさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
2次処理	減少量	搾乳牛ふん	—	—	⑥　94	—	—	—	⑥　94	—
		戻し堆肥	—	—	⑥　0	—	—	—	⑥　0	—
		小計	—	564	94	⑦　470	—	564	94	⑦　470
	終了時		60	7,403	2,943	4,460	61	10,164	3,918	6,246
	かさ密度（kg／㎥）		(800)	—	—	—	(800)	—	—	—
堆肥生産量	戻し堆肥保留量		60	⑧6,280	—	—	61	⑧8,940	—	—
	生産量	1日当り	60	⑨1,120	450	670	61	⑨1,220	480	740
		年間	60	⑨　410 t	—	—	61	⑨　450 t	—	—
		生産量/処理量	—	22 %	62 %	15 %	—	24 %	66 %	17 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域	—	温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	発酵槽		⑩　173 ㎥	—	—	—	225 ㎥	—	—
		堆肥舎		⑫　199 ㎥	—	—	—	268 ㎥	—	—
	必要面積	発酵槽		⑪　95 ㎡	—	—	—	124 ㎡	—	—
		堆肥舎		⑬　109 ㎡	—	—	—	147 ㎡	—	—
備考	・端数整理の関係上，40％と50％で計算上多少の差が生じた。 ・出来上がり堆肥を市販・流通させる場合には，新たなオガクズ又は戻し堆肥等の添加により調整目標水分を下げ，堆肥製品の水分が50％台になるように本規模算定を進める必要がある。なお，出来上がり製品を乾燥する方式，例えば「戻し堆肥調整施設の規模算定等」で示したハウス乾燥方式や常温通風又は温風通風の乾燥舎方式などもあ									

戻し堆肥調製施設の規模算定等

ア．水分40％戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-69**）

2,100kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷6m≒233m　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅6 m)。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。

6,280kg/日×10日間÷800kg/㎡　÷1.0ｍ≒79㎡
　また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１Ｌ当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、
　2,100kg÷10kg/L≒210L
となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、
　(210L÷10日間÷24時間)×10日間≒8.8L/時
程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分・㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。
・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

イ．水分50%戻し堆肥の場合

ａ．温暖地域での冬期の場合（**表3-4-70**）

　1,970kg/日÷1.5kg/(㎡/日)÷６ｍ≒219m　程度のハウス乾燥床長さが必要となる（撹拌機幅６m）。

ｂ．中間地域、寒冷・積雪地域での場合

　冬期間はハウス乾燥での乾燥は期待できず、材料を通気型堆肥舎と同じ構造の乾燥舎に堆積（材料堆積高さ：1.0m程度）して下部から温風（温風発生機:ジェットヒーター等）を通気し、10日間程度で必要な水分にまで低下させる方式とする。なお、乾燥舎での通気装置の送風機は静圧200㎜水柱程度のターボファンを採用し、送風能力に適合する通気床構造や吐出管路（暗渠用多孔管、管路内平均風速：10m/秒程度）とし、送風機の吸入口に温風発生機で発生させた温風を供給する方式とする。必要な乾燥舎のおおよその面積規模は以下となる。
　8,940kg/日×10日間÷800kg/㎡　÷1.0ｍ≒112㎡
　また、必要となる灯油等化石燃料の総量は、燃料１Ｌ当り約10kgの水分蒸発量が期待できるので、
　1,970kg÷10kg/L≒197L
となり、必要な温風発生機の時間当りの燃焼量は、
　(197L÷10日間÷24時間)×10日間≒8.2L/時
程度となる。なお、温暖地域でもハウス乾燥方式が採用できない場合には、本方式を乾燥方式として採用する。

ｃ．留意点等

・乾燥舎での通風量は、0.5～1.0㎥/分/㎥前後程度とし、春から秋にかけては常温通風方式で

乾燥し、処理能力が低下する冬期等においては常温より若干温度が高い程度の温風乾燥方式を取入れて乾燥する。

・ハウス乾燥方式は、低コストであるが必要面積が大きいという問題があり、化石燃料利用の温風乾燥方式はその逆の特徴があるので、全量をハウス乾燥方式または温風乾燥方式で乾燥するのではなく、両者を組合わせて活用することも検討することが望ましい。

表3-4-69　蒸発すべき水分量

項目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥	①保留量	60	6,280	2,510	3,770
必要量	②当初計画量	40	4,180	2,510	1,670
①のかさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—
①—②		—	2,100	0	2,100

表3-4-70　蒸発すべき水分量

項目		水分（%）	全質量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
戻し堆肥	①保留量	61	8,940	3,485	5,455
必要量	②当初計画量	50	6,970	3,485	3,485
①のかさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—
①—②		—	1,970	0	1,970

別法による戻し堆肥の水分調整例

中間・寒冷地域でも夏期を中心にしてハウスの蒸発量が３kg/m²/日以上になることを利用して、貯蔵していた夏期の乾燥堆肥を冬期の戻し堆肥として利用する方法を**表3-4-65**の〔開放・直線型堆肥化装置＋堆肥舎、水分40%戻し堆肥添加〕の設計例を使用して計算した。なお、以下の計算に示す冬期とは、蒸発量が3kg/m²/日以下の期間を意味する。冬期対策が必要な期間は地域によって１～５ヵ月の幅があるため地域に合った期間を設定する。

また、冬期が長い場合、かつ尿混入の高水分ふん(戻し堆肥量が多量)の場合は夏期貯蔵堆肥が不足するため、不足分はモミガラ・オガクズ等で補うか乾燥舎（温風利用）で材料の乾燥を図る必要がある。

ア．２次処理終了堆肥（**表3-4-65**）：7,498kg（水分61%)、乾物量2,943kg、水分量4,555kg

イ．生産堆肥量（戻し堆肥の水分を40%に設定）：2,943kg÷(1－0.4)=4,905kg/日

ウ．必要水蒸発量：7,498kg－4,905kg＝2,593kg/日

エ．必要乾燥床長さ：乾燥床からの蒸発量を３kg/m²/日、撹拌機幅６mとすると、
　2,593kg÷3kg÷6m≒144m

オ．冬期必要乾燥堆肥量の半量：冬期３ヵ月間は、貯蔵していた夏期の乾燥堆肥で戻し堆肥の50%量をまかなう。貯蔵乾燥堆肥のかさ密度を400kg/m³とすると、
　4,180kg×0.5÷400kg/m³×30日≒470m³

カ．乾燥堆肥貯蔵庫面積（堆積高さを２mに設定）：470m³÷２mm≒235m²

（４）開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置

本装置の利用法としては、①発酵槽内の材料を戻し堆肥として利用し、槽内に広く畜ふん等

の原材料を表面散布し、そして槽内の撹拌機で撹拌・混合する方式と、②発酵槽外で槽内材料とは別の戻し堆肥等の資材で畜ふん等の原材料を水分調整し、発酵槽の一端から槽内に投入して敷設の撹拌機で他端へ搬送する間に堆肥化を図る方式とがある。ここでは、①での利用法に基づく場合の規模算定例を示すが、②の利用法の場合では、開放・直線型発酵槽などと同様な規模算定方式となる。

ア．豚ふんとは異なり、オガクズ等式料混入の場合で試算するため、２次処理を含めて施設規模の算定を行う。

イ．発酵槽での材料堆積高さは70㎝と低く、発酵槽の表面積が広くなるので、中間および寒冷・積雪地域を除いた温暖地域での冬期を対象として、発酵と同時に天日乾燥による水分蒸発についても試算に含める。ただし、豚や鶏の場合とは異なり発生臭気は比較的少なく、建屋や風通しの良い開放型とする例が多いので、冬期での天日乾燥能力については1.0kg/㎡/日の場合で試算する。

ウ．肥育牛200頭規模を対象とし、敷料としてオガクズを使用する場合とする。処理対象ふん量は、20kg/(頭/日)×200頭=4,000kg/日　（水分81%）

エ．以下の試算では、水分調整に用いる戻し堆肥の水分と処理後（製品）の水分とが同一になるように適宜数値を入れて繰り返し試算し、同一の値となった場合の規模を算定している。

（４）－１　戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算なし）

計算用紙（表3-4-71、72、73）

①副資材添加量：$4,825\text{kg} \times \dfrac{(72-68)\%}{(68-65)\%} \fallingdotseq 6,430\text{kg}$

②１次処理期間の総乾物分解量

A．肥育牛ふん：$760\text{kg} \times \dfrac{34}{100} \fallingdotseq 258\text{kg}$

B．副資材：$615\text{kg} \times \dfrac{12}{100} \fallingdotseq 74\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(258\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg}) + (74\text{kg} \times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 1,537\text{kg}$

⑥２次処理期間の総乾物分解量

A．肥育牛ふん：$760\text{kg} \times \dfrac{(40-34)}{100} \fallingdotseq 46\text{kg}$

B．副資材：$615\text{kg} \times \dfrac{(14-12)}{100} \fallingdotseq 12\text{kg}$

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(46\text{kg} \times 4,500\text{kcal/kg}) + (12\text{kg} \times 3,000\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}} \fallingdotseq 270\text{kg}$

⑨堆肥生産量

A．１日当り：9,386kg－(6,430kg＋328kg)≒2,630kg

B．年間：2,630kg×365日≒960t

⑩１次処理施設の必要容積：{(11,255kg÷800kg/m^3)＋(9,386kg÷800kg/m^3)}÷2×35日≒452m^3

⑪１次処理施設の必要面積

a．温暖地域：452m^3÷堆積高さ0.7m×1.1≒710m^2

b．中間地域：452m^3÷堆積高さ0.7m×1.2≒775m^2

c．寒冷・積雪地域：452m^3÷堆積高さ0.7m×1.3≒839m^2

⑫堆肥舎の必要容積：(2,956kg÷800kg/m^3)×(85－35)日≒185m^3

⑬堆肥舎の必要面積

a．温暖地域：185m^3÷堆積高さ2.0m×1.1≒102m^2

b．中間地域：185m^3÷堆積高さ2.0m×1.2≒111m^2

c．寒冷・積雪地域：185m^3÷堆積高さ2.0m×1.3≒120m^2

表3-4-71　堆肥化原料（１日当り）

［開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

	種　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	肥育牛ふん	81	4,000	760	3,240
副資材①	敷料(オガクズ)	25	825	615	210
小　計		72	4,825	1,375	3,450
副資材②	戻し堆肥	65	6,430	2,250	4,180
合　計		68	11,255	3,625	7,630

表3-4-72　堆肥化処理条件

［開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

		１次処理	２次処理	全期間
堆肥化処理施設		開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	35日	(85—35)＝50日	85日
	材料堆積高さ	70cm	200cm	—
	撹拌回数	1回／日	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.05m^3/分/m^3	—	—
総乾物分解率	肥育牛ふん	34%	(40—34)＝6%	40%
	敷料(オガクズ)	12%	(14—12)＝2%	14%
乾物分解発熱量	肥育牛ふん	4,500kcal/kg	4,500kcal/kg	—
	敷料(オガクズ)	3,000kcal/kg	3,000kcal/kg	—
水分蒸発熱量／水1kg		900kcal/kg	900kcal/kg	—
備考				

表3-4-73　物質収支試算表

［開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加の場合］

			水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前		肥育牛ふん	81	4,000	760	3,240
		敷料（オガクズ）	25	825	615	210
		戻し堆肥	65	① 6,430	2,250	4,180
		小計	68	11,255	3,625	7,630
		かさ密度（kg／m³）	(800)	—	—	—
1次処理	減少量	肥育牛ふん	—	—	② 258	—
		敷料（オガクズ）	—	—	② 74	—
		小計	—	1,869	332	③ 1,537
		終了時	65	9,386	3,293	6,093
		かさ密度（kg／m³）	(800)	—	—	—
戻し堆肥		戻し堆肥保留量	65	6,430	2,250	4,180
		終了時	65	2,956	1,043	1,913
		かさ密度（kg／m³）	(800)	—	—	—
2次処理	減少量	肥育牛ふん	—	—	② 46	—
		敷料（オガクズ）	—	—	② 12	—
		小計	—	328	58	③ 270
		終了時	63	2,628	985	1,643
		かさ密度（kg／m³）	(800)	—	—	—
堆肥生産量		1日当り	63	⑨ 2,630	990	1,640
		年間	63	⑨ 960 t	—	—
		生産量／処理量	—	55%	72%	48%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	発酵槽		⑩ 452 m³	452 m³	452 m³
		堆肥舎		⑫ 185 m³	185 m³	185 m³
	必要面積	発酵槽		⑪ 710 m²	775 m²	839 m²
		堆肥舎		⑬ 102 m²	111 m²	120 m²
備考		・出来上がり堆肥を市販・流通させる場合には，新たなオガクズ又は戻し堆肥等の添加により調整目標水分を下げ，堆肥製品の水分が50％台になるように本規模算定を進める必要がある。なお，出来上がり製品を乾燥する方式，例えば「戻し堆肥調整施認の規模算定等」で示したハウス乾燥方式や常温通風又は温風通風の乾燥舎方式などもある。				

（4）－2　戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算あり）

計算用紙（表3-4-71、72、73、74）

①副資材添加量：$4,825\text{kg} \times \dfrac{(72-68)\%}{(68-59)\%} \fallingdotseq 2,140\text{kg}$

②1次処理期間の総乾物分解量

A．肥育牛ふん：$760\text{kg} \times \dfrac{34}{100} \fallingdotseq 258\text{kg}$

B．副資材：615kg× $\frac{12}{100}$ ≒74kg

③１次処理期間の水分蒸発量： $\frac{(258kg×4,500kcal/kg)+(74kg×3,000kcal/kg)}{900kcal}$ ≒1,537kg

⑥２次処理期間の総乾物分解量
A．肥育牛ふん：760kg× $\frac{(40－34)}{100}$ ≒46kg

B．副資材：615kg× $\frac{(14－12)}{100}$ ≒12kg

⑦２次処理期間の水分蒸発量： $\frac{(46kg×4,500kcal/kg)＋(12kg×3,000kcal/kg)}{900kcal}$ ≒270kg

まず、（４）－１「開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置、戻し堆肥添加の場合（天日乾燥の加算なし）」において示される表3-4-73と同様に、天日乾燥能力を加算せずに１次処理施設の必要面積を求め、その面積において天日乾燥能力（1.0kg/㎡/日）を算出して、試算を進める。天日乾燥を加算して算出した１次処理必要面積が、当初に仮置きした必要面積と一致するまで繰り返し試算を行う。また、水分調整に用いる戻し堆肥の水分と処理後（製品）の水分とが同一になることにも配慮する。

⑤天日による水分蒸発量（温暖地域のみ適用可）：418㎡×1.0kg/(㎡/日)≒418kg/日
なお、418㎡の値は、当初計算結果の430㎡で再度計算した結果得られた値である。
終了時の質量
a．水分量：3,173kg－418kg≒2,755kg
b．乾物量：1,923kg
c．全質量：5,096kg－418kg≒4,678kg
d．水分：59%（かさ密度720kg/㎥）

⑨堆肥生産量
A．１日当り：4,678kg－(2,140kg＋328kg)≒2,210kg
B．年間：2,210kg×365日≒810t

⑩１次処理施設の必要容積：{(6,965kg÷800kg/㎥)＋(4,678kg÷720kg/㎥)}÷2×35日≒266㎥

⑪１次処理施設の必要面積
温暖地域：266㎥÷堆積高さ0.7m×1.1≒418㎡

⑫堆肥舎の必要容積：(2,538kg÷790 kg/㎥)×(85-35)日≒161㎥

⑬堆肥舎の必要面積

温暖地域：161m³÷堆積高さ2.0m×1.1≒89m²

当初に設定した戻し堆肥水分と同じ値である終了時材料水分59%が得られるとともに、１次処理施設必要面積418m²と同じ値が得られた。

表3-4-74　物質収支試算表

［開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置＋堆肥舎，戻し堆肥添加，天日乾燥加算の場合］

			水分(%)	処理量(kg)	乾物量(kg)	水分量(kg)
処理前	肥育牛ふん		81	4,000	760	3,240
	敷料（オガクズ）		25	825	615	210
	戻し堆肥		59	① 2,140	880	1,260
	小計		68	6,965	2,250	4,710
	かさ密度（kg／m³）		(800)	—	—	—
1次処理	減少量	肥育牛ふん	—	—	② 258	—
	減少量	敷料（オガクズ）	—	—	② 74	—
	減少量	小計	—	1,869	332	③ 1,537
	終了時		63	5,096	1,923	3,173
	かさ密度（kg／m³）		(770)	—	—	—
温暖地域・冬期における天日乾燥能力（1.0kg／m²／日）加算の場合						
天日乾燥	水分蒸発量			418	—	⑤ 418
	終了時		59	4,678	1,923	2,755
	かさ密度（kg／m³）		(720)	—	—	—
戻し堆肥	戻し堆肥保留量		59	2,140	880	1,260
	終了時		59	2,538	1,043	1,495
	かさ密度（kg／m³）		(790)	—	—	—
2次処理	減少量	肥育牛ふん	—	—	⑥ 46	—
	減少量	敷料（オガクズ）	—	—	⑥ 12	—
	減少量	小計	—	328	58	⑦ 270
	終了時		55	2,210	985	1,225
	かさ密度（kg／m³）		(730)	—	—	—
堆肥生産量	1日当り		55	⑨ 2,210	990	1,220
	年間		55	⑨ 810 t	—	—
	生産量／処理量		—	46 %	72 %	35 %
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
	必要容積	発酵槽		⑩ 266 m³	—	—
	必要容積	堆肥舎		⑫ 161 m³	—	—
	必要面積	発酵槽		⑪ 418 m²	—	—
	必要面積	堆肥舎		⑬ 89 m²	—	—
備考						

（５）密閉縦型堆肥化装置

ア．発酵槽から堆肥を毎日排出し、堆肥材料を毎日投入する方式として規模算定を行う。

イ．発酵槽が断熱材で覆われており、また、密閉されるため堆肥材料の表面が外気に露出しな

い密閉縦型堆肥化装置では、外気との接触による蒸発水分の結露が生じにくく通気により発酵槽外部への水分の持ち出しが多いため、断熱効果として0.05kg/$m^3_{通気量}$の水分蒸発量を加算する。

ウ．**表3-2-23**に示すように、１次処理終了時の目標水分を55%以下とする。発酵槽内に滞留する材料が戻し堆肥として機能する発酵方式であるが、規模算定にあたっては、戻し堆肥と合算せずに、処理対象ふんの乾物分解による乾物減少量および水分減少量とを求める。

エ．実際には、１次処理での出来上がり材料水分は40%以下となることが多い。これは発酵槽下部から上部へと通気することにより、発酵槽鉛直方向に水分勾配があり、乾燥した材料が発酵槽下部から排出されるものと推定される。

オ．断熱効果を加算せずに１次処理施設の必要容積を求め、その容積において通気量（0.1～0.2m^3/分/$m^3_{堆積材料}$）を算出し、さらに断熱効果（0.05kg/$m^3_{通気量}$）による水分蒸発量を算出して、試算を進める。断熱効果を加算して算出した１次処理必要容積が、当初に仮置きした必要容積と一致するまで繰り返し試算を行う。

カ．水分の高い牛ふんの処理では、乾物分解熱の発生が見込める廃白土を利用して水分蒸発を促進することにより、１次処理終了時の目標水分55%以下に調整する。廃白土の発熱量は油分の含有量や種類、保管方法により様々であるため、その地域で入手可能な廃白土の発熱量を調べた上で活用する。本試算では、廃白土の発熱量を8,500kcal/kgとした。

キ．廃白土の利用によっても発酵後の水分が55%よりも高くなる場合は、２節６）で説明した灯油等の化石燃料や電気ヒータ（リングブロワの昇温効果を含む）等の温風通気による外部エネルギー利用による乾燥促進を図るものとする。

ク．肥育牛200頭規模を対象とする。処理対象ふん量は、20kg/(頭/日)×200頭=4,000kg/日（水分81%）

計算用紙（**表3-4-75、76、77**）

②１次処理期間の総乾物分解量

肥育牛ふん：$760\text{kg} \times \dfrac{30}{100} \fallingdotseq 228\text{kg}$

③１次処理期間の水分蒸発量

排気煙道による熱交換による温風通気により、水分蒸発熱量を700kcal/kgとする。

乾物分解による水分蒸発量：$\dfrac{(228\text{kg} \times 4{,}500\text{kcal/kg})}{700\text{kcal}} \fallingdotseq 1{,}466\text{kg}$

断熱効果および廃白土による水分蒸発量の算出

A．まず、断熱効果を加算せずに１次処理施設の必要容積を求め、その容積において通気量（0.1～0.2m^3/分/$m^3_{堆積材料}$）を算出し、さらに断熱効果（0.05kg/$m^3_{通気量}$）による水分蒸発量を算出して、試算を進める。

B．断熱効果を加算して算出した１次処理必要容積が、当初に仮置きした必要容積と一致するまで繰り返し試算を行う。

C．これと並行して、１次処理終了時の材料水分が目標値55%以下となるまで、廃白土の使用量を調節し、繰り返し試算を行う。

D．繰り返し試算を行った結果として、発酵槽容積を39㎥に仮置きした際の試算結果を以下に示す。

通気量：0.2㎥/(分/㎥堆積材料)×39㎥=7.8㎥/分
断熱効果による水分蒸発量：0.05kg/(㎥通気量)×7.8㎥/分×60分×24時間=562kg/日

廃白土による水分蒸発量の算出
廃白土の発熱量：8,500kcal/kg

廃白土による水分蒸発量：$\dfrac{(46\text{kg}\times 8{,}500\text{kcal/kg})}{700\text{kcal}}$ ≒559kg

なお、廃白土の投入量は処理ふん量と比較して非常に少ないことから（4,000kg≫46kg)、物質収支においては廃白土の投入を無視できるものと考え、規模算定を簡便化する。

⑩１次処理施設の必要容積：{(4,000kg÷800kg/㎥)+(1,185kg÷750kg/㎥)}÷2×12日≒39㎥
仮置きした１次処理必要容積とほぼ同じ値が得られ、かつ１次処理終了時の材料水分も目標値55％に合致した。
39㎥×1.1（余裕率）≒43㎥

⑥２次処理期間の総乾物分解量：760kg×$\dfrac{(35-30)}{100}$ ≒38kg

⑦２次処理期間の水分蒸発量：$\dfrac{(38\text{kg}\times 4{,}500\text{kcal/kg})}{900\text{kcal}}$ ≒190kg

⑨堆肥生産量
A．１日当り：4,000kg－(1,694kg＋562kg＋559kg＋228kg)≒957kg
B．年間：957kg×365日≒349t

⑫堆肥舎の必要容積：(1,185kg÷750kg/㎥)×(38－12)日≒41㎥

⑬堆肥舎の必要面積
a．温暖地域：41㎥÷堆積高さ2.0m×1.1≒23㎡
b．中間地域：41㎥÷堆積高さ2.0m×1.2≒25㎡
c．寒冷・積雪地域：41㎥÷堆積高さ2.0m×1.3≒27㎡

以上に示すように、断熱効果や廃白土投入による水分蒸発量は大きいため、通気量に不足があれば発酵槽内からの水分蒸発が不十分となり、材料水分の上昇により発酵槽下部からの材料排出に支障をきたし、また通気が過多であれば、発酵槽内の材料水分の低下により、発酵槽内

が過乾燥となり、発酵材料がダストとなり排気煙道を閉塞させる。そのため、適切な通気量を算出した上で送風機を選定することが、規模算定において重要である。

表3-4-75　堆肥化原料（1日当り）［密閉縦型堆肥化装置＋堆肥舎，廃白土使用の場合］

	種　　類	水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
主原料	肥育牛ふん	81	4,000	760	3,240
合　　計		81	4,000	760	3,240

表3-4-76　堆肥化処理条件［密閉縦型堆肥化装置＋堆肥舎，廃白土使用の場合］

		1次処理	2次処理	全期間
堆肥化処理施設		密閉縦型堆肥化装置	堆肥舎	—
処理条件	処理日数	12日	(38-12)＝26日	38日
	材料堆積高さ	250cm	200cm	—
	撹拌回数	10～24回転／日	—	—
	切返し回数	—	1回／月程度	—
	通気量	0.2㎥／分／㎥	—	—
総乾物分解率	肥育牛ふん	30%	(35-30)＝5%	35%
	—	—	—	—
乾物分解発熱量	肥育牛ふん	4,500kcal/kg	4,500kcal/kg	—
	—	—	—	—
水分蒸発熱量／水1kg		700kcal/kg	900kcal/kg	—
断熱効果による水分蒸発量／通気1㎥		0.05kg/㎥	—	—
備　考				

表3-4-77 物質収支試算表［密閉縦型堆肥化装置＋堆肥舎、廃白土使用の場合］

			水分（%）	処理量（kg）	乾物量（kg）	水分量（kg）
処理前	肥育牛ふん		81	4,000	760	3,240
処理前	かさ密度（kg／m^3）		—	—	—	—
1次処理	減少量	肥育牛ふん	—	—	② 228	—
1次処理	減少量	小計	—	1,694	228	③ 1,466
1次処理	終了時		77	2,306	532	1,774
1次処理	かさ密度（kg／m^3）		(800)	—	—	—
乾燥による減量	減少量	断熱効果	—	562	—	③ 562
乾燥による減量	減少量	廃白土の効果	—	559		③ 559
乾燥による減量	減少量	小計	—	1,121	—	③ 1,121
乾燥による減量	終了時		55	1,185	532	653
乾燥による減量	かさ密度（kg／m^3）		(750)	—	—	—
2次処理	減少量	肥育牛ふん	—	—	⑥ 38	—
2次処理	減少量	小計	—	228	38	⑦ 190
2次処理	終了時		48	957	494	463
2次処理	かさ密度（kg／m^3）		(680)	—	—	—
堆肥生産量	生産量	1日当り	48	⑨ 957	494	463
堆肥生産量	生産量	年間	48	⑨ 349t	—	—
堆肥生産量	生産量	生産量／処理量	—	24%	65%	14%
施設規模	対象地域			温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域
施設規模	必要容積	密閉縦型堆肥化装置		⑩ 39m^3	39m^3	39m^3
施設規模	必要容積	密閉縦型堆肥化装置（余裕率考慮）		⑩ 43m^3	43m^3	43m^3
施設規模	必要容積	堆肥舎		⑫ 41m^3	41m^3	41m^3
施設規模	必要面積	密閉縦型堆肥化装置		⑪ —	—	—
施設規模	必要面積	堆肥舎		⑬ 23m^2	25m^2	27m^2
備考			・断熱効果や廃白土投入効果を加算せずに密閉縦型堆肥化装置の必要容積を求め、その容積において通気量を算出し、さらに断熱効果等による水蒸発量を算出して、試算を進める。断熱効果等による水分蒸発を加算て算出した1次処理必要容積が、当初に仮置きした必要容積と一致すまで繰り返し試算を行う。 ・副資材未添加の新鮮な生ふんのかさ密度は900～1,000kg/m^3程度としてよい。 ・密閉縦型堆肥化装置の必要容積については、余裕率10%を考慮した値も併記している（密閉縦型堆肥化装置は余裕率を必要面積の算出時に考慮できないため）。			

（６）計算結果の要約（表3-4-78）

表3-4-78　試算結果の要約（牛ふんの場合）

	オガクズ添加又は敷料混合			戻し堆肥添加								固液分離機利用	
	堆肥舎敷料混合	通気型堆肥舎敷料混合	開放・直線又は円型	堆肥舎 40%戻し堆肥	堆肥舎 50%戻し堆肥	通気型堆肥舎 40%戻し堆肥	通気型堆肥舎 50%戻し堆肥	開放・直線又は円型 40%戻し堆肥	開放・直線又は円型 50%戻し堆肥	開放・開行 (エンドレス)型	密閉型 縦型	堆肥舎	通気型堆肥舎
原料　対象畜種	肥育牛	肥育牛	搾乳牛	搾乳牛		搾乳牛		搾乳牛		肥育牛	肥育牛	搾乳牛	
原料　畜ふんの水分と量（%, kg/日）	81　4,000	81　4,000	86　5,052	86　5,052	86　5,052	86　5,052	86　5,052	86　5,052	86　5,052	81　4,000	81　4,000	75　1,444	75　1,444
原料　オガクズの水分と量（%, kg/日）	25　770	25　770	25　2,610	—	—	—	—	—	—	25　825	—	—	—
原料　戻し堆肥の水分と量（%, kg/日）	—　—	—　—	—	40　3,190	50　4,970	40　3,190	50　4,970	40　4,180	50　6,970	65　6,430	—	—	—
原料　計（%, kg/日）	72　4,770	72　4,770	65　7,662	68　8,242	68　10,022	68　8,242	68　10,022	65　9,232	65　12,022	68　11,255	81　4,000	75　1,444	75　1,444
処理条件　条件	表3-4-38	表3-4-49	表3-4-60	表3-4-41		表3-4-52		表3-4-64		表3-4-72	表3-4-76	表3-4-46	表3-4-57
処理条件　処理日数　1次（日）	—	25	20	—		20		15		35	12	—	20
処理条件　処理日数　2次（日）	—	90	65	—		20		20		50	26	—	20
処理条件　処理日数　計（日）	165	115	85	55		40		35		85	38	55	40
総乾物分解率　1次処理　畜ふん（%）	—	27	34	—		22		27		34	30	—	22
総乾物分解率　1次処理　副資材（%）		9	12			—		—		12	—		—
総乾物分解率　2次処理　畜ふん（%）	—	8	6	—		13		13		6	5	—	13
総乾物分解率　2次処理　副資材（%）		2	2			—		—		2	—		—
総乾物分解率　全期間　畜ふん（%）	30	35	40	30		35		40		40	35	30	35
総乾物分解率　全期間　副資材（%）	9	11	14	—		—		—		14	—	—	—
堆肥　水分と量（%, kg/日）	67　3,180	65　2,900	55　4,750	65　1,470	67　1,410	65　1,250	65　1,400	61　1,060	62　1,120	63　2,630	48　957	70　860	69　760
堆肥　製品歩留り（%）	67	61	62	29	28	25	28	21	22	55	24	60	53
発酵槽　実容積　三地域共通（㎥）	—	149	194	—	—	206	251	173	225	452 (266)	43	—	37
発酵槽　面積　温暖地域（㎡）	—	71	107	—	—	99	120	95	124	710 (418)	—	—	18
発酵槽　面積　中間地域（㎡）	—	78	116	—	—	107	131	104	135	775	—	—	19
発酵槽　面積　寒冷・積雪地域（㎡）	—	84	126	—	—	116	142	112	146	839	—	—	21
堆肥舎　実容積　三地域共通（㎥）	983	373	623	567	689	182	227	202	271	185 (161)	41	102	31
堆肥舎　面積　温暖地域（㎡）	541	205	343	312	379	100	125	111	149	102 (89)	23	56	17
堆肥舎　面積　中間地域（㎡）	590	224	374	340	413	109	136	121	163	111	25	61	19
堆肥舎　面積　寒冷・積雪地域（㎡）	640	242	405	369	448	118	148	131	176	120	27	66	20

注）面積，実容積における温暖地域での（　）の数値は，天日乾燥能力（1.0kg／㎥／日）を加算して，少なくなった場合である。

5．堆肥化施設建屋面積の算定

堆肥化に必要とする容積または面積を算定した後に、堆肥化処理作業ならびに原料および製品の一時貯留等に必要な面積を求め、両者を合計して堆肥化施設の建屋面積を決定する。

1）堆肥化処理にあたって必要なスペース

家畜ふんの堆肥化処理で必要な基本的なスペースとしては、原料の搬入・荷受（トラックスケールを含む)、原料の水分調整・投入、発酵処理、作業機による切返し、製品の搬出・一時貯蔵、機械の格納、管理棟、運搬車輌の消毒・洗浄、予備部品の保管・ガス溶接等の簡易修理スペースなどがある。

2）建屋面積算定の目安(図3-5-1～3)

各部面積の暫定基準を**表3-5-1**に示す。各部面積は必ずしも全ての施設に必要ということではなく、必要とする場合の目安となる面積を示したものである。したがって，処理条件によっては追加、修正などの変更も必要である。なお、この基準も施設規模の容積や面積算定と同様に適宜見直す必要がある。また、堆肥舎で切返しのために余裕面積を必要とする場合には、堆肥場面積の５～10％程度を加算する。

表3-5-1　堆肥化施設建屋面積の算定基準（目安）

項目		主な使用目的	面積算定の暫定基準	必要度									備考
				堆肥舎	通気型堆肥舎		開放・直線型 〃・円型		開放・回行型 (エンドレス型)		密閉型		
					発酵槽	堆肥舎	発酵槽	堆肥舎	発酵槽	堆肥舎	発酵槽	堆肥舎	
堆肥化面積	1次処理	堆肥化に必要とする面積	面積の算定方法により求める（密閉型発酵槽の設置面積は本体面積のおおむね2倍程度）	◎	◎	—	◎	—	◎	—	◎	—	回行型(エンドレス型)，密閉型では２次処理と製品貯蔵を兼ねることもある。
	2次処理				—	◎	—	◎	—	△	—	△	
原料置場面積	畜ふん	畜ふんの一時貯蔵	おおむね3～7日程度（モミガラの大量貯蔵の場合は別に簡易貯蔵施設などを検討する。）	△	○		○		○		○		畜ふんが主材料でない場合は副資材置場は必ずしも必要としないこともある。
	副資材	副資材の一時貯蔵	おおむね10～20m^2程度	○	○		○		△		—		
原料の調整投入作業面積	通気型 堆肥舎	原料の混合と投入（一部通路兼用）	建屋間口(m)×桁行方向　おおむね5～10m程度 (図3-5-1参照)	—	◎	—	—	—	—	—	—	—	
	開放型 堆肥化装置		直線型：建屋間口(m)×桁行方向　おおむね3～5m程度 円　型：発酵槽外周(m)×おおむね3～5m程度 (図3-5-2, 3参照)	△	—	—	◎	—	○	—	△	—	
切返し作業の余裕面積		堆肥舎での切返し	堆肥舎面積のおおむね5～10％程度	△	—	△	—	△	—	△	—	△	
発酵槽からの搬出作業面積		開放・直線型堆肥化装置から堆肥の取出し	直線型：建屋間口(m)×桁行方向　おおむね2～3m程度 円　型：コンベヤ等で自動化 (図3-5-2, 3参照) （回行型(エンドレス型)および密閉型堆肥化装置の場合は投入スペースと兼用）	—	—	—	○	—	△	—	△	—	
通路面積	開放型 堆肥化装置	発酵槽の点検通路用	直線・回行型：概ね通路有効幅(60～70cm×長さ) 円型：一部投入作業面積兼用 (図3-5-2, 3参照)	—	—	—	◎	—	◎	—	—	—	
	通気型 堆肥舎	発酵槽より堆肥の取出しと運搬	おおむね使用の機械旋回半径＋1.5～2.0m×長さ (図3-5-1, 表3-5-2参照)	—	◎	—	—	—	—	—	—	—	
製品の貯蔵面積		製品の一時貯蔵と袋詰め	おおむね20～40日分程度	—	△		△		○		○		回行型(エンドレス型)，密閉型では２次処理を兼ねることもある。
機械の格納面積		使用機械の格納	使用機械の全幅と全長＋30(30～50cm)の合計（なるべく通路その他の活用） (表3-5-2参照)	△	△		△		△		△		
管理棟（室）面積		管理事務と休息	おおむね10～20m程度	△	○		○		○		○		管理棟の必要度は管理・運営方式により異なる。
その他面積		上記以外のもの	必要最小面積とする。（畜ふんの予備乾燥施設など）										

注）◎：必ず必要，○：必要，△：条件により必要，—：必要としない

３）建屋面積の試算例（管理棟（室）を除く）

（１）通気型堆肥舎（豚ふん、オガクズ添加、中間地域、図3-5-4参照）

ア．必要面積(表3-4-11よる)

ａ．発酵槽：88㎡

ｂ．堆肥舎：364㎡

ｃ．合計：452㎡

イ．堆肥化施設建屋面積（１棟)

ａ．発酵槽面積：(W)3,000×(L)6,000×5槽≒90㎡

ｂ．混合・投入面積（オガクズ置場を兼ねる。）：(W)6,000×(L)6,000≒36㎡

ｃ．作業通路面積（機械置場を兼ねる）：(W)6,000×(L)33,000≒198㎡

（ホイールローダ旋回半径から通路幅を決定：4,460+1,540=(W)6,000)

ｄ．堆肥堆積面積（原料置場を兼ねる）：

(W)9,000×(L)33,000=297㎡

(W)6,000×(L)12,000=72㎡

ｅ．合計：(W)21,000×(L)33,000=693㎡

c(ア)/e(イ)＝65％

（２）開放・直線型堆肥化装置（豚ふん、オガクズ添加、中間地域、図3-5-5参照）

ア．必要面積(表3-4-19による)

ａ．発酵槽：81㎡

ｂ．堆肥舎：263㎡

イ．発酵槽建屋面積（１棟)

