



日本中央競馬会  
特別振興資金助成事業

# 畜産悪臭対策マニュアル

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



一般財団法人 畜産環境整備機構

## は　じ　め　に

畜産を取り巻く環境問題の1つに畜産施設から発生する悪臭による苦情対策が挙げられる。令和2年の畜産経営に起因する苦情発生状況の内容別発生状況(農林水産省畜産部)では、悪臭関連が52.2%と最も多く、次いで水質汚濁関連が20.8%、害虫関連が10.4%となっており、悪臭関連の苦情は徐々には減少傾向はあるものの依然として高い状況にある。

悪臭の苦情は人の感覚(嗅覚)によって不快臭と感じたときに発生するが、臭気による苦情は立地条件や社会的条件などに左右されることが多く、まずは発生源から臭気を出さないようにすることが第一である。そのためには臭気を発生させないように飼養管理を徹底するとともに、周辺地域への配慮等についても不可欠な要因となっている。

畜産における臭気の防止対策の手引き書として1990年に(社)中央畜産会から刊行された「畜産における臭気とその防止対策」以来30年以上を経過しており、その間、臭気の防止対策としての手引き書は作成されておらず、臭気による苦情が減少しない状況の中で、新たな臭気対策の知見と技術を取り入れたマニュアルが求められていた。

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、新たな畜産における悪臭防止対策の技術マニュアルとして、1990年版の「畜産における臭気とその防止対策」をベースに本マニュアルを作成することになった。作成にあたっては、前書を刊行した(社)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。第8章には、最新の知見として日本型悪臭防止最適管理手法（BMP）の手引きについても紹介した。

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



# 畜産悪臭対策マニュアル

## 目 次

### はじめに

第1章 畜産の悪臭問題の情勢	1
1) 悪臭の苦情発生件数	1
2) 家畜排せつ物の取扱いに関する主な法規制と施策	2
(1) 環境規制関連の法律、施策	3
(2) 家畜排せつ物の処理の適正化、有効利用関連の法律、施策	3
3) 悪臭対策推進の必要性	4
第2章 悪臭の規制と畜産の悪臭	6
1) 悪臭の感知と定量評価	6
(1) においと悪臭の概要	6
(2) 悪臭の測定と評価尺度	6
2) 環境中の悪臭の規制（悪臭防止法）	9
(1) 悪臭の規制の概要	9
(2) 1～3号規制基準の設定	11
3) 畜産からの悪臭の発生とその特徴	15
(1) 家畜排せつ物の臭気の主要な悪臭物質	15
(2) 悪臭物質による生理的障害	18
(3) 家畜ふん尿からの臭気の発生とその特徴	20
4) 畜産の臭気の測定方法	28
(1) 機器測定法	28
(2) 嗅覚測定法	30
第3章 脱臭技術の種類と特徴	35
1) 脱臭対策における基本的な考え方	35
(1) 発生臭気の捕集と換気	35
(2) 換気方法と換気量	35
2) 脱臭対策の種類と特徴	36
(1) 水洗法	36
(2) 薬液洗浄法	39
(3) 吸着法	40
(4) 生物脱臭法（バイオフィルター）	42
(5) 燃焼法	49
(6) オゾン酸化法	49

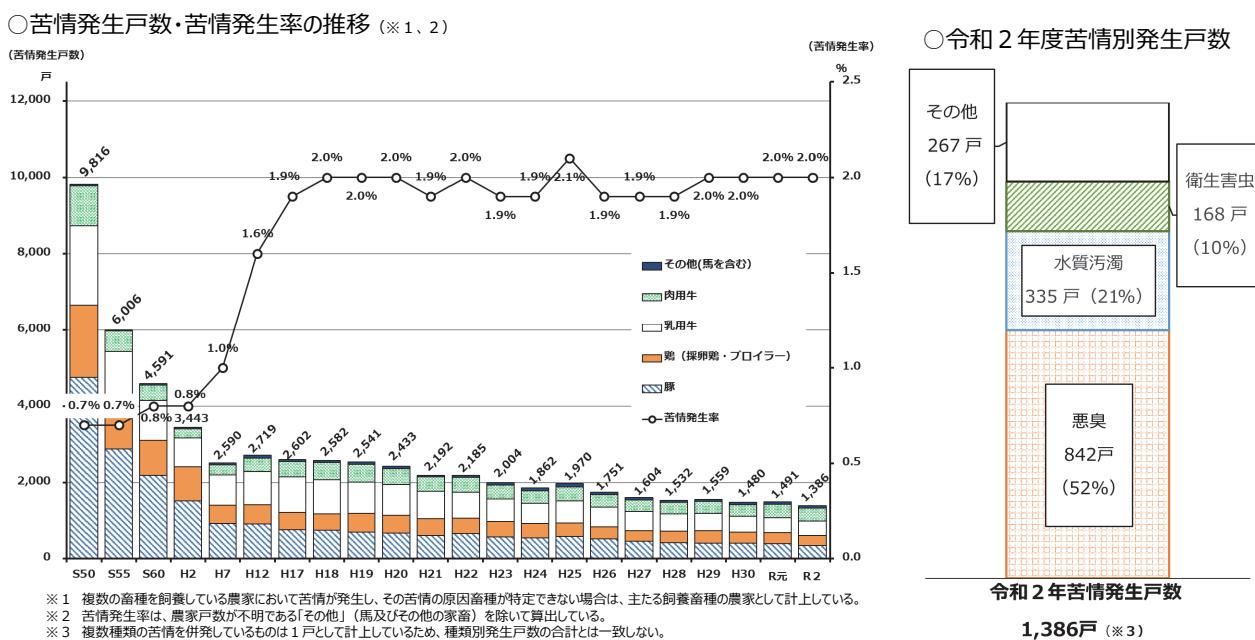
(7) 希釈・拡散法	49
(8) マスキング法	49
3) 脱臭対策における留意点	52
 第4章 畜舎における悪臭対策	54
1) 養牛	54
(1) 乳牛舎	54
(2) 肉牛舎	59
(3) サイレージ調製と臭気防止対策	59
2) 養豚	60
(1) 各施設と臭気発生の特徴	60
(2) 基本管理における悪臭対策	63
3) 養鶏	66
(1) 採卵鶏舎	67
(2) ブロイラー鶏舎	68
4) 敷料	69
 第5章 ふん尿処理施設における悪臭対策	72
1) 堆肥化処理	72
(1) 堆肥化処理の概要と堆肥化施設	72
(2) 堆肥化処理からの臭気の発生	74
(3) 堆肥化処理における悪臭対策	75
2) スラリー処理	76
(1) スラリーの貯留と曝気処理	76
(2) スラリー処理からの臭気の発生	77
(3) スラリー処理における悪臭対策	77
3) 乾燥処理	78
(1) 乾燥処理の概要	78
(2) 乾燥処理装置・施設の種類と特徴	78
(3) 乾燥処理からの臭気の発生	79
(4) 乾燥処理における悪臭対策	82
4) 汚水浄化処理	84
(1) 汚水浄化処理の概要	84
(2) 汚水浄化処理における悪臭物質の除去	86
(3) 汚水処理施設における悪臭対策	88
5) メタン発酵	88
(1) メタン発酵の概要	88
(2) メタン発酵過程における悪臭物質の除去	89
(3) メタン発酵の悪臭対策効果	92
6) 鶏ふんボイラ	94
(1) 鶏ふんボイラの概要	94

(2) 鶏ふんボイラー使用時の臭気対策	95
<b>第6章 堆肥等施用時の悪臭対策</b>	<b>96</b>
1) 家畜ふん尿の圃場還元	96
2) 家畜ふん尿と運搬施用機械	96
(1) 堆肥・乾燥ふん(固形状家畜ふん)	96
(2) 堆肥の運搬施用機械	96
(3) 液状ふん尿	97
(4) 液状ふん尿の運搬施用機械施設	97
3) 家畜ふん尿の圃場施用と環境問題	98
(1) 堆肥施用と環境対策	98
(2) 液状ふん尿施用と環境対策	99
<b>第7章 脱臭装置の規模算定</b>	<b>101</b>
1) 脱臭装置の規模算定	101
(1) 必要容積及び面積の求め方	101
(2) 脱臭装置の規模算定にあたっての留意点	107
2) 脱臭装置の規模算定事例	110
(1) 堆肥脱臭システム	110
(2) 堆肥脱臭付き簡易型低コストふん尿処理施設の設計例	113
(3) 畜舎バイオフィルターシステム	118
(4) ロックウール脱臭装置	120
(5) 細霧脱臭	124
<b>第8章 日本型悪臭防止最適管理手法(日本型BMP)</b>	<b>127</b>
<b>用語解説</b>	<b>140</b>
<b>索引</b>	<b>143</b>

# 第1章 畜産の悪臭問題の情勢

## 1) 悪臭の苦情発生件数

農林水産省生産局畜産部畜産振興課が公表した資料によると、令和2年の畜産経営に起因する苦情発生戸数は1,386戸となっており、前年の1,491戸からは105戸減少した（図1-1）。この内訳は乳用牛が27.2%（前年26.1%）、肉用牛24.0%（同23.5%）、豚24.4%（同26.0%）、採卵鶏14.2%（同14.6%）、ブロイラー5.7%（同5.4%）であった。苦情の内容は、悪臭関連が52.2%（前年52.2%）と最も多く、次いで水質汚濁関連が20.8%（同20.6%）、害虫関連が10.4%（同13.2%）となっており、近年と同様の傾向にあった（表1-1）。苦情発生戸数は乳用牛と豚が多く、苦情発生率（苦情発生戸数を飼養戸数で除した数値）では豚と採卵鶏が高い傾向を示している。また、ブロイラーを除く畜種において、経営規模が大きくなるに従い、苦情発生率も高くなる傾向がある（表1-2）。



出典：農林水産省畜産部調べ、農林水産省「畜産統計」

図1-1 苦情発生戸数

表1-1 畜産経営に起因する苦情の畜種別・内容別発生戸数（令和2年）

（単位：戸、（%））

区分	悪臭関連	水質汚濁関連	害虫関連	その他	合計
乳用牛	211 (25.1)	86 (25.7)	37 (22.0)	99 (37.1)	377 (27.2)
肉用牛	175 (20.8)	86 (25.7)	34 (20.2)	79 (29.6)	333 (24.0)
豚	249 (29.6)	119 (35.5)	18 (10.7)	21 (7.9)	338 (24.4)
採卵鶏	123 (14.6)	30 (9.0)	72 (42.9)	23 (8.6)	197 (14.2)
ブロイラー	65 (7.7)	9 (2.4)	4 (2.4)	7 (2.6)	79 (5.7)
馬	0 0.0	0 0.0	0 0.0	1 (0.4)	1 (0.1)
その他	19 (2.3)	6 (1.8)	3 (1.7)	37 (13.9)	61 (4.5)
合計	842 (100.0)	335 (100.0)	168 (100.0)	267 (100.0)	1,386 (100.0)
構成（%）	52.2	20.8	10.4	16.6	100.0

注1.「悪臭関連」には、悪臭単独の苦情に加え、悪臭以外の苦情（水質汚濁、害虫発生等）を併発しているものも含む（「その他」の分類も同様）。

このため、各分類の戸数を合計した戸数と、「合計」欄の戸数は一致しない。

注2.「その他」に分類される苦情の内容は、ふん尿の流出、騒音等である。

表1-2 畜種・飼養規模別の発生戸数

## ・乳用牛

飼養規模*	苦情発生戸数	発生率	飼養戸数
管理基準非適用	6	0.7%	819
~29	59	1.2%	4,770
30~99	212	2.9%	7,322
100~299	68	4.1%	1,673
300~	38	13.2%	288
計	377	2.6%	14,400

※成畜（満2歳以上の牛）の頭数（畜産統計、農林水産省）

## ・肉用牛

飼養規模*	苦情発生戸数	発生率	飼養戸数
管理基準非適用	42	0.2%	21,763
~19	98	0.4%	27,660
20~99	104	0.9%	11,950
100~499	83	2.3%	3,580
500~	48	6.5%	743
計	333	0.8%	43,900

※総飼養頭数（畜産統計、農林水産省）

## ・豚

飼養規模*	苦情発生戸数	発生率	飼養戸数
管理基準非適用	15	2.4%	630
1~999	122	5.6%	2,168
1,000~1,999	51	6.7%	756
2,000~2,999	60	18.2%	329
3,000~	105	15.0%	701
計	338	7.8%	4,320

※肥育豚飼養頭数（畜産統計、農林水産省）

## ・採卵鶏

飼養規模*	苦情発生戸数	発生率	飼養戸数
管理基準非適用	10	0.5%	2,168
~9,999	27	3.5%	767
10,000~49,999	74	12.4%	598
50,000~99,999	23	10.0%	230
100,000~	73	22.2%	329
計	197	9.3%	2,120

※成鶏めすの飼養羽数（畜産統計、農林水産省）

## ・ブロイラー

飼養規模*	苦情発生戸数	発生率	飼養戸数
管理基準非適用	1	0.4%	234
~99,999	61	11.0%	555
100,000~299,999	13	1.2%	1,055
300,000~499,999	0	0.0%	362
500,000~	5	1.8%	282
計	79	3.5%	2,250

※年間の出荷羽数（畜産統計、農林水産省）

注1：飼養規模について、採卵鶏では飼養羽数は千羽未満、ブロイラーでは年間出荷羽数が三千羽未満の戸数は含まれていないため、小規模区分の苦情発生率は実際より高く見積もられている可能性がある。

注2：管理基準非適用農家の飼養戸数は、「令和元年度家畜排せつ物法施行状況等調査（農林水産省）」による。

注3：各飼養規模層の飼養戸数には、学校、試験場等の非営利的な飼養者を含んでいないため、それらの合計値と「合計」欄の飼養戸数は一致しない。

## 2) 家畜排せつ物の取扱いに関する主な法規制と施策

畜産の悪臭の主な発生源は家畜排せつ物である。我が国の畜産業からの家畜排せつ物の排出量は、2015年以降年間8,000万トン前後で横這いの状況にあり、産業から排出されるバイオマスの量としては国内で最大のものである。大量の家畜排せつ物の取扱いは、それに付随する悪臭や汚水の発生と合わせて、畜産経営にとって常に頭を悩ませる問題である。

表1-3（次頁）に家畜排せつ物とその取扱いに関する法規の概要を示す。家畜排せつ物は畜産物の生産に付随して発生する廃棄物であり、適正な取扱いを怠ると、悪臭の発生や水質汚濁等の様々な環境問題の原因となるものである。その一方で、家畜排せつ物は作物肥料やエネルギー源として昔から利用してきた有機質資源でもある。この二面性は排せつ物に関する法律や施策に反映されており、環境保全のための規制の対象となる一方、処理の適正化と有効利用の促進が図られてもいる。但し、利用の面でも環境問題を引き起こさないための配慮は必要である。

表 1-3 家畜排せつ物とその取扱いに関する法規

環境規制関連
廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃棄物処理法)
水質関係法令(水質汚濁防止法、湖沼水質保全特別措置法、海洋汚染防止法、河川法)
大気関係法令(悪臭防止法、大気汚染防止法、地球温暖化対策の推進に関する法律(温対法))
処理の適正化・利用促進関連
環境三法
・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(家畜排せつ法)
・肥料取締法の一部改正(改正肥料取締法)
・持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律(持続農業法)

## (1) 環境規制関連の法律、施策

### i) 廃棄物処理法

家畜排せつ物は廃棄物処理法において産業廃棄物に分類されており、そのままの状態で経営外に持ち出す場合は廃棄物としての規制の対象となる。また、肥料として使用する場合においても、使用に先立つ処理や使用方法についての制限が示されている。

### ii) 水質関係法令(水質汚濁防止法等)

公共用水域の汚染を防止するため、水質汚濁防止法等の関係法令では、畜産業に関して一定規模以上の家畜飼養の届出や排出水の水質規制の遵守を義務づけている。また、排出水中の一部の物質については、期限を定めて暫定排水基準が設けられている。水域や自治体（条例による上乗せ規制）等により、適用される項目・基準値や遵守すべき事項が異なる場合がある。

### iii) 大気関係法令(悪臭防止法、大気汚染防止法等)

環境中の悪臭については、悪臭防止法による規制がかけられている。規制がかけられる地域（規制地域）や規制方法、規制基準は、知事や市町村長が設定する（令和元年度末で、全市区町村のうち73.9%で規制地域を設定）。また、家畜ふんの焼却処理や火力乾燥から発生するばい煙については、大気汚染防止法の規制対象となる。この他、温室効果ガスの排出抑制の促進等を目的として、地球温暖化対策の推進に関する法律（温対法）が施行されている（1998～）。畜産は温室効果ガスの主要な発生源のひとつと見なされており、一定規模以上の経営について温室効果ガス排出量算定・報告が義務づけられている<sup>1, 2)</sup>。

悪臭防止法の詳細（悪臭規制の具体的な内容、悪臭の測定法、等）については第2章に示す。

## (2) 家畜排せつ物の処理の適正化、有効利用関連の法律、施策

食料・農業・農村基本法（1999～）および食料・農業・農村基本計画（2000～）の中で、地力増進のための家畜排せつ物等のバイオマスの有効利用を含めた持続性の高い農業生産方式を推進する方針が打ち出されている。このための施策として、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）、「肥料取締法の一部改正」（改正肥料取締法）、「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」（持続農業法）の3つの法律が施行された。これらは「農業・環境三法」または「環境三法」と呼ばれ、排せつ物処理の適正化と堆肥の利用促進のための制度的な枠組みを提供している。

家畜排せつ物法は、野積みや素掘り等の排せつ物の不適切な管理・処理の解消および処理水準

の向上を目的として、処理施設の構造設備および管理の基準を規定したもので、一定規模以上の畜産経営（牛10頭以上、豚100頭以上、鶏2000羽以上、馬10頭以上）に適用される<sup>3)</sup>。改正肥料取締法では、家畜排せつ物の肥料利用の推進を目的として、堆肥等の特殊肥料に対して肥料成分等の品質表示が義務づけられた。また、持続農業法では、堆肥等を活用した土づくりと化学肥料・農薬の使用の低減を一体的に行う持続性の高い農業生産方式の普及・浸透を目的として、このような生産方式の導入計画を立案し、認定を受けた農家（エコファーマー）に対する農業改良資金の優遇措置が設けられた<sup>4)</sup>。

2020年12月1日時点において、家畜排せつ物法の管理基準対象農家は44,076戸（全畜産農家数の62.2%）であり、ほぼ全ての農家が管理施設の構造設備に関する基準に適合していた<sup>5)</sup>。

肥料取締法では、2012年から先行的に、混合堆肥複合肥料（公定規格あり）として堆肥と化学肥料の混合が認められた。その後、2019年の法改正で更に規制が緩和され、「指定混合肥料」（堆肥と化学肥料を配合したもの。公定規格なし）という新たな分類が追加され、2020年12月から、製造者が自治体への届出を行うことで指定混合肥料生産可能となつた<sup>6)</sup>。配合による品質低下を避けるため、指定混合肥料の原料となる堆肥の含水率は50%以下とする方向で検討が進められている。この改正により、耕種農家は土づくりと施肥が一度の作業で可能となる他、堆肥の成分の不足を化学肥料で補い、安定化することで堆肥を使いややすくなる。堆肥の利用がより進み、畜産農家にとっては、副産物収入の増加につながると考えられる。畜産農家は、肥料メーカー等の加工や輸送を担える事業者とも連携し、耕種農家のニーズを踏まえて堆肥の高品質化に取り組んでいくことが重要である。

### 3) 悪臭対策推進の必要性

畜産経営から発生した悪臭は大気中に拡散し、経営の周辺で容易に感知されることから、畜産に対するネガティブなイメージの形成に繋がることに加えて、酸性雨、土壤の酸性化、地球温暖化等の広域の環境問題の原因ともなる。また、前項に述べたように、家畜排せつ物の有効利用の促進が図られているが、悪臭の発生は排せつ物利用の大きな妨げともなる。周辺環境と調和した畜産経営の安定的な存続、および家畜排せつ物の利用促進のために、悪臭対策は重要な課題である。

2005年に策定された「環境と調和のとれた農業生産活動規範」（農業環境規範）<sup>7)</sup>には、環境と調和した農業生産のために取り組むべき基本的事項が示されており、家畜の飼養・生産においては、家畜排せつ物法の遵守、悪臭・害虫の発生を防止・低減する取組の励行、家畜排せつ物の利活用の推進等が挙げられている。畜種別では「酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針」（2000）<sup>8)</sup>、「養豚農業の振興に関する基本方針」（2015）<sup>9)</sup>でも、悪臭対策についての記述が加えられている。

また、家畜排せつ物法が掲げる目的の達成に向けた法定計画として「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」（1999）が策定されている。当初は堆肥化処理の促進、施設整備とその高度化、堆肥利用促進のための耕畜連携の強化等が挙げられていたが、その後の見直し（2007, 2015）で、家畜排せつ物のエネルギー利用の促進、ニーズに応じた堆肥の製造、悪臭や汚水への対策等が付加されている<sup>10)</sup>。中でも悪臭については、排せつ物処理の現場での脱臭装置の導入等の対策強化、臭気低減技術の開発が掲げられており、排せつ物およびその処理由来の悪臭への対策が重要な課題として位置づけられている。

## 参考文献

- 1) 農林水産省畜産局：温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル（畜産編）．（2015）  
([https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/ontaihou\\_manu.pdf](https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/ontaihou_manu.pdf)) .
- 2) 農林水産省畜産局：温室効果ガス排出量算定・報告について（畜産編）．（2015）  
([https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/ontaihou\\_ponchi.pdf](https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/ontaihou_ponchi.pdf))
- 3) 畜産環境問題研究会編：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の解説.  
地球社，東京（2000）
- 4) 持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律（農林水産省HP内）．  
([https://www.maff.go.jp/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_hourei/pdf/jizoku\\_hou.pdf](https://www.maff.go.jp/seisan/kankyo/hozen_type/h_hourei/pdf/jizoku_hou.pdf))
- 5) 農林水産省生産局畜産部畜産振興課：家畜排せつ物法施行状況等調査結果（令和元年12月1日時点）．（2020）  
([https://www.maff.go.jp/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/housekou\\_2019.pdf](https://www.maff.go.jp/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/housekou_2019.pdf))
- 6) 農林水産省消費・安全局：肥料制度の見直しについて.（2020）  
([https://www.maff.go.jp/syouan/nouan/kome/k\\_hiryo/seidominaoshi.html](https://www.maff.go.jp/syouan/nouan/kome/k_hiryo/seidominaoshi.html))
- 7) 農林水産省生産局農業環境対策課：環境と調和のとれた農業生産活動規範.（2005）  
([https://www.maff.go.jp/seisan/kankyo/hozen\\_type/h\\_kihan/pdf/kihan.pdf](https://www.maff.go.jp/seisan/kankyo/hozen_type/h_kihan/pdf/kihan.pdf))
- 8) 農林水産省生産局：酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針.（2020）  
([https://www.maff.go.jp/chikusan/kikaku/lin/attach/pdf/rakuniku\\_kihon\\_houshin-5.pdf](https://www.maff.go.jp/chikusan/kikaku/lin/attach/pdf/rakuniku_kihon_houshin-5.pdf))
- 9) 農林水産省生産局：養豚農業の振興に関する基本方針.（2015） ([https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l\\_hosin/pdf/youton\\_kihon\\_hoshin.pdf](https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/youton_kihon_hoshin.pdf))
- 10) 農林水産省生産局：家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針.（2015）  
([https://www.maff.go.jp/chikusan/kikaku/lin/l\\_hosin/pdf/katiku\\_haisetu\\_kihon\\_hoshin\\_h27.pdf](https://www.maff.go.jp/chikusan/kikaku/lin/l_hosin/pdf/katiku_haisetu_kihon_hoshin_h27.pdf))

## 第2章 悪臭の規制と畜産の悪臭

### 1) 悪臭の感知と定量評価

#### (1) においと悪臭の概要

“におい”とは、空気中に揮散した揮発性の化学物質が、人間の鼻に到達して嗅覚に与える刺激の総称である。環境中に存在するにおいが単独の物質によることは稀で、多様な物質が様々な濃度で混合してひとつのにおいを形作っている場合が殆どである。においが感じられる化学物質は40万種にのぼり、そのうち日常の生活環境に存在するものは800～1,000種程度とされる<sup>1)</sup>。

様々なにおいの中で、不快感をもたらすにおい、あるいは不快なにおいが感じられる空気を悪臭または臭気と呼ぶ。また、悪臭の原因となる物質を悪臭物質と呼ぶ。悪臭物質には人間にとつて何らかの危険性や有害性をもつものが多く、悪臭の感知はそれらの存在を察知し、回避するための反応と言える。

悪臭と判断されるにおいはおおよそその人間に共通しており、その強さや質の感じられ方の傾向も同様である。その一方で、悪臭は目に見えず、無限のヴァリエーションがあり、時間とともに変化する不安定なものである。加えて、人がひとつの悪臭を嗅いで受ける印象や許容の程度等の主観的な判断には、人それぞれの嗜好、経験、生活環境等を背景として大きな個人差がある。

#### (2) 悪臭の測定と評価尺度

環境中の悪臭に対して何らかの対策を考え、実施する上では、その端緒として、発生する悪臭の強さ、濃度、化学的組成、発生量等を測定し把握することが必要である。また、対策を実施した後の効果を評価する上でも、悪臭の測定が必要となる。

悪臭を含め、においは人間の嗅覚によってトータルな判断、評価が行われるが、前記のように嗅覚によるにおいの受け取り方には大きな個人差があり、においを嗅いだだけでその実態を的確に把握することは、例えば調香師のような、においとその嗅覚判断に関する専門的な知識と経験を有する者でなければ難しい。このことを背景として、嗅覚に感じられるにおいを定量的に扱うために、においの強さや質などの基本的な側面を数値として表す評価尺度や、データの客觀性や統計的有意性を考慮した測定方法が提案されている。これらのうち、臭気強度、臭気濃度、臭気指数、臭気排出強度は、悪臭防止法による規制との関連の上で重要である。

一方、各種悪臭物質を含め、においを構成する化学物質について、分析機器を用いた測定が様々な目的で行われている。嗅覚測定と各種の悪臭物質の測定を併用して、悪臭のトータルな評価と、悪臭の主体となる物質の種類や濃度等を合わせて確認すれば、対策方法の選択や対策の効果の評価において有効な情報となる。

#### i) 嗅覚による悪臭の評価尺度

##### ①臭気強度

臭気強度は嗅覚に感じられるにおいの強さを表す尺度で、我が国では6段階臭気強度表示法が一般に用いられている。これは嗅覚に感じられるにおいの強さを0から5までの6つの数字に当て嵌めたものである（表2-1）。この表示法は、悪臭防止法による環境中の悪臭の規制において、規制基準値の設定水準の指標として用いられている（本章 2)-(1) 参照）。

表2-1 6段階臭気強度表示法

臭気強度	内 容
0	無臭
1	やっと感知できるにおい(検知閾値)
2	何のにおいであるかわかる弱いにおい(認知閾値)
3	楽に感知できるにおい
4	強いにおい
5	強烈なにおい

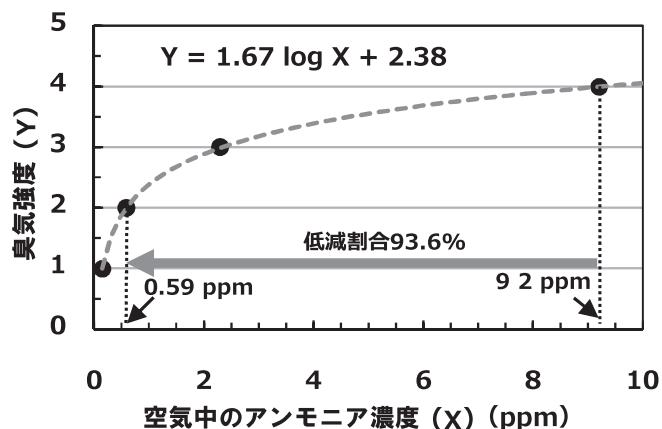
○悪臭物質の濃度と嗅覚に感じられるにおいの強さの相関 (Fechnerの法則)

人間の五感については、刺激の物理的な量と、刺激を受けて感じる感覚の量の間にFechner（フェヒナー）の法則が成り立つことが知られている。この法則は、感覚量はその原因となる刺激の量の対数に比例することを示している。嗅覚においては臭気強度が感覚量、空気中のにおい物質の濃度が刺激の量に相当し、両者の相関は以下の式で表わされる。

$$I = k \log C + a$$

(I : 臭気強度、C : 空気中のにおい物質の濃度、k, a : 物質によって定まる定数)

この相関は、におい物質の濃度が大きく変化しても、嗅覚に感じられるにおいの強さはさほど変わらないことを示している。これを悪臭対策の観点からみると、悪臭物質の濃度を大幅に低減しても、嗅覚に感じられる臭気の強さはさほど低下しないことになる。例として下図に畜産の代表的な悪臭物質であるアンモニアの空気中濃度と臭気強度の相関を示す。この相関は他の悪臭物質についても同様である。畜産に限らず悪臭対策は困難な課題であるが、このような嗅覚と悪臭物質の濃度との相関は、悪臭の主観的判断に大きな個人差があることとともに、悪臭対策の難しさの根本的な原因となっている。



臭気強度4相当のアンモニアの空気中濃度は9.2ppm、臭気強度2相当のアンモニアの空気中濃度は0.59ppm。臭気強度4相当のアンモニアを含む空気を、半分の臭気強度2まで下げるには、空気中のアンモニアを93.6%除去しなければならない。

悪臭物質を含め、代表的なにおい物質については、6段階臭気強度表示法に基づく空気中濃度-臭気強度の相関式が提示されている<sup>2)</sup>（表2-8参照）。

## ②臭気濃度、臭気指数、臭気排出強度

臭気濃度は、においが感じられる空気を無臭の清浄な空気で希釈していく、嗅覚において感じるが感じられなくなった時点の希釈倍数を指す。例えば臭気濃度10000においては、無臭の空気で10000倍に希釈すると嗅覚に感じられなくなるにおいてある。臭気指数は臭気濃度の対数値を10倍した値で、例えば臭気濃度10000は臭気指数で表すと40となる。人間の嗅覚は刺激量の対数に比例するため、臭気濃度より臭気指数の方がより人間の感じる感覚量に近い尺度である。

$$\text{臭気指数} = 10 \times \log (\text{臭気濃度})$$

例) 臭気濃度10000の臭気 = 臭気指数40

$$10 \times \log (10000) = 10 \times \log (10^4) = 10 \times 4 = 40$$

臭気指数は悪臭防止法による規制基準に採用されており、臭気指数の算出のための臭気濃度の測定については公定法（三点比較式臭袋法、三点比較式フラスコ法）が指定されている（本章4）-(2)-i) 参照）。

臭気排出強度（Odor Emission Rate, OER）は、時間当たりのガス排出量とそのガスの臭気濃度の積であり、臭気の排出量を表す値である。ひとつの事業場で複数の悪臭発生源がある場合、各発生源のOERの総和を総臭気排出強度（Total Odor Emission Rate, TOER）と呼び、事業場全体からの臭気の排出量を示す値となる。表2-2にTOERのレベルと悪臭苦情発生の度合いを示す。畜産においては、養豚、養鶏場でのTOERは $10^{7\sim 8}$  ( $\text{m}^3/\text{分}$ ) とされている。

臭気排出強度は、悪臭防止法での気体排出口に係る規制基準（2号規制基準）に採用されており、算定方法が指定されている（本章 2）-(2)-ii) 参照）。

表2-2 総臭気排出強度（TOER）の経験則

臭気排出強度 (TOER) $\text{m}^3/\text{分}$	悪臭苦情の起こり具合	備考
$10^4$ 以下	特殊な場合を除いて起こらない。	—
$10^{5\sim 6}$	現在小規模の公害が起こっているか、その可能性を内在している。	悪臭の到達距離は1~2 kmで、悪臭苦情も500 m以内が中心であり、1 km以遠はまずないといえる。
$10^{7\sim 8}$	小・中規模の公害が起こっている。	悪臭の最大到達距離は2~4 kmで悪臭苦情は1 km範囲内である。
$10^{9\sim 10}$	大規模の公害が起こっている。	悪臭の最大到達距離は10 km以内で、悪臭苦情は2~3 km範囲内である。
$10^{11\sim 12}$	最大の発生源でその例は少ない。	悪臭の最大到達距離は数十kmに及び、被害も4~6 kmの範囲に及ぶ。

## ③快・不快度

においの質は快いにおい（芳香）と不快なにおい（悪臭）に大別されるが、これらそれぞれの度合いを表す方法として9段階快不快度表示法が提示されている（表2-3）。これはにおいの快または不快の程度を-4から+4までの9つの数字に当てはめたもので、0（快でも不快でもない）を中心として、プラス側が快、マイナス側が不快の尺度となり、悪臭についてはマイナス側が該当する。ただし、質的には芳香に類するにおいであっても、濃度が高過ぎたり、長時間にわたってにおい続けたりする場合は不快と感じられることもあることから、この尺度の適用は短時間での判断に限定される。

表2-3 9段階快・不快度表示法

快・不快度	内 容
4	極端に快
3	非常に快
2	快
1	やや快
0	快でも不快でもない
-1	やや不快
-2	不快
-3	非常に不快
-4	極端に不快

#### ④その他

においの質と強さの判断法として、ニオイプロフィール加算法、生活環境不快度評価法等が考案されている<sup>3, 4)</sup>。また、長時間の評価尺度としては臭気頻度（どの程度の頻度でにおいを感じるかを評価。常時におう、1日に1回程度、週に1回程度、等）がある。

##### iii) 機器分析によるにおい物質の測定

多様な化学物質の混合物としてのにおいの分析・評価として、物理的吸着や化学結合反応を用いて空気中に含まれるにおい物質を捕集し、ガスクロマトグラフ分析器等を用いた機器分析で物質の同定や定量を行う様々な方法が利用されている。物質を網羅的に採取・分析する場合と、特定の物質を選択的に捕集・分析する場合がある。悪臭防止法で規制の対象となっている代表的な悪臭物質（特定悪臭物質）については、測定のための公定法が定められており、標準的な測定法として利用されている（本章 4)-(1)-i)参照）。

#### 参考文献

- 1) 石黒辰吉：臭気対策の基礎と実際. pp. 1, オーム社, 東京 (1997)
- 2) 石黒辰吉：臭気対策の基礎と実際. pp. 108-109, オーム社, 東京 (1997)
- 3) 斎藤幸子：ニオイと官能. 日本醸造協会誌 84(5), 280-286 (1989)
- 4) 金村早穂, 斎藤幸子, 飯田健夫：ニオイの快・不快度の直接的・間接的評価法の検討. 人間工学 25(2), 77-85 (1989)

#### 2) 環境中の悪臭の規制（悪臭防止法）

我が国では、屋外環境中の悪臭に対して悪臭防止法（1971～）に基づく規制が行われている。悪臭防止法は、工場や事業場のような固定発生源から発生する悪臭に対して必要な規制を行い、悪臭防止策を進めることによって生活環境を保全することを目的としている。法律制定後に数度の改正が行われており、現行の法律は2011年一部改正後のものである<sup>1-4)</sup>。

##### (1) 悪臭の規制の概要

悪臭防止法による規制がかかる場面は、事業場の敷地境界線（1号規制）、気体排出口（2号規制）、排出水（3号規制）の3つである（図2-1）。

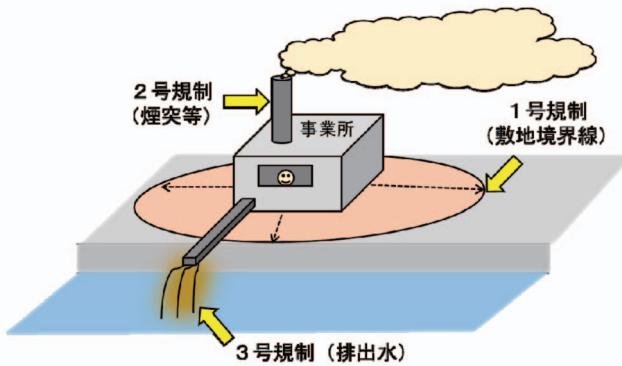


図2-1 悪臭防止法による規制のかかる場面

規制には2つの種類があり、ひとつは法律で定められた代表的な悪臭物質（特定悪臭物質、全22種類）の濃度に基づく規制、もうひとつは嗅覚測定から算出される臭気指数（本章 1)-(1)-i)-②参照）に基づく規制である。

規制の水準には、6段階臭気強度表示法（表2-1）に基づく臭気強度2.5、3、3.5相当の3段階があり、各段階の臭気強度それぞれに相当する特定悪臭物質の気中濃度の値（気中濃度に基づく基準値）あるいは臭気指数の値（臭気濃度または臭気指数に基づく基準値）が規制基準となる。

具体的な規制は、自治体が規制をかける地域（規制地域）を定め、そこに一定水準の規制をかける形で行われる。一つの規制地域には、その地域の人口や悪臭発生の状況等を考慮して、2種類の規制のいずれか一方の、3段階の水準のうち一つの水準の規制基準がかけられる（図2-2(a)）。規制地域内で悪臭苦情が発生すると、悪臭発生源である事業場について悪臭の調査が行われる。当該地域の規制基準を上回る臭気が確認された場合は、事業場内に調査が入り、改善勧告、改善命令が行われる（図2-2(b)）。

臭気指数による規制は1996年に新たに追加された規制で、低農度の複合臭（含まれている個々の悪臭物質の濃度は低いが、それらが混合した全体としては嗅覚に強く感じられる臭気）に対する規制を目的としており、特定悪臭物質による規制よりも厳しい規制である。近年この規制を採用する自治体が徐々に増えており、この規制が適用された地域の畜産経営は、悪臭の発生への厳しい対応を迫られることになる。

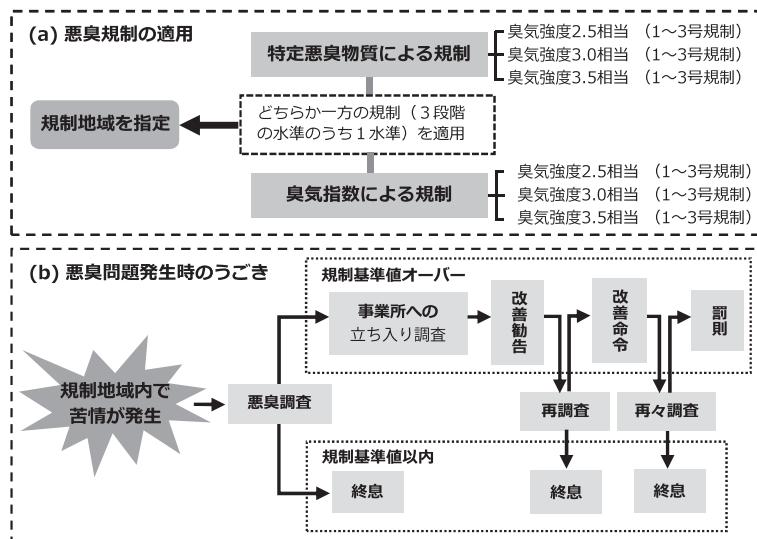
図2-2 (a), (b) 悪臭防止法による環境中の悪臭の規制の概要<sup>5)</sup>

表2-4に特定悪臭物質と1～3号規制の対象となる物質を示す。1号規制では全22種類が対象となり、2号規制では13種類、3号規制では硫黄化合物類の4種類がそれぞれ対象となる。

表2-4 特定悪臭物質のにおいの特徴と1～3号規制での規制対象

特定悪臭物質	におい	1号規制 (敷地境界線)	2号規制 (気体排出口)	3号規制 (排出水)
アンモニア	し尿のようなにおい	○	○	
メチルメルカプタン	腐った玉ねぎのようなにおい	○		○
硫化水素	腐った卵のようなにおい	○	○	○
硫化メチル	腐ったキャベツのようなにおい	○		○
二硫化メチル	腐ったキャベツのようなにおい	○		○
トリメチルアミン	腐った魚のようなにおい	○	○	
プロピオン酸	刺激的な酸っぱいにおい	○		
ノルマル酪酸	汗臭いにおい	○		
イソ吉草酸	むれた靴下のようなにおい	○		
ノルマル吉草酸	むれた靴下のようなにおい	○		
スチレン	都市ガスのようなにおい	○		
トルエン	ガソリンのようなにおい	○	○	
キシレン	ガソリンのようなにおい	○	○	
酢酸エチル	刺激的なシンナーのようなにおい	○	○	
メチルイソブチルケトン	刺激的なシンナーのようなにおい	○	○	
イソブタノール	刺激的な発酵したにおい	○	○	
アセトアルデヒド	刺激的な青ぐさいにおい	○		
プロピオンアルデヒド	刺激的な甘酸っぱい焦げたにおい	○	○	
ノルマルブチルアルデヒド	刺激的な甘酸っぱい焦げたにおい	○	○	
イソブチルアルデヒド	刺激的な甘酸っぱい焦げたにおい	○	○	
ノルマルバレルアルデヒド	むせかえるような甘酸っぱい焦げたにおい	○	○	
イソバレルアルデヒド	むせかえるような甘酸っぱい焦げたにおい	○	○	

○: 規制基準あり

## (2) 1～3号規制基準の設定

### i) 1号規制基準（敷地境界線に係る規制基準）

事業場の敷地境界線地点の悪臭に対してかけられる規制基準で、特定悪臭物質22種類の空気中濃度あるいは臭気指数が具体的な規制基準値となる。

表2-5、表2-6に特定悪臭物質および臭気指数の1号規制の基準値を示す。臭気指数は臭気強度の各段階で一定の数値の範囲が提示されており、この範囲内で基準値を設定する<sup>⑨</sup>。下記の2号規制基準および3号規制基準は、当該規制地域の1号規制基準に基づいて設定される。

表2-5 1号規制での特定悪臭物質の規制基準（単位：ppm）

特定悪臭物質	臭気強度		
	2.5	3	3.5
アンモニア	1	2	5
メチルメルカプタン	0.002	0.004	0.01
硫化水素	0.02	0.06	0.2
硫化メチル	0.01	0.05	0.2
二硫化メチル	0.009	0.03	0.1
トリメチルアミン	0.005	0.02	0.07
プロピオン酸	0.03	0.07	0.2
ノルマル酪酸	0.001	0.002	0.006
イソ吉草酸	0.001	0.004	0.01
ノルマル吉草酸	0.0009	0.002	0.004
スチレン	0.4	0.8	2
トルエン	10	30	60
キシレン	1	2	5
酢酸エチル	3	7	20
メチルイソブチルケトン	1	3	6
イソブタノール	0.9	4	20
アセトアルデヒド	0.05	0.1	0.5
プロピオンアルデヒド	0.05	0.1	0.5
ノルマルブチルアルデヒド	0.009	0.03	0.08
イソブチルアルデヒド	0.02	0.07	0.2
ノルマルバニルアルデヒド	0.009	0.02	0.05
イソバニルアルデヒド	0.003	0.006	0.01

表2-6 1号規制での臭気指数の規制基準

臭気強度	臭気指数の範囲
2.5	10～15
3.0	12～18
3.5	14～21

### iii) 2号規制基準（気体排出口に係る規制基準）

事業場内の煙突等の気体排出口から排出されるガスの悪臭にかけられる規制基準で、ガス中の特定悪臭物質の気中濃度あるいは臭気指数を、排出ガスが地表に着地した地点で上記の1号規制基準以下に抑えることを目的として算出・設定される。

#### ①特定悪臭物質による規制

表2-1に示した13物質について、以下の式で算出される悪臭物質の排出流量が規制基準値となる<sup>2)</sup>。

$$q = 0.108 \times He^2 \cdot C_m$$

q : 悪臭物質の排出流量（温度0°C、1気圧に換算した値。単位：m<sup>3</sup>/hr）

He : 下記の計算により補正された排出口の高さ（単位：m）

C<sub>m</sub> : 当該規制地域の1号規制基準の値（単位：ppm）

排出口の高さの補正値Heは以下の式で計算する。

$$He = Ho + 0.65(Hm + Ht)$$

$$Hm = (0.795\sqrt{(Q \cdot V)} / (1 + (2.58/V)))$$

$$Ht = 2.01 \times 10^{-3} \cdot Q \cdot (T-288) + \{2.30 \log J + (1/J) - 1\}$$

$$J = (1/\sqrt{(Q \cdot V)}) \times \{1460 - 296 \times (V/(T-288))\} + 1$$

He : 補正された排出口の高さ (単位 : m)

Ho : 排出口の実高さ

Q : 温度15°Cにおける排出ガスの流量 (単位 : m<sup>3</sup>/hr)

V : 排出ガスの排出速度 (単位 : m/sec)

T : 排出ガスの温度 (単位 : 絶対温度)

## ②臭気排出強度または臭気指数による規制基準

気体排出口の高さ、ガス排出量、周辺建物の影響等を考慮して、気体排出口での臭気排出強度または臭気指数の値を算出し、規制基準とする。規制基準の計算においては、排出口およびその周辺について調査を行って計算に必要なデータを収集し、それらを規定の計算方法<sup>注)</sup>に当て嵌めて計算する。必要な調査項目および計算方法は、大別して排出口の高さが15 m以上と15 m未満の場合でそれぞれ異なっており、これら2つの区分の下にも細かい区分があることから、調査データがいずれの区分に当て嵌まるかを確認した上で計算方法を選択する。計算については、臭気指数2号基準算定ソフト（においシミュレーター、環境省のホームページからダウンロード可能）<sup>7)</sup>が提供されており、これを用いて計算することができる。

気体排出口およびその周辺建物の高さによる区分、およびそれぞれの区分での算定ソフトによる規制基準の算定に必要な調査項目（環境省資料<sup>8)</sup>より抜粋）を以下に示す。

注) 計算方法および計算式の詳細については資料<sup>2,8,9)</sup>を参照されたい。

＜排出口高さと周辺最大建物との高さ関係による区分＞

A: 排出口の実高さが 6.7 m 未満の場合

B: 排出口の実高さが 6.7 m 以上 15 m 未満の場合

C: 排出口の実高さが 15 m 以上で周辺最大建物高さの 1.5 倍未満の場合

D: 排出口の実高さが 15 m 以上で周辺最大建物高さの 1.5 倍以上の場合

＜各計算パターンでの調査項目＞

【凡例】 ◎: 必須入力 ○: いずれか 1 つを選択・入力 △: 条件により入力省略可 -: 入力不要

調査項目	A	B	C	D	実測の留意点
排出口の実高さ(m)	◎	◎	◎	◎	横向きの排出口では下側から地表面までの高さ
周辺最大建物の高さ(m)	-	◎	◎	◎	図面等による建物の実高さ
1号基準	◎	◎	◎	◎	当該地域における規制基準
排出口口径(m)	○	○	-	○	断面積でも可
排出ガス流量(乾き)(m <sup>3</sup> /min)	-	-			最終吐出口又は採取口で測定
排出ガス流量(湿り)(m <sup>3</sup> /min)	-	-	○	○	
吐出速度(ガス流速)(m/s)	-	-	-		
排出ガス水分量(%)	-	-	△	◎	
排出口と敷地境界との最短距離(m)	-	-	△	◎	実測又は設計図面より設定
建物と敷地境界との最短距離(m)	-	-	△	◎	
排出口の向き	-	-	-	○	上向きのとき上昇高を計算
排出ガス温度(°C)	-	-	-	△	排出口が上向きの場合のみ必要
排出ガスの臭気指数	○	○	○	○	基準へ適合状況を判断する