ａ．発酵槽面積：(W)4,100×(L)20,000≒82㎡

ｂ．点検用通路面積：(W)700×(L)20,000×2≒28㎡

ｃ．原料投入面積：(W)5,500×(L)4,000≒22㎡

ｄ．堆肥搬出面積：(W)5,500×(L)2,000≒11㎡

ｅ．合計：(W)5,500×(L)26,000≒143㎡

a(ア)/e(イ)=57％

ウ．堆肥舎建屋面積

ａ．堆肥堆積面積：263㎡

ｂ．オガクズ置場面積：20㎡（≒1,050kg/日×10日÷250kg/㎥÷2.5m/H)

ｃ．製品置場面積（機械置場を兼ねる）：90㎡(≒2,250kg/日×30日÷400kg/㎥÷2.0m/H)

ｄ．合計：(W)9,000×(L)41,400≒373㎡

a/d=71％

（３）開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置（豚ふん、戻し堆肥添加、温暖地域、天日能力加算、図3-5-6参照）

ア．必要面積(**表3-4-32**による)
発酵槽：467㎡

イ．発酵槽建屋面積
ａ．発酵槽面積：(W)4,5500×(L)52,000×2≒473㎡
ｂ．点検用通路面積：(W)700×(L)52,000×2≒73㎡
ｃ．原料投入面積：(W)10,500×(L)1,000≒11㎡
ｄ．堆肥搬出面積：(W)10,500×(L)2,000≒22㎡
ｅ．合計：(W)10,500×(L)55,000≒578㎡
ア/e=81％
注）ふん投入用スペースを別（屋外）に設ける。

ウ．製品貯蔵建屋面積
ａ．製品貯蔵面積（２次処理および袋詰めスペースを含む）：60㎡(≒1,470kg/日×50日÷630 kg/㎥ ÷2.0m/H)
ｂ．機械置場面積：22㎡
ホイールローダ（0.9㎥）：(W)(1,950+300)×(L)(5,035+300)≒12㎡　**（表3-5-2）**
２tダンプカー：(W)(1,690+300)×(L)(4,680+300)≒10㎡
ｃ．合計：(W)6,000×(L)13,800≒82㎡
a/c=73％

表3-5-2　ホイルローダの主な仕様

仕様＼機種		A	B	C	D	E
バケット容量	(㎥)	0.14	0.22	0.30	0.60	0.90
常用荷重	(kg)	350	550	500	960	1,440
走行速度	(km／h)	9	11	15	15	34
最小旋回半径（バケット最外部）	(mm)	1,680	2,050	3,110	3,870	4,460
全長	(mm)	2,520	2,830	3,520	4,530	5,035
全幅	(mm)	900／890	1,230／1,184	1,390	1,690	1,950
全高	(mm)	1,780	1,840	1,780	1,865	2,790
ダンピングクリアランス（45°）	(mm)	1,810	2,130	1,970	2,480	2,460
機体質量	(kg)	980	1,600	1,850	3,250	4,680
機関出力	(PS／rpm)	14.5／2,800	25／2,350	22／2,500	37／2,400	58／2,150
総排気量	(ﾘｯﾄﾙ)	0.719	1.442	1.123	1.498	3.318
操向方式		スキッドステアリング	スキッドステアリング	アーティキュレート	アーティキュレート	アーティキュレート

第3章　施設規模の算定

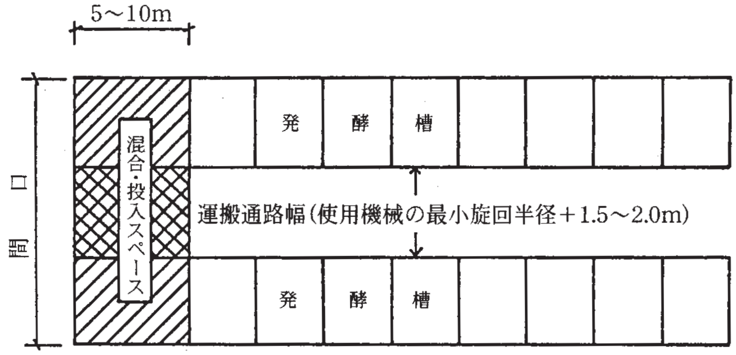


図3-5-1　通気型堆肥舎（発酵槽２列）

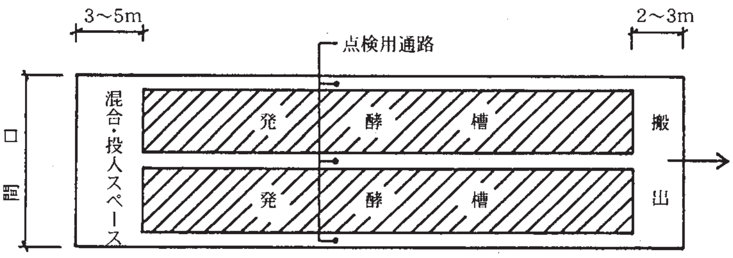


図3-5-2　開放・直線型堆肥化装置（発酵槽２列）

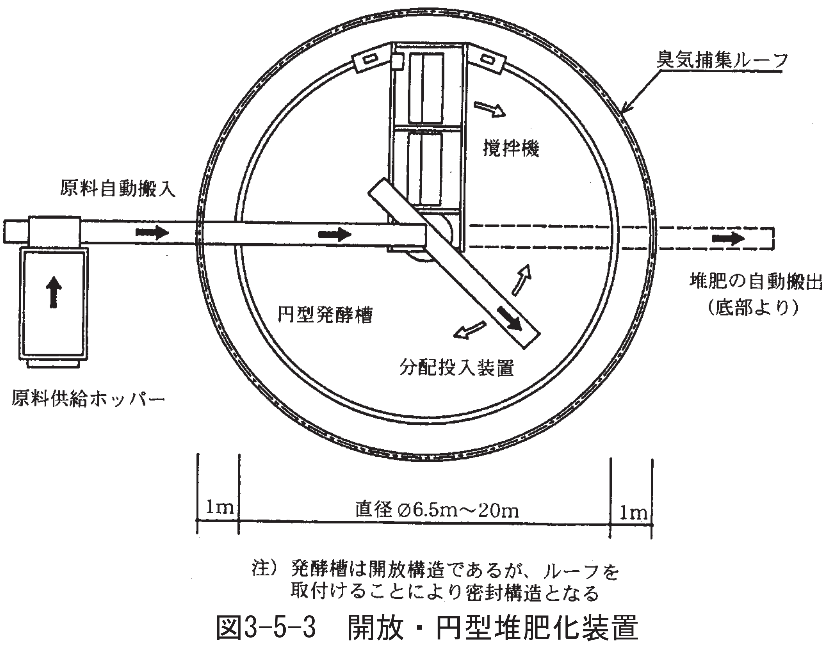


図3-5-3　開放・円型堆肥化装置

第3章　施設規模の算定

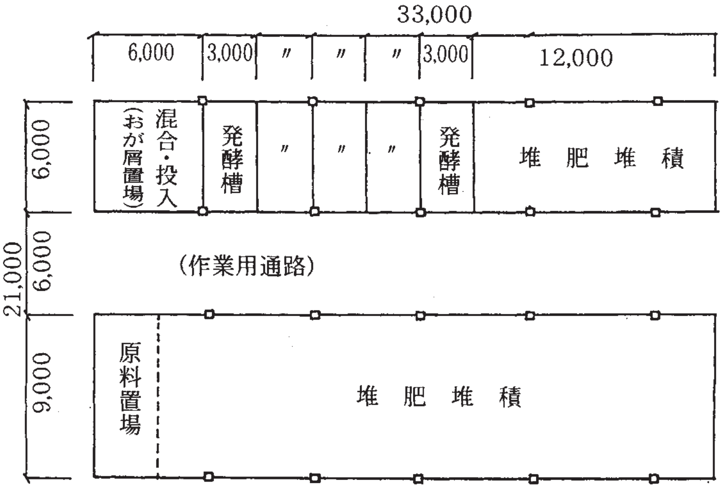


図3-5-4　通気型堆肥舎建屋の例（中柱あり）

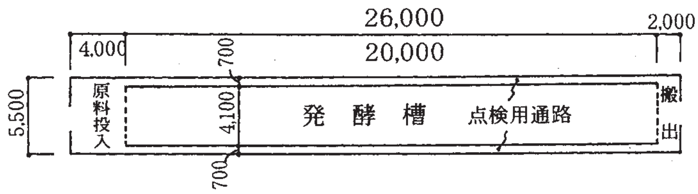


図3-5-5　開放・直線型堆肥化装置の例

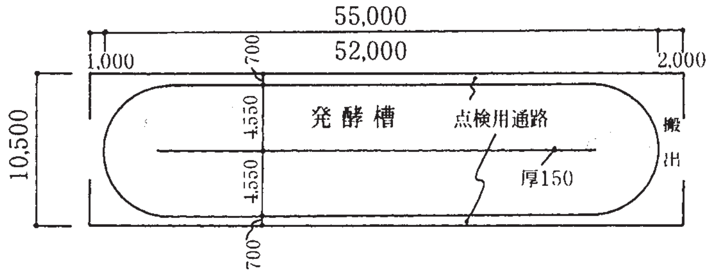


図3-5-6　開放・回行型（エンドレス型）堆肥化装置の例

第４章　堆肥化施設（建屋）の構造

本章では、堆肥化施設の内の主として屋根、柱と梁によるフレームおよび壁を有する堆肥舎（建屋）について述べる。

１．堆肥舎（建屋）設置上の注意点

堆肥舎の搬入・搬出口は、屋外から雨水や表面流出水が入り込まないように５％程度の勾配をつけ、少なくとも高低差が10cm以上となるようにする。また、堆肥舎の周囲には、雨水などが入らないよう排水溝を設置する。屋根の被覆材には光透過性の樹脂板やフィルムなどを用いることが望ましい。堆肥舎を建設する際は、低コスト化となる構造規制などの各種の緩和を活用する。

１）環境保全

図4-1-1に示したように、堆肥舎の搬入・搬出口は、屋外から雨水や表面流出水が入り込まないように５％程度の勾配をつけ、少なくとも高低差が10cm以上となるようにする。また、堆肥舎の周囲からも雨水などが入り込まないよう、施設の周囲に雨水排水溝を設置するなどの方策をとる。

堆肥舎の内部で堆肥から漏汁が発生する可能性がある場合は、床に２％程度の勾配をつけ、施設内に設ける排水溝や漏汁溜に流れるようにする。

堆肥舎は、舎内の換気性能などを考えて壁面や屋根面の棟部などを出来るだけ開放させると良い。立地条件によっては、臭気が堆肥舎を建設する際の大きな制限要因になる可能性がある。臭気の問題発生が予想される場合は、何らかの脱臭措置を講じる必要がある。脱臭対策の詳細については「畜産悪臭対策マニュアル」などを参照して適切な対応策を検討する。またハエの発生も周辺住民に不快感を与えるため、対応策を講じる。

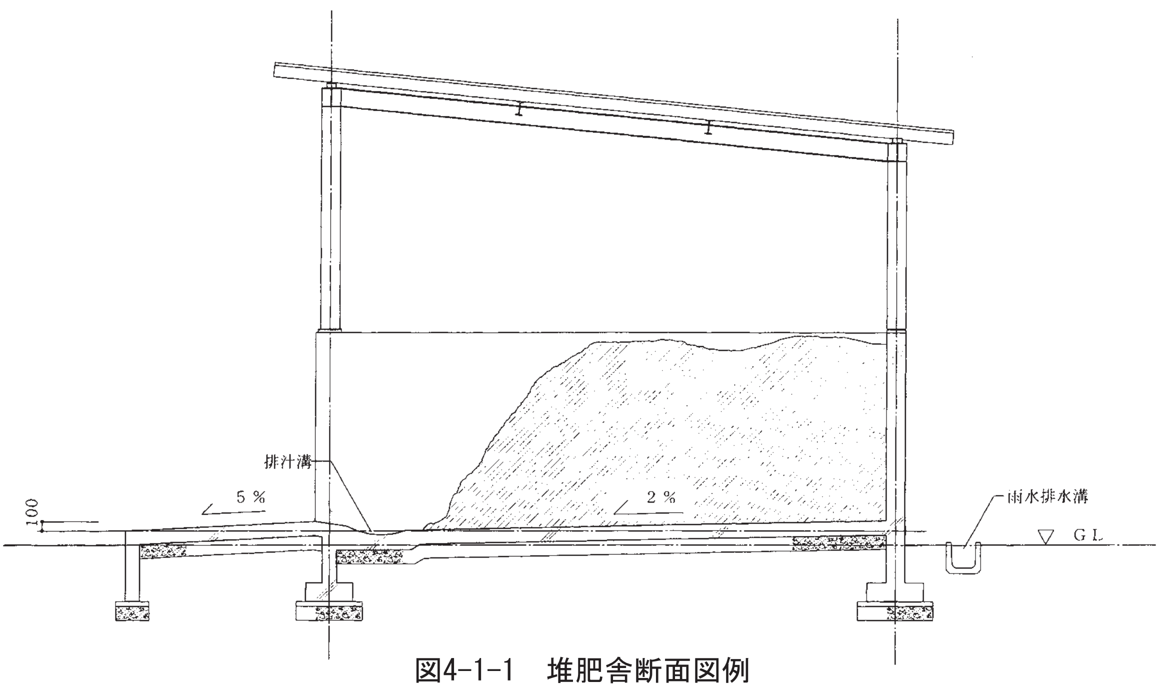


図4-1-1　堆肥舎断面図例

2）太陽熱の利用

堆肥の発酵・乾燥には太陽からの熱エネルギー利用が有効となる。積極的に太陽の熱エネルギーを利用するためには、堆肥舎の屋根被覆材に光透過性の畜産用・ふん尿乾燥用の樹脂板、フィルムなどを用いることが望ましい。

ただし、大屋根面を樹脂板やフィルムなどで葺く場合は、建設地の条件によっては延焼防止の規制が関係することがある。このため、事前に建設地域の条件や被覆材が防火上支障の無い材料であるかなどについて、施設の設計を依頼する建築士と良く相談する。その際、堆肥舎は、高い開放性を有している施設で、火気は扱わないこと、また、周辺の建物の用途、それらの柱や梁の主要構造材が鉄骨造か木造かの種別と屋根や壁の仕上げ材、それらの建物とどれ程の距離だけ離れているなどの資料を整理しておき、説明することが効果的である。

なお、これらの点については、次節に記した畜産施設の特殊性が考慮された幾つかの規制緩和がなされているので、建築士と良く相談して活用する。

3）腐食防止対策

堆肥舎では、発酵の過程で多量のアンモニアや硫化水素など、鉄骨を腐食させるガスの発生が見られる。このため、出来るだけ壁の上部や屋根の棟部などの開放度を大きくして内部の換気を良好にすると良い。また、柱や梁の主要構造材は、錆などの影響が少ない木構造とすることが望ましい。主要構造材を鉄骨造とする場合は、溶融亜鉛メッキやペイント塗装などの防錆処理をしっかりと施す必要がある。特に柱と梁の溶接接合部やボルト接合部、桁行方向の側面や屋根面に設置される鉄筋筋交い（鉄筋ブレース）の端部接合部、また、鉄筋筋交いの途中に設ける緩み止め（ターンバックル）のネジ部などはメッキ処理が行えないため、最後にペイント塗装をしっかり行うと良い。畜舎や堆肥舎に多く用いられる鉄筋筋交いでは、鉄筋が細い場合（12㎜φ程度以下）でも鉄筋の断面を削ってネジ部を加工しているものの使用が多く見られる。この様な場合、鉄筋のネジ部断面が極端に細くなることで耐力が著しく低くなってしまうため、少し割高となるが、ネジ部分のみに太い鉄筋を使用している筋交いなどの使用も検討し、施設全体の耐力を確保する。

また、鉄骨造の場合では、一般建築物と同様の作業効率化などを考えて、母屋や胴縁などへ薄鋼板（厚さ1.6㎜程度以下）の軽量C形溝形鋼が用いられることが多い。堆肥舎では、部材断面の端部反り返り部分が結露水の溜まりやすい形状のために錆が発生しやすく、使用部材が薄い板厚でもあるため、部材断面の著しい欠損が比較的短期間に生じている事例が多く見られる。このため、主要部材を鉄骨造とした場合でも、母屋や胴縁などには木材を使用することで施設全体の耐久性が高まる。なお、母屋や胴縁へ木材を使用した場合でも、留め金具や釘には錆を生じにくい材質の部材を使用することへの配慮が必要である。

4）低コスト化

畜舎や堆肥舎などの畜産施設は、建築基準法の制定時より建築物に該当するとされたが、当初は小規模な木造畜舎が主であったため特に問題は生じなかった。しかし、その後に畜産施設が多頭飼育、大規模化することに伴い、広い間口サイズ・大きな床面積となった畜産施設では、大きな柱や梁サイズの使用により建設費が高額となることが問題となってきた。このため、一般建築物と同様の荷重条件ではなく、畜産施設の実況に応じた低コスト化が切望されることと

なった。

これを受けて、一般建築物より緩和された荷重条件とした基準の下で建設することが可能となる検討会が設置され、日本初の建設大臣の認定を受けた「畜舎設計規準」が作成された。その後、建築基準法の改正により「畜舎設計規準」とほぼ同内容の構造基準として「特定畜舎等建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の告示」（平成14年国土交通省告示第474号。以下「特定畜舎等に関する告示」という。）が国土交通省によって制定され、現在に至っている。

さらに、国際的な競争力の強化へ向けた省力化機械の導入、増頭・増産などへの取り組みを推進させるための緩和措置として、計画の認定を受けた畜産施設は建築基準法の適用から除外されることとし、建築基準法より緩い基準で畜産施設を建築できる制度として「畜舎等の建築等及び利用の特例に関する法律」（令和３年法律第34号。以下「畜舎特例法」という。）が2021年5月に公布された。

「畜舎特例法」については、次節「２．堆肥舎（建屋）の構造設計に関する基準」において述べる。この畜産施設を対象とした建築確認申請に相当する簡易事務申請方法や荷重などが緩和された認定制度の基準を生かし、畜産施設の用途や床面積に応じて最適な低コスト化となる畜舎や堆肥舎を建設することが有効である。

なお、畜産施設を建設する際は、使用部材として一般建築物と同様の市販されている規格部材を使用することとなる。この場合、市販の鉄骨部材の例ではＨ－300×150㎜の次に大きいサイズはＨ－350×175㎜となる様に、部材サイズが段階的に変化していることに注意する。畜産施設の間口方向の寸法を決定する際などでは、将来的な大型機械導入を考慮して作業通路幅などに余裕を見過ぎて広い間口寸法とすると、構造計算を行った結果、仮定断面がギリギリ不可となってしまい、ワンサイズ大きな柱・梁部材を使用することとなり、結果として高額な畜舎や堆肥舎となってしまうこともあるため注意した方が良い。

また、「畜舎特例法」を活用した各種緩和による低コスト化だけでなく、鉄骨部材の塗装工事においても、下塗りの上に仕上げ塗装を行うという一般的工法に限らず、下塗り塗装のみを入念に行うことで同様の防錆効果を得るなどを検討することも有効である。また、建築材料の種類やランクを下げることによる低コスト化も有効となる。例えば、壁材料として安価な防風網を用いることにより、メッシュの大きさによって多少の雨雪の侵入はあるものの、角波鉄板やフィルムなどとは異なって通気性を良好にするという利点も得ながら低コスト化が可能となる。

２．堆肥舎（建屋）の構造設計に関する基準

畜舎や堆肥舎のうち要件を満たした畜産施設は、「畜舎特例法」の認定を受けることで一般建築物よりも構造的に緩和された基準で建設することができる。特に堆肥舎は、一般的な畜舎などに比べて建屋の床面積に応じた滞在人数が少なくて滞在時間も短いこと、また、その用途などが考慮され、積雪荷重、風圧力について大幅な緩和が適用されている「畜舎設計規準」から引き続き、緩和規定を有効に活用する。

１）堆肥舎（建屋）に関係する基準

（１）畜産施設に関する基準の推移

畜舎や堆肥舎を含む全ての畜産施設は、一般的な建築物に比べて、床面積に対する滞在人数が少なく、滞在する時間も余り長くないという特殊な利用形態となっている。このため、床面積が大きい施設は人が多く集まることで危険性も高くなるという一般建築物と同様の考え方ではなく、畜産施設の特性に見合った合理的な設計や建設を推進するための基準が必要とされていた。その結果、畜産施設は建築基準法では建築物に該当するとされているが、一般建築物より緩和された基準の下で建設することが可能となるよう1995年に検討会が設置された。

これにより、畜産施設に係る構造耐力関係を主として、一般建築物よりも構造的に緩和された基準が、建築基準法第三十八条に基づいた「畜舎設計規準」として1997年に建設大臣の認定を受けて定められた。この「畜舎設計規準」では、畜舎内部の家畜による発熱や堆肥舎ふん尿の発酵による発熱によって、屋根雪が７日間程度の短期間で滑落するという特性を反映させた独自の積雪量が採用されることとなった。また、風圧力についても、畜産施設の種類に応じて必要とされる安全性の違いが考慮され、畜舎や堆肥舎などの施設に応じて異なった低減数値を乗じた風圧力を採用することで大幅な緩和がなされた。

その後、「畜舎設計規準」は数度の改定を経て有効に活用されたが、2000年の建築基準法改正により第三十八条が削除され、「畜舎設計規準」も消滅することとなった。しかしその後、ほぼ同内容のまま「特定畜舎等に関する告示」として2002年に国土交通省によって定められ、2007年に一部改正されて現在に至っている。

この「特定畜舎等に関する告示」は、「畜舎設計規準」の荷重に関する考え方がそのまま継承されており、これらの畜産施設の特性と建設地の状況が考慮された緩和規定を活用することで低コスト化が有効となっている。

さらに、国際的な競争力の強化へ向けた省力化機械の導入、増頭・増産などへの取組を推進させるための緩和措置として、農林水産省と国土交通省が連携して、計画の認定を受けた畜産施設は特例として建築基準法令の適用が除外されることとし、建築基準法より緩い基準で畜産施設を建設できる「畜舎特例法」およびその具体的な基準を定めた「畜舎等の建築及び利用の特例に関する法律施行規則」（令和３年農林水産省・国土交通省令第６号。以下、「施行規則」という。）が2021年12月に公布された。

「畜舎特例法」では、「技術基準」と「利用基準」が定められており、それぞれの基準で定められている項目を組み合わせた「Ａ構造畜舎等」と「Ｂ構造畜舎等」の２種類を畜産農家（申請者）が選択することで、低コスト化の程度が調整出来るようになっている。この畜舎や堆肥舎を対象とした簡易な事務申請方法や荷重などが緩和された認定制度の基準を生かして、低コスト化となる畜産施設を建設することが有効である。

なお、「畜舎特例法」の「Ａ構造畜舎等」と「Ｂ構造畜舎等」では、その安全性に対する基本的な考え方が異なっている。「Ａ構造畜舎等」は、利用基準については簡易な基準が設定され、技術基準についてはこれまでの「特定畜舎等に関する告示」と同様の計算方法に従うこととなっている。一方、「Ｂ構造畜舎等」は、利用基準については標準的な基準が設定され、技術基準については、計算方法は「特定畜舎等に関する告示」と同様であるが、使用材料の許容応力度に緩和された数値を採用して良いとされているため、結果として施設の耐力や安全性が少し低くなる。

このため、どちらの緩和規定を採用した畜舎や堆肥舎とするかは、畜産農家（申請者）および設計・建築に携わる人の判断に委ねられている。したがって、この「畜舎特例法」へどの様に適応させるかについては、経済性、都市計画・防火上の位置付け、施設の用途と床面積、立地環境などを総合的に判断し、畜産農家（申請者）が設計を依頼する建築士などと十分に相談して適切に決定、選択する必要がある。

（2）堆肥舎の区分

堆肥舎は、一般的な畜舎よりもさらに建屋内における人の数や滞在時間が短い。また、堆肥舎は立地、利用（内容物の価値）、構造の面で次のような特性があるため他の畜舎などと区分されており、積雪荷重や風荷重が大幅に緩和されている。

①一般的な畜舎などよりも、建屋内に滞在する人の数が少なく、滞在時間も短いか、またはほぼゼロである。

②家畜排せつ物の処理過程で強い臭いが発生することから、他の施設から離して建築される。（他の建物や人に被害が及ぶ恐れがない。）

③堆肥舎の内容物である家畜排せつ物は、乾燥・発酵・完熟するまでは実質的に価値はゼロである。（危険が予想される場合、堆肥舎に近づく必要がない。）

④家畜排せつ物を乾燥させるという目的から、極めて開放性が高い構造となっている。（異常を察知した場合でも容易に堆肥舎から避難できる。）

したがって、一般的な人命の安全、財産の保護などの観点から、畜舎などと同様の安全性が求められていないと考えられ、堆肥舎に関する各種調査・実験結果に基づき、緩和することができるとされている。

2）「畜舎特例法」の概要

（1）「畜舎特例法」の構成

「畜舎特例法」で規定されている主な条件は以下の様である。

- 「畜舎特例法」では、家畜の飼養に供する施設および関連する施設を「畜舎」、家畜排せつ物の処理・保管の用に供する施設を「堆肥舎」としており、これらをまとめて「畜舎等」とされている。
- 畜舎等を建築する際には、敷地、構造や建築設備に関する「技術基準」と、畜舎等の利用方法に関する「利用基準」の両方に定められた各種条件を満たす必要がある。
- 畜舎等を建築する際には、建築士と良く相談して「畜舎建築利用計画」を作成し、申請する畜舎等の所在地を所轄する都道府県知事に提出して認定を受ける。
- 認定を受けた畜舎等は「認定畜舎等」とよばれ、建築基準法令の規定は適用されない。なお、「認定畜舎等」となっても、定期的に都道府県知事に利用状況を報告しなければならない。
- 「認定畜舎等」のうち、床面積3,000㎡以下の畜舎等は「特例畜舎等」とされ、技術基準に係る審査などが不要となっている。

「畜舎特例法」において基本的な対象施設となる「畜舎等」は、「技術基準」と「利用基準」を満足する畜舎と堆肥舎のことで、それぞれ「施行規則」により以下の様に定められている。

「畜舎」：家畜の飼養の用に供する施設や関連施設で、搾乳施設、家畜の飼養の用に供する施設に付随する集乳施設、これらの施設に付随する門または塀、これらの施設内の室であって畜産経営に関する軽微な執務・作業、飼料・敷料・農業用機械の保管の他、これらに類する目的のために使用するもの。

「堆肥舎」：家畜排せつ物の処理または保管の用に供する施設のうち、屋根および柱または壁を有するものおよびこれに類する構造のもの、当該施設に付随する門または塀、当該施設内であって畜産経営に関する軽微な執務・作業、飼料・敷料・農業用機械の保管の他、これらに類する目的のために使用するもの。

このため、屋根や壁などを有しない密閉型堆肥化装置などは該当しないこととなっているが、装置については製造業者の責任のもとで製作し、設置に関しては屋外の場合では風圧力による転倒防止なども考慮し、地盤状況に応じた適切な工法を選択すれば良い。

（2）「認定畜舎等」となるための利用計画書

「畜舎特例法」では、畜舎等を新築、増築、改築する場合には、当該畜舎等の構造などや利用の方法などを記した「畜舎建築利用計画」を作成し、申請する畜舎等の所在地を管轄する都道府県知事へ提出して認定を受けなければならない。この計画について都道府県知事の認定を受けることで、建築基準法令の規定が適用されない「認定畜舎等」となる。

この認定を受けるための計画の記載事項は以下の通りである。なお、床面積が3,000㎡以下の「特例畜舎等」の場合は、以下の④の事項に係る記載および審査が不要となる。

①申請者の氏名（名称）、住所

②畜舎等の種類、建設する場所、規模、間取り

畜舎や堆肥舎の高さが16m以下であり、階数が１であり、施設内に居住のための居室を有しないことの確認。

畜舎や堆肥舎が都市計画区域の市街化区域外および住居、商業、工業などの用途地域外に建設することの確認。

③畜舎等の設計者

畜舎や堆肥舎が、建築士による設計であることの確認。

今回の「畜舎特例法」では、建設地が市街化区域以外などの条件を満足する畜舎や堆肥舎で、床面積が3,000㎡以下の場合は「特例畜舎等」となり、確認申請に変わる簡易な事務手続きが適用されることとなった。このため、施設内部の計画と共に、構造の種類、間口方向と桁行方向の構造形式、構造計算による施設の安全性について、建築士へ設計を依頼して確実にしておくこととされている。なお、建築士には一級建築士、二級建築士、木造建築士の３種類の資格があり、その資格に応じて設計・監理できる建物の大きさが定められている。このため、畜舎や堆肥舎の床面積に応じて、あらかじめ依頼する建築士を決定する必要がある。その際、建築士には畜舎や堆肥舎に関する基準、構造や構造計算について余り得意では無い人も多く見られるため、誠実な構造設計事務所と良く連携して畜産関係の設計作業をしている建築設計事務所を選択することが安全性確保へつながる。

④畜舎等の敷地、構造、建築設備

敷地、構造および建築設備が「技術基準」における敷地・構造・設備に関する規定に適合

していることの確認。

⑤畜舎等の利用方法

畜舎や堆肥舎の利用方法が「利用基準」に適合していることの確認。

⑥申請者が畜舎等で行う畜産業の内容

畜舎で飼養する（堆肥舎の場合は排せつ物を処理する）家畜の種類・頭数・飼養形態などの確認。

⑦建築などの工事着手予定日と完了予定日

⑧その他

また、「認定畜舎等」と認められた後も、畜舎等の利用状況について、おおむね５年に１回、都道府県知事に報告しなければならない。

この他、「畜舎特例法」および「施行規則」では、防火等や建築設備等に関する事項、敷地や便所の衛生上の基準、都市計画区域等における基準、畜舎建築利用計画の変更、相続に関する地位の継承、認定畜舎の譲渡などについても規定されている。これらの詳細については「畜舎特例法」の関連説明書を確認すると良い。

（３）利用基準の概要

畜舎や堆肥舎の利用の方法について、継続的に畜産経営を行う上で安全上、防火上、衛生上に支障がないことを確保するために必要なものとして「施行規則」で以下の様に「利用基準」が定められている。なお、Ａ構造畜舎等（以下の技術基準にて説明）となる場合は、以下の①と④については適用されない。

①畜舎や堆肥舎における１日当たりの滞在者数および滞在時間の制限

通常時において、畜舎等に同時に滞在する人数および１日の延べ滞在時間が、畜舎等の床面積に応じて定められている。床面積1,000㎡以下の場合は、人数は４人で１日の延べ滞在時間は８時間、床面積が1,000㎡を超えて2,000㎡以下の場合は、人数は８人で延べ滞在時間は16時間となっている。

②夜間に畜舎等で睡眠しないこと

午前０時から午前４時まで、および、午後10時から午後12時までの間、やむを得ない場合を除き、畜舎等で睡眠することはできない。

③畜舎や堆肥舎の災害時の避難経路の確保

２以上の避難口を確保し、避難通路の特定、避難通路上に避難の妨げになるような道具などを置かないための取組を明確にする。

④畜舎や堆肥舎の避難訓練の実施

定期的な避難訓練の実施に関する記録を作成し、少なくとも１年間保存する。

⑤畜舎や堆肥舎への明示

当該の畜舎や堆肥舎が「畜舎特例法」の基準にのっとり、その基準に従って建設された「認定畜舎等」であることを畜舎や堆肥舎の見やすい場所に明示する。また、Ｂ構造畜舎等（以下の技術基準にて説明）に該当する場合は、畜舎等へ入る人に災害時の避難方法を説明する。

（4）技術基準の概要

畜舎や堆肥舎の敷地・構造・設備についての基準で、「施行規則」で以下の様に「技術基準」が定められている。

①継続的に畜産経営を行う上で、利用基準に適合する畜舎等の利用の方法と相まって、安全上、防火上、設備上に支障がないこと。

畜舎や堆肥舎の構造安全性を確保するため、畜舎等の利用の方法を勘案して緩和された構造基準である「畜舎特例法」の「施行規則」で定められている緩和された各種荷重による構造計算を行う。

また、「施行規則」において、畜舎や堆肥舎の敷地、高さおよび階数などの構造は、次のように定められている。

・敷地が市街化区域および用途地域に該当しないこと。

建設地は、畜舎や堆肥舎が不測の事態によって倒壊する場合となっても、被害が当該施設の範囲内で収まることを想定し、家屋の密集度が少ない市街化区域以外とする。また、都市計画区域の住居、商業、工業などの用途地域外に建設すること。

・高さ16m以下であること。

高さの規定は、これまでに建設された各種畜産施設の規模を調査、整理した結果を基に、最高高さ16m以下とされている。堆肥舎内部で大型ローダを持ち上げて作業する場合を考えて設計した堆肥舎でも、最高高さ16m以下と規定されていても支障はないと判断される。なお、軒高に対する基準は設けられていないため、建設地の季節風の方向、屋根形状による換気などを考慮して高さを決定する。

・階数が１であること。

階数は、地震時の安全性などを考慮した１（平屋）のみとされている。

・畜舎や堆肥舎の中に、居住のための居室、継続的に行う長時間の執務のために使用する室を設けない。

畜舎や堆肥舎は、内部での作業が継続的ではなく、データ整理などの軽微な執務・作業を短時間行うための施設であることが基本とされている。また、就寝などを伴う居住のための居室の設置は不可とされている。

②敷地内の雨水および汚水の排出または処理、便所から排出する汚物の処理について衛生上支障がないこと。

「施行規則」において、畜舎等の敷地は建築基準法第十九条第一項および第三項の規定に適合するものでなければならないこと、便所は建築基準法第三十一条第一項の規定に適合するものとしなければならないことなどが定められている。

③都市計画区域および準都市計画区域、準景観地区ならびに都道府県知事が関係市町村の意見を聴いて指定する区域に建設する場合は、建蔽率、高さ、その他の構造について、適正で合理的な土地利用および良好な景観保全を図る観点から、交通上、安全上、防火上および衛生上支障がないこと。

「施行規則」において、畜舎や堆肥舎の建蔽率は、建築基準法第五十三号第一項第六号に定める数値を超えてはならないことなどが定められている。

④「畜舎特例法」では、「畜舎設計規準」とほぼ同内容で現行の「特定畜舎等に関する告示」における構造基準と同等の安全性を確保した「A構造畜舎等」、または、畜舎に必要最低限

の安全性の確保を目的として許容応力度が緩和された「Ｂ構造畜舎等」のどちらかを選択し、それぞれの基準に従って構造計算を行うこととされている。

（ｉ）「Ａ構造畜舎等」を選択した場合

技術基準については、これまでと同様の「特定畜舎等に関する告示」で示された各種荷重を基に、主要部材の応力度が使用材料の許容応力度を超えていないことを確認する「許容応力度設計法」による構造計算を行うことで安全性を確保する。

この基準を選択した場合、利用基準については、１日当たりの滞在者数および滞在時間の制限、畜舎や堆肥舎の避難訓練の実施は適用されない。

（ⅱ）「Ｂ構造畜舎等」を選択した場合

技術基準については、Ａ構造畜舎等の基準と同様の「許容応力度設計法」による構造計算を行うが、使用材料の許容応力度については、使用材料ごとに「施行規則」で別途定められている緩和された数値を使用して良い。

利用基準については、技術基準の構造計算にてさらなる緩和が適用されているため、安全性を確保するために、利用基準の全ての項目が適用される。

この他、「畜舎特例法」では明記されていないが、柱や梁の主要構造には、これまでと同様の一般的な建築構造の木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、補強コンクリートブロック造およびこれらを併用した構造が使用できる。また、木造の場合では、木造の軸組に木造の耐力壁を緊結する構造も使用できる。さらに、木造骨組において鉄骨梁を使用した場合や中柱に鉄骨柱を使用した場合、堆肥舎や飼料庫などによく見られる鉄筋コンクリート造や補強コンクリートブロック造の壁と木造や鉄骨造の梁を組み合わせた構造なども使用できる。

今回の「畜舎特例法」では、「特定畜舎等に関する告示」で定められていた柱間隔15m以下という制限が削除された。しかし、構造上主要な柱間隔があまり大きな場合は構造骨組の安全性が危惧される。このため、間口寸法が特に大きな肉牛舎、フリーストール牛舎、大規模な堆肥舎などの場合は、間口の途中に柱間隔が15m程度となるような位置に構造耐力上主要な中柱（軸力のみを負担する構造柱でも良い）を設置することで、特に想定以上の降雪となった場合や、春先の湿って重い降雪となった場合などに対する安全性が格段に向上する。中柱を設置する位置は、乳牛舎の場合では連動スタンチョンの位置や牛床の交差部、肥育牛舎の場合では隔柵の交点などが、堆肥舎の場合では、中央通路に接する隔壁の端部などについて、設置を検討すると良い。

（５）安全性を確かめる構造計算

「畜舎特例法」においては、「特定畜舎等に関する告示」で定められた簡易な「許容応力度設計法」による計算方法と畜舎や堆肥舎の実況を考慮した荷重値がそのまま適用されることとなっている。その構造計算の方法、および構造計算に用いる積雪荷重と風圧力は以下の様になっている。

（５）－１　構造計算の方法

構造計算における畜舎や堆肥舎の応力度確認方法は、**表4-2-1**に示す力の組合せによる長期と短期における各部材の応力度を求め、それらの応力度が使用材料の許容応力度を超えないことを確認する簡易な「許容応力度設計法」で行えば良いと規定されている。この時、「Ｂ

構造畜舎等」を採用した場合は、使用材料の許容応力度として「施行規則」で規定されている緩和された許容応力度を採用することができる。

この構造計算では、「認定畜舎等」に該当する多雪区域（最大積雪深が１m以上の指定された区域）に建つ堆肥舎で、屋根勾配が11度（2/10勾配）以上ある場合で積雪荷重を600N/㎡の低減値を採用した時にのみ、特別な計算方法で確認することとなっている。その他の多雪区域に建つ畜舎や堆肥舎については、長期積雪時の力の組合せによって部材がほぼ決定されるが、比較的早期に滑雪が生じるとして緩和された積雪荷重を採用することで、柱や梁などの部材サイズが小さくなることが予想される。

なお、畜舎や堆肥舎では、桁行方向の地震時水平力を全て筋交いで負担させる構造が主となっている。この様な水平力の全てを筋交いへ負担させる施設では、地震時の安全性を確保するため、地震時水平力を1.5倍した数値で検討する。

表4-2-1　主要部材の長期と短期の力の組合せ

力の種類	荷重・外力の状態	一般区域	多雪区域	
			特定畜舎で定められた積雪荷重を用いた畜産施設の場合	屋根勾配が11度以上ある堆肥舎で積雪荷重を600N/㎡まで減らした場合
長　期	常　時	G＋P	G＋P	G＋P
	積雪時		G＋P＋0.7S	G＋P＋S
短　期	積雪時	G＋P＋S	G＋P＋S	G＋P＋S
	暴風時	G＋P＋W	G＋P＋W	G＋P＋W
			G＋P＋0.35S＋W	G＋P＋S＋W
	地震時	G＋P＋K	G＋P＋0.35S＋K	G＋P＋S＋K

ここに、G：固定荷重によって生じる力
P：積載荷重によって生じる力
S：積雪荷重によって生じる力
W：風圧力によって生じる力
K：地震力によって生じる力

（5）－２　積雪荷重の低減

> 堆肥舎については、建設地の畜産施設用積雪量の数値に対して、積雪に関する最小となる低減数値を乗じた値を採用できる。また、一定の条件のもとで屋根上積雪荷重を600N/㎡まで低減することができる。

積雪荷重は、一般建築物と同様の荷重を基本としているが、畜舎や堆肥舎については、①断熱性の低い屋根材料で仕上げてある、②滑雪を妨げない材料や構造としている、③屋根勾配が11度（2/10勾配）以上ある、の３条件を満足することで屋根雪の滑雪が容易に生じ易いとされ、多雪区域の雪の単位荷重低減や短期間の垂直積雪量の採用を基本とした、緩和された以下の式による数値が採用できる。

なお、ここで用いている畜舎や堆肥舎用の屋根上の積雪荷重は、畜舎内の家畜による発熱、堆

肥舎内の堆肥の発酵熱によって屋根が暖められ、屋根上の積雪が７日毎に滑落することを基本として定められている。このため、特に積雪の多い区域では、一時的にしても、冬期に畜舎内の家畜を全て空にする、または、堆肥舎内の堆肥を全て空にすると危険となるため、作業方法へ配慮する必要がある。

$S = \gamma \times d \times R_s \times \mu b$

S：屋根上の積雪荷重(N/㎡)

γ：積雪の単位荷重。一般区域の場合20(N/㎡/㎝)

多雪区域の場合23(N/㎡/㎝)

（注：建築基準法による場合は 30(N/㎡/㎝))

d：垂直積雪量として市町村の区域に応じて定められた畜産施設用の数値

（区域ごとの値は「特定畜舎等に関する告示」の**別表1**を参照）

R_S：施設区分に応じた積雪に関する低減の数値（**表4-2-2**による）

μb：畜産施設が建設される区域における一月と二月の二ヶ月間の平均風速に応じた数値

（**表4-2-3**による。冬期の平均風速は、気象庁ＨＰより各地のデータを入手する。）

表4-2-2　畜産施設の施設区分に応じた積雪に関する低減の数値

特定畜舎等建築物の種類	荷重・外力の状態	数　値	
		d≧70 の場合	d＜70 の場合
堆肥舎	常時又は積雪時	０．８４	０．７８
	暴風時又は地震時	１．００	１．００
飼養施設	常時又は積雪時	０．８７	０．８２
	暴風時又は地震時	１．００	１．００
搾乳施設等	常時又は積雪時	０．９３	０．９０
	暴風時又は地震時	１．００	１．００

表4-2-3　畜産施設建設地の一月と二月の平均風速に応じた低減の数値

当該地域における二ヶ月間の平均風速 Vm/sec	μb
２．０以下	０．９
３．０	０．８
４．０	０．７
４．５以上	０．６

上記の V以外の数値は，直線補間した数値とする。

堆肥舎は、施設内に滞在する人数や時間が畜舎などに比べて極めて小さく、畜舎内で飼養される家畜家禽に比べて極めて価値の低い家畜排せつ物を処理・保管する施設でもある。また、他の施設より離して設置されることが多く、万一倒壊しても他の施設へ被害が及ぶことが極めて少な

い施設でもある。このため、**表4-2-2**に示すように、積雪荷重に関する低減の数値（R_s）は、一般的な家畜の飼養施設などよりさらに低減されている。なお、表中の飼養施設は、「畜舎特例法」における「畜舎」に相当するとし、搾乳施設等はミルキングパーラなどの搾乳に関連する施設が該当するものとする。

また、堆肥舎については、堆肥舎用屋根仕上げ材料に関する屋外滑雪実験の結果に基づき、屋根勾配が11度（2/10勾配）以上の場合は、当該地域の垂直積雪量（積雪深）に係わらず、屋根上積雪荷重を600N/㎡まで低減することができる。この時、外気温０℃未満の日が７日以上連続する地域では屋根雪の滑落が生じにくくなる。このため、屋根上積雪荷重は、当該地域の設計用屋根上の積雪荷重と600N/㎡との間の値を、その連続日数および堆肥舎内の温熱環境に応じて構造設計者が設定する。

なお、この堆肥舎用の低減荷重値は、屋根雪が早期に滑落現象を発生することを前提としているため、以下の点を考慮して滑雪を妨げない屋根面にする必要がある。

①堆肥舎は単棟とし、屋根面に2/10勾配未満となる部位を設けない。

②間口が広い堆肥舎の場合は、屋根面全体を3/10勾配以上とするか、または、屋根面長さの軒部付近1/3部分を3/10勾配以上とすることが望ましい。

③屋根仕上げ材は、たわみが生じにくい樹脂板や硬質フィルムなどを選択する。また、仕上げ材に大きな破損が生じていなくとも、経年変化による表面劣化により滑雪現象が低下する前に仕上げ材を更新する。各種仕上げ材の標準的な耐用年数を**表4-2-4**に示す。

④屋根面には、滑雪を妨げる凹凸が生じるふき工法などを使用しない。また、滑落した雪の搬出が容易な隣棟間隔を確保するとともに、雪の堆積によって屋根雪の滑落が妨げられたり、雪の堆積側圧が堆肥舎へ作用して不利な応力状態とならないように配慮する。

表4-2-4　畜産施設に多く使用される仕上げ材の標準的な耐用年数

仕上げ材	耐用年数(塗替目安年数)
カラーガルバリウム鋼板 カラー鋼板	12～15 年(塗替目安年数) 7～10 年(塗替目安年数)
農 PO フィルム(外張り用)	3～5 年
ポリエステルフィルム	4～7 年
フッ素フィルム　0.06 ㎜厚 0.10 ㎜厚	10 年 15 年
ガラス繊維強化ポリエステル板 (FRA 板)	7～10 年
アクリル板(MMA 板)	10～15 年
ポリカーボネート板(PC 板)	10～15 年

（５）－３　風荷重の低減

> 堆肥舎の計算に際しては、一般的な畜舎などよりさらに低減された風圧力となる低減の数値を採用して行う。

速度圧は、一般建築物と同様の計算式を基本としているが、各地の基準風速へ施設区分に応じ

た低減の数値を乗じて緩和された風速を求め、以下の式による数値を速度圧として採用できる。これにより、堆肥舎は最も大きな低減の数値を乗じることができ、小さな値となった速度圧で構造計算することが可能となっている。なお、**表4-2-6**の地表面粗度区分は、畜舎や堆肥舎の高さが13m以下の場合はⅢ、それ以上の高さとなる場合はⅡを基本とすれば良い。

$$q = 0.6 \times E \times (V_O \times R_W)^2$$

$$E = E_r^{\,2} \times G_f$$

ここに、

q　：設計用速度圧(N/㎡)

V_O：施行令第87条第2項に規定された各地の基準風速
「特定畜舎等に関する告示」の**別表２**を参照

R_w：施設区分に応じた風に関する低減の数値(**表4-2-5**による)
施設の区分は、積雪荷重と同様とする。

E　：建築物の屋根高さと周辺地形の状況によって定まる係数。

G_f：ガスト影響係数（風の乱れ程度を表す係数)。
(告示第1454号の表を参照)

E_r：地表面粗度区分(地表面の粗さを意味する用語、**表4-2-6**参照)と建物高さによって決まる係数で、風の平均風速の高さ方向の分布を表す。以下の２式と告示第1454号の表(**表4-2-6**)より算出。

$H \leqq Z_b = 5$ mの場合　$E_r = 1.7 \times (Z_b / Z_G)^{\alpha}$

$H > Z_b = 5$ mの場合　$E_r = 1.7 \times (H / Z_G)^{\alpha}$

H：畜舎の棟部高さと軒の高さとの平均値(m)。
なお、３m以下の場合は３mとする。

Z_b、Z_G、α：告示第1454号で定められた数値。
なお、畜舎等はZ_bについては３mとしても良い。

表4-2-5　施設区分に応じた風に関する低減の数値

特定畜舎等建築物の種類	R_W
堆肥舎	０．８５
飼養施設	０．９０
搾乳施設等	０．９５

表4-2-6　地表面粗度区分と各数値

粗度区分	都市計画区域外	都市計画区域内	Z_b (m)	Z_G (m)	α
Ⅰ	極めて平坦で障害が無い区域	—	5 （3）	250	0.10
Ⅱ	Ⅰの区域以外で建物高さ13m以下は除く区域	Ⅳの区域以外で海岸線等から500m以内の区域	5 （3）	350	0.15
Ⅲ	Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ以外の区域	Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ以外の区域	5 （3）	450	0.20
Ⅳ	—	都市化が極めて著しい区域	10	550	0.27

注：特定畜舎等建築物に該当する畜産施設は、Z_bを( )内の３ｍとすることができる

３．構造設計に関する基礎事項

１）堆肥の堆積による圧力（堆積圧）

> 堆肥の堆積によって堆肥舎の周辺壁に作用する圧力（堆積圧）は、土質工学分野で確立されている擁壁設計手法を適用して算定する。

堆肥舎の発酵槽は、高さ２ｍ程度の鉄筋コンクリート造または補強コンクリートブロック造の壁で、周辺の三方を囲んだ形式をとることが通常である。周辺壁の強度設計にあたっては、まず堆肥の堆積高さによって壁へ作用する圧力（堆積圧）を考慮する必要がある。

堆肥は通常の無機質の土と比べれば、高水分、軽量、高圧縮性、低強度という特性があるものの、土質工学分野で扱う有機質の腐植土に類似した物性値を示す。このため、土質工学分野で確立されている擁壁設計手法が適用できると判断されている。これより、壁面に作用する堆積圧は次のように算定できる[2)]。（**図4-3-1**）

$P_A = 1/2 \times K_A \times \gamma \times H_m^2$　（P_Aの作用点は底面より鉛直上方$H_m/3$の位置）

ここに、$K_A = \tan^2(45° - \phi/2)$

$H_m = H_o - Z_o$　（ただし、$H_m \geqq 0$）

$Z_o = 2C/\gamma \times \tan(45° + \phi/2)$

記号

P_A：堆積圧（単位幅当りの合力）(kN/m)

K_A：主働土圧係数

ϕ：内部摩擦角（°）

γ：単位体積重量（堆肥密度）(kN/m³)

H_m：堆肥堆積高さ（m）

H_O：壁の鉛直高さ（m）

Z_O：鉛直自立高さ（m）

C：粘着力（kN/m²）

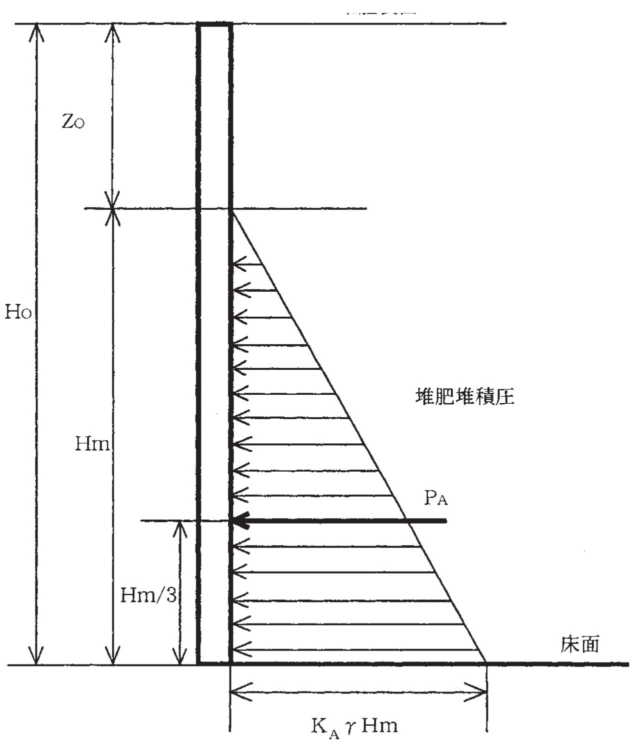


図4-3-1　壁面に作用する堆積圧

堆積圧の算定に必要な、堆肥の単位体積重量γ、粘着力C、内部摩擦角ϕの測定例を**表4-3-1**に示す。これら堆肥の物性値に関する報告は極めて少なく、実際の堆肥は、畜種や副資材の混合割合などが異なることによって、より広範囲な値を示すことが予想される。しかし表の値は水のメニスカスによる見かけ上のせん断抵抗力の発生がない飽和条件の３軸圧縮試験で得られた値である。実際の堆肥化施設では、堆肥が雨水などで飽和するとは考えにくく、表から圧力値が最も大となる物性値をもとに堆積圧を見積もっておけば、ほとんどの堆肥について十分に安全側である。

表4-3-1のうち、壁面に作用する圧力値が最も大となる物性値（単位体積重量：$\gamma=11.0\mathrm{kN/m^3}$、粘着力：$C=3.9\mathrm{kN/m^2}$、内部摩擦角：$\phi=15°$）を採用して高さ2.5mの壁面に作用する堆積圧を算出すると、

$$Z_O=2C/\gamma\times\tan(45°+\phi/2)=2\times3.9/11.0\times\tan(45°+15/2)=0.92(\mathrm{m})$$
$$K_A=\tan^2(45°-\phi/2)=\tan^2(45°-15/2)=0.589$$
$$H_m=H_O-Z_O=2.50-0.92=1.58\ (\mathrm{m})$$
$$P_A=1/2\times K_A\times\gamma\times H_m{}^2=1/2\times0.589\times11.0\times1.58^2=8.09\ (\mathrm{kN/m})$$

となる。この値は、砂（$P_A=19.4\ \mathrm{kN/m}$）などに比べて1/2以下の小さな値となっている。

表4-3-1　堆肥の物性値例[3)]

畜 種	副資材	水分(%)	単位体積重量(kN/m³)	3m単位体積重量*1(kN/m³)	粘着力C(kN/m²)	内部摩擦角φ(°)
乳 牛	モミガラ	78.0	6.5	8.4	15.7	15.8
		71.2	6.5	8.3	14.7	14.6
		69.2	4.2	5.3	4.9	19.8
乳 牛	オガクズ	77.9	6.1	8.6	7.9	22.0
		70.8	3.8	5.0	6.9	21.7
		47.0	3.3	4.4	6.9	24.3
乳 牛	戻し堆肥	76.6	8.7	11.0	3.9	21.4
		55.6	6.1	8.0	3.9	22.6
		39.3	2.7	3.3	5.9	20.1
肉 牛	オガクズ	72.0	6.2	8.8	4.9	24.0
		72.9	5.9	7.7	8.8	24.3
		72.3	5.3	6.6	6.9	23.2
(参考)良く締め固めた砂*2			18.6	18.6	0.0	30

注）＊1. 堆肥の自重による圧密を考慮した値
＊2. よく締め固めた否の値は，文献[4)]より引用
＊3. 単位体積重量の単位は，体積圧の計算を考慮したものとした

用語解説
①内部摩擦角φ：土粒子間の摩擦やかみ合わせの抵抗を角度で表したもの。
②粘着力C：土粒子を互いに結合している力。

2）作業機による押圧

ホイールローダなどで切返しを行う堆肥舎では、切返し作業によって発酵槽の壁面に作用する圧力（押圧）を考慮して、発酵槽壁の強度設計を行う。

ホイールローダなどの作業機を用いて切返しを行う堆肥舎では、切返し作業時に作用する圧力（押圧）を考慮する必要がある。発酵槽では、床面に降ろしたバケットを堆肥に押しつけるようにして堆肥の取出しが行われるため、作業機が壁面に近づくと、壁面下部に大きな圧力が作用する。このときの最大圧力は、作業機の最大けん引力をバケットの前面面積で除した程度の値となる。なお、押圧が最大となるときには、堆積圧はほとんど作用しないので、押圧と堆積圧を合わせて見込む必要はない。

押圧を簡便に求める計算方法として、作業機の進行方向の正面に配置される「擁壁」と、進行方向と平行に配置される「隔壁」とした場合のそれぞれについて、底部の圧力Ｐと圧力作用高さｈを次式のように計算した三角分布圧力として扱うことが提案されている[3)]。（図4-3-2）

擁壁：　$_{s}P_{1}$＝作業機の最大けん引力/バケットの前面面積

　　　　h_{1}＝バケット高さ×1.4

隔壁：　$_{s}P_{2}$＝作業機の最大けん引力/バケットの前面面積×0.5

　　　　h_{2}＝バケット高さ×2.0

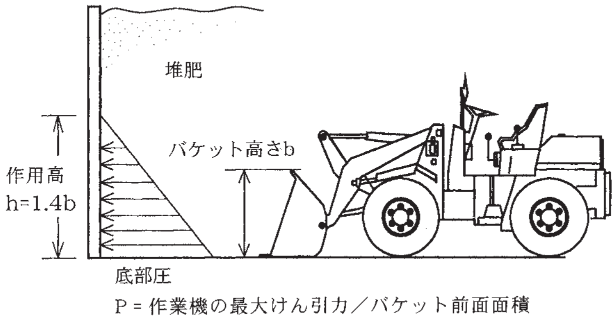


図4-3-2　擁壁面への押圧の算定

バケットの刃先が擁壁面に直接衝突する場合には、局所的に0.49～0.59kN/cm^2もの大きな圧力が作用することが報告されている[5)]。堆肥搬出の際に、バケットを下げて比較的低速度で壁面の下部に衝突する場合については、力の作用位置が低くアーム長が短いため、特別な配慮は必要ないと判断される。しかし運転者の不注意などで、バケットを持ち上げたまま高速度で壁に衝突するようなことも考えられる。このような場合に備えてどれだけの壁強度を確保するかは、壁背面の状況などを考慮しながら、設計者が個別に判断することになる。

3）鉄筋コンクリート壁の耐久性に影響する要因と対策

耐久性に影響する要因には、塩害・中性化などの化学的作用、凍害・すり減りなどの物理的作用がある。特に、塩害や中性化は内部鉄筋の腐食に直接関係する。

対策としては、適切な鉄筋のかぶり厚さを確保し、密実なコンクリートを打設した入念な施工をすることである。種々の要因によって鉄筋コンクリート壁面に生じたひび割れの幅が大きい場合は、補修することにより耐久性を保持する。

（1）耐久性に影響する要因

堆肥舎の壁は、通常堆積高さ２m程度の鉄筋コンクリート造の壁構造である。このコンクリート壁は常時風雨にさらされるほか、堆肥にも直接に接している。このため、中性化、塩害などの化学的作用を受けたり、凍害や堆肥切返し作業時の重機との接触などの物理的作用を受けることによる劣化が徐々に進展すると考えられる。

堆肥舎のコンクリート壁で考えられる主な化学的劣化要因としては

①空気中の炭酸ガスによるコンクリートの中性化

②堆肥に含まれる塩素イオン（Cl^-）のコンクリート中への浸透

③堆肥に含まれる塩素イオン以外の化学物質による化学的侵食

が考えられる。

鉄筋コンクリート造は、コンクリートがアルカリ性を保っていることで内部の鉄筋が腐食せず、強度・耐久性が確保されている。上記の要因①はコンクリート内部への空気、水の浸透を

誘発し、要因②は鉄筋表面の皮膜の破壊を発生させ、いずれも内部の鉄筋に腐食を生じさせる。

鉄筋の腐食で生じる錆の体積はもとの鉄筋よりも大きいため、膨張圧によりコンクリート壁にひび割れが生じる。この場合、コンクリート内部に対する空気、水の供給が増大し、鉄筋の腐食の進行が加速される。さらに進展すると、鉄筋断面の減少による耐力低下やコンクリートの剥落などが生じる。

（２）築15～20年の堆肥舎鉄筋コンクリート隔壁に関する実態調査結果[6)]

建築後15～20年程度の堆肥舎の鉄筋コンクリート壁（堆肥舎13ケ所、その他１ケ所）を調査した結果では、鉄筋露出、剥離などの大きな変状は見られなかった。また、コンクリート中性化の進展度合いは、堆肥の接している内側よりも外側部が大きかった。しかし、その中性化の深さは最大で20㎜程度であり、内部の鉄筋（かぶり厚さ40㎜）に影響するまでには至っていなかった。

一方、ひび割れは各施設において見られ、その位置は**図4-3-3**に示すように、コンクリート壁の中央部または壁を三等分した部分の下方から上方に発生する事例が多く見られた。これはコンクリートの乾燥収縮、内外温湿度差によるものと考えられ、構造上重大な問題となるものではない。ひび割れ幅が小さく（0.2㎜程度以下）、深さも小さい（鉄筋に達していない）場合には問題は少ないが、その幅が大きくて壁を貫通したものも一部に見られ、将来的に鉄筋の腐食などが危惧される例もあった。

なお、アンモニウムイオン、硫酸イオンなどについては内部への浸透がほとんどなく、問題のない状態であった。ふん尿に含まれる塩分（塩化物イオン）のコンクリート壁への浸透の程度と中性化などとの関連は、今のところ明らかになっていない。今回の調査では、塩化物イオンは大半が鉄筋コンクリート壁表面から内部中心に向かって減少する傾向にあり、鉄筋位置においては腐食の原因となる濃度には至っていなかった。

調査した堆肥舎の鉄筋コンクリート壁は、中性化や塩化物イオンの浸透の程度は少なく、コンクリートの圧縮強度も非常に大きな値となっており、おおむね良好な施工・使用状態であったと考えられる。このため、鉄筋コンクリート壁の設計において通常のかぶり厚さを確保し、入念な施工が行われていれば十分な耐久性を有すると考えられる。

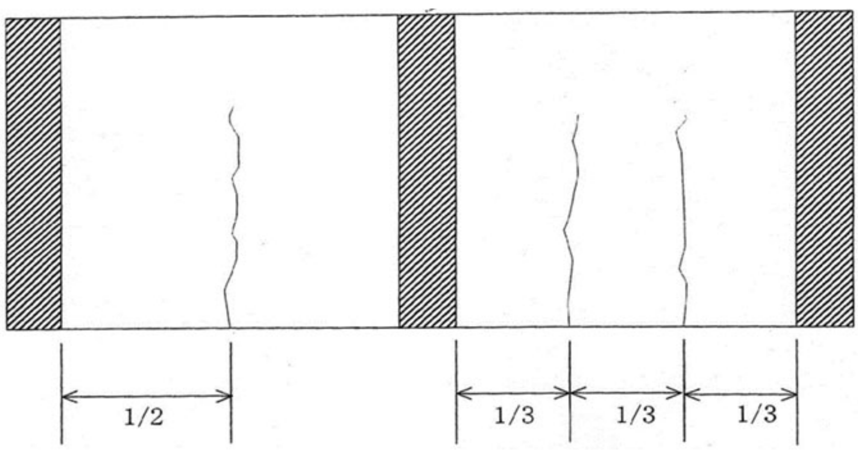


図4-3-3　コンクリート壁に発生していたひび割れの位置

（３）鉄筋コンクリート壁の耐久性確保のための対策

（３)－１　設計・施工上の留意事項

堆肥舎の鉄筋コンクリート壁の耐久性を高めるためには、物理的作用に強く、塩化物イオンなどの有害物質が侵入しにくいようにコンクリートを密実にする必要がある。このためには、コンクリートの使用材料、配合、設計、施工の各段階での注意が必要で、特に、以下のような点に留意しながら施工を入念に行う。

①コストの許す範囲内で、できるだけ水セメント比の小さなコンクリートを用いる（コンクリートの密実性を増加)。

②必要以上に軟らかさや流動性を考えたスランプの大きなコンクリートを使用しない（単位水量を小さくする)。

③鉄筋のかぶり厚さは、建築工事標準仕様書・同解説（日本建築学会）に定められている値（40㎜以上）を下回らないようにする。

④コンクリート打設後の養生を入念に行い、なるべく長い間コンクリート表面を湿潤状態に保つ（５～７日間程度は必要)。特に、暑中（日平均気温25℃以上）は表面が乾燥しやすいため、保水マットなどによる湿潤養生を行う。また、寒中（日平均気温４℃以下）はコンクリートが硬化する前に凍結するのを防ぐために、保温養生などを行う。

⑤コンクリートは連続して打ち込むことが望ましい。やむを得ず中断する場合は、打設再開時に打設済みコンクリート表面のレイタンス（コンクリート内の微細粒子が浮上して形成された軟弱層）除去などの打ち継ぎ目処理を確実に行う。

（３)－２　維持管理上の留意事項

耐久性に影響を与えるひび割れは、化学的作用のほかに乾燥収縮、温度、構造的破壊といった多種多様な原因により発生する。このため、一般的にコンクリート壁構造物にひび割れを全く生じさせない施工は極めて困難である。そのため、構造上重大な問題とならない程度の劣化は許容し、日常の維持管理のなかで点検、補修などを行うことによって耐久性を確保することが重要である。

例えば、ひび割れが進行し、壁を貫通して外側まで達している状態になったものは、空気や堆肥の水分などがコンクリート壁に浸透して鉄筋を腐食させ、壁の安全性を低下させる恐れがある。また、ひび割れ幅が１㎜を超えるような場合は、ひび割れが内部鉄筋の位置まで達している可能性が大きく、鉄筋腐食の進行が速いと考えられる。このような時は、強度や耐久性を維持するための早急な補修が必要である。

耐久性を確保するためには、ひび割れが進行して幅0.5㎜程度以上に大きくなる前に、市販のセメント系材料や樹脂系材料などをひび割れ部に圧入して、こまめに補修を行うことが有効である。

用語解説

①中性化：コンクリートが空気中の炭酸ガスの作用によりアルカリ性を失うこと。空気・水を通しやすくなるため、内部鉄筋の腐食の原因となる。

②塩害：コンクリート中の塩化物イオンによって鉄筋が腐食し、コンクリートがひび割れ、剥離などの損傷を受けること。

③かぶり厚さ：コンクリートの表面から内部の鉄筋表面までの最短距離（㎜)。

④水セメント比：打設しようとするコンクリートの水（w）とセメント（c）の質量比（w/c、%）。比率が大きいと練り混ぜが容易で型枠に打ち込みやすくなるがコンクリート強度は落ちる。比率が小さいほど高濃度のセメントとなり、コンクリートの強度が高くなる。

⑤スランプ：まだ固まらないコンクリートの柔らかさの程度を示す指標（柔らかいと大きな値となる。cmで表示し、標準値は10～15cm）。

⑥養生：コンクリート打設後からの一定期間、適当な温度・湿度を保つとともに有害な作用から保護すること。

4．堆肥舎（建屋）の構造

1）擁壁・隔壁の構造

- 擁壁や隔壁の設計は、堆肥の性状や切返し機械による荷重を考慮して行う。
- 擁壁の構造は下部を鉄筋コンクリート造、上部を補強コンクリートブロック造、隔壁の構造は補強コンクリートブロック造とし、その周辺部は鉄筋コンクリート造などの補強構造とする。
- 擁壁や隔壁の鉄筋かぶり厚さは40mm以上とする。

堆肥舎に設けられる壁には、擁壁（作業機の進行方向の正面に配置される壁）や隔壁（作業機の進行方向と平行に配置される壁）がある。それらの構造は、鉄筋コンクリート造あるいは補強コンクリートブロック造が主であり、堆肥舎の壁全体を同一の構造としている施設もあれば、擁壁と隔壁とで異なった構造を採用している施設もある。また、壁の下部（壁高の約1/2以下）を鉄筋コンクリート造、上部を補強コンクリートブロック造などのように２種の構造を組み合わせた施設もあり、擁壁と隔壁の構造のみならず、それぞれの壁厚や配筋方法も堆肥舎によって異なっている。

これは、今までは壁に作用する堆肥積み上げにともなう押圧力（水平力）に対する構造計算の方法が、建築などと同一の擁壁計算式の使用で問題はないが、その計算式に使用する堆肥の単位体積重量（γ）、粘着力（C）、内部摩擦角（ϕ）の物性値が不明確なために、堆肥の物性値を土砂と同様と想定するなど、安全性へ配慮していたことが主な原因と考えられる。

各地の堆肥舎事例調査結果では、例えば鉄筋コンクリート造の擁壁の場合で最も強度が高い壁の配筋状況は、壁厚t＝25cm、鉄筋D13＋D16－15cm間隔のダブル配筋（直径13mmと16mmの鉄筋が交互に15cm間隔に壁の外側と内側へ二重に配筋）であった。反対に強度が低い壁の配筋状況は、壁厚t＝12cm、鉄筋D10－20cm間隔のシングル配筋（直径10mmの鉄筋を20cm間隔に一重で配筋）であった。この両者の壁構造の配筋状況による強度の差を壁下部の曲げモーメントに相当する数値で比較すると、低い強度に対して高い強度は12倍にもなっている。補強コンクリートブロック造の壁も含めると、堆肥舎の壁強度の差はさらに広がることが予想される。

前節で記した堆肥の諸性状と構造計算式を基に、堆肥舎に使用する機械などの実状も考慮した構造計算を行うことで、必要強度を確保した低コストな擁壁・隔壁の構造となる。

なお、擁壁（作業機の進行方向の正面に配置される壁）は、堆肥の切返し作業にともなう押圧力が作用するとともに、切返し作業時の機械の衝突などを考慮すると、少なくとも擁壁の下部は鉄筋コンクリート造、上部は補強コンクリートブロック造以上の構造とすることが望ましい。

また、隔壁（作業機の進行方向と平行な側面に配置される壁）は、堆肥の積み上げによる押圧

力（堆積圧）が主として作用するが、堆肥の自立高さは相当の数値となる。このため、作用する力が小さいと判断され、隔壁の構造は補強コンクリートブロック造でも良いと思われる。しかし、堆肥の切返し作業時には、バケットの上げ下げや機械の旋回、前後進などにより隔壁への衝突がかなりの頻度で生じてしまうことも予想される。このため、多少の衝突を受けた程度では壁の損傷は少なく、また、破損や剥離などを生じさせないためにも、隔壁に必要とされる構造強度に関係なく壁の通路側端部より40cm程度（ブロック幅一枚程度）は鉄筋コンクリート造の壁とし、隔壁端部の強度を確保した方が良い。

配筋方法については、鉄筋に対するコンクリートのかぶり厚さは鉄筋の防錆や強度確保などを考慮して建築学会の仕様書などで定められている。例えば、建築学会の仕様書では、一般的な部分のかぶり厚さの最小値は30mmであるが、土に接する部分では場所によって40～60mmと異なっており、特に摩耗や化学作用を受ける箇所のかぶり厚さは別途に考慮することになっている。

建築後ほぼ15～20年を経過した堆肥舎の鉄筋コンクリート壁について、コンクリートの中性化深さや鉄筋の錆発生の状況、塩化物などの腐食性物質の浸透の影響を調査した結果は、塩化物イオンが浸透して鉄筋の腐食限界値を超す深さは40～50mm程度であった。この計測値は、外気と接触する外壁面以下の数値であり堆肥はコンクリートに特別に害を及ぼすことは少ないことが確認されている。このため、擁壁・隔壁の配筋は一般建築物と同程度のかぶり厚さ40mmが確保されていれば問題はない。

これより、堆肥舎の実情を考慮した壁構造は、強度を満足しているのであれば、壁厚は15cm程度とし、シングル配筋としてかぶり厚さ確保に無理のないものが良いといえる。壁厚を18～20cm程度としてダブル配筋とした壁の場合は、施工時の不備が生じやすく、壁の強度を支配する外側縦配筋のかぶり厚さが少なくなり、コンクリートの収縮によるひび割れが発生しやすい状況となり易い。堆肥舎調査でも、厚い壁構造となっているが縦配筋の間隔毎にひび割れが生じて、廃液が割れ目から滲み出ている堆肥舎も見られた。壁の強度を確保するためにダブル配筋とした場合は、特にかぶり厚さの確保に注意する必要がある。

２）上屋（建屋）の構造

・堆肥舎の屋根形状は、舎内換気が良好な形式を選ぶ。
・柱梁の使用材料にかかわらず、母屋・胴縁には木材を使用する。
・間口の広い場合は、柱間隔15ｍ程度となる位置へ中柱を設置すると低コスト化となる。

堆肥舎には、雨よけのために上屋（建屋）を設置する必要がある。上屋（建屋）の柱や梁の構造は、堆肥の発酵による化学物質による腐食が心配されるが、木造に限らずとも、しっかりとした防錆処理が施された鉄骨造であれば問題は少ない。柱や梁材の強度などからみて、奥行き寸法または間口寸法が５ｍ以下の場合は木構造が、それ以上の場合には軽量Ｈ形鋼構造（使用板厚が3.2～6.0mm程度の薄い鋼材）が、さらに10ｍ以上で中柱を設けない場合には重量Ｈ形鋼構造（使用板厚が6.0mm以上の比較的厚い鋼材）が多く用いられている。

なお、母屋や胴縁などに薄鋼板（1.2～1.6mm程度）の軽量Ｃ形鉄骨部材を使用すると、数年で元の部材形状が解らなくなるほど錆による断面欠損が大きく生じる危険性がある。このため、柱や梁の使用材料にかかわらず、母屋や胴縁などには木材を使用した方が優位である。

堆肥舎の屋根形状は、小規模な堆肥舎の場合は片流れ屋根、大規模な場合は切妻屋根が一般的

である。どちらの屋根形状の場合でも、内部換気が十分となるような配慮が必要である。切妻屋根の場合は、中央棟部にベンチレータを設けている施設も見られるが、棟部に小屋根が付いたモニター形式や棟部の高さが左右でズレた形状となっているセミモニター形式屋根も有効である。なお、セミモニター屋根とする場合は、建設地の強風が吹く方向を良く確認し、屋根の開口方向が風下方向へ向くようにして、強風によって内部空気が吸い上げられるようにすると効果的である。堆肥投入口が高くなっている片流れ屋根形式の場合では、屋根と垂れ壁との間にスリットを設けると換気状態が良い。堆肥舎内部の換気が良好であれば、鉄骨部材の錆発生状況も極めて少ないことが確認されている。

上屋の間口寸法は、左右に処理槽を設けた中央通路とした場合、20～25m程度にもなってしまう。これらの堆肥舎の上屋をできる限り低コストとするためには、切妻屋根形状の山形ラーメンの様な主構造に①タイバー（梁の左右軒部付近をつないで間口寸法の拡がりを防ぐ部材）付き、②中柱設置、とすることが有効である。この２通りの方法のうち、①の方法は間口の途中に柱が無いために上屋構造と擁壁・隔壁構造を完全に別な構造のものとして処理することが可能であり、例えば隔壁が補強コンクリートブロック造のみの構造であっても問題はない。②の方法は多雪地域などにおいて特に有利な構造で、外側柱と内側柱（中柱）の間隔を15m程度以下とすることで建設費が約10%程度も低減される。しかし、この構造の場合は、中柱の設置位置と隔壁位置を揃えるなどの調整が必要となる。また、隔壁を補強コンクリートブロック造とした場合では、中柱の脚部部分は鉄筋コンクリート造とし、さらに隔壁の上部や端部を鉄筋コンクリート造で枠囲みした構造として、中柱の負担する軸力やそれにともなう水平力を処理する必要がある。