排出口高さが15 m未満の中小規模の施設（上記AまたはBに該当）の場合は、一部の測定項目を簡略化した以下の式で臭気指数を算出し、規制基準とすることができる。

$$2\text{号基準} = 1\text{号基準} + \text{希釈度}$$

希釈度：排出ガスが最大着地濃度地点に着地するまでの希釈度合い

希釈度については、3段階の排出口口径（60 cm未満（小）、60 cm以上90 cm未満（中）、90 cm以上（大））それぞれで、排出口の高さ、周辺最大建物の高さと希釈度の相関を示した3つの「希釈図」<sup>8)</sup>が提示されており、これらの数値を図に当て嵌めて希釈度を求め、2号規制基準値を計算することができる。また、1号基準の値（10～21）それぞれで、排出口高さ、排出口口径、周辺最大建物の高さの組み合わせ毎に2号規制基準値を示した「早見表」<sup>8)</sup>も提示されている<sup>注)</sup>。

また、排出口高さが15 m以上で周辺最大建物高さの1.5倍未満の場合（上記Cに該当）、周辺最大建物高さおよびガス流量に基づく希釈図（中小規模施設用の希釈図とは別）<sup>8)</sup>から希釈度を求め、上記の式により臭気指数を算出し、規制基準を設定することができる<sup>注)</sup>。

注) 行政措置等に関連して厳密に2号基準値を計算する場合は、既定の計算式や算定ソフトを用いた計算が必要である。

### iii) 3号規制基準（排出水に係る規制基準）

#### ①特定悪臭物質による規制

下記の式で規制対象である4種類の硫黄化合物（表2-4参照）の排水中の濃度を算出し、当該地域の1号規制基準の値および排出水の流量から設定される（表2-7）。

$$C_{lm} = k \times C_m$$

$C_{lm}$ ：排水中の濃度（mg/L）

k：定数（mg/L、当該事業場から敷地外に排出される排水の量ごとに掲げる値）

$C_m$ ：当該事業場から敷地境界線における規制基準（1号規制基準、ppm）

表2-7 特定悪臭物質による3号規制基準

悪臭物質	排水水の流量 Q (m <sup>3</sup> /s)	定数 k	排水水中的濃度の規制基準 $C_{lm}$ (mg/L)		
			2.5*	3.0*	3.5*
メチルメルカプタン	$Q \leq 0.001$	16	0.03	0.06	0.2
	$0.001 < Q \leq 0.1$	3.4	0.007	0.01	0.03
	$0.1 < Q$	0.71	0.001	0.003	0.007
硫化水素	$Q \leq 0.001$	5.6	0.1	0.3	1
	$0.001 < Q \leq 0.1$	1.2	0.02	0.07	0.2
	$0.1 < Q$	0.26	0.005	0.02	0.05
硫化メチル	$Q \leq 0.001$	32	0.3	2	6
	$0.001 < Q \leq 0.1$	6.9	0.07	0.3	1
	$0.1 < Q$	1.4	0.01	0.07	0.3
二硫化メチル	$Q \leq 0.001$	63	0.6	2	6
	$0.001 < Q \leq 0.1$	14	0.1	0.4	1
	$0.1 < Q$	2.9	0.03	0.09	0.3

\*: 規制基準に対応する臭気強度

## ②臭気指数による規制

排出水から拡散した臭気の地上1.5 mの高さでの最大濃度が、事業場の敷地境界における規制基準（1号規制基準）を超えないように、以下の式で臭気指数の許容濃度を設定する。

$$I_w = L + 16$$

I<sub>w</sub>：排出水の臭気指数

L：事業場の敷地境界線における規制基準（1号規制基準）として定められた値

1号規制基準は臭気強度2.5～3.5に対応する臭気指数10～21の範囲で定められることから（表2-6）、排出水に係る臭気指数の規制基準は26～37の範囲の値となる。

## 参考文献

- 1) 悪臭防止法. (<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=346AC0000000091>)
- 2) 悪臭防止法施行規則. (<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=347M50000002039>)
- 3) 環境省:悪臭防止法の概要. (<https://www.env.go.jp/air/akushu/low-gaiyo.html>)
- 4) におい・かおり環境協会編:ハンドブック悪臭防止法 六訂版. におい・かおり環境協会, 東京 (2012)
- 5) 黒田和孝:酪農における臭気の特徴と対策. 羽賀清典: DAIRYMAN増刊号 新版マニュアル・マネージメント pp. 176-177, デーリィマン社, 札幌/東京 (2020)
- 6) 環境省管理局:臭気指数規制ガイドライン. pp. 27 (2001) ([https://www.env.go.jp/air/akushu/guide\\_ind/full.pdf](https://www.env.go.jp/air/akushu/guide_ind/full.pdf))
- 7) 環境省水・大気環境局大気生活環境室:においシミュレーター（臭気指数規制第2号基準算定ソフト）. (2007) (<http://www.env.go.jp/air/akushu/simulator/index.html>)
- 8) 環境省水・大気環境局大気生活環境室: よくわかる臭気指数2号基準. (2016) ([https://www.env.go.jp/air/akushu/panph\\_ind/yokuwkaru2\\_full.pdf](https://www.env.go.jp/air/akushu/panph_ind/yokuwkaru2_full.pdf))
- 9) 環境庁大気保全局大気生活環境室 監修:特定悪臭物質測定マニュアル. pp. 243-246, (財)日本環境衛生センター, 川崎 (1996) ([http://www.env.go.jp/air/mat01\\_zentai.pdf](http://www.env.go.jp/air/mat01_zentai.pdf))

## 3) 畜産からの悪臭の発生とその特徴

一般に、悪臭対策の基本は悪臭の発生の抑制、臭気の捕集および脱臭の組合せであるが、これらを的確に行うためには、臭気とその構成成分の特徴を十分に把握せねばならない。ここでは、畜産の主な悪臭発生源である家畜排ふん尿から発生する悪臭について、悪臭を構成する主要な悪臭物質の特徴、発生メカニズム、ふん尿の置かれる環境条件と時間の経過による発生臭気の変化について解説する。

### (1) 家畜排せつ物の臭気の主要な悪臭物質

表2-8に悪臭防止法の規制の対象となる特定悪臭物質のうち、家畜排せつ物臭気の主要な構成成分となる物質およびそれぞれの気中濃度と臭気強度の相関式を示す。

表2-8 畜産に関する特定悪臭物質の濃度と臭気強度の関係

物質名	臭気強度 (Y) と物質濃度 (X) との関係式 (X : ppm)
アンモニア	$Y = 1.67 \log X + 2.38$
メチルメルカプタン	$Y = 1.25 \log X + 5.99$
硫化水素	$Y = 0.95 \log X + 4.14$
硫化メチル	$Y = 0.784 \log X + 4.06$
二硫化メチル	$Y = 1.05 \log X + 4.45$
トリメチルアミン	$Y = 0.901 \log X + 4.56$
プロピオン酸	$Y = 1.46 \log X + 5.03$
ノルマル酪酸	$Y = 1.16 \log X + 5.66$
ノルマル吉草酸	$Y = 1.58 \log X + 7.29$
イソ吉草酸	$Y = 1.09 \log X + 5.65$

$\log X$ に乘ずる傾きの値はほぼ1に近いものが多いことから、臭気物質の濃度を10分の1にしなければ臭気強度を一段階落とすことができない(本章 1)-(1)-i参照)。逆に傾きの値が1以上のものは脱臭した際の臭気の減衰は比較的大きい。畜舎からの複合臭については、量的に多く、しかも閾値の低いもの、すなわち臭気濃度への寄与率が大きいと推定される物質に着目して対策を行うことが効果的である。

表2-9に低級脂肪酸等の悪臭物質の性状およびアメリカ合衆国産業衛生専門官会議(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)による各悪臭物質の許容濃度を示した。低級脂肪酸の炭素数が増加すると沸点や酸解離定数pKaが上昇し、臭気は刺激臭から酸敗した汗臭に変化する。pKa値はギ酸( $C_1$ ):3.75、酢酸( $C_2$ ):4.76、プロピオン酸( $C_3$ ):4.87、イソ酪酸( $iC_4$ ):4.85、ノルマル酪酸( $nC_4$ ):4.82、イソ吉草酸( $iC_5$ ):4.78、ノルマル吉草酸( $nC_5$ ):4.84である。

表2-9 悪臭物質の理化学的性状およびACGIH許容濃度

物質名	化学・示性式	分子量	比重	融点 (°C)	沸点 (°C)	水溶性	pKa	許容濃度
プロピオン酸	$CH_3CH_2COOH$	74.08	0.999	-22	141	∞	4.87	10 ppm
ノルマル酪酸	$CH_3(CH_2)_2COOH$	88.11	0.959	-5.7	163.5	∞	4.82	—
ノルマル吉草酸	$CH_3(CH_2)_3COOH$	102.14	0.939	-34.5	187	水100 gに3.7 g	4.84	—
イソ吉草酸	$(CH_3)_2CHCH_2COOH$	102.14	0.928	-37.6	176.5	水100 gに4.2 g	4.78	—
アンモニア	$NH_3$	17.03	—	-77.7	-33.4	水100 gに89.9 g	9.25	25 ppm
メチルメルカプタン	$CH_3SH$	48.11	0.896	-121	6	微溶	10.37	0.5 ppm
硫化水素	$H_2S$	34.08	—	-82.9	-60.4	水100 gに437 mL	7.24 14.92	10 ppm
硫化メチル	$(CH_3)_2S$	62.14	0.845	-83.2	37.5	不溶	—	—
二硫化メチル	$CH_3SSCH_3$	94.2	1.057	液	110	—	—	—
トリメチルアミン	$(CH_3)_3N$	59.11	0.662	-124	3	易溶	9.8	—
アセトアルデヒド	$CH_3CHO$	44.05	0.784	-123.3	20.8	∞	—	100 ppm
スチレン	$C_6H_5CH=CH_2$	104.51	0.907	-31	145.8	微溶	—	100 ppm

家畜排せつ物の臭気に含まれる主要な悪臭物質(表2-8)は各畜種で基本的に共通しており、畜種による臭気の相違は、主に各悪臭物質の濃度や混合割合の違い、畜種に特徴的な比較的低濃度の物質の混合、悪臭空気中の粉塵の量の差などから生じてくる。例えば、鶏舎や牛舎ではアンモニアの発生量が大で低級脂肪酸が少ないが、豚舎では低級脂肪酸(特に酪酸と吉草酸)が多い。鶏ふんでは側鎖をもった低級脂肪酸が少ない。低級脂肪酸は主に微生物の作用により、消化管内容物中の脂肪や炭水化物および蛋白質の分解から生成する。アミノ酸からの低級脂肪酸の生成は

Stickland反応として知られており、アミノ酸2モルの還元的脱アミノがアミノ酸1モルの酸化的脱アミノと共に起り、それぞれ側鎖をもった低級脂肪酸を与える(図2-3)。生成した低級脂肪酸は好気条件下では速やかに二酸化炭素と水に分解するが、嫌気条件下では分解が進まず、集積して臭気が強くなる。

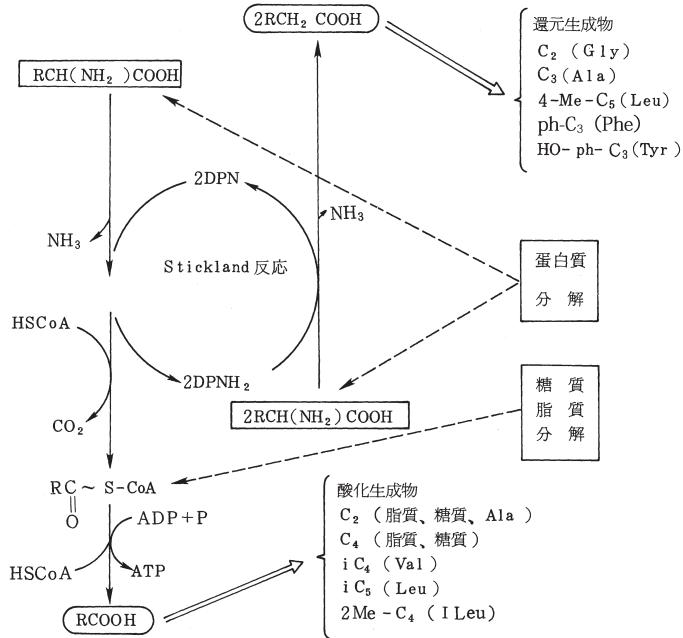


図2-3 Stickland反応 (R. P. Michael)

アミノ酸は、微生物により脱炭酸してアミンにも分解する。フェノールやp-クレゾールも尿からのほか、ふん尿中のチロシンの脱アミノにつづく脱炭酸によって生ずる。同様に、ふん中の微生物の作用によりトリプトファンからはインドール類が発生する。尿にふんが混じると、尿素はふん中の微生物のウレアーゼの作用により速やかにアンモニアに分解されるとともに、ふん尿混合物も全体が嫌気状態になるため、嫌気条件下での分解に由来する強い腐敗性の臭気が発生する。尿中にはフェノールはグルクロナيد、トリメチルアミンはオキサイドの、それぞれ不揮発性の無臭の形で排出されるが、ふんが混入すると速かに分解されて揮発性の悪臭物質の形となる。牛や山羊においては、トリメチルアミンは飼料中のレシチン、コリン等のルーメン内での分解により発生し、尿や乳汁中にオキサイドとして排出される。

火力乾燥処理の場合は、ふんや羽毛が高温にさらされるため、アミノ酸のStrecker分解によるアルデヒド、アンモニア、硫化水素、メルカプタンの発生や、ピラジン形成が起こるため臭気が強くなる。急速堆肥化やスラリーの曝気処理では、最初に硫黄化合物主体の臭気が生じ、品温上昇に続いて多量のアンモニアが発生する。スラリーの臭気の不快度の指標としては、生物化学的酸素要求量 (Biological Oxygen Demand,  $\text{BOD}_5$ )、低級脂肪酸、インドール類、フェノール類は曝気液やその貯留液で相関が高いが、一方硫化物は貯留液では高く曝気液では低いこと、アンモニアでは相関が認められないことなどが報告されている。

畜舎の粉塵は飼料、排せつ物、敷料、畜体等から発生するが、臭気や微生物を気道の奥深く到達させるため、家畜飼養や作業環境および衛生上の観点からも除去が必要である。除塵により鶏舎や豚舎の臭気がかなり除かれることも確認されている。

## (2) 悪臭物質による生理的障害

畜産経営の臭気は、主として飼料やふん尿に由来し、微生物による有機物の分解から発生するものであるが、発生する臭気の濃度や質は、発生源それぞれの温度、水分、酸素などの条件によって著しく相違する。図2-4に示すように、好気的条件下では、有機物の分解から生成する物質は炭酸ガスと水が主体であり、一部の窒素と硫黄を含むものからは硝酸塩や硫酸塩が生成される。但し、後述のように、ふん尿の堆肥化処理においては、初期の活発な有機物分解が進行する時にアンモニアや硫黄化合物類の高濃度発生が起こる。一方、嫌気的条件下ではメタン、アンモニア・アミン類、硫化水素などが多量に生成される。

**表2-10** (次頁) に家畜ふん尿由来の代表的な有害ガスとその特徴を示す。悪臭物質を含めて、これらの有害ガスは様々な生理的障害を引き起こす危険を有することから、常に安全な濃度の範囲内での飼養管理が必要とされている。

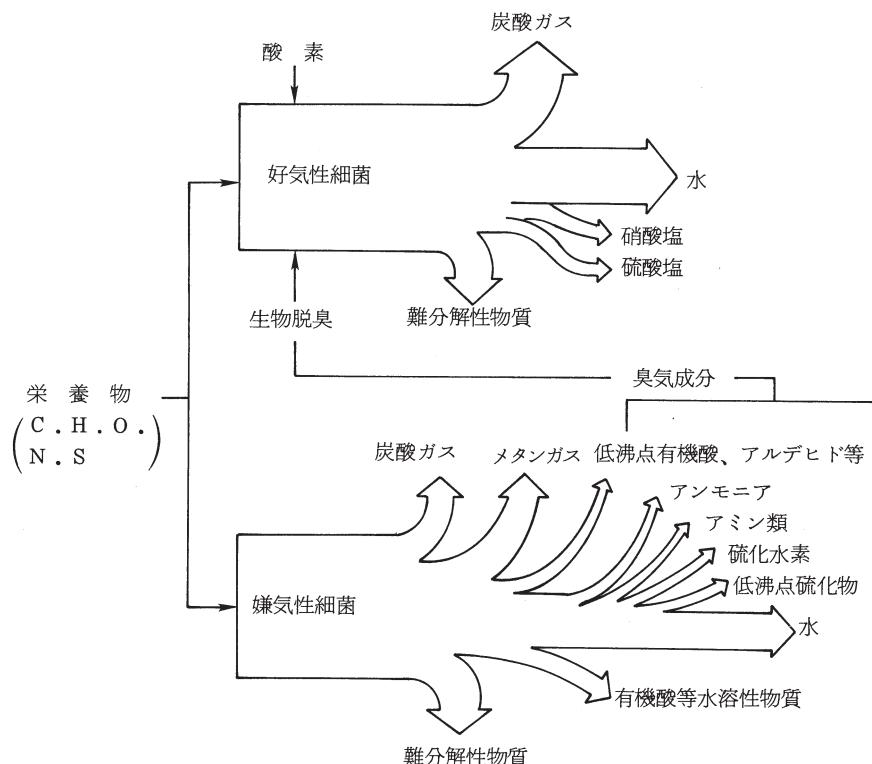


図2-4 細菌による栄養物の分解

悪臭物質を含め、家畜排せつ物とその処理の過程からの発生量が多く、人間や家畜の生理に有害な作用を及ぼす代表的な物質を以下に示す。

### ・二酸化炭素 ( $\text{CO}_2$ )

$\text{CO}_2$ は水によく溶解し、畜産においては、家畜ふん尿の分解と家畜の呼吸により増加して酸素含量が低下する。ガス自体の毒性は弱いが、10%では強度の呼吸促迫があり、酸素量が適切でも  $\text{CO}_2$ が10%以上では麻痺が発生し、25%では数時間で人が死亡する。動物では、4%で深い呼吸と数が増加し、7~9%では不安状態を示し、40%以上では目まいと意識不明が発生する。体重84~91kgの豚では、20%濃度の状態のまま1時間放置しても常に危険ではなく、正常の空気にもどした時には完全に回復する。正常な換気の豚舎内の平均  $\text{CO}_2$  濃度は0.06~0.07%であるが、換気不良では6時間で0.4%に上昇した例も報告されている。

表2-10 家畜ふん尿に由来する有害ガスの性質と生理的な影響 (Midwest Plan Services)

ガスの名称	におい	爆発の範囲 (容量%)		においの強度 (ppm)	最大許容濃度 (ppm)	濃度による生理的な影響		
		最小%	最大%			濃度 (ppm)	曝露時間 (分)	生理的障害
二酸化炭素 (CO <sub>2</sub> )	なし	—	—	—	5,000	20,000	—	安全
						30,000	—	呼吸数増加
						40,000	—	意識不明・頭痛
						60,000	30	重症・窒息性呼吸
						300,000	30	致死
アンモニア (NH <sub>3</sub> )	嗅覚を鋭く 刺激する	16	—	5	50	400	—	咽喉刺激
						700	—	眼刺激
						1,700	—	咳と発泡
						3,000	30	窒息
						5,000	40	致死
硫化水素 (H <sub>2</sub> S)	腐った卵の ようなにおい で嘔吐を もよおす	4	46	0.7	10	100	数時間	眼と鼻の刺激
						200	60	頭痛・めまい
						500	30	嘔吐・興奮・不眠症
						1,000	—	感覚麻痺・致死
メタン (CH <sub>4</sub> )	なし	5	15	—	1,000	500,000	—	頭痛・無害
一酸化炭素 (CO)	なし	—	—	—	50	500	60	影響なし
						1,000	60	不快であるが実害無し
						2,000	60	危険
						4,000	60+	致死

注) 爆発の範囲は、ガスと空気の容量%で、火花となって爆発する。

においの強度は、においが判定できる最低濃度を示す。

最大許容濃度は、作業者が8~10時間健康が維持できる最大の濃度を示す。

曝露時間は、成人または体重68 kgの豚における影響を調査した時間である。

生理的障害は、成人または体重68 kgの豚に発生する障害であり、小さい豚は低濃度で早く障害が発生する。

#### ・アンモニア (NH<sub>3</sub>)

NH<sub>3</sub>もまた極めて高い水溶性であるが、空気と混合した場合には16%以上で爆発して火災が発生することがある。NH<sub>3</sub>はふん尿とその分解から大量に生成される。また水への溶解性が高く、ふん尿の水洗処理により除去することが可能であるが、敷料にふん尿を混合させる場合や床暖房の場合には発生量が多くなる。ふん尿混合処理の場合は、pHが8以上になると水中からNH<sub>3</sub>が放出される。

NH<sub>3</sub>は1 ppm以上の濃度で刺激臭が感じられ、25~30 ppmで眼に化学的炎症が発生し、雛では50 ppm (0.005%) 以上で眼炎が発症する。また、アミンの一種であるジメチルアミンもNH<sub>3</sub>と同様の刺激臭があり、呼吸気道の粘膜を刺激する。養鶏での推奨NH<sub>3</sub>濃度は10 ppm以下であり、25 ppm以上で増体量、飼料要求率が低下する。養豚においても推奨アンモニア濃度は10 ppm以下であり、10 ppm以上で呼吸器系の炎症が発生する。

人に対する反応も、低濃度では眼と呼吸器を刺激し、濃度が高くなると呼吸困難となり、5,000 ppmが危険レベルである。密閉した畜舎内に入った時に、一時的に眼が刺激され涙が出る程度の濃度が200 ppmであるといわれている。動物では200 ppmで咳と流涎を発生し、食欲減退となり、このような状態を長時間持続すると呼吸器疾患、特に肺炎が増加する。

また、NH<sub>3</sub>は水蒸気や粉塵と混合したミストとなって空間に散在するものであり、比較的床に近い場所に濃縮し易い傾向がある。さらに、集積したものは酸化されて硝酸または亜硝酸となり、これを摂取すると中毒症を発生することがある。

### ・硫化水素 ( $H_2S$ )

$H_2S$ は、燃焼すると青みがかった焰を出して燃え、酸素と混合した場合には爆発する。生理的には、刺激性と窒息性の両方の作用を持ち、低濃度でも眼と呼吸器を著しく刺激する。1,000 ppmになると直ちにこん睡状態となり、人工呼吸を行わないと呼吸麻痺により死亡することがある。動物に対する反応は、低濃度の20 ppmでも光線を嫌がって暗い場所を好み、神経質な挙動を示し、食欲が減退して増体重が低下する。50～200 ppmでは嘔吐および下痢症状を示し、1,000 ppmでは死亡する。

$H_2S$ の臭気は卵の腐敗したような臭気で、嘔吐をもよおす性質のものであるが、高濃度の場合には嗅覚が麻痺するために、臭気が必ずしも強く感知されるとは限らないので、意外な事故を招く場合がある。予防策としては、酢酸鉛液に浸した紙片を使うと $H_2S$ が発生している場合は黒色を呈するので、この方法によって $H_2S$ の発生診断を行い、事前に事故を防止する必要がある。

$H_2S$ は通常ふん尿混合のスラリー貯留槽やメタン発酵槽で嫌気的条件下での有機物の分解から大量に生成する。可溶性であるために液中に溶解した状態となっているので、外気に放出されない限り臭気そのものは感じられないが、液状肥料利用の目的で内容物を攪拌またはポンプで吸い上げを行う時に大量に放出され、極めて強い臭気が感じられるようになる。

### ・メタン ( $CH_4$ )

ふん尿を嫌気分解した場合に多量の $CH_4$ が発生する。このガスは空気よりも著しく軽いので容易に大気中に飛散するが、畜舎内の天井部に集積することがある。また、水には余り溶解せず、燃焼した場合には青い焰を出してよく燃える。さらに、空気中濃度が5%以上の時に爆発する危険性がある。

$CH_4$ は完全嫌気条件下で、温度を比較的高くした場合（25～40°C）に発生量が多くなり、燃料としての有効利用が可能となる。現状での燃料利用は必ずしも経済的でないが、メタン発酵を行った後の消化液は、僅かにタール臭が認められる程度であり、大腸菌や寄生虫卵も死滅した衛生的な液状の肥料として利用することが可能となる。

## （3）家畜ふん尿からの臭気の発生とその特徴

前項では、畜産で問題となる悪臭を構成する主な悪臭物質と、その発生メカニズムを概説した。ここでは、家畜からのふん尿の排せつから排せつ物処理に至る過程で発生する臭気について、各場面でのふん尿の状態の違いや時間の経過から生じる変化を、より多様な悪臭物質を含めて解説する。

### i) 家畜ふん尿の臭気成分

#### ①新鮮家畜ふんの臭気成分

畜産関連の臭気成分についてはいくつかの報告があるが、新鮮家畜ふん尿中に含まれる臭気成分の質的・量的な把握を行った例は少ない。**表2-11**は、豚ふんおよび鶏ふん各1 kgを水蒸気蒸留し、得られた揮発性成分の量を強酸性・弱酸性・中性および塩基性（アルカリ性）に区分して示したものである<sup>1)</sup>。これらはふんの中に含まれる臭気成分の量と考えられる。含有成分の中で、豚ふんでは強酸性の区分が極めて多く、次いで弱酸性、塩基性が多い。強酸性成分は低級脂肪酸類がほとんどで、特に酢酸・プロピオン酸・n（ノルマル）-酪酸が多い。弱酸性区分ではフェノール類、特にp（パラ）-クレゾールが、中性区分ではアルコール、アルdehyドおよびインドール類が主要成分である。インドール類ではインドールとスカトールがともに多く、中性区分の臭気に

大きく関与しており、このため、量的に少ないものの中性区分の不快臭は強い。また塩基性成分の大部分はアンモニアである。

表2-11 豚、鶏ふんからの揮発性成分（単位：mg）

畜種・成分	中性	強酸性	弱酸性	塩基性
豚ふん	65	1,130	228	200
鶏ふん	194	103	95	530

注：新鮮ふん 1 kgあたり

鶏ふんでは塩基性成分が最も多く、次が中性で、強酸性および弱酸性の成分は比較的少ない。塩基性成分が多いのは尿がふんと一緒に排せつされるためであり、アンモニアのほか、アミン類も若干認められる。中性区分では、分子量の比較的小さい（炭素数5～9）不飽和のアルコールとアセトイソ、インドールが特徴的であり、スカトールは少ない。弱酸性区分ではフェノール類が中心で、p-クレゾールのほか、フェノールとp-エチルフェノールも多いのが特徴である。強酸性区分の主要成分は豚ふんと同じ低級脂肪酸であるが、量的にははるかに少ない。

一方、牛ふん尿については、豚・鶏と比較して悪臭の原因となることが少ないこともあり、測定例はさらに僅少である。相井<sup>2)</sup>は草地における排ふん過繁地形成の原因解明のため、飼料と消化管内容物からふんに至る一連の過程で発生する臭気成分を比較・検討している。それによると、牛ふん特有の臭気成分はメチルエチルケトン（2-ブタノン）、フェノール、p-クレゾール、インドールおよびスカトールであった。これらの大部分はルーメン内で生成され、ふんへと移行してきたものと考えられる。なお、メチルエチルケトンはフン虫に対し誘引作用を示すといわれている。これらの主要成分は各家畜に共通的に認められ、畜種特有のものはほとんど存在しない。したがって、家畜ふんの臭気はこれらの成分の量的な差によって特徴づけられているといえる。

### iii) ふん尿分離の効果

表2-12は各家畜排せつ物中の肥料成分の含有率を示したものである<sup>3)</sup>。このうち、窒素（N）について、ふんおよび尿の排せつ量<sup>4)</sup>を掛けて1日1頭当たりの排出窒素量を求めるとき、豚の場合はふんに21 g、尿に23 g、牛の場合はふんに130 g、尿には38 gが含まれる計算になる。豚の場合はふんと尿でほぼ等量であるが、同じ窒素でも質的にはふんと尿で大きく異なる。

表2-12 家畜排せつ物の成分含有率（乾物%）

		乾物率	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	T-C	C/N
鶏	生ふん	36.3	6.18	5.19	3.1	10.98	1.44	34.7	5.6
豚	生ふん	30.6	3.61	5.54	1.49	4.11	1.56	41.3	11.4
	生尿	2	32.5						
牛	生ふん	19.9	2.19	1.78	1.76	1.7	0.83	34.6	15.8
	生尿	0.7	27.1	tr	88.6	1.43	1.43		

注：trは痕跡を示す。

表2-13は各家畜ふん尿の成分組成を調べたものであるが<sup>5)</sup>、ふんに含有される窒素のほとんどが蛋白質の形であることがわかる。窒素化合物が臭気を発するようになるには、低分子化され、揮発性を持つ物質（アンモニアやアミン類）に変換される必要があるが、高分子の蛋白質は分解、

低分子化に時間がかかるため、アンモニアやアミン類の発生は緩慢である。これに対して、新鮮尿中には、大部分の窒素がアンモニアの前駆体（化学変化を受けその物質を生じる元の物質）である尿素または尿酸の形で存在しており、トリメチルアミンの前駆体であるトリメチルアミンオキサイドも含まれている<sup>6)</sup>。排せつ直後の尿からの悪臭の発生は少ないが、これらの窒素化合物は、微生物による分解を受ければ直ちに悪臭物質に変換され、強い臭気を発生するようになる。このことは、ふんと尿が混合されることにより臭気発生が顕著になることを意味している。豚のふん、およびふん尿混合物からのアンモニアの発生状況を図2-5に示した<sup>7)</sup>。ふんまたは尿のみからでは各々約8日または5日経ってはじめて最大発生量に達するのに対して、ふん尿混合物では1日後に最大発生量に達してしまう。これは尿中の無臭の尿素がふん中の微生物のウレアーゼの作用を受けて急激に分解したためである。同様の現象はトリメチルアミンやフェノール類でも見られることから、悪臭対策上、舎内でのふん尿分離が重要であることが分かる。

表2-13 乳牛、種豚および採卵鶏のふんの組成と代謝エネルギー (ME)

		乳牛ふん	種豚のふん	鶏ふん
水分	%	8.6	11	7.2
粗タンパク質	%	15.5	12.6	-
粗脂肪	%	2.7	4.4	2.5
NFE	%	36.2	40.9	-
粗纖維	%	19.5	17.8	10.9
粗灰分	%	17.5	13.3	19.2
全窒素	%	2.48	2.01	5.26
純タンパク質	%	14.1	12.3	8
総エネルギー	cal/g	3.84	3.96	3.47
純タンパク質の消化率	%	26.5±5.7	37.4±7.5	29.6±6.9
代謝エネルギー	cal/g	0.74±0.18	0.85±0.45	0.78±0.29
乾物中のME	cal/g	0.81	0.96	0.84

注:NFE: Nitrogen Free Extracts。でん粉、糖類、有機酸、リグニン等の可溶無窒素物のこと。

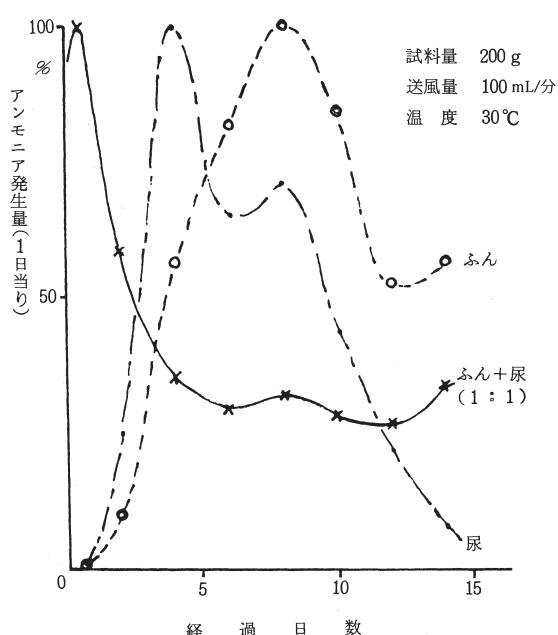


図2-5 アンモニア発生にみられる豚ふん尿分離効果

### iii) 温度の影響

臭気の発生は微生物による有機化合物の分解による場合が多いので、通常では高温になるほど多くなる。例えば豚ふん尿の場合は、好気条件においてアンモニアが大量に発生するが、発生量はふん尿の温度が高いほど多く、同時に発生するトリメチルアミンにも同様の傾向がみられる<sup>8)</sup>。また、嫌気条件では硫化水素、低級脂肪酸が多く発生するが、これらも高温になるほど多い<sup>8)</sup>。これらのことから、悪臭の発生は気温の高い夏季に多く、問題を引き起こす危険性が高くなる。

### iv) 好気および嫌気条件下における発生臭気の変化

前項で述べたとおり、新鮮な家畜ふん尿は時間の経過とともに臭気が変化するが、置かれた条件によって変化の様相が異なる。豚ふんと鶏ふんを嫌気および好気条件下に置き、発生してくる臭気を捕集して成分を分析した結果を以下に示す。

#### ①好気条件下での臭気成分の変化<sup>9, 10)</sup>

図2-6に好気条件下に置いた豚ふんの臭気プロファイルを、図2-7に同じく鶏ふんの臭気プロファイルを示した。これは容器に入れた豚ふんまたは鶏ふんに一定量の通気を行い、排気を濃縮管に捕集してGC分析したものである。ピークとして描かれている揮発性成分のほとんどが悪臭物質であることから、複合臭としてのふんの臭気を視覚化したものといえる。なお、右側b系列のクロマト図は、捕集しきれずに濃縮管を通過した比較的低分子量の物質を補助トラップに捕集して分析したもので、FPD-GCにより硫黄を含む悪臭物質が高感度で測定されている。

豚の新鮮ふんではp-クレゾールをはじめ29種の成分が検出されたが、24時間後にはケトン類とスカトールが若干増加したのみで、他の成分は減少し始めており、7日後にはどの成分も不検出まで減少した。なお、前述の水蒸気蒸留物（表2-11）と異なり、新鮮豚ふんからの排気中には低級脂肪酸類は検出されなかった。これは好気条件下で発生したアンモニアによるpH上昇のため、ふん中には存在しても揮散しなかったものと推定される。

一方、新鮮鶏ふんからも少量ながらp-クレゾールなど19種の成分が検出された。24時間後にはアルコール類、ケトン類などが増加し、トリメチルアミンなど2種の成分が加わったが、量的には少なく、7日後には極めてわずかな成分しか検出されなかった。

#### ②嫌気条件下での臭気成分の変化<sup>9, 10)</sup>

図2-8に嫌気条件下に置いた豚ふんの臭気プロファイル、図2-9に同じく鶏ふんの臭気プロファイルを示した。これは上記の好気条件の場合と同じ装置を用い、空気のかわりに一定量の窒素ガスを通気し、排気を捕集してGC分析したものである。

新鮮豚ふんからは32物質が検出され、主な成分は硫化水素、アルコール類、低級脂肪酸、p-クレゾールなどで、前述の水蒸気蒸留物の結果とほぼ一致していた。これを嫌気条件下に24時間置くと、嫌気発酵の進行を示す低級アルコール（炭素数3～6）の急増が認められたほか、ケトン類、インドール類およびp-クレゾールなども増加し、さらにエステル類が新たに出現してきた。7日後になっても、ケトン類、エステル類をはじめほとんどの成分がさらに増加する傾向にあった。

この傾向は鶏についても同様であった。新鮮ふんからは、好気条件での試験の際に検出された成分に低級脂肪酸や硫黄化合物を加えた27種の成分が検出され、いずれも量的には少なかった。しかしながら、24時間後には硫黄化合物、ケトン類、低級アルコールが急増したほか、いずれの成分も増加しており、インドールやエステル類など6種の成分が新たに検出された。7日後には、アルコール急増に伴ってエステル化が進んだため低級脂肪酸は減少したが、ケトン類やフェノール類など、他の成分はいずれもさらに増加する傾向にあった。

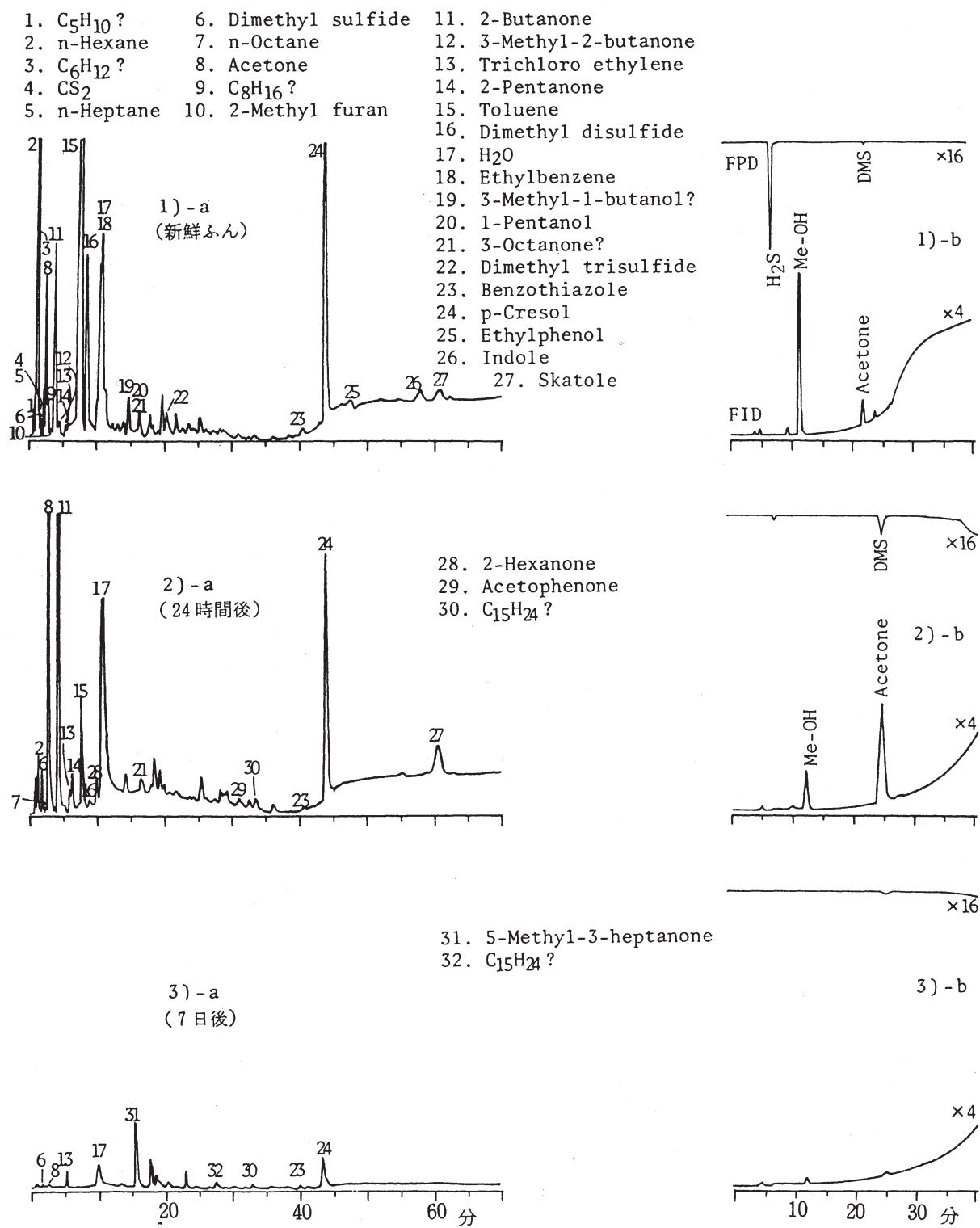


図2-6 好気条件下に放置した豚ふんの臭気プロファイル

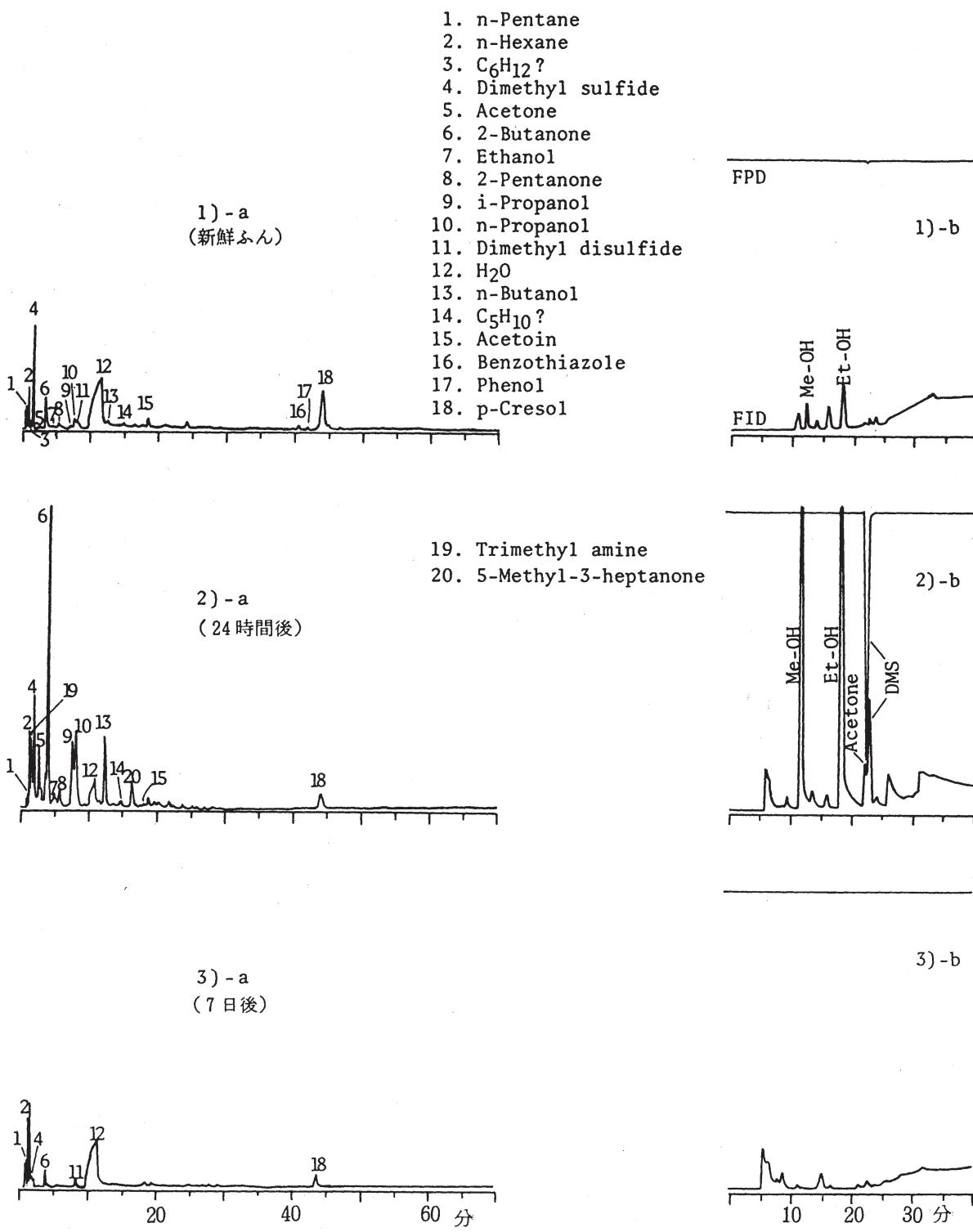


図2-7 好気条件下に放置した鶏ふんの臭気プロファイル

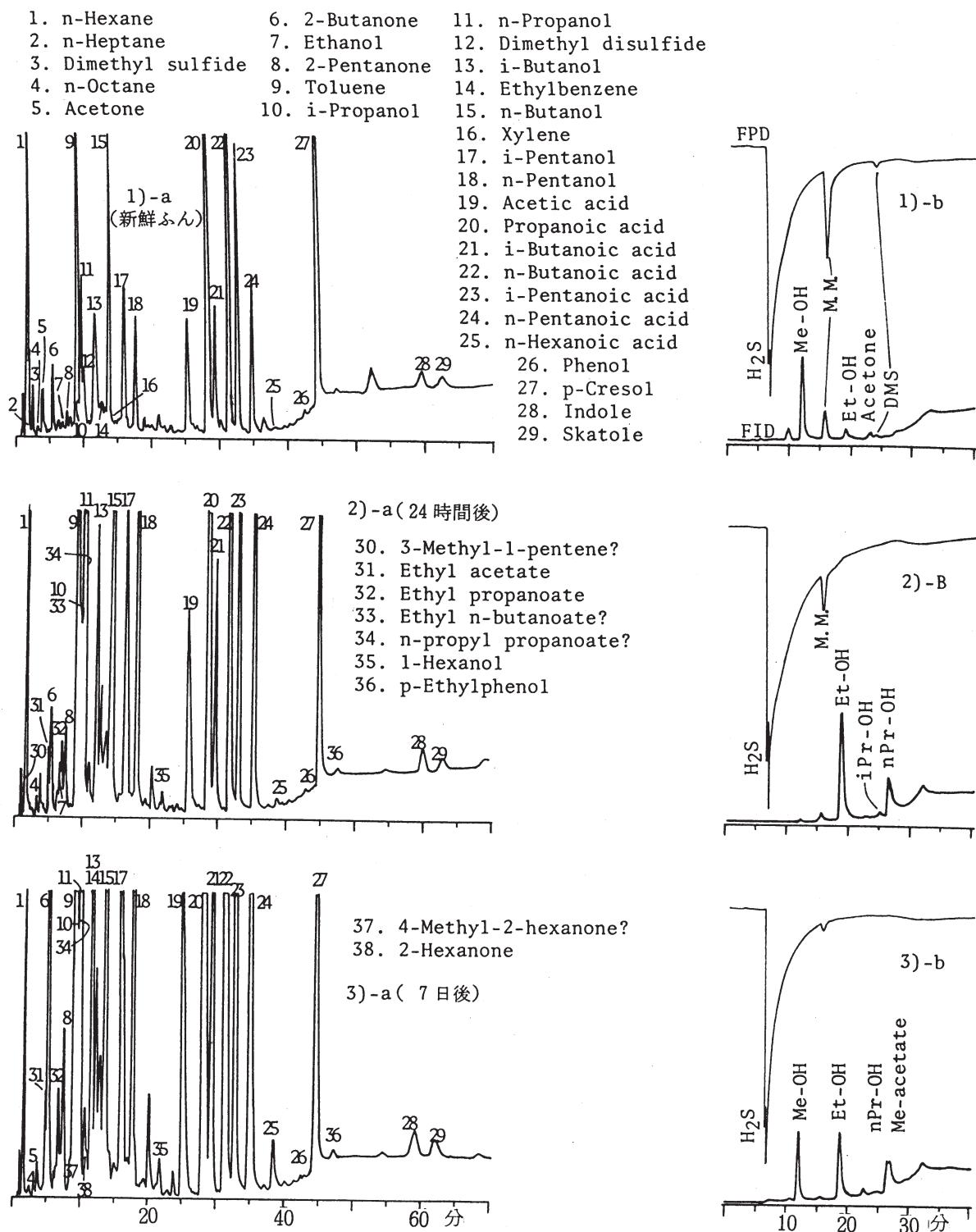


図2-8 嫌気条件下に放置した豚ふんの臭気プロファイル

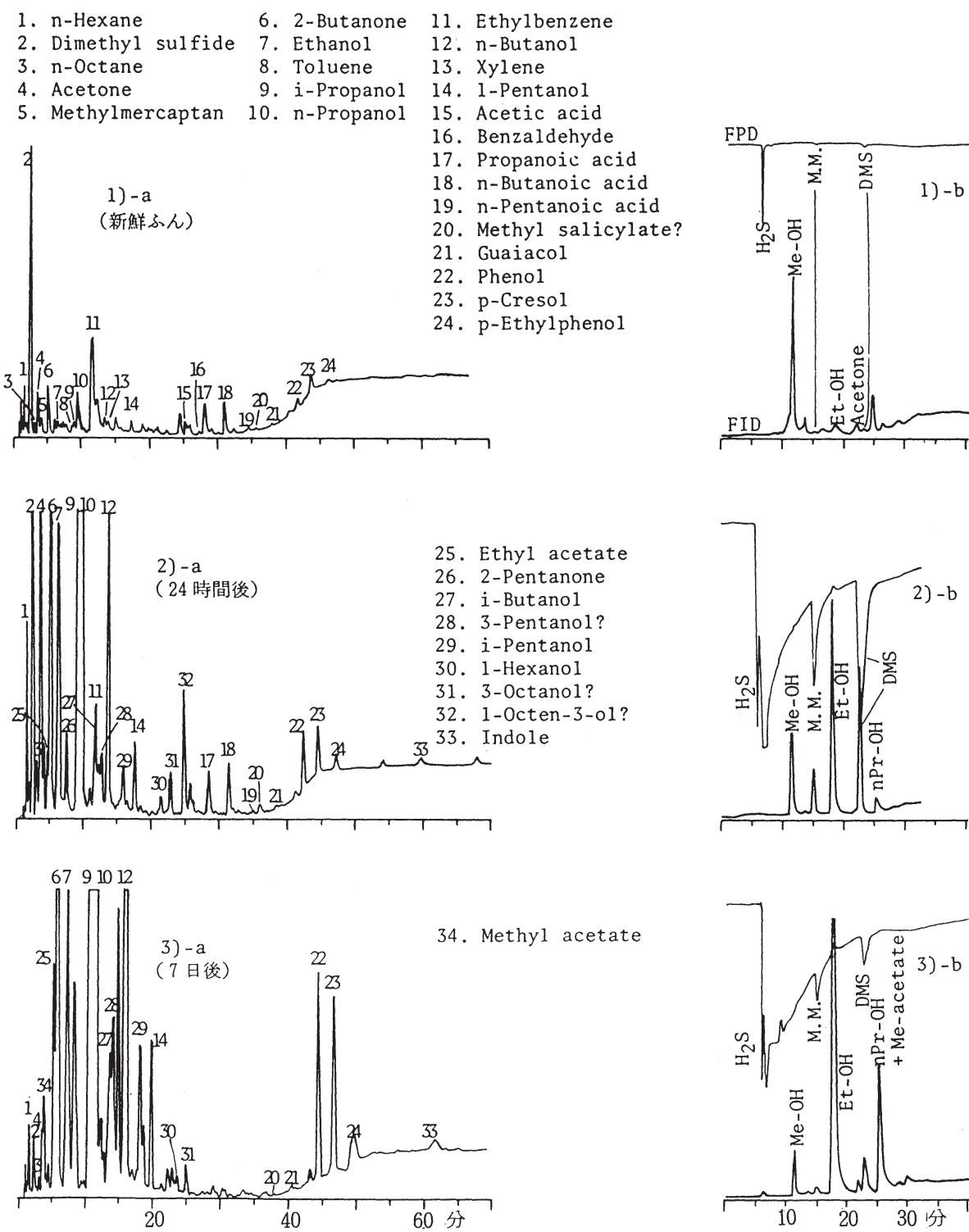


図2-9 嫌気条件下に放置した鶏ふんの臭気プロファイル

なお、牛ふんについては、牛舎内でのふん尿の堆積に関連して発生臭気が調べられているが、ここで述べた豚、鶏の場合と同様の傾向にあることが示されている。

以上の結果から、家畜ふんを嫌気条件下に置いた場合には臭気成分が質的量的に終始増加し、逆に好気条件下では1~2日を経過すれば各臭気成分は大幅に減少することが明らかとなった。これらのことから、家畜ふんを好気条件に保つことが臭気の発生を抑えるために重要であることが