堆肥舎は、収容する堆肥の量や堆肥化の方法により、広がった一つの槽とする場合、片側にいくつかの槽を並べる場合、中央通路の両側に多数の槽を並べる場合などの様に槽の大きさや個数の検討とともに、中央通路幅や建物全体寸法などが作業機械の大きさなども考慮して決められる。一槽当りの各部寸法については、高さは発酵の効果に対する配慮より２m程度が多く、これを基に奥行きや幅が検討されている。軒高は、堆肥を堆肥舎へ搬入する際の作業機の大きさ（高さ）に合わせた3.5m以上としている施設が多い。しかし、中央通路の幅はあまり検討されていない例も見られ、中央通路側の隔壁端部には、作業機を旋回させた際にぶつかった損傷キズが多く見られる。通路幅と使用する作業機の寸法や回転性能などの関係について、事前に調査・検討し、適切な各部寸法を採用する必要がある。特に、堆肥の軽い比重を考慮してバケットをサイズアップした作業機の場合は、バランスや回転性能などが通常の資料と異なると考えられるため、配慮が必要である。

３）屋根・壁の仕上げ材料

> 堆肥舎では、防火上支障のない範囲で、屋根や壁仕上げ材に堆肥の乾燥を促進させる透過性の良い材質の硬質塩化ビニル波板（畜産波板）、ふん尿乾燥用のポリカーボネート板、フッ素樹脂フィルムなどを使用する。
> 多雪区域の屋根仕上げ材には、雪の滑落し易い材質、止め方法を選択する。

堆肥舎の屋根仕上げ材には、堆肥の乾燥を促進するために太陽光線の透過の良い硬質塩化ビニル波板（畜産波板）、ガラス繊維強化アクリル板、ふん尿乾燥用ポリカーボネート板、ポリエステル板・ポリエステルフィルム、フッ素樹脂フィルム材質を使用する施設が多い。発酵や乾燥用の

園芸用パイプハウスなどを使用した堆肥舎では、プラスチックフィルムが多く使用されている。内部で切返し作業を行う堆肥舎の場合では、硬質樹脂板の使用が多い。

堆肥舎は、堆肥の発熱により雪の滑落が生じ易いため、特に多雪区域では、雪の滑落を阻害することのないように、仕上げ材の止め金具へも配慮する。また、滑落した雪が堆肥舎の側部へ溜まると、屋根雪の滑落が阻害されるとともに施設を側面から押す側圧が大きな値となるため、堆肥舎側面の除雪へも配慮する必要がある。

また、堆肥舎は「不燃性の物品を保管する倉庫等」にも該当するとされており、都市計画区域内においても、防火上支障のない範囲で各種の樹脂板やフィルムを使用することができる。しかし、堆肥を一時的に少量保管する場合は高温になって燃え出すことはまずあり得ないが、大量を保管する場合や保管期間などの条件によっては放熱が進まず、内部で温度が徐々に上昇して酸化反応を引き起こし、その結果、火災にいたる場合がある。このため、どれ程の水分状態の堆肥まで処理する施設であるかに注意する必要がある。

4）基礎・床・その他

- 基礎は、上部（建屋）の屋根や壁などの荷重とともに、堆肥が壁へ作用する曲げも考慮して設計する。
- 土間スラブは、一般地域では10cm程度の厚さで最小限の配筋とする。

堆肥舎の基礎構造は、木造の場合は布基礎、鉄骨造の場合は独立基礎とする事例が多い。また、擁壁・隔壁の基礎についても、多くの施設で壁下部に布基礎や地中梁が設置されている。しかし、壁下部へ作用する堆肥による曲げモーメント（壁を曲げようとする力）を完全に処理できている事例は少なく、低い強度仕様の場合では、壁用の基礎を設けずに、鉄筋コンクリート土間スラブが補強もなしに基礎の代用となっている事例も見られる。土間スラブを壁用基礎の代用とする場合では、壁からある範囲の土間スラブの厚さを増して鉄筋補強した構造とする配慮が必要である。

凍上の心配が無い一般的な地域での土間スラブは、10cm程度の厚さとして最小限の配筋をしておくことが望ましい。また、大きな床面積となる場合は、適切な区画で目地切りを設けてコンクリートの収縮によるひび割れへ対応させると共に、目地部分へも漏汁を考慮して地域の状況に応じた適切な施工を考慮する必要がある。

寒冷地では、凍上対策を怠ると床面にひび割れや段差が生じて、バケット前面が頻繁にぶつかることで作業効率が大きく低下してしまう。このため、凍上に対処するための土間下地への方策を充分に講じておく必要がある。

床面に堆肥化を促進させるための送風機などを設置する場合は、床ピット部の折れ曲がり部分に鉄筋を連続させた配筋方法を採用したり、当該部分へ斜め補強筋を配置して、当該部分にひび割れが生じにくいようにしておく必要がある。

5．堆肥舎（建屋）の設計事例

1）擁壁・隔壁の構造計算事例

堆肥舎の擁壁（作業機の進行方向の正面に配置される壁）や隔壁（作業機の進行方向と平行に配置される壁）について、堆肥舎の壁構造の設計方法による長期荷重と短期荷重および断面算定の計算方法を以下に例示する。なお、擁壁および隔壁の壁長は施設によって大きく異なる。

このため計算方法は、壁底部を固定支持とした片持壁部材と見なし、壁の単位長さ当りについての三角分布形状の荷重・応力および配筋量を計算した。間口が狭い堆肥舎の擁壁の場合は、設計方法による荷重状態はそのままとして、壁の支持状態を上辺自由支持、両側辺と下部の三辺を固定支持とした条件での計算も可能である。

なお、ここで示した設計方法は堆肥に関する荷重のみを考慮しており、堆肥舎の建屋を壁が支持した場合、中柱を設置した場合の支持壁および作業機による衝突荷重などは考慮していない。これらの荷重については、さらに別途の検討が必要である。

長期荷重の計算式（堆肥堆積時の荷重）

壁底部の圧力　${}_{L}P_{O}=K\times\gamma\times h$

ここに、壁底部の圧力　：${}_{L}P_{O}$（kN/㎡）

土圧係数　：$K=0.50$

堆肥単位体積重量：$\gamma=7.0$（kN/㎥）

圧力作用高さ　：$h=$壁高×0.5

（m、三角分布荷重の頂点の高さ）

短期荷重の計算式（堆肥切返し時の荷重）

擁壁底部圧力　${}_{S}P_{1}=$作業機の最大けん引力/バケット前面面積×1.2

（kN/㎡、1.2は安全率）

圧力作用高さ　$h_{1}=$バケット高さ×1.4

（m、三角分布荷重の頂点の高さ）

なお、隔壁に作用する荷重（${}_{S}P_{2}$）は擁壁の荷重値の1/2とする。

設計事例は、堆肥の堆積高さおよび擁壁と隔壁の構造を変化させた場合の４事例について行っている。この他、擁壁は鉄筋コンクリート壁、隔壁は補強コンクリートブロック壁などと本事例と異なった構造を組み合わせた場合は、壁高さが同一条件の２種の事例をもとに、それぞれの壁設計方法を採用すれば良い。なお、基本的な配筋は、鉄筋コンクリート造の場合はひび割れを考慮して250㎜間隔、補強コンクリートブロック造の場合はブロックサイズ（横幅400㎜、高さ200㎜）を考慮して縦筋400㎜間隔、横筋600㎜間隔とした。

（1）設計例Ⅰ（堆積高さ2.0mで擁壁・隔壁とも鉄筋コンクリート造の場合）

設計条件：堆積高さ　$H_{m}=2.0$m

擁壁構造　鉄筋コンクリート造、壁厚$D=15$㎝

隔壁構造　鉄筋コンクリート造、壁厚$D=15$㎝

使用機械　ホイールローダＷＡ40形

エンジン出力　37PS、最大けん引力　$P=35.3$kN(3,600kgf)

バケット面積　$A=$幅170㎝×高さ70㎝

①長期荷重の応力計算（擁壁、隔壁とも同一条件となる。）

作用壁高　$h=H_{m}\times0.5=2.0\times0.5=1.0$m

この場合の壁底部に作用する荷重は

第４章　堆肥化施設（建屋）の構造

$_{L}P_{O}=K\times\gamma\times h=0.5\times7.0\times1.0=3.50$ kN/㎡
単位壁長さ当りの長期荷重は
$_{L}P=3.50$kN/m
壁底部の単位壁長さ当りの長期曲げモーメントは
$_{L}M=({}_{L}P\times h)/2\times h/3=(3.50\times1.0)/2\times1.0/3=0.583$kN/m
②短期荷重の応力計算（擁壁と隔壁で荷重が異なる）
イ）擁壁の荷重と応力
作業機の単位面積当りの圧力をもとにした擁壁底部の圧力は
$_{S}P_{O}=P/A\times1.2=35.3/(1.70\times0.70)\times1.2=35.6$kN/㎡
擁壁の単位壁長さ当りの短期荷重は
$_{S}P_{1}=35.6$kN/m
また、荷重の作用高さは
$h_{1}=$バケット高$\times1.4=0.70\times1.4=0.98$ m
擁壁底部の単位壁長さ当りの短期曲げモーメントは
$_{S}M_{1}=({}_{S}P_{1}\times h)/2\times h/3=(35.6\times0.98)/2\times0.98/3=5.70$kN/m
ロ）隔壁の荷重と応力
隔壁に作用する荷重と応力は擁壁の1/2である。
隔壁の単位壁長さ当りの短期荷重は
$_{S}P_{2}={}_{S}P_{1}\times0.5=35.6\times0.5=17.8$kN/m
隔壁底部の単位壁長さ当りの短期曲げモーメントは
$_{S}M_{2}={}_{S}M_{1}\times0.5=5.70\times0.5=2.85$kN/m
③壁の断面算定
イ）擁壁の断面計算
短期応力と長期応力×1.5の大小を比較し、設計応力を決める。
$_{S}M_{1}=5.70$kN･m ＞ $_{L}M\times1.5=0.583\times1.5=0.875$kN/m
これより、短期応力$sM_{1}=5.70$ kN･m＝570 kN/㎝にて計算する。
壁厚$D=15$㎝への配筋はかぶり厚さを考慮して壁中央のシングル配筋とする。
$d=8.0$㎝、$j=7/8\times d=7/8\times8.0=7.0$㎝
使用鉄筋をSD295としたときの単位壁長さ当りの必要配筋量は、
$a_{t}={}_{S}M_{1}/({}_{S}f_{t}\times j)=570/(29.5\times7.0)=2.76$㎠

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－257㎜間隔	D10－250㎜間隔、シングル
横配筋	－	D10－250㎜間隔、シングル

壁の最小配筋は、コンクリートのひび割れ防止も考慮してD10－250㎜間隔とした。

ロ）隔壁の断面計算
短期応力と長期応力×1.5の大小を比較し、設計応力を決める。
$_{S}M_{2}=2.85$kN/m ＞ $_{L}M=0.583\times1.5=0.875$kN/m

これより、短期応力${}_{S}M_2$＝2.85kN/m＝285kN/cmにて計算する。

壁厚D＝15cm、d＝8.0cm、j＝7.0cm

使用鉄筋をSD295としたときの単位壁長さ当りの必要配筋量は、

$$a_t = {}_{S}M_2 / ({}_{S}f_t \times j) = 285/(29.5 \times 7.0) = 1.38\text{cm}^2$$

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－513mm間隔	D10－250mm間隔、シングル
横配筋	－	D10－250mm間隔、シングル

擁壁と隔壁の配筋詳細を**図4-5-1**に示す。

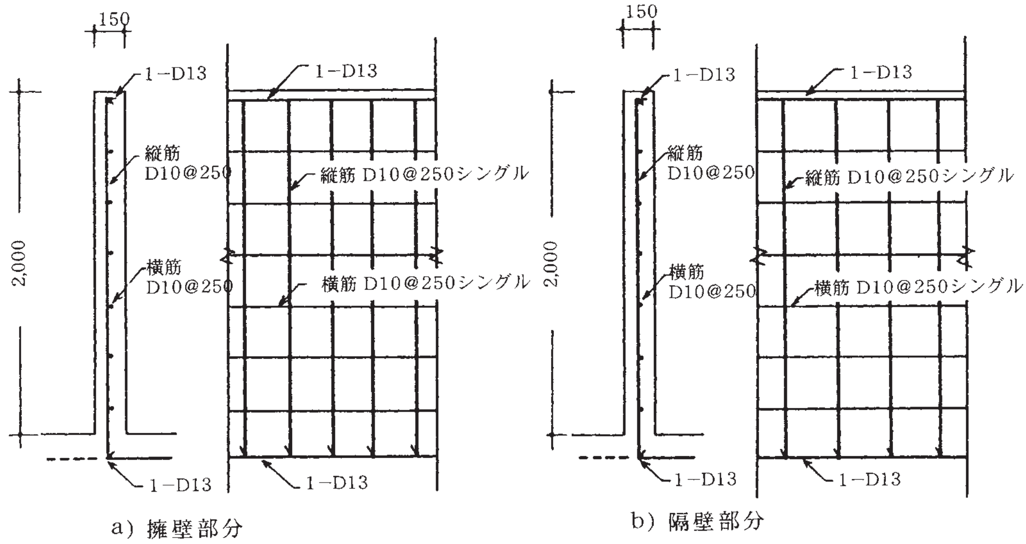


図4-5-1　設計例Ⅰの配筋詳細

（2）設計例Ⅱ（堆積高さ2.0mで擁壁・隔壁とも補強コンクリートブロック造の場合）

設計条件：堆積高さ　H_m＝2.0m

擁壁構造　補強コンクリートブロック造、壁厚D＝15cm

隔壁構造　補強コンクリートブロック造、壁厚D＝15cm

使用機械　設計例Ⅰと同機種とする。

①長期荷重の応力計算　（擁壁、隔壁とも同一条件）

壁高さが同一のため、設計例Ⅰと同値となる。

（計算省略）

壁底部の単位壁長さ当りの長期曲げモーメントは

${}_{L}M$＝0.583kN/m

②短期荷重の応力計算

作業機が同一のため、設計例Ⅰと同値となる。

（計算省略）

擁壁底部の単位壁長さ当りの短期曲げモーメントは

$_sM_1$＝5.70kN/m

隔壁底部の単位壁長さ当りの短期曲げモーメントは

$_sM_2$＝2.85kN/m

③壁の断面算定

イ）擁壁の断面計算

設計例Ⅰと同様に、短期応力$_sM_1$＝5.70kN/m＝570kN/cmにて計算する。

補強コンクリートブロック造の場合は壁厚中央のみの配筋となる。また、縦筋および横筋の間隔はブロックサイズ（200㎜または400㎜）に合わせたものとする。

壁厚D＝15cm、d＝8.0cm、j＝5/7×d＝5/7×8.0＝5.71cm

使用鉄筋をSD295としたときの単位壁長さ当りの必要配筋量は、

$a_t = {}_sM_1/({}_sf_t \times j) = 570/(29.5\times5.71) = 3.38$㎠

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－210㎜間隔	（下部：h＝1.0m以下） D10－200㎜間隔、シングル （上部：h＝1.0mを超える範囲） D10－400㎜間隔、シングル
横配筋	－	D10－600㎜間隔、シングル

荷重が三角分布のため、縦筋の必要配筋間隔は下部（h＝1.0m以下、荷重の作用高は0.98m。）までとし、上部は2倍の間隔とした。また、横筋は一般的なブロック配筋の数値を採用した。

ロ）隔壁の断面計算

設計例Ⅰと同様に、短期応力$_sM_2$＝2.85kN/m＝285kN/cmにて計算する。

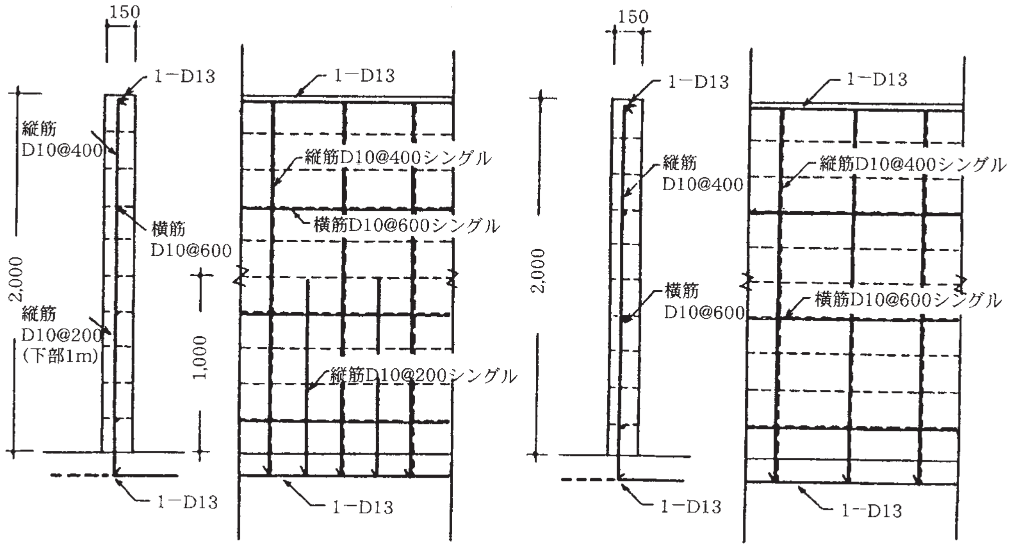
壁厚D＝15cm、d＝8.0cm、j＝5.71cm

使用鉄筋をSD295としたときの単位壁長さ当りの必要配筋量は、

$a_t = {}_sM_2/({}_sf_t \times j) = 285/(29.5\times5.71) = 1.69$㎠

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－420㎜間隔	D10－400㎜間隔、シングル
横配筋	－	D10－600㎜間隔、シングル

擁壁と隔壁の配筋詳細を**図4-5-2**に示す。



a）擁壁部分　　b）隔壁部分

図4-5-2　設計例Ⅱの配筋詳細

（３）設計例Ⅲ（堆積高さ3.0mで擁壁・隔壁とも鉄筋コンクリート造の場合）

設計条件：堆積高さ　H_m＝3.0m

擁壁構造　鉄筋コンクリート造、壁厚D＝20㎝

隔壁構造　鉄筋コンクリート造、壁厚D＝15㎝

使用機械　ＴＣＭ－820形

エンジン出力　56PS、最大けん引力　P＝43.6kN(4,450kgf)

バケット面積　A＝幅192㎝×高さ87.5㎝

①長期荷重の応力計算（擁壁、隔壁とも同一条件となる）

作用壁高　$h = H_m \times 0.5 = 3.0 \times 0.5 = 1.5\text{m}$

この場合の壁底部に作用する荷重は

$_L P_O = K \times \gamma \times h = 0.5 \times 7.0 \times 1.5 = 5.25\text{kN/m}^2$

単位壁長さ当りの長期荷重は

$_L P = 5.25\text{kN/m}$

壁底部の単位壁長さ当りの長期曲げモーメントは

$_L M = ({}_L P \times h)/2 \times h/3 = (5.25 \times 1.5)/2 \times 1.5/3 = 1.97\text{kN/m}$

②短期荷重の応力計算（擁壁と隔壁で荷重が異なる）

イ）擁壁の荷重と応力

作業機の単位面積当りの圧力をもとにした擁壁底部の圧力は

$_S P_O = P/A \times 1.2 = 43.6/(1.92 \times 0.875) \times 1.2 = 31.1\text{kN/m}^2$

擁壁の単位壁長さ当りの短期荷重は

$_S P_1 = 31.1\text{kN/m}$

また、荷重の作用高さは

h＝バケット高×1.4＝0.875×1.4＝1.22m

擁壁底部の単位壁長さ当りの短期曲げモーメントは

$_S M_1 = ({}_S P_1 \times h)/2 \times h/3 = (31.1 \times 1.22)/2 \times 1.22/3 = 7.71\text{kN/m}$

ロ）隔壁の荷重と応力

隔壁に作用する荷重と応力は擁壁の1/2である。

隔壁の単位壁長さ当りの短期荷重は

$_{S}P_{2} = {}_{S}P_{1} \times 0.5 = 31.1 \times 0.5 = 15.6\mathrm{kN/m}$

隔壁底部の単位壁長さ当りの短期曲げモーメントは

$_{S}M_{2} = {}_{S}M_{1} \times 0.5 = 7.71 \times 0.5 = 3.86\mathrm{kN/m}$

③壁の断面算定

イ）擁壁の断面計算

短期応力と長期応力×1.5の大小を比較し、設計応力を決める。

$_{S}M_{1} = 7.71\mathrm{kN/m} > {}_{L}M = 1.97 \times 1.5 = 2.96\mathrm{kN/m}$

これより、短期応力$_{S}M_{1}$＝7.71 kN/m＝771kN/cmにて計算する。

壁厚D＝20cm、d＝15.0cm、j＝7/8×d＝7/8×15.0＝13.12cm

（ダブル配筋のため、鉄筋のかぶり厚さを5cmとして計算する。）

使用鉄筋をSD295としたときの単位壁長さ当りの必要配筋量は、

$a_{t} = {}_{S}M_{1} / ({}_{S}f_{t} \times j) = 771/(29.5 \times 13.12) = 1.99\mathrm{cm^2}$

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－357mm間隔	D10－250mm間隔、ダブル
横配筋	－	D10－250mm間隔、ダブル

壁の最小配筋は、コンクリートのひび割れ防止も考慮してD10－250mm間隔とした。

ロ）隔壁の断面計算

短期応力と長期応力×1.5の大小を比較し、設計応力を決める。

$_{S}M_{2} = 3.86\mathrm{kN/m} > {}_{L}M \times 1.5 = 1.97 \times 1.5 = 2.96\mathrm{kN/m}$

これより、短期応力$_{S}M_{2}$＝3.86 kN/m＝386kN/cmにて計算する。

壁厚D＝15cm、d＝8.0cm、j＝7/8×d＝7/8×8.0＝7.0cm

使用鉄筋をSD295としたときの単位壁長さ当りの必要配筋量は、

$a_{t} = {}_{S}M_{2} / ({}_{S}f_{t} \times j) = 386/(29.5 \times 7.0) = 1.87\mathrm{cm^2}$

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－379mm間隔	D10－250mm間隔、シングル
横配筋	－	D10－250mm間隔、シングル

擁壁と隔壁の配筋詳細を**図4-5-3**に示す。

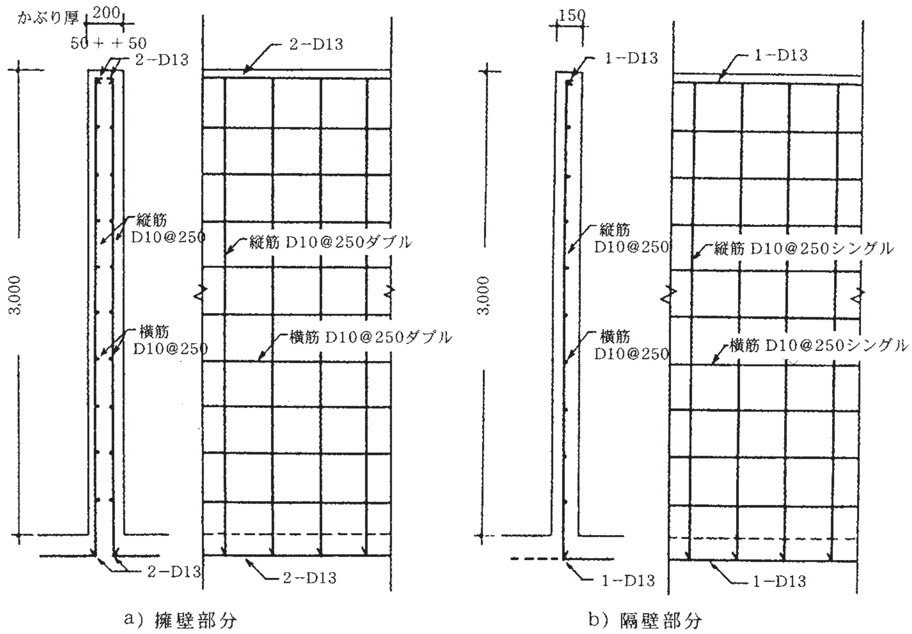


図4-5-3　設計例Ⅲの配筋詳細

（４）設計例Ⅳ（堆積高さ3.0mで擁壁・隔壁とも下部は鉄筋コンクリート造、上部は補強コンクリートブロック造の場合）

設計条件：堆積高さ　H_m＝3.0m

擁壁構造　下部（h＝1.0m以下）：鉄筋コンクリート造、壁厚D＝20㎝

上部（h＝1.0mを超える範囲）：補強コンクリートブロック造、壁厚D＝15㎝

隔壁構造　下部（h＝1.0m以下）：鉄筋コンクリート造、壁厚D＝15㎝

上部（h＝1.0mを超える範囲）：補強コンクリートブロック造、壁厚D＝15㎝

使用機械　設計例Ⅲと同機種とする。

①長期荷重の応力計算　（擁壁、隔壁とも同一条件）

壁高さが同一のため、設計例Ⅲと同値となる。

作用壁高　$h = H_m \times 0.5 = 3.0 \times 0.5 = 1.5$m

壁上部の作用高 $h' = h - 1.0 = 1.5 - 1.0 = 0.5$m

壁底部に作用する荷重は　${}_{L}P_O = 5.25$kN/㎡

底部から１mの壁境界部に作用する荷重は、高さの比例より

${}_{L}P_O' = 0.5/1.5 \times {}_{L}P_O = (0.5/1.5) \times 5.25 = 1.75$kN/㎡

単位壁長さ当りの長期荷重は、

底部　${}_{L}P = 5.25$kN/m、壁の境界部　${}_{L}P' = 1.75$kN/m

壁底部の単位壁長さ当りの長期曲げモーメントは

${}_{L}M = ({}_{L}P \times h)/2 \times h/3 = (5.25 \times 1.5)/2 \times 1.5/3 = 1.97$kN/m

壁境界部の長期曲げモーメントは

${}_{L}M' = ({}_{L}P' \times h')/2 \times h'/3 = (1.75 \times 0.5)/2 \times 0.5/3 = 0.0729$kN/m

②短期荷重の応力計算

イ）擁壁の荷重と応力

作業機が同一のため、設計例Ⅲと同値となる。

擁壁底部の圧力は ${}_{S}P_{O}$＝31.1kN/㎡、

単位壁長さ当りの短期荷重は ${}_{S}P_{1}$＝31.1kN/m

荷重の作用高さは h＝1.22m

この場合の壁境界部に作用する短期荷重は、前記と同様に比例で求めると

${}_{S}P_{1}'$＝0.22/1.22×31.1＝5.61kN/m

擁壁底部の短期曲げモーメントは

${}_{S}M_{1}$＝(${}_{S}P_{1}$× h)/2× h/3＝(31.1×1.22)/2×1.22/3＝7.71kN/m

擁壁境界部の短期曲げモーメントは

${}_{S}M_{1}'$＝(${}_{S}P_{1}'$× h')/2× h'/3＝(5.61×0.22)/2×0.22/3＝0.0452kN/m

ロ）隔壁の荷重と応力

隔壁に作用する荷重と応力は擁壁の1/2である。

隔壁の底部と壁境界部の単位壁長さ当りの短期荷重は

${}_{S}P_{2}$＝${}_{S}P_{1}$×0.5＝31.1×0.5＝15.6kN/m

${}_{S}P_{2}'$＝${}_{S}P_{1}'$×0.5＝5.61×0.5＝2.81kN/m

隔壁の底部と壁境界部の単位壁長さ当りの短期曲げモーメントは

${}_{S}M_{2}$＝${}_{S}M_{1}$×0.5＝7.71×0.5＝3.86kN/m

${}_{S}M_{2}'$＝${}_{S}M_{1}'$×0.5＝0.0452×0.5＝0.0226kN/m

③壁の断面算定

イ）擁壁の断面計算

〔底部〕設計例Ⅲと同様となるため、計算は省略する

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－357㎜間隔	D10－200㎜間隔、ダブル
横配筋	－	D10－250㎜間隔、ダブル

縦配筋は補強コンクリートブロック造との関係を考慮した。

〔境界部〕

短期応力と長期応力×1.5の大小を比較し、設計応力を決める。

${}_{S}M_{1}'$＝0.0452kN/m ＜ ${}_{L}M'$×1.5＝0.0729×1.5＝0.109kN/m

これより、長期応力${}_{L}M'$＝0.0729kN/m＝7.29 kN/㎝にて計算する。

壁厚D＝15㎝、 d＝8.0㎝、 j＝5/7× d＝5/7×8.0＝5.71㎝

使用鉄筋をSD295としたときの単位壁長さ当りの必要配筋量は、

a_{t}＝${}_{L}M$/(${}_{L}f_{t}$× j)＝7.29/(19.5×5.71)＝0.065㎠

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－1,000㎜間隔	D10－400㎜間隔、シングル
横配筋	－	D10－600㎜間隔、 シングル

ロ）隔壁の断面計算

〔底部〕設計例Ⅲと同様となるため、計算は省略する。

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	D10－379㎜間隔	D10－200㎜間隔、シングル
横配筋	－	D10－250㎜間隔、 シングル

〔境界部〕

応力の大きい擁壁計算においても配筋量に余裕があるため、計算は省略する。

位　置	必　要　配　筋	設　計　配　筋
縦配筋	－	D10－800㎜間隔、シングル
横配筋	－	D10－600㎜間隔、シングル

擁壁と隔壁の配筋詳細を**図4-5-4**に示す。

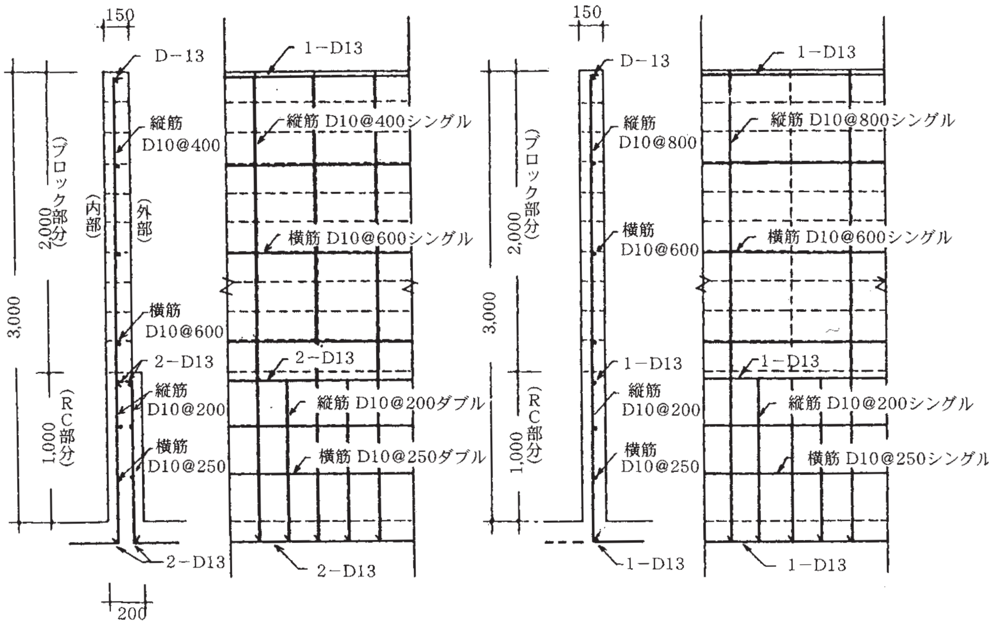


図4-5-4　設計例Ⅳの配筋詳細

2）一般区域に建つ鉄骨造堆肥舎の設計事例

（緩和された荷重低減値の採用方法例）

§１．一般事項

１－１　建物概要

１）建設場所：鹿児島県鹿屋市(市街化区域以外の区域を想定)

（垂直積雪量40㎝、基準風速 38m/sec）

２）用　　途：堆肥舎

３）規　　模：床面積　240.0㎡

（間口12.0m×2スパン、桁行 3.35×2＋3.30m）

第4章　堆肥化施設(建屋)の構造

階　　数　平屋建
軒　　高　4.10m
最 高 高　7.10m
平 均 高　5.60m　（H＝4.10+(7.10－4.10)/2）m
柱 間 隔　3.35m

4）構造概要：構造種別　鉄骨造
骨組形式　間口（X）方向　タイバー付山形フレーム
桁行（Y）方向　ブレース構造
基礎種別　直接布基礎

5）仕上概要：屋　　根　畜産波板
外　　壁　畜産用フィルム
床　　土間コンクリート

6）略　　図：別　紙

1－2　設計方針

1）準拠基準、その他

・畜舎等の建築等及び利用の特例に関する法律、同施行規則
・建築基準法、同施行令、畜舎関連告示
・鋼構造許容応力度設計規準、　・木構造計算規準・同解説
・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

2）構造計画

・畜舎等の建築等及び利用の特例に関する法律、同施行規則における堆肥舎に該当するものとし、A構造畜舎等として計算する。
・国土交通省告示第474号「特定畜舎等建築物の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める等の件の告示」で定められた荷重を採用。
・風荷重はフレーム幅について負担するものとし、地震力は水平力を全体フレームで均等負担とする。
・鉄骨柱脚はピン支承とし、脚部は鉄筋コンクリート造の壁を介して布基礎で支持する。

1－3　使用材料及び許容応力度

1）使用材料　コンクリート　Fc＝18N
鋼　　材　SWH400、SS400
鉄　　筋　SD295A
木　　材　杉（母屋、胴縁）

2）許容応力度　（省　略）

§２．準備計算

２－１　仮定荷重及び外力

１）固定荷重　G

屋　根　（水平面に対する数値）

畜産波板	17.0 N/㎡	→ 148.0 ⇒　150 N/㎡
木 母 屋	46.0 N/㎡	
鉄骨部材	65.0 N/㎡	
その他	20.0 N/㎡	

フレーム当りの荷重　G_r＝150N/㎡×3.35m/1,000＝0.503kN/m

※以下の【内訳】の[　　]内に記した屋根と壁の荷重計算は、参考として記載したもので、通常は構造計算担当者による略算やこれまでの類似例などを参考に決められ、計算書には記載されない。固定荷重を余り大きく取り過ぎると主要部材が無駄となり、小さく見積もり過ぎると主要部材が危険となるため、一般的な地域での参考値としてほしい。

【内訳】　　重量　　勾配

畜産波板　15 N/㎡×1.12＝16.8 →　17.0 N/㎡

　　断　面　　長さ　　重さ　　本数

木母屋　9.0cm×9.0cm×335cm×0.00373N/cm３×36本＝3643.7 N

　　負担面積　　単位面積重量

　　24.0m×3.35m＝80.4㎡　3643.7/80.4＝45.3 → 46.0N/㎡

大梁　重量　長さ　本数　負担面積

　　(116.7N/m×6.71m×4本)/(24.0m×3.35m)＝39.0N/㎡

ﾀｲﾊﾞｰ　重量　長さ　本数　負担面積

　　(30.0N/m×4.0m×2本)/(24.0m×3.35m)＝3.0 N/㎡

桁梁　重量　長さ　本数　負担面積

　　(27.0N/m×3.35m×5本)/(24.0m×3.35m)＝5.6 N/㎡

ﾌﾞﾚｰｽ　重量　長さ　本数　負担面積

　　(8.83N/m×7.50m×16本)/(24.0m×3.35m)＝13.2 N/㎡

鉄骨材の計　39.0＋3.0＋5.6＋13.2＝60.8 → 65.0 N/㎡

壁　3.0＋34.8＋10.3＋10.0＝58.1　⇒　65N/㎡

フレーム当りの荷重　G_W＝65 N/㎡×3.35m/1,000＝0.218 kN/m

【内訳】

畜産用フィルム　14 N/㎡/mm×0.15mm＝2.1 → 3.0 N/㎡

	重量	長さ	本数	負担面積	
柱	(116.7N/m	×2.0m	×3本)	/(2.0m×3.35m×3)	＝34.8 N/㎡
ブレース	(8.83N/m	×3.9m	× 6本)	/(2.0m×3.35m×3)	＝10.3 N/㎡
その他	10 N/㎡				

2）　積雪荷重 S

「特定畜舎等に関する告示」における積雪量と低減の数値を採用する。

γ ：積雪の単位荷重＝20N/㎡/cm　（一般区域）

d ：垂直積雪量＝40cm　（市町村の区域に応じて定められた告示別表1の値）

R_S ：施設区分に応じた低減数値＝0.78　（表4-2-2の堆肥舎の値）

μb ：建設区域の冬季平均風速による値＝0.75

（鹿児島県鹿屋市の冬季平均風速を3.5m/ｓとし、表4-2-3の3.0と4.0m/ｓとの平均値を採用。）

屋根上の積雪荷重は、以下の数値となる。

$S = \gamma \times d \times R_S \times \mu b = 20 \times 40 \times 0.78 \times 0.75 = 468$ N/㎡

フレーム当りの荷重　S＝468N/㎡×3.35m/1,000＝1.568 kN/m

3）　風荷重　W

「特定畜舎等に関する告示」における低減の数値を採用する。

最高高さ7.1mのため、地表面粗度区分はⅢとする。（Z_bは３mを採用。）

地表面粗度区分	Z_b (m)	Z_G (m)	α	G_f		
				H≦10	10＜H＜40	40≦H
Ⅲ	3	450	0.20	2.5	直線補間	2.1

H＝5.60m（＞Z_b＝3.0m）、Z_G＝450m、α＝0.20、G_f＝2.5。

これより、

$E_r = 1.7 \times (H/Z_G)^{\alpha} = 1.7 \times (5.6/450)^{0.20} = 0.707$

$E = E_r^2 \times G_f = 0.707^2 \times 2.5 = 1.25$

速度圧は、告示別表2の基準風速 38m/secより

$q = 0.6 \times E \times (V_O \times R_W)^2 = 0.6 \times 1.25 \times (38 \times 0.85)^2 = 782$N/㎡

フレーム当りの荷重　W＝782N/㎡×3.35m/1,000＝2.62kN/m

風力係数

（省　略）

4）　地震力　K

層せん断力係数は0.2とする。

地震力に関する重量

屋　根　0.150kN/㎡×240㎡＝36.0kN

側面壁　　　　　　　妻　面　壁

壁　　　0.065kN/㎡×(2.0/2×10×3＋2.0/2×24.0＋3.0/2×6×4)㎡

＝5.85kN

地震力　　$Q = W \times Z \times R \times C_O$＝(36.0＋5.85)×1.0×1.0×0.2＝8.37kN

フレーム当りの荷重　K＝8.37 kN/4フレーム＝2.093 kN/フレーム

桁行方向（ブレース方向）の地震力

（水平力を全てブレースで負担するため1.5倍する。）

$Q' = Q$×1.5＝8.37×1.5＝12.56kN

１ブレース当りの地震力　K'＝12.56kN/6ブレース＝2.093kN/ブレース

§３．主フレームの設計

（以下、解析ソフトを使用した構造計算、断面設計、基礎設計などは省略。）

【引用文献・参考文献】

１）建築基準法令集（2021年版）

２）日本建築学会：建築基礎構造設計指針、第３版、(2019)

３）向弘之他：堆肥舎の壁強度に関する研究、農業施設26(1)、31〜38（1995）

４）建設基礎・地盤設計施工便覧編集委員会：建設基礎・地盤設計施工便覧、建設産業調査会、(1987)

５）塩谷勝：堆肥（厩肥）の力学的特性と堆肥舎壁面に及ぼす影響、農業土木学会東北支部会誌、238〜241（1994）

６）豊田裕道・道宗直昭：堆肥化施設等構造物実態調査結果の分析、堆肥舎の構造等に関する実態調査報告書、1〜45、(社)中央畜産会・(社)日本畜産施設機械協会（1998）

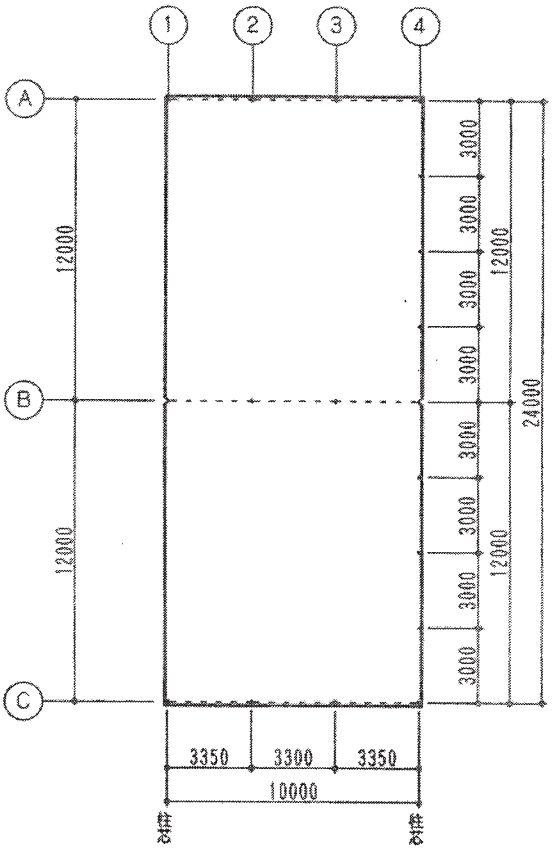
７）(株)日本コンクリート工学協会：コンクリートの耐久性、コンクリート技術の要点95、63〜76、技報堂（1995）

８）日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説（JASS5）鉄筋コンクリート工事、(2018)

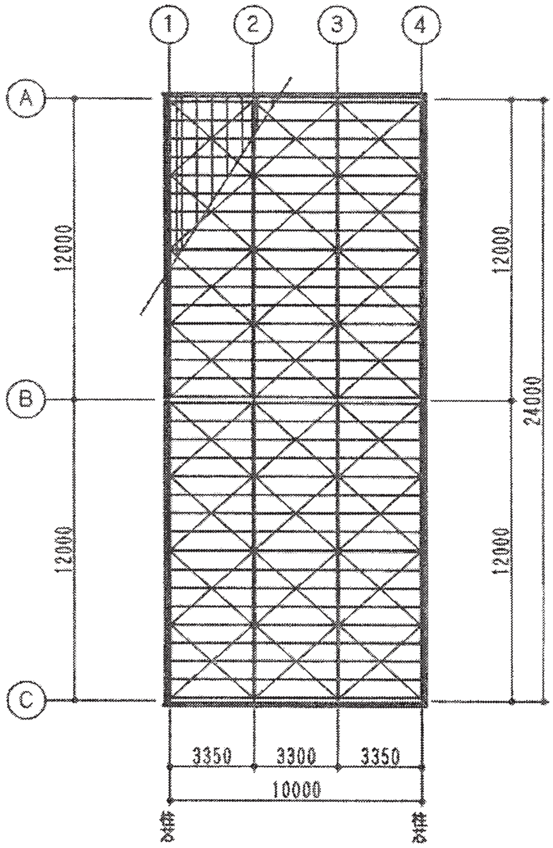
９）日本建築学会：鉄筋コンクリート造のひび割れ対策（設計・施工）指針・同解説、(2002)

10）堆肥舎の構造等に関する調査　堆肥化施設擁壁・隔壁の設計事例、(社)中央畜産会・(社)日本畜産施設機械協会、(1998)

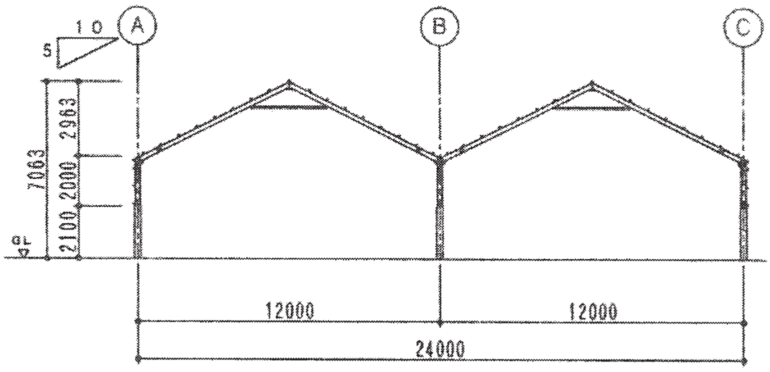
11）畜舎・堆肥舎の建築設計に係る告示・解説、畜舎建築に係る関連基準に関する検討会・(社)中央畜産会・(社)日本畜産施設機械協会、(2004)



平面図 1／200



屋根伏図 1／200



2～3通り軸組図 1／200

部材リスト

部 材 名	部材サイズ
柱，梁	軽量Ｈ形鋼 LH－200×150×3.2×4.5
タイバー	等辺山形鋼 Ｌ－50×50×4.0
柱繋ぎ材	軽みぞ形鋼 Ｃ－80×40×2.3
母屋	杉材 90×90

第５章　堆肥化施設・機械の維持管理

本章では、堆肥化施設の内の主として屋根、柱と梁によるフレームおよび壁を有する堆肥舎（建屋）について述べる。

１．定期的な点検と保守管理

堆肥化施設・機械の保守管理の基本は、施設・機械の性能・特徴を十分把握した上で、定期点検の励行と注油を欠かさないことである。また、点検、保守管理作業時は機械の電源を切り安全の確保に努めることが重要である。

堆肥化施設・機械は、高湿度で腐食性の強い臭気にさらされ極めて環境条件の悪いところで稼働しており、整備・点検を必ず実施しないとトラブルが発生しやすくなるとともに、致命的な故障により長期間運転不能となる場合がある。また、機械の耐久性も想定以上に短くなることがある。したがって施設・機械の保守管理に注意をはらい、耐用年数を延長させるとともに、トラブルが少なく、処理作業が順調に行えるよう管理することが大切である。

保守管理の基本的な点については、各処理施設・機械導入時に提供される取扱説明書を十分熟読し理解するとともに、その試運転時には実際に保守管理作業を行い、その箇所、方法、項目等を確認しておくことが重要である。

１）点検および保守管理作業に当たっての基本

この作業にあたってまず優先すべきことは「安全性の確保」である。特に、以下の点に留意する。

（１）点検および保守管理作業前に、装置類の運転を必ず停止する（電源を切る）

このことは常識的なことであるが、怠りやすいので必ず守ること。とくに保守管理作業場所と電源の場所が離れている場合に、第三者がスイッチを操作しないように、電源部（配電盤等）に「保守管理作業中、電源を入れるな！」等と書いた札を下げておくことも重要なことである。また、作業することを他の人（家族・従業員）にも連絡して、作業中であることを理解させておく必要もある。

（２）作業環境の改善を行う

開放型堆肥化装置の発酵槽の撹拌機が途中で停止し、その原因究明やその除去のためどうしても発酵槽内に作業者が立ち入らねばならない場合などでは、前記したように電源を切り装置の運転を停止することは当然であるが、堆肥材料から発生する水蒸気と悪臭ガスが作業環境を悪化させやすく、その改善を図るため外気の新鮮な空気を大量に送り込む必要がある。このために開放型堆肥化装置などでは建屋を開放したり、強制換気を行うとともに、消防等で用いられる排煙装置を利用することも必要である。

密閉型堆肥化装置の内壁等に堆肥材料が固着した場合には、外部からの除去作業が不可能であり、どうしても発酵槽内に入らざるを得ない場合は、材料を全て発酵槽の外へ出した後、必ず送風装置（通気装置）だけ運転して、その内部の環境改善を行ってから作業者が入るように心掛けるとともに、換気装置を別途設けて新鮮空気を供給しながら作業を行うようにする。

（3）作業時の服装等を正しく

作業を行う場合の服装としては、活動的な服装とし、上着の袖口やズボンの裾をキッチリと身体につくものを用いる。また、安全ヘルメット、安全靴等の着用も心掛けて作業上の事故防止に努める。

（4）運転中の機械装置には近づかない

点検作業でも機械・装置の運転中は絶対に駆動部へ近づいたり、ましてや接触したりしてはならない。運転中は異常音や振動の有無を確認するだけにして、運転停止状態にしてからその原因究明・修理を行うようにする。

（5）施設内の整理整頓に努める

撹拌機などの装置上に機械部品・工具等が放置されている例が時々見受けられるが、これらの不必要なものが何らかの拍子に落下・転倒した折りには作業者に危害をおよぼすので、日常施設内の整理整頓に努めるように心掛けねばならない。

以上、点検および保守管理作業を行う場合の原則を記したが、日常の施設・機械の運転作業においてもこの安全確保に留意することが望まれる。

2）機能別の点検および保守管理作業

堆肥化施設・機械には種々の機械・装置類が用いられており、それを大別するとコンベアなどの混合・搬送装置、撹拌装置、通気装置に区分される。これらの保守管理作業を必要とする主な装置名は**表5-1-1**に示した。

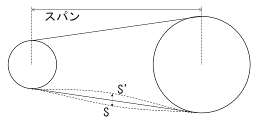
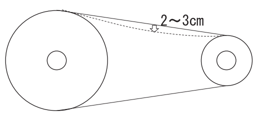
表5-1-1　保守管理作業を必要とする装置名とその有無

堆肥化施設		保守管理を必要とする装置の有無		
		混合･搬送装置	撹拌装置	通気装置
通気型堆肥舎		△	×	○
攪拌方式	ロータリ式	△	○	△
	スクープ式	△	○	○
	スクリュ式	△	○	○
	クレーン式	△	○	○
	密閉縦型	○	○	○

注)○:有　△:一部有　×:無

これらの装覆には各種の機械・部品類が用いられているが、駆動装置として、①モータ、②減速機、③チェーン、④Vベルト、⑤軸受、⑥油圧等が共通して用いられるものであり、それらの点検および保守管理作業の例を**表5-1-2**に示した。これらの作業は基本的に守らねばならない事項であり、後述する各箇所別の作業を行う場合も必ずこの表に記載した箇所がある場合には、その保守管理作業を実施しなければならない。

表5-1-2　駆動部の保守管理と点検項目の例

箇所	点検内容	保守管理	保守管理の時期				備考
			日常	週	月	年	
① モータ部	通気口のホコリやゴミ等の付着による目詰まりの有無	モータ後部、冷却用通気口の清掃			1		モータ焼損の原因となる
② 減速機部	油面計の指示線にてオイルの適正量の有無、または本体に異常加熱音、振動音の有無	減速機部のオイル交換または補給				2	減速機の性能，寿命に大きく影響するため，必ず実施する
③ チェーン部	チェーンの張り具合  SS'≦スパン×004 （適正な変形量）	テンションブラケットを締めるか、モータベースを動かし適切な張り具合に調整する。			1		回転部分（ベアリング、スプロケット等）の摩耗の原因となる。 *チェーンの初期伸びは使用開始後10日目程度に実施する
	さびやリンクのがたつき等の点検	チェーン部への潤滑油の塗布		1			チェーンの寿命に大きく影響
	スプロケットのがたつき摩耗等の点検	スプロケット固定ネジの締め付け、または交換			1		チェーン又は回転部分（ベアリングなど）の摩耗の原因となる
④ Vベルト	Vベルトの張り具合  	テンションプーリと締めるかモータベースを動かし適切な張り具合に調整する			1		
	Vベルトの異常なのび（特に多連掛けの場合）	異常にのびたVベルトの交換			1		他のVベルトの寿命にも大きく影響
	プーリのがたつき等	プーリの固定ネジの締め付け			1		Vベルト又は回転部分（ベアリングなど）の摩耗の原因となる
⑤ 軸受け部	回転時の軸のガタつきや異常音の有無	軸受け部へのグリースの補給			1		ベアリング等の回転部分の寿命に大きく影響
⑥ 油圧部	油圧部の不足、漏れの確認	作動油の補給		1			

注）保守管理の時期の数値は回数を表す。

3）共通する点検および保守管理作業

ここでは各種の堆肥化施設・機械に用いられているものを混合・搬送装置（荷受装置）、通気装置、電気・制御装置等に大別してその点検および保守管理作業内容について、共通する基本的な事項について説明するが、施設・機械導入時に提供される取扱説明書に記載されている作業内容に加えて実際の保守管理作業を実施することが望ましい。

（１）混合・搬送装置（荷受装置）部

各処理施設で用いられるこの装置としては、撹拌・混合機、スクリューコンベヤ、ベルトコンベヤ、バケットコンベヤ等があるが、これらの機械類の基本的に順守しなければならない点検および保守管理の事項について**表5-1-3**に示した。

表5-1-3　混合・搬送装置（荷受装置）部での保守管理と点検項目の例

	点検箇所	点検内容	点検時期 日常	週	月	年	保守管理
混合・搬送装置部	（撹拌混合機）						
	本体	異常音，振動	○				異物の混入除去など
		撹拌爪，容器等の損傷の有無			○		修理
	駆動部	異常音，振動等 その他	○				異物の混入除去 （表5-1-2参照）
	（スクリューコンベア）						
	本体	異常音，振動	○				軸の偏心，軸受部の損傷の修理・交換と異物の除去
		スクリューオーガ・ケーシングの変形・摩耗	○				修理・交換と異物の除去
	駆動部	異常音，振動等 その他	○				過負荷等の原因除去 （表5-1-2参照）
	（ベルトコンベア）						
	本体	異常音，振動	○				搬送物の詰り・固着物の除去
		ベルトのたるみ，蛇行の有無，ベルトの損傷			○		ベルトの調整，修理
	駆動部	異常音，振動等 その他	○				過負荷等の原因除去 （表5-1-2参照）
	（バケットコンベア）						
	本体	異常音，振動	○				チェーンとスプロケットとのかみ合せ不良，軸の偏心，軸受・シール等の損傷修理，異物の混入による過負荷除去
		バケット，チェーン，スプロケット等の摩耗・変形			○		
		チェーンの張り具合			○		チェーンの張り調整 （表２－８－２参照）
		スプロケットのガタ・摩耗			○		固定ネジの締めつけ，給油
	駆動部	異常音，振動等 その他	○				過負荷の原因除去 （表5-1-2参照）

（２）通気装置部

表5-1-1に示したように、この装置は各堆肥化施設に共通する装置であるが、通気型堆肥舎と開放型堆肥化装置、密閉型堆肥化装置とではその通気方法・装置は大きく異なるので、ここでは共通する基本的な事項の紹介に止めた。したがって、おのおのの取扱説明書に記載されている保守管理作業を必ず実施するとともに、表5-1-4に示した作業内容も加えて実施することが望ましい。

表5-1-4　通気装置での保守管理と点検項目の例

	点検箇所	点検内容	点検時期 日常	週	月	年	保守管理
通気装置部	（通　気　床）	床表面の目詰りの有無			○		目詰り部の除去，砂等の補給
		排汁液の排水の良否		○			排汁ドレイン部の清掃，排水良の確認
	（配　管　部）	破損の有無				○	修理
	（送　風　機） 本　　体	異常音，振動	○				ベアリング等の回転部分の寿命に大きく影響するので，その原因究明と除去
		回転部軸のガタつきの有無			○		軸受部へのグリースの補給
	駆　動　部	異常音，振動等 その他	○				その原因を取除く （表5-1-2参照）
	（温風発生装置） バーナー部	点火装置の稼働状況	○				
		燃焼部・点火装置部の汚れ			○		清掃
	燃焼タンク，パイプ部	水，汚水，ゴミ等の有無				○	分解し異物を取除く
	電気制御部	サーモスタットの設定温度と材料温度の確認	○				異常な燃焼により材料温度の上昇がみられるので，サーモスタット等の作動不良を修理

（３）電気・制御装置部

この装置には、制御盤、リミットスイッチ、給電リール・電線等があげられるが、とくにこの作業に当たっては前述したように、作業の安全性確保に十分留意し、必ず電源を切断した状態にして作業することに心掛けねばならない。

表5-1-5に作業内容を示したが、取扱説明書に記載されている作業は必ず実施する。

表5-1-5　電気・制御装置の保守管理と点検項目の例

	点検箇所	点検内容	点検時期 日常	週	月	年	保守管理
電気・制御装置部	（機体制御盤）	制御盤のふたのロック		○			ホコリ，ゴミ，アンモニアガス等により，内部の電気部品の寿命が短くなるので完全に締める。
	（停止用等のリミットスイッチ類）	停止用ストッパーとリミット棒が正しく当っているか，リミット棒の変形の有無	○				その修理とともに，リミット棒などが通る路上のふんの塊り等の障害物除去。
	（給電リール・電線）	作動状況，損傷等の有無			○		修理およびグリース等の補給。

（4）その他の装置部

これまでに述べた装置以外のものを使用する場合には、**表5-1-2**に示した共通する基本的な保守管理作業を実施するとともに、その装置の取扱説明書に記載された作業を必ず実施することが必要である。

4）堆肥化装置ごとの点検と保守管理作業

主要な撹拌装置及び密閉縦型堆肥化装置について、以下に点検・保守管理作業の要点をまとめた。下記の項目の他、いずれの装置も外観、動作、異音、振動、電源ケーブルに関しては**表5-1-2**などを参考に始動時の確認が必要である。実際には装置の取扱説明書に記載された保守管理作業を必ず実施する。

（1）ロータリ式撹拌装置、スクープ式撹拌装置、スクリュ式撹拌装置

ロータリ式撹拌装置、スクープ式撹拌装置、スクリュ式撹拌装置は、撹拌部及び駆動部に共通する項目が多く、共通する点検事項について**表5-1-6**に示した。特に、堆肥材料や腐食性のガスに接触する撹拌機、駆動部、及び各種装置についての点検は注意が必要である。それに加えて、ロータリ式撹拌装置では撹拌棒について、スクープ式撹拌装置では掻き上げ板についてそれぞれ、週に一回程度摩耗状態を確認する。スクリュ式撹拌装置についてもオーガースクリュの摩耗状態を週に一回程度確認するとともに、ビニル片等が突発的に絡みついた場合は適宜取り除く。スクリュ式撹拌装置のオーガースクリュが摩耗した際には、新たなオーガーを溶接して補強するが、それでも対応しきれない程度に摩耗が進行した場合は、スクリュ本体を取り換える。

表5-1-6　ロータリ式、スクープ式、スクリュ式撹拌装置での保守管理と点検項目

点検箇所	点検内容	点検時期				保守管理（日常点検は表5-1-2参照）
		日常	週	月	年	
撹拌機（堆肥接触部）	動作確認	○				
	異常音、振動の有無	○				原因の除去
	モータの点検				○	
	シャフトの点検				○	
	チェーンの張り具合		○			
	ワイヤ、ベアリングへの給油		○			
	攪拌部の折損、破損、摩耗の確認	○				修理、交換
駆動部	チェーンの張り具合			○		
	動作確認	○				
	異常音、振動の有無	○				原因の除去
	走行車輪のがたつき	○				修理、交換
油圧	動作確認	○				
	注油		○			
リミットスイッチ	動作確認	○				
	ごみ等の有無の確認	○				ごみ等の除去
レール	レール結合部等でのゆるみ、ひずみ等の有無		○			修理及びレール上面の付着物の除去

（2）クレーン式撹拌装置

クレーン式撹拌装置は、昇降部については作業前に動作を確認し、ワイヤーに素線切れやねじれ、キンクなどの損傷が見つかったらすぐに交換する。また、開閉部の油圧作動油の漏れや滑車の動作についても作業前に確認する。使用頻度にもよるが、昇降部にワイヤーを使用しているものについては3年に一回程度の交換を要する。さらに、堆肥把持用の爪については、6年に一回程度の交換が必要であるが、異物を掴むなどして爪が破損した場合は都度交換する。その他、他の撹拌装置と共通する部分は**表5-1-6**を参照する。

（3）密閉縦型堆肥化装置

密閉縦型堆肥化装置は、昇降機や撹拌羽根を回転させるための駆動部、投入・排出口の開閉に油圧が用いられている場合が多く、特に作動油点検には注意を払い、足りない場合は適宜注油する。また、堆肥材料が乾燥して、粉じんが排気管に混入することがあるため、1週間に一回程度つまりの点検及び清掃を行う。密閉縦型堆肥化装置は、特に水分の低い堆肥が生産されるため、堆肥等の粉じんが詰まらないよう、送風ブロワの吸気フィルタの清掃を1週間に一回程度を実施する。さらに、送風をヒータで加熱している装置については1ヶ月に一回程度ヒータの動作を確認し、清掃を行う。また、他の堆肥化装置と共通する部分は**表5-1-6**を参照する。

2．故障の原因と対策

堆肥化施設・機械の故障の主な原因は、機械・装置の処理能力以上の負荷がかかり、過負荷状態になった場合などである。それ以外の原因としては電気・制御装置部の故障等により機械・装置が制御できない状態となる場合もあるが、これは日常の点検および保守管理に努めていれば防止できるものである。

日常の運転・作業上の原因で機械・装置が過負荷状態となった場合の主なものは次の通りである。

① 石、鉄片等の硬い異物が材料中に混入した場合

② 発酵槽内の材料水分が高い場合

③ 開放型・密閉型堆肥化装置への原料投入量が規定量よりも多い場合（開放型では堆肥材料堆積高さが設定値よりも高い場合で、局部的に高くなる場合も含む）

以上のほかに、保守管理が十分行われていない場合がみられるので、前項で記載した点検および保守管理作業を厳守されたい。

1）機械的故障の対応策

図5-2-1にその手順を示したが、原因を調査し、その原因が明らかとなってから故障した箇所の修理・組立等を行うとともに、その原因となった前記①-③の状態を除去する。すなわち、石・鉄片等の硬い異物は取り除き、堆肥材料水分が高い場合は、その材料を人力等で取り除くか副資材等を混合して堆肥材料水分の低減を図る。また、材料を多く積み過ぎた場合にはこれを取り除いて適正な量にする必要がある。

それらの作業が終了した後、機械・装置の空運転を行い、順調に稼働するかどうかを確認し

た上で実際の作業運転を実施する。

この手順通りに原因の除去を怠り実作業運転に入れば、同様の故障が反復して発生するので注意しなければならない。

以上、簡単な故障時の対応を示したが、複雑な故障で自己修理が困難な場合は、メーカに連絡し早急に修理するよう依頼することが必要である。

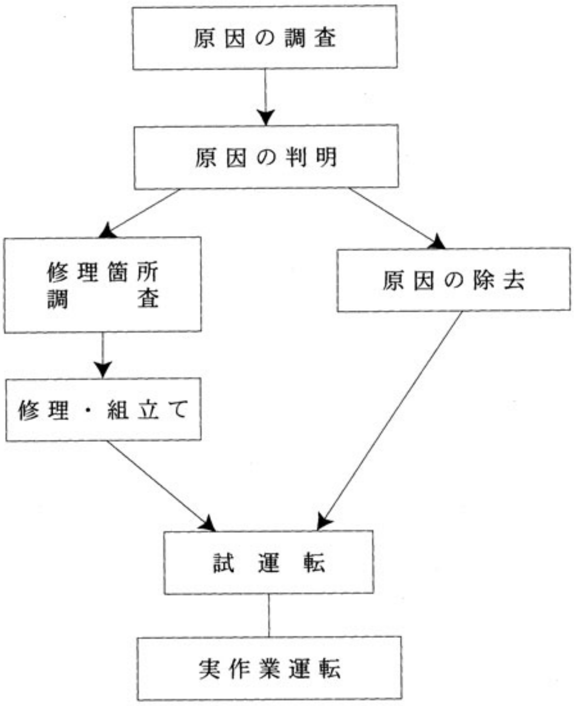


図5-2-1　故障時の対応策のフローシート

２）電気的故障の対応策

前述したように機械・装置に過負荷がかかって故障する例が多くみられるので、これらの機械・装置の駆動部（モータ）の配電盤にはモータ過負荷保護装置（サーマルリレー）が付設されている。これにより、何らかの機械的故障が発生してモータに異常な過負荷がかかる場合、モータの焼損防止のために電源は自動的に切断される。この装置の作動状況を**図5-2-2**に示したが、機械的故障の場合にも必ず制御盤に設けてあるこのサーマルリレーの状態を確認し、サーマルセット棒（復帰ボタン）が外へ突き出ている場合は、この棒を静かに押してセットし直す必要がある。セットしてもすぐに電源が切断されるときは、過負荷以外の電気系統の故障や漏電も考えられので、速やかに専門の電気店等に修理を依頼する。

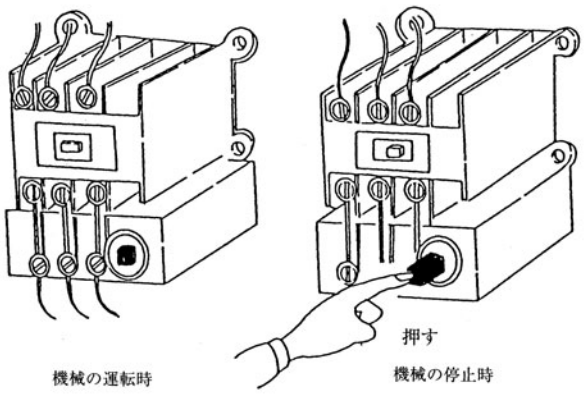


図5-2-2　モータ過負荷保護装置
（サーマルリレー）の作動状況

３）点検・修理にあたっての準備事項

堆肥化施設・機械の導入の際には、標準的な工具、保守管理用具（注油器、グリース注入器）等の提供を受けるが、それらが揃っているかどうか、またオイル・グリース等が指定された品質のものであり量的に準備されているかどうかの確認を必ず日常管理のなかで行うことも必要である。とくに減速機の油は各メーカによって異なり、専用の品質のものを用いている例が多いので、必ず前もって準備しておくことが望まれる。

また、複雑な機械になればなるほど多種・多様の機械部品を使用しているが、故障して頻繁に取り換えなければならない部品等はある程度限定されるので、消耗部品とともにそれらの機械部品を前もって一通り揃えて準備しておくことも必要であり、これにより機械故障等による堆肥化処理施設・機械の停止期間の短縮が可能となる。

準備すべき工具、機械部品等は各処理施設によって異なり、処理施設・機械導入時に必ずそれを確認するとともに、それらのリスト等の提供を受けることが必要である。

3．施設の長寿命化のための対策

老朽化が進んだ堆肥化施設では、機能が低下し、期待していた機能を発揮できなくなる場合がある。日常的、経年的に起こりやすい劣化状況を理解し、適切な補修、補強および更新を行うことで、より低コストに堆肥化施設を長寿命化することができる。共同利用型堆肥化施設ではストックマネジメントの手法を用いて施設の長寿命化を図る。詳しくは、ストックマネジメントに関する調査報告書やマニュアルを参考にする[1)、2)]。

1）補修の目的

1999年に「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」（家畜排せつ物法）が施行し、2004年に本格施行してから、個々の畜産農家では堆肥化施設の整備が進んだ。それ以前に建設され稼働した堆肥センターなど共同利用型施設も含め、15年以上を経過し、耐用年数を超過した施設は老朽化が進み、補修、補強、更新などを余儀なくされている。これらの施設を新たに整備すると膨大な費用が掛かることが明らかであり、現在稼働している施設において老朽化等により機能低下した部分を補修、補強、更新等の対策を取ることで共用年数を延長し、施設の長寿命化を図る必要がある。

2）堆肥舎の構造と補修方法

堆肥舎の基本構造は堆積方式のようにコンクリートの床に屋根を敷設したもの、発酵槽の奥に壁（擁壁）があり、両端に隔壁があるもの、さらに中仕切りの隔壁があるものがある。また、床に堆肥に通気を行うために通気配管を敷設した構造（通気床）のものがあり、堆積方式ではホイールローダで、撹拌方式では撹拌装置を用いて堆肥の切返し等を行っている。

堆肥舎等の施設が10〜15年以上経過すると老朽化による施設の腐食、破損やゆがみ等が生じ、機能が低下したり使用不能となったりするために、補修、補強、更新などをして機能回復が求められる。以下に、堆肥舎の各部材の起こりやすい劣化状況と補修方法を記載した。

（1）床

ホイールローダ等の重機による走行や長年の経時的な地盤沈下などによってコンクリートにヒビが入り、堆肥化時の排汁が外部に漏出してしまうことがある。ヒビ割れ幅が0.5mm程度以上になるとその部分から堆肥の排汁が入り込み、コンクリートの鉄筋を腐食させたり、コンクリートを中性化して強度を弱めたりするため、コーキング材などで割れた部分を穴埋めする。寒地や寒冷地では床面が凍るため、凍結深を十分に考慮するとともに、地下水位についても考慮した施工が必要である。また、堆肥舎入口前面も作業機械の切返し作業が頻繁に行われることから、舗装が必要である。

（2）擁壁、隔壁

ひび割れが大きいときは、前項の床と同様コーキング材での穴埋めが必要である。擁壁、隔壁の下部はコンクリート構造であっても途中からブロックで壁を構成しているものがあり、ホイールローダのバケットの端が壁に当たり穴が開いたり破損して鉄筋が見えているようなケースもあるため早急な補修が必要となる。ブロック積みの壁の場合、内部に鉄筋が入っていても堆肥の堆積圧によって膨らんできて堆肥舎の支柱をゆがませてしまうことがあるため、隔壁のふくらみがないか定期的に点検することが必要である。バケット等が当たりコンクリー

トが破損し鉄筋が見えている場合はコンクリートをかぶせて鉄筋が露出しないようにする。
（3）屋根材、支柱

屋根材や支柱は老朽化に伴い、部材の劣化・腐食などによる破損が生じる。屋根材はスレートやトタン、ポリカーボネイトなどが使用されるが、材質によっては劣化が進み破損しやすくなる。風や雪等で一カ所破損すると破損が広がるため、目視観察で破損状況を確認することが必要である。また、屋根材を固定しているビスなども錆びやすいためステンレス製のものを使うなどの対応が望まれる。

支柱については、堆肥舎内の高い湿度や堆肥化で発生する腐食性の強いアンモニアガスなどにより鉄製部材は塗装していても錆びることが多い。特に、母屋（屋根の棟木と平行に配置され、垂木を支える部材）にリップ溝形鋼（チャンネル鋼）を使うと、溝部分に水滴や飛散した堆肥がたまりやすいので腐食の原因となることが多いため使用しないことが望ましい。また、支柱については、地面のコンクリート部分と直接密着していると水分や堆肥等で経年劣化し腐食して強度が落ちてしまうため、コンクリート基礎を高くしてその上から支柱を取り付けるなどの工夫が必要である。堆肥舎のように高湿度で腐食性物質を多く含む環境下では、木材による建築も腐食を避けることができる有効な方法である。

（4）撹拌機等の機械類

機械類については、床や壁、屋根材と異なり耐用年数が短く、定期点検を欠かさず行うことが不可欠である。農畜産業用固定資産評価標準では、家畜ふん用処理施設機械及び装置の耐用年数は5年となっているが、使用環境条件によってはそれより短くなることもある。定期点検は部所により点検間隔が異なっているため、前項までを参考に機械の点検マニュアルに従って点検をすることが肝要である。異常音や振動があったら機会を捉えて点検すること、回転部分には注油を欠かさず励行することが機械の保守管理には必要である。発酵槽の両壁上にレールがあり、そのレール上を撹拌機が走行している場合、長年の使用によってレールにゆがみが生じることもあるため注意する。鉄製のレールがなく、コンクリートそのものがレールの役割を担っている場合は、撹拌機等の車輪は、鉄製ではなく硬質のプラスチック製などを使うなどの工夫をする。消耗品となるところは定期的な交換についても励行することが長寿命化につながる。

3）共同利用型堆肥化施設の長寿命化対策

（1）ストックマネジメント

共同利用型堆肥化施設は昭和50年代から作られ始め、平成に入ってからは市町村営堆肥センターも多く建設されるようになった。これらの施設は建築されてから20年以上経過しており施設の老朽化が進みつつあるため、他の堆肥化施設と同様に補修、補強、更新などを余儀なくされている。従来の施設は、再整備する以外に手段がない状態に至った段階、あるいは、施設に求められる能力が著しく低下した段階で多くの費用をかけて更新整備されることが多かった。一方で、同じ施設内でも再整備する以外に手段がないほどに劣化している部分、補修や補強により対処（長寿命化）できる部分、当面経過を観察しても性能に支障がないと判断される部分が混在するため、個々の施設状況に応じて適時的確な対策を取ることが効率的である場合がある。

稼働中の堆肥化施設において、老朽化等により機能低下した部分を優先順位に応じて計画

的に補修、補強、更新等の対策をとる（予防保全対策を実施する）ことで、リスク管理を行いつつ施設の供用年数を延長して長寿命化を図り、ライフサイクルコスト（LCC）を抑える技術体系および管理手法のことをストックマネジメントと呼んでいる（**図5-3-1**）。ストックマネジメントを実施するためには、堆肥化施設が施設管理者により適切に日常管理されていることが前提となる。なお、ここでいう「日常管理」とは、建屋については約3か月に一度程度の目視や手の届く範囲での点検を、機械設備については前項までの日々の機械作動前後の点検を指す。

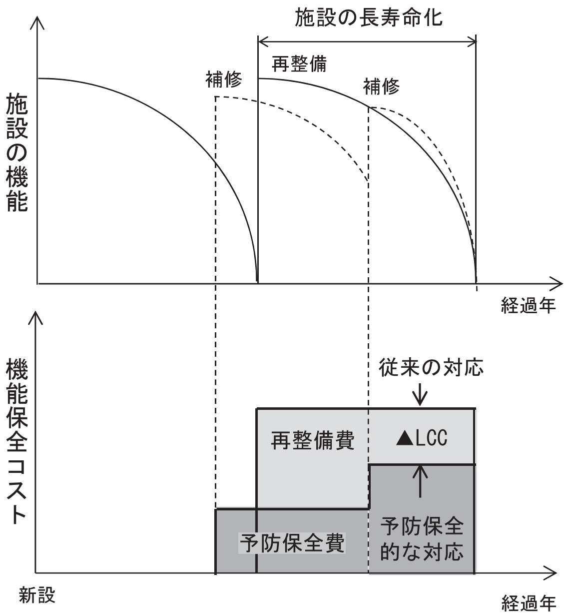


図 5-3-1 ストックマネジメントの考え方

（2）ストックマネジメントの流れ

堆肥化施設のストックマネジメントの主な実施手順は、①機能診断調査、②機能診断評価（健全度評価）、③機能保全対策の検討、④機能保全コストの算定、⑤機能保全計画の策定の5段階で実施する。これらを終えたあと機能保全対策を実施することになる（**図5-3-2**）。

機能診断調査は、対象施設の劣化の度合いを可能な限り定量的に把握するとともにその劣化の原因を解明するため、設計・施工の記録や運転・故障の記録、施設管理者からの聞き取りなどを調査対象とする事前調査と、専門的知見を有した技術者などによる目視と定量計測を主体とする現地調査の2段階で行われる。