分かる。例えば畜舎においては、ふんは速やかに舎外へ搬出し、床面、ピット等を常に乾燥状態に保つよう努めるべきである。

## 参考文献

- 1) 田中博, 代永道裕, 中嶋吉郎:別枠研究「製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）, 農林水産技術会議事務局, pp. 546–548 (1979)
- 2) 相井孝允, 代永道裕, 田中博: 日本草地学会誌 26(2), 223–230 (1980)
- 3) 家畜ふん尿処理研究会会議資料（草地試験場資料No. 58-2）, pp. 60–61 (1983)
- 4) 中央畜産会: 家畜尿汚水の処理利用技術と事例, pp. 12 (1989)
- 5) 窪田ら: 別枠研究「環境保全」試験成績書 (6), 農林水産技術会議事務局, pp. 499–502 (1979)
- 6) 相井孝允, 代永道裕, 田中博: 日本畜産学会報 54(4), 280–283 (1983)
- 7) 八木満寿雄, 代永道裕, 中嶋吉郎, 田中博: 別枠研究「環境保全」試験成績書(6), 農林水産技術会議事務局, pp. 552–555 (1979)
- 8) 田中博, 代永道裕, 中嶋吉郎: 別枠研究「環境保全」試験成績書(6), 農林水産技術会議事務局, pp. 556–558 (1979)
- 9) 代永道裕, 中嶋吉郎, 田中博: 別枠研究「環境保全」試験成績書(6), 農林水産技術会議事務局, pp. 559–567 (1979)
- 10) 代永道裕, 田中博: 農林水産省畜産試験場年報No. 19 (昭和54年度) , pp. 127–145 (1979)

### 4) 畜産の臭気の測定方法

前節で述べたように、家畜排せつ物から発生する臭気は多様な成分が混合した複合臭であり、臭気の質や発生濃度は、畜産経営の各場面での家畜排せつ物の状態によって大きく変わってくる。悪臭対策を行う上で、先ずはそれぞれの場面で発生する臭気の測定を行なって発生量や特徴を把握し、それらに基づいて有効な対策方法を選択する必要がある。また、悪臭防止法の規制地域内で悪臭問題が発生した場合は、当該地域にかけられている規制基準と照合するために、発生している臭気の測定が行われ、問題の解消に向けた措置がとられる。

臭気の測定方法には、大きく分けて、ガスクロマトグラフ (Gas Chromatograph, GC) などを用いて臭気を構成する化学物質を分析・定量する機器測定法と、人間の嗅覚を用いて臭気を数値化する嗅覚測定法がある。悪臭防止法での規制基準となる特定悪臭物質22物質および臭気指数の測定については、公定法が環境庁告示で定められている。

特定悪臭物質以外の多様な悪臭物質を含めた分析では、ガスクロマトグラフ-マススペクトロメータ (Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GC-MS) を用いた機器分析が一般的である。機器分析と嗅覚測定を合わせて、総合的に臭気を評価する方法として、におい嗅ぎGC-MSを利用することも可能である。

#### (1) 機器測定法

##### i) 主な悪臭物質の公定測定法

悪臭防止法に定められている22種類の特定悪臭物質の測定については、試料ガスないし悪臭物質の捕集および分析の公定法が提示されている<sup>1, 2)</sup>。これらのうち、表2-8に示した畜産の悪臭の主要な構成成分となる物質の測定法の概要（採取法、分析法）を表2-14、表2-15に示す。

表2-14 特定悪臭物質の採取法

特定悪臭物質	区分	採取法	採取量	採取用器材
アンモニア	敷地境界線 気体排出口	捕集溶液への通気捕集	50 L(10 L/分, 5分間)	吸収瓶、吸引ポンプ、流量計
硫化水素、メチルメルカブタン、硫化メチル、二硫化メチル	敷地境界線 気体排出口 排出水	採取容器への採取(ガスはバッグ、水は瓶)	-	試料採取バッグ、吸引ポンプ、吸引ケース、採取瓶
トリメチルアミン	敷地境界線 気体排出口	捕集溶液への通気捕集	50 L(10 L/分, 5分間)	吸収瓶、吸引ポンプ、流量計
プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸	敷地境界線	試料捕集管への通気捕集	25 L(5 L/分, 5分間)	試料捕集管(アルカリ被覆ガラスピーブ充填)、吸引ポンプ、流量計

表2-15 特定悪臭物質の分析法

特定悪臭物質	分析方法	分析機器・分析用機材	操作
アンモニア	インドフェノール法(発色) 吸光光度法(分析)	分光光度計	捕集溶液に発色液を加えて発色させた後、分光光度計により波長640 nmの吸光度を測定する
硫化水素、メチルメルカブタン、硫化メチル、二硫化メチル	ガスクロマトグラ法	試料濃縮装置 炎光度検出器(FPD)付ガスクロマトグラフ分析装置 バイアル(排出水分析用、容100~130 mL)*	シリジンを用いてGCに直接導入、または試料濃縮装置を用いて冷却濃縮(液体酸素使用)した後、GCに導入して分析する
トリメチルアミン	ガスクロマトグラ法	試料分解濃縮装置 水素イオン化検出器(FID)付ガスクロマトグラフ分析装置	捕集溶液を水酸化カリウムが入った分解瓶に入れ、発生したトリメチルアミンを冷却濃縮(液体酸素使用)した後、GCに導入して分析する
プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸	ガスクロマトグラ法	水素イオン化検出器(FID)付ガスクロマトグラフ分析装置	捕集管にギ酸を注入後、加熱して低級脂肪酸類を脱着させ、GCに導入して分析する

\* 排出水試料中の硫黄化合物類については、バイアルに排出水を一定量入れて密封し、酸を注入して振とう後、一定温度に保持し、ヘッドスペースガスをシリジンで採取してガスクロに導入して分析する

### ii) GC-MSを用いた分析<sup>3, 4)</sup>

的確な悪臭対策のためには、畜産経営から発生する悪臭を整理し、対策の対象となる具体的な悪臭を限定する必要があるが、人間に悪臭を感じさせる物質は悪臭防止法で規制されている特定悪臭物質の他にも、非常に多くの種類のものがある。こうした複合臭を構成する臭気成分を分離して定性あるいは定量する手法として、GC-MSがよく用いられる。GCで各成分の分離を行い、分離した成分をMSでイオン化し、質量と電荷の比によってさらに分離し、イオンを検出する。GC-MSでは、トータルイオンクロマトグラム、マススペクトル等のデータが得られる。得られたマススペクトルを既知成分のものと比較し、マススペクトルが類似した化合物を選び出す。GCへは、直接ガス試料を導入するほか、閾値の低い低濃度の臭気成分は抽出・濃縮したのちに導入する。このための試料の前処理法には、抽出・濃縮のためにヘッドスペース法、固相吸着法など、試料の脱離のために加熱脱着法や溶媒溶出法などがある。畜舎やふん等からの臭気成分の測定では、TenaxGCを充填したスチレン用の捕集管等を用いて臭気を0.5~1 L/分で20~40 L採取し、GCのカラムに高極性のものを用い、20から200°Cまで4°C/分の昇温分析により、硫化メチル等、メチルエチルケトン等、ブタノール等、エステル類、VFA、フェノール類、インドール類等のプロファイルが得られている<sup>5)</sup>。

試料の抽出、濃縮、脱離の一連操作を迅速に行う方法として、固相マイクロ抽出 (Solid phase microextraction, SPME) 法が広く用いられている。フューズドシリカ(石英ガラス)などのコアの表面に各種液相をコーティングしたファイバーに試料を暴露し、抽出濃縮を行い、GCの気化室で加熱脱着することでGCカラムに導入する。目的成分に応じて、液相コーティングの種類を選択して用いる。すべての臭気成分に適した液相は見出しにくいが、このうちポリジメチルシロキサン (Polydimethyl Siloxane, PDMS) は高沸点化合物に有用であり、畜産臭気を対象とした研

究では、カーボン系担体であるCarboxen<sup>TM</sup>と合わせたCAR/PDMSをコーティングしたファイバーが臭気成分の吸着・脱着に適しているという結果が報告されている<sup>6, 7)</sup>。

GC-MSの分析では、嗅覚で検知されるか否かには無関係に化学物質が検出される。また、臭気成分についても、嗅覚で感じられる閾値が異なり、単純に存在量の大小で、臭気への寄与が決まるわけではない。においに関する情報を得るために、「におい嗅ぎ」を付加したにおい嗅ぎGC-MS法が有効な分析手法の一つとして利用されている。においの強度や質を記録することで、MSから得られるクロマトグラムと嗅覚測定とを関連づけ、ターゲットとなる臭気成分を同定することも可能となる。一方、サンプルの濃縮方法、分離カラムの選定により、測定対象化学物質が限られる。また、カラムで臭気成分を分離すると、におい嗅ぎで元のにおいが感じられない場合や、におい嗅ぎで検知した臭気をGC/MSで検出できない場合、さらにはマススペクトルの解析で成分の同定に至らない場合がある。

### iii) 検知管による測定

環境中に放出される様々な悪臭物質の測定のために、多くの種類の検知管が市販されている。検知管は悪臭物質と反応して変色する指示薬をガラス管に充填したもので、手動式ポンプに装着して悪臭空気を吸引通気し、ガラス管中の指示薬の変色の長さにより当該物質の濃度を確認する。手動ポンプ用の検知管の他、測定現場に長時間設置し、その間の平均濃度を測定する検知管（パッシブ・ドジチューブ）、電動式ポンプで10分程度の通気を行う連続吸引式検知管もある。

検知管による測定は、精度は公定法の機器測定に比べて落ちるが、現場で簡易に濃度を確認出来る利点があり、公定法を補足する測定法として利用されている。一方、測定可能な空気の温度、湿度には一定の範囲があり、また測定値は、測定対象の物質と共に存すると指示薬の変色を助長または阻害する物質（干渉ガス）の影響も受ける。これらについては、メーカーの仕様書の内容を十分確認した上で用いる必要がある。

畜産の主要な悪臭物質の中では、アンモニアは現場での発生濃度が検知管の測定濃度範囲に適合しており、様々な場面で汎用できるが、それ以外の物質については検知管の測定濃度範囲が現場で観察される濃度に比べて高い場合が多く、利用できる場面が限られる。

### iv) 閾希釈倍数

におい物質の気中濃度をその物質の嗅覚閾値で除した値を閾希釈倍数という。嗅覚閾値としては、6段階臭気強度表示法に基づく物質濃度と臭気強度の相関式から得られる検知閾値（臭気強度1相当）の濃度が一般に用いられる。

$$\text{閾希釈倍数} = (\text{におい物質の測定濃度}) \div (\text{当該におい物質の嗅覚閾値})$$

例えば、ある悪臭空気中のアンモニアの濃度が3 ppmである場合、アンモニアの検知閾値（0.15 ppm）から、アンモニアの閾希釈倍数は $3 \div 0.15 = 20$ と計算される。

多様な悪臭物質を含む複合臭について複数の悪臭物質の濃度データが得られている場合、各物質の閾希釈倍数を算出比較することで、臭気全体への寄与が大きい物質を大まかに把握することができる。

## （2）嗅覚測定法

### i) 臭気濃度（臭気指数）の公定測定法（三点比較式臭袋法、三点比較式プラスコ法）

臭気濃度は、本章 1)-(2)-i)-②で述べたとおり「無臭の性状な空気で希釈したとき、丁度無臭に至るまでに要した希釈倍数」と定義されており、人間の嗅覚を用いて臭気を数値化する嗅臭測定法により測定する。臭気指数は臭気濃度の常用対数に10を乗じて算出される。

悪臭防止法の臭気指数による規制に関連して、規制基準の設定や基準値との比較照合のための臭気濃度（臭気指数）の測定法として、屋外環境中の空気および気体排出口からの排出ガスについては三点比較式臭袋法、排出水については三点比較式フラスコ法が公定法として採用されている。また、これらの測定については、臭気判定士（臭気測定業務従事者）を測定の統括者の国家資格として認定する制度が制定されている（1996～<sup>8)</sup>。悪臭防止法に基づく公式測定データを得る場合は、試料の採取から測定結果の取り纏めまでを臭気判定士が管理・統括することが求められる。

近年、嗅覚測定に準じる方法として、臭気指数相当値を測定するポータブルニオイセンサを用いて畜産経営からの臭気の発生状況を地図上に表示する方法（臭気マップ）が開発され、畜産からの臭気の発生を把握する簡易な方法として注目されている。

#### ①気体試料の測定法（三点比較式臭袋法）<sup>9, 10)</sup>

##### （気体試料の採取）

気体排出口からの排出ガス（排出口試料）は、15～35 Lの吸引ケースにより間接またはポンプで直接バッグ（ポリエチレンテレフタレート製または同等以上の保存性能を有する無修正の材質のもの）に採気する。この際、凝縮水や粉塵の多いときはトラップやフィルターで除去して採気するが、凝縮水や粉塵とともに臭気が除去される点を考慮に入れておく必要がある。敷地境界線附近等の屋外環境の比較的低濃度の悪臭空気（環境試料）は、間接的に10 Lのバッグ等に、臭気が強く感じられる時に30秒以内で採気する。

##### （判定試験・臭気濃度および臭気指数の算出）

判定試験には1～3の番号が付された3 L容の樹脂バッグ（臭袋）3個を1組として用いる。採取した気体試料を、無臭空気を満たした臭袋3個（番号1～3）のうち1個に所定の希釈倍数になるよう注射器で注入し、この3個を1組の検査試料として測定を行う検査員（パネル）それぞれに渡す。パネルは3個の臭袋のにおいを嗅ぎ、においが付いていると判断した袋の番号を回答する。パネルは、T&Tオルファクトメーターを用いた選定試験<sup>8, 9)</sup>により、正常な嗅覚を有すると認められた者6人以上を充てる。検出限界は臭気濃度10程度とされている。

環境試料の場合は、原則10倍の希釈倍数から判定試験を行う。パネル全員が3回ずつテストを行い、正解の場合は1.00、不正解の場合は0.00、不明（回答できない場合）の場合は0.33として、パネル全体の平均正解率を算出する。平均正解率が0.58未満のときは、そのにおいの臭気濃度は、その希釈倍数未満とする。2度目の希釈倍数の平均正解率が0.58以上のときは、さらに希釈倍数を10倍して試験を繰り返す。平均正解率が0.58をはさむまでテストを実施し、平均正解率が0.58をはさむ2つの希釈倍数について、以下の式により臭気指数を算出する。

$$\text{臭気指数} = 10 \times \log (M \times 10^{(r_1 - 0.58)/(r_1 - r_0)})$$

M: 当初希釈倍数（平均正解率が0.58以上のもの）

$r_1$ : 当初希釈倍数に関わる平均正解率（0.58以上）

$r_0$ : 当初希釈倍数を10倍したときの平均正解率（0.58未満）

排出口試料の場合は、三点比較式臭袋法の判定試験において、6人のパネルが全員正解（1人のみ不正解であってもよい）できる希釈倍数から試験を始める。希釈倍数を概ね3倍しながら判定試験を行い（30倍、100倍、300倍・・・）、パネル全員が不正解（1人のみ正解でもよい）になるまで試験を繰り返す。試料臭気の希釈倍数に関わる各パネルの閾値を常用対数として求める。

$$\text{パネルAの閾値} = \frac{\log \alpha_1 + \log \alpha_2}{2}$$

$\alpha_1$  : パネルAの解答が正解である最大の希釈倍数  
 $\alpha_2$  : パネルAの解答が不正解である希釈倍数)

6人のパネルの閾値のうちの最大値と最小値をカットし、中間の4人の値を平均して、パネル全体の閾値を求める。それをべき指数として、10の累乗数を求めて臭気濃度とする。パネル全体の閾値を10倍したものが臭気指数である。1未満の端数は四捨五入する。

$$\text{臭気濃度} = 10^X \quad \text{臭気指数} = 10^X$$

X: パネル全体の閾値

臭気指数の目安を把握するため、パネルの人数を2、3名とし、2点比較による簡易嗅覚測定法も提案されている<sup>11)</sup>。

#### ②排出水試料の測定法（三点比較式フラスコ法）<sup>12)</sup>

悪臭防止法の第3号規制（排出水に係る規制）に関連して、排出水の臭気指数の測定方法として、三点比較式フラスコ法が定められている。

測定には、共栓付きの暗褐色の透明折りの三角フラスコ（容300 mL）を用いる。採取した排出水試料を、所定の希釈倍数になるように無臭水で希釈し、全量を100 mLに調製したフラスコ1個と、無臭水100 mLのみのフラスコ2個を1組（1～3の番号を付す）とした三点比較法により判定する。判定試験の間、試験試料は恒温水槽で25°Cに保持する。三点比較式臭袋法と同様に、パネルは選定試験をパスした6人を充て、判定試験は3倍系列の下降法で行う。臭気濃度、臭気指数の計算方法も同様である。

#### ii) その他の嗅覚測定法

諸外国では、臭気濃度の測定に注射器法、オルファクトメーター法などが使われており、臭気濃度を表示する単位は、OU/m<sup>3</sup>（OU: Odour Unit, 単位体積に閾値濃度で存在するにおい）で表されることが多い。

##### ①ASTM注射器法

100 mLの注射器に臭気を採取し、この10 mLを別の注射器にとり、100 mLに希釈しておいをかぐ。これを繰り返し、閾値に達したときの希釈倍数を臭気濃度とする。データにはらつきが大きいことが指摘されている。

##### ②オルファクトメーター法

原臭の希釈を、電磁弁、キャピラリー、ニードルバルブなどにより、自動的に行うオルファクトメーターを用いる方法で、パネルは吐出するサンプルを嗅ぎ、においの有無を判定する。オペレーターの手間が省け、におい袋などの消耗品が節約できる一方、高倍率希釈の希釈精度が多少問題になると、高濃度臭気の配管内での吸着が問題である。ヨーロッパでは規格委員会で標準化がなされ、動的オルファクトメーターのCEN規格（Committee of European Normalization）が示されている。欧米において基準の方法になりつつある。

#### iii) 臭気マップ

臭気マップは畜産臭気対策における現地指導の支援ツールとして、栃木県畜産酪農研究センター

が考案した手法である<sup>13)</sup>。畜環研式ニオイセンサで測定した農場内各ポイントの臭気指数（相当値）を、その値に応じて色分けし、地図上に表示することで農場内の臭気発生状況を視覚的に確認できる。また、畜環研式ニオイセンサとデータ記録間隔を同期させたGPSロガーと一緒に携帯して農場内の臭気を測定し、記録したデータをパソコン上の臭気マップ表示シートやWEB地図上で示すことで、迅速に臭気マップの作成が可能となっている。農場内で問題となっている箇所を客観的に把握できることから、効果的な臭気対策につながるメリットがある（図2-10）。

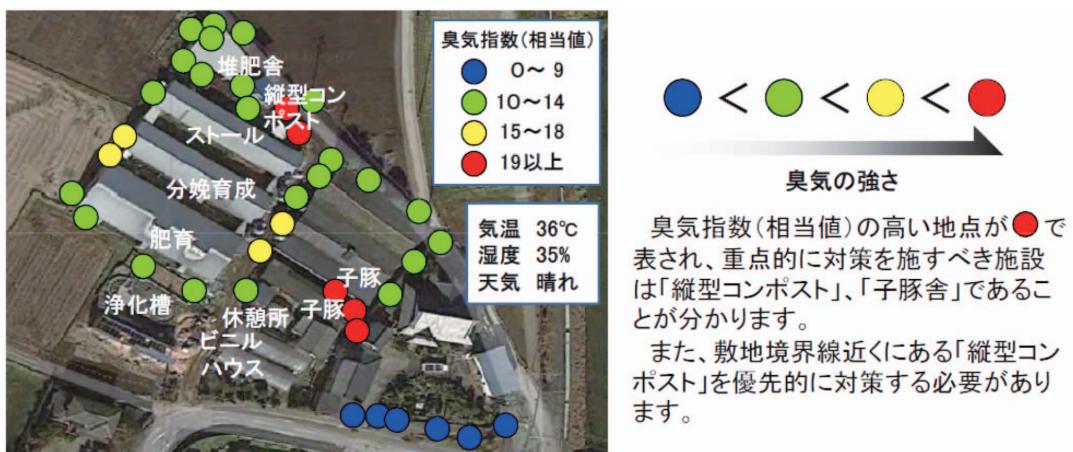


図2-10 臭気マップの作成例

臭気マップ作成に必要となる機材は畜環研式ニオイセンサ、GPSロガー、および表計算ソフトを搭載した計算機器（パソコン等）となる。畜環研式ニオイセンサは一般財団法人畜産環境整備機構畜産環境技術研究所が市販の携帯型電子式ニオイセンサ（高感度酸化インジウム系熱線型焼結半導体センサ、新コスマスXR-329ⅢR）に畜産臭の臭気指数（相当値）を表示できるよう同時の変換式を組み込んだものであり、携帯式、かつリアルタイムで臭気のレベル値、あるいは臭気指数（相当値）を測定、経時的に記録でき、記録データはパソコンに読み込んで利用できる。価格は30～40万円となっている。GPSロガーは各社から様々な製品が販売されているが、レジャー用に市販されている1万円程度のものでも一定時間ごとに位置情報を電子データとして記録できる機能を持っていれば利用できる。

臭気マップ作成のためには臭気マップのベースとなる農場図を調査対象農場から予め入手しておく必要がある。農場図が入手できない場合は、Googleマップや国土地理院地図なども利用可能であるが、それらを利用して作成した臭気マップの印刷物等を配布する場合は利用規定を遵守する必要がある。ニオイセンサとGPSロガーは予め記録間隔が同じになるように各々の機器で設定しておき、現場で記録開始ボタンを同時に押すことで測定者が農場内を歩いた各地点における一対のGPS位置情報とニオイセンサによる測定値を得ることができる。実際の臭気測定の際には現場に到着後、臭気のない場所でニオイセンサのゼロ合わせを行った後、測定を開始する。正しくゼロ合わせができていない場合は機械内部でマイナスレベル扱いの電気信号が全て臭気指数（相当値）でゼロと表示されるので注意が必要である。測定したデータは機器に付属しているデータ読み込みソフトでパソコンにCSVファイルなどに表計算ソフトで読み込める形式で保存後、表計算ソフトの散布図機能を利用して臭気データとその位置情報を地図上に示したマップを作成する。地図を作成する方法は複数存在するが、栃木県畜産酪農研究センターが行ったようなMicrosoft®Excelのマクロ機能を利用する手法<sup>14)</sup>の他、国土地理院の地理院マップシートを使用し、KMLファイルを抽出しWEB地図上に表示する手法も効率的である。

臭気マップ作成時の留意点として、臭気マップは農場内の臭気分布を一枚の地図に表わしたものであるが、臭気測定地点間には時間的ギャップが生じていることから、臭気マップ作成時は気象条件や農場内の作業環境変化が極力ないことが前提条件となる。また、ニオイセンサは畜産に起因する臭気物質以外の化学物質（車の排気ガス、消毒液、塗料等）にも反応することから、農場内で得られた数値がどのようなニオイに起因するものであったか記録しておくことも重要と考えられる。また、強い臭気の吸引により、センサが劣化し、反応が鈍ることからニオイセンサの定期的なメンテナンス（校正等）も必要である。

臭気マップは実際には見ることができない農場内の臭気の強弱の程度を可視化し、農家や指導者が共通認識に基づいた効果的な臭気対策を行う上で大変有効なツールとなる。栃木県畜産酪農研究センターでは臭気マップの改良・高度化が進められており、さらなる発展が期待される。

## 参考文献

- 1) 特定悪臭物質の測定の方法. 環境省告示8号（令和2年1月23日）.  
(<https://www.env.go.jp/hourei/10/000022.html>)
- 2) 環境庁大気保全局大気生活環境室 監修:特定悪臭物質測定マニュアル. (財)日本環境衛生センター, 川崎 (1996) ([http://www.env.go.jp/air/mat01\\_zentai.pdf](http://www.env.go.jp/air/mat01_zentai.pdf))
- 3) 高野岳:悪臭の測定とおい分野への測定技術の応用. におい・かおり環境学会誌 45, 2-8 (2014)
- 4) 中川勝博、田中幸樹、宮川治彦: GC-MSを用いた異臭分析について. におい・かおり環境学会誌 44, 28-37 (2013)
- 5) 中央畜産会編:畜産における臭気とその防止対策. 中央畜産会, 東京 (1990)
- 6) Koziel J.A., Lingshuang C., Wright D.W., Hoff S.J.: Solid-phase microextraction as a novel air sampling technology for improved, GC-olfactometry-based assessment of livestock odors. J. Chromatogr. Sci. 44, 451-457 (2006)
- 7) Akdeniz N., Koziel J.A., Ahn H.K., Glanville T.D., Crawford B.P., Raman D.R.: Air sampling and analysis method for volatile organic compounds (VOCs) related to field-scale mortality composting operations. J. Agric. Food Chem. 57, 5658-5664 (2009)
- 8) 石黒辰吉:臭気対策の基礎と実際. pp. 205-208, オーム社, 東京 (1997)
- 9) 岩崎好陽:新訂 臭気の嗅覚測定法 三点比較式臭袋法測定マニュアル. におい・かおり環境協会, 東京 (2005)
- 10) 環境省:三点比較式臭袋法について. (2017)  
([https://www.env.go.jp/air/akushu/olf\\_manual/AI\\_manual.pdf](https://www.env.go.jp/air/akushu/olf_manual/AI_manual.pdf))
- 11) 環境省:簡易嗅覚測定法マニュアル. ([https://www.env.go.jp/air/akushu/manual/manual\\_02.pdf](https://www.env.go.jp/air/akushu/manual/manual_02.pdf))
- 12) 環境省:三点比較フラスコ法について. (2017)  
([https://www.env.go.jp/air/akushu/olf\\_manual/B1\\_manual.pdf](https://www.env.go.jp/air/akushu/olf_manual/B1_manual.pdf))
- 13) 木下強: 臭気マップによる悪臭評価手法の開発. 平成29年度家畜ふん尿処理利用研究会講演要旨集 pp. 19-24 (2017)
- 14) 木下強, 高柳晃治, 加藤大幾, 前田綾子:Microsoft®Excelによる臭気マップの作成方法と指導への応用. 栃木県畜産酪農研究センター研究報告 第6号, 30-35 (2019)

## 第3章 脱臭技術の種類と特徴

### 1) 脱臭対策における基本的な考え方

臭気の主な発生箇所は畜舎およびふん尿処理施設等があり、前者での臭気の捕集と換気は困難であるが、後者での対策は前者と比べて比較的容易であり、以下にその対応策を紹介する。

#### (1) 発生臭気の捕集と換気

処理施設等の臭気の脱臭対策を実施する場合に、最初に考えなければならないことは、発生した臭気を発生源から外部へ拡散させないことである。密閉構造の縦型または横型発酵機ではその必要はないが、それ以外の処理施設では密閉化を図ることが必要となる。

臭気発生源をビニールや樹脂板などで密閉状態になるように覆い、その一部に換気口を設けて強制換気し、脱臭装置へ発生臭気ガスを全量送り込むようにする。一方、その換気口から離れた反対側などに新鮮空気の流入口を設けて内部の換気を行う。

家畜ふん尿処理施設においてビニールハウスやファイロンハウスを用いている場合、前者はハウス裾のビニールを伸ばしてその上に土をのせ（図3-1）<sup>1)</sup>、後者ではコーティング材ですき間を確実に埋めるようにする（図3-2）<sup>2)</sup>。また、大型堆肥化施設のように臭気が充満する建屋の内容積がかなり大きな場合は、建屋内にさらに密閉化が可能なハウス（二重ハウス構造）を設けたり、カーテン等で仕切ったりして、その内容積を小さくする工夫が必要である。

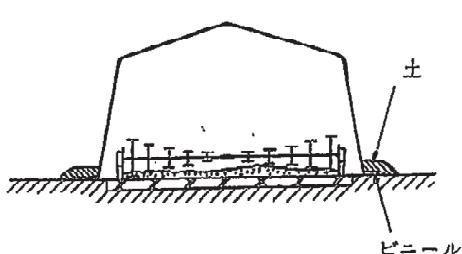


図3-1 ビニールハウスの密閉方法

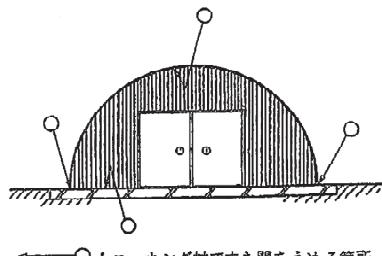


図3-2 ファイロンハウスの密閉方法

#### (2) 換気方法と換気量

臭気発生源の密閉化が図られると、密閉化された建屋内に臭気が充満するとともに、材料から蒸発した水蒸気も充満するために、発生源材料全体からの水分の蒸発が進みにくくなるので、臭気・水蒸気の排気と新鮮空気の流入による内部空気の入れかえ、すなわち換気が必要となる。図3-3、図3-4は堆肥化施設での換気方法の例であるが、前者の例は新鮮空気がカーテン下部のわずかなすき間から流入し、発生した臭気・水蒸気が発酵槽の奥上部に設けられた換気口を通り、送風機で強制換気される方式である。後者の例は内部ハウスの両端の入口から新鮮空気が流入し、槽上の数か所に設けた換気口から室内の臭気・水蒸気を強制換気する方式である。

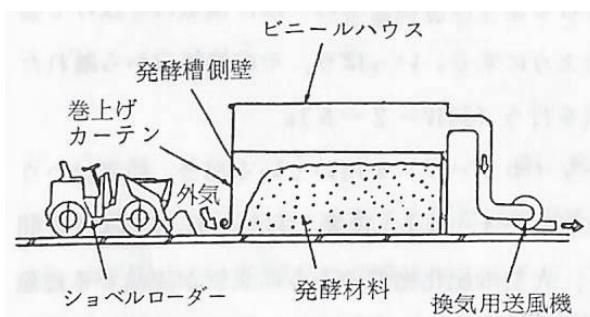


図3-3 堆積発酵施設の換気方法

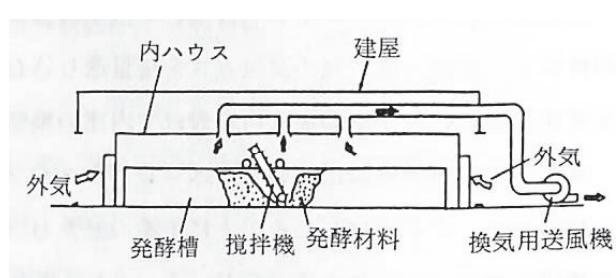


図3-4 開放型発酵槽の換気方法

換気量は、発酵槽をビニールなどで覆った室内の空間部の容積（室内の全容積から発酵材料の容積を差し引いた残りの容積）の空気を毎時8～10回程度入れかえる量とし、発酵促進のために発酵槽下部から強制通気しているような例では、前述の換気量にさらに通気量を加えた量が必要な換気量となる。このように、換気量は密閉化された内容積に比例するので、その内容積が大きくなればなるほど換気量も多くなり、かつ必要な脱臭装置の規模も大きくなって、運転経費はかかることになる。したがって、密閉化に当っては、この必要換気容積を小さくすることに留意しなくてはならない。

## 2) 脱臭対策の種類と特徴

畜産においてこれまで用いられてきた脱臭法の特徴と問題点を図3-5および表3-1に示した。現在は水洗法、薬液洗浄法、吸着法、生物脱臭法、燃焼法などが主としてふん尿処理施設の脱臭法として用いられている。また、畜舎の臭気の捕集と換気は困難であるものの、ウインドウレス畜舎を中心として脱臭技術が適用されている。ここでは実際に用いられている脱臭法の概要について紹介する。

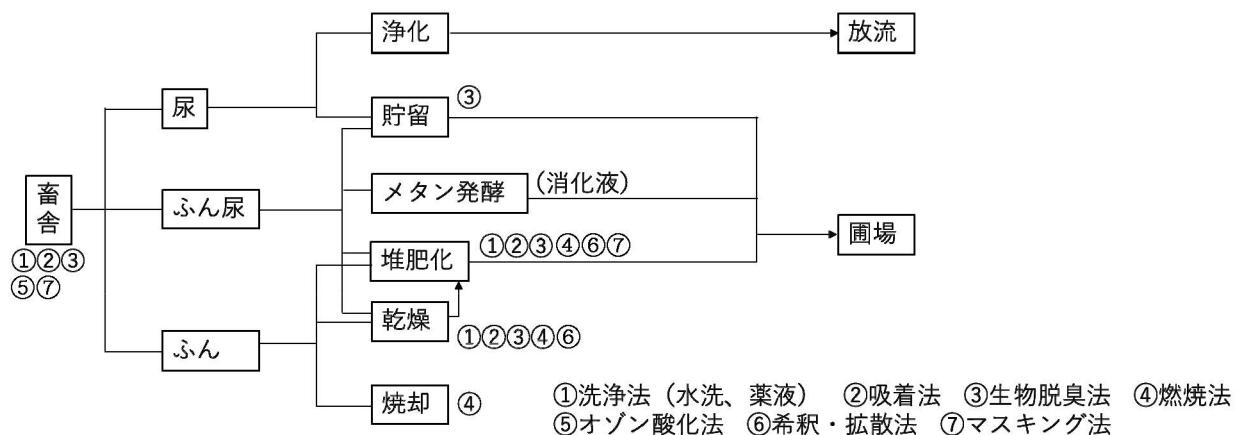


図3-5 家畜ふん尿処理とその脱臭法

### (1) 水洗法<sup>3)</sup>

臭気ガス中に水を噴霧したり、多孔質の濾材に水を噴霧してその濾材の間隙に臭気ガスを通す方法、あるいは多段の水膜を作りその水膜と接触するように臭気ガスを通す方法などによって、臭気成分を水に溶解させ脱臭する方式である。各種のガスの水に対する溶解度は表3-2に示したとおりであり、アンモニアは他のガスとは異なり少量の水にきわめて多量に溶解するが、高温になるとつれてその溶解度は低下する。また、水洗方式の種類によってはガスと水との接触面積、接触時間が少ないために、必ずしもその温度の溶解度いっぱいまでは溶けない場合が多い。

水洗法および後述の薬液処理法で用いられるガス吸収装置には各種のタイプがあるが、代表的な充填塔およびスプレー塔についての概要、装置特性、特徴等を表3-3<sup>3)</sup>に、またそれらの装置の概要を図3-6、図3-7に示した。

常温におけるアンモニア、硫化水素の水噴霧による脱臭能力を図3-8に示した。なお、図中のガス液比（GLR）は単位時間当たりの水とガスの流量比（重量比）である。

水洗法の問題は、排水中に多量の臭気成分（例えばアンモニア）や粉塵等が溶解している点であり、この排水処理施設が併設されている所や排水の放流が可能な場所では用いることができる。

表3-1 脱臭方法と特徴のまとめ

	水洗法	臭気成分を水に溶解・吸収させて除去する方法で、装置が簡単で設備費も安く、ガスの冷却効果もあります。しかし、多量の水が必要で、臭気を溶解・吸収した処理水からの臭気の再揮散に注意する必要があります。排水処理が必要となる場合もあります。
洗浄法	薬液洗浄法	臭気物質を薬液（酸、アルカリ、酸化剤）と接触させ、化学的中和や酸化反応により無臭化する方法です。設備費や運転費が比較的安価で、ダストやミストも除去できます。低～中濃度の水溶性の臭気成分の除去に適しています。薬液の調整や補充、pH調整、計器点検等の維持管理が必要です。酸化剤を過剰に添加すると薬品臭が残ってしまいます。また、排水処理が必要となります。
	吸着法	活性炭、シリカゲル、活性白土、オガクズ、腐植物等に臭気成分を吸着させて除去する方法です。比較的低温度の臭気に適しています。臭気成分が一定量吸着すると効果が無くなってしまいます。吸着材の再生利用は、コストが高かつたり、難しかったりします。
	土壤脱臭法	土壤を用いた生物脱臭で、臭気を土壤中に通気し土壤に吸着・吸収された臭気成分が、土壤微生物により分解される方法です。低～中濃度の臭気に適応でき、保守・管理が容易で運転費は比較的安価です。ただし、広い面積が必要で、土壤の通気性の改善のために表面を耕耘、乾期に散水等を行うことが必要です。冬期には脱臭能力が低下します。表土が凍結する地域には適用できません。
生物脱臭法	ロックワール脱臭法	土壤を用いた生物脱臭で、低～中濃度臭気に適用できます。微生物保持担体であるロックワール充填材に臭気ガスを通し、微生物の働きで脱臭します。運転費は土壤脱臭法と同等か若干高い程度です。通気性が土壤の1/5で、設置面積は少なくなります。維持管理も比較的容易ですが、通気性を保つためにロックワールの圧密防止が必要です。高温の臭気ガスの処理には不適で、装置の低コスト化などの課題が残されています。
	堆肥脱臭法	堆肥を用いた生物脱臭で、堆肥に臭気ガスを通し堆肥に吸着・吸収された臭気成分が、微生物により分解される方法です。中～高濃度臭気に適用でき、装置価格・運転経費が比較的安価です。微生物の働きは、土壤やロックワールに比較すると低くなります。吸引ファンの耐久性等に課題があります。
	活性汚泥脱臭法	活性汚泥と臭気ガスを接触させ汚泥中の微生物の働きで脱臭する方法で、低～中濃度の臭気ガスに適応可能ですが、処理後のガスに汚泥独特な臭いが残ってしまいます。活性汚泥排水処理施設のある施設では、悪臭処理用に併用でき、設備費が安くなります。曝気式とスクラバー式があります。曝気式は、活性汚泥槽に臭気を吹き込み、臭気成分を溶解させ、生物分解させます。浄化能力と送入する臭気のガス量・濃度の関係に留意する必要があります。スクラバーア方式は、スクラバーの洗浄液に活性汚泥液を用いて臭気を生物分解させる方式で、小施設で大風量処理が可能です。
燃焼法	直接燃焼法	臭気を約650～800℃で燃焼させ、臭気成分を酸化分解する方法です。中～高濃度臭気に適しており、腐敗臭や溶剤臭などにも効果的で、広範囲な臭気に適用が可能です。しかし、ランニングコストが高く、処理後のガスにはNOx等が含まれ、弱い燃焼臭が残存する場合があります。廃熱の有効利用でランニングコストを下げるなどの工夫が必要です。また、鶏ふんや豚ふんの直接燃焼と組み合わせたシステムが実用化されています。
	触媒燃焼法	臭気を触媒上で150～350℃の温度で燃焼させ、臭気成分を酸化分解する方法です。臭気濃度が高い方が有利となります。また、直接燃焼法に比較して燃焼温度が低いので、装置が簡単で燃料の使用量が少なくなりますが、触媒が高価であることに課題があります。
	オゾン酸化法	必要量のオゾンを臭気に混合し、臭気を酸化分解させる方法です。臭気とオゾン水とを気液接触させる方法もあります。低濃度臭気・腐敗臭に対して高い脱臭効果が安定して得られます。比較的コンパクトで、水・薬品・燃料を使用せず管理が容易です。オゾン濃度によっては呼吸器疾患の恐れがあり、注意が必要です。
	希釈・拡散法	臭気を希釈することにより、人間の嗅覚で不快と感じられないレベルまで低下させる方法です。希釈により不快性が低下する臭気に有効です。小発生源で低濃度臭気に適し、管理は容易で設備費が安いのが特徴です。希釈には大量の無臭空気が必要であり、余り現実的ではありません。また、煙突による拡散効果を期待するには、周辺の住居などの立地条件を配慮して、排出位置を決める必要があります。
	マスキング法	芳香成分を臭気ガスに混ぜて、人間の嗅覚では芳香を感じさせないようにする方法です。比較的低濃度の臭気ガスに適しますが、畜産では大量の芳香成分が必要となり運転経費が高くなります。

表3-2 気体の水に対する溶解度

気体	化学式	0°C	20°C	40°C	60°C	80°C	100°C
アンモニア	NH <sub>3</sub>	1,176	702	—	—	—	—
亜硫酸ガス	SO <sub>2</sub>	80	39	19	—	—	—
硫化水素	H <sub>2</sub> S	4.67	2.58	1.66	1.19	0.92	0.81
塩化水素	HCl	507	442	386	339	—	—
空気		0.029	0.019	0.014	0.012	0.011	0.011
酸素	O <sub>2</sub>	0.049	0.031	0.023	0.019	0.018	0.017
酸化窒素	NO	0.074	0.047	0.035	0.030	0.027	0.026
一酸化炭素	CO	0.035	0.023	0.018	0.015	0.014	0.014
二酸化炭素	CO <sub>2</sub>	1.71	0.88	0.53	0.36	—	—
水素	H <sub>2</sub>	0.022	0.018	0.016	0.016	0.016	0.016
窒素	N <sub>2</sub>	0.024	0.016	0.012	0.010	0.0096	0.0095
メタン	CH <sub>4</sub>	0.056	0.033	0.024	0.020	0.018	0.017
アセチレン	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	1.73	1.03	—	—	—	—
エチレン	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.226	0.112	—	—	—	—

上表は各温度において1気圧の気体が水の1cm<sup>3</sup>中に溶解する時の容積を0°C、1気圧の容積に換算した値である。ただし単位はcm<sup>3</sup>とする。

表3-3 ガス吸着装置の比較（水洗脱臭および薬液処理脱臭法）

名称	充填塔	スプレー塔（噴霧室）
概要	表面積の大きい充填物の表面に水を流し、ガスを低速度で向流接触させる。	空塔内に水を噴霧し、ガスを低速度で向流接觸させる。
装置特性 (計画要領)	ガス見掛け速度0.3~1 m/秒。給水量15~20 t/m <sup>3</sup> ・時。液ガス比1~10 L/m <sup>3</sup> 。充填高さ2~5 m。圧力損失50 mmAq/塔高m。	ガス見掛け速度0.2~1.0 m/秒。塔高5 m以上が適当。液ガス比0.1~1 L/m <sup>3</sup> 。圧力損失2~20 mmAq/塔高m。
長所	給水塔が適当ならば効果はほぼ確実。 ガス量変動にも適応性がある。 圧力損失がさほど大きくない。 耐食性材料で制作するのが容易である。	構造が簡単である。 充填塔より安価である。 圧力損失が小さい。 ガス中の粉塵除去、沈殿物を生じる工程に適す。
短所	ガス流速が大きすぎるとフラッディング状態となり操作不能となる。 吸収液に固形分を含む場合、吸収により沈殿物を生じる場合は目詰まりを起こす。	偏流がおきやすく、噴霧液とガスを均一に接觸することが難しい。 スプレー動力が大きい。 スプレーに目詰まりが起きやすい。 効果が不確実である。