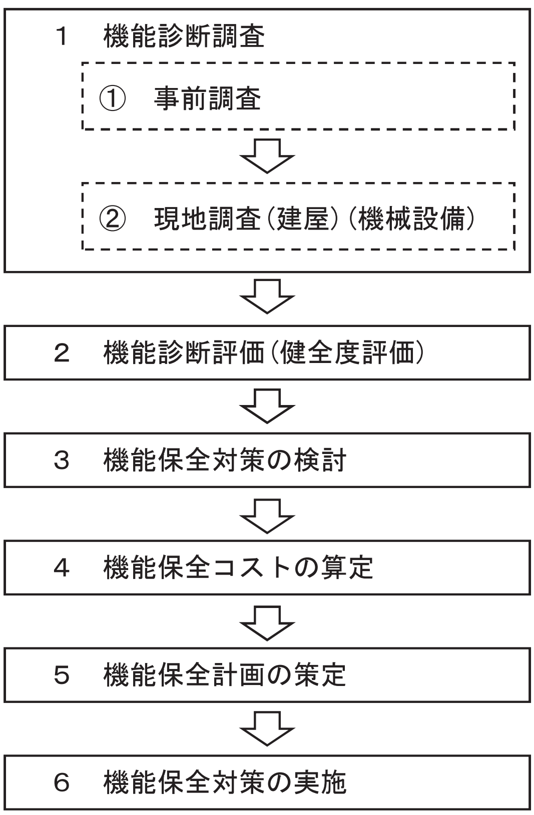


図 5-3-2　ストックマネジメントの流れ

機能診断評価では、機能診断調査の結果から対象施設の変状がどのレベルにあるかその健全度を点数（信頼性）評価および専門技術者による所見から総合的に判断する。健全度については、建屋や機械設備別に**表5-3-1**や**表5-3-2**の定義が示されている[1)2)]。なお、施設の変状を発見し、最適な対策を適時に検討するため、機能診断調査や評価は定期的に実施することとなっている。

機能保全対策の検討に当たっては、機能診断の結果や評価に基づく個々の施設の劣化状況を踏まえ、技術的・経済的に妥当な組み合わせから複数のシナリオを作成することがポイントであり、機能保全コストを低減する観点からそれぞれのシナリオを比較検討してから機能保全計画の策定や計画の実施に進むことになる。

詳しくは、ストックマネジメントに関する調査報告書やマニュアルを参考にする[1),2)]。

表5-3-1　施設（建屋）の健全度指標[1)2)]

健全度指標	健全度指標の定義	施設（建屋）における劣化現象の例	対策の目安	機能診断の調査頻度
S-5	変状がほとんど認められない状態 (劣化過程は潜伏期)	①新設時点とほぼ同等の状態	対策不要	5年
S-4	軽微な変状が認められる状態 (劣化過程は進展期)	①鉄骨材(柱、はり等)及びその接合部の塗装の剥離や軽微なサビが発生している状態 ②木材(土台、柱、はり等)に軽微な腐朽または緊結金物等のサビが認められるが、通常の使用支障がない状態 ③コンクリートの軽微なひび割れの発生及び目地や構造物周辺に軽微な変状が認められるが、通常の使用に支障がない状態。	要監視	5年
S-3	変状が顕著に認められる状態 →劣化の進行を遅らせる補修工事等が適用可能な状態 (劣化過程は進展期から加速期に移行する段階)	①鉄骨材(柱、はり等)及びその接合部にサビまたは腐食が進行し、再塗装が必要となる状態 ②木材(土台、柱、はり等)の表面で腐朽が進行している。あるいは、緊結金物等のサビまたは腐食が進行し接合部のゆるみや強度低下をまねいている状態。 ③コンクリート躯体の鉄筋に達する有害なひび割れが生じている。あるいは、鉄筋腐食によるコンクリートの剥離・剥落が生じている状態。 ④コンクリート躯体等の目地の劣化により顕著な漏水が生じている状態	補修	3年
S-2	施設の構造的安定性に影響を及ぼす変状が認められる状態 →補強を伴う工事により対策が可能な状態 (劣化過程は、加速期または劣化期に移行する段階)	①鉄骨材(柱、はり等)及びその接合部にサビまたは腐食が進行し、断面欠損が生じている状態。 ②木材(土台、柱、はり等)の普及が内部まで及んでいる。あるいは、緊結金物等の腐食が進行し接合部等の変状が生じている状態。 ③コンクリートのひび割れが貫通し躯体に変状が生じている状態。	補強	1年
S-1	施設の構造的安定性に重大な影響を及ぼす変状が複数認められる状態 →近い将来に施設機能が失われる、または著しく低下するリスクが高い状態。補強では、経済的な対応が困難で、施設の再整備が必要な状態 (劣化過程は、劣化期)	①構造部材に大きな変状が生じ、倒壊のリスクが高く構造的に不安定な状態。 ②コンクリートの貫通したひび割れが拡大し、鉄筋の有効断面が大幅に縮小した状態。 ③S-2に評価される変状がさらに進行した状態。 ④補強で対応するよりも、再整備したほうが経済的に有利な状態	再整備	-

表5-3-2　施設（機械）の健全度指標[1)2)]

健全度指標	健全度指標の定義	機械設備における劣化現象の例	対策の目安	機能診断の調査頻度
S-5	変状がほとんど認められない状態 (劣化過程は潜伏期)	①新設時点とほぼ同等の状態	対策不要	5年
S-4	軽微な変状が認められる状態 (劣化過程は進展期)	外観、部位等に軽微な変状が認められるが基準値内であるため、通常の使用に支障がない状態。 ①変形・欠損、たわみ等がメーカーの基準値以内 ②摩耗がみられるが基準値以内 ③チェーン・ワイヤ等の伸びが基準値以内 ④腐食がみられるが機能・性能に影響しない	要監視	5年
S-3	変状が顕著に認められる状態 →劣化対策が必要な状態 (劣化過程は進展期から加速期に移行する段階)	外観、部位等に基準値を超過する等、顕著な変状が認められ劣化対策が必要な状態。 ①変形・欠損、たわみ等がメーカーの基準値を超過 ②かき上げ，走行部の不良 ③基準値を超過した摩耗がみられる ③チェーン・ワイヤ等の伸びが基準値を超過 ④腐食が進行しているが、機能・性能の低下までは至っていない	補修	3年
S-2	危険な状態が認められる状態 →支給劣化対策が必要な状態 (劣化過程は、加速期または劣化期に移行する段階)	外観、部位、機器等が至急対策をしなければ施設の機能が停止する恐れがある等、危険な変状が認められる状態。 ①変形・欠損、たわみ等がメーカーの基準値を超過し、機能が低下している ③基準値を超過した摩耗がみられ、機能が低下している ③著しい腐食がみられ、機能・性能が低下している ④異音・振動・以上発熱冬季農場の異常が認められる	補強	1年
S-1	危険な状態が複数の部位において認められる状態 →個々の部位の至急劣化対策では経済的な対応が困難で設備の再整備が必要な状態 (劣化過程は、劣化期)	危険な変状が複数の部位において認められ、機器や設備といった一定の部位のまとまりについて至急対策をしなければ施設の機能停止の恐れがある等、危険な変状が認められる。	再整備	-

４．寒地、寒冷地における維持管理

北海道や東北地域などの寒地、寒冷地や、温暖地であっても中山間などで冬季に終日氷点下になるような地域では、低温による堆肥温度の上昇に時間を要し、場合によっては堆肥材料や設備の一部が凍結して堆肥化処理が不能になることもある。そのための対策は以下のことが考えられる。

１）低温時における堆肥化処理

（１）寒地、寒冷地の冬季でも、適切に水分調整がなされて発酵が始まれば、時間を要するものの堆肥の温度は上昇する。しかし、副資材の混合量が少ないなど堆肥材料の水分が高い場合には、堆肥の温度が上がらないばかりか堆肥材料や堆肥材料から出るれき汁が堆肥化装置内もしくは排汁溝内で凍結することがあるため、堆肥材料の適切な水分管理はより重要になる。

（２）外気温が極めて低い地域では、適切に水分調整された堆肥材料でも凍結する場合があるため、堆肥材料を速やかに堆積して通気を最小限に留めて放熱を抑えることをまず優先する。放熱を抑えるためには施設外壁や床面への熱伝導を遮断することが有効であり、安価な方法として堆肥を囲むように乾草を置いて断熱する例もみられる（**図5-4-1**）。

（３）寒地、寒冷地の冬季において、牛舎内で氷点下近くまで温度が下がったふん尿を搬出後に直接堆肥化施設へ投入しても温度がすぐには上昇しない場合がある[3]。その場合、発酵した温度の高い堆肥の上に堆肥材料を載せることで発酵の安定化を図ることができる[4]。60℃以上の高温の戻し堆肥を副資材に利用することで、堆肥化初期の発酵を促して堆肥材料の温度を速やかに上昇させている事例や（**図5-4-2**）、すでに昇温の始まった堆肥材料の上に毎日発生する新たな堆肥材料をその都度積み増しすることで堆肥材料の温度を維持している事例がみられる（**図5-4-3**）。

図5-4-1　断熱を目的として堆積された乾草ロール

図5-4-2　低温時における堆肥化処理の事例（秋田県仙北市）

60℃以上の高温の戻し堆肥を副資材に利用することで、堆肥化初期に堆肥材料の温度を速やかに上昇させることができる。水分が高い場合には籾殻を追加して堆肥材料の水分も適切に管理している。

第５章　堆肥化施設・機械の維持管理

（4）積雪量の多い地域では、積雪による影響を受けないように送風機を屋内に設置したり、送風機用の小屋に格納する(図5-4-4)。通気型堆肥舎や開放型堆肥化装置、密閉縦型堆肥化装置では、冬季の外気温低下による発酵の停滞を防ぐため、通気を加温して温風を通気できる装置がある(図5-4-5)。

図5-4-3　低温時における堆肥化処理の事例（北海道恵庭市）
冬期は敷料の量や交換頻度を高めて堆肥材料の水分を低めに管理するとともに、十分に昇温した堆肥材料の上に新たな材料を積み増ししていくことで堆肥材料の温度を維持する。堆肥材料の表面は凍結することもあるが、内部は十分に温度が上昇する。

図5-4-4　送風機を格納する小屋

図5-4-5　ヒータを使った通気の加温

2）付属機械・設備の留意点

（1）油圧装置

駆動部や堆肥取り出し部に油圧を使用している装置では、寒冷地用の適切な作動油を選択するとともに、装置を適切に稼働させるために作動油の温度を一定以上に管理することで作動油の粘度が過度に低くなることを避ける必要がある。そのため、油加熱用のヒータを利用するなどして作動油の温度が下がりすぎないよう対処する。

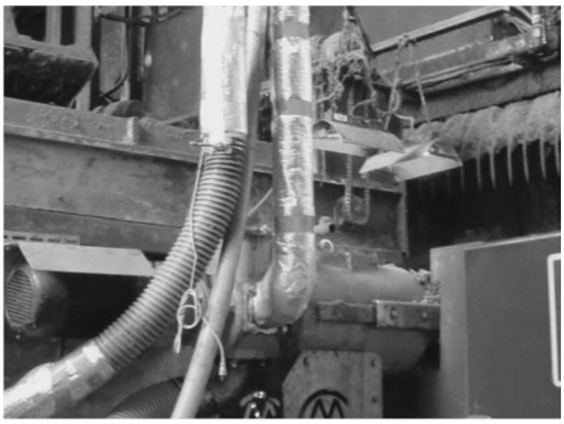


図5-4-6　ヒータを使った固液分離機の加温

（2）固液分離機

低温時には、固液分離機の内部や分離液の

排出配管内で凍結することがある。凍結の恐れがある場合は、固液分離機そのものを加温・保温したり（**図5-4-6**）、排出配管をリボンヒータなどで局所的に加温することでも凍結の防止効果が得られる。

参考文献

1）日本草地畜産種子協会：ストックマネジメント技術指針専門部会報告書（2010）
2）畜産環境整備機構：堆肥舎等長寿命化マニュアル（2020）
3）本郷泰久・山川政明・阿部英則：冬季における牛ふん尿堆肥化処理の一事例、滝川畜産試験場研究報告、31、35-38（2000）
4）高橋圭二：抗菌性持つ戻し堆肥に仕上げる発酵処理のポイント、デーリィマン、69(1)、46-47(2019)

第5章　堆肥化施設・機械の維持管理

第６章　堆肥の利用

１．はじめに

農地土壌は作物生産の基盤であり、堆肥の施用等による土壌の諸性質の改善を通じて地力を増進していくことは、農地の生産力を高め、農業経営の安定化を図る上で極めて重要である。しかしながら、足元の農地土壌の実態をみると、農業労働力の減少・高齢化、耕種と畜産の分離等を背景に、水田・普通畑では、堆肥等有機物施用量の減少により、土壌中の有機物含有量が低下傾向にある一方で、野菜畑・樹園地では土壌診断に基づかない施肥により、塩基やりん酸等の養分の過剰や塩基バランスの悪化が顕著になるなど、地力の低下が顕在化している。

こうした中、「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」（平成11年法律第112号、家畜排せつ物法）に基づき「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」が策定され、地域内での利用促進と広域的な流通の円滑化による家畜ふん堆肥の利用拡大が進められてきた。2012年の肥料取締法施行規則等の改正により、混合堆肥複合肥料の公定規格が新設され、条件付きながら、肥料原料の一部として家畜ふん堆肥を用いることができるようになった。そして2019年12月に肥料取締法（昭和25年法律第127号）がおよそ20年ぶりに抜本的に改正され、化学肥料と堆肥の混合を原則自由に認める指定混合肥料制度が創設されることとなった。さらに、2021年5月に国が決定した「みどりの食料システム戦略」[1)]において、食料生産における資材・エネルギー調達における脱輸入・脱炭素化・環境負荷軽減の推進を目指し、堆肥の高品質化、ペレット化の促進、堆肥を用いた新たな肥料の生産、広域流通の推進による循環利用システムの構築により、有機農業の取組面積の拡大や化学肥料の使用量30％低減の目標が掲げられた。家畜ふん堆肥が改めて化学肥料の代替としての重要な有機質資源として位置づけられることとなった。

そこで本章では、第２節において、家畜ふん堆肥の特性と品質について、第３節では家畜ふん堆肥の成分的特徴について、第４節では家畜ふん堆肥の施用効果と適正施用について論じる。そして第５節では令和元年に肥料取締法の改正により堆肥と化学肥料の混合に関する規制が大きく緩和されたことを踏まえて普通肥料原料としての堆肥の利用について論じる。

２．家畜ふん堆肥の特性と品質

一概に家畜ふん堆肥と言っても様々であり、用いる堆肥の特性と品質をよく把握して利用することが重要である。家畜ふん堆肥の品質を示す項目は、①取扱性、②有害物質の除去、③肥料成分含量（主成分の含有量）、④土壌改良効果の４つにまとめることができる。堆肥の色、形状、臭気、水分並びに生産工程から堆肥品質を現地判定する基準案が示されている。堆肥等特殊肥料について品質表示が義務付けられており、表示票から原材料、主成分の含有量等の情報が得られ、製品の選択、使用方法並びに化学肥料の減肥量を検討する上で有効である。

１）家畜ふん堆肥の特性に影響する諸要因

牛ふん堆肥に比べて豚ぷん堆肥、鶏ふん堆肥で肥料成分が多い等、畜種によって肥料成分含量が大きく異なることは知られているが、同じ畜種ふん堆肥でも使われる副資材の種類や量、堆肥化方法等の違いによっても大きな変異幅がある。肥料成分含量の違いにより肥効が顕著で有機質肥料として用いられるべきものから、肥効に乏しく土壌改良資材として用いられるべき

ものまで幅広く存在する[2]（**図6-2-1**）。従って施用量もかなり異なる。用いる堆肥の特性を正確に把握して利用することが必要である。

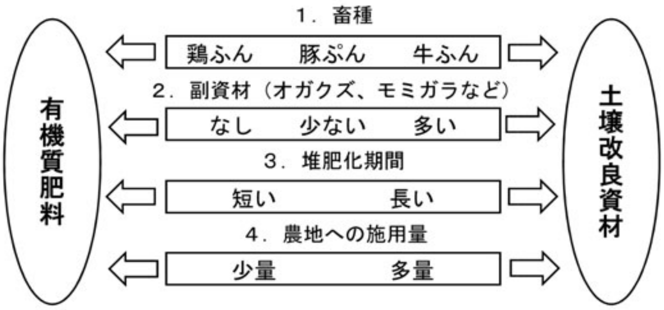


図6-2-1　家畜ふん堆肥の一般的な特性[2]

家畜の飼料は家畜の種類や発育段階、飼養目的に合わせて必要な栄養素を含むように配合されるため、それに応じて家畜排せつ物の成分も変動する。単胃動物である豚あるいは鶏には濃厚飼料が給与されているのに対し、反芻動物である牛には濃厚飼料に加えて牧草など繊維質を多く含んだ粗飼料も与えられる。そのため、家畜ふん堆肥の中でも牛ふん堆肥は難分解性の有機物による土壌改良効果が最も高いとされる。

オガクズ、モミガラ、ワラ、バークなどは畜舎・鶏舎の敷料として利用される。これらに加えて剪定枝などが堆肥化処理の副資材として利用されるが、これらの混合割合が大きい堆肥は土壌改良効果が高い。副資材の入手が困難な場合、生ふんを予備乾燥したり、乾燥ふんや堆肥（戻し堆肥）を生ふんに混合して堆肥化を行う等の方法がとられる。飼養形態によっては敷料や副資材を含まない堆肥も多く作られている。こうした堆肥は、肥料成分含量が大きくなる傾向にある。

家畜排せつ物のふん尿処理の状況を見ると、乳用牛は7割、肉用牛はおおよそ全量がふん尿混合処理で、豚は分離処理が8割近い[3]。もともと含水率や塩類濃度の高い豚ぷん尿であっても、尿が分離されることで、ふんの含水率が低下するうえ、水溶性の塩が尿に移行し、ふんの塩類濃度は低下する。

堆肥化方法は、撹拌装置のない堆積方式と撹拌装置を備えた撹拌方式に大きく分けられ、さらに、撹拌方式は、上部が解放された発酵槽に専用の撹拌機が取り付けられた開放型撹拌方式と、密閉された発酵槽の中に撹拌機と通気装置が備えられた密閉型撹拌方式に分けられる（第２章第１節参照）。牛ふん並びにブロイラーふんの処理では施設がシンプルで比較的低コストな堆積方式の採用が多い。豚ぷん並びに採卵鶏ふんの処理では堆積方式に比べて有機物分解が安定して早く進行する撹拌方式がよく採用されている。なお、撹拌方式により一次発酵処理を行った後の二次処理として堆積方式もよく採用されている。

２）堆肥の品質として備えるべき条件

家畜排せつ物には人畜や作物に有害な病原菌、害虫の卵、雑草種子が混入している場合があり、悪臭が大変強いため、このまま作物生産に利用することは、営農上および衛生上の問題がある。また、堆肥の水分が高いと、取扱いにくいだけでなく、重くて運搬や施用などの作業が困難である。

原田[4]は堆肥の品質として備えるべき条件を**表6-2-1**のように整理している。すなわち、取扱

い易く衛生的で、作物の生育にとっても安全で、かつ施用効果が求められる。**表6-2-1**のA及びBの各項目は原料ふんの不利な点の改善について示したもので、これらはいずれも（有害物質の項目は除く）原材料を適切に堆肥化することで達成できる。Cの項目は家畜ふん堆肥の施用効果について示したもので、家畜ふん堆肥が肥料及び土壌改良資材として利用されるために当然備えるべき項目である。

表6-2-1　堆肥の品質について備えるべき条件[4)]

A. 取扱いやすい性状であること。
- ①　水分が適度である
- ②　臭気が強くない
- ③　病原菌・寄生虫卵を含まない

B. 土壌や作物にとって安全であること
- ①　施用後急激な分解をしない
- ②　窒素飢餓を生じない
- ③　生育阻害物質を含まない
- ④　有害物質を含まない
- ⑤　塩類濃度が高くない
- ⑥　植物病原菌等を含まない
- ⑦　雑草の種子を含まない

C. 土壌・作物にとって有効であること
- 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

３）堆肥品質の現地判定基準

家畜ふん堆肥は大量に施用されることが多いため、その品質評価は極めて重要な問題である。農家自らが堆肥を自給していた時代には、手触りや外観から経験的に堆肥の品質の判定が可能であった。現在では畜産と耕種が分離し、堆肥の利用者がその製造過程に関与しなくなると、利用する側において品質の判定は困難となる。一般には、生ふんの臭いが無くなって腐熟した堆肥特有の臭いに変化し、黒褐色になって、形状も固まりなく、手で触っても違和感の無い状態で取り扱いやすくなっている堆肥が良い堆肥とみなされる。川辺ら[5)]は製品の外観による判定と生産者からの聞き取りによる判定をそれぞれ４項目設け、項目ごとに配点し、総合点によって堆肥の品質を判定する方法を提案した。その後、**表6-2-2**のように整理され、現在では、様々にアレンジされ、成分分析や生物検定（発芽試験等）と組み合わせて各県の堆肥共励会等での堆肥品質の判定基準として活用されている[4)]。

表6-2-2　堆肥品質の現地判定基準案（文献４に加筆）

色	堆肥化が進むと腐植酸が生成し、黒味が強くなる。 黄～黄褐色（2）、褐色（5）、黒褐色～黒色（10）
形　状	現物の形状をとどめる（2）、かなりくずれる（5）、ほとんど認めない（10）
臭　気	完熟堆肥は独特の土壌臭がする。 ふん尿臭強い（2）、ふん尿臭弱い（5）、堆肥臭（10）
水　分	70％以上の場合、重たく不衛生な感じが強く取り扱い難い。逆に乾燥しすぎていても散布の際に粉塵が発生する。 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つく…60％前後（5）、強く握っても手のひらにあまりつかない…50％前後（10）
堆積中の最高温度	50℃以下（2）、50～60℃（10）、60～70℃（15）、70℃以上（20）
堆積期間	家畜ふんだけ………………20日以内（2）、20日～2ヵ月（10）、2ヵ月以上（20）
	作物収集残渣との混合物…20日以内（2）、20日～3ヵ月（10）、3ヵ月以上（20）
	木質物との混合物…………20日以内（2）、20日～6ヵ月（10）、6ヵ月以上（20）
切返し回数	2回以下（2）、3～6回（5）、7回以上（10）
強制通気	なし（0）、あり（10）

注：（　）内は点数を示す
これらの点数を合計し、未熟（30点以下）、中熟（31～80点）、完熟（81点以上）とする

４）特殊肥料の品質表示

堆肥の施用にあたって主成分（肥料の有効成分）の含有量や原料等について把握することの必要性は非常に高い。そこで、国は堆肥の品質に関し表示すべき事項について、「特殊肥料の品質表示基準」（平成12年8月31日農林水産省告示第1163号）を定めている。以下に示す表示事項は、堆肥のユーザーが、新しく堆肥を購入しようとする際に、製品の選択、使用方法並びに化学肥料の減肥量を検討したりする上で大いに参考にされるべき情報である。

品質表示の様式例を**図6-2-2**に示した。肥料の名称、肥料の種類、届出をした都道府県、表示者の氏名又は名称及び住所、正味重量、生産（輸入）した年月の六項目並びに原料と主成分の含有量等が表示すべき事項として定められている。以上の表示事項は肥料の最小販売単位ごとに、容器又は包装の見やすい箇所に印刷するか、容器又は包装から容易に離れない方法で記載した書面を付すことが求められる。

堆肥は主成分の含有量等として、窒素全量、りん酸全量、加里全量、炭素窒素比（C/N比）の４事項を現物当たりの数値で記載しなければならない。現物当たりの数値で記載することが困難な場合に限り、「主成分の含有量等（乾物当たり）」として乾物当たりの数値並びに水分含有量を表示する。また、豚ぷんを原料に使用し、現物１kg当たり銅全量を300mg以上含有する場合に限り、豚ぷん又は鶏ふんを原料に使用し、現物１kg当たり亜鉛全量を900mg以上含有する場合に限り、並びに、石灰を原料として使用し、現物１kg当たり石灰全量を150g以上含有する場合に限り、それぞれの事項を表示しなければならない。豚や鶏の飼料には、成長促進や飼料効率改善などのために銅、亜鉛がよく添加されているためである。なお、堆肥には苦土、マンガン、ほう素といった多様な肥料成分が含まれているものもある。これらの主成分等について、今般の肥料法の改正により広く表示可能となった。詳細については、「特殊肥料の品質表示基準」[6]を参照願いたい。

肥料の品質の確保等に関わる法律に基づく表示

肥料の名称　ABC堆肥１号
肥料の種類　堆肥
届出をした都道府県　宮崎県
表示者の氏名又は名称及び住所
　ABC肥料株式会社
　宮崎県都城市XXXXXX
正味重量　15キログラム
生産した年月　令和３年12月
（原料）
豚ぷん、鶏ふん、おがくず、消石灰
備考：生産に当たって使用された重量の大きい順である。
主成分の含有量等（乾物当たり）
　窒素全量　4.4　%
　りん酸全量　4.1　%
　加里全量　0.8　%
　銅全量　315　mg/kg
　石灰全量　15.2　%
　炭素窒素比（C/N比）11
　水分含有量　29.0　%

肥料の品質の確保等に関わる法律に基づく表示

肥料の名称　XYZ堆肥１号
肥料の種類　堆肥
届出をした都道府県　宮崎県
表示者の氏名又は名称及び住所
　XYZ肥料株式会社
　宮崎県都城市XXXXXX
正味重量　15キログラム（40ℓ）
生産した年月　令和３年12月
原料　牛ふん、蒸製骨粉、稲わら
備考：
1. 生産に当たって使用された重量の大きい順である。
2. この肥料には牛等由来たん白質が入っていますから、家畜等の口に入らないところで保管・仕様し、家畜等に与えたり、牧草地等に施用したりしないで下さい。
主成分の含有量等（現物当たり）
　窒素全量　1.5　%
　りん酸全量　2.7　%
　加里全量　2.5　%
　炭素窒素比（C/N比）14

文字数字の大きさ8ポイントとする

図6-2-2　表示票の例

3．家畜ふん堆肥の成分的特徴

総じて堆肥の水分は牛ふん堆肥＞豚ぷん堆肥＞鶏ふん堆肥の順で、肥料成分含量は鶏ふん堆肥＞豚ぷん堆肥＞牛ふん堆肥の順であるが、各畜種とも堆肥の成分のバラッキの範囲は極めて広い。家畜ふん堆肥は平均して乾物中50％～75％の有機物を含む。家畜ふん堆肥中の窒素成分はタンパク質などの有機態として大部分が存在し、これらは微生物の働きによって無機化されて初めて作物に吸収利用される。堆肥中の酸性デタージェント（AD）可溶有機物は、窒素肥効に影響を与える。一方、家畜ふん堆肥中のりん酸、加里は多くが無機態で肥効は概して高い。

1）堆肥成分の実態調査

畜産環境整備機構によって、全国の堆肥センター（675カ所）から収集した堆肥約1500点の成分分析値の解析が行われ、「堆肥の品質実態調査報告書」にとりまとめられた[7]。畜種別に見た家畜ふん堆肥の成分組成を**表6-3-1**に示した。本項では各成分平均値に基づいて堆肥の一般的な特徴を示す。

（1）水分含有量

堆肥の含水率の平均値は、牛ふん堆肥が52 %と最も高く、豚ぷんでは37 %、採卵鶏では23 %、ブロイラーでは33 %であった。これは、牛ふんの堆肥化では堆積方式によるものが多く、一方、豚ぷんと鶏ふんの堆肥化では撹拌方式が多いことによる畜種ごとの主たる堆肥化方式の違いが主な原因のひとつと考えられる。

堆肥の含水率が50%以下になると取扱いが容易となり、含水率が30%以下になると散布の際に粉塵が舞いやすくなる。豚ぷんや鶏ふんを材料とした堆肥の袋詰め販売では、含水率が高いと保管・流通・販売の間の微生物活動により、悪臭が生じることがある。ポリ袋は有孔のものが用いられるが、積み重ねによって孔がふさがれ嫌気条件となることもあるので注意が必要である。

（2）pH、EC

一般的な堆肥のｐHは8～9である。畜種別のｐHは採卵鶏ふんで高く、以下、乳用牛、豚、肉用牛、ブロイラーの順であった。副資材の添加によりｐHが低下する傾向にあった。

EC（電気伝導度）は堆肥に含まれる水溶性塩類の影響を強く受ける。副資材として戻し堆肥が用いられるとき、発酵中の堆肥に尿を散布して発酵熱で水分を蒸発させる処理を行うなどするとECの値は高くなる。1994年12月に農林水産省農蚕園芸局長通達「たい肥等特殊肥料に係る品質保全推進基準について」で、家畜ふん堆肥のECの望ましい基準値が5mS/cm以下とされた。上記報告書では、ECの平均値はブロイラー、採卵鶏が高く、牛が低かった。しかしながら全ての畜種でECが5 mS/cmを超える堆肥が見られた。施設園芸を中心とする集約的な作物栽培では、降雨による塩類の流亡・溶脱がないため、ECの低い堆肥を求める傾向がある。ECの高い堆肥は土壌の塩類濃度を上昇させ、浸透圧の増大によって作物の養水分吸収阻害を引き起こすと考えられている。キュウリ、ソラマメ、インゲンは耐塩性が低く、土壌ECの目安は0.4 mS/cm以下である。

表6-3-1 畜種別堆肥の分析結果[7]

畜種	試料数	集計方法	水分*	灰分	pH	電気伝導率 EC	全窒素	全炭素	C/N比	アンモニア	P_2O_5	K_2O	CaO	MgO	銅	亜鉛	発芽率	酸素消費量	評価点数	最高温度	処理期間	持続期間
			%	%		mS/cm	%	%		ppm	%	%	%	%	ppm	ppm	%	μg/g/min		℃	日	日
乳用牛	319	平均	52.3	28.7	8.6	2.4	2.2	36.6	17.6	349	1.8	2.8	4.4	1.5	50	167	97.0	1.7	72.1	70.7	108.1	18.3
		最大	82.9	73.8	9.7	7.7	5.6	46.3	40.8	4,971	13.3	7.7	18.8	6.6	906	893	100.0	8.0	100.0	90.0	400.0	210.0
		最小	15.7	10.1	7.0	0.2	0.9	17.2	7.0	5	0.5	0.2	0.7	0.3	5	43	70.3	0.0	25.0	30.0	4.0	0.0
		標準偏差	14.0	11.4	0.6	1.2	0.7	6.4	5.2	469	1.1	1.2	2.2	0.8	72	93	6.5	1.3	14.0	8.5	69.0	24.9
肉用牛	303	平均	52.2	23.3	8.2	2.6	2.2	39.3	19.0	646	2.5	2.7	3.0	1.3	31	149	96.4	1.5	76.5	72.0	135.2	22.9
		最大	76.6	57.7	9.5	6.2	4.1	45.6	39.3	6,155	6.7	7.1	33.9	3.8	313	575	100.0	8.0	100.0	90.0	400.0	180.0
		最小	10.5	11.2	5.3	0.3	0.9	19.3	9.6	7	0.5	0.4	0.5	0.1	3	35	70.0	0.0	27.0	30.0	7.0	2.0
		標準偏差	13.0	8.3	0.8	1.2	0.6	4.6	5.4	672	1.2	1.0	2.8	0.6	27	76	7.1	1.3	13.6	8.8	83.4	30.0
豚	144	平均	36.7	30.0	8.3	3.6	3.5	36.5	11.4	1,509	5.6	2.7	8.2	2.4	226	606	91.0	2.7	75.0	70.0	93.2	20.0
		最大	72.0	74.2	12.7	7.6	7.2	45.6	26.6	8,354	22.7	6.6	49.3	5.5	654	1,956	100.0	16.0	100.0	85.0	300.0	200.0
		最小	16.6	10.4	5.5	0.7	1.4	20.2	6.0	14	1.6	0.3	1.8	0.7	45	191	4.4	0.0	44.0	45.0	5.0	2.0
		標準偏差	13.1	9.9	1.1	1.3	1.1	4.7	3.8	1,308	2.8	1.1	6.5	1.0	112	332	19.5	3.1	13.0	7.6	65.4	27.4
採卵鶏	129	平均	22.9	50.3	8.9	4.9	2.9	26.2	9.5	1,429	6.2	3.6	25.8	2.2	58	435	90.8	3.9	75.9	70.9	81.2	9.3
		最大	58.7	74.5	10.1	14.6	6.2	39.2	21.5	5,623	20.9	5.8	53.4	5.1	108	843	100.0	14.0	100.0	80.0	365.0	50.0
		最小	6.4	25.8	7.4	1.1	1.4	16.8	4.9	26	1.7	1.2	1.6	0.3	11	172	58.3	1.0	36.0	55.0	2.0	1.0
		標準偏差	10.2	10.4	0.5	1.5	0.9	4.9	2.8	1,098	2.5	1.0	10.3	0.8	17	138	17.6	3.3	14.4	6.3	82.1	8.0
ブロイラー	27	平均	33.0	27.5	7.9	5.0	3.8	37.4	10.6	2,969	4.2	3.6	8.9	1.9	68	351	67.5	6.2	79.5	71.3	139.8	52.2
		最大	60.1	58.4	9.7	7.6	5.6	43.7	20.1	8,339	9.2	7.6	28.0	2.9	114	658	100.0	22.0	100.0	80.0	350.0	300.0
		最小	15.4	15.6	5.8	0.6	2.1	21.6	7.3	11	1.0	1.1	4.2	0.7	31	126	0.0	0.0	57.0	60.0	10.0	2.0
		標準偏差	12.8	11.0	1.1	2.0	1.1	5.6	3.5	2,505	1.8	1.4	6.3	0.5	21	138	41.3	7.2	12.9	5.5	102.9	82.5
混合**	580	平均	45.6	27.6	8.5	3.1	2.5	37.6	16.4	768	3.2	2.9	6.0	1.5	68	255	94.2	2.0	78.5	73.4	113.2	20.5
		最大	78.8	62.6	9.8	8.0	8.1	53.1	44.3	4,814	13.4	7.5	28.3	5.7	414	1,213	100.0	23.0	110.0	100.0	2,150.0	300.0
		最小	5.4	4.7	5.2	0.2	0.9	17.4	3.9	4	0.1	0.2	0.5	0.1	5	19	11.9	0.0	31.0	24.0	1.0	0.0
		標準偏差	14.4	9.2	0.6	1.4	0.9	4.8	5.7	763	1.9	1.1	4.5	0.8	58	165	14.4	2.4	11.9	8.2	133.3	26.8
全体	1,502	平均	45.3	29.1	8.5	3.1	2.5	36.6	16.0	826	3.3	2.9	7.0	1.6	71	266	94.2	2.2	76.2	72.0	112.4	20.2
		最大	82.9	74.5	12.7	14.6	8.1	53.1	44.3	8,354	22.7	7.7	53.4	6.6	906	1,956	100.0	23.0	110.0	100.0	2,150.0	300.0
		最小	5.4	4.7	5.2	0.2	0.9	16.8	3.9	4	0.1	0.2	0.5	0.1	3	19	0.0	0.0	25.0	24.0	1.0	0.0
		標準偏差	16.0	11.9	0.7	1.5	0.9	6.1	5.9	989	2.2	1.1	7.7	0.8	81	211	14.5	2.6	13.3	8.3	102.9	28.8

* 水分は　現物中　それ以外は　乾物中
** 混合とは複数の畜種からなる。

（３）灰分・有機物

灰分は、試料を加熱して空気中の酸素を利用して有機物を酸化分解した灼熱残渣であり、不活性な成分と考えられる。畜種別堆肥中の灰分の平均値は、乳用牛29 %、肉用牛23 %、豚30 %、採卵鶏50 %、ブロイラー28 %であった。採卵鶏の灰分が顕著に高いが、給与飼料が影響して採卵鶏ふんの灰分量が40 %と元来高いことによる。灰分量は乾物重量に対する灼熱残渣の質量分率として定義されるため、100から灰分量の値を差し引いたものが有機物量である。家畜ふん堆肥は平均して乾物中50%～75%の有機物を含むことになる。

（４）C/N比

C/N比はバイオマスに含まれる全炭素と全窒素の質量比として定義され、炭素窒素比や炭素率ともよばれる。微生物による有機物分解のしやすさの指標とされ、一般的にはC/N比が高いほど分解しにくく、低いほど分解しやすいと考えられる。畜種別堆肥中のC/N比の平均値は、乳用牛17.6、肉用牛19.0、豚11.4、採卵鶏9.5、ブロイラー10.6であった。

C/N比は堆肥施用後の窒素の放出とも密接な関係がある。堆肥中の有機態窒素は土壌中でアンモニア態に無機化され、その一部が微生物体を合成するために使われる（窒素の有機化という）。一方で、C/N比が高く窒素が少ないとき、微生物の分解で無機化された窒素だけでなく、土壌中の無機態窒素に対して作物と微生物の間で競合が起こり、植物にとっては窒素欠乏（窒素飢餓）の状態となる。C/N比20付近が窒素の無機化と有機化が均衡する境界と考えられている。しかしながら、このC/N比は全炭素と全窒素との比率であるため、堆肥に含まれる有機物の組成を必ずしも反映していない。現実に乳牛や肉牛、豚ではC/N比が20以上の堆肥も多く販売されており、こうした堆肥でも施用量や施用方法によっては問題を生じることなく利用されているのも事実である。堆肥に含まれる有機物の組成、窒素成分の肥効については後述する。