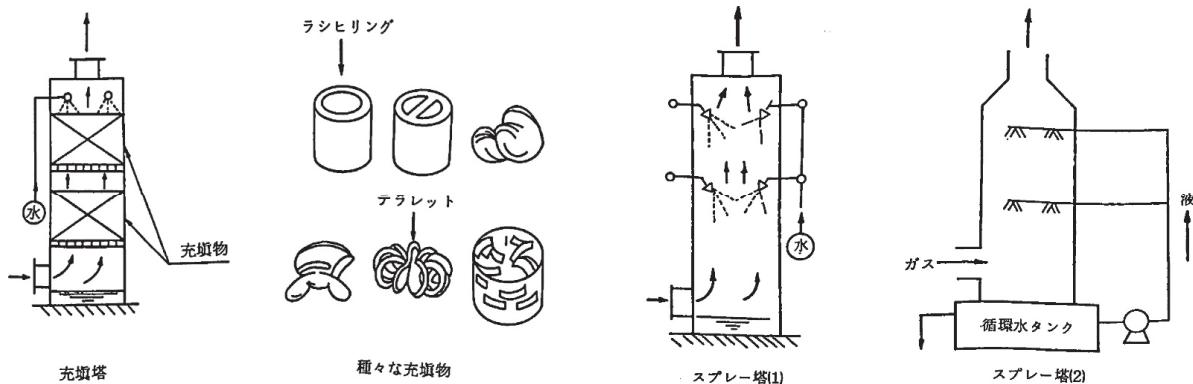


図3-6 充填塔の例

図3-7 スプレー塔の例

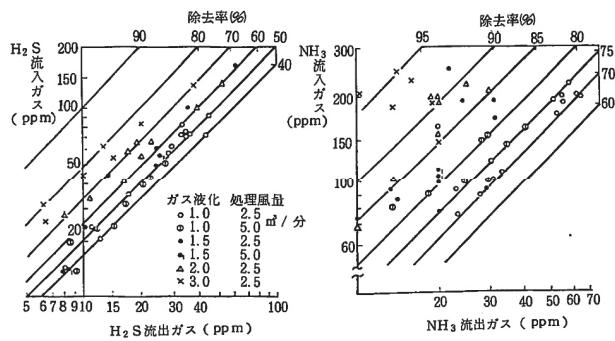


図3-8 水噴霧による硫化水素、アンモニアの除去効果

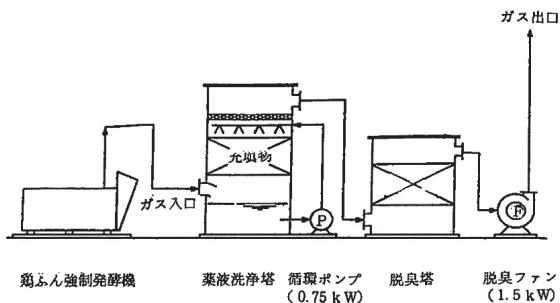


図3-9 薬液処理脱臭法の例

## (2) 薬液洗浄法

臭気ガス中に酸性またはアルカリ性溶液を接触させ、化学的反応で臭気成分を脱臭する方法である。畜産での代表的な臭気成分のアンモニアは酸性溶液、例えば硫酸と化学結合させて、硫酸アンモニウムの形で水溶液中に保持する。したがって、この方式では薬液がすべて化学反応をおこしてしまうと脱臭能力が低下する。その他、密閉式横型発酵機の排ガスについて、硫酸、木酢液、ギ酸等の酸性溶液のアンモニアガスの吸収量を調査し、表3-4の結果が報告されている<sup>4)</sup>。

表3-4 各種薬品の鶏ふん強制発酵機排気ガス中アンモニアガス吸収量

薬品名	平均送風量 (m <sup>3</sup> /分)	アンモニアガス平均濃度 (ppm)		アンモニア ガス吸収量 (kg)	薬品使用量 (kg)	アンモニア 吸収量 (%wt)
		入気口	排気口			
濃硫酸 濃度 = 95% 比重 = 1.84	0.53	5,130	30	2.277	5.7	40
木酢液 比重 = 1.0	0.43	2,250	250	0.157	5.0	3
木酢液 比重 = 1.016	0.53	4,800	250	0.1098	1.0	11
木酢液 + ギ酸 (木酢液同上)	0.53	4,650	180	0.324	5 + 0.59	6
ギ酸 濃度 = 88% 比重 = 1.24	0.53	2,100	150	0.235	0.59	40

注) アンモニア吸収量 = アンモニアガス吸収量 / 薬品使用量 × 100

なお、この薬液洗浄法のガス吸収装置の設計に当っては、表3-3、図3-6、3-7、3-9を参考にするとともに<sup>5)</sup>、薬液処理の場合ではミストの飛散を防止するために、ミストキャッチャーを設ける必要がある。図3-10にミストキャッチャーの例を示したが、ステンレススチールのワイヤーをからませて成形させたワイヤーメッシュ式デミスターが比較的多く用いられている<sup>5)</sup>。なお、これによるミストの捕集は10 μm以上のミストの除去が主体となっているので、さらに小さな粒径のミストの除去を行う必要がある場合には、後処理の対策を講じなければならない。

なお、この薬液洗浄法では、新しい薬液と交換した時の廃液中には、臭気成分とともに粉塵等も溶解している。廃液が多量である場合は問題となるため、廃液処理業者に依頼するなど、別途処理する方法も検討しなければならない。

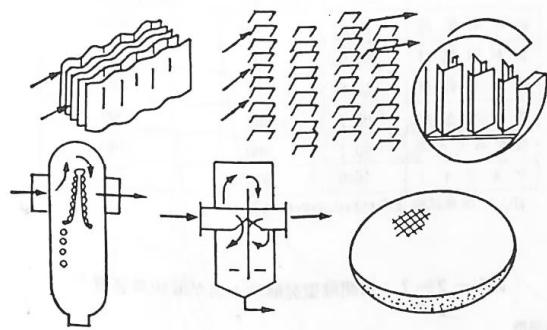


図3-10 種々なミストキャッチャーとミストセパレーター（デミスター）

### (3) 吸着法

この方法には、活性炭を主体とする物理的吸着法と、イオン交換樹脂等の化学的吸着法との二つがある。畜産分野では主として前者の方法が採用されており、その吸着材としてはおが粉、粉がら、くん炭、ゼオライト等が主に用いられている。なお、これらの材料に水を含ませ、前述した水洗法で紹介したように、水にアンモニア等の臭気成分を溶解させて脱臭する方式も一部で併用されている。

密閉式縦型発酵機の排ガスをおが粉槽に送り込み脱臭する試験<sup>6)</sup>の装置の概要を図3-11に示したが、おが粉のアンモニアの吸着量は表3-5に示したとおりの結果であり、それを基準としておが粉脱臭での除去限界日数を図3-12に示した<sup>7)</sup>。この密閉式縦型発酵機での送入アンモニアガス濃度は数千ppmにも達するので、おが粉はすぐにアンモニアガスを限界まで吸着し、新たな材料と交換しなくてはならないことになる。なお、この場合の材料堆積高さは1 m、見掛風速は2 mm/秒、接触時間は500秒である<sup>6)</sup>。同様に表3-5に示した他の吸着材についての除去限界日数を示したのが図3-13である。その他の吸着材も同様の傾向であり、一般にこれらの吸着材は低濃度のガスの脱臭に多く用いられている。

なお、吸着装置の設計に当っては、活性炭では材料堆積高さ0.1~0.3 m、3~4段堆積、槽内のガス通過の見掛け風速0.4 m/秒以下、圧力損失200~400 mmAq程度とされている。しかし、臭気ガスの濃度、温度、湿度、材料、水分、粉塵等で異なる例が多い<sup>8)</sup>。

さらに腐植物質は窒素量として乾物の4%程度が吸着可能であると報告されているが<sup>9)</sup>、この値を表3-5のアンモニア吸着量に換算すると、4,900 mg/100 gDMの値となり、表中の材料よりかなり吸着量が大きく、脱臭効果の持続期間が長いことが推定される。しかし、吸着法は吸着能力の限界量以上は脱臭できず、その吸着材料の再生または交換に経費がかかるという問題点がある。

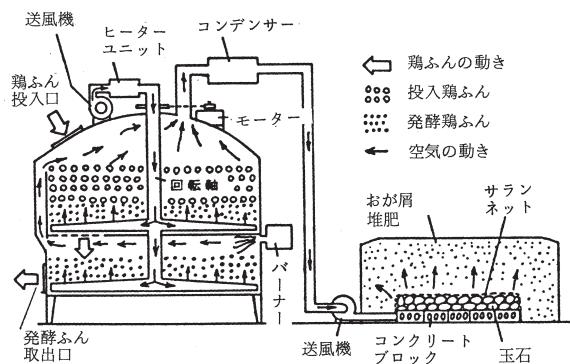


図3-11 密閉縦型発酵機とおが粉脱臭装置

表3-5 吸着材のアンモニア吸着量

供試材料名	水分 (%)	見掛密度 (kg/m <sup>3</sup> )	NH <sub>3</sub> 吸着量 (mg/100 g DM)
① おが粉乾材	10.0	200	300
② おが粉湿材	64.0	400	550
③ もみ殻乾材	17.6	110	320
④ もみ殻湿材	60.1	250	600
⑤ もみ殻くん炭	49.1	380	140
⑥ ゼオライト	15.0	940	700

注) 脱臭試験後の材料の分析値に基づく。

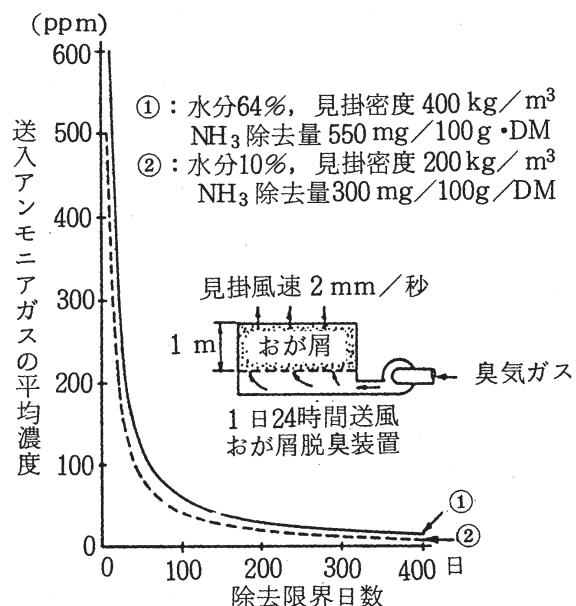


図3-12 送入アンモニアガスの平均濃度と除去限界日数の関係

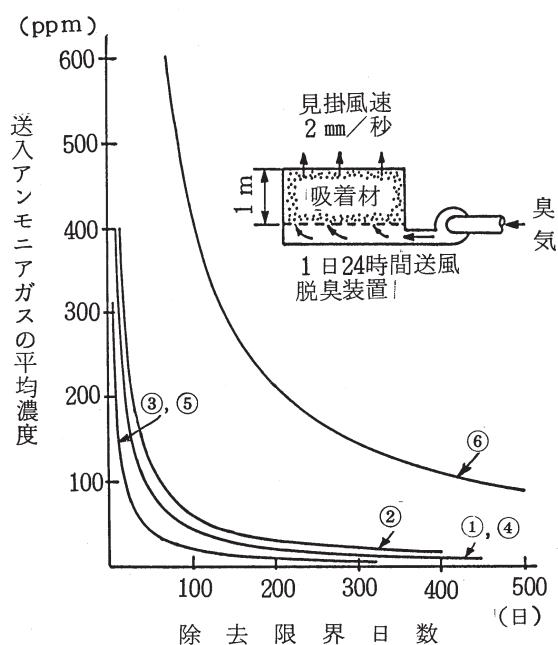


図3-13 送入アンモニアガスの平均濃度と除去限界日数の関係

#### (4) 生物脱臭法（バイオフィルター）

脱臭材料中の水分または水溶液に臭気成分を溶解させるか脱臭材料への吸着などによって臭気成分を捕集し、脱臭材料中または水溶液中の微生物等の働きで無臭な成分へと変えて脱臭する方式である。アンモニア ( $\text{NH}_3$ ) を例にとると、好気性細菌である硝化細菌類の働きで亜硝酸 ( $\text{HNO}_2$ )、硝酸 ( $\text{HNO}_3$ ) に酸化され、また嫌気条件下で脱窒菌の働きにより窒素ガス ( $\text{N}_2$ ) に変換されて大気中に放出される（図3-14）。



図3-14 生物脱臭法によるアンモニアの脱臭原理

生物脱臭法では、送り込む臭気ガス中の臭気成分量が脱臭槽で脱臭材料中の微生物が変換する量以下であれば、脱臭材料の交換はほとんど不要となり、長期間脱臭能力を持続させることができる。

##### i) 土壤脱臭法

###### ① 原理

土壤粒子の間に各種の悪臭成分を含んだガスをゆっくり通すと、悪臭成分は土壤粒子に吸着され、あるいは土壤中の水分に溶解され、さらに土壤中の微生物により酸化分解されて無臭の成分となる。これら的作用により、ガス中の悪臭成分が除去され、長期間脱臭機能が維持される。

堆肥化施設にかかる悪臭成分の特徴は、アンモニアが主成分であり、このアンモニアは好気的条件下の畑表土などでは、微生物（硝化細菌など）によって亜硝酸、硝酸に変えられることは周知のところである。これらの菌の生息あるいは増殖に好適な土壤条件としては、温度、水分、pHなどが関与しているが、温度は25°C前後、水分は土壤の最大容水量の約60%前後、pHは7~8程度が適当であるといわれている<sup>10)</sup>。土壤の硝化能力は100 g土壤当たり窒素量で10 mg/日 (20 mg/100 gDM/日)、窒素の吸着能力は、100 mg/100 gDM程度とみられる<sup>11)</sup>。

土壤脱臭法に適した土壤に要求される条件は、前記のほか通気性に富んでいることであり、空隙率の高い土壤は臭気ガスを通しやすく、かつ常に土壤を好気的に保持することができる。土壤脱臭法に用いる土壤は黒ぼく土（火山灰土壤表土）が最も適している。

###### ②構造

土壤層下部に送り込まれた臭気ガスがゆっくり土壤層を通過する間に脱臭されるため、土壤層下部全面にわたって臭気ガスを均一に送り込む構造としなければならない。そのために土壤下部には大きな空間を設け、ガスが均一に通りやすい構造とする。

図3-15に土壤脱臭装置の概要を、図3-16にその断面図の概要を示す。まず送風機によって送られた臭気ガスは、土壤層下部に設けられた主風道に送られて風速を低下させ、支風道に順次送り込まれる。支風道を通過したガスは玉石などで設けた大きな空間部を通ってゆっくりと土壤槽下部全面に行きわたり、さらに砂層、土壤層を通り脱臭されて外気へ排出される。

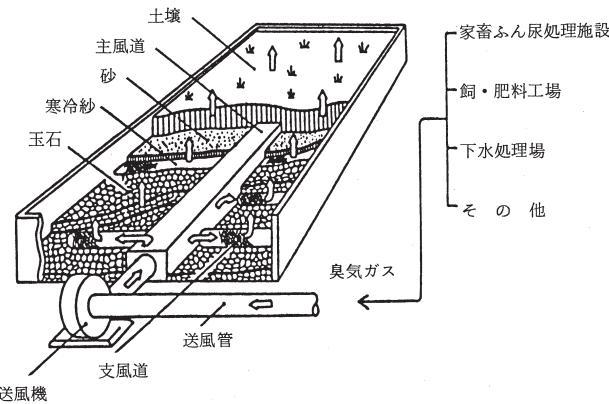


図3-15 土壤脱臭装置の概要

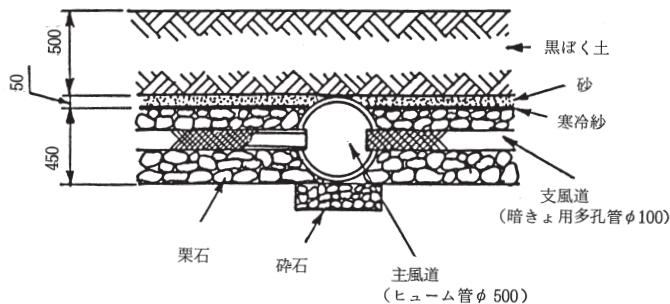


図3-16 土壤脱臭装置の土壤槽断面の例

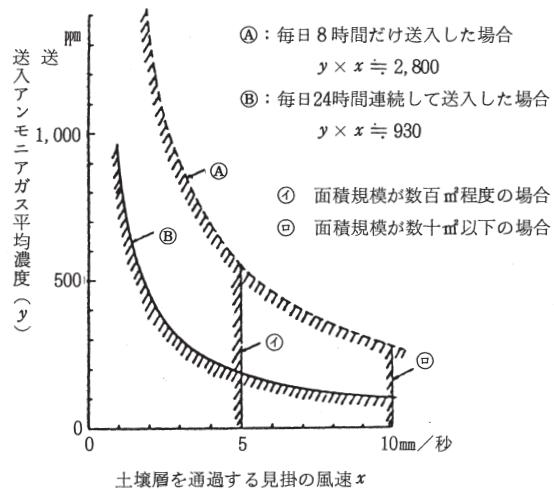
### ③装置面積規模の求め方

密閉化された堆肥化装置などからダクトを通って排気される臭気ガス量（換気量）を $Q$  ( $m^3/\text{分}$ )、土壤層を通過する見掛けの風速（線速度）を $V$  ( $mm/\text{秒}$ ) とすると、必要な土壤脱臭槽面積 $A$  ( $m^2$ ) は次式で求められる。

$$A = (1000 \times Q) / (60 \times V) = 16.7 \times (Q/V)$$

注) 見掛けの風速 : (通気量/通気床面積)

見掛け風速は、アンモニアガス濃度、1日当たりの脱臭時間、面積規模の大小などにより決まるが、通常は5 mm/秒程度とする。これらの関係は図3-17に示したとおりである。



注) : 土壌堆積高: 50cm  
硝化能力: 10mg ( $NH_3-N$ ) / 日 100g 土壌  
土壌見掛け密度: 1 t /  $m^3$

図3-17 土壤脱臭装置におけるアンモニアガス濃度と限界見掛け速度との関係

#### ④装置の作り方と保守管理

脱臭槽の本体である土壤槽の形状（平面）は必ずしも正方形にする必要はなく、敷地にあわせた形で矩形、三角形、台形などの形にすることができる。また、広い面積が必要であるので、畜舎間の空き地に設け、これらを連結して必要な面積を確保することも可能である。

臭気ガスを脱臭装置へ送風するダクト内の平均風速は、風速による管路抵抗を考慮すると10 m/秒以下とすることが望ましく、ダクトの断面形状は丸形、矩形などどのようななかたちでも効果は同じである。

脱臭槽下部の主風道の断面積は、送風ダクトの断面積より大きいほうが望ましく、大規模な脱臭装置ではコンクリート打ちとするが、小規模な装置では適当な大きさのU字溝、コンクリートヒューム管等で構築する。支風道は、通常1～2 mおきに主風道の左右につないで構築する。材料としてはU字溝、コンクリートブロック、暗きよ用多孔管（内径10 cm程度以上）を用いる。主風道、支風道の周囲に玉石または碎石（直径5～30 cm程度）を敷き並べる場合、なるべく人力で行い、バックホー等の機械を用いる場合は、すでに設置した主・支風道を壊さないよう注意する。

主風道、支風道、玉石などで構築した脱臭槽下部空間部に小さな砂利、砂などが落下しないように寒冷紗（300番程度）を敷くが、一般に市販されている防虫網を用いてもよい。ただし寒冷紗には土中で溶解または腐食するものもあるので、腐食しない樹脂系のものを指定する。また、寒冷紗の上には砂を敷き、上面が水平になるようする。粒径は小豆程度とし、最大5 cm程度の堆積厚さとなるように敷く。

土壤の種類は原則として黒ぼく土（火山灰土壤）とし、砂層の上に堆積高さが50 cm程度（ある程度の沈下量を見込んで初期堆積高さを60 cmとする）となるように積み上げる。この場合、土壤を圧密しないように、また、全面に均一に積むようする。バックホーなどの重機を脱臭槽へ入れた作業をせず、脱臭槽の周囲から静かに黒ぼく土を入れるようにし、最後の均平化は手作業で行うようする。

土壤槽下部に雨水等が溜まり、臭気ガスの通り道を塞ぐこともあるために、あらかじめ排水をよくするような処置を講じておく必要がある。

このようにして土壤脱臭装置が完成した時に表3-6、図3-18に示した性能検査を行い、脱臭装置が適正に稼働しているかどうかを調べなければならない。

表3-6 脱臭装置の検査項目と検査方法

検査項目	検査方法	検査部位
ア 送風量	アネモマスターによる実測 送風機性能曲線から推定	送風機吸入側のダクト
イ 臭気ガス濃度	ガス検知管 悪臭防止法による機器分析等	臭気発生源周辺 ダクト内 土壤脱臭槽下部 土壤脱臭槽表面 土壤脱臭施設周辺の敷地境界線
ウ 温度	棒状温度計 温度記録センサー	送風機吸入側のダクト 土壤脱臭槽下部
エ 静圧	マノメーター	土壤脱臭槽下部 送風機吐出口 送風機吸入口
オ ガス漏れ	洗剤等による泡利用	ダクト 土壤脱臭槽側壁 土壤脱臭槽周辺
カ 気密性	発煙筒による白煙漏れチェック	密閉化した換気室 ダクト

注) 送風量を設計通りに合致させてからイ～カの検査を行う。

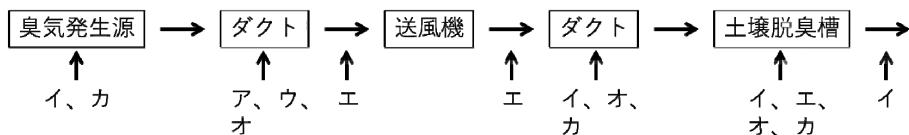


図3-18 性能検査の測定部位（ア～カは表3-6の検査項目を示す）

##### ⑤装置の保守管理法

保守管理の項目と方法を表3-6に示した。

##### ⑥留意点

生物脱臭法では前記のように微生物の臭気物質変換作用を利用しているため、脱臭装置に送り込む臭気ガスの温度が高温になると微生物が死滅してしまうおそれがあり、送入ガス温度は40°C以下とする。土壤脱臭装置では、温度、湿度の高いガスが土壤層下部に入ると下層部に水分が残り、その部分の土壤水分が高くなって泥濘状になり通気抵抗を増大することになる可能性があり、また土壤の物理性が変わり土壤としての機能が失われることがあるので注意する必要がある。逆に寒冷地や冬期の低温時においては、土壤層が低温になり微生物活性が低下し脱臭能力が落ちることがある。

一般に土壤脱臭槽には屋根を設けないので、大雨が降ると土壤脱臭槽を通過した余剰水が地下へ浸透するが、余剰水には多量の窒素が含まれることがあるため、地下水を利用しているところが近くにある場合は、地下浸透を起こさないよう土壤槽下部をコンクリート打ちにするか、厚手のビニールを敷いて集水し、排水できるようにする。

##### ii) ロックウール脱臭法

###### ①原理

水耕栽培用培地などに用いられている親水性のロックウール（以下RW）は、水分を適当に保持しつつ通気性が良好な無機質の素材である。このRWを粒状化して有機物、微生物源などを加えて硝化菌等の微生物の活性を高め脱臭材料として開発されたのがRW脱臭材料である。

RW脱臭法の脱臭メカニズムは、土壤脱臭法と概ね同様で微生物の臭気物質の分解能力を利用した方法であり（図3-19）、脱臭能力と持続性も黒ボク土とほぼ同程度の能力（乾燥重量当たり）がある。

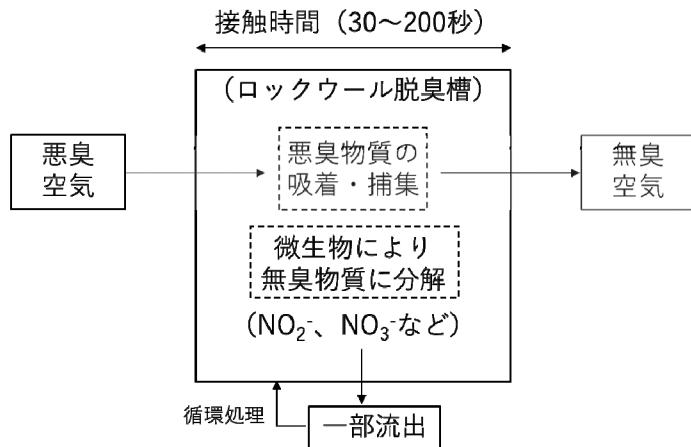


図3-19 ロックウール脱臭法の原理

## ②構造

RW脱臭材料は通気性に優れており、その通気抵抗は土壤の場合の1/3～1/5程度と低く、脱臭装置としては脱臭材料を3～5倍程度高く堆積し見掛け風速を20 mm/秒程度に上げることが可能で、その結果として脱臭装置の設置面積を土壤脱臭装置に比べて縮小することができる。RWは通気性に優れているが保水性がやや劣り、乾くと保水しにくくなる性質があるため、脱臭材料として使う場合は、脱臭槽上面から1日に20 L/m<sup>2</sup>程度の散水が必要となる。生研機構（現 農研機構農業技術革新工学研究センター）では、メーカーと共同で従来のRW脱臭材料の通気抵抗の半分程度の脱臭材料を開発し、ランニングコストの低減化を図るとともに、寒冷地の堆肥化施設の臭気を脱臭できる寒冷地型RW脱臭装置の開発を行い実用化した（図3-20）。脱臭槽下部の構造は、基本的には土壤脱臭装置と概ね同じであるが、RW脱臭材料の堆積高さが2～2.5 mあり、脱臭槽表面に散水装置や排水を再循環する装置などを備えている。寒冷地対策のために、脱臭槽を半地下式にし、冷風が直接RW脱臭材料に接触しないよう防風ネット等を施すなど外気の影響を受けにくい構造とした。散水装置の配管をRW脱臭材料中に埋め込み、散水ノズルは上向きに設置し噴水状に散水できるようにした<sup>12)</sup>。

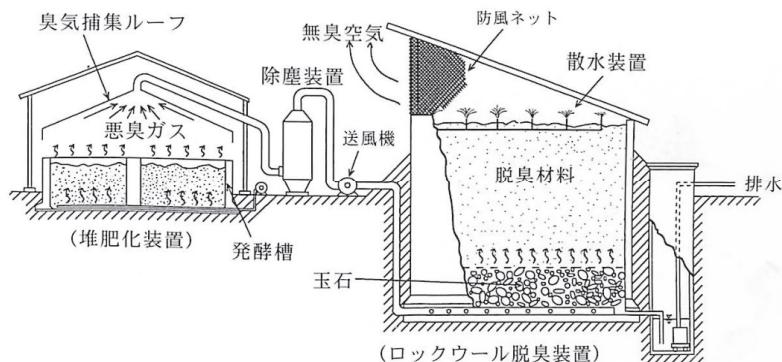


図3-20 寒冷地型ロックウール脱臭装置の概要

堆肥化装置の換気空気（臭気ガス）に粉じんが多量に含まれるおそれがある場合は、水洗による除じん装置を通してある程度の除じんをした後、脱臭装置へ送気し脱臭する。

臭気ガスがRW脱臭材料を通過する見掛けの風速は20～25 mm/秒以下とし、RW脱臭材料との接触時間を100～150秒以上とする。また、臭気ガスに含まれるアンモニア濃度は土壤脱臭装置の場合と同様、平均200 ppm以下とし、臭気ガス温度は40°C以下、平均で30°C程度以下とする。

#### ③装置の作り方

土壤脱臭装置の作り方との違いは、1つはRW脱臭材料を2～2.5 m堆積とするため脱臭槽の高さが高くなり、脱臭槽壁材を強度のあるものにしなければならない点である。通常はコンクリート打ちとする例が多いが、FRPやステンレスを使用してもよい。ただし材料の伸縮により壁面に沿って臭気ガスが漏れることのないよう側面およびコーナー部のRW脱臭材料を踏み固めることが必要である。

RW脱臭材料は土壤に比べると保水性がやや悪いため、1日に20 L/m<sup>2</sup>程度の散水が必要となるが、散水量が蒸発量よりも多く脱臭槽の下部に余剰水として溜まるため、排水装置が必要である。排水には窒素が含まれるため、そのまま排水できないところでは排水を散水用に再循環する方法を採用する。再循環方式にすることによって余剰排水はほとんど外部へは出なくなる。再循環で1日に20 L/m<sup>2</sup>程度の散水量が確保できない場合は清水を追加して補う。

#### ④装置の保守管理法

RW脱臭装置では、循環水を含め1日に20 L/m<sup>2</sup>程度の散水が必要であるが、散水はムラなく行なうことが肝要である。とくにゴミ等による散水ノズルの詰まりによって散水ムラが生じ、RW脱臭材料が部分的に水不足となないように管理しなければならない。また、散水のための配管が凍結しないよう保温材で保温したり、ヒータ線を巻いて凍結防止の対策を施すなどの管理を行うことも欠かせない。

RW脱臭槽上の脱臭材料表面を人が歩き回って踏み固めないようにするとともに、何らかの原因で硬くなった場合は、表面をスコップで掘り起こし柔らかくかつ均平にする。表面に草が生えた場合は根の深いものは取り除き、藻のような植物が表面を覆うようになった場合は通気抵抗の増大となるので、藻を取り除くか表面を搔いて破碎する作業が必要となる。

#### ⑤留意点

RWは無機物であり、基本的には疎水性で臭気成分の吸着能力はほとんどない材料である。そのためRWだけでは脱臭能力はなく、脱臭材料として使うことはできない。RW脱臭用に開発したRW脱臭材（繊維型RW脱臭材）は、ある程度の保水性をもたせ、有機物を含み、脱臭に寄与する微生物の活性を高めた材料である。したがってこの脱臭材料を使うときはメーカーと十分協議して堆肥化施設規模にあった条件で使用することが望ましい。

RW脱臭槽へは冬期でもできるだけ温かい臭気ガスを送るようにする。そのためには堆肥化装置が順調に稼働していることが重要であり、良好な堆肥化を行うことによって換気空気の温度が高い状態で脱臭装置へ送気されることになる。

### iii) 堆肥脱臭法

熟成堆肥には臭気を吸着する能力があり、堆肥に臭気を通過させるだけで脱臭を行うことができる。牛糞とオガクズの堆肥化1次発酵4週間で、原材料1 tから約1 kgのアンモニアが発生する。特に、最初の2週間で全体の9割が発生することから、1、2週目発酵槽からの臭気を処理することで、低コストで効果的に臭気を低減できる。臭気を吸着させる堆肥に、活性汚泥水などで硝化細菌を添加しておくことで、堆肥に吸着したアンモニアは、堆肥中の微生物によって硝化され

硝酸態窒素となり無臭化される。硝酸態窒素は酸性であり、堆肥化過程発生臭気の主成分であるアンモニアと反応し、硝酸アンモニウムの形態で窒素成分が脱臭用の堆肥に回収される。吸着用の堆肥は水分が45%以上になるように管理、または交換（3～4カ月程度）する必要がある。窒素濃度が高まった堆肥は、即効性の有機質肥料として利用できる（図3-21）。

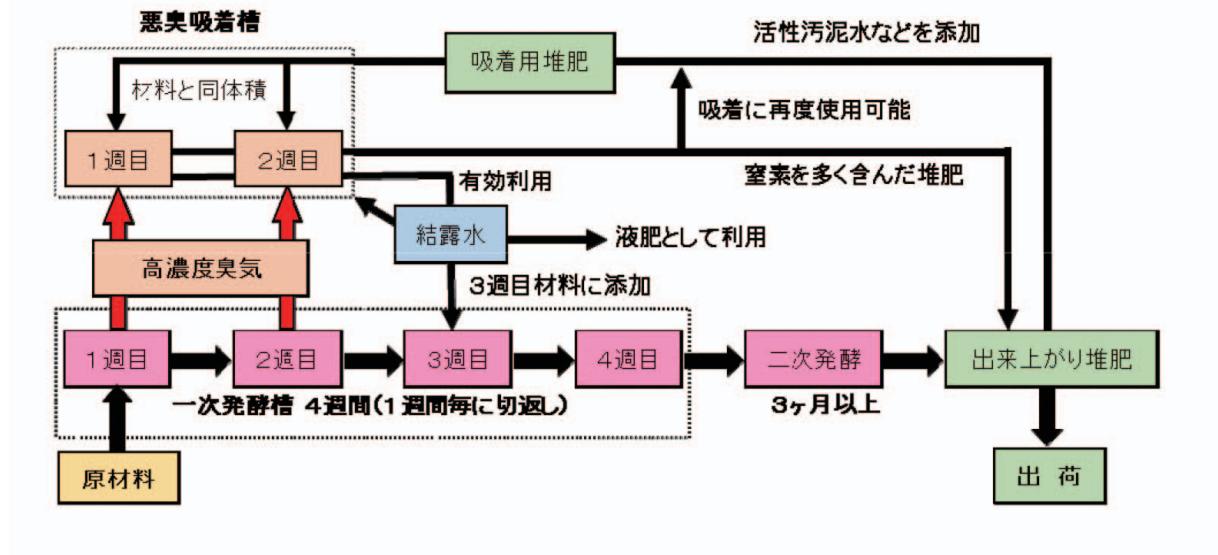


図3-21 堆肥脱臭システムのフロー

#### iv) 活性汚泥脱臭法

活性汚泥脱臭法は、汚水浄化処理施設で用いられる活性汚泥中の微生物の働きを利用し、活性汚泥中に臭気ガスを送りこして臭気成分を無臭の成分に変えて脱臭する方法である。この方法には曝気方式とスクラバー方式があり、前者は活性汚泥曝気槽に臭気ガスを吹込み、臭気成分を水に溶解させて除去し、後者は活性汚泥液を液滴または液膜状で臭気ガス中に分散・接触させて脱臭する方式である。この脱臭法は活性汚泥による汚水浄化処理施設を設置しているところに導入場所が限られる。

また、臭気ガス中のアンモニア濃度が高いと活性汚泥の微生物相に変化をきたしてしまうおそれがあるので、汚水浄化処理性能にも留意しながら通気する必要がある。

#### v) ファイバーボール脱臭法

ファイバーボールはロックウールなどの纖維から製造した粒径2 mm～15 mmの毛玉で、密度が小さい、通気抵抗が小さい、気液接触効率が高いなどの特徴を備えている。脱臭槽内にファイバーボールを充填し、脱臭槽上部から定期的に散水しながら臭気を通過させることで、ファイバーボールに生育している微生物の働きにより脱臭される。土壤や木質チップ等に比べコンパクトなスペースに設置可能である。

#### vi) フィルター散水法

ウインドウレス畜舎は、臭気の拡散を防止することができるが、臭気成分や、粉塵の発生を防止することはできない。近年、密閉畜舎の換気と一体となったフィルター散水式の脱臭システムがヨーロッパで開発され、日本でも導入されている。ハニカムなどの形状のフィルターにはほぼ常時散水し液膜を形成させ、臭気ガスとの気液接触面積を確保するとともに、微生物の分解により臭気成分を除去する。一般的に、脱臭担体を充填した方式と比較し通気抵抗が少なくなる反面、水に溶けにくい臭気成分の除去性能は落ちるが、水溶性成分の単位容積当たりの除去性能は高い。

一方で、窒素含有脱臭廃水の処理が必要となる。また、脱臭性能を維持するために、フィルターが乾燥しないように注意する必要がある。

#### vii) その他の脱臭装置

廃菌床やピートモスを使った脱臭法も試みられている。廃菌床はキノコを栽培した後の培地残渣であるが、オガクズを主体に培地としたものであり、残渣自体はいろいろな菌が生息しやすい環境にあるといつてよい。この残渣にアンモニアを含む臭気を送風することで生物脱臭を行う方法である。50 ppm以下の比較的濃度の低い臭気を対象としているが、オガクズが分解して粒径が小さくなると目詰まりしやすくなり、通気抵抗が上昇して通気量が落ちるため、使い方には注意が必要である。

### (5) 燃焼法

臭気ガスを高温で燃焼させて酸化分解することにより無臭化する方法である。この方法には、臭気ガスを直接800°C以上の高温で燃焼させる高温燃焼法と、白金等の触媒を用いて300°C付近で燃焼させる低温燃焼法とがある。高温燃焼法は高濃度臭気ガスの脱臭には有利であるが燃料費が高く、NO<sub>x</sub>ガスの発生量が多い。低温燃焼法は装置が簡易であり燃料費が安くNO<sub>x</sub>ガスの発生量も少ないが、触媒が高価であり劣化した場合、交換しなければならない。

燃焼脱臭法は燃料費が嵩むが高濃度の臭気ガスの脱臭に適しており、装置も生物脱臭法に比べると小さいので規模の大きい施設での脱臭に適している。

### (6) オゾン酸化法

オゾン酸化法は、オゾンの強い酸化力をを利用して臭気物質を酸化処理する方法である。硫化水素のような硫黄化合物の臭気物質に対しては脱臭効果があるが、堆肥化施設の換気空気中の臭気の主成分であるアンモニアについては脱臭効果が劣るといわれている<sup>13)</sup>。オゾン脱臭装置は水洗装置と組み合わせて使われているが、アンモニアは水洗時に水に溶解するため、その排水処理対策が必要となる。堆肥化施設のように高濃度のアンモニアを処理するには高濃度のオゾンが必要であるが、オゾンは毒性が強いため廃オゾン対策を含めその取扱については厳重な注意が求められる。空気中濃度が0.1 ppm（労働衛生的許容濃度）に達すると目や鼻に刺激を感じるようになり、1~2 ppmで疲労感、頭重、頭痛、上部気道の渇きがおき、5~10 ppmで呼吸困難、肺水腫、脈拍増加などがおきるといわれており<sup>14)</sup>、吸入することがないよう細心の注意が必要である。

### (7) 希釈・拡散法

臭気を希釈することにより、人間の嗅覚で不快と感じられないレベルまで低下させる方法。希釈により不快性が低下する臭気に有効となる。小発生源で低濃度臭気に適し、管理は容易で設備費が安いのが特徴。希釈には大量の無臭空気が必要であり、余り現実的ではない。また、煙突による拡散効果を期待するには、周辺の住居などの立地条件を配慮して、排出位置を決める必要がある。

### (8) マスキング法

芳香成分を臭気ガスに混ぜて、人間の嗅覚では臭気を感じさせないようにする方法である。比較的低濃度の臭気ガスに適するが、畜産では大量の芳香成分が必要となり経費が高くなる。

## ○芳香消臭剤による悪臭対策（調査事例）

近年、散布型の芳香消臭剤が販売されている。いわゆるマスキング剤と呼ばれるもので、悪臭よりも強度の強い芳香成分を使用することで、悪臭を覆い隠す資材である。畜舎内で発生する強い臭気を低減することはなかなか難しく、畜舎外にこういったマスキング材を散布し、風下地域に流れる畜舎臭気を覆い隠すことで畜産臭気の苦情を軽減させる可能性が期待されている。

実際の養豚堆肥舎や農場から芳香消臭剤を散布することで、農場周辺および風下地域の臭気を測定し、畜産臭気の緩和効果について報告している<sup>15-17)</sup>。臭気は、嗅覚測定法である6段階臭気強度表示法および9段階快・不快度表示法（表2-1、表2-3）によって測定した。

養豚堆肥舎（母豚180～200頭規模の一貫経営、開放型堆肥舎（22 m×35 m=約770 m<sup>2</sup>）屋根の軒先（高さ5 m））から芳香消臭剤を散布した結果（図3-22）、堆肥舎内では散布型芳香消臭剤の散布停止1分後の臭気強度及び不快度が最も改善された（図3-23）。風下の敷地境界（約50 m）では、散布停止5分後に堆肥発酵臭と芳香消臭剤が混合された臭質となり不快度が最も改善された（図3-24）。芳香消臭剤の散布を停止すると、散布前の不快度に戻り堆肥臭が感知されるが、散布することで即効性の臭気緩和効果があることを示唆している。また、間欠で散布する場合、堆肥切り返し作業後も散布を継続すること（少なくとも5分以上）が敷地境界での不快度を軽減することを報告している。

農場の東南方面の250 m先に苦情民家がある養豚農場（母豚220頭一貫経営規模）の繁殖豚舎屋根から芳香消臭剤を散布した（図3-25）。散布前後の豚舎内および風下地域の各測定地（豚舎から1、30、120、250 m）で臭気強度および快・不快度を評価した結果、風下250 mまでは、芳香消臭剤を散布した方が、しなかった場合にくらべて臭気強度が高くなり、120 m風下までは、芳香消臭剤を散布しなかった場合にくらべて不快度が軽減されることが確認された（図3-26、27）。芳香消臭剤を散布すると、即効性の臭気緩和効果があることを明らかとした。また、屋根からの噴霧は周囲からよく見えるため、近隣の方が「臭気対策をしている」と受け止めてくれる効果もあることが示唆された。

現在、芳香消臭剤のコストが比較的高く常時散布し続けることは難しいので、堆肥搅拌中や苦情の起りやすい時間帯に集中して散布する方法や、時間を空けて間欠的に散布する効率的な散布方法などの検討が必要である。注意点として、同じ芳香消臭剤を何日にもわたって噴霧し続けると、それが新たな苦情の原因になり得ることである。また、芳香消臭剤のみに頼り、豚舎内の清掃等を怠ると本末転倒で、豚舎内清掃等を十分に実施した上で、このような芳香消臭剤に頼ることで最大限の効果を発揮できると思われる。



図3-22 堆肥舎から芳香消臭剤の散布中の様子

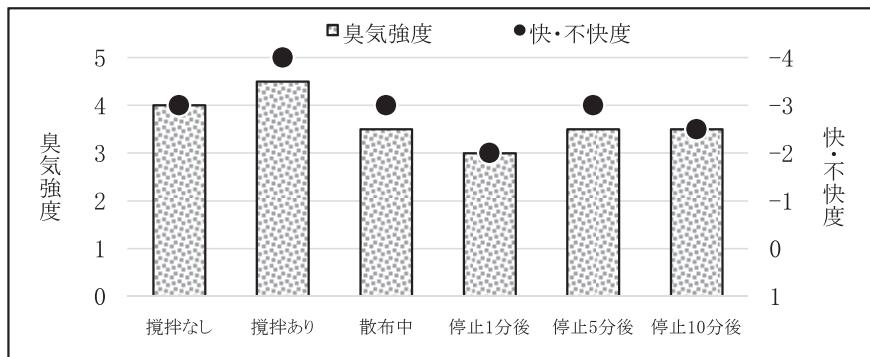


図3-23 堆肥舎内の臭気強度及び快・不快度

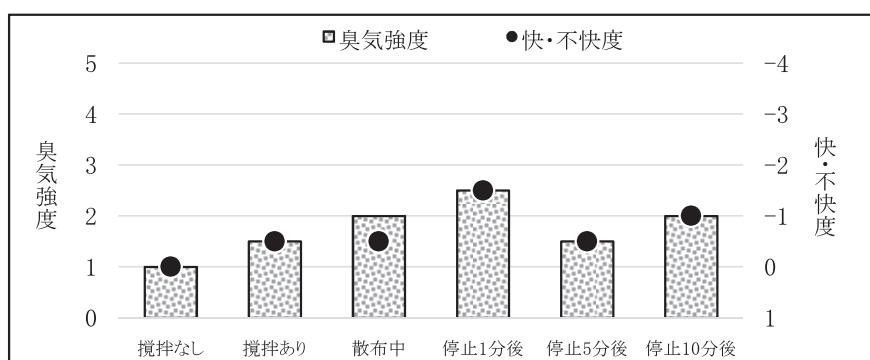


図3-24 風下の敷地境界の臭気強度及び快・不快度



図3-25 豚舎屋根から芳香消臭剤の散布中の様子

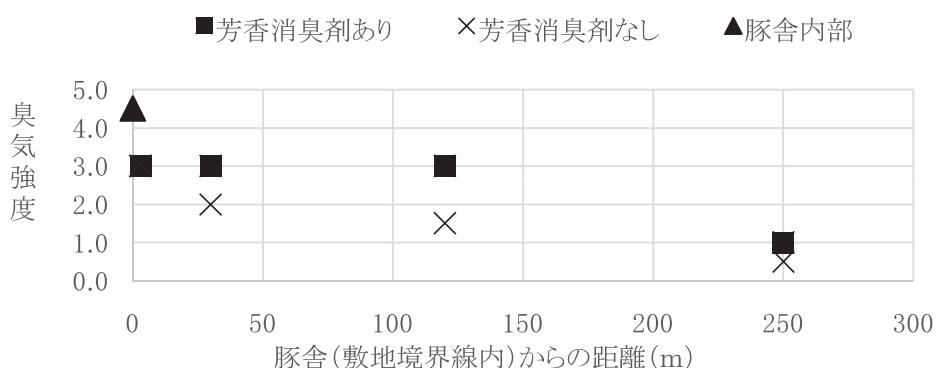


図3-26 芳香消臭剤散布前後の臭気強度

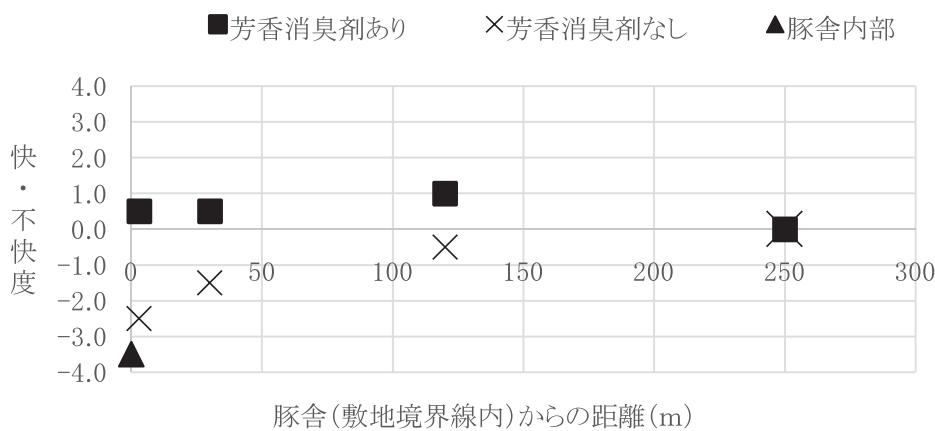


図3-27 芳香消臭剤散布前後の快・不快度

### 3) 脱臭対策における留意点

- ① 臭気は人の嗅覚による判定であり個人差はあるが、同時に感情的な要素も加わる点で排水処理とは異なる側面がある。したがって、臭気対策では苦情が出てから臭気対策を行おうとするに多大な労力と経費がかかるおそれがあるため、苦情が出る前に臭気対策を行うことが望まれる。
- ② 脱臭装置の購入に当たっては、脱臭能力があることはもちろんであるがランニングコストが安価で脱臭性能が持続する装置を選定する。
- ③ 脱臭装置の導入によって水質汚濁や地下水汚染など二次的な環境汚染を引き起こさないよう留意すべきである。
- ④ 生物脱臭法においては、冬期に脱臭槽が低温に晒されたとき微生物活性の低下によって脱臭機能が低下することがあるため、脱臭槽を地下式にするなどの保温対策を検討する必要がある。

### 参考文献

- 1) 中央畜産会：堆肥化施設設計マニュアル. pp. 152-169 (1987)
- 2) 全農施設・資材部編：家畜のふん尿処理利用施設・機械の構造. pp. 257-277 (1985)
- 3) 加藤征太郎：薬液吸収による脱臭法とその問題点. 悪臭の研究 3(11), 25-40 (1973)
- 4) 埼玉県農林部畜産課編：畜産の概要（昭和63年度第2報）. pp. 37-40 (1988)
- 5) 国部進：新しい脱臭技術. pp. 130-154, 工業調査会, 東京 (1981)
- 6) 石川幸市, 松本学：円筒型発酵層の脱臭法に関する試験. 静岡県養鶏試験場研究報告第13号, 54-58 (1978)
- 7) 道宗直昭：堆肥化施設における脱臭法. 機械化農業 87(12), 16-20 (1987)
- 8) 重田芳廣編：悪臭公害と処理技術（対策技術編）. pp. 1243-1281, アイピーシー公害防止研究会 (1976)
- 9) 愛知県総合農業試験場生物資源部：昭和62～63年度試験成績書 55-56 (1989)
- 10) 土壤微生物研究会編：土と微生物. 岩波書店 (1966)
- 11) 福森功, 道宗直昭：土壤脱臭法の研究と応用. 農業機械化研究所研究成果 58-1, 1-59 (1984)
- 12) 道宗直昭, 他：寒冷地型ロックウール脱臭装置の開発研究（第2報）. 第58回農業機械学会年次大会講演要旨. pp. 131-132 (1999)
- 13) 山口裕他：オゾン分解技術. pp. 65, 三秀書房 (1990)
- 14) 山口裕他：オゾン分解技術. pp. 9, 三秀書房 (1990)

- 15) 小堤悠平 他： 養豚の開放型堆肥舎における散布型芳香消臭剤が畜産臭気の緩和に及ぼす効果. においかおり環境学会誌 51(5), 314-318 (2020)
- 16) 小堤悠平:臭気対策技術と現場への導入事例. 養豚界 2020年6月号, 25-29 (2020)
- 17) 小堤悠平:畜産悪臭に関する最新の苦情対策について. 養豚の友 2021年4月号, 22-27 (2021)

## 第4章 畜舎における悪臭対策

畜舎では建家の中で家畜を飼育するため、家畜から排せつされたふん尿が當時滞留し、そこから臭気が発生することから、畜産経営内の主要な臭気発生源となる。畜舎は面積が広く、家畜の行動範囲にわたってふん尿が排せつされるため、臭気の発生面積と風量は大きいが、多くの場合ふん尿は定期的に舎外に搬出されるため、発生濃度は比較的低めである。臭気は新鮮排せつ物の臭気が主体であり、これに家畜の体臭や飼料の臭気が加わる。

畜舎では、高い生産性を發揮するように家畜を飼養管理することが前提である。臭気の発生は家畜にストレスを与え、生産性の低下をまねく恐れがあるとともに、作業者に対しても悪影響を及ぼすため、舎内の臭気を低く抑えることは管理上の重要事項である。また、舎外への臭気の放出もできるだけ抑える必要がある。

畜舎における悪臭対策のポイントは以下のとおりである。

### ① 畜舎構造

畜舎は、排せつされたふん尿から臭気が発生しにくく、ふん尿の舎外への搬出が容易な構造にすることが望ましい。また、外気温の影響を緩和するために断熱に配慮することも必要である。臭気の発生を抑えるには、ふん尿が滞留している間にできるだけ固液分離と水分の低減を図ることが有効であり、これらは搬出後のふん尿処理においても有効である。臭気の発生防止に繋がる事項としては、床面へのふん尿溝とすのこの設置、通風・換気システムの設置、バーンクリーナーの設置、運搬用機材の出入りと作業が容易な通路スペースの確保、ウインドウレス畜舎の採用等が挙げられる。

### ② 畜舎の管理

畜舎の管理の基本は、排せつされたふん尿の搬出と清掃を定期的に行って舎内を清潔に保つことであり、これによって臭気の発生も低く抑えられる。また、滞留しているふん尿の水分の低減や臭気の吸着を図るには、畜舎の規模・構造に応じた通風や換気、畜房へのおが粉等の敷料の敷き込み等が有効である。豚舎および鶏舎では、防疫の面から日常の薬液の噴霧や、家畜の入れ替え時の畜舎の洗浄と消毒を実施しているが、これらは臭気の発生抑制にも繋がる。また、排水溝等の洗浄、消毒もハエやカバの発生防止を含めて効果的である。この他、粉塵は悪臭物質を吸着して拡散することで臭気の媒体となるので、粉塵の発生抑制も考慮すべきである。

以下に畜種ごとに、各施設と臭気発生の特徴と、基本管理における悪臭対策について、いくつかの試験例と実態調査例を含めて説明する。

#### 1) 養牛

##### (1) 乳牛舎

###### i) 各施設と臭気発生の特徴

乳牛舎は主に、つなぎ飼い式乳牛舎（ストール牛舎）と放し飼い式乳牛舎（フリーストール牛舎、フリーバーン（踏み込み）牛舎）がある。ストール牛舎では、バーンクリーナーによりふん尿を搬出する方式が一般的である。また、大規模経営では、フリーストール牛舎で、バーンスクレーパーによりふん尿を搬出する方式も多い。フリーバーン牛舎では、牛床が分けられておらず、大量の敷料を使用する。自然流下式の牛舎は昭和40年代に普及したが、現在は少数である。

一般的に、牛ふんは豚ふんや鶏ふんと異なり臭気の発生が少なく、新鮮なふん尿を早期に分離・搬出（1日に1～2回）すれば、牛舎内の臭気が問題になる例はほとんどないと考えられている。

アンモニアは、乳牛舎では数ppm以下といわれているが<sup>1)</sup>、高温多湿の時期には、ふん尿混合物が舎内に堆積されると多量に発生する。しかし、高温多湿時には舎外に放牧されることが多く、逆に低温時では密閉した舎内に繫留することが多くなり、アンモニア等の発生が冬期に多くなることがある。

### ①つなぎ飼い式乳牛舎（ストール牛舎）

ストール牛舎においては、牛はパドック等に出る以外の大部分の時間をストールに繫留・飼育される。ストールの構造は牛床と各種の繫留装置によって構成されており、ストールの前方に飼槽、後方にふん尿溝が併設されている。

牛のつなぎ方（図4-1）<sup>2)</sup>には一長一短があるが、いずれの方式を採用するにしても、牛が好んで休息できる快適な居住性と、牛体がふん尿で汚染されない条件が要求される。牛の居住性の面からみると牛床の幅や長さが大きいことが望ましいが、反面、牛床上にふん尿を排せつして、牛体の汚染（とくに牛用マット使用の場合）が著しくなり易い。これを防止する方法として牛床を若干短くして（160～170 cm）、カウトレーナーを使用してふん尿の排せつ時に牛体を後に移動させ、ふん尿溝に排せつさせる方法が採用されている。また、稻わらや乾草などの敷料を使用しない場合は、ふん尿溝上面に鉄製すのこを取り付けることが牛体の汚染防止に役立つ。

30頭前後以上の牛舎ではふん尿溝にバーンクリーナーが取り付けられ、ふん（尿）の搬出が行われている（図4-2）。現在主に採用されているチェーン式バーンクリーナーは、稻わらなどの敷料をふんと同時に搬出することを前提に開発されたものであり、敷料を使用せず牛用マット（ゴムマット）を単独で用いた場合は尿の分離が難しく、ふん尿が搬出中にこねられて泥状化し易くなる。この場合はマットの水洗やこまめな清掃が必要となる。

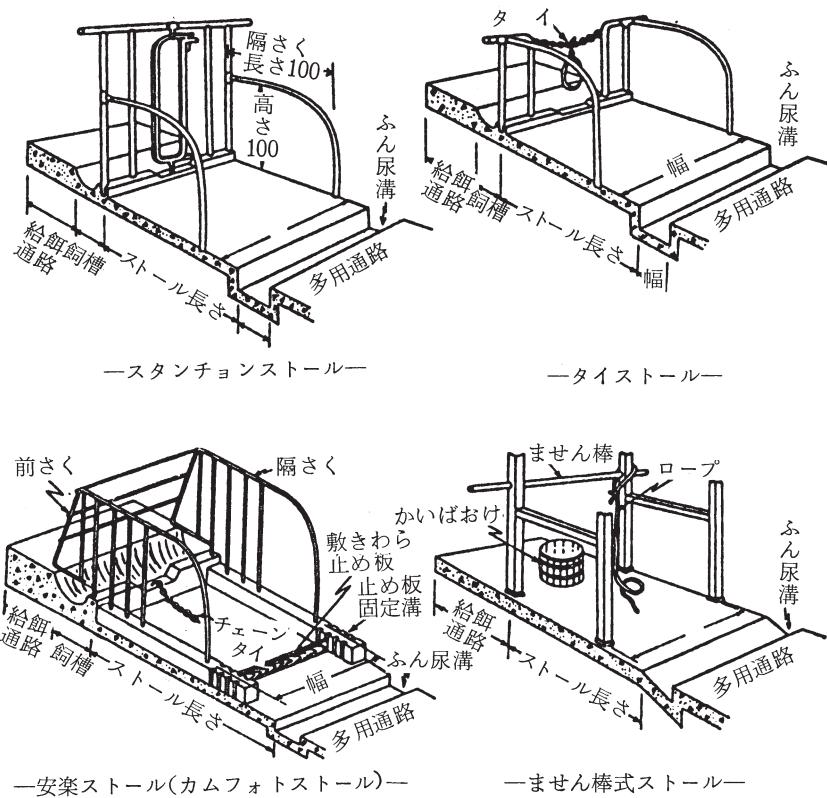


図4-1 牛のつなぎ方の種類

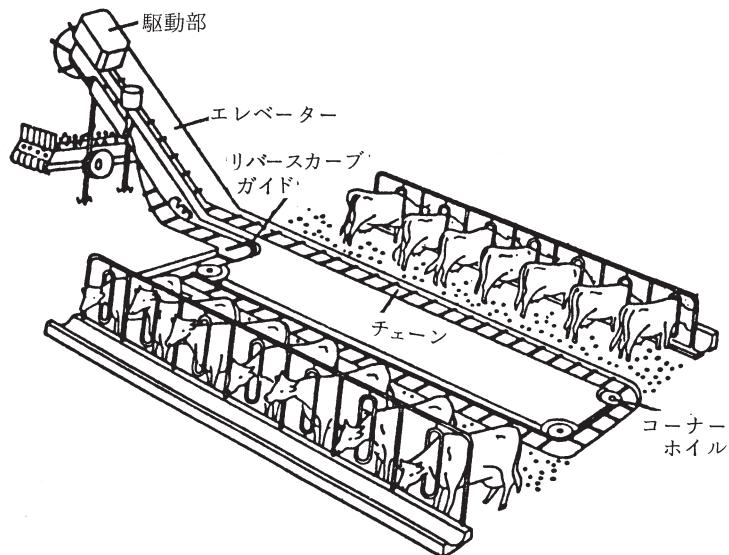


図4-2 チェーン式バーンクリーナー模式図

## ②放し飼い式乳牛舎（フリーストール・フリーバーン牛舎）

50～60頭以上の経営では省力性の高いフリーストール牛舎が注目されている。フリーストール牛舎では牛は牛舎内を自由に行動できるので、構造が適正でないと牛体が汚染され易い。フリーストールはつなぎ飼い式牛舎のストールと同様に、快適な居住性が要求される。フリーストールの構造（図4-3）<sup>3)</sup>は幅120 cm、長さは230 cm前後が標準とされている。フリーストール内でふん尿を排せつさせないために適正な寸法と、牛体が前にいきすぎないようにヘッドバーを取付ける。牛床にはおが粉等の敷料を用いて汚れを防止する。

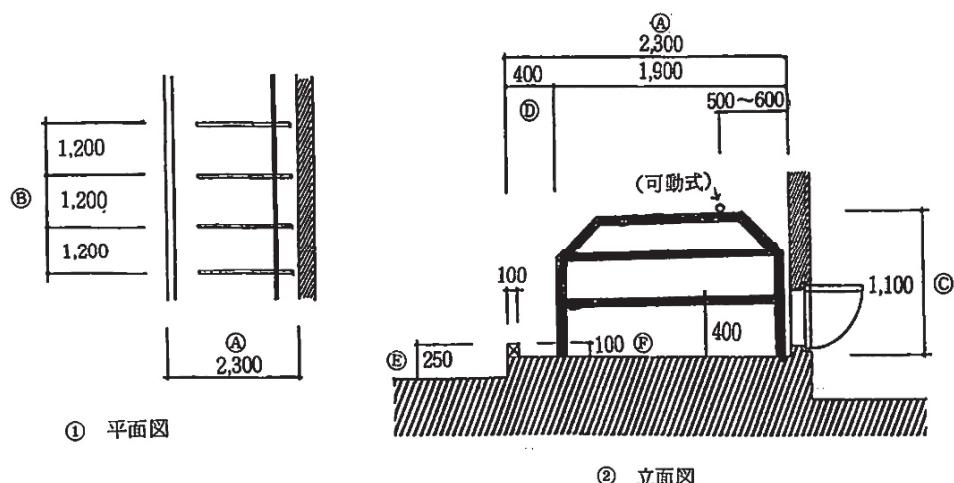


図4-3 フリーストールの構造

通路（幅2.5～3.5 m）はふん尿の排せつピットを兼ねており、ショベルローダーまたはバーンスクレーパーで1日に1～2回は必ず除ふん作業を実施するのでストール牛舎と同様に臭気が問題になることはまれである。しかし、幅の広い通路にスクレーパーを用いるとふん尿が広い面積に拡散・塗布されるので臭気対策上に問題が生じる場合がある。

フリーバーン牛舎（海外ではloose barn、loose housing system等と呼ばれる）は、一頭ごとに仕切られたストールが無く囲い柵のみの形のもので、建設が低成本で管理が簡易であることから近年普及しつつある。牛は囲いの中を自由に移動、横臥するが、ふん尿の排せつも全体にわたるため臭気の発生面積が大きく、また牛体が汚れやすく、乳房炎のリスクが高まる等の問題もある。これらの問題を防ぐためには床面全体への十分な量の敷料の敷き込みが必要であり、敷料の経費はフリーストール牛舎に比べて高くなる<sup>4)</sup>。床面にオガクズを厚く敷き込み、排せつされたふん尿を牛が踏み込み混合することで堆肥化が進むコンポストバーンも利用されており、この場合は新鮮ふん尿の臭気は抑えられるが、堆肥化処理と同様にアンモニアの発生濃度が高くなる（第5章参照）。

### ③自然流下式牛舎

自然流下式畜舎（図4-4）は、排せつ物をふん尿混合のスラリーの状態で地下に貯留する形式の畜舎である。ふん尿は嫌気的条件で保持されるため、貯留期間中に嫌気条件由来の臭気が発生する。この臭気が牛舎に戻るのを防ぐために、ふん尿溝に防臭堰やにおい抜きパイプの設置等が行われている。また、貯留スラリーに曝気を行って臭気低減を図っている事例もある（第5章図5-4<sup>5)</sup>参照）。嫌気条件で長期貯留されたスラリーは圃場散布時に臭気の発生が著しいので、散布前の攪拌・曝気は、散布時の臭気対策としても有効である。

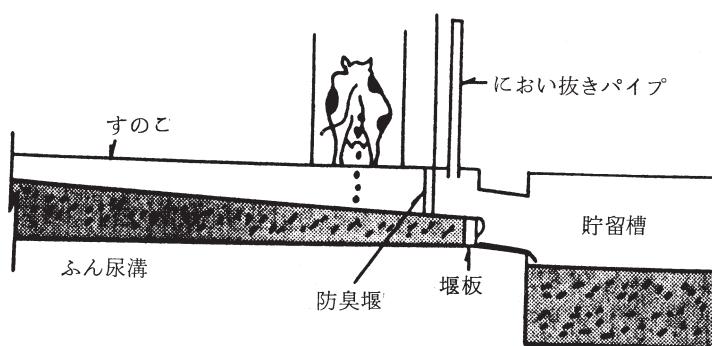


図4-4 自然流下式ふん尿溝<sup>5)</sup>

表4-1および表4-2に自然流下式牛舎における測定例を示した<sup>6)</sup>。硫黄化合物である硫化水素(H<sub>2</sub>S)、メチルメルカプタン(MM)および硫化メチル(DMS)の舎外大気と牛舎内における濃度は、いずれも数ppb (1,000 ppb = 1 ppm)以下であり問題はないが、貯留槽の第2槽では、とくに12月の場合、極めて高い硫化水素濃度が測定されている。12月の場合は貯留液の汲み出し直後であり、嫌気発酵が極めて活発に進行していたためと思われる。さらに牛舎下に貯留槽があって床面に亀裂を生じていたり、貯留槽へのパイプにトラップがない場合などでは、これらの理由により牛舎内の汚染が認められる。これらの悪臭成分は、人では50～100 ppmの硫化水素に1時間曝されると結膜炎と呼吸器刺激を生ずるといわれており、家畜も含めて非常に危険である。なお、この例では、窒素化合物であるアンモニア(NH<sub>3</sub>)とトリメチルアミンは嫌気発酵の進行に伴い減衰していく傾向がみられ、牛舎内外の濃度もほとんど問題にならない。

表4-1 自然流下式牛舎の調査結果（11月）

測定地点	H <sub>2</sub> S	MM	DMS	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>
舎外大気	1.2 ppb	0.9 ppb	0.2 ppb	0.92 ppm	—
牛舎	1.6 ppb	1.3 ppb	0.95 ppb	1.2 ppm	—
堰	1.9 ppb	9 ppb	8 ppb	3.9 ppm	—
第1槽	3.8 ppm	29 ppb	23 ppb	2.6 ppm	1.4 %
第2槽	550 ppm	—	—	0.38 ppm	21.5 %
第3槽	170 ppm	—	—	0.19 ppm	10 %
第2槽*	350 ppm	—	—	0.81 ppm	8.1 %
第3槽*	80 ppm	—	—	0.22 ppm	4.2 %

注) \*は貯留液を攪拌後採気。

表4-2 自然流下式牛舎の調査結果（12月）

測定地点	H <sub>2</sub> S	MM	DMS	NH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>
舎外大気	1.2 ppb	0.9 ppb	0.2 ppb	0.92 ppm	—
牛舎	1.6 ppb	1.3 ppb	0.95 ppb	1.2 ppm	—
堰	1.9 ppb	9 ppb	8 ppb	3.9 ppm	—
第1槽	3.8 ppm	29 ppb	23 ppb	2.6 ppm	1.4 %
第2槽	550 ppm	—	—	0.38 ppm	21.5 %
第3槽	170 ppm	—	—	0.19 ppm	10 %
第2槽*	350 ppm	—	—	0.81 ppm	8.1 %
第3槽*	80 ppm	—	—	0.22 ppm	4.2 %

注) \*は貯留液を攪拌後採気。

#### ④ウインドウレス牛舎

乳牛への熱負荷による生産性の低下、感染症対策等から、畜舎環境を制御するために、次世代型閉鎖型搾乳牛舎が新たに開発されている<sup>7)</sup>。従来のトンネル換気方式では、舎内の温度や相対湿度、ガス濃度などの環境要因の空間分布が大きくなり、また、局所空間の環境を制御できないという欠点があった。次世代型のウインドウレス牛舎では、妻面方向の片側から空気を押し込み、反対側から吸引・排気するというプッシュ&プル横断換気方式を取り入れ、局所環境の制御を可能にしている。牛舎の棟の高さを低くするために、建築コストは開放型より安価である一方、換気扇の設備コスト、ランニングコストは高くなるため、トータルコストは高くなる。しかし、生産性の向上による経済効果により収益の増加が期待できる。舎内で発生した臭気、微生物や臭気成分を含むエアロゾルの排気をコントロールできるため、必要に応じて脱臭装置を利用する。

##### ii) 基本管理における悪臭対策

畜舎内での臭気対策の基本は清掃である。表4-3に体重230 kgの去勢牛を毎分4.5 m<sup>3</sup>の換気下の室内に1週間ずつ飼養し、舎内管理と臭気の関係を調査した例を示した<sup>8)</sup>。毎日清掃の場合は不快臭が少ないが、ふん尿を堆積させると不快感の強いインドール、スカトールをはじめエステル類も出現し、質・量ともに臭気が強まることが明らかである。

表4-3 管理法の違いによる発生臭気の差 (Bethea &amp; Narayan)

管理法	臭気物質
毎日除ふんと水洗	メタノール、エタノール、アセトアルデヒド、イソブチルアルデヒド、ギ酸エチル
毎日除ふん	メタノール、エタノール、イソプロパノール、アセトアルデヒド、ギ酸エチル、酢酸イソブチル、インドール、スカトール
清掃せず	メタノール、エタノール、イソプロパノール、アセトアルデヒド、プロピルアルデヒド、ギ酸エチル、酢酸エチル、酢酸イソプロピル、酢酸イソブチル、プロピオン酸イソプロピル、インドール、スカトール

\* 常在するアンモニアと硫化水素はリストから除外されている。

## (2) 肉牛舎

### i) 各施設と臭気発生の特徴

繁殖牛舎は一部を除いて10～20頭以下の小規模の牛舎が主体である。飼育方式は単飼または群飼の牛房式が多く、一部でつなぎ飼い方式も採用されており、いずれもおが粉その他の敷料を使用している。肥育牛舎は群飼による牛房式が主体で、数十～二百頭と収容頭数が多いが、繁殖牛舎と同様におが粉などの敷料を使用し、1～2週間ごとにショベルローダー等で除ふんを行う。

アンモニアは、肉牛舎で10 ppm以下といわれる<sup>1)</sup>。

### ii) 基本管理における悪臭対策

おが粉は、吸水率が420～450%と極めて高い材料であるために、水分調整材のほかに肥育牛の群飼育における敷料として活用されている。さらに、水分の吸収と同時にふん尿から発生する臭気も吸着する効果があることから、ふん尿処理と簡易畜舎を併用した飼育管理方式が種々試みられている。繁殖・肥育牛舎ともおが粉などの敷料を使用することで、牛房が泥ねい化することはほとんどなく、臭気成分もおが粉などに吸着されるが、敷料の交換頻度が低い牛舎では臭気が問題になることがあるため、交換時期の見定めが重要である。

## (3) サイレージ調製と臭気防止対策

牛舎では、ふん尿由来以外にサイレージの臭気にも注意が必要である。乳酸発酵によって調製された良質のサイレージは、芳香性に富み、牛の嗜好性も良好で飼料価値が高い。しかし、調製方法が適切でなく、酪酸発酵したサイレージは飼料価値が低下し、牛の嗜好性が悪く、牛に障害を与えるのみでなく、臭気の発生源になり易い。発酵した粕類や蜜柑の皮のサイレージなど、異質な臭気がこれに加わった場合、さらに不快度が増すこともある。牛舎の低級脂肪酸の調査では、サイレージの影響により夏にプロピオン酸、冬にn-酪酸が増加したが、ふん尿由来のものは少ないという結果もある。また、臭気とは直接関係はないが、窒素肥料多給の青刈牧草、とくに日照不足のものに多く含まれる硝酸態窒素はサイレージ製造の際、亜硝酸を経て二酸化窒素となる。軽度の呼吸困難が現れる濃度が25 ppmの有害ガスで、この濃度では無色無臭であるのでとくに注意が必要である。

サイレージ調製は、乳酸菌（嫌気性菌）を増殖させ、原料中の糖分を乳酸に変え、生成された乳酸によりpHを急速に低下させて、サイレージ発酵に好ましくない酪酸菌などの増殖を抑制して安定化させる。主な酪酸菌は、水分80%以上、pH4.2以上、そして、発酵温度が高い場合に増殖し易い。したがって、酪酸発酵を防ぐための主な要点は次のようなである。

- ① 原料の水分の15%以下に調整して詰める。
- ② 詰め込み後速やかに密封し、乳酸発酵を促進させて、pHを4.2以下にする。

③ 原料の細切と踏圧などによって詰め込み密度を高め、早期の密封により嫌気状態にして、好気性細菌の増殖を抑制して高温発酵を防止する。

以上により、良質のサイレージを調製することが、もっとも適切な臭気防止対策である。

夏の高温期にサイロを開封すると、2次発酵とカビの発生があり、サイレージの品質が低下する。これを防止する目的で、従来より原料の詰め込み時にサイロ壁周辺部にプロピオン酸の添加が一部で行われていた。2次発酵防止の基本は、サイレージ原料の適正な水分調整（水分65～75%程度）と細切（2～3cm程度）、詰め込み時の踏圧、早期の密封と加重などであり、これによって詰め込み密度を高めて嫌気的条件にして、乳酸発酵を促進させて良質のサイレージを調製することが、プロピオン酸の添加を必要としない最良の方法である。

最近はサイレージの調製技術が進歩して、酪酸発酵による不良サイレージも減少している。また、夏の二次発酵が発生し易い時期にはサイレージの取り出し厚さを増し（サイロの大きさとの関係）、取り出し後は2次発酵防止蓋（ビニールシート製）の使用などによって、プロピオン酸の使用も次第に少なくなっている。

## 2) 養豚

### (1) 各施設と臭気発生の特徴

豚舎においては、尿量が多いために臭気の発生が顕著である。したがってふん尿の速やかな舎外搬出またはふん尿分離をして臭気発生量を少なくすることが必要である。また、豚の場合は給水器より水をこぼす例が多いので、水のこぼれにくい給水器を採用すべきである。臭気の発生を抑制するとともに、ふん尿処理を容易にするためにも有効である。

豚房内の排せつ物を清掃・搬出せずに堆積した場合の臭気の発生を調べた試験を紹介する<sup>9)</sup>。図4-5に示したような環境調節室内を厚手のビニールシートで二分してA室・B室とし、ケージに収容した子豚を3頭ずつ配置した。ふんと尿はステンレス・バットに受け、A室ではポリ容器に移し替えて堆積し、B室では毎日室外へ搬出後、洗浄を行った。この結果、図4-6に示したように、アンモニア濃度はA室で日数の経過とともに増加し、40日以降は30 ppm前後となった。この濃度は労働衛生上の許容濃度（25 ppm）を超えており、強烈に鼻を刺激するとともに目を強く刺激する結果となった。一方、B室ではA室の影響を受けて一時的にやや高い値を示す時期も認められたが、早朝の安静時には當時3 ppm前後の値であった。また、舎内の臭気プロファイルは、A室の堆積3日目頃からp-クレゾールが急増し低級脂肪酸も認められるなど、豚ふん特有のパターンを示はじめた。堆積3週間後のA室の臭気プロファイルは図4-7に示した通りで、豚ふんを嫌気状態に置いた場合（第2章図2-8参照）と非常によく似た、極めて強い不快臭を示している。A室との隔壁が不完全であったことから、B室の臭気プロファイルも質的には同様であったが、量的には明らかに少なかった。

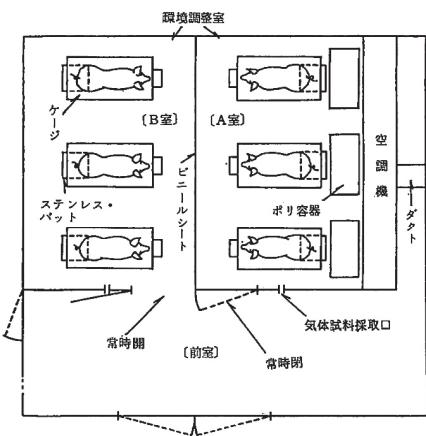


図4-5 ふん尿堆積試験豚房の概略図

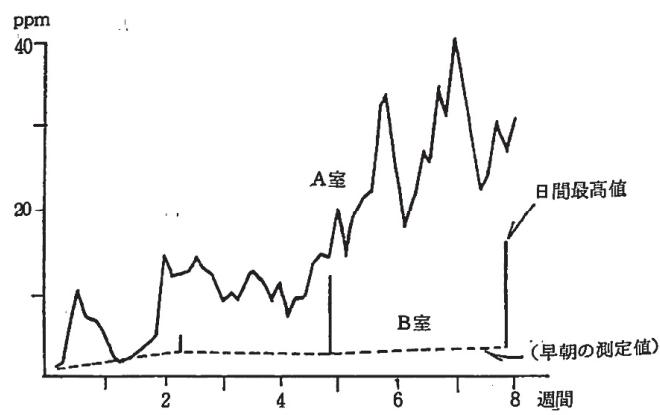
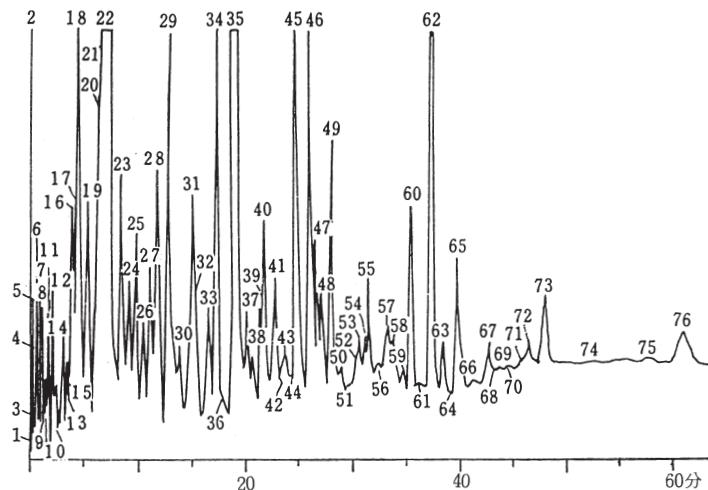


図4-6 ふん尿堆積試験豚房におけるアンモニア濃度の変化



- |  |                         |
|--|-------------------------|
| 2. 二酸化炭素 + 硫酸カルボニル                             | 31. 三硫化メチル              |
| 3. n-ペンタン                                      | 33. 二塩化ベンゼン + n-テトラデカン  |
| 4. 3-メチルペンタン                                   | 34. 二塩化ベンゼン             |
| 5. 3-メチルヘキサン                                   | 36. 二塩化ベンゼン             |
| 6. n-ヘプタン                                      | 37. n-ペントадекан + 未同定物質 |
| 8. n-オクタン                                      | 38. ベンズアルデヒド + 未同定物質    |
| 10. l-オクタン                                     | 40. プロピオン酸              |
| 12. n-ノナン                                      | 41. イソ酪酸                |
| 13. ベンゼン                                       | 42. n-ヘキサデカン            |
| 15. 三塩化エチレン                                    | 44. 三塩化ベンゼン             |
| 16. n-デカン                                      | 45. 酪酸                  |
| 17. 四塩化エチレン                                    | 46. イソ吉草酸               |
| 18. トルエン                                       | 48. 四硫化メチル              |
| 19. 二硫化メチル                                     | 49. 吉草酸                 |
| 20. n-ウンデカン                                    | 53. メチルナフタレン (推定)       |
| 21. キシレン                                       | 55. グアヤコール + カプロン酸      |
| 22. 水  | 58. ベンゾチアゾール            |
| 23. キシレン                                       | 60. フェノール (石炭酸)         |
| 24. n-ドデカン                                     | 62. クレゾール               |
| 25. アルキルベンゼン (C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> ) | 65. p-エチルフェノール          |
| 26. C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> +未同定物質      | 67. p-第三ブチルフェノール        |
| 27. スチレン (推定)+C <sub>9</sub> H <sub>12</sub>   | 72. インドール               |
| 28. C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> +未同定物質      | 73. スカトール               |
| 29. n-トリデカン+アセトイソ                              | 76. フタル酸ジエチル            |
| 30. C <sub>9</sub> H <sub>12</sub> +未同定物質      |                         |

図4-7 ふん尿堆積試験豚房A室・堆積3週間後の臭気プロファイル

以上の結果から、ふん尿の速やかな舎外への搬出と清掃が臭気対策上いかに重要であるかが再確認された。

その他、残飯の不快臭も問題になることが多い。この残飯臭（蒸煮を伴うもの）は、不飽和アルコールやエステルおよびインドール類を含む中性成分に特徴があり、これにふん由来の低級脂肪酸類やフェノール類が加わることにより、極めて強烈な不快臭へと増幅される。

一般の養豚場2か所（母豚90頭および135頭一貫）における低級脂肪酸の調査結果を表4-4に示した。いずれも部分すのこ床でスクレーパー搬送する方法が主体であったが、この方式ではn-酪酸を中心に夏期に低級脂肪酸が著しく高く、さらにこの方式のウインドウレス豚舎の排気口近くでは冬でも相当高かった。他のウインドウレス豚舎について、年間を通じた主な臭気成分濃度の調査結果を表4-5に示した。豚舎内気温に応じて、換気量が0.7～14 m<sup>3</sup>/秒と大きく変動し、臭気成分の濃度も年間を通じて大きく変動していた。豚舎内のアンモニア濃度と相関（p<0.01）がみられた臭気成分は、メチルメルカプタン、硫化メチル、プロピオン酸、i-酪酸、n-酪酸、i-吉草酸、n-吉草酸であった。アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、n-酪酸、n-吉草酸で、臭気強度3.5相当値を超える場合が散見されており、このような場合には脱臭等による排気の処理が必要となる。

表4-4 養豚場におけるVFA測定結果

測定場所	時期	C3	C4	i-C5	C5	備考
A養豚	母豚90頭一貫経営					
第1肉豚舎内	7月	59	41	3.0	8.3	木造、半開放式、スノコ床
第2肉豚舎内		20	12	1.9	2.5	スクレーパー収集方式
分娩舎内		39	34	3.0	4.8	尿ピットにてふん尿分離
第2肉豚舎外		40	49	2.9	6.2	排気口より風下10m地点
第2肉豚舎外	11月	24	16	1.1	2.3	排気口より風下10m地点
第2肉豚舎外		3.7	2.9	0.2	0.4	排気口より風下20m地点
第3肉豚舎内		2.0～9.5	0.9～2.9	0.3～1.1	0.2～0.7	おが粉豚舎、発酵菌使用
第4肉豚舎内		0.3～1.2	0.7～1.1	0.1～0.4	0.4～0.5	同上、発酵菌使用せず
第3、4肉豚間		0.5	1.0	0.2	0.5	舎外の通路
B養豚	母豚130頭一貫経営					
子豚舎内	7月	167～172	130～132	10	22～23	ふん尿混合で尿溜めへ。天井低く臭気がこもりやすい。
分娩舎内		21	21	2.5	5.5	
第1肉豚舎内		23～33	16～22	1.7～3.2	2.4～3.6	
第2肉豚舎内		44～54	29～37	3.3～4.2	5.0～5.6	スノコ床、スクレーパー収集方式
第1肉豚舎外		2.9	1.6	0.2	0.3	風下10m地点、強風

注) C3 : プロピオン酸      i-C5 : イソ吉草酸  
       C4 : ノルマル酪酸      C5 : ノルマル吉草酸

これに対し、水分の吸収と同時にふん尿から発生する臭気も吸着するおが粉を敷料に利用しているおが粉発酵床豚舎は、夏期の暑熱による食欲の減退とおが粉利用による大腸菌・抗酸菌などの付着、および発酵床における病原菌の異常発生などの問題がある一方、ふん尿処理が容易で、省力管理が可能であり、臭気防止対策としても有効であるので、とくに肥育豚における利用が効果的である。しかし、発酵床の管理が非常に重要である。

表4-5 ウィンドレス豚舎の臭気調査例

臭気成分	濃度
アンモニア	7.8±5.4
硫化水素	87.6±245.1
メチルメルカプタン	10.2±9.9
硫化メチル	7.9±6.3
硫化ジメチル	0.4±0.5
プロピオン酸	52.3±73.4
イソ酪酸	4.6±6.4
ノルマル酪酸	24.9±28.8
イソ吉草酸	4.2±5.7
ノルマル吉草酸	6.2±7.0

1) 2017/5～2018/9にかけて、1～2か月に1回の測定結果の平均。

2) 単位：ppm（アンモニア）、ppb（その他の成分）

3) アンモニアは検知管法、その他は公定法に準じて測定。

## （2）基本管理における悪臭対策

### i) 育成豚舎

養豚（一貫）経営では肥育豚の頭数およびふん尿の排せつ量がもっとも多いので、豚舎の臭気対策の中心は肥育豚舎である。肥育豚の飼育形態は1豚房当たり10～15頭の群飼育が一般的である。豚ふんと尿を混合すると約1日でアンモニアやトリメチルアミンなどの発生が急増するので、ふん尿の早期分離と搬出（1日に1～2回）が臭気対策の基本である。

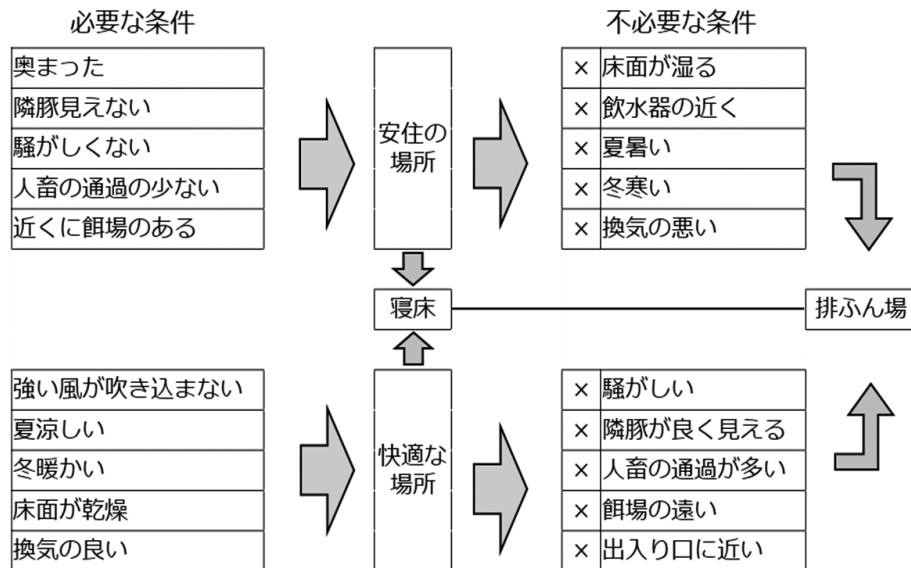


図4-8 寝床と排ふん所の条件

豚は牛などと異なり特異な排ふん習性を有しており、この習性を利用した豚房構造により、特定の場所にふん尿を排せつさせることができ、これによって早期にふんと尿を分離することができる。排ふん習性を利用するためには、豚房内に快適な場所と不適な場所を設ける。快適な場所の主な条件（図4-8）は、隣の豚房の豚が見えないように豚房の両側壁をコンクリートで仕切ることである。

リートブロックまたはセメント板で仕切り、給餌器を配置する。床はコンクリートとし、若干のおが粉などを敷いて、當時乾燥して居住性を良好にしてやると、豚はこの場所を寝床としてふん尿を排せつしない。逆に不快な場所は仕切柵として隣の豚がよく見える構造とし、床はコンクリートなどのことし、飲水器を取付けると、豚はこの場所にふん尿を排せつするようになる。

この構造の1例を図4-9<sup>10)</sup>に示した。排ふん場所のすのこ床の下をふん尿溝として、ここに除ふん機を取り付ける。除ふん機は従来ベルト式が採用されていたが、ベルトが切れ易いなどの問題点があり、最近ではブレード式の除ふん機が多く採用されている（図4-10<sup>11)</sup>、図4-11）。ふん尿溝（幅1.1～1.7 m）の底部を溝の中央に向けて勾配を設け、中央部の床に塩ビ製のパイプ（Oパイプ）を埋設し、尿はこのパイプ内に流入分離される構造になっており、1日に1～2回除ふんすることにより、臭気の発生を抑制することが可能である。

古い豚舎では全面コンクリートの平床式の豚房もかなり使用されている。この場合は豚房全体にふん尿を排せつし、夏には豚房全体が泥ねい化している例を見受けるが、臭気の発生のみでなく、豚の健康と増体の面からみても好ましい状態ではない。全面的に改造することは経費面から無理としても、図4-8<sup>12)</sup>の条件を参考にして、少なくともふん尿の排せつ場所を限定できるように改造することが必要である。

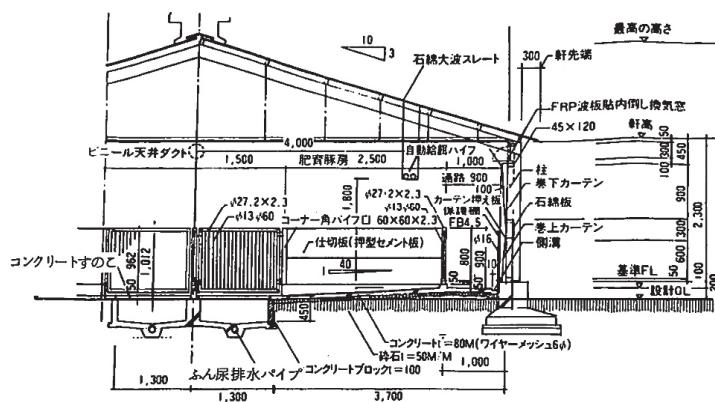


図4-9 肥育豚房断面図（温暖地型）

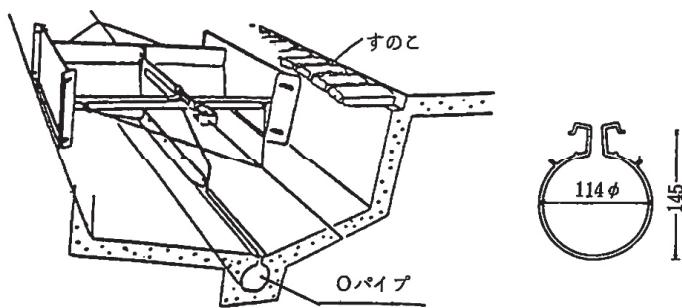


図4-10 ブレード式除ふん機（幅狭）

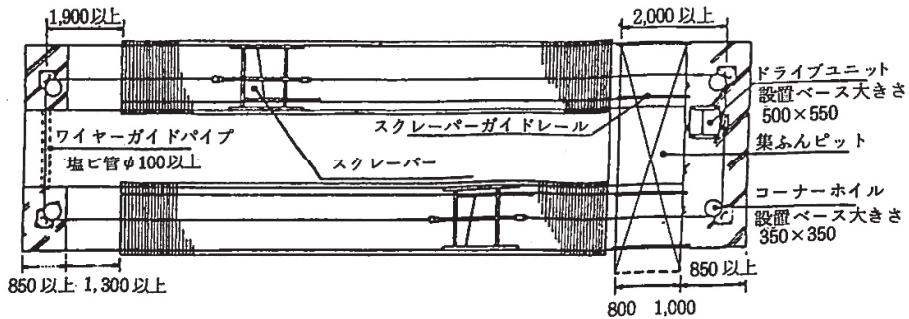


図4-11 ブレード式除ふん機設置例

また、床上におが粉と堆肥を厚く敷き込んだ踏み込み式発酵床の簡易豚舎（ビニールハウス豚舎）も一部で採用されている。この豚舎では、肥育豚を出荷した後に、敷料を全量舎外に搬出して堆肥舎で切り返しによる完全堆肥化を行い、その一部を発酵床に再利用する。踏み込み式発酵床は、病原菌が死滅して嫌気性発酵による有害ガスの発生のないことが前提条件であるので、ふん尿混合のおが粉堆肥の完全に腐熟したものを用いてまず基礎床を作る。豚房は十分に洗浄をした後に乾燥を行い、それに完熟堆肥を35～40 cmの厚さに投入して、床表面が均一になるように加圧する。育成豚は特別に衛生管理をした自家育成豚が必要であり、予め駆虫剤を投与した健康豚を入れる。子豚の導入は、温暖な時期では50～60日齢（体重25 kg）以上が適当であるが、一般的には90日、40 kg以上が安全である。収容面積の標準は1頭当たり1 m<sup>2</sup>であるが、導入豚では0.5 m<sup>2</sup>として、120日（65 kg）以上では組み替えを行うことが有効である。排せつされる尿により水分含量が高くなった場所に、7～10日間隔で新鮮なおが粉を散布し、その周辺部を攪拌混合して平坦化する。この操作が不十分な場合では、豚体が汚染すると同時に嫌気発酵による臭気が発生するので、最も大切な事項である。しかし、発酵床の乾燥が過ぎると粉塵が発生し、呼吸器病が多発しやすいので、その場合は自動噴霧器などによる水分の補給が必要である。

ハウス型畜舎の屋根材は、透明なビニールなどのプラスチック樹脂材を用いて、太陽熱によるふん尿の蒸散効率を良好にする方法が実施されていた。しかし、夏期の暑熱防止に寒冷紗を使用する必要があったが、最近では光線反射型の断熱シートが多く用いられ、舎内外の温度差による通風を良くして、水分の蒸散を促進する簡易畜舎が開発されている。さらに、側面は巻き上げ式のカーテンにより外界と遮断し、開閉により通風を良くする利点がある。建物の骨組みは、直径40～45 mm、肉厚3～5 mmの鉄パイプを2 m間に下部をコンクリートブロックに固定し、軒高は2 mで棟の高さを3.6 m以上にして、冬期は南側の日当りがよく、夏期は通風の良い場所を選定し、排水の良い場所に30 cm位の盛土を行う。畜舎の大きさは、図4-12に示すように1棟1房式の簡単なものと複数房式の大型のものがあるが、いずれの場合でも豚房の間口と奥行の比率は1:3位が適当であり、肥育豚1頭当たりの床面積は0.5～1.0 m<sup>2</sup>が適当とされている。