（５）肥料成分含量

畜種別堆肥中の肥料成分である窒素全量、りん酸全量、加里全量の乾物当たりの含有率（$N:P_2O_5:K_2O$%）の平均値は、乳用牛（2.2：1.8：2.8）、肉用牛（2.2：2.5：2.7）、豚（3.5：5.6：2.7）、採卵鶏（2.9：6.2：3.6）、ブロイラー（3.8：4.2：3.6）であり、一般的に言われているように牛ふん堆肥に比べて豚ぷん堆肥、鶏ふん堆肥で肥料成分が高い。しかしながら、同一畜種でも変動幅は極めて大きく、例えば乳用牛ふん堆肥中成分含有率の最小値%～最大値%は、窒素全量（0.9～5.6）、りん酸全量（0.5～13.3）、加里全量（0.2～7.7）、豚ぷん堆肥の場合でも窒素全量（1.4～7.2）、りん酸全量（1.6～22.7）、加里全量（0.3～6.6）となっており、肥料成分をほとんど含まない堆肥から化学肥料並に肥料成分を含む堆肥まで極めて多様であった。肥料成分の組成が同一のものは33組（約4%）と非常に少なく、このことは堆肥を利用する場合には各堆肥の表示票（**図6-2-2**）を確認して施肥設計を立てて使用することが望ましいことを示唆している。

家畜排せつ物を主原料とした堆肥には、窒素、りん酸、加里、石灰、苦土といった多量要素だけではなく、その他の微量要素（必須要素16元素）が含まれている。こうした微量要素の多くは、堆肥以外の方法で農地に供給されることが少なく、堆肥はこれらの貴重な供給源である。

2）堆肥の有機物組成

家畜ふんに含まれる有機物は、未消化の飼料、剥離した消化管上皮細胞、腸内微生物の残骸等で、脂質、タンパク質、非構造性炭水化物、ヘミセルロース、セルロース、リグニン等からなる。植物質の副資材（敷料）には、ヘミセルロース、セルロース、リグニン等が含まれている。タンパク質、非構造性炭水化物（糖やでんぷん等）は易分解性であり、堆肥の１次発酵で分解が進む。また、ヘミセルロース、セルロースの分解もかなりの程度進むがリグニンの分解は一部に留まる。これらの物質の分解の過程で暗色、不定形の腐植物質の合成と蓄積が進む。

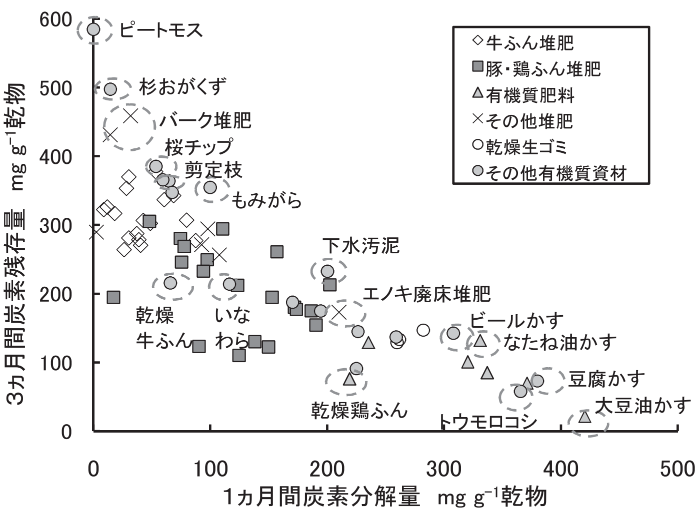


図6-3-1　圃場に埋設した有機物質資材の１か月炭素分解量と３か月炭素残存量

小柳ら[8]は各種有機質資材を圃場に埋設し、１カ月後と３カ月後に資材を取り出し、資材に残存する炭素含量の分析を行った。埋設して１カ月間で分解する炭素分解量と埋設して３カ月間経ても残存する炭素残存量はほぼ負の相関関係にあり（**図6-3-1**）、木質系、バーク堆肥、牛ふん堆肥は１か月炭素分解量が少なく３か月間炭素残存量が多いことがわかった。一方、有機質肥料や生ごみは１か月炭素分解量が多く３か月間炭素残存量が少ない。豚・鶏ふん堆肥は両グループの中間に位置し幅広く分布していた。以上のように、有機質資材は、土壌中での分解性の異なる（易分解性～難分解性）有機物から成ることが分かる。

近年、堆肥等の有機質資材の分解性や窒素肥効評価に、飼料分析で用いられているデタージェント分析が用いられるようになってきた[9)10)]。中性デタージェント繊維（NDF）は、ヘミセルロース、セルロース、リグニンの合計に、酸性デタージェント繊維（ADF）はセルロース、リグニンの合計に、ADLはリグニンに各々おおむね相当する（**図6-3-2**）。飼料分析での酸性デタージェント（AD）可溶有機物には成分として、タンパク質、非構造性炭水化物、脂質、ヘミセルロースが含まれる[11)]。消化と堆肥化を経た堆肥では飼料とはAD可溶有機物の構成成分が異なるであろうが、堆肥の易分解性有機物を評価できると考えられる。

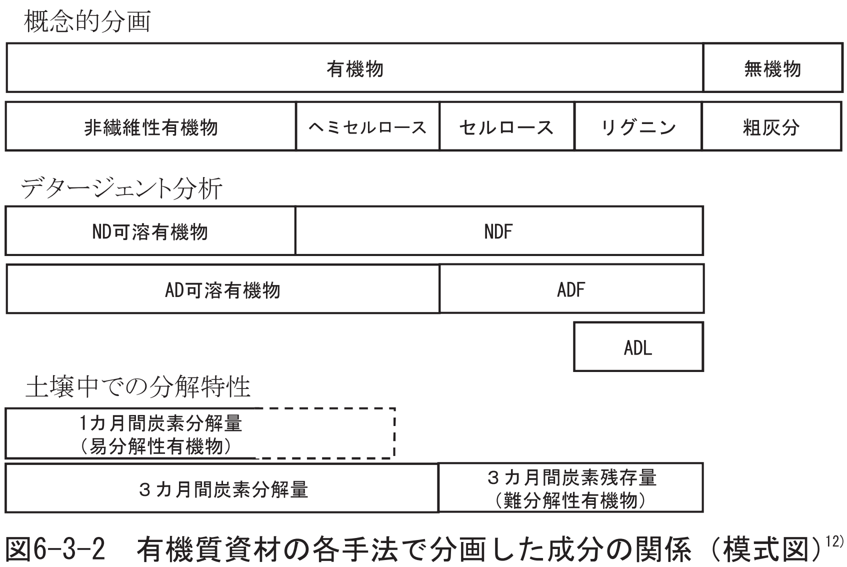


図6-3-2　有機質資材の各手法で分画した成分の関係（模式図）[12)]
ND：中性デタージェント溶液、NDF：中性デタージェント繊維、
AD：酸性デタージェント溶液、ADF：酸性デタージェント繊維、
ADL：酸性デタージェントリゲニン

デタージェント分析で得られた数値と**図6-3-1**で示した有機質資材の炭素分解量およ

び炭素残存量を比較したところ、AD可溶有機物に含まれる炭素の量と１か月炭素分解量との相関は（R^2＝0.841）と高く、AD可溶有機物が易分解性有機物の指標に適していると考えられた。またADFに含まれる炭素の量と３か月間炭素残存量が一部の汚泥を含む資材を除きほぼ1：1で一致することが明らかとなった。以上の関係を**図6-3-2**に模式的に示した。
小柳らはさらに埋設試験を継続しADLに含まれる炭素の量と３年間炭素残存量がほぼ1：1で一致することを明らかとし、ADLが難分解性有機物の指標になることを提言した[12)]。

３）堆肥に含まれる主成分の形態と肥効

（１）窒素

家畜ふん堆肥中の窒素はタンパク質などの有機態窒素として大部分が存在し、これらは微生物の働きによって無機化されて初めて作物に吸収利用されるため、その肥効は無機態窒素から成る化学肥料と異なる。家畜ふん堆肥の化学肥料に対する相対的な肥効を示す指標として肥効率が示されている。畜種別に牛ふん堆肥30%、豚ぷん堆肥50%、乾燥鶏ふん70%という数値が一般的に示されてきたが、実際には同じ畜種でもかなりばらつきがあることが知られており、多様な作物、土壌、堆肥を活用する農業現場では一律の肥効率は適用しにくいことが指摘されている。

堆肥中の無機態窒素の抽出は、土壌からの抽出法を適用し、中性塩水溶液（2mol/L塩化カリウム）を用いる方法が一般的である。これは、中性塩水溶液を用いることで水溶態のものとあわせて、堆肥の陰荷電に吸着されたアンモニウムイオンも交換抽出可能だからである。これに対して、近年、牛ふん・豚ぷん堆肥中に、リン酸マグネシウムアンモニウム六水和物（ストルバイトstruvite、以下MAP）が相当量存在することが報告された[13)14)]。MAPは土壌中では比較的容易に遊離して窒素肥効を示すことが報告されている[15)]。MAPは中性あるいはアルカリ性の水には溶けないが、酸性条件であれば容易に溶解する。牛ふん堆肥および堆積方式や開放撹拌方式で製造された豚ぷん堆肥について、常法の塩化カリウム無機態窒素およびこれにMAP態窒素を加えたものと畑条件で30℃にて4週間培養により生成する培養無機態窒素（堆肥に当初から含まれていた無機態窒素を含む）との関係を調べた[13)]。塩化カリウム抽出無機態窒素とは関係が認められなかったが、これにMAPを加えた場合は多くの堆肥で量的に一致が見られた(**図6-3-3**)。MAPを含めたアンモニア態窒素を抽出できる塩酸を用いることで

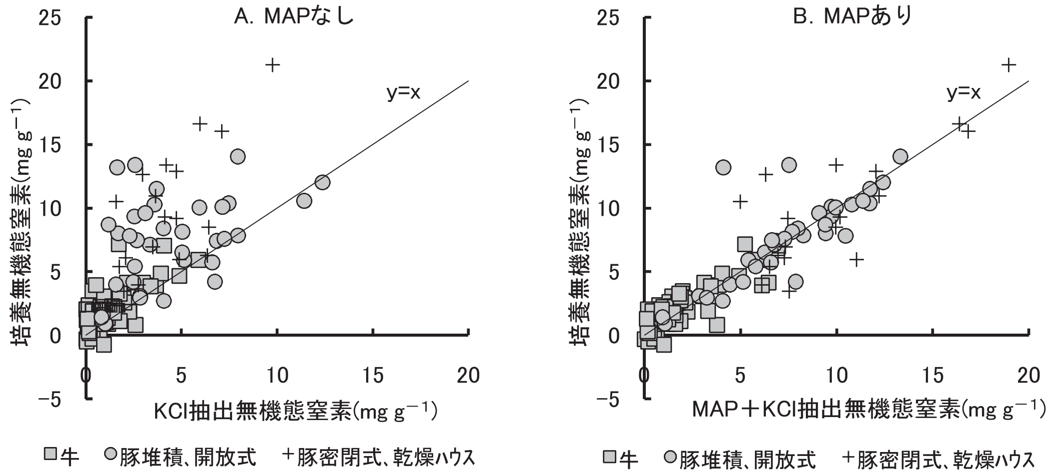


図6-3-3　堆肥中無機態窒素のMAPの有無と4週培養無機態窒素の関係[13)]

堆肥中の窒素肥効を正しく評価できるものと考えられた。

次に、棚橋・小柳（2010）は両者の関係（**図6-3-3B**）が一致しない一部の堆肥についてその原因が易分解性有機物の関与にあると考え、酸性デタージェント（AD）可溶有機物含量が窒素無機化パターンに及ぼす影響について検討した。牛ふん堆肥33点、豚ぷん堆肥24点について、3～84日間の培養を行った結果をAD可溶有機物含量レベルごとに分類して**図6-3-4**に示した。AD可溶有機物含量175mg/g以下では培養無機態窒素の増減がほとんどなく、AD可溶有機物含量175mg/gから250mg/gでは培養初期の3日から7日に有機化（無機態窒素の減少）が見られる堆肥が数点存在するが、無機化と有機化がほぼ均衡していた。一方、AD可溶有機物含量250mg/g以上では、全ての堆肥で一旦有機化した後に無機化に転じる窒素無機化パターンを示すことが分かった。すなわち、**図6-3-5**に示すようにAD可溶有機物が250mg/g未満の場合では、堆肥中に当初含まれる無機態窒素（0.5M塩酸溶液により抽出されるMAPを含む無機態窒素）により窒素肥効が推定できると考えられた。一方AD可溶有機物が250mg/g以上の堆肥では、後効きする緩効性の窒素を酸性デタージェント分解で可溶化する窒素（AD可溶窒素）から**式6-１**により推定するように提案された[17]。

緩効性窒素（mg/g）=AD可溶窒素（mg/g）×0.5-2.5　**（式6-1）**

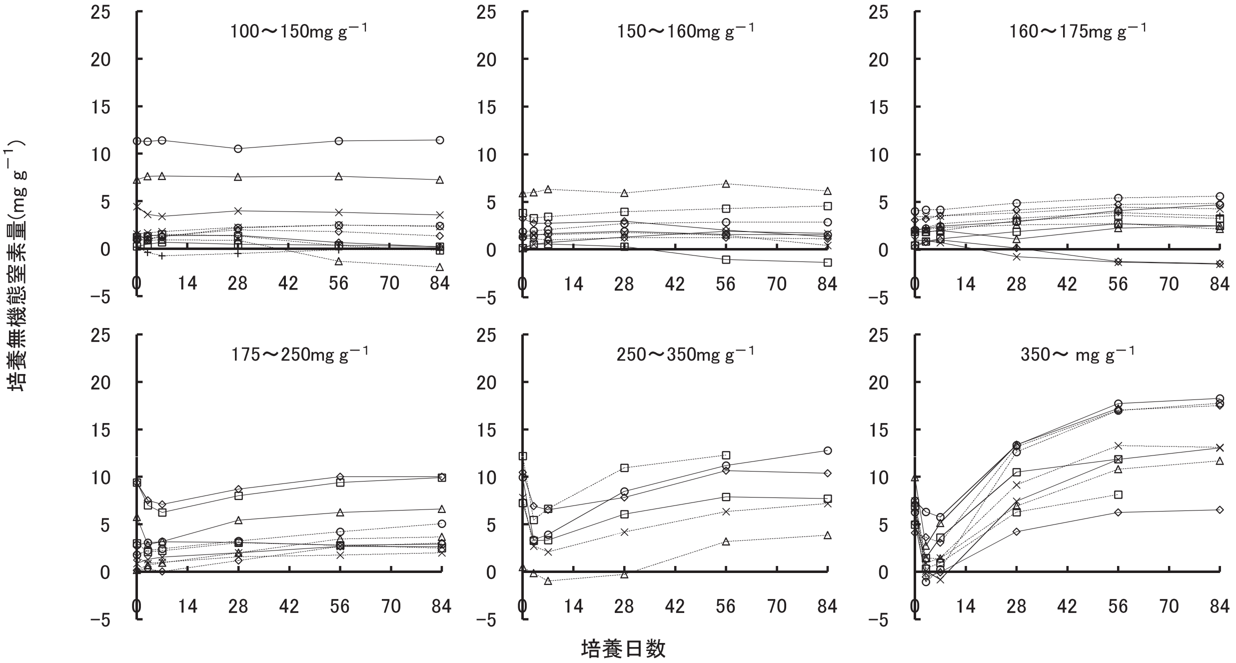


図6-3-4　AD可溶有機物含量ごとの窒素無機化パターン[13]

岐阜県農業技術センターでは、県内で生産されている堆肥について、本分析法による無機態窒素、速効性窒素、緩効性窒素の分析結果をC/N比、りん酸、加里、石灰、苦土の成分含有率や堆肥供給者の連絡先、堆肥化原料や堆肥化方式とともに「岐阜県堆肥供給者リスト」として公開し、堆肥の適正利用の推進を図っている[18]。

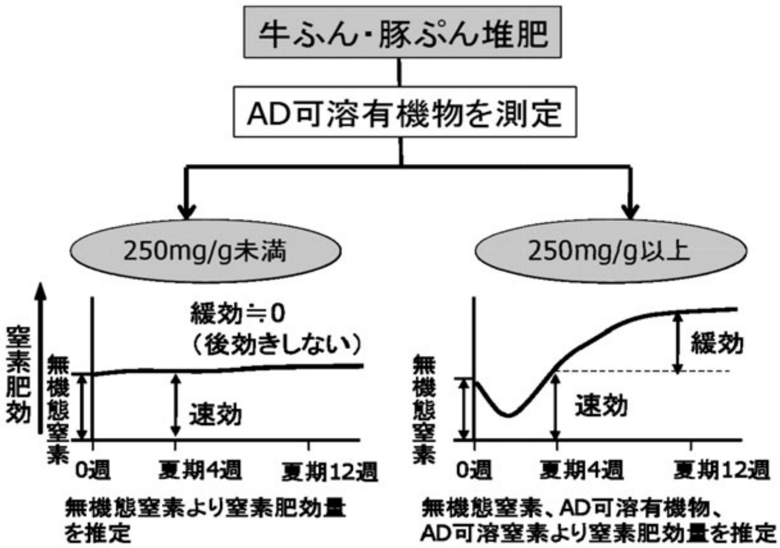


図6-3-5　牛ふん堆肥・豚ふん堆肥の窒素肥効評価法[17]

一方、副資材を含まない採卵鶏ふんでは、鶏ふん中の尿酸によって窒素肥効が制御されていることが明らかにされた[19]。新鮮鶏ふん中の全窒素の約50％は、尿酸態窒素であるが、尿酸はシュードモナス属細菌などによって非常に分解されやすい。堆積方式による堆肥化では尿酸態窒素の消失は大きいが、縦型密閉型などの堆肥化方式によっては消失が少ない。鶏ふん堆肥の窒素肥効評価は尿酸の測定で可能であるが[19]、副資材を含まない採卵鶏の鶏ふん堆肥では、より簡易に全窒素含量の分析値を用いて、全窒素%の二乗で速効性と緩効性窒素の合計量が推定できる（例えば、全窒素4%の鶏ふん堆肥は、16 kg/t)。うち、緩効性窒素は2 kg/t（一律）と見積もられる。尿酸は施用直後から窒素の放出が起こるため化成肥料的な使い方となり、その放出は１～2か月持続する。分析体系の詳細については、岐阜県農業技術センターのホームページで紹介されている「家畜ふん堆肥の肥効評価の解説と分析マニュアル」を参照されたい[17]。

家畜ふん堆肥を連年施用することで見かけ上窒素無機化量の増大が見られることが知られている。その効果については土壌可給態窒素の増加量から評価することが提案されている。可給態窒素は、土壌培養により無機化する窒素で評価するのが一般的であるが、測定に1ヶ月かかること、操作が煩雑であることなどから土壌診断の分析項目に含まれていなかった。そこで、80℃水抽出－COD測定による畑土壌可給態窒素の簡易・迅速評価法が開発されている[20][21]。

（２）りん酸

家畜ふん堆肥中のりん酸は、窒素同様に、無機態と有機態の両方の形態で存在するが主要な形態は無機態である。無機態りん酸は、過燐酸石灰に含まれるリン酸二水素カルシウムのように溶解性の高いものから、ハイドロキシアパタイトのように難溶性のものまで含まれている。横田ら[22]、伊藤ら[23]は、土壌りん酸の分画法を下水汚泥に適用したFrossardら[24]による逐次抽出法に倣って無機態りん酸を分画して、家畜ふん堆肥のりん酸組成を特徴付けた。この方法によれば、①水抽出りん酸、②易溶性のカルシウム・マグネシウム型りん酸（重炭酸ナトリウム抽出)、③鉄・アルミニウム型りん酸（水酸化ナトリウム抽出)、④難溶性のカ

ルシウム・マグネシウム型りん酸（塩酸抽出）に分画可能である。なお、抽出残さに含まれるりん酸を有機態であるとみなした（**図6-3-6**）。

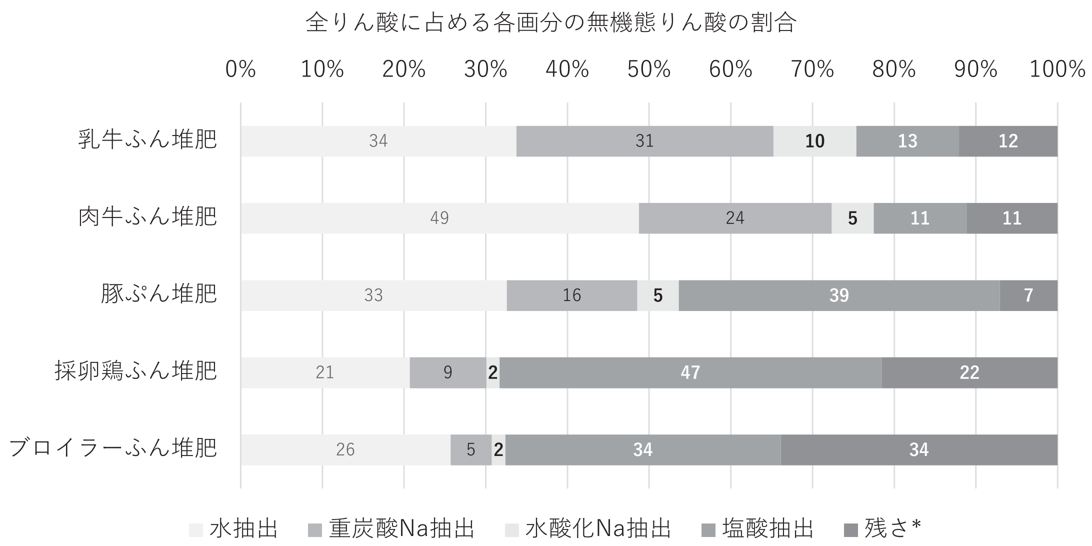


図6-3-6　原料ふんの畜種が異なる家畜ふん堆肥のりん酸組成（文献22と23より作図）

家畜ふん堆肥に含まれる有機態りん酸（残さ画分）の割合は、畜種毎の平均で7～34％であり（**図6-3-6**）、家畜ふん堆肥のりん酸の主体は無機態であることがわかる。逐次抽出法で分画された無機態りん酸の組成は畜種によって異なり、易溶性りん酸（水抽出りん酸＋重炭酸ナトリウム抽出りん酸）の割合は牛ふん堆肥で高く（全りん酸の約70％）、次いで豚ぷん堆肥（同50％）、鶏ふん堆肥で低かった（同約30％）。難溶性の塩酸抽出りん酸の割合は採卵鶏ふんで最も高い割合を示し（同47％）、有機態りん酸の割合は他の畜種と比較してブロイラー、採卵鶏ふん堆肥で高かった（同各、34％、22％）。

以上から、溶解性を根拠にりん酸の肥効率を牛ふん堆肥で70％、豚ぷん堆肥で50％、鶏ふん堆肥で30％と設定することが可能である。しかしながら、実際のりん酸肥効は堆肥のりん酸組成に加えて堆肥の性状、土壌、作物など多くの要因によっても影響を受ける。家畜ふん堆肥施用後の土壌の可給態りん酸値が、褐色低地土とりん酸固定力の高い黒ボク土で大きく異なる[25]ことからもわかるように、この“肥効率”は、土壌のりん酸固定力の違いによって変動する。

しかしながら、栽培試験における家畜ふん堆肥の肥効率は含有するりん酸形態から想定される肥効率よりも高く100％、またはそれ以上であることが報告されてきた[25][26][27]。このことは、家畜ふんに含まれる多様な形態のりん酸は全体として、水溶性の化学肥料りん酸と同程度以上に作物に利用可能であることを示唆している。その理由として、堆肥に含まれるりん酸の一部は溶解速度が遅いこと、有機物に覆われているため土壌の固定を受けにくいことが考えられる。さらに堆肥とともにりん酸が存在すると肥効が高まる効果があること、粉状に比べて造粒品で肥効が高いこと、乾燥した堆肥に比べ含水品では肥効が高いことなどが明らかになった[28][29]。

堆肥中のりん酸肥効に及ぼす要因は様々あるが、日本の農耕地土壌ではりん酸は集積傾向にあり、堆肥に含まれるりん酸相当量で化学肥料りん酸を代替しても実用上の問題は無いと

考えられる。ただし、副資材を含まない採卵鶏ふん堆肥の低水分・粉状品の調査結果から、有機態（フィチン態）りん酸割合が概ね20 %以上では肥効率が100 %を下回ることが示されている[30]。密閉縦型堆肥化装置により短期間で製造された堆肥や乾燥鶏ふんの粉状品では、りん酸肥効率が低くなることに注意が必要である。

（3）加里

家畜ふん堆肥中の加里については、窒素、りん酸とは異なり無機態として存在している。さらに大部分が有効態（水溶性ないしク溶性）である[31]（**図6-3-7**）。**表6-3-2**には、キャベツの栽培試験で加里全量を牛ふん堆肥で代替した結果を示した[32]。加里利用率は化学肥料より大きく、りん酸同様加里についても肥効率100%として化学肥料を削減しても実用上の問題は無いと考えられる。一方で、堆肥は作付け数週間前に施用されることが多いため露地では、降雨による溶脱による加里成分の流亡に留意する必要がある。

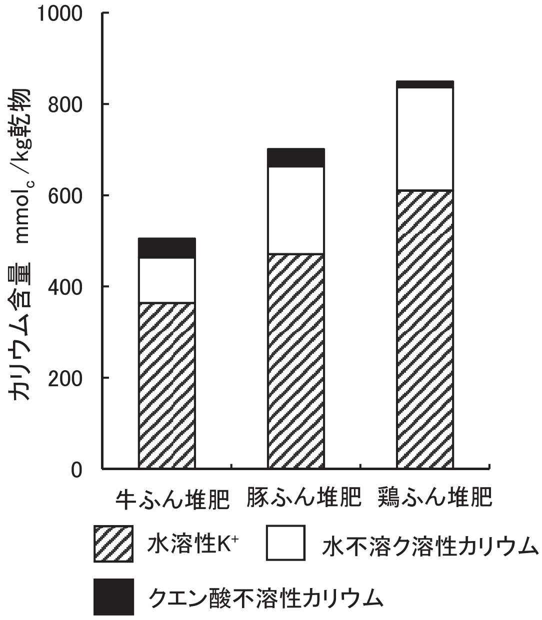


図6-3-7　家畜ふん堆肥中の加里の形態[31]

牛ふん堆肥19点、豚ふん堆肥19点、鶏ふん堆肥12点の平均値で示した。ク溶性画分は、純水に不溶であるが弱酸であるクエン酸に可溶の画分であり、水溶性の画分と合わせて作物に対して有効であるとみなされる。

表6-3-2　キャベツ栽培における収量、加里吸収量、加里利用率[32]

	加里施用量 (kg/10a)	結球部収量 (kg/10a)	外葉部収量 (kg/10a)	加里吸収量 (kg/10a)	加里利用率 %
牛ふん堆肥A	22	7,276	3,368	34	119
牛ふん堆肥B	22	8,410	3,593	39.4	143
化学肥料（硫酸加里）	22	6,017	3,661	29.6	99
無肥料区	—	1,253	305	7.9	—

（4）堆肥造粒の利点

堆肥をより一層利用しやすくするための１つの方策として、堆肥の成形が行われてきた。

成形される形状としては種々あるが、ペレット（円筒）状に造粒されることが多い。堆肥を造粒すると取扱性および保管性が改善され、広域流通が可能となる[33]（**表6-3-3**）。造粒の効果はこれに留まらず、肥料効果の向上にも寄与することが明らかとなった。ペレット堆肥では、易分解性有機物の分解に伴いペレット内部が嫌気的になるとともに発生したアンモニアによるpH上昇等の影響により硝化が抑制され、硝酸イオンに随伴する塩基の溶出が遅延すること[34]や、造粒により土壌との接触が少なくなることで土壌りん酸固定が抑制されりん酸肥効の向上[28]が図れることが報告されている。

表6-3-3　堆肥成形の利点（文献33より作成、加筆）

利　点		内　容
1.	貯蔵容積の減少	貯蔵容積が40％に減少。
2.	輸送性の改善	重量が約60％に減少。
3.	貯蔵中の成分保持	含水率が15％以下のため、カビの発生が防止され成分を維持
4.	散布性の改善	同一成分量で単位面積当たりの散布重量を減少するとともに化学肥料散布機で代替できる。
5.	肥効の均質性	成型堆肥中の成分含量はほぼ均質になっている。また、成型堆肥のおおきさにより一定の肥効パターンを示す。
6.	肥効の向上	硝化遅延による窒素肥効の向上、りん酸肥効の向上が認められる。

４．家畜ふん堆肥の施用効果と適正施用

家畜ふん堆肥は有機物含量も高く、肥料成分も比較的豊富に含んでいるため、古くから肥料及び土壌改良資材として農地に還元利用されてきた。家畜ふん堆肥の施用により、土壌中の養分及び有機物含量が高まり、物理的、化学的及び生物的な面から土壌が総合的に改善されて作物の増収及び安定生産に寄与することは一般によく知られている。しかしながら、家畜ふん堆肥の処理を優先して農地に過剰に施用した場合には、養分バランスの悪化、それに伴い作物生育と品質、並びに環境に与える影響が懸念される。

１）堆肥連用の効果

家畜ふん堆肥の施用は、地力の維持・増進に対する重要かつ基本的な方法のひとつである。家畜ふん堆肥は有機物含量も高く、肥料成分も比較的豊富に含んでおり、連用により土壌有機物含量が次第に増加し、それに伴い、窒素無機化量や可給態窒素含量が増加するが、家畜ふん堆肥の施用量を増すとその量も増大する。

堆肥を連用すると土壌有機物含量が増加し、土壌の物理性が改善される。こうした土壌では、団粒構造の発達が認められる。固相率及びかさ密度が低下するとともに空隙量が増加し、土壌が膨軟となり、易耕性、通気性、透水性及び保水性が増大し、作物の根群域が拡大し、過湿および過乾による生育障害を回避できる。とくに有機物の含量の低い非火山灰土においては、堆肥連用による物理性改善の効果は顕著である。例えば香西・平木[35]は中粗粒質灰色低地土における水稲－タマネギの作付体系で牛ふん堆肥を20年間連用した場合、粗孔隙の増加とかさ密度の低下がみられたことを報告した。また、黒柳ら[36]は、中粗粒黄色土にオガクズ入り牛ふん堆肥を夏冬作毎に2t/10a施用すると土壌のかさ密度が低下し、易効性有効水分の増加による保水

性の向上が認められ、その結果大豆と小麦の収量が増加することを報告した。

土壌の有機物含量の増加は緩衝作用を増大させ、土壌pHの変動を抑制するとともに、化学肥料の多量施用に対しても、濃度障害の軽減効果がある。また、低温、干ばつなど作物の生育環境が不良な条件下においても、それらの衝撃を緩和する作用を有しているとみられている。わが国に広く分布する黒ボク土壌や酸性土壌には活性アルミニウムが多く含まれており、それによって作物が障害を起こしたり、施用したりん酸が強く吸着（固定）されて作物に利用できなくなったりする。家畜ふん堆肥の中には、キレート作用を有する腐植酸、有機酸あるいは糖類などが含まれ、土壌中の鉄やアルミニウムと結合して、活性アルミニウムの作物への有害作用を軽減するとともに黒ボク土壌のりん酸吸収係数も漸減させ、可給態りん酸を増加させる（**図6-4-1**）。窒素だけでなく、りん酸や加里も累積的に土壌中に蓄積するが、それらと同時にカルシウムやマグネシウムも陽イオン交換能力の高い土壌有機物の増加によって土壌に保持され、塩基状態が改善される[37]（**図6-4-1**）。

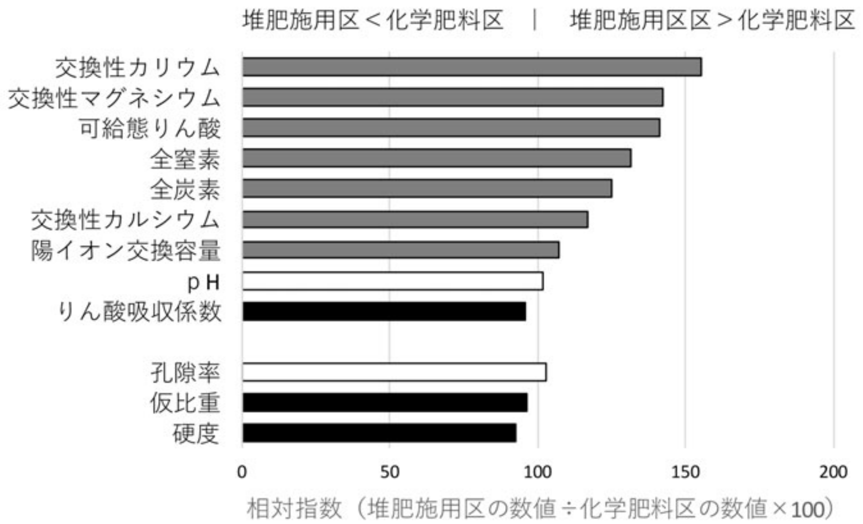


図6-4-1　畑土壌に対する有機物施用の効果（文献37より作図）
土壌環境基礎調査事業の1976～1983年の畑68カ所の結果に基づく。有機物区は各種堆肥を１作あたり約1.5t/10aずつ上乗せ施用

堆肥施用による土壌病害の抑制は広く研究されており、様々な作付体系でいくつかの土壌伝染性病原菌を抑制することが知られている[38)39)]。堆肥施用によって、有機物の分解に関与する土壌動物、糸状菌、放線菌、細菌など多様な生物群が棲息するようになる（**図6-4-2**）。これらの生物群はそのサイズに応じて団粒内外に主要な棲息の場を確保する[40)41)]。これにより生物相の多様性が維持され、植物病原微生物と拮抗するなど土壌の生物的緩衝能が増大するためと言われている。しかしながら、堆肥連用に農薬のような速効的でかつ幅広い病害虫に対する効果を期待することは難しい[42)]。堆肥はそれぞれ特性が大きく異なり、その結果、土壌病原の抑止力も異なる。不適切な堆肥の施用によって病害発生を助長することもあることに留意すべきである。

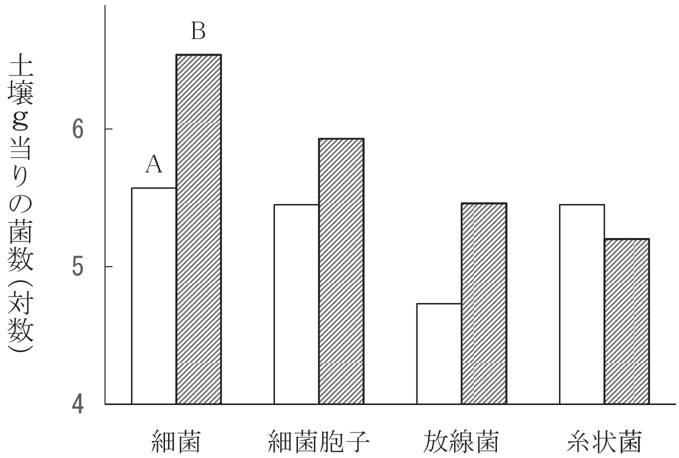


図6-4-2　土壌団粒外部と内部の微生物フロラ[40)]

２）堆肥の施用基準

農林水産省において平成20年に「土壌管理のあり方に関する意見交換会」（座長：木村武農研機構）が開催され、堆肥の種類別の施用基準値が設定され、地力増進基本指針[43)]に反映された。この基準値は、毎年減少する土壌有機物を年々の営農の中で堆肥等の適正な施用により補給して維持する観点に加え、有機質資源の循環利用の促進の観点を踏まえ堆肥施用量の下限値として設定された（**表6-4-1**）。

表6-4-1　堆肥連用条件下における１年１作の場合を想定した堆肥施用量の基準値(単位：t/10a)[43)]

【水稲】	黒ボク土		非黒ボク土	
	寒地	暖地	寒地	暖地
稲わら堆肥	1	1	1	1
牛ふん堆肥	0.3	0.3	0.3	0.3
豚ぷん堆肥	0.15	0.15	0.15	0.15
バーク堆肥	1	1	1	1

【畑作物】	黒ボク土		非黒ボク土	
	寒地	暖地	寒地	暖地
稲わら堆肥	2	4	1.5	1.5
牛ふん堆肥	1.5	2.5	0.5	1
豚ぷん堆肥	1	1.5	0.3	0.5
バーク堆肥	1.5	2	1.5	1.5

【野菜】	黒ボク土		非黒ボク土	
	寒地	暖地	寒地	暖地
稲わら堆肥	2.5	4	2.5	2.5
牛ふん堆肥	1.5	2.5	1	1
豚ぷん堆肥	1	1.5	0.5	0.5
バーク堆肥	2.5	2.5	2.5	2.5