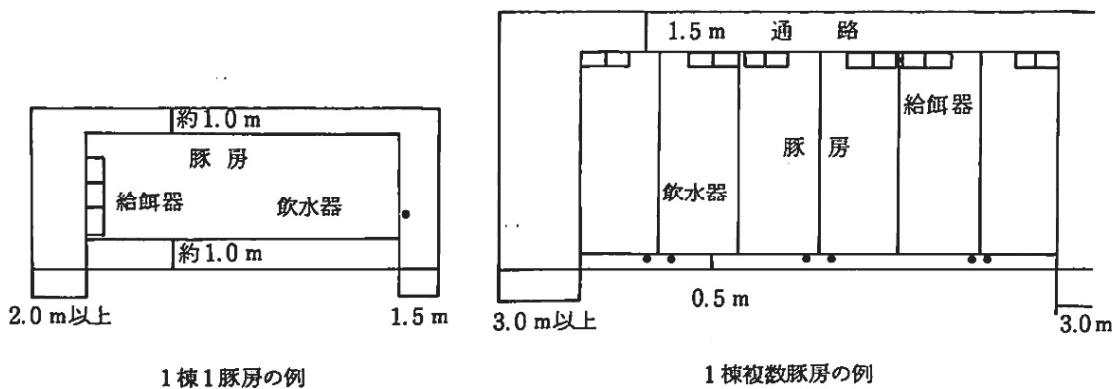


図4-12 踏み込み式ハウス豚舎の事例

なお、各豚房の床底面は地表面と同じ高さのコンクリート張り（雨水の流入防止と側溝を作る）とし、敷料を取り出す側を除く通路と隔壁面は高さ60 cmのコンクリートまたはコンパネ板で固定する。さらに、その上部に鉄材を用いて高さ1.3 mの格子状鉄柵を作り、その柵柱間隔は1.8～2.0 m、格子間隔は約10 cmとして、十分に豚の体重の加圧に耐えられるもので、子豚の脱柵のないものを作る。敷料の取り出し面には、2～3段のハメ板を用いる。飲水器と給餌器は、常に反対側に設置して排ふんと排尿場所が全面に均等化するように配慮する必要があり、飲水器のこぼれ水は必ず舎外に排水するようにする。肥育豚を出荷した後に、敷料を全量舎外に搬出して完熟堆肥を作る必要があるので、その作業が便利なように設計をする。

#### ii) 繁殖・分娩豚舎

子豚離乳後の繁殖豚は、約1か月程度休養を兼ねて平床式の群飼豚房で飼育し、この間に交配して、受胎確認後は、次回の分娩前までストールにつないで飼育する例が多い。群飼豚房での飼育頭数は少ないので、尿は床に勾配を設けて早期に分離し、ふんのみ除去することにより臭気の発生を抑制する。ストールにつないだ場合はふん尿の排せつ場所を限定できるので、ふん尿の分離（床勾配）と除ふんにより臭気の発生を少なくする。

分娩豚舎では、分娩および哺乳を含めて約1か月間飼育するが、最近は分娩柵（高床式）を用いて排せつ場所を限定し、分娩柵の後部床面をすのこ床とし、その下部に勾配を設けて除ふんを容易にする構造が増加している。

離乳後の子豚は肥育豚舎に移すまでの間（30～50日前後）、子豚用豚房で飼育する。子豚用豚房は既製品がかなり使用されており、高床式で、樹脂でコーティングしたエキスパンドメタル製のすのこ床が用いられており、ふん尿分離も良好である。

### 3) 養鶏

鶏ふんは、ふんの処理を容易にするとともに、管理作業の省力化などの面から、長期間鶏舎内で排せつされたままの状態で堆積する例が多い。この場合は臭気やハエの発生があるので、送風などによる予備乾燥により、臭気の発生を軽減する方法が採用されている。また、鶏は夏の高温期に必要以上の水を摂取して軟便になり易く、臭気の問題を起こすことが多いため、制限給水により軟便を防止する。

## (1) 採卵鶏舎

### i) 各施設と臭気発生の特徴

採卵鶏は主としてケージに収容・飼育されている。ケージ飼い鶏舎の床構造は図4-13<sup>13)</sup>に示すように各種あり、この他に高床式鶏舎（図4-14）も採用されている。高床式鶏舎（床下の長さ2.5～2.7 m程度）は、鶏の入れ替え時まで1年以上床下にふんを堆積して、発酵と乾燥によって水分を50%以下に低下させ、ショベルローダーで搬出する方式である。直接ふんが外気に触れるので、臭気が揮散し易い。発生する悪臭物質としてはアンモニアが圧倒的に多く、これは豚などに比べても多い。さらに、堆積に伴い水分の多い嫌気性の部分を生じると、メチルメルカプタン、硫化水素などの硫黄系の臭気が発生してくるのが特徴である。

ケージ下にふんを堆積した場合は、ほぼ4日を過ぎるとアンモニアの発生が顕著になることから、週に2回以上の除ふん・搬出を励行することが必要である。また、堆積する場合はふんの水分を40%以下にすれば、メチルメルカプタンや硫化水素の発生は著しく少なく、アンモニアの発生量も減少する。

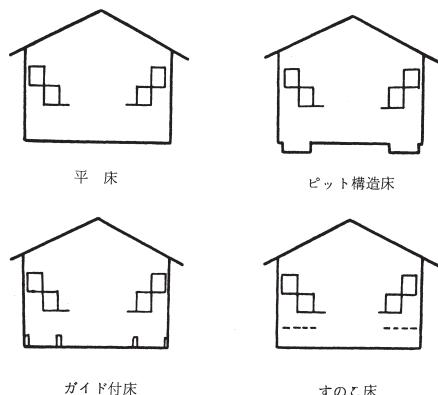


図4-13 ケージ飼い鶏舎の床構造

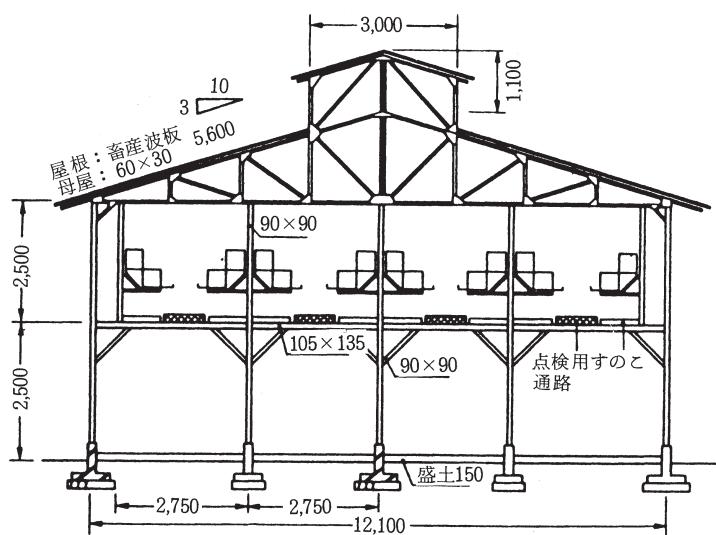


図4-14 高床式鶏舎の1例

### ii) 基本管理における悪臭対策

ピット構造床、ガイド付床は主にブレード式（スクレーパー）またはベルト式の除ふん機が設置されているが、水分の蒸発は余り期待できないので、臭気が発生しない新鮮ふんの状態で鶏舎外に1日に1～2回搬出する。

すのこ床（木製）は鶏舎内で予備乾燥と同時に、臭気の発生を抑制する方式で、通風が良好であれば水分が60～65%程度まで低下する。

平床はもっとも一般的な構造であるが、すのこ床に比較してふんの水分蒸発が悪いので専用の送風装置も開発されている。

高床式鶏舎では、通風がよくないと水分の蒸発が悪く、臭気とともにハエの発生源となり易いので、送風ファン等によって乾燥を促進させる対策が必要である。また、高床式鶏舎の採用に当たっては周辺の住宅環境と風向などについて事前の調査が必要である。

## (2) ブロイラー鶏舎

### i) 各施設と臭気発生の特徴

ウインドレス鶏舎でブロイラーを飼養する際に発生する臭気の測定例を紹介する<sup>14)</sup>。床面積32 m<sup>2</sup>、容積90 m<sup>3</sup>（換気回数約8回）の平飼室内にチップを敷き、500羽を入雛・飼養したところ、アンモニアの発生に特徴的なパターンがみられた。すなわち、図4-15にみられるように4週を過ぎた時点で一気に増加している。この原因としては、①敷料であるチップの吸着能力が限界に達したこと、②床面給温を4週で停止したため湿度が上昇し、鶏ふんの中の尿酸の分解が急速に進んだことなどが考えられる。この試験は冬季のものであるが、アンモニアが急増して30 ppmのレベルに達する日数は、概ね夏で3週間、中間期で4週間、冬で5週間である。試験室内は空調されており室温はほぼ一定であることから、湿度の差が大きく影響するということが考えられ、高湿度ほど早い時期に急増することになる。したがって、舎内を乾燥させることがアンモニア発生を抑制することになるが、粉塵の発生があるので、別途の対策が必要となる。なお、その他の臭気成分についてみると、アンモニアの増加によって低級脂肪酸やフェノール類などの酸性成分は揮散が抑えられ、鶏ふん由来の硫黄化合物と、こぼれた飼料に由来すると考えられるベンゾチアゾールやアセトインなどが増加する傾向が認められた。

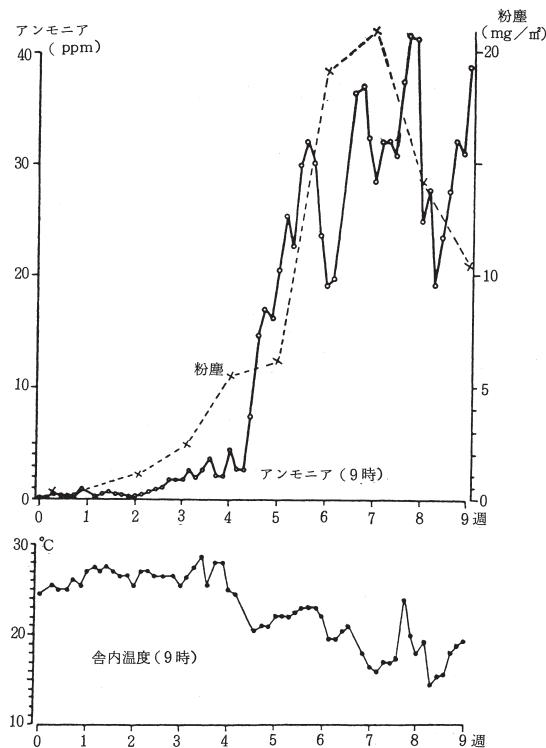


図4-15 ウィンドレス鶏舎におけるアンモニア濃度、粉塵量および室温の変化

### ii) 基本管理における悪臭対策

プロイラーは平飼い方式で、床面より給温の必要があるので、ウインドウレス構造が多く採用されている。

雛の導入時におが粉を敷き、これにふんを排せつさせ、出荷後に一括して鶏ふんを搬出するが、給温によってふんの乾燥状態は良好（水分30%以下）であるが、アンモニアなどの臭気成分の発生があるので、おが粉の使用量を多くして、これに吸着させるなどの対策が必要である。

ウインドウレス鶏舎では、新鮮ふん尿の状態で臭気成分の発生しない間に畜舎外に搬出するか、早期に水分を低下させて、臭気成分の発生を抑制するなどの対策が基本的に重要である。夏期は1時間当たり数十回の換気回数を必要とするので、臭気成分が希釈・拡散されるので問題が少ないと、冬期には10回以下の換気回数になるので、畜舎内の臭気濃度が高まり、家畜の健康面からみても問題になり易いので、とくに注意しなければならない。

## 4) 敷料

畜房への敷料使用は、家畜に快適な居住性を与えると同時に肢蹄を保護し、ふん尿中の水分を吸着してふん尿処理を容易にし、さらに、臭気成分の発生を抑制する効果がある。敷料として従来より稻わら、麦稈、粗悪な乾草、落葉などのほか、おが粉などの製材工場残材が使われてきている。

稻わらは近年コンバインの普及により大部分が水田にすき込まれていることから、用途別利用状況の最後の統計データである平成15年当時の稻わらの敷料への利用率（4.2%）<sup>15)</sup>よりも現在では敷料利用率が減少していると推察される。もみ殻は稻わらと異なりライスセンター等から安価あるいは無償で大量に入手可能であることから敷料資材として有望であるが、そのままでは疎水性のため吸水・保水性が必要な場合は粉碎処理を行う。

近年、製材工場の大規模化や、おが粉用に供されていたものを含む丸太の輸出、木質バイオマス発電の燃料チップ用丸太の需要の急増等によるおが粉供給量の減少が指摘されている<sup>16)</sup>。現状では、おが粉の原料となる製材工場端材の約2割が畜産農家向けに出荷されている<sup>17)</sup>。また、おが粉の販売量は針葉樹と広葉樹を合わせて年間約260万m<sup>3</sup>であり、畜産敷料に約66%が使用されている（表4-6）。今後のおが粉需給の動向は不透明であるが、畜産農家におけるおが粉利用実態アンケート調査結果によると（対象戸数1446戸、回収率67%）、20%弱の畜産農家がおが粉確保に対応して対応を検討中とのことである。

おが粉の代替として、裁断古紙やキノコ菌床、メタン発酵残さなどが活用可能である<sup>18)</sup>。敷料利用の際には、その後の堆肥化への影響も考慮し、ふん尿とともに堆肥原料として有効活用を図ることが必要である。

表4-6 おが粉の用途別販売量（全国）

(単位：上段千m<sup>3</sup>、下段%)

用途区分	針葉樹おが粉			広葉樹おが粉		
	H26	H27	H28	H26	H27	H28
全国	2512.3	2237.8	2107.8	76.4	171.54	97.1
	100	100	100	100	100	100
畜産敷料	1690.2	1457.3	1410.5	20.1	61.9	25.3
	67.3	65.5	66.9	26.3	36.1	26.1
きのこ培地	151.7	188.3	188	49.1	101.9	62.6
	6.1	8.4	8.9	64.3	59.4	64.5
固形燃料	184.6	150	123.4	2	2	2
	7.3	6.7	5.6	2.7	0.1	2.1
成形木質材料	3.1	3.1	3.1	0	0	0
	0.1	0.1	0.1	0	0	0
農産物梱包材	121.8	122.6	116.4	0	0	0
	4.8	5.5	5.5	0	0	0
清掃資材	9.8	10.6	10	0	0	0
	0.4	0.5	0.5	0	0	0
木質浄化剤	0.4	0.2	0.2	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
ボイラ燃料	205.5	181.1	137.8	0	0	0
	8.2	8.1	6.5	0	0	0
バイオマス発電	23.4	22	23.8	0	0	0
	0.9	1	1.1	0	0	0
その他	121.7	102.5	94.5	5.2	5.7	7.2
	4.8	4.6	4.5	6.8	3.3	7.4

注1：固形燃料とは、ペレット、オガライト、オガタン等の原料、成形木質材料には木質ボード、デッキ、テラス等の外構部材製造用等を含む。農産物梱包用には長いも、ゆり根、リンゴ等の他に、カニ、エビ等を含む。水質浄化剤にはトイレ洗浄材等、その他にはエステ、岩盤浴等健康用資材、金属防錆材、研磨材等の他に、用途不明を含む。

注2：H26だけを回答しているアンケートも集計しているため、H25～H26への販売量の増加率は実際よりも大きくなっている。

## 参考文献

- 1) 農林水産技術会議事務局:乳用牛・肉用牛の飼養施設設計指針. pp. 145-150 (1986)
- 2) 全農施設・資材部: 畜産施設基本設計作成のてびき (改訂版) . (1984)
- 3) 全農施設・資材部: 乳牛舎 (フリーストール牛舎) の構造に関する報告書. (1986)
- 4) 高木喜代文, 吉田周司, 井上一之, 渋谷清忠, 衛本憲文: 酪農経営技術の確立(3) フリーストールとフリーバーン方式の違いが酪農経営に与える影響について. 大分県畜産試験場試験成績報告書 33(4), 40-43 (2004)
- 5) 薬師堂謙一: 畜舎構造とふん尿処理施設. 畜産の研究 44(1), 135-140 (1990)
- 6) 八木満寿雄, 代永道裕, 中嶋吉郎, 田中樽: 別枠研究「環境保全」試験成績書(6), 農林水産技術会議事務局, pp. 568-570 (1979)
- 7) 池口厚男, 石田三佳, 勝田賢, 小西美佐子: 特集II 次世代の閉鎖型牛舎. Dairyman 2015(1), 44-51 (2015)
- 8) Bethea, R. M., Narayan, R. S.: Transactions of the ASAE 15, 1135-1137 (1972)
- 9) 代永道裕: 養豚の友 162 (9月) , 24-35 (1982)
- 10) 全農施設・資材部: 豚舎の標準設計とその解説. (1986)
- 11) 全農施設・資材部: 畜産施設基本設計作成のてびき (改訂版) . (1984)
- 12) 環境庁大気保全局: 悪臭防止技術改善普及推進調査報告書 (養豚業編) . (1989)
- 13) 全農施設・資材部: 家畜のふん尿処理利用施設・機器等入のてびき. (1983)
- 14) 代永道裕: 鶏の研究 60(6), 52-58 (1985)
- 15) 農林水産省: 稲わらをめぐる状況. (2005)
- 16) 中央畜産会: 平成27年度家畜排せつ物利活用事業に係る敷料（主におが粉）等の生産動向・利用実態報告書. (2016)
- 17) 農林水産省: 平成30年度木材流通構造調査. (2019)
- 18) 中央畜産会: おが粉代替敷料利活用マニュアル. (2017)  
(<https://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/attach/pdf/index-40.pdf>)

## 第5章 ふん尿処理施設における悪臭対策

家畜ふん尿の処理では、比較的小面積の処理施設に大量のふん尿を搬入して貯留や処理を行うため、畜舎とは対照的に、臭気の発生面積と風量は小さいが発生濃度は高くなる。また、発生する臭気はふん尿中の有機物の分解から生じる悪臭物質が主体となり、元のふん尿の臭気から質や濃度が大きく異なる。

ふん尿処理においては、それぞれの処理を滞りなく進めることができ第一の目的であり、そのための管理を行うことで元のふん尿の臭気は低減されることから、処理の過程での適正な管理の遵守が悪臭対策の基本となる。ただし、堆肥化処理のように、適正な処理自体から高濃度の臭気が発生するものもあり、これに対してはその臭気を焦点とした対策が必要となる。

### 1) 堆肥化処理

#### (1) 堆肥化処理の概要と堆肥化施設

##### i) 堆肥化処理の概要

堆肥化処理は、大量の家畜ふん尿を空気が通う条件（好気的条件）に保持して堆積し、微生物による有機物の分解を促して、作物肥料として利用できる堆肥を製造するもので、我が国で最も一般的な家畜ふん尿の処理形態である。処理の過程は、ふん尿中の易分解性有機物が活発に分解される時期（1次発酵）と、その後に難分解性の有機物が緩やかに分解される時期（2次発酵）に分かれる（図5-1）。処理期間は施設の形式、処理過程の管理、処理量等によって1ヶ月～数ヶ月の幅がある。

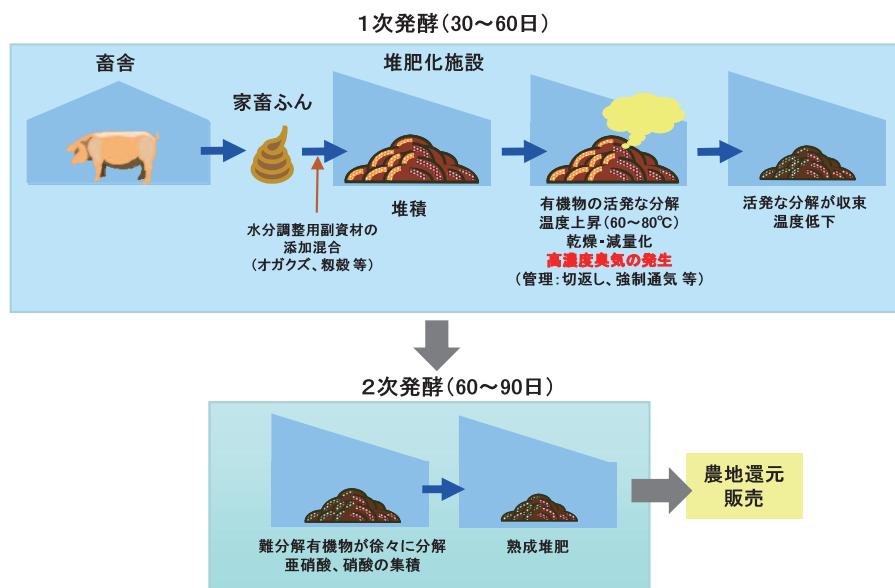


図5-1 堆肥化処理の概要

畜舎から搬出した時点のふん尿は水分過多で通気性が悪く、そのままでは内部に空気が通わない状態（嫌気的条件）となり堆肥化が進まないため、水分を低下させる必要がある。水分調整の手段としては、畜舎内では尿の分離、敷料の使用等、畜舎搬出後は固液分離による液分の除去、おが粉、もみ殻等の低水分有機質素材の添加等が行われる。また、出来上がった堆肥を添加する場合も多い（戻し堆肥または返送堆肥）。処理開始時の堆積物性状の目安は、含水率65~70%、かさ比重0.5~0.6（強制通気を行う場合は含水率~75%、かさ比重~0.7）程度である。水分調整を

行って堆積すると、有機物の活発な分解に伴う発熱によって堆積物が高温（60℃以上）となり、水分の蒸発が進む。また、ふん尿に含まれる作物生育阻害物質の分解、発熱による病原菌や雑草の種子等の死滅も進み、元々のふん尿の臭気は低減する一方、アンモニアを主体とする極めて高濃度の臭気が発生する。処理の過程では、堆積物が自重で次第に圧密化して内部の通気性が低下するため、好気的条件維持のために、ローダーや攪拌装置による定期的な切り返しやポンプを用いた強制通気が行われる。通気量は堆積物1 m<sup>3</sup>あたり毎分50～300 Lとされている。

易分解性有機物が分解されて温度が低下した堆肥は、しばらく保管して2次発酵を進める。この時期の堆積物温度は常温に近く、臭気の発生は少ない。出来上がった堆肥は、乾燥により取扱い性が改善し、含有成分が安定化して臭気も少なく、肥料として安全に使用できる。

### ii) 堆肥化施設の種類と特徴

#### ① 堆積方式

副資材と混合して水分を調整したふん尿を堆肥舎に堆積し、ローダーなどで切り返す方式である。切り返し間隔は1週間程度が適当であるが、月に1～2回の例も認められる。通気を十分行うためには床面から空気を送る定置式の通気発酵装置などが開発されている。

堆積方式は、攪拌方式に比較して設備費が少ないが、副資材と十分な混合が必要であり、おが粉等の敷料を使う畜舎のふん尿に適している。切り返しの際には特に高濃度の臭気が発生するため、何らかの対策が望まれる。

#### ② 攪拌方式

開放型発酵槽で攪拌する方式と、密閉型発酵槽の中で攪拌する方式がある。攪拌の方式は、ロータリー式、スクープ式、スクリュー式などがある。

ロータリー式は、回転爪の攪拌機がレール上を移動しながら材料を攪拌する方式である。堆積の深さは0.3～1 mであり、攪拌1行程ごとに材料が0.3～1 m出口側へ移動し、0.5～3か月で発酵がほぼ終了して出口に到着する。攪拌機構が簡単で故障が少なく、堆積槽が浅いので乾燥しやすい利点があるが、反面深い槽の攪拌ができないので発酵槽の設置面積を広くする必要がある。

スクープ式は、1～2 mの深さの発酵槽にスラットコンベヤーで材料を搔き上げて落とす攪拌方式であり、ロータリー式と同様に行程ごとに材料が出口側へ移動し、投入口の反対側に仕上がり堆肥が搬出される。堆積が深く、処理量当りの設置面積が少ないとことから、大規模堆肥化施設に導入されている。一方、攪拌装置の機構が複雑で故障しやすいのが難点である。

スクリュー式は、台車に垂直のスクリューが何本かあり、穴を掘るように攪拌する方式である。機構が簡単でかつ深い槽を攪拌できること、わら等の長い物が入っていても巻き付かない等の利点がある。

開放型発酵装置では、装置化されているため自動運転が可能であり、屋根に樹脂材を用いれば太陽熱利用で乾燥促進がはかれる。しかし、設置面積を広くする必要があり、さらに発生する臭気や粉塵などの対策が必要となる場合が多く、設置する場所に注意する必要がある。

密閉型発酵装置には縦型と横型がある。縦型発酵装置は、縦方向に設置した円筒発酵槽内で、回転羽根で攪拌と通気を行う方式である。発酵槽上部からふんを投入し、槽内に滞留する堆肥と攪拌混合することで水分調整を行うとともに発酵を促進し、3～7日で処理が終了して下部から取り出される。特長は、戻し堆肥を行う形で効果的に発酵が行われ、毎日投入と取り出しができること、および設置場所が狭くて発生する臭気が濃厚な状態で外気筒から外部に排出されることである。横型発酵装置は、横方向に設置した円筒の発酵槽を回転させ、攪拌とともに外部から通気を行って、約1週間で発酵と乾燥を進める方式である。バッチ式が多く、投入するふんの水分も

60%以下に限定される。また、発酵温度は低く、空気を入れるために内部の臭気を吸引により排出する必要がある。いずれの装置でも、排出された臭気は付属する脱臭装置で処理が行われている（表5-1、図5-2）。

表5-1 堆肥施設の種類と運転時の臭気対策

施設の種類	作業機または装置	運転時の臭気状態と対策
堆積方式	無通気型 堆肥盤 堆肥舎	臭気は副資材に吸着されて少ないが、臭気を集めて脱臭する方法は難しい。
	通気型 堆肥舎 箱型通気発酵装置	
攪拌方式	開放型発酵装置 ロータリー式攪拌機 スクープ式攪拌機 スクリュー式攪拌機	攪拌時に水蒸気とともに臭気が発生するため脱臭対策が必要である。
	密閉型発酵装置 縦型発酵装置 横型発酵装置	発酵が急速で高温のため強い臭気が発生するので脱臭装置が必須である。

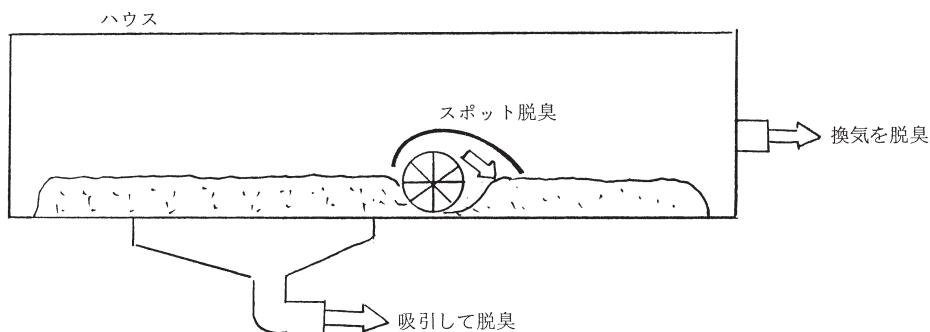
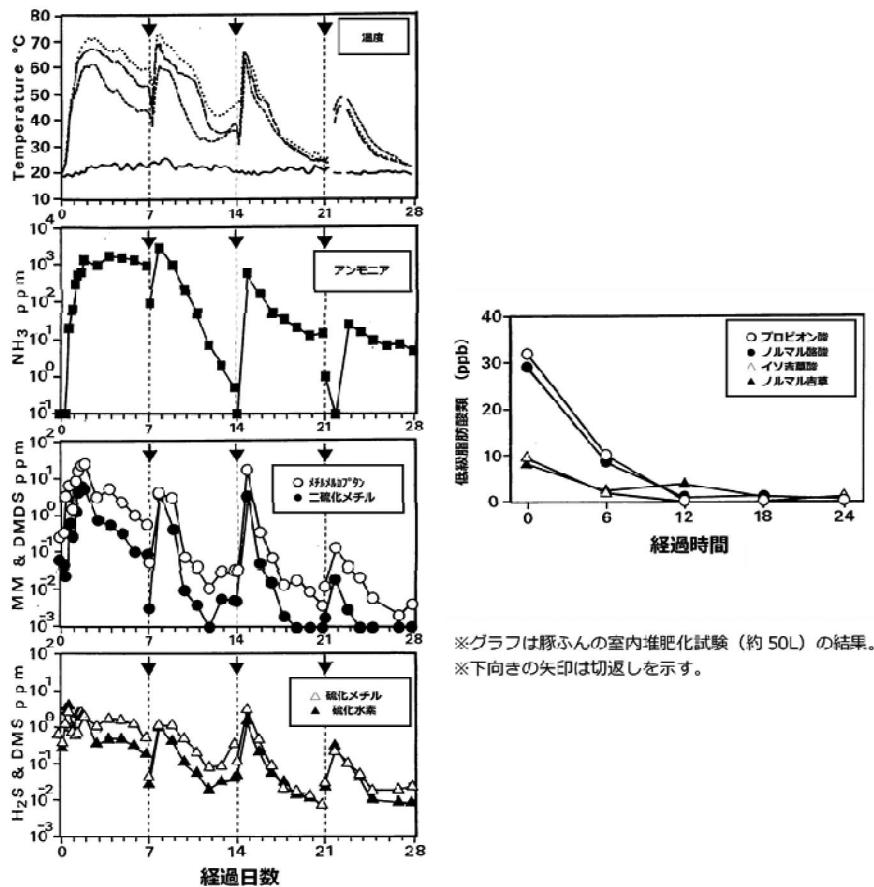


図5-2攪拌式堆肥化施設の脱臭対策

## (2) 堆肥化処理からの臭気の発生

家畜排せつ物の臭気の主体は、アンモニア、アミン類等の窒素化合物、メチルメルカプタン等の硫黄化合物類、ノルマル酪酸等の低級脂肪酸である（表2-8参照）。新鮮ふん尿の臭気は、これらの主要悪臭物質の中ではアンモニアの濃度が高いが、嗅覚にはむしろ低級脂肪酸類や硫黄化合物類に起因する腐敗系の不快臭が強く感じられる。

堆肥化処理の1次発酵で、ふん尿を好気的条件に保持して堆積すると、ふん尿中の易分解性有機物が微生物によって活発に分解され、これに伴って堆積物の温度が急激に上昇し（60°C以上）、その後高温が持続する。この温度上昇期から高温持続期に、水分の蒸発と高濃度臭気の発生が起こる。温度上昇期には硫黄化合物類、高温持続期にはアンモニアの濃度が極めて高くなる。また、トリメチルアミンも高濃度で発生する<sup>1)</sup>。一方、新鮮ふん尿の臭気の主体である低級脂肪酸類は、アンモニアの発生と前後して急激に低下する<sup>2)</sup>（図5-3）。嗅覚に感じられる臭気は、元の腐敗系の臭気から高濃度のアンモニアを主体とする刺激臭へと変化する。定期的に切返しを行いながら堆肥化する場合は、切返しの度に温度の再上昇と高濃度臭気の発生が繰り返される。堆肥化が進んで易分解性有機物の残量が少なくなると温度は徐々に低下し、発生臭気の濃度も低下する。



※グラフは豚ふんの室内堆肥化試験（約50L）の結果。

※下向きの矢印は切返しを示す。

図5-3 堆肥化からの悪臭物質の発生

鶏ふんは、ふん尿一体の排せつ物であることから窒素含量が多く、易分解性有機物の含量も多い。このため堆肥化過程での高温の持続が長く、アンモニアをはじめとする悪臭物質の発生濃度も高い。また、堆肥化後もアンモニア臭が残存するものが多い。一方、牛と豚のふん尿は、固液分離をして尿をある程度除去した後の固体分を堆肥化する場合が多く、鶏ふんに比べて窒素含量や易分解性有機物含量は低い。ただし、処理量は多いことから、堆肥化過程で発生する臭気はやはり高濃度となる。これらのふん尿は堆肥化後には軽い土壌臭の堆肥となるが、鶏ふんと同様にアンモニア臭が残るものも見受けられる。

### （3）堆肥化処理における悪臭対策

堆肥化処理では、処理施設に大量のふん尿または処理過程の堆肥が常在するため、高濃度臭気の発生源となる。このことから、処理に先立っての施設の設置や施設周辺の整備において、施設ができるだけ閉鎖構造にして外部への臭気の放出を抑えること、敷地境界線からある程度距離をとって施設を設置することで放出された臭気の拡散希釈を図ることが悪臭対策に繋がる。

処理の過程では、1次発酵において臭気の高濃度発生がおこることから、この時期が悪臭対策の焦点となる。処理開始の時点では、ふん尿の水分調整を適正に行った上で堆積することで堆肥化が促進され、元のふん尿の腐敗系の臭気は早期に低減する（前記（1）-i）および（2）参照）。しかしながら、処理自体を適正に行っても、アンモニアを主体とする高濃度臭気の発生は避けられないことから、この臭気への対策が課題である。

堆肥化処理から発生する臭気は極めて高濃度であるため、基本的には何らかの脱臭処理の適用

が望ましい。密閉型発酵装置では、発酵槽内で発生した臭気は排気口から集中排気されることから、排気口に脱臭処理施設を併設して臭気の除去または低減化を図るのが一般的である。また、堆積方式の施設でも、施設を閉鎖構造化して脱臭施設を併設し、悪臭空気の回収、脱臭処理を行っている事例がある。脱臭処理の方式は様々であるが、中では生物脱臭法がコストや管理の点で比較的有利であることから、ある程度の普及をみせている（第3章 2)-(4) 参照）。

水分調整と堆肥化促進の目的で、出来上がった堆肥をふん尿に添加混合する戻し堆肥の手法は広く行われているが、新鮮ふん尿の臭気の主体である低級脂肪酸類の低減化に有効であり、堆肥化初期の悪臭対策となる。堆積方式での堆肥化では、特に切返しの際の臭気の発生が問題となることから、この作業の時間帯にミストや臭気対策資材の散布を行って臭気の低減化を図っている事例がある。

堆積方式の堆肥化で、堆積物の床面から空気を吸引して通気を行う吸引通気式堆肥化システムが開発されている<sup>3)</sup>。空気の流れが圧送方式での通気と逆方向となることから、堆積物表面からの臭気の発生が非常に低く抑えられる。また、吸引した排気は薬液脱臭により脱臭するとともにアンモニアを回収し、液肥として利用することから、悪臭対策と肥料成分の回収・活用を兼ねた技術となっている。

## 参考文献

- 1) 小山太：家畜糞堆肥調製時の臭気対策および堆肥の新規機能性に関する研究. 福岡農業総合試験場特別報告第38号, 1-68 (2012)
- 2) Kuroda, K., Osada, T., Kanematu, A., Nitta, T., Mouri, S., Kojima, T., Yonaga, M.: Emissions of malodorous compounds and greenhouse gases from composting swine feces. Bioresour. Technol. 56, 265-271 (1996)
- 3) 阿部佳之, 宮竹史仁, 本田善文：堆肥化中に発生するアンモニアを効率的に回収する吸引通気式堆肥化システム. 畜産草地研究所2006年成果情報 (2006)  
(<https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/nilgs/2006/nilgs06-03.html>)

## 2) スラリー処理

### (1) スラリーの貯留と曝気処理

牧草地や飼料畑を保有している酪農経営や、農地を有する一部の養豚経営では、排せつ物をふん尿混合スラリーの状態で暫く貯留した後、作物肥料として圃場への施用を行っている。また、ふん尿を固液分離して、固形分の堆肥化処理と液分のスラリー処理を併用している経営もある。貯留したスラリーは、圃場施用前に曝気を行って成分の安定化や臭気の低減を図る場合が多い。

ふん尿をスラリーとして取り扱う場合は、飼養規模を把握し、1日当りの排せつ量を基本に、固液分離の割合、畜舎内の水分蒸発量、圃場面積、作付方式による貯留期間等を踏まえて、容量に余裕のある貯留槽あるいは曝気槽を準備することが必要である。槽の形式としては、地下式の槽と地上式のスラリーストア等がある<sup>1)</sup>。また、曝気の方式としては、回転翼による攪拌曝気方式、スラリー表層に浮かべて曝気するフロート式、槽の底にポンプを設置してスラリー内に空気を送り込む水中式等がある。水中式による曝気では大量の泡が発生するため、消泡機の設置や少量の油の添加により消泡が行われる。

スラリーは曝気によって有機物と悪臭物質が分解され、粘性と臭気が低下して取扱い性が改善され、肥料として圃場還元できるものになる。また、長時間の曝気を行って液状コンポスト化を

図る場合もある。液状コンポスト化では、固体分の堆肥化と同様に温度が上昇し（50～70°C）、有機物の分解が更に進む一方、臭気の高濃度発生が起こる。曝気量はスラリー1 m<sup>3</sup>当たり1～8 m<sup>3</sup>/時、曝気時間は3日～数ヶ月と、スラリーの性状、処理量、処理の目的等によって大きな幅があり、消費電力節減のために間欠的な曝気を行っている事例もある<sup>2, 3)</sup>。スラリー1 m<sup>3</sup>当たりの曝気量が3～6 m<sup>3</sup>/時の場合、臭気の低減までに75時間程度、液状コンポスト化には150時間程度が必要との報告がある<sup>4)</sup>。

## （2）スラリー処理からの臭気の発生

スラリーを大量に貯留すると、貯留物の内部は嫌気的条件となるため、嫌気的条件下での微生物による有機物の分解から、硫化水素やメチルメルカプタン、低級脂肪酸類等が大量に生成し、不快度の高い腐敗系の臭気が発生する（第4章 1)-(1)-i)-③参照）。この状態のスラリーをそのまま圃場に施用すると強い臭気が拡散され、悪臭問題を引き起こす危険性が高いことから、施用前に曝気処理を行って臭気の低減を図る場合が多い。曝気により貯留期間中に生成蓄積した悪臭物質は分解・低減化され、スラリーの臭気は低減するが、曝気初期には強い臭気が発生する。臭気の低減を目的とした短期間の曝気処理（3～5日）では、元のふん尿あるいは貯留期間由来の腐敗系の臭気は低減し、アンモニアを主体とする臭気が残る。

より長時間の曝気によって液状コンポスト化を行う場合は、固体分の堆肥化と同様に、有機物の活発な分解によってスラリーの温度が上昇し、アンモニアの高濃度発生が起こる。曝気処理終了時の液状コンポストは僅かにタール臭を示す程度のものとなるが、アンモニア臭が残るものもある。また、曝気後のスラリーを改めて長期貯留すると、嫌気的条件となることから再度臭気の発生が起こる可能性がある。

## （3）スラリー処理における悪臭対策

スラリーの大量貯留からは、嫌気条件下での有機物の分解から、硫化水素やメチルメルカプタンが強く感じられる腐敗系の臭気が発生する。この臭気の拡散を防ぐためには、貯留槽の上部へのカバーの設置や、スラリーの表層にフロート型の蓋を浮かべて表面を被覆すること等が有効である。

曝気処理においては、スラリーの性状を考慮して曝気量と曝気時間を適正に調節することが基本管理であり、ふん尿臭あるいは嫌気的条件由来の臭気の早期低減にもつながる。固体分含量が7～8%のスラリーに対し、1 m<sup>3</sup>あたり2～4 m<sup>3</sup>/時の曝気を1週間行えば、臭気は消失し、その後1ヶ月以上貯留しても臭気を発生しないとされている<sup>3, 5)</sup>。また、曝気を終了したスラリーを曝気槽に若干残しておき、そこに新たなスラリーを添加して曝気を開始すると、堆肥化での戻し堆肥と同様に、ふん尿臭や嫌気的条件由来の臭気の低減に有効であり、処理初期の悪臭対策となる。

長時間の曝気を行って液状コンポスト化を図る場合は、アンモニアを主体とする高濃度の臭気が発生するため、固体分の堆肥化と同様に排気を回収して脱臭処理を行うことが望ましい。閉鎖構造の曝気槽では、脱臭装置を併設して排気を回収、処理している事例がある（図5-4）。地上式の曝気槽では液面を外気に開放しているものが多く、発生した臭気は大気中に拡散希釈されるため、嗅覚に感知される臭気の濃度は低いが、臭気の放出自体を抑えることは困難である。

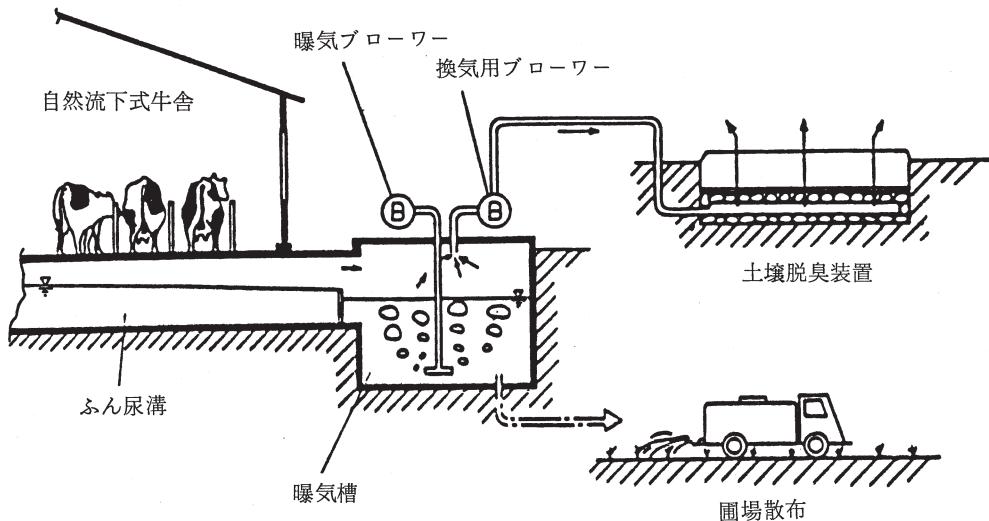


図5-4 自然流下式ふん尿の臭気対策

## 参考文献

- 1) 道宗直昭：液状コンポスト処理. 押田敏雄, 柿市徳英, 羽賀清典共編：新編畜産環境保全論. pp. 224-226, 養賢堂, 東京 (2012)
- 2) 佐藤純一：液状コンポストの原理と方法. 農文協編：畜産環境大対策事典（第2版）. pp. 65-71, 農山漁村文化協会, 東京 (2004)
- 3) 加茂幹男：液状コンポストシステム. 農文協編：畜産環境対策大事典（第2版）. pp. 271-274, 農山漁村文化協会, 東京 (2004)
- 4) 田中孝一：スラリーの調製技術と圃場還元技術. 西尾道徳監修：環境保全と新しい畜産. pp. 117-136, 農林水産技術情報協会, 東京 (1997)
- 5) 藤田秀保, 志賀一一：スラリー方式. 環境保全を考えた乳牛のふん尿処理と利用. pp. 89, 酪農総合研究所, 札幌 (1997)

## 3) 乾燥処理

### (1) 乾燥処理の概要

乾燥処理は、加熱と送風によって家畜ふん尿の水分の蒸発低減を図り、乾燥ふんを調製する処理であり、特に鶏ふんの処理として最も一般的なものである。元々の家畜ふん尿は高水分（含水率70～90%）であり、重量が大きく粘性が高く強い悪臭を発生するため、極めて取扱いにくいものであるが、乾燥することにより軽量化され、顆粒状または粉状となって臭気も低減され、取り扱い易いものになる。調製された乾燥ふんは作物肥料として利用される。

### (2) 乾燥処理装置・施設の種類と特徴

乾燥処理の方式としては、火力乾燥およびハウス乾燥（天日乾燥）が主に用いられている。両者の特徴を表5-2に示した。

表5-2 乾燥処理の特徴<sup>1)</sup>

処理方式	利点	問題点	適用地域
火力乾燥処理	大量、省力処理が可能である。 敷地面積が少なくて済む。 天候の影響が少ない。 年間の処理量および品質が安定している。	処理経費が高くなる。 臭気の発生が多く脱臭の必要があるので、必ず燃焼脱臭装置付きの乾燥機を使用する。	全国 主として大規模養鶏団地
ハウス 乾燥処理	太陽熱を利用して処理経費が少なくて済む。 構造が簡単であるので故障等が少ない。	乾燥能力が季節によって制約される。 天候の影響が大きい。 広い面積を必要とする。 脱臭の必要がある場合に臭気の捕集が難しい。	温暖地域

## i) 火力乾燥機

火力乾燥機は、重油、オイルコークス等で空気を数百度に加熱し、この高温の空気を材料に触れさせて加温するとともに、水分を材料中から蒸発・除去する乾燥機で、短時間に材料中の水分を低下させることができるが、現在ではあまり一般的ではない。

## ii) ハウス乾燥施設

プラスチックハウス内でコンクリート製の乾燥床に家畜ふんを10～15 cmの厚さに拡げて堆積し、太陽エネルギーとハウス内を通過する風によって、1～2週間程度の間乾燥を図る施設である。ふんからの蒸発水分とともに、臭気も発生してハウス外へ排気されるために、悪臭発生源として問題となる場合がある。この方式は広い敷地面積を必要とするが、家畜全般のふんの乾燥方式として関東以南の温暖地域で広く用いられている。表5-3に各種ハウス乾燥施設の処理能力を示す。

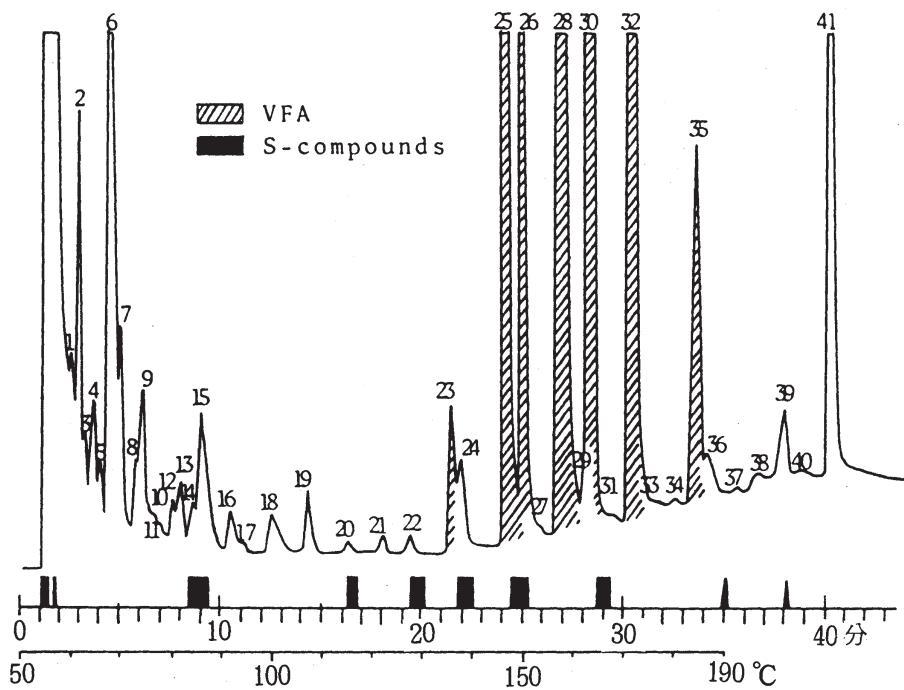
表5-3 ハウスの型式・送風装置などによる乾燥能力（冬季）について

	脱臭装置 の付設	材料堆積高さ (cm)	ハウス内の送付 装置の有無	冬季の乾燥能力 (kg/m <sup>2</sup> /日)	備考
ハウス裾開放型 (自然換気型)	不可	10	無	1.5	畜種によっては悪臭と羽毛・粉塵の飛散が問題となる（豚・鶏）。
	不可	10	有	2.0	同上。送風装置の運転経費が掛かる。
	不可	30	無	2.0	畜種によっては臭気がさらに大きな問題となる（豚・鶏）。
ハウス密閉型 (強制換気型)	可	10	無	1.2	強制換気装置の運転経費が掛かる。土壤脱臭装置の場合、ハウス床面積規模と同じ程度の面積規模が必要となる。
	可	10	有	1.5	

## (3) 乾燥処理からの臭気の発生

鶏・豚ふん等を火力乾燥機で乾燥する場合には、ふんが高温の空気にさらされるために極めて高濃度の臭気が発生し、特に鶏ふんでは発生臭気の濃度が高くなると言われている<sup>2)</sup>。

室内基礎実験で豚ふんを200°Cに加熱すると約40種類の悪臭物質が発生することが確認されている（図5-5）<sup>3)</sup>。100°C以下では低級脂肪酸類やフェノール類が大部分を占めているが、温度上昇とともに他の加熱生成物が増加する現象も認められており（図5-6）<sup>3)</sup>、悪臭対策としては極力低い温度で乾燥を図ることが望ましいとされている<sup>2)</sup>。



(peak)	(substance)	(peak)	(substance)
2.	Isobutanal	21.	Diethylbenzene
	Methyl acetate		Trimethylbenzene
4.	n-Butanal	23.	Acetic acid
	2-Methylfuran	24.	Furfural
6.	3-Methylbutanal	25.	Propionic acid
7.	Benzene		Benzaldehyde
9.	n-Pentanal	26.	Isobutyric acid
12.	Toluene	28.	Butyric acid
14.	Dimethyl disulfide	29.	Furfuryl alcohol
16.	Ethylbenzene	30.	Isovaleric acid
17.	Xylene		2-Methylbutanoic acid
18.	3-Methyl-1-butanol		Acetophenone
	Xylene	32.	Pentanoic acid
19.	1-Pentanol	35.	Hexanoic acid
	Trimethylbenzene	36.	Guaiacol
20.	Trimethylbenzene	39.	Phenol
		41.	p-Cresol

図5-5 豚ふん加熱流出物のガスクロマトグラフ

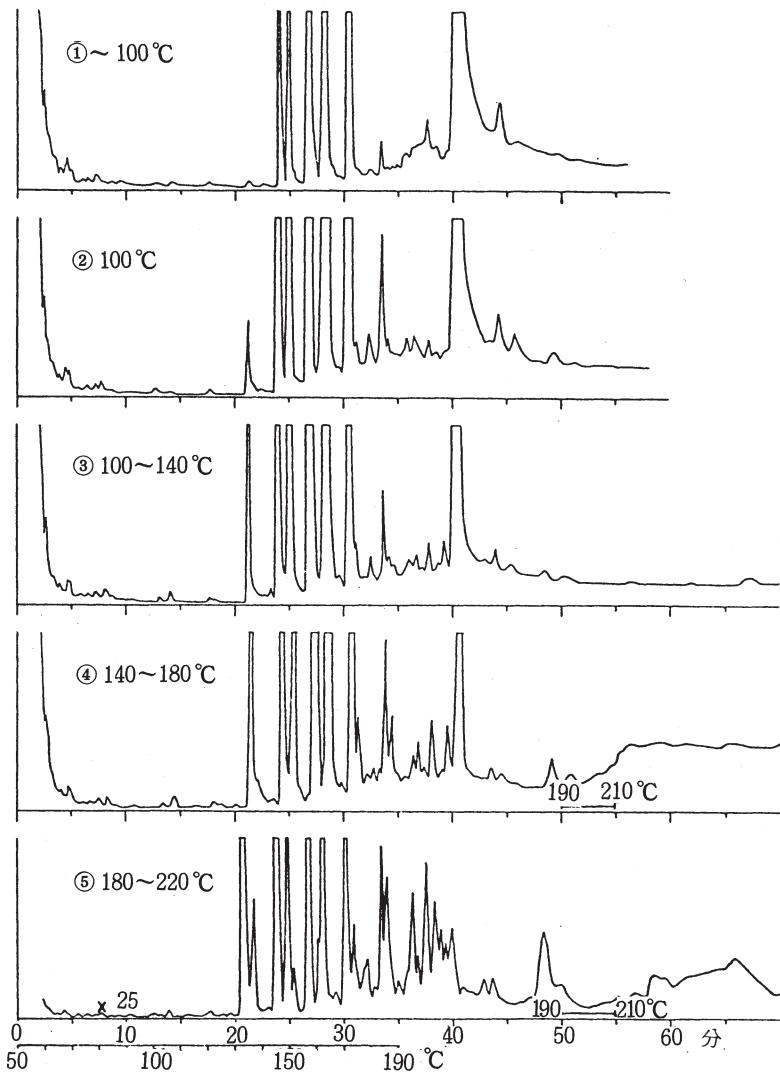


図5-6 豚ふんの加熱に伴う臭気プロファイルの変化

一方、ハウス乾燥方式は、前記の意味では望ましい方法と言えるが、ハウス内の材料を強制攪拌・搬送する際は、かなり強い臭気が発生する場合がある。鶏ふんのハウス乾燥では、攪拌時の攪拌機本体付近の発生臭気の臭気濃度5,630、アンモニア濃度43 ppm、硫化水素濃度100 ppm、牛ふんの場合では同様に臭気濃度1,000、アンモニア濃度15 ppm、硫化水素濃度5 ppm程度である<sup>4)</sup>(表5-4、表5-5)。また、乾燥ハウスの完全密閉化し、ハウス内を毎時8~10回程強制換気して材料の乾燥を図った場合、排気中のアンモニア濃度は、鶏・豚ふんの場合は100~200 ppm、牛ふんでは50~100 ppm程度であったと報告されている<sup>5, 6)</sup>。

表5-4 乾燥ハウスによる牛ふん乾燥過程での脱臭剤およびスポット脱臭の効果

処理および調査場所	官能調査			臭気成分 (ppm)			備考
	臭気濃度	臭気強度	快・不快度	アンモニア	硫化水素	メチルメルカプタン	
静置時	40	0.3	0.3	3	ND	ND	
攪拌時・後部(対照)	1000	1.3	-0.6	15	5	ND	ふん臭
スポット脱臭・後部	320	1.0	-0.5	18	11	ND	ふん臭
シート内	560	0.0	-0.6	22	7	ND	ふん臭
B剤散布							
1回目攪拌・後部	490	1.0	-0.4	13	11	ND	こげ臭
3回目攪拌・後部	430	1.1	-0.6	20	7	ND	こげ臭
B剤散布 + スポット脱臭							
後部	200	1.0	-0.4	7	3	ND	こげ臭
シート内	320	1.3	-1.1	28	8	ND	こげ臭

測定日：昭和62年10月6日、測定条件：ふん含水率81%、外気温23.1°C、風速0.3~0.5 m/s

測定位置：乾燥床（幅6 m、長さ70 m、深さ15 cm）の投入口から20 mの間、乾燥床の中央、攪拌機後方30 cm、乾燥物上10 cm

B剤散布量：ふん重量の0.2%、臭気強度：快・不快度は原臭を300倍に希釈して測定。

表5-5 乾燥ハウスによる鶏ふん乾燥過程での脱臭剤およびスポット脱臭の効果

処理および調査場所	官能調査			臭気成分 (ppm)			備考
	臭気濃度	臭気強度	快・不快度	アンモニア	硫化水素	メチルメルカプタン	
静置時	20	0.7	-0.1	28	ND	ND	
攪拌時・後部(対照)	5630	2.6	-1.6	43	100	ND	ふん臭
スポット脱臭・後部	360	1.1	-0.2	40	12	ND	ふん臭
シート内	2760	2.7	-1.7	73	79	ND	ふん臭
B剤散布							
1回目攪拌・後部	870	1.8	-1.0	24	14	ND	ふん臭
3回目攪拌・後部	780	1.8	-1.0	20	56	ND	ふん臭
B剤散布 + スポット脱臭							
後部	100	1.0	-0.4	20	13	ND	ふん臭
シート内	2640	1.8	-1.1	65	109	ND	ふん臭

測定日：昭和62年9月17日、測定条件：ふん含水率59%、外気温33.5°C、風速0.2~0.7 m/s

測定位置：乾燥床（幅5 m、長さ50 m、深さ15 cm）の投入口から20 mの間、乾燥床の中央、攪拌機後方30 cm、乾燥物上10 cm

B剤散布量：ふん重量の0.2%、臭気強度：快・不快度は原臭を300倍に希釈して測定。

畜舎内のふん尿分離が不十分であり、多量の尿汚水の混入した材料を乾燥させる場合では、排気中の悪臭物質が前記の発生濃度以上になるとともに、材料が嫌気的条件になり易く、かなりの臭気が発生する。

#### (4) 乾燥処理における悪臭対策

火力乾燥における悪臭対策としては、従来は①水洗法、②燃焼脱臭法（高温燃焼法、低温燃焼法〔触媒利用〕）、③薬液処理脱臭法、④土壤脱臭法などが用いられたが、最近は②の高温燃焼法、すなわち悪臭物質を650~800°Cの温度で酸化して脱臭する方式が乾燥機本体に組み込まれており、乾燥用の化石燃料燃焼部に悪臭物質と水蒸気を含んだ排ガスを戻し、そこで高温に数秒間保持して脱臭している例が多い。

ハウス乾燥施設では、攪拌時の強い発生臭気を捕集して脱臭する方式と、ハウスを密閉化してハウスの一端からハウス内の臭気と水蒸気を含んだ空気を吸引回収して脱臭する方式（図5-7）との二通りの方式が試みられている。前者は、攪拌機の静置時に発生する臭気には対応できない。

一方後者は、臭気発生源を密閉化しているために、ほぼ完全に発生臭気の捕集が可能となるが、脱臭装置規模が大きくなる問題点がある。脱臭装置としては土壤脱臭装置を用いた例がある。

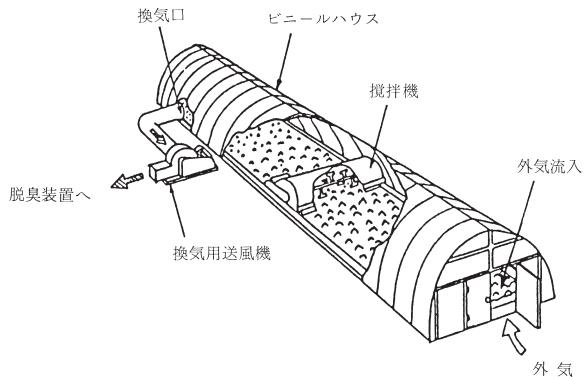
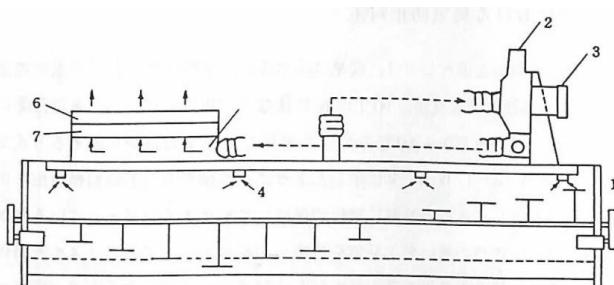


図5-7 ハウス乾燥装置での密閉化と換気法の例

攪拌時の発生臭気の捕集と脱臭の例として、図5-8にスポット脱臭法の概要を示した。市販の攪拌機本体をシートなどで密閉化を図り、攪拌機本体内部の最上部に付設した吸入口から臭気ガスを吸引し、本体上部に設けた脱臭材（腐植物質）を充填した脱臭槽に送り込んで脱臭する方式である。この装置での牛ふん、鶏ふんを用いた試験結果を表5-4、表5-5に示したが、腐植物質によるスポット脱臭と家畜ふんにB剤（腐植物質）を散布した方式との両者を併用すると脱臭効果は高まるとの結果が得られている<sup>3)</sup>。脱臭槽に充填したペレット状腐植物質は50 kg程度で、窒素の吸着量はその乾物量の4%程度とみられる。なお、豚ふん等のハウス乾燥施設（6 m幅×70 m長さ位）で、発生アンモニア濃度を100 ppm程度とすると4~6か月程度で窒素の吸着は飽和状態となり、新たな脱臭材の交換時期となる。



- 1. 搅拌機（全体をシートで覆って、攪拌部分をほぼ密閉状態とする。）
  - \* 2. プロワー  
風量 20 m<sup>3</sup> / 分  
静圧 210 mm Aq
  - 3. モーター（200 V, 0.75 kW）
  - 4. 吸込口
  - 5. 脱臭槽
  - 6. 脱臭用腐植ペレット（NH<sub>3</sub>用）
  - 7. 脱臭用腐植ペレット（H<sub>2</sub>S用）
- \* プロワーの必要風量は、攪拌機が1分間に進む密閉部分の容積と同量以上の風量を要する。

図5-8 スポット脱臭装置の概要

密閉型ハウスで通常の開放型ハウスと同程度の乾燥能力を維持するためには、内容積の空気を毎時8~10回程度換気する必要があるが、換気量が過大となり脱臭装置の規模も大きくなる。この問題への対応として、ハウス内にさらに簡易なハウスを設け、この内部ハウスを換気することで乾燥能力の維持を図った方式の例が土壤脱臭付二重構造ハウスであり、その乾燥能力の例を図

5-9に示した<sup>6)</sup>。なお、土壤脱臭装置の規模は、乾燥ハウスの敷地面積とほぼ同程度が必要である。なお、材料からの臭気を大量に発生させないためには、尿汚水を混入させないことが肝要であり、極力畜舎内等でふん尿分離や予備乾燥等を行った後、処理施設へ投入することが望まれる。

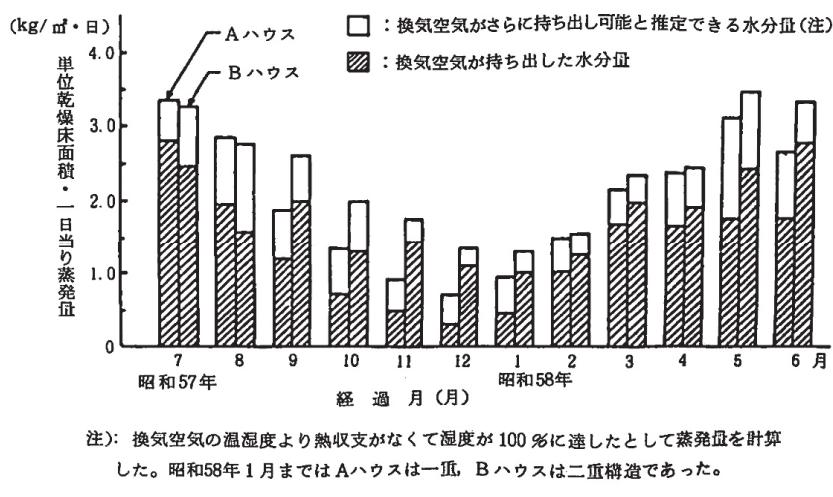


図5-9 ハウス内乾燥床の単位面積・1日当たりの蒸発量の経過

## 参考文献

- 全農施設・資材部：家畜のふん尿処理利用施設・機械の構造. pp. 174 (1985)
- 代永道裕, 田中博: 家畜排泄物の臭気とその防除に関する研究. 農林水産省畜産試験場年報 19, 139 (1979)
- 代永道裕, 八木満寿雄, 田中 博: 別枠研究「環境保全」試験成績書 (6) pp. 549-551, 農林水産技術会議事務局 (1979)
- 愛知県総合農業試験場生物資源部: 畜産の悪臭対策試験. 昭和62~63年度試験成績書 5-8 (1989)
- 福森功, 道宗直昭: 土壤脱臭法の研究と応用. 農業機械化研究所研究成積58-1. 64-87 (1984)
- 福森功, 道宗直昭: 家畜糞の乾燥システムの開発. 農林水産省大型別枠研究グリーンエナジー計画 昭和61年度委託事業報告書 pp. 20-42, 生物系特定産業技術研究推進機構 (1987)

## 4) 污水浄化処理

### (1) 污水浄化処理の概要

#### i) 污水浄化処理技術の種類

污水の浄化のための処理技術は、その基本原理によって物理的処理、化学的処理、生物学的処理の三つに区別される(図5-10)。実際の処理施設においてこれらの処理技術を単独で用いることはほとんどなく、いくつかを組み合わせて污水を浄化する。例えば図5-11は活性汚泥法を中心とした污水処理システムであるが、ここにはスクリーン(物理的処理)、濾過(物理的処理)、活性汚泥法(生物学的処理)、沈降分離(物理的処理)、消毒(化学的処理)の少なくとも五つの処理技術が組み合わされている。



図5-10 家畜尿汚水の浄化に使われている主な方法

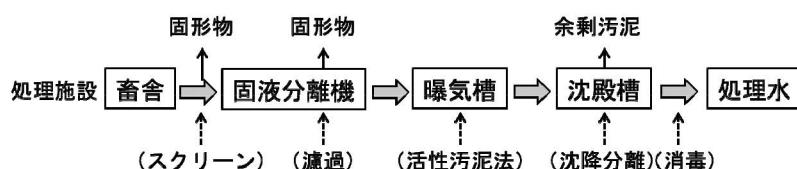


図5-11 汚水浄化処理施設と処理方法の関係

これらの処理技術のなかで、臭気の除去にもっとも関与しているのは生物学的処理技術である。すなわち、物理的処理は汚水中の固体物やSS（浮遊物質または懸濁物質）を除去するために利用され、化学的処理はSSの凝集や消毒に利用されるのに対し、生物学的処理は微生物の力によって汚水中の汚濁物質（臭気物質も含む）を分解するために利用される。

### ii) 活性汚泥法

生物学的処理には、図5-10に示したように、活性汚泥法、生物膜法、酸化池法などがある。最も一般的で効率の高い処理方法は活性汚泥法であり、汚水を浄化する「活性（能力）」を持った「汚泥（微生物のかたまり）」を使う方法である。生物膜法は活性汚泥微生物を濾材や円板の表面に膜状に固着させ、これに汚水を接触させて浄化処理をする方法である。酸化池法は広い池状の曝気槽で活性汚泥微生物や藻類などを保持し、そこに汚水を投入して浄化処理をする方法である。活性汚泥処理の物質取扱を図示すると図5-12のようになる。曝気槽では、汚水中の汚濁物質は活性汚泥によって分解されて二酸化炭素になったり、新しい活性汚泥に変換されたりして、汚水の中から除去される。その後、沈殿槽で活性汚泥を沈降分離して清浄な処理水が得られる。活性汚泥法は、汚水の流入方式の違いによって回分式と連続式に、また運転操作条件によって標準法、長時間曝気法、酸化溝法（オキシデーションディッヂ）などに分かれる<sup>1)</sup>。

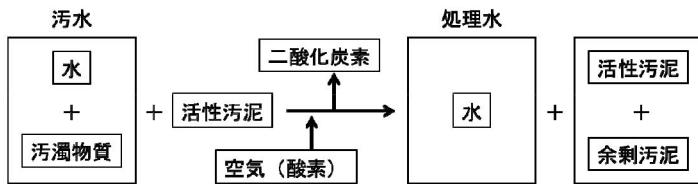


図5-12 活性汚泥法による汚水浄化の物質収支

## (2) 汚水浄化処理における悪臭物質の除去

曝気槽の中では、活性汚泥によって汚濁物質が除去されるにともない、悪臭物質も分解されて、汚水の臭気は除去される。ここでは、代表的な悪臭物質の活性汚泥による除去能力について述べる。

### i) 硫黄化合物

硫化水素と硫化メチルの活性汚泥による除去実験では、各々の成分のMLSS負荷（活性汚泥に対する負荷）を硫化水素15 g/kg MLSS/日以下、硫化メチル9 g/kg MLSS/日以下にすれば99%以上の除去率が得られている<sup>2)</sup>。これをMLSS 5,000 mg/L、10 m<sup>3</sup>の曝気槽で換算すると、硫化水素は750 g/日、硫化メチルは450 g/日の負荷量になる。なお、このような高い除去効率を得るために活性汚泥に活性汚泥を馴化（馴れさせること）することが必要であった（図5-13、図5-14）。

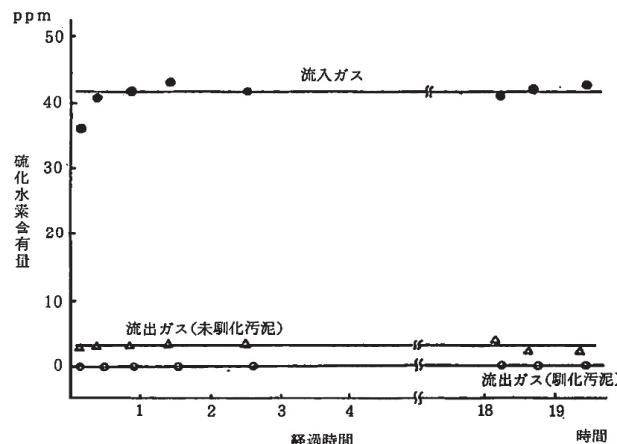


図5-13 活性汚泥の馴化による硫化水素の除去能力の向上

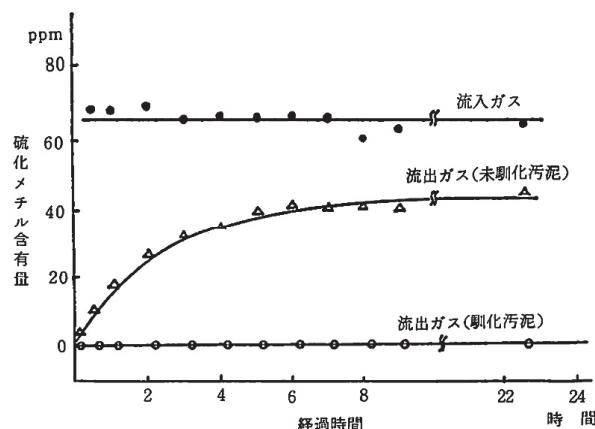


図5-14 活性汚泥の馴化による硫化メチルの除去能力の向上

### ii) 窒素化合物

トリメチルアミンとエチルアミンについても、同様の実験から、トリメチルアミン7 g/kg MLSS/時以下、エチルアミン8 g/kg MLSS・時以下ならばこれらアミン類は完全に除去できた<sup>3)</sup>。これを、MLSS 5,000 mg/L、10 m<sup>3</sup>の曝気槽で換算すると、トリメチルアミン8,500 g/日、エチルアミン9,600 g/日になる。しかし、アミン類は生物学的分解によってアンモニアの形で曝気槽中に残留し、pHの上昇の原因となる。曝気槽に十分な酸素を供給し好気的条件に保つと、アンモニアは硝化されて無臭の硝酸イオンとなり、pH上昇も抑えられる。しかし、アンモニアの濃度が高く、pHが上昇しすぎると(pH8.5以上)、逆にアンモニアが発生し、硝化が進行しなくなり、活性汚泥の働きも悪くなるので注意しなければならない。特に家畜尿汚水は窒素濃度が高く<sup>1)</sup>、そのために浄化処理に支障をきたす場合がある。したがって、アンモニアやアミン類などの窒素化合物の除去(家畜ふん尿処理時に発生する高濃度の臭気など)に際しては、過負荷にならないように注意しなければならない。

### iii) 低級脂肪酸(揮発性脂肪酸、VFA)

VFAは畜産排水のBOD成分の主要部分を成している。汚水の浄化によってBODの90%以上は除去されるので、VFAもほとんど除去される。図5-15は、豚舎汚水の活性汚泥処理施設における流入汚水と処理水のVFA含有量を比較したものである<sup>4)</sup>。流入汚水に数百～数千mg/L存在するVFAが処理によって除去され、処理水では1 mg/L以下に減少していることがわかる。

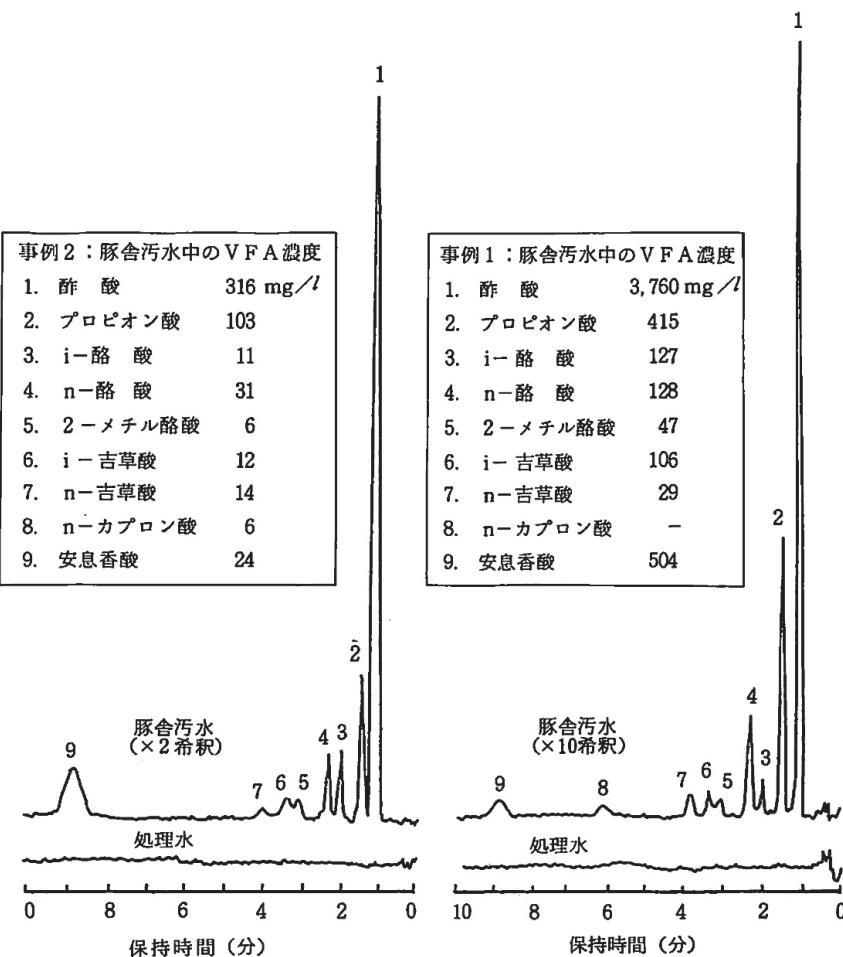


図5-15 活性汚泥処理による豚舎汚水中のVFAの除去

### (3) 汚水処理施設における悪臭対策

以上、代表的な方法として活性汚泥法による臭気除去効果について述べたが、ほかの生物学的処理もほぼ同様な効果があるものと思われ、処理機能が十分に発揮されていれば、各種の悪臭物質を除去できる。また、活性汚泥の臭気除去能力を応用した脱臭装置も用いられている。

汚水処理施設には曝気槽以外に多くの施設があり、そこから発生する臭気にも注意が必要である。汚水貯留槽は嫌気的条件になりやすく、硫化水素などを主体とする腐敗系の臭気が発生することがあるので、これを防ぐためには曝気が必要である。固液分離装置では、稼働中に臭気が発生する他、分離固体物を水分の多いまま放置すると嫌気的条件となり、臭気の発生や、ハエなどの害虫の発生が起こるので、速やかな堆肥化などの処置が必要である。また、装置運転後の清掃を怠ると、臭気だけでなく、目詰まりや各種トラブルの原因となる。曝気槽も過負荷や曝気不足になると発泡や臭気の発生が起こる。沈殿槽では、底部の汚泥の腐敗やスカム発生に伴って臭気が発生する。

このように処理の各段階からの臭気発生に注意し、整備や清掃等につとめるとともに、発生した臭気はダクトなどで集めて、曝気槽や余剰汚泥の好気性硝化槽などに導いて脱臭処理することも考える必要がある。

### 参考文献

- 1) 中央畜産会：家畜尿汚水の処理利用技術と事例. (1989)
- 2) 福山丈二, 伊藤尚夫, 本多淳裕, 小瀬洋喜：活性汚泥による悪臭除去に関する研究（第1報）イオウ系臭気の活性汚泥による除去. 大気汚染学会誌 14(10), 422-429 (1979)
- 3) 福山丈二, 本多淳裕, 小瀬洋喜：活性汚泥による悪臭除去に関する研究（第2報）アミン系臭気の活性汚泥による除去. 大気汚染学会誌 15(2), 56-63 (1979)
- 4) 羽賀清典, 長田隆, 原田靖生：水蒸気キャリヤーガスクロマトグラフによる家畜ふん尿中の揮発性脂肪酸の分析. 日本畜産学会第77回大会講演要旨集 VI-41 (1985)

### 5) メタン発酵

#### (1) メタン発酵の概要

メタン発酵は、家畜ふん尿スラリーを嫌気的条件に保持し、嫌気条件下での微生物のはたらきにより有機物を分解し、燃料として利用しうるメタンを生産する方法である。メタン生成終了後に残留するメタン発酵消化液は、作物肥料として利用できる。

##### i) 原理

図5-16にメタン発酵の原理の概要を示す<sup>1)</sup>。メタン発酵は酸発酵（液化）とメタン発酵（ガス化）の2段階の発酵で成立っている。第1段階の酸発酵（液化）では、家畜ふん尿中の複雑な高分子化合物が可溶性の低分子化合物に分解され、さらに低級脂肪酸（VFA）などに分解される。この分解には多種類の嫌気性細菌が関与している。第2段階では、第1段階で生成したVFA、炭酸塩、水素などが、メタン細菌（嫌気性細菌の一つ）の作用によってメタンガスに変換される。

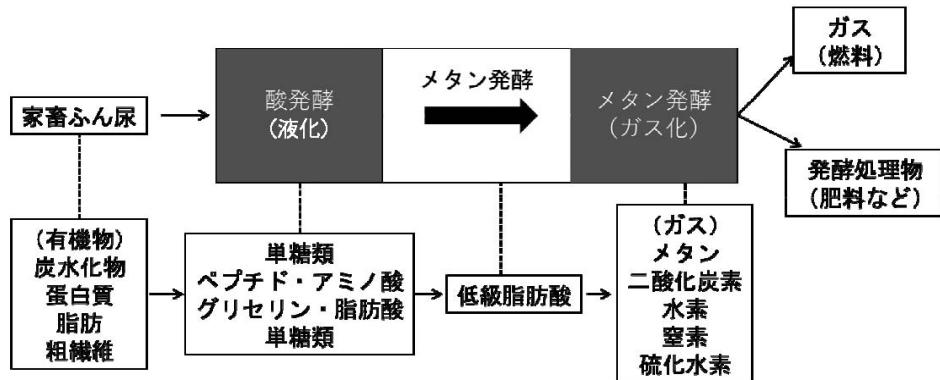


図5-16 家畜ふん尿のメタン発酵

### ii) 発酵条件

メタン発酵の主役を演ずるメタン細菌は、かなり限定された条件でのみ能力を発揮する細菌である<sup>2)</sup>。したがって、メタン発酵を順調に進行させるためには、次に示すような環境条件を整えることが必要である。すなわち、嫌気的条件、発酵温度（中温発酵25～40℃、高温発酵50～55℃）、種菌の馴化・集積培養、投入物の濃度および量（有機物負荷で3kg/m<sup>3</sup>/日前後）、滞留日数（10～30日）などをあげることができる<sup>3)</sup>。

### iii) メタンガスの性質

以上のような条件が整った発酵槽からは、表5-6に示したような量のメタンガスが発生する。メタンガスは可燃性の純メタンを約60%含み、残り40%は二酸化炭素であり、そのほか硫化水素等を含んでいる。メタンガスの発熱量は約5,500 kcal/m<sup>3</sup>であり、都市ガス6A規格相当の代替燃料となることに加え、エンジンや発電など広い分野のエネルギー源として利用できる。メタンガスの発生や利用には古い歴史があり<sup>3)</sup>、多くの研究実績があるとともに<sup>5)</sup>、最近では新しい形での研究の発展もみられる<sup>6)</sup>。

表5-6 家畜ふん尿からのメタンガス発生量計算例

畜種	(kg/頭羽/日)			メタンガス発生量		必要とされる発酵槽容積* (m <sup>3</sup> /頭羽)
	ふん排泄量	固形物量	有機物量	L/kg投入有機物	L/頭羽/日	
牛	30	4.5	3.6	200～350	720～1260	1.8
豚	2.5	0.625	0.5	300～500	150～250	0.15
鶏	0.12	0.03	0.0225	300～600	6.75～13.5	0.0072

\* 1例として、ふん尿汚水または水などで3倍に希釈し、20日間の滞留日数で算出した。実際にはガス貯留空間の分だけこの容積よりも大きくなる。

## (2) メタン発酵過程における悪臭物質の除去

メタン発酵からは、メタンガスと発酵消化液という二つの生産物が得られる。ここでは各々の生産物に含まれる悪臭物質およびその除去について述べる。

### i) メタンガス中の悪臭物質

メタン発酵から生成したメタンガスは、不純物として数十～数千ppmの硫化水素を含んでおり、利用に際しては脱硫処理が必要である。脱硫には鉄剤など固体の脱硫剤を充填した装置が用いられる。発酵が順調なときには、その他の悪臭物質はほとんど検出されないが、発酵が不調なとき

にはメチルメルカプタンなどが多くなり、臭気が強くなる。図5-17に豚ふんのメタン発酵の種培養の経過を示したが、培養の前期（～50日目）の発酵が不十分な時期は、メチルメルカプタン、硫化メチル、硫化水素などの濃度が高く臭気が強い。60日が過ぎて発酵が順調になり、メタンガスの発生量が多くなってくると、これらの悪臭物質は減少することがわかる。

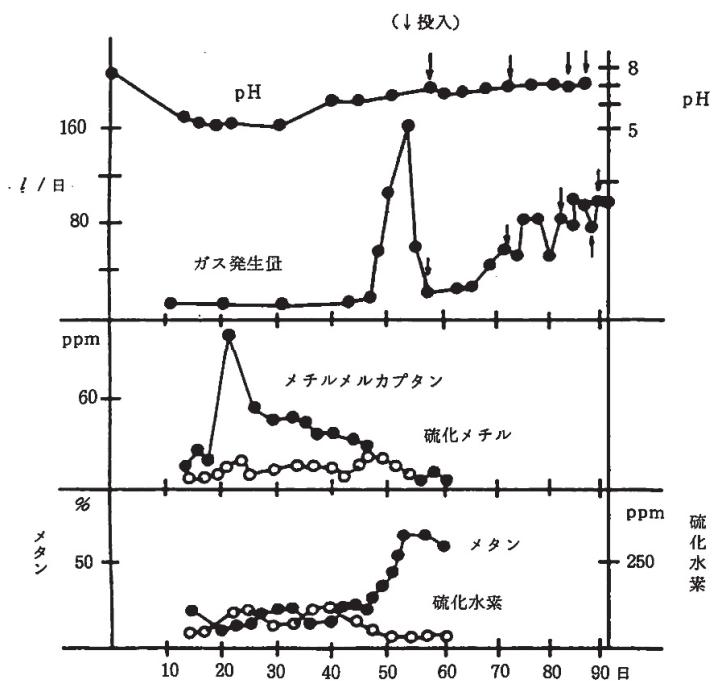


図5-17 メタン発酵の種培養の経過

### ii) 発酵消化液中の悪臭物質

図5-18に豚ふんのメタン発酵消化液の中・酸性成分のガスクロマトグラムを示す<sup>8)</sup>。投入液に比べ消化液の各種成分が著しく減少していることがわかる。例えば、VFA、p-クレゾール、インドール、高級アルデヒド類のテトラデカナール、ペントадеканール、ヘキサデカナール、オクタデカナールなどの除去が顕著である。

表5-7に揮発性成分の投入液と消化液の比較を示す。悪臭物質はスカトール、アンモニア、硫化水素を除いた全ての物質が減少している。スカトールに関しては、滞留時間を長くとり、負荷を低くすると、更に分解が進むことがわかっている。一方、アンモニアの増加は、有機窒素化合物の分解の進行を示す証拠である。アンモニアは消化液中に重炭酸塩等の形で溶解しているため、臭気としてはほとんど感じられない。

表5-8には投入液と消化液のVFA含有量の比較を示す。VFAはメタン発酵によって顕著に減少し、消化液中には酢酸以外のVFAはほとんど検出されなくなつた。また、図5-19は牛ふん尿のメタン発酵によるVFAの変化を示したものである。豚の場合と同様に消化液中には酢酸以外のVFAはほとんど検出されなくなっている。これは原理の項でも述べたように、メタン細菌がVFAを盛んにメタンガスに変換している証拠である。このように発酵が順調なときにはVFAの分解が顕著であるが、発酵が不調になるとプロピオン酸などのVFAが多量に蓄積し<sup>5)</sup>、臭気を発生させるので注意が必要である。

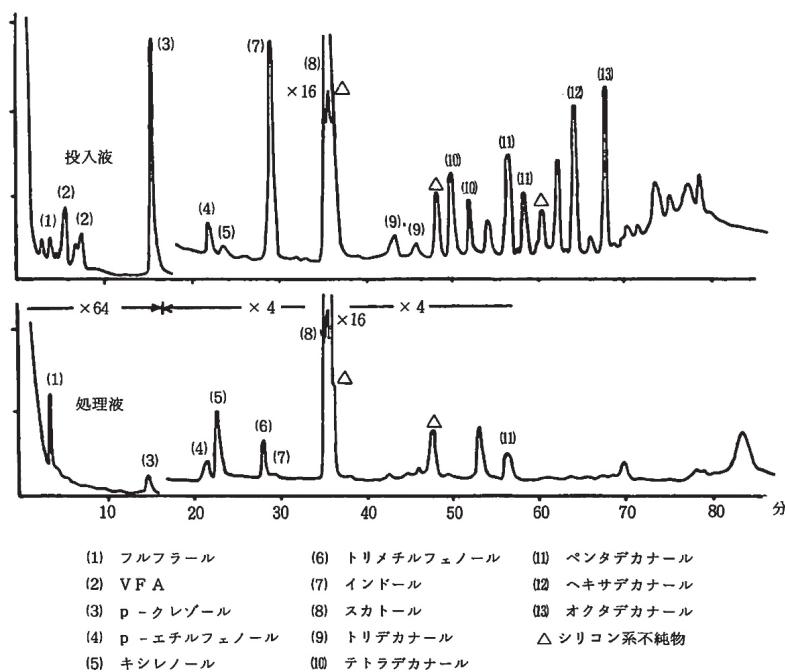


図5-18 豚ふんメタン発酵の投入液と消化液の中性および酸性成分

表5-7 メタン発酵による豚ふん尿中揮発成分の変化 (400 mL中)

成分	単位	pHかえず蒸留		pHかえて蒸留	
		投入液	消化液	投入液	消化液
インドール	μg	600	11	520	1
スカトール	μg	900	1400	1000	980
p-クレゾール	mg	3.5	0.3	4.2	0.3
アンモニア	mg	20	150	61	170
トリメチルアミン	μg	16	痕跡	290	99
硫化水素	μg	70	40		
メチルメルカプタン	μg	27	4		
硫化メチル	μg	6	痕跡		
二硫化メチル	μg	2	不検出		

表5-8 メタン発酵による豚ふん尿中のVFAの変化 (400 mL中mg)

成分	pHかえず蒸留		酸性下で蒸留	
	投入液	消化液	投入液	消化液
酢酸	4.1	痕跡	96	38
プロピオン酸	5.4	不検出	68	1.5
i-酪酸	1.3	不検出	14	0.1
n-酪酸	5.1	不検出	52	0.3
i-吉草酸	1.2	不検出	15	0.1
2-メチル酪酸	1.7	不検出	13	
n-吉草酸	1.6	不検出	16	痕跡
n-カプロン酸	不検出	不検出	0.9	不検出

### (3) メタン発酵の悪臭対策効果

メタン発酵には嫌気的条件が必須であり、スラリー状のふん尿を空気の入らない密閉発酵槽の中で処理するため、臭気の放出はほとんどない。発生したメタンガスは高濃度の硫化水素を含むが、脱硫処理した上で使用するので、臭気はほとんど感じられない。発酵消化液も前述のように臭気成分はかなり減少している。表5-9に豚ふんのメタン発酵の投入液と消化液の臭気の比較を示す。臭気強度はいずれも上限の5であるが、臭気濃度は消化液では投入液の1/4～1/5程度に減少しており、臭気の質も不快度の高いふん尿臭から、かなり許容できる特有の嫌気臭に変化している。このように、メタン発酵は悪臭対策としても有効な方法の一つである。

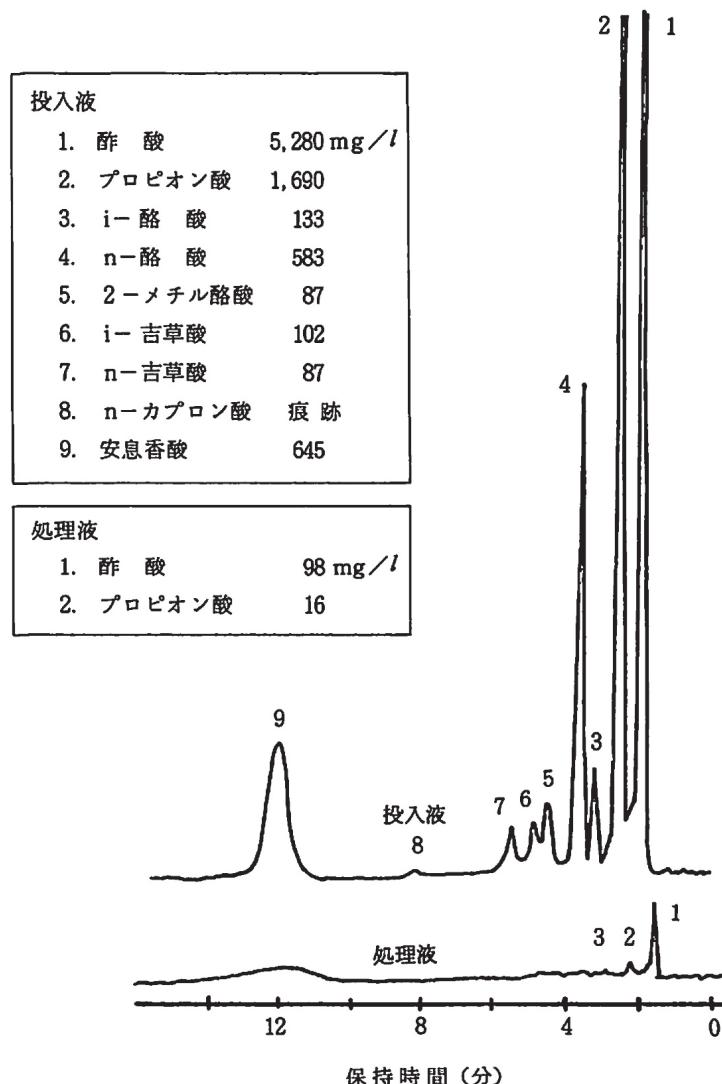


図5-19 牛ふん尿のメタン発酵によるVFAの除去

表5-10に投入液と消化液の成分の比較を示す。発酵消化液は臭気も少なく、肥料成分の損失もないで液肥として利用することが望ましい。ただし、BODなどの汚濁成分は非常に高く、河川等への放流はできないため、肥料利用できない場所では浄化処理等が必要となる。

表5-9 メタン発酵による豚ふん尿の臭気の変化

	投入液	消化液
pH	6.8～7.1	7.2～7.4
臭気濃度	10,000～20,000	2,000～5,000
臭気強度	5	5
不快度	ふん臭、-4	嫌気臭、-2

表5-10 メタン発酵によるふん尿中の成分変化

成分	単位	豚 <sup>10)</sup>		牛 <sup>9)</sup>	
		投入液	消化液	投入液	消化液
pH		6.66	7.54	7.12	7.59
固形物	%	9.33	5.29	10.99	7.36
有機物	%	7.63	3.86	8.12	4.46
固形物/有機物		0.82	0.73	0.74	0.60
BOD	mg/L	25,383	9,854	28,000	2,840
SS	mg/L	—	—	60,200	43,500
全窒素	%	0.33	0.33	0.43	0.44
アンモニウム態窒素	mg/L	404	773	1,700	2,400
リン酸	%	0.47	0.34	0.18	0.12
カリウム	%	0.15	0.13	0.34	0.40

## 参考文献

- 1) 羽賀清典: 家畜ふん尿のエネルギー利用, 特にメタンガス生産利用. 畜産の研究 30(1), 222-226 (1976)
- 2) 羽賀清典, 原田靖生: バイオマス変換技術と未利用資源の有効利用 (2) エネルギー利用の新技術. 日本土壤肥料学雑誌 59(2), 221-225 (1988)
- 3) 農林水産技術情報協会: メタンガス利用の新技術. pp. 1-127 (1980)
- 4) 羽賀清典: 家畜ふん尿の再利用, 畜産公害から利用への転換. 日本獣医師会雑誌 35(7), 377-387 (1982)
- 5) 羽賀清典: 家畜・家禽の排泄物のメタン発酵. 日本畜産学会報 53(4), 235-250 (1982)
- 6) 本多勝男: 家畜ふん尿のメタン発酵施設と運用の実際. 畜産の研究 44(1), 193-203 (1990)
- 7) 羽賀清典: ふん尿のメタンガス生産利用技術. 新しい技術, 農林水産技術会議事務局編第14集, pp. 3-4 (1976)
- 8) 田中博, 代永道裕, 中嶋吉郎: メタン発酵による豚ふんの悪臭防除. 農林水産技術会議事務局編: 別枠研究「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) — 家畜排泄物の処理利用技術の開発, pp. 576-578 (1979)
- 9) 羽賀清典, 本多勝男: 牛ふん尿のメタンガスによる発電利用. 農林水産技術情報協会編: 昭和60年度農林水産業エネルギー対策調査報告書資料II 代替エネルギー活用事例調査, pp. 152-175 (1986)
- 10) 羽賀清典: ふん尿のメタンガス利用. 桧垣繁光監修: 畜産公害対策全書昭和59年度版. pp. 128-148, 鶴卵肉情報センター, 名古屋 (1983)

## 6) 鶏ふんボイラー

### (1) 鶏ふんボイラーの概要

鶏ふんボイラーは、ブロイラー鶏ふんを燃料とする温水ボイラーである。ブロイラー鶏舎では暖房用の温水熱源を必要としており、従来から多量の重油などを使用している。また、鶏ふんは一部は肥料利用されるものの、多くが廃棄物となってしまいその処理に困っている。そこで、図5-20に示すように、鶏ふんボイラーを使用してふんの処理と暖房用のエネルギーを供給することが行われている。

鶏ふんボイラーのフローの一例を図5-21に示す。

鶏ふんの低位発熱量は、ブロイラー3910 kcal/kg、採卵鶏2750 kcal/kgで、堆肥化を行うと1~2割減少しブロイラー堆肥3560 kcal/kg、採卵鶏堆肥2270 kcal/kgとなる<sup>6)</sup>。燃焼時には材料に含まれる水分を蒸発させるための熱が必要となるので、乾燥した材料を燃焼させる方が良い。高水分の材料は、燃焼炉