【果樹】	黒ボク土		非黒ボク土	
	寒地	暖地	寒地	暖地
稲わら堆肥	2.5	2.5	2	2
牛ふん堆肥	1.5	1.5	1	1
豚ぷん堆肥	1	1	0.3	0.3
バーク堆肥	1.5	1.5	1.5	1.5

表示した値は標準的な堆肥での値で、現物当たりの窒素含有率は，稲わら堆肥0.42%，牛ふん堆肥0.71%，豚ぷん堆肥1.35%，バーク堆肥0.48%，暖地は高標高地を除く関東当会以西が相当し，寒地は東北と北海道が相当する。

対象とされた堆肥は、稲わら堆肥、牛ふん堆肥、豚ぷん堆肥、バーク堆肥の4種類として、鶏ふん堆肥については、地力の維持・増進効果が小さいことから施肥基準の設定対象とされなかった。作物の区分は、水稲、畑作物（野菜を除く）、野菜および果樹の４区分とし、土壌有機物の分解率の違いを踏まえて土壌の種類（黒ボク土・非黒ボク土）、地帯（寒地・暖地）の区分が設定され、施用量は標準的な堆肥での例で示された。**表6-4-1**の運用にあたって、堆肥

中の肥料成分を考慮した施肥設計が必要であり、堆肥の施用に係る指導と併せ、減肥マニュアル等に基づく減肥指導の徹底に努めるものとするとの注意書きが示されている。

「土壌管理のあり方に関する意見交換会」の報告書[44]では、特別栽培などで堆肥施用量を増やしたときに化学肥料をどれだけ減肥したら良いかについてのガイドラインが表6-4-2としてまとめられた。また、堆肥が肥料成分の供給に加えて土壌物理性の改善のために施用されることが多いことから、その際に、養分過剰によって生産の低下や環境負荷を生じないよう上限値を記している。具体的には堆肥中の有効窒素が施肥基準を超過することがないような水準として堆肥の施用上限値が設定されている（表6-4-3）。

なお、わが国では通常、都道府県ごとに堆肥の施用基準が定められており、都道府県が地域の実態を踏まえて改めて設定することになる[45]。

表6-4-2　堆肥１tあたりの減肥量（kg/10a）[44]

	減肥量（kg/10a）			
	窒素		りん酸	加里
	水稲	畑作物		
稲わら堆肥	1.0	1.7	2.0	2.9
牛ふん堆肥	2.1	4.3	7.0	4.8
豚ぷん堆肥	4.1	8.1	19.4	6.9
バーク堆肥	1.1	1.9	3.1	1.8

本減肥量は、たい肥の種類によって異なることから、都道府県ごとに地域で標準的に 使用されるたい肥の成分含有量等を踏まえて設定することが望ましい。

表6-4-3　堆肥連用条件下における１作あたりの堆肥の施用上限値（単位:t/10a）[44]

	作物			
	水稲	畑作物	野菜	果樹
稲わら堆肥	4.5	9	14	13
牛ふん堆肥	2	3.5	5	5
豚ぷん堆肥	1	2	2.5	2.5
バーク堆肥	4	8	12	11

注１ 本数値は、堆肥連用条件下における１作当たりのたい肥の施用上限値である。
注２ 本数値は、堆肥等有機物分析法（(財) 日本土壌協会）及び土づくりと土壌改良資材（全国肥料商連合会、全国農業技術員会協議会）の標準的な堆肥の成分含有量を用いて算出したものであり、施用する堆肥の成分含有量により変動する。

３）過剰施用の影響

堆肥による土づくりを進めるには、施用する堆肥の質と量に注意し、適正施用を行うことが大切である。すなわち適正施用の基本的考え方は、作物の生育と品質に悪影響を及ぼさないことと土壌、水質、大気等の自然環境の保全に配慮することである。

本章第２節において堆肥の品質について備えるべき条件（表6-2-1）を挙げ、品質の現地判定基準（表6-2-2）を示した。また、肥料袋に印刷ないし、生産業者から付与された品質表示によって肥料成分含量を把握でき、適正な施肥に役立てられることを示した。さらに、前項に

おいて、「土壌管理のあり方に関する意見交換会」により報告された、堆肥連用条件下における１作あたりの堆肥の施用上限値を示した（**表6-4-3**）。品質が良好な堆肥を適正量施用するならば、堆肥施用の効果を得ることができる。しかし、品質が良好な堆肥であっても含有する肥料成分含量を無視し、過剰に施用した場合には、農地土壌の養分バランスの悪化、それに伴う作物生育および環境に与える影響が懸念される。

易分解性有機物が多く残った堆肥を多量に施用すると、土壌中で微生物が急激に増殖して、土壌中の酸素を消費して土壌が還元状態になる。特に、排水の不良な粘土質土壌などではこの傾向は顕著であり、作物は根腐れなどを起こしやすくなる。この場合には、施用後一定期間を経て微生物の活動が低下してから播種などの作業を開始する必要がある。また、易分解性有機物の急激な分解に伴い土壌中のアンモニウム態窒素の濃度が高まると、土壌微生物による硝化作用を受けて硝酸態窒素に変化する。土壌中の窒素濃度が高まれば、作物体中の硝酸態窒素の含有率が高くなる。このような硝酸態窒素濃度が高い飼料を牛に給与した場合、第1胃内の微生物により還元され亜硝酸態窒素になり吸収される。亜硝酸態窒素は赤血球中のヘモグロビンをメトヘモグロビンに変え、ヘモグロビンの酸素運搬機能を阻害し酸素欠乏を生じさせ、乳量低下や下痢、体調不良を起こし、ときには死に至ることもある。アンモニウムイオンは陽イオンであるため土壌によって比較的保持されやすいが、硝酸イオンは陰イオンであるため土壌に保持されにくく、雨水によって容易に洗い流され、地下水の汚染や水域の富栄養化の原因となる危険性がある。また、硝酸化成並びに硝酸態窒素の脱窒の両過程で温室効果ガスの一酸化二窒素が発生する。堆肥の場合でも化学肥料と同様に過剰施用すれば環境汚染の原因になる可能性があることに留意すべきである。

一方、オガクズなどの難分解性資材を含む堆肥を多量に施用すると、土壌中の毛管を切断して水の上方への移動を妨げ、干ばつの被害を受けやすくなることがある。

家畜ふん堆肥に含まれる塩基の中ではカリウムの含有量が比較的高いため、草地・飼料畑で大量に施用すると飼料作物がカリウムを多く吸収し、拮抗作用によってカルシウムやマグネシウムの吸収が抑制されて作物体中のミネラルバランスが崩れる。給与飼料中のカリウム乾物濃度が3 %以上になると、グラステタニー症を引き起こす要因となる。さらにイオンバランスが崩れ、カルシウム代謝の低下をまねき、低カルシウム血症など周産期疾病の一因となる。

輸入飼料を通じて牛ふん堆肥に残留する除草剤成分（クロピラリド）による作物の生育障害が散見されている[46)]。クロピラリドは、家畜や人に対する毒性は極めて低いが、ナス科、マメ科、キク科などの感受性作物では生育障害を引き起こしたり、新しい葉がねじれて奇形になったりし、場合によっては枯死に至る。クロピラリドを原因とする生育障害の発生のしやすさは、作物の種類によってかなりの差があり、イネ科、アブラナ科、果樹類等は耐性が高い。クロピラリドは、揮発しにくく、難分解性で堆肥化しても分解が進まず堆肥化前後でクロピラリドの濃度はほとんど変化しない。家畜ふん堆肥を施用する場合には各都道府県の施肥基準等に即し、堆肥の施用量および施用方法を遵守する。クロピラリドの問題については堆肥を作る側と使う側が意思疎通し適切に対応すれば障害発生を避けることが可能である。

５．普通肥料原料としての利用

家畜ふん堆肥は、法律上特殊肥料に分類され、生産・販売に当たって都道府県知事への届出が必要である。届出済みの家畜ふん堆肥は混合堆肥複合肥料の原料として利用できるほか、2020年12月より硫安や油かす等の普通肥料と混合して指定混合肥料として生産・販売できるようになった。

１）法令

「肥料の品質確保等に関する法律」（昭和25年法律第127号。旧肥料取締法。以下、肥料法）は「肥料の品質等を保全し、その公正な取引と安全な施用を確保するため、肥料の規格及び施用基準の公定、登録、検査等を行い、もって農業生産力の維持増進に寄与するとともに、 国民の健康の保護に資すること」を目的として制定された法律である。この法律において「肥料」は、「植物の栄養に供すること又は植物の栽培に資するため土じょうに化学的変化をもたらすことを目的として土地にほどこされる物及び植物の栄養に供することを目的として植物にほどこされる物をいう。」（肥料法第二条第一項）と定義されている。同法の規制範囲は施肥を目的として生産される化学肥料に留まらず、 産業副産物である家畜ふん堆肥や米ぬか等も含まれる。

肥料法では、肥料を特殊肥料と普通肥料の２つに大別しており、前者は、米ぬか、堆肥等農家の経験によって識別できる単純な肥料や製品価値がその主成分のみによらない肥料で農林水産大臣が指定した肥料ををいう（肥料法第二条第二項）。特殊肥料以外の肥料はすべて普通肥料とされる。普通肥料はさらに、大臣又は知事への登録が必要な登録肥料と、届出で生産可能な指定混合肥料に分けられる。

特殊肥料を指定する件（昭和25年農林省告示. 第 177号）において、堆肥は次のように定義されている。「わら、もみがら、樹皮、動物の排せつ物その他の動植物質の有機質物（汚泥及び魚介類の臓器を除く。）を堆積又は撹拌し、腐熟させたもの（尿素、硫酸アンモニアその他の腐熟を促進する材料を使用したものを含む。）をいう。汚泥および魚介類の臓器を堆積又は撹

表6-5-1　特殊肥料として堆肥を生産する上での留意点

原料又は材料	留意点
汚泥	下水汚泥、し尿汚泥、工業汚泥を使用する場合、「汚泥肥料」として登録が必要となる*。
魚介類の臓器	イカの内臓、ホタテのウロなどの魚介類の内臓を使用とする場合、「水産副産物発酵肥料」として登録が必要となる*。
動物由来のたんぱく質	動物由来たん白質を使用する場合、表示が必要である**。 （ア）牛、めん羊又は山羊（以下「牛等」という。）由来の原料を含まない場合 この肥料には、動物由来たん白質が入っていますから、家畜等の口に入らないところで保管・使用して下さい。 （イ）牛等由来の原料を含む場合又は原料事情等により含む可能性がある場合 この肥料には、牛等由来たん白質が入っていますから、家畜等の口に入らないところで保管・使用し、家畜等に与えたり、牧草地等に施用したりしないで下さい。
尿素や硫安等	腐熟を促進する目的で使用された場合、その旨表示が必要である**。尿素や硫安等は、腐熟促進材として「堆肥」に使用することはできるが、肥料成分を引き上げる目的で使用することはできない。
凝集促進材	動物の排せつ物の処理に凝集促進材を使用したものを原料とする場合、農林水産大臣により指定された以下の凝集促進剤***を使用した原料に限り、これを使用した堆肥は特殊肥料として生産・販売できる。 1.　ポリアクリルアミド系高分子凝集促進材 2.　ポリアクリル酸ナトリウム系高分子凝集促進材 3.　ポリアクリル酸エステル系高分子凝集促進材 4.　ポリメタクリル酸エステル系高分子凝集促進材 5.　ポリアミジン系高分子凝集促進材 6.　アルミニウム系無機凝集促進材 7.　鉄系無機凝集促進材

* 肥料の品質の確保等に関する法律に基づき普通肥料の公定規格を定める等の件（昭和61年 2月22日 農林水産省告示第 284号）
**特殊肥料の品質表示基準を定める件（平成12年 8月31日　農林水産省告示第1163号）
***特殊肥料を指定する件（昭和25年6月20日農林省告示第177号）

第6章　堆肥の利用

撹拌し腐熟させたものは特殊肥料ではなく、普通肥料の汚泥発酵肥料及び水産副産物肥料とされる。家畜排せつ物の処理過程で凝集促進材を使用している場合には、その凝集促進材が、指定されたものである必要がある（**表6-5-1**）。

２）特殊肥料生産の届出

家畜排せつ物を収集・処理し、これを自家で利用する限りにおいては、肥料生産の届出をする必要が無い。しかしながら、第三者に対しこれを販売ないし譲渡（無償を含む）する場合は、都道府県知事に対して生産を開始する１週間前までに届出が必要である。届出の際には、届出書に添えて、成分分析表、生産工程の概要や表示等を提示し、届出に当たっては使用できない原料（**表6-5-1**）が使用されていないか、法令に沿って正しく表示がされているか、都道府県に説明する必要がある場合がある。また、届出事項に変更があった場合並びに廃止をした場合には２週間以内にその旨届出が必要である。

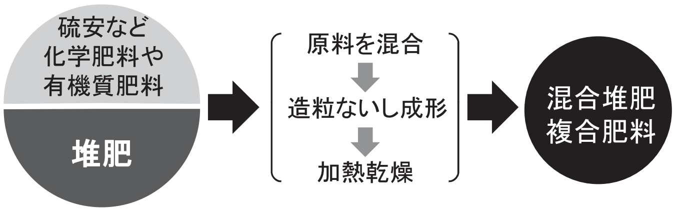
３）混合堆肥複合肥料

混合堆肥複合肥料は2012年9月に設定された堆肥を原料の一部とする登録肥料である。複合肥料とは、肥料の三要素である窒素、りん酸、加里のうち、主成分として二成分以上含む肥料を言う。代表的な複合肥料に化成肥料がある。混合堆肥複合肥料に用いることのできる堆肥は、動物の排せつ物を主原料とする堆肥については、乾物として窒素全量が2.0%以上、食品由来の有機物を主原料とする堆肥については、乾物として窒素全量が3.0%以上とし、ともに、窒素全量、りん酸全量または加里全量の合計量が5.0%以上であるものを使用するとされている（**図6-5-1**）。さらに原料としての品質を確保するため、原則として特殊肥料の届出がされたものを使用するよう指導されている。混合堆肥複合肥料では、肥料原料混合の造粒または成形後に加熱乾燥をすることが求められている。また、含有すべき主成分として、窒素、りん酸または加里のいずれか２成分以上について主成分の量の合計量が2.0%以上必要である。

種類	窒素含量	窒素りん酸加里の合計量
家畜ふん堆肥	2.0%以上	5.0%以上
食品由来堆肥	3.0%以上	

注. 2021年12月１日より、原料堆肥の炭素窒素比の制限、堆肥混合割合の制限が無くなった。

製造工程の規定



肥料製品の規定

- 含有すべき主成分の最小量:窒素、りん酸又は加里のいずれか二以上についてそれぞれの最も大きい主成分の量の合計量が2.0%以上
- 硫青酸化物等含有を許される有害成分11種の最大量は化成肥料と同じ

図6-5-1　混合堆肥複合肥料の公定規格の概要

４）指定混合肥料

肥料取締法改正により配合肥料の生産に関する規制が見直され、2020年12月より指定混合肥料制度が創設された。これにより普通肥料と特殊肥料を混合した肥料や、肥料と土壌改良資材を混合した肥料等の生産が登録不要で届出により可能となった。指定混合肥料は、加工方法、

原料の組み合わせによって、「指定配合肥料」、「指定化成肥料」、「特殊肥料等入り指定混合肥料」、「土壌改良資材入り指定混合肥料」の４区分に分かれる（**表6-5-2**）。このうち堆肥を原料とできる肥料は、後２者となる。

「特殊肥料等入り指定混合肥料」は登録済みの普通肥料と届出済みの特殊肥料のみを配合した肥料である。なお、従来の指定配合肥料と同様に、事故肥料、汚泥肥料等を使用することができない。化学的変化による品質低下を防止する観点から、原料と配合の組み合わせに関し制限があり、「人ぷん尿」、含水率50％以上の「動物の排せつ物」及び「堆肥」（液状のものを除く）を原料とすることはできない（令和2年10月27日 農林水産省告示第2083号）。液状の肥料を原料とする配合並びに強アルカリ性の肥料と酸性・中性の肥料との配合は、品質低下を起こさないことを確認することにより可能である（令和2年11月5日 農林水産省告示第2159号）。

「土壌改良資材入り指定混合肥料」は、普通肥料や特殊肥料に指定土壌改良資材を配合した肥料である。使用できる指定土壌改良資材は、地力増進法施行令に規定する基準に適合するもののうち**表6-5-2（ｂ）**に挙げたものに限られる（肥料の品質の確保等に関する法律施行規則第１条の３）。

「特殊肥料等入り指定混合肥料」、「土壌改良資材入り指定混合肥料」は、造粒等の加工をしたものを含む。さらに、固結防止、飛散防止、浮上防止、組成均一化促進、効果発現促進、着色及び粒状化促進を目的として農林水産大臣が指定した材料を使用することができる（**表6-5-3**、令和２年11月５日　農林水産省告示第2160号）。

なお、混合堆肥複合肥料の公定規格を満たす肥料については、特殊肥料等入り指定混合肥料として届出ることも可能である。

表6-5-2　指定混合肥料

(a) 肥料の区分

普通肥料＋普通肥料（単純配合、水造粒）・・・	指定配合肥料
普通肥料＋普通肥料（造粒）・・・・・・・・・・	指定化成肥料
普通肥料＋特殊肥料・・・・・・・・・・・・・・・	特殊肥料等入り指定混合肥料
普通肥料＋土壌改良資材・・・・・・・・・・・・	土壌改良資材入り指定混合肥料
特殊肥料＋土壌改良資材・・・・・・・・・・・・	土壌改良資材入り指定混合肥料

登録肥料又は届出肥料のみの配合であり、指定された土壌改良資材並びに材料のみを使用可能。造粒も可能。

(b)指定土壌改良資材

1. 泥炭	4. けいそう土焼成粒	7. パーライト
2. 腐植酸質資材	5. ゼオライト	8. ベントナイト
3. 木炭	6. バーミキュライト	9. VA菌根菌資材

表6-5-3　「特殊肥料等入り指定混合肥料」、「土壌改良資材入り指定混合肥料」に使用できる材料（括弧内は各々の材料の使用上限値%）

固結防止材
ベントナイト(9)　シリカゲル(1.5)　けいそう土(5)　滑石粉末(4)　クレー(3)　けい酸石灰(3)　けい石粉末(3)　シリカヒューム(3)　ゼオライト(3)　パーライト(3)　シリカ粉(2)　潤滑油(1)　なたね油(0.3)

飛散防止材
鉱油(0.5)

浮上防止材
安山岩粉末(18)　かんらん岩粉末(18)　けつ岩粉末(18)　砂岩粉末(15)　けい石粉末(11)

組成均一化促進材
石こう(70)　安山岩粉末(65)　けつ岩粉末(65)　砂岩粉末(65)　ベントナイト(41)　クレー(34)　腐植酸(32)　ゼオライト(30)　セピオライト(21)　亜炭(20)　泥炭(20)

効果発現促進材
酸化第二鉄[a](21.0)　硝酸石灰[b](19.0)　硫酸第一鉄[a](12.6)　硫酸亜鉛[c](12.5)　エチレンジアミン四酢酸鉄[a](10.1)　硫酸銅[d](8.8)　ジエチレントリアミン五酢酸鉄[a](3.7)　エチレンジアミン四酢酸亜鉛[c](3.1)　モリブデン酸塩[e](2.1)　エチレンジアミン四酢酸銅[d](1.9)　硫酸第二鉄[a](0.2)　エチレンジアミン四酢酸カルシウム[b](0.1)　エチレンジアミン四酢酸モリブデン[e](0.02)

着色材
腐植酸(5)　カーボンブラック(2)

粒状化促進材
かんらん岩粉末(30)　クレー(30)　けい石粉末(30)　けいそう土(30)　ゼオライト(30)　石こう(30)　でんぷん(30)　糖蜜(30)　ベントナイト(30)　リグニンスルホン酸(30)　こんにゃく飛粉(15)　セピオライト(15)　イースト菌発酵濃縮廃液(13)　アンモニア液又はアンモニアガス*(10)　カオリン(10)　砂岩粉末(10)　硫酸*(10)　りん酸液*(10)　滑石粉末(9)　アタパルジャイト(6)　パルプ廃液(6)　安山岩粉末(5)　カルボキシメチルセルロース(5)　コーンスターチ(5)　ぬか(5)　軽焼マグネシア(1.2)　消石灰(1)

[a] Feとして。　[b] Caとして。[c] Znとして。[d] Cuとして。[e] Moとして　*中和目的に限る。

5）肥料原料としての家畜ふん堆肥

家畜ふん堆肥は、以前から肥料原料として使用されてきた有機質肥料原料と比べて水分が多い、臭気が強い、粒度が粗い等の課題がある。これらの課題については、農研機構らが技術マニュアルにとりまとめている[47]。堆肥は水分が多いと搬送工程でコンベアに付着する、堆肥の使用割合に制約がかかる、加熱乾燥工程でコスト高になる等が問題となる。特に堆積方式や撹拌方式でも開放型で堆肥化された堆肥は十分に水分が下がらず、また夏に比べて冬は水分が下がりにくい。押出造粒法により造粒する場合は造粒前の肥料混合物の含水率を造粒に適した含水率である20～30%に調整することが望まれる。臭気は、腐熟が不十分な堆肥を用いた場合顕著であるが、対応が困難な場合は脱臭設備の改善が必要となる。設備的改善が厳しい場合には、堆肥の使用割合に制約がかかる。腐熟が不十分な堆肥では、原料の粉砕工程で副資材や敷料が粗粒のまま残りやすく、篩選別工程を追加する必要があり、ロスが生じる恐れもある。家畜ふん堆肥自体のpHは7～9程度とアルカリ性であるため、窒素質肥料と混合した際にアンモニア性窒素がガスとなって揮散し、製造時、保管時、施用時の各段階で問題となる。特に尿素を混合した時に顕著であり、異臭の発生、保証成分の欠格の要因となる。製品pHが高いことが予想される場合には中和のために過りん酸石灰、重過りん酸石灰、腐植系原料（腐植酸や草炭）等の酸性原料を配合におり込む必要がある。

さらに、堆肥は小ロット生産となる懸念がある。肥料の安定生産には供給側の堆肥生産者と製造を担う肥料メーカーが密接に連携することが求められる。上述のように耕種農家に販売している堆肥とは異なる管理が必要になることも多いと考えられる。耕種農家の求める規格に合致した混合堆肥複合肥料を製造する上で、何が課題なのかを肥料メーカーと情報共有し、意見交換を重ねる中で信頼関係を醸成することが必要となる。

肥料制度の大きな改革により事業者の創意工夫に基づいて多様な肥料を生産・販売できるようになった。畜産事業者においては、増頭に伴い発生量が増加する家畜排せつ物の有効利用に資するものである。肥料メーカーにとっては、農産物の生産コスト低減の動きが一層強まる中、新たな循環型農業への取り組みを後押しする商品として魅力が高いものである。堆肥の施用労力の軽減や低廉な堆肥との切り替えが進めば、肥料価格が10～30%程度下がることが見込まれ[48]、このことは耕種農家にとってもメリットは大きいと言える。新たな肥料制度を活用し、家畜ふん堆肥を使用した肥料の普及が大きく進むことで、持続的な肥料産業、農畜産業の発展に多大に寄与することを期待したい。

参考文献

1）農林水産省：みどりの食料システム戦略トップページ、https://www.maff.go.jp/j/kanbo/kankyo/seisaku/midori/index.html、(2021/9/29閲覧)、(2021)

2）藤原孝之：有機野菜の品質評価研究の課題と展望、園芸学研究、5、1-5、https://doi.org/10.2503/hrj.5.1、(2006)

3）農林水産省生産局：家畜排せつ物処理状況等調査結果（平成31年４月１日現在） https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/H31_syori-joukyou.pdf、(2021)

4）原田靖生：家畜ふん尿堆肥の品質基準及びその判定法と残された問題点有機物の処理 流通利用システム-堆肥センターを軸として、総合農業研究叢書、7、42-163（1985）

5）川辺益美・高野敏則・稲葉孝二：. 各種家畜ふん尿および敷料混合物の腐熟化について、西日本畜産学会報、22、23-26、https://doi.org/10.11461/jwaras1968.22.23、(1979)

6）農林水産省告示：特殊肥料の品質表示基準を定める件（令和 3年 6月14日農林水産省告示第1012号)、http://www.famic.go.jp/ffis/fert/kokuji/12k1163n.htm、(2021)

7）畜産環境整備機構畜産環境技術研究所 編：堆肥の品質実態調査報告書、畜産環境整備機構，東京（2005)

8）小柳渉・安藤義昭・棚橋寿彦：有機質資材の分解特性とその指標.土肥誌、78（4)、407-410(2007)

9）高橋朋子・山田正幸・鈴木睦美・浦野義雄：易分解性有機物による堆肥の品質評価、群馬畜試研報、6、90-99（1999）

10）高橋正宏・坂本卓馬：家畜糞堆肥の窒素利用性評価へのデタージェント分析の適用、日本畜産学会報、79（3)、413-426、https://doi.org/10.2508/chikusan.79.413、(2008)

11）阿部亮：炭水化物成分を中心とした飼料分析法とその飼料栄養価評価法への応用、畜試研資、2、6-7（1988)

12）小柳渉・村松克久・小橋有里：分解特性からみたバイオマスおよび堆肥の利用方向、新潟畜セ研報、17、9-14（2011)

13）棚橋寿彦・矢野秀治・伊藤元・小柳渉：牛ふん堆肥・豚ぷん堆肥中のリン酸マグネシウムアンモニウムの存在とその評価のための抽出法、土肥誌、81、329-335、https://doi.org/10.20710/dojo.81.4_329、(2010)

14）Komiyama, T., Niizuma, S., Fujisawa, E., &Morikuni, H. :. Phosphorus compounds and their solubility in swine manure compost. Soil Science and Plant Nutrition,59（3）, 419-426、https://doi.org/10.1080/00380768.2013.789397,（2013)

15) 中村和雄・栗原淳・三井進午：リン酸マグネシウムアンモニウム（MAP）入り高度化成肥料に関する研究　（第1報）： MAP の窒素・リンおよびマグネシウムの夏作物に対する肥効について（肥料および肥効試験)、土肥講演要旨集、9、63、(1963)
16) 棚橋寿彦・小柳渉：酸性デタージェント可溶有機物と無機態窒素を指標とした牛ふん堆肥・豚ぷん堆肥の窒素肥効評価、土肥誌、81、336-342、https://doi.org/10.20710/dojo.81.4_336、(2010)
17) 棚橋寿彦・小柳渉：家畜ふん尿の新処理・利用技術と課題 ： 6. 牛ふん堆肥,豚ぷん堆肥の新しい窒素肥効評価法、土肥誌、82、244-250 (2011)
18) 岐阜県：堆肥の肥料成分の利用法、https://www.pref.gifu.lg.jp/page/840.html、(2021)
19) 村上圭一・小阪幸子・藤原孝之・原正之：三重県内で生産された鶏ふん堆肥の成分特性、土肥誌、80 (2)、165-167 (2009)
20) 上薗一郎・加藤 直人・森泉 美穂子：日本の畑土壌に対する80 ℃16時間水抽出法による可給態窒素簡易評価法の適用性、土肥誌、81、39-43 (2010)
21) 上薗一郎・加藤 直人・森泉美穂子：80 ℃16時間水抽出液のCOD簡易測定による畑土壌可給態窒素含量の迅速評価、土肥誌、81、252-255 (2010)
22) 横田剛・伊藤豊彰・小野剛志・高橋正樹・三枝正彦：製造条件の異なる牛ふん堆肥の無機態リン酸組成、土肥誌、74、133-140 (2003)
23) 伊藤豊彰・小宮山鉄兵・三枝正彦・森岡幹夫：豚ぷんおよび鶏ふん堆肥のリン酸組成、土肥誌、81、215-223、https://doi.org/10.20710/dojo.81.3_215、(2010)
24) Frossard, E., Tekely, P., &Grimal, J. Y. :. Characterization of phosphate species in urban sewage sludges by high‐resolution solid‐state 31P NMR. European Journal of Soil Science, 45 (4) , 403-408 (1994)
25) 加藤雅彦・小宮山鉄兵・藤澤英司・森國博全. ：畑条件下での牛糞・鶏糞堆肥と重過リン酸石灰の併用による肥料由来の可給態リン酸の不可給化の抑制、土肥誌、81、367-371 (2010)
26) 小柳渉・和田富広・安藤義昭：家畜ふん堆肥中リン酸の性質と肥効、新潟畜セ研報、15、6-9 (2005)
27) 棚橋寿彦・小柳渉・村上圭一・加藤誠二・南雲芳文・安藤正・加藤直人：肥料価値の高い豚ぷん堆肥・鶏ふん堆肥の製造と利用：第13報家畜ふん堆肥のリン酸形態と肥効の関係、土肥講演要旨集、57,131、https://doi.org/10.20710/dohikouen.57.0_131_1、(2011)
28) 荒川祐介：堆肥のペレット成型がそのリン酸肥効に及ぼす影響、土肥誌、83、249-255 (2012)
29) 棚橋寿彦・小柳渉・村上圭一・加藤誠二・南雲芳文・和田巽・加藤直人：肥料価値の高い豚ぷん堆肥・鶏ふん堆肥の製造と利用：第17報ふん堆肥のリン酸肥効を左右する諸要因、土肥講演要旨集、58、136、https://doi.org/10.20710/dohikouen.58.0_136_1、(2012)
30) 農林水産省技術会議事務局 ： 気候変動に対応した循環型食料生産等の確立のためのプロジェクト（プロジェクト研究成果シリーズ540）プロジェクト研究成果シリーズ540、P1-188 (2015)
31) 小柳渉・安藤義昭・水沢誠一・森山則男：家畜ふん堆肥中の塩類組成の特徴、土肥誌、75、91-93 (2004)
32) 神奈川県農業技術センター：牛ふん堆肥中のカリ成分は化学肥料と同等の肥効を示します、

https://www.pref.kanagawa.jp/documents/39242/4656.pdf、(2013)
33) 薬師堂謙一：乳牛ふんの堆肥化方式と堆肥のペレット化、九州農業研究、62、19-24、http://www.naro.affrc.go.jp/org/karc/qnoken/qnoken/no62/62-001s.pdf、(2000)
34) 原正之・石川裕一・小畑仁：豚ぷんペレット堆肥の畑土壌中における肥料成分の溶出特性、土肥誌、74、453-458、https://doi.org/10.20710/dojo.74.4_453、(2003)
35) 香西清弘・平木孝典：牛ふんたい肥の連用が土壌の理化学性に及ぼす影響、香川農試研報、49、61-67、(1997)
36) 黒柳直彦・藤田 彰・小田原孝治・兼子 明・渡邉敏朗：畑地における有機物の長期連用効果 第2報作物収量と土壌物理性、福岡農総試研報、16、63-66 (1997)
37) 上沢正志：化学肥料・有機物の連用が土壌・作物収量に与える影響の全国的解析、農業技術、46、393-397 (1991)
38) Bonanomi, G., Antignani, V., Capodilupo, M., & Scala, F. : Identifying the characteristics of organic soil amendments that suppress soilborne plant diseases. Soil Biology and Biochemistry, 42 (2), 136-144. (2010)
39) Bonilla, N., Guti?rrez-Barranquero, J. A., Vicente, A. D., & Cazorla, F. M. : Enhancing soil quality and plant health through suppressive organic amendments. Diversity, 4 (4), 475-491. (2012)
40) 服部勉：土壌団粒内での微生物の生活、農業技術、32、145-150 (1977)
41) Dr??kiewicz, M.：Distribution of microorganisms in soil aggregates: Effect of aggregate size. Folia Microbiol 39, 276-282.https://doi.org/10.1007/BF02814312 (1994)
42) 豊田剛己・宮原麻岐・吉原周佑・見山裕貴・勝目あかね・SaleemJamily .宮崎駿人 ：土壌病害と有機物施用、土と微生物、69、93-96、(2015)
43) 農林水産省： 地力増進基本指針の公表について、https://www.maff.go.jp/hokkaido/suishin/kankyohozen/attach/pdf/dojo_tiryoku-2.pdf、(2008)
44) 農林水産省：「土壌管理のあり方に関する意見交換会」報告書、https://www.maff.go.jp/j/study/dozyo_kanri/pdf/report.pdf、(2008)
45) 農林水産省：都道府県施肥基準等、https://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/、(2019)
46) 農研機構編：飼料及び堆肥に残留する除草剤（クロピラリド）の簡易判定法と被害軽減対策マニュアル（第2版)、https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/files/clopyralid_ver2.pdf、(2020)
47) 農林水産省委託プロジェクト有機質資材コンソーシアム編：混合堆肥複合肥料の製造とその利用～家畜ふん堆肥の肥料原料化の促進～、http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/133583.html、(2020)
48) 矢野経済研究所：資源リサイクルで注目される培土・土壌改良資材・肥料・飼料の市場実態 ＜2020年版＞. 株式会社矢野経済研究所, 大阪, pp.308 (2020)

索　　引

【編集関係者の情報】

財団法人 中央畜産会発行「堆肥化施設設計マニュアル」（第３版）

【堆肥化施設設計マニュアル策定委員】

◎	原田 靖生	農林水産省	農業研究センター　土壌肥料部長
	代永 道裕	同	畜産試験場飼養環境部　上席研究官
○	羽賀 清典	同	畜産試験場飼養環境部　汚染物質浄化研究室長
	加茂 幹男	同	草地試験場飼料生産利用部　上席研究官
	関澤 啻朗	同	農業研究センター経営管理部 畜産経営研究室長
	築城 幹典	岩手大学 農学部　農林生産学科　助教授	
	福森 功	生物系特定産業技術研究推進機構　畜産工学研究部長	
	道宗 直昭	同	畜産工学研究部主任研究員
	干場 信司	酪農学園大学　酪農学部酪農学科　教授	
	小川 秀雄	神奈川大学工学部　建築学科	
	本多 勝男	財団法人畜産環境整備機構　審議役	

（◎委員長、○副委員長）

【堆肥化施設設計マニュアル執筆者】

原田 靖生	農林水産省	農業研究センター　土壌肥料部長
代永 道裕	同	畜産試験場飼養環境部　上席研究官
羽賀 清典	同	畜産試験場飼養環境部　汚染物質浄化研究室長
加茂 幹男	同	草地試験場飼料生産利用部　上席研究官
関澤 啻朗	同	農業研究センター経営管理部　畜産経営研究室長
築城 幹典	岩手大学　農学部　農林生産学科　助教授	
福森 功	生物系特定産業技術研究推進機構　畜産工学研究部長	
道宗 直昭	同	畜産工学研究部主任研究員
干場 信司	酪農学園大学　酪農学部　酪農学科　教授	
小川 秀雄	神奈川大学工学部　建築学科	
本多 勝男	財団法人畜産環境整備機構　審議役	
向弘 之	農林水産省	北海道農業試験場　作物開発部　農地農業施設研究室
豊田 裕道	同	九州農政局　北部九州土地改良調査管理事務所
樽本 祐助	同	九州農業試験場　総合研究部　動向解析研究室
秦　隆夫	同	農業総合研究所　農業構造部　生産構造研究室長

堆肥化施設設計マニュアル作成関係者名簿

畜産環境対策技術総合設計基準調査普及事業推進委員会

大野　高志	日本食肉格付協会　（委員長）
鈴木　一好	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門（副委員長）（現：(一財)畜産環境整備機構本部）
阿部　佳之	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門
長田　　隆	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構本部
福本　泰之	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門

堆肥化施設設計マニュアル作成専門部会委員

阿部　佳之	前述　（堆肥化専門部会長）
荒川　祐介	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農業研究センター 研究推進部技術適用研究チーム長
中久保　亮	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 畜産研究部門　高度飼養技術研究領域　主任研究員
前田　武己	岩手大学農学部　食料生産環境学科准教授
小川　秀雄	元　神奈川大学工学部　建築学科
小島陽一郎	国立研究開発法人農業　食品産業技術総合研究機構（令和２年３月まで） 中央農業研究センター飼養管理技術研究領域上級研究員

堆肥化施設設計マニュアル編集作業委員

田代　利明	株式会社 岡田製作所 相談役
天神　　隆	株式会社 天神製作所 専務取締役
岡本　壮一	有限会社 岡本製作所 取締役社長
竹内　和敏	中部エコテック株式会 取締役社長

編集事務局

羽賀　清典	(一財)畜産環境整備機構　本部
道宗　直昭	(一財)畜産環境整備機構　畜産環境技術研究所

日本中央競馬会　畜産振興事業
畜産環境対策技術総合設計基準調査普及事業
（堆肥化専門部会）

堆肥化施設設計マニュアル

令和４年３月31日

発行　一般財団法人　畜産環境整備機構
〒105-0001　東京都港区虎ノ門５丁目12番地１号　ワイコービル３階
電話 03-3459-6300　FAX 03-3459-6315

一般財団法人　畜産環境整備機構　畜産環境技術研究所
〒961-8061　福島県西白河郡西郷村大字小田倉字小田倉原１
電話 0248-25-7777　FAX 0248-25-7540