からの熱を利用してロータリードライヤなどで乾燥させ燃焼させる方式もある。燃焼方式は固定床攪拌レーキ式燃焼炉、ロータリーキルン式燃焼炉などがあるが、ダイオキシン類の発生を抑制するために800°C以上の温度で燃焼させる必要がある。大気汚染防止法でダイオキシン類、NOx、SOx、ばいじん等の規制があるので、規制値を満たす性能の燃焼炉を選定する必要がある。また、産廃物焼却炉扱いになった場合は、廃棄物処理法などの規制や構造を満たさなければならない。燃焼によって材料の保有熱量の約70~75%の熱を熱交換器で回収することができる。熱交換方式には煙管式（加熱空気がパイプ内を通過し周囲の水を温める）と水管式（水がパイプ内を通過するとき周囲の加熱空気で温められる）があるが、粉塵やタールの多い鶏ふんボイラーでは、清掃作業の容易な煙管式が採用されている。燃焼には酸素が必要で、完全燃焼させるための理論空気量の1倍以上の空気を材料に供給する必要がある。鶏ふんに起因する臭気を燃焼炉に導入することで、脱臭を行うことも可能である。近年、再生可能エネルギーの固定価格買取制度を利用した大型の鶏ふん発電（流動床炉、ストーカ炉）もあるが、バイオマス発電の効率は20%程度であることから、中小規模の施設では熱利用を主体としたシステムや熱電併給システムを組む事が重要である。また、燃焼材料に対してブロイラー鶏ふん25%、採卵鶏ふん12%、ブロイラー堆肥38%、採卵鶏堆肥20%程度の重量の燃焼灰が発生する<sup>6)</sup>。鶏ふん燃焼灰はカルシウムを50%程度含む強アルカリで、リン酸やカリ資材として肥料等に利用することができる。その成分を表5-11<sup>1-5)</sup>に示す。

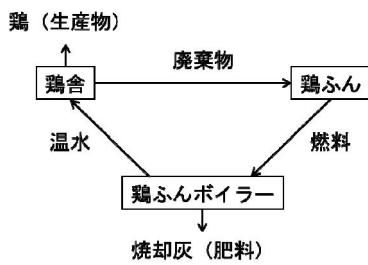


図5-20 鶏ふんボイラーの利用

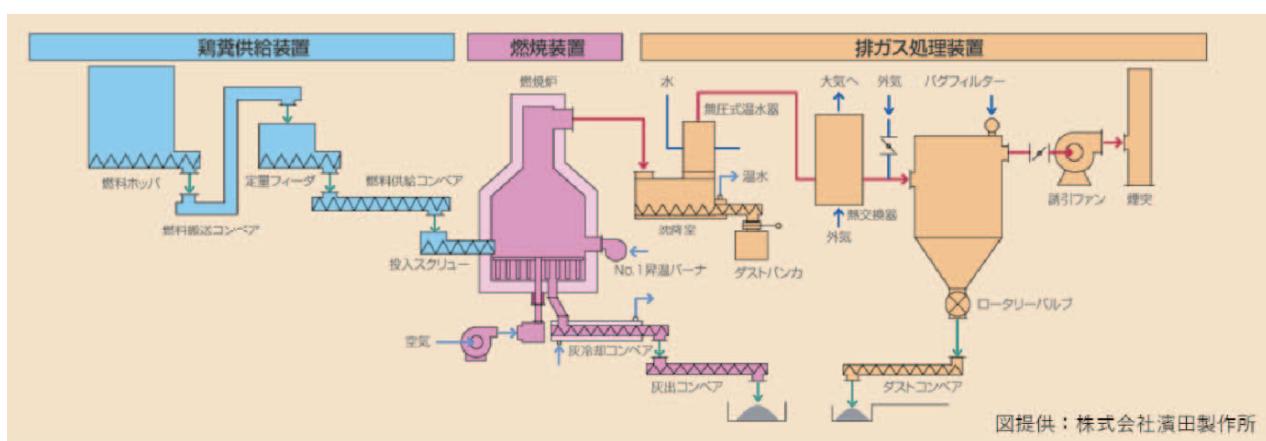


図5-21 鶏糞燃焼熱利用設備フロー図

表5-11 鶏ふんボイラーの焼却灰の肥料成分

成分	分析値(%, pH以外)					
水分	2.49	—	—	3.65	1.29	0.5
pH	11.05	9.84	10.3	11.1	—	—
全窒素	—	—	—	0.2	0.42	0.42
全リン酸	28.5	19.6	30.31	—	28.5	—
ク溶性リン酸	—	10.63	25.18	24.55	22.4	31.7
全カリ	—	—	—	—	12.7	24.8
水溶性カリ	—	4.88	—	5.2	—	10.6
全石灰	—	—	25.62	—	27	—
可用性石灰	23.29	29.59	—	28.26	—	22.4
全苦土	—	—	7.81	—	5.5	—
可用性苦土	—	6.74	—	6.6	—	5.9
※文献番号	1)	2)	3)	4)	5)	5)

注) —は測定値がないもの。

## (2) 鶏ふんボイラー使用時の臭気対策

鶏ふんボイラーでは、鶏ふん燃焼時の悪臭物質の放出が大きな問題である。これに対しては、燃焼温度を高温に保持することで、発生した悪臭物質を分解する燃焼脱臭法が適用されており、炉の温度を最低でも800°C以上に保つように運転されている。さらに効率的に脱臭を行うには、炉の温度を1,000°C近くまで高めれば良いが、その場合は炉に耐火レンガなどを用いる必要がある。

## 参考文献

- 平原実: 鶏糞を熱源とする温水育すう機の開発利用. 養鷄の友 22号, 6-15 (1980)
- 畜産環境整備リース協会: 家畜排せつ物処理利用事例集 第5集. pp. 17-20 (1980)
- 畜産環境整備リース協会: 家畜排せつ物処理利用事例集 第6集. pp. 99-104 (1982)
- 羽賀清典: 鶏ふんボイラーによるブロイラー鶏舎の暖房. 農林水産技術情報協会編: 昭和58年度農林水産業エネルギー対策調査報告書資料Ⅱ 代替エネルギー活用事例調査. pp. 184-213 (1984)
- 岡田光弘: 鶏ふんボイラーの利用. 桧垣繁光監修: 畜産公害対策全書昭和59年度版, pp. 118-125, 鶏卵肉情報センター, 名古屋 (1983)
- 畜産環境整備機構: 家畜排せつ物を中心とした燃焼・炭化施設に関する手引き. pp. 97-98 (2005)

## 第6章 堆肥等施用時の悪臭対策

### 1) 家畜ふん尿の圃場還元

家畜ふん尿の圃場還元の現状は、酪農の場合、ほぼ全量が飼料作圃場に還元されており、肉用牛の繁殖、育成そして少頭数の肥育も自家圃場還元が主体となっている。しかし、肉用牛の大規模肥育では経営内での還元が困難な場合が多く、堆肥として経営外のさまざまな作物圃場に還元されている。一方、飼料生産圃場を持たない養豚においては、ふんは堆肥化処理または乾燥処理して周辺の耕種農家に供給し、尿・汚水は浄化処理を行わざるを得ない。同じく飼料生産圃場がない養鶏においては、経営外の圃場に還元することを前提とした乾燥や堆肥化処理が行われている。

このように、家畜ふん尿は圃場還元が主体であり、全体的には80～90%が圃場に還元されると推定されている。したがって、処理が適正でないふん尿を過剰に施用した場合や、住宅などの生活環境を配慮しない散布作業を行った場合には、臭気や水質汚濁等の環境問題が発生する。

### 2) 家畜ふん尿と運搬施用機械

#### (1) 堆肥・乾燥ふん（固形状家畜ふん）

家畜ふん尿の性状は、畜種、飼養形態、固液分離の程度により、液状から固形状までさまざまである。乳牛の場合、排せつ直後のふんは水分約85%、おが粉等を入れて堆肥発酵させた場合の水分は約60～70%、発酵が進みさらに乾燥すると30～60%の堆肥となる。

おが粉や稻わら等を敷料としたふん尿および鶏ふんは、多くの場合堆肥に調製される。その他、主に鶏ふんを未発酵のまま乾燥し、袋詰めしたものもある。これらの堆肥を中心とした固形状家畜ふん尿の取扱いには、積み込み作業機および圃場への運搬施用作業機が使われる。

#### (2) 堆肥の運搬施用機械（図6-1）

① 積込み用作業機：堆肥の切り返しや運搬車への積み込み作業に、車輪式のバケットローダーが利用される。機体が折れ曲がるアーティキュレイト方式の大型機は、共同堆肥化施設での利用、小回りがきくスキッドステア方式の小型機は畜舎内での利用が多い。トラクターのフロントローダーは、個別農家の堆肥の切り返しや積み込みに利用されており、その他、バックホーやブルドーザーなども堆肥の取り扱い時に利用される。

② 堆肥散布機：堆肥散布作業機としてマニュアスプレッダーが最も一般的に普及している。この作業機は、堆肥を荷台の後方へ送り、後部端のビーターで均一に広げて散布する。ビーターには横軸型と縦軸型がある。横軸型は散布幅が2～3 mに対し、縦軸型は横に広げる機能があり、水分が低くさらさらした堆肥ならば8～10 m幅に散布できる。

ロータースプレッダーは、円筒形の荷台中央にある回転軸のチェーンを振り回すことによって、堆肥を横方向に3～6 m飛ばして散布する堆肥散布機で、かなり水分が高くてドロドロしたふん尿から完熟した堆肥まで、幅広い条件の堆肥に使用できる。

ブロードキャスターは、粒状化学肥料の散布用であるが、粒状に乾燥処理した堆肥を散布する場合に利用される。散布幅は5～10 mであり、トラクタ一直装式のため機動性が高い。堆肥散布を利用する場合、大きい夾雑物があつたり吸湿していると、ホッパー内でブリッジ現象を起こして流下しなくなるので、とくに注意が必要である。

これらの作業機は、いずれも表面散布方式であるため、作業時における臭気の防止対策を行う

ことは困難であるので、臭気のないよう適正に調製した堆肥を使用しなければならない。

③ 堆肥深層施肥機：トレンチャー式またはロータリー爪で深い溝を作り、その中へ堆肥を施用し覆土する作業機であり、スクリュー式の開発も進められている。土中へ施用することから、作物栽培の面で有効なばかりでなく、臭気対策にも最適である。しかしながら、作業能率が表面散布に比べて低いこと等から、現在は余り普及していない。

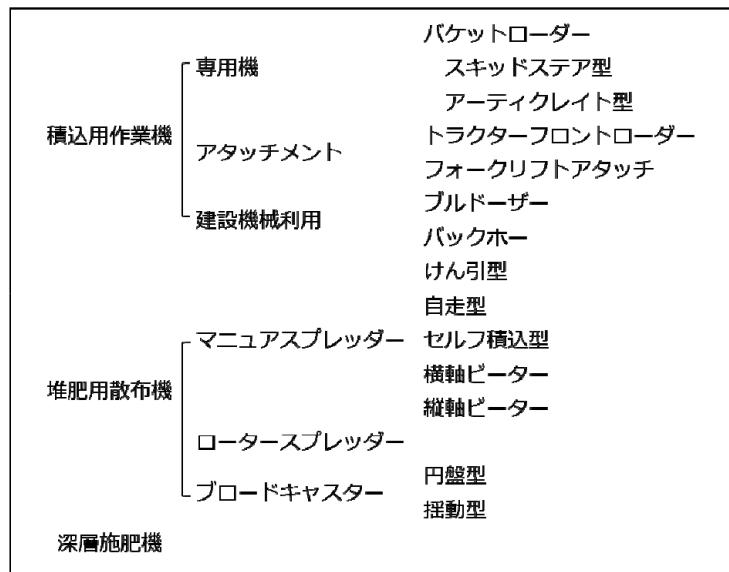


図6-1 堆肥用運搬施用機械

### (3) 液状ふん尿

乳牛の場合、ふん尿を混合すると平均含水比800%（水分88.9%）、さらに発酵によって固形物が分解したり加水されて1,000%（91%）以上になれば、ポンプで扱うことができる液状のふん尿となる。液状ふん尿には、畜舎内で分離された尿や、自然流下式畜舎におけるふん尿混合で嫌気発酵したスラリー、スラリーを曝気処理して好気発酵した液状コンポスト、浄化処理から出る余剰汚泥やメタン発酵の消化汚泥なども液状ふん尿として取り扱うことができる。これらの搬送施用には、定置配管散布施設や、運搬施用機械としてスラリースプレッダー、土中施用機としてスラリインジェクターがあり、プラウ耕同時土中施用技術の開発も進められている。

### (4) 液状ふん尿の運搬施用機械施設（図6-3）

① ポンプ：ふん尿汲み上げ用ポンプは、液体が濃く夾雑物も多いことから、遠心式、ローター式、ピストン式、さらには真空ポンプが、ふん尿の濃度によって使用される。雑用水などが混入した濃度の薄い含水比1,600%以上のふん尿には、遠心式ポンプ（うず巻ポンプ）が用いられる。稻わら等の巻き付きをなくするよう、カッター付きのチョッパーポンプも遠心式ポンプである。固液分離した液分を曝気した液状コンポストは、含水比1,200～1,300%程度であり、ローターポンプが適当である。このポンプは粘度の高い液状ふん尿を高揚程まで送ることができるが、土砂の多く混入したふん尿では摩耗の心配がある。ふん尿の含水比が1,000%ぐらいになると、濃度が濃くて流動性が悪いことから、運搬車のタンク内の空気を真空ポンプで排気して負圧にし、ふん尿を吸引するバキュームカ一方式が用いられる。ポンプの中をふん尿が通過しない特長があり、夾雑物が混ざり濃度の濃いふん尿に適している。

② 配管散布施設：雑排水で2～5倍に希釀したふん尿、または固液分離した薄いふん尿を、貯留槽から圃場まで定置配管で送り散布する方式である。散布半径は15～40 mであり、風で飛沫がかなり遠くまで飛び、臭気が広範囲におよぶことから、公害対策上好ましい方式ではない。利用に当っては、とくに注意深い作業が必要である。

③ スラリースプレッダー：スラリースプレッダーのうち、真空ポンプで吸引する方式のバキュームカーは、圃場で散布する時にプラス0.5～1.0 kg/cm<sup>2</sup>に加圧して排出し、散布幅は6～10 mである。散布量の調節は、吐出圧と走行速度で行うが、吐出圧を高くして幅広く散布しようとすると、風によるふん尿の飛散や散布幅の変動が大きく、臭気が遠くまで届くことから、低い吐出位置から低圧で、標準的な5～6 m幅に散布する作業方法が環境問題からは好ましいと考えられる。ポンプタンカーは、1軸ローターポンプを装着しており、汲み上げと散布に使用される。散布には衝突板とジェットノズルが使用でき、ジェットノズルでは30～50 mの幅に散布することが可能である。遠方散布の場合、小粒のふん尿飛沫が、わずかの風で100 m以上も遠くへ流されるため、山地傾斜地の走行困難な場所への散布や、広大な草地等では利用できるが、人家の近い圃場では臭気問題があり利用は困難である（図6-2）。

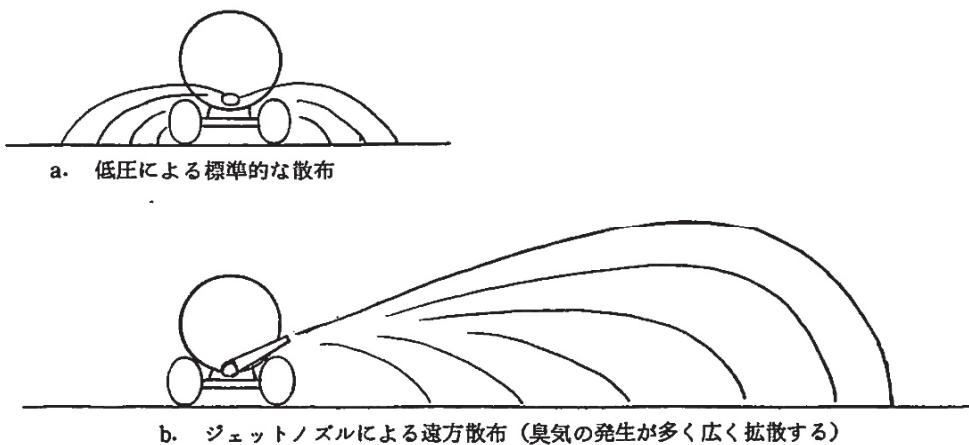


図6-2 液状ふん尿の散布方法と臭気拡散

### 3) 家畜ふん尿の圃場施用と環境問題

#### (1) 堆肥施用と環境対策

臭気がなくなった完熟堆肥、さらにそれを取り扱い易く乾燥した堆肥等では、マニュアルスプレッダーなどによる散布で問題はない。ただし、施用量が比較的多く、施用後長期間耕起せず放置した場合、大雨による流出によって、肥料成分の損失ばかりでなく、中小河川の水質汚濁問題となる場合もある。したがって、散布後速やかに耕起作業を行うことが必要であり、施用量が多い場合は、ロータリー耕よりはプラウ耕を行って完全に埋没させる作業が望ましい。一方、鶏ふんの場合は、発酵が進まなくても比較的水分が少なく取り扱い易いために、切り返しが不十分で嫌気発酵になっている状態のものを大量に散布すれば、臭気発生のほか雨水を含んでハエの発生や、大雨による流出など環境汚染の問題がある。

圃場還元の基本は、十分好気発酵させた堆肥を施用することが第一であり、未発酵の乾燥ふんの場合は、とくに施用後の耕うんを速やかに行う作業体系を組むよう心がけるべきであろう。

## (2) 液状ふん尿施用と環境対策

### i) 散布施用の問題点

液状ふん尿の圃場施用は主に酪農家に多く、施用される液状ふん尿の種類は①バーンクリーナーで、液分を自然分離して尿溜めに貯留したもの、②自然流下式で嫌気発酵したもの、③固液分離機等の分離液を曝気して好気発酵させた液状コンポスト、④浄化処理やメタン発酵から出る余剰汚泥や消化汚泥等がある。この中で臭気が最も問題になるのは、②の自然流下式で嫌気発酵した液状ふん尿である。曝気処理した液状コンポストは適正な曝気が行われ好気発酵が進めば不快な臭気は少なく、また浄化処理の余剰汚泥も新鮮なものでは臭気はほとんどない（図6-4）。

自然流下式による嫌気発酵ふん尿の場合は、貯留槽内に溜められているためアンモニアガスの発散は比較的小ないが、これを圃場に散布すると硫化水素を含む臭気成分が一度に空気中に放散されて、民家の近い圃場では臭気公害となり易い。

### ii) 臭気防止対策

液状ふん尿の圃場施用において、環境問題に関連した対策をあげると、①臭気の発生しない状態に処理して（曝気処理による液状コンポスト化）施用する、②適正量の施用に心がける、③天候に留意して作業計画を立てる、④表面散布の場合レインガンやジェットノズルによる遠方散布は避ける、⑤散布後なるべく早く耕起して土中へ入れる、⑥スラリーインジェクターやプラウ耕同時土中施用技術などで土中への施用を行うことなどが必要である。

### iii) 土中施用技術

スラリーインジェクター：サブソイラーの爪で土壤を破碎し、同時にふん尿を注入して深さ10～20 cmの所に施用する作業機である。ふん尿が地上に出ないため臭気の問題がないことと、飼料作に限らず野菜作など他の作物の生育中への追肥にも液状ふん尿を施用できる利点がある。しかしながら、作業能率やけん引力の問題等で十分普及せず、市販されていない現状である。環境汚染が大きな社会問題となる今日において、スラリーインジェクターの利用が見直されており、市販機の開発が待たれている。

プラウ耕同時土中施用技術：プラウ耕の溝に液状ふん尿を注ぎ、直後に土で覆うプラウ耕同時土中施用技術が開発されている。プラウ耕は深さ20～30 cmの溝が開くことから、1列ずつプラウ耕の溝にふん尿を流し込む方法が考えられるが、次の行程で、溝の中を走行する車輪がスリップして作業ができない。そこで、プラウ耕にバキュームカー等の運搬車を伴走させ、ホースをつないで注入しながら、土で覆う方式が開発された。この方式であれば、多連プラウにも対応できる土中施用技術であり、臭気はなく、さらに耕起直後から、整地や播種作業ができ、従来の表面散布作業より計画的な作業体系を組むことができる利点もある。

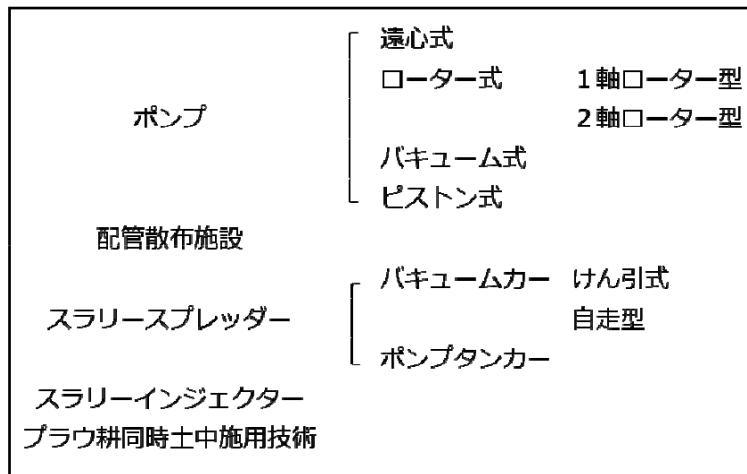


図6-3 液状ふん尿用運搬施用機械

悪臭公害 → 対策		
堆肥	調製	未熟堆肥 → 完熟堆肥
		高水分 → 低水分
		副資材少 → 副資材多
		嫌気発酵 → 好気発酵
ふん尿	施用	大量還元 → 適量散布
		ロータリー耕 → プラウ耕
		表面散布 → 土中施用
ふん尿	施用	自然流下式 → 曝気処理
		スラリー → 液状コンポスト
		嫌気発酵 → 好気発酵
		大量還元 → 適量散布
		遠方散布 → 低圧狭幅散布
		配管散布施設 → スラリースプレッダー
		表面散布 → 土中施用

図6-4 堆肥および液状ふん尿圃場施用における臭気対策キーワード

## 参考文献

- 1) 全農 施設・資材部：家畜ふん尿処理利用施設・機械の構造（1985）
- 2) 中央畜産会：堆肥化施設設計マニュアル. 中央畜産会, 東京 (1987)
- 3) 佐藤純一：家畜ふん尿の搬送施用機械施設と運用の実際. 畜産の研究 44(1), 204-210 (1990)

# 第7章 脱臭装置の規模算定

## 1) 脱臭装置の規模算定

### (1) 必要容積及び面積の求め方

脱臭装置の規模は脱臭方法により異なるが、臭気の発生源を密閉化した空間部の換気量が処理すべき風量となる。ここでは生物脱臭法であるロックウール（以下RWと略す）脱臭装置と土壤脱臭装置を用いて脱臭装置の必要容積及び面積を求める

#### (1) 前提条件

##### ア 臭気成分（主としてアンモニア）

①堆肥化処理時に発生する臭気成分の主体はアンモニアを中心とした複合臭である。

②アンモニア濃度は原料（畜種）と処理方式、通気量と換気回数などによって異なる（実測することが望ましい）。

③RW脱臭槽に送風するアンモニア濃度は、平均200 ppm以下が望ましい（高濃度の場合は微生物活性を低下させる）。

##### イ 脱臭槽への送風量

①送風量は換気量+通気量によって求められる。

##### ②換気量の目安

換気室容積×換気回数

牛ふん処理施設：8回/時以上

豚・鶏ふん処理施設：10回/時以上

密閉型堆肥化装置：通気量の5~15倍

汚水処理施設：通気量の1~3倍

ただし、施設の平均アンモニア濃度が高いときは12回/時以上とする。

③通気量：実測することが望ましい。

④換気の目的：蒸発水分の除去、送風温度の低下（40°C以下）、臭気成分の希釈と除去、粉塵の除去。

##### ウ 接触時間（送入空気のRWや土壤などの脱臭材料中への通過時間）

①接触時間は臭気成分の種類と濃度によって異なる。

②送入空気（臭気を含む換気ガス）がRW脱臭材料と接触する時間を100~150秒とする。臭気成分濃度の差は、換気量（希釈倍率）と余裕率で調整する。

##### エ 脱臭材料の堆積高さと見掛け風速、通気抵抗

①RW脱臭装置では、RW脱臭材料の堆積高さを250 cm以下（初期の堆積高さ）とする。土壤脱臭装置では、土壤（黒ぼく土）の堆積高さを60 cm以下（初期の堆積高さ）とする。ともに稼働中に自然沈下によって10%程度の沈下が生じることがあるが脱臭性能には影響はない。

②見掛け風速は、RW脱臭装置では20~25 mm/秒以下とし、土壤脱臭装置では5 mm/秒以下とする。見掛け風速を早くすると脱臭材料の通気抵抗が高くなり、送風機の軸馬力が大きくなつてランニングコスト高となつたり、脱臭材料中に通気道が生じやすくなる。

③脱臭槽下部（床下）静圧（通期抵抗）は200~300 mmH<sub>2</sub>O以下が望ましい。

##### オ 脱臭目標

脱臭槽通過後の空気は臭気が感じられない程度を脱臭目標とする。

敷地境界で5 ppm以下、脱臭槽側壁上部高さ1 mで10 ppm程度いかが望ましい。

RW及び土壤脱臭装置の規模算定のための前提条件をまとめると表7-1のようになる。

表7-1 RWおよび土壤脱臭装置の規模算定の前提条件

施設	対象物	項目			
		アンモニア濃度 (ppm)	接触時間 (秒)	換気回数 (回/時)	備考
天日乾燥施設	牛ふん	50～150	100	8回以上	
	豚・鶏ふん	100～200	100	10回以上	
通気型堆肥舎	牛ふん	80～150	100	8回以上	通気量を加算する
	豚・鶏ふん	100～200	100	10回以上	
攪拌開放型堆肥化装置	牛ふん	100～200	100	8回以上	通気量を加算する 鶏ふん12回以上
	豚・鶏ふん	200～300	100～150	10回以上	
密閉型堆肥化装置	豚・鶏ふん	200～300	100～150	通気量の5～15倍	
スラリー処理装置	主として牛ふん尿	60～100	60～80	通気量の1～3倍	

注) アンモニア濃度は脱臭槽に送入する1日の平均濃度。

## (2) 必要規模の算定式

### ア 脱臭槽への送風量 (m<sup>3</sup>/分)

脱臭対象施設容積 (m<sup>3</sup>) × 換気回数 (回/時) ÷ 60分 + 通気量 (m<sup>3</sup>/分) (面積 × 上部空間高さ)

### イ 見掛け風速 (mm/秒)

RW堆積高さ (mm) ÷ 接触時間 (秒)

(送風量 (m<sup>3</sup>/秒) ÷ 必要面積 (m<sup>2</sup>))

### ウ 必要面積

(送風量 (m<sup>3</sup>/分) × 1000) ÷ (見掛け風速 (mm/秒) × 60) × 余裕率 = 送風量 ÷ 見掛け風速  
× 16.7 × 余裕率

### エ 必要容積 (m<sup>3</sup>)

面積 (m<sup>2</sup>) × RW脱臭材料堆積高さ (詰込み時) (m)

### オ RW詰込み量 (kg)

RW重量 ÷ 1 (m<sup>3</sup>) × 必要容積 (m<sup>3</sup>)

RW重量は水分により異なるが、水分40%で400～450 kg/m<sup>3</sup>程度

### カ 送付ダクト内径の求め方

①ダクト断面積 (m<sup>2</sup>) : 設定送風量 (m<sup>3</sup>/秒) ÷ 設定送風 (m/秒)

②ダクト内径 √ ((断面積 ÷ π) × 2 × 1000)

ダクト内の設定風速は10～15 m/秒以下とする。ダクト内風速が早くなると送風管路内の圧力損失が大きくなる。また、曲部をできるだけ少なくして曲管による圧力損失を少なくすることが必要である。

### キ 余裕率

臭気成分の変動に対応するために、必要実容積 (面積) の10%程度の余裕率をみる。

以上の条件に基づいて脱臭装置規模算定表 (表7-2) を作成する。

表7-2 RWおよび土壤脱臭装置規模算定表

	項目	単位等	算定値	算定基礎
設計条件	脱臭対象施設	種類	-	
		面積	m <sup>2</sup>	
		容積	m <sup>3</sup>	
	送風量	換気量	m <sup>3</sup> /分	
		通気量	m <sup>3</sup> /分	
		計	m <sup>3</sup> /分	
	臭気濃度 (NH <sub>3</sub> ガス濃度)	ppm		
	接触時間	秒		表7-1による
	脱臭材料堆積高さ	m		詰込み時の高さ
	見掛け風速	mm/秒		土壤脱臭装置では5 mm/秒 RW脱臭装置では20 mm/秒
脱臭槽	脱臭槽	面積	m <sup>2</sup>	
		容積	m <sup>3</sup>	
	設置容積	m <sup>3</sup>		W m × L m × H m
	RW詰込み量	t		
	送風ダクト内径	mm		
	送風機	型式		モーター出力

注) 設置する脱臭装置の規格(寸法)により設置容積は計算値と若干異なる場合がある。

### (3) 規模算定例

#### ア 条件の設定

脱臭装置の規模を算定するにあたり、畜種、経営規模、堆肥化装置の種類によって脱臭装置の規模は異なるので、それぞれの方式による区別が必要となる。そこで、ここでは酪農においては搾乳牛で繋ぎ飼い50頭規模とフリーストール80頭規模を取り上げた。肉用牛は200頭規模、養豚は200頭一貫経営として常時2,000頭飼養規模とし、養鶏は採卵鶏の成鶏35,000羽規模を対象として表7-3に示すように、通気型堆肥舎、攪拌方式の開放型堆肥化装置、密閉縦型堆肥化装置の組み合わせを設定した。また、堆肥化処理方法については、1次処理(発酵)は通気型堆肥舎、攪拌方式の開放型堆肥化装置、密閉型堆肥化装置とし、2次処理(発酵)に堆肥舎を使用する方法とした。畜種、規模による代表的な堆肥化装置の設定を①～⑫として、この規模に対する堆肥化装置の規模設計を検討し、脱臭装置は一時処理の堆肥化装置に設置する条件で規模を算定した。

なお、ここでは①と⑧の2例について規模算定を行った。

表7-3 畜種、経営規模および堆肥化装置の種類による規模算定

	酪農		肉用牛	養豚	養鶏
飼養頭数（頭・千羽）	50*	80*	200	200（母豚）	35
飼養形態	繋ぎ飼い	フリース トール	フリース トール	母豚一貫経営	ウィンドレス鶏 舎
ふん尿処理方法	バーンクリーナーによる除ふん	ふん尿全量搬出	バーンスクレーパーによる除ふん	固液分離豚舎	多段式ケージペルト除ふん
ふん（尿）の重量（kg/頭・千羽）	45	61	20	2.1	120
ふん（尿）の水分（%）	86	90	81	75	75
全ふん（尿）重量（kg）	2,250	4,880	4,000	4,200	4,200
堆肥化装置	通気型堆肥舎	①	②	⑤	⑦
	攪拌方式の開放型堆肥化装置（直線、円形）	③	④	⑥	⑧
	密閉縦型堆肥化装置	—	—	—	⑨
					⑩
					⑪
					⑫

注) 酪農と肉用牛については、密閉縦型堆肥化装置の例が少ないとみたため省略した。

\*育成牛を考慮せず搾乳牛のみを対象とした。

#### イ 通気型堆肥舎の脱臭装置の規模算定例（①のケース、酪農牛ふん）

(i) 対象家畜：搾乳牛（繋ぎ飼い、50頭規模、バーンクリーナーに固液分離）

(ii) 堆肥化処理施設：通気型堆肥舎（1次処理）→堆肥舎（2次処理）

(iii) 通気型堆肥舎の処理条件：通気型堆肥舎、堆肥の堆積高さ2.3 m、副資材にオガ粉を使用。処理日数25日間

(iv) RW脱臭装置の規模算定

脱臭装置の対象堆肥化の規模は、表7-4の中間地域で通気型堆肥舎とする。

通気型堆肥舎の規模：堆肥の堆積高さ：2.3 m、上部シート（天井）までの高さ：4 m（上部空間：4 m - 2.3 m = 1.7 m）、開口：6 m、奥行き：8 m、1槽

注) 上部シートの高さはショベルローダー等のバケットの高さによって異なる。

表7-5に通気型堆肥舎におけるRW脱臭装置の規模算定例を示す。

### (v) 土壤脱臭装置の規模算定

表7-6に同堆肥化装置における土壤脱臭装置の規模算定例を示す。

表7-4 通気型堆肥舎の処理条件と必要容積、面積（①のケース）

		条件			
原料	搾乳牛ふん	水分 (%)	86	総重量 (kg/日)	2,250
	オガ粉	水分 (%)	25	添加量 (kg/日)	670
	計		72		2,920
		通気型堆肥舎	堆肥舎	全期間	
処理日数 (日)		25	90	115	
堆積高さ (m)		2.3	2		
攪拌回数 (回/日)					
切返しひこ (回/月)					
通気量 ( $m^3/\text{分} \cdot m^3$ )		0.1			
総乾物分解率 (%)	ふん (%/日)	1.08	27	8	35
	副資材 (%/日)	0.36	9	2	11
乾物分解発熱 量	ふん (kcal/kg)	4,500	4,500		
	副資材 (kcal/kg)	3,000	3,000		
	水分蒸発量 (kcal/kg)	900	900		
堆肥化施設の必要容積、面積					
		水分 (%)	総重量 (kg)	乾物量 (kg)	水分量 (kg)
処理前	ふん (尿)	86	2,250	315	1,935
	副資材	25	670	503	168
	計	72	2,920	818	2,103
	容積重 ( $kg/m^3$ )	800			
1次処理	ふん (尿) 減少量			85	
	副資材減少量			45	
	減少量 計		706	130	576
	終了時	69	2,214	687	1,527
	容積重 ( $kg/m^3$ )	800			
2次処理	ふん (尿) 減少量			25	
	副資材減少量			10	
	減少量 計		195	35	160
	終了時	68	2019	652	1367
	容積重 ( $kg/m^3$ )	780			
堆肥生産量	1日当たり	68	2,019	652	1,367
	年間 (t)	68	737		
	生産量/処理量		69%	80%	65%
		温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域	
必要容積 ( $m^3$ )	通気型堆肥舎	91	91	91	
	堆肥舎	249	249	249	
必要面積 ( $m^2$ )	通気型堆肥舎	44	48	52	
	堆肥舎	137	149	162	

注) 1次処理終了時の容積重 ( $800 kg/m^3$ ) は、2次処理（堆肥舎）時の堆積高2.0 mの場合の容積重を示す。

表7-5 通気型堆肥舎におけるRW脱臭装置の規模算定例（中間地域）

	項目	単位等	算定値	算定基礎
設計条件	脱臭対象施設	種類	-	通気型堆肥舎による牛ふんの堆肥化装置
		面積	m <sup>2</sup>	48 (W) 6 m × (L) 8 m × 1槽
		容積	m <sup>3</sup>	82 48 m <sup>2</sup> × 1.7 m (上部空間高さ)
	送風量	換気量	m <sup>3</sup> /分	10.9 82 m <sup>3</sup> × 8回/時 ÷ 60分
		通気量	m <sup>3</sup> /分	11.0 0.1 m <sup>3</sup> /分 · m <sup>3</sup> × 48 m <sup>2</sup> × 2.3 m (堆積高さ)
		計	m <sup>3</sup> /分	21.9
	臭気濃度 (NH <sub>3</sub> ガス濃度)		ppm	180～200以下
	接触時間		秒	100 表7-1による
脱臭槽	RW脱臭材料堆積高さ		m	2.0 詰込み時の高さ2.2 m
	見掛け風速		mm/秒	20 2,000 mm ÷ 100秒
	脱臭槽	面積	m <sup>2</sup>	20 21.9 m <sup>3</sup> /分 ÷ 20 mm/秒 × 16.7 × 1.1 (安全率)
		容積	m <sup>3</sup>	44 20 m <sup>2</sup> × (H) 2.2 m
	設置容積		m <sup>3</sup>	50 (W) 4.0 m × (L) 5.0 m × (H) 2.5 m
	RW詰込み量		t	17.6 44 m <sup>3</sup> × 400 kg/m <sup>3</sup> (水分40%)
	送風ダクト内径		mm	200 ダクト内風速11.6 m/秒
	送風機		型式	モーター出力1.5 kW、静圧250 mmH <sub>2</sub> O

注) 設置する脱臭槽の規格(寸法)により設置容積は計算値と若干異なる場合がある。

RW脱臭材料：緊プロ型RW脱臭材料、2.0 m堆積・見掛け風速20 mm/秒時の静圧を200 mmH<sub>2</sub>O、管路内圧力損失50 mmH<sub>2</sub>O、計250 mmH<sub>2</sub>Oとした。

設計に当たっては送風管路内径を十分に取り管路の圧力損失を少なくする。

表7-6 通気型堆肥舎における土壌脱臭装置の規模算定例（中間地域）

	項目	単位等	算定値	算定基礎
設計条件	脱臭対象施設	種類	-	通気型堆肥舎による牛ふんの堆肥化装置
		面積	m <sup>2</sup>	48 (W) 6 m × (L) 8 m × 1槽
		容積	m <sup>3</sup>	82 48 m <sup>2</sup> × 1.7 m (上部空間高さ)
	送風量	換気量	m <sup>3</sup> /分	10.9 82 m <sup>3</sup> × 8回/時 ÷ 60分
		通気量	m <sup>3</sup> /分	11.0 0.1 m <sup>3</sup> /分 · m <sup>3</sup> × 48 m <sup>2</sup> × 2.3 m (堆積高さ)
		計	m <sup>3</sup> /分	21.9
	臭気濃度 (NH <sub>3</sub> ガス濃度)		ppm	180～200以下
	接触時間		秒	100 表7-1による
脱臭槽	土壌の堆積高さ		m	0.5 詰込み時の高さ0.6 m
	見掛け風速		mm/秒	5 500 mm ÷ 100秒
	脱臭槽面積		m <sup>2</sup>	80.5 21.9 m <sup>3</sup> /分 ÷ 5 mm/秒 × 16.7 × 1.1 (安全率)
	土壌堆積量		m <sup>3</sup>	48.3 80.5 m <sup>2</sup> × (H) 0.6 m
	設置容積		m <sup>3</sup>	81 (W) 8.1 m × (L) 10 m × (H) 1.0 m
	送風ダクト内径		mm	200 ダクト内風速11.6 m/秒
	送風機		型式	モーター出力1.5 kW、静圧250 mmH <sub>2</sub> O

注) 設置する脱臭槽の規格(寸法)により設置容積は計算値と若干異なる場合がある。

土壌だ週材料：黒ぼく土(火山灰土)、0.5 m堆積・見掛け風速5 mm/秒時の静圧を200 mmH<sub>2</sub>O、管路内圧力損失50 mmH<sub>2</sub>O、計250 mmH<sub>2</sub>Oとした。

設計に当たっては送風管路内径を十分に取り管路の圧力損失を少なくする。

## ウ 開放・直線型堆肥化装置における脱臭装置の規模算例（⑧のケース、豚ふん）

(i) 対象家畜：豚（母豚200頭一貫経営規模、肥育豚換算2,000頭規模）

(ii) 堆肥化処理施設：開放・直線型堆肥化装置（1次処理）→堆肥舎（2次処理）

(iii) 開放・直線型堆肥化装置の処理条件：開放・直線型堆肥化装置、発酵槽深さ2m、副資材にオガ粉を使用、処理日数20日間。

(iv) RW脱臭装置の規模算定

脱臭装置の対象堆肥化装置の規模は、表7-7の中間地域で開放・直線型堆肥化装置とする。

開放・直線型堆肥化装置：直線型、1槽、間口：4m、長さ：21m、堆肥材料の堆積高さ：2m、臭気捕集用ハウス平均高さ：3.5m（上部空間：3.5m - 2m = 1.5m）

堆肥堆積容積： $4\text{ m} \times 21\text{ m} \times 2\text{ m} = 168\text{ m}^3$

表7-8に開放・直線型堆肥化装置におけるRW脱臭装置の規模算定例を示す。

(v) 土壤脱臭装置の規模算定

表7-9に同堆肥化装置における土壤脱臭装置の規模算定例を示す。

## エ 他の堆肥化装置の種類による規模の算定

これまでに表7-3で示した堆肥化装置の代表的な通気型堆肥舎（①）と開放・直線型堆肥化装置（⑧）に設置する脱臭装置の規模算定を行ってきたが、他の堆肥化装置についても同様に計算することができる。ただし、密閉縦型堆肥化装置（⑨、⑫）では、換気量が装置の排気量として決まっているので、実測あるいは仕様書に基づいて換気量を決めなければならない。その際に、排気中にふくまれるアンモニアガス濃度が高い場合は、外部から空気を取り入れて希釈し、200ppm以下の濃度にする。

堆肥化施設設計マニュアルで示されている堆肥化装置の規模算定のうち1次処理装置の規模面積によって脱臭装置規模が算定できるので、堆肥化施設設計計算例を活用いただきたい。

### （2）脱臭装置の規模算定にあたっての留意点

これまでの例では、開放・直線型堆肥化装置の堆肥材料の高さを2mとしている。堆積高さが0.8~1.2m程度まで堆積できる浅型の発酵槽であれば、発酵槽面積が広くなり換気量が増えるため脱臭装置の面積規模も大きくなることから、脱臭装置を必要とする堆肥化装置では浅型より深型の発酵槽を有する堆肥化装置のほうが脱臭装置の規模を小さくすることができる。

脱臭装置のランニングコストは、換気量が一定であれば脱臭装置の通気抵抗すなわち送風機の静圧に比例するので、脱臭装置での通気抵抗をできるだけ小さくすることが必要となる。例えば、RW脱臭装置や土壤脱臭装置のように換気空気を脱臭材料に通過させながら脱臭する方法においては、脱臭材料の通気抵抗を小さくすることがランニングコストの低減になる。燃焼脱臭法や吸着法、薬液処理法では、送風機のランニングコストのほか燃料費や吸着剤、薬液の費用がさらに加算される。

密閉型堆肥化装置の換気吸気中のアンモニアガス濃度は1000ppmを超える場合が多く、RW脱臭装置や土壤脱臭装置では200ppm程度まで臭気濃度を空気による希釈や吸着法などの前処理等によって下げなければならない。

表7-7 開放・直線型堆肥化装置の処理条件と必要容積、面積（⑧のケース）

		条件			
原料	豚ふん	水分 (%)	75	総重量 (kg/日)	4,200
	オガ粉	水分 (%)	25	添加量 (kg/日)	1,050
	計		65		5,250
		開放型堆肥化装置		堆肥舎	全期間
処理日数 (日)		20		65	85
堆積高さ (m)		2		2	
攪拌回数 (回/日)					
切返し回数 (回/月)					
通気量 ( $m^3/\text{分} \cdot m^3$ )		0.1			
総乾物分解率 (%)	ふん (%/日)	1.7	34	6	40
	副資材 (%/日)	0.6	12	2	14
乾物分解発熱量	ふん (kcal/kg)	4,500		4,500	
	副資材 (kcal/kg)	3,000		3,000	
水分蒸発量 (kcal/kg)		900		900	
堆肥化施設の必要容積、面積					
		水分 (%)	総重量 (kg)	乾物量 (kg)	水分量 (kg)
処理前	ふん (尿)	75	4,200	1,050	3,150
	副資材	25	1,050	788	263
	計	65	5,250	1,838	3,413
	容積重 ( $kg/m^3$ )	780			
1次処理	ふん (尿) 減少量			357	
	副資材減少量			95	
	減少量 計		2,552	452	2,100
	終了時	49	2,699	1,386	1,313
	容積重 ( $kg/m^3$ )	400			
2次処理	ふん (尿) 減少量			63	
	副資材減少量			16	
	減少量 計		446	79	368
	終了時	42	2,252	1,307	945
	容積重 ( $kg/m^3$ )	400			
堆肥生産量	1日当たり	42	2,252	1,307	945
	年間 (t)	42	822		
	生産量/処理量		43%	71%	28%
		温暖地域	中間地域	寒冷・積雪地域	
必要容積 ( $m^3$ )	通気型堆肥舎	135	135	135	
	堆肥舎	439	439	439	
必要面積 ( $m^2$ )	通気型堆肥舎	74	81	88	
	堆肥舎	241	263	285	

注) 1次処理終了時の容積重 ( $400 kg/m^3$ ) は、2次処理(堆肥舎)時の堆積高2.0 mの場合の容積重を示す。

表7-8 開放・直線型堆肥化装置におけるRW脱臭装置の規模算定例（中間地域）

	項目	単位等	算定値	算定基礎
設計条件	脱臭対象施設	種類	-	開放・直線型堆肥化装置による豚ふんの堆肥化装置
		面積	m <sup>2</sup>	84 発酵槽 (W) 4.0 m × (L) 21 m
		容積	m <sup>3</sup>	(W) 5.0 m × (L) 24 m × (H) 3.5 m = 168 m <sup>3</sup>
	送風量	換気量	m <sup>3</sup> /分	42 252 m <sup>3</sup> × 10回/時 ÷ 60分
		通気量	m <sup>3</sup> /分	16.2 0.1 m <sup>3</sup> /分 · m <sup>3</sup> × 81 m <sup>2</sup> × 2.0 m (堆積高さ)
		計	m <sup>3</sup> /分	58.2
	臭気濃度 (NH <sub>3</sub> ガス濃度)	ppm	200以下	
	接触時間	秒	100	表7-1による
脱臭槽	RW脱臭材料堆積高さ	m	2.0	詰込み時の高さ2.2 m
	見掛け風速	mm/秒	20	2,000 mm ÷ 100秒
	脱臭槽	面積	m <sup>2</sup>	53.5 58.2 m <sup>3</sup> /分 ÷ 20 mm/秒 × 16.7 × 1.1 (安全率)
		容積	m <sup>3</sup>	117.7 53.5 m <sup>2</sup> × (H) 2.2 m
	設置容積	m <sup>3</sup>	135 (W) 6.0 m × (L) 9.0 m × (H) 2.5 m	
	RW詰込み量	t	47 117.7 m <sup>3</sup> × 400 kg/m <sup>3</sup> (水分40%)	
	送風ダクト内径	mm	400 ダクト内風速7.7 m/秒	
	送風機	型式		モーター出力5.5 kW、静圧250 mmH <sub>2</sub> O

注) 設置する脱臭槽の規格(寸法)により設置容積は計算値と若干異なる場合がある。

RW脱臭材料：緊プロ型RW脱臭材料、2.0 m堆積・見掛け風速20 mm/秒時の静圧を200 mmH<sub>2</sub>O、管路内圧力損失50 mmH<sub>2</sub>O、計250 mmH<sub>2</sub>Oとした。

設計に当たっては送風管路内径を十分に取り管路の圧力損失を少なくする。

表7-9 開放・直線型堆肥化装置における土壌脱臭装置の規模算定例（中間地域）

	項目	単位等	算定値	算定基礎
設計条件	脱臭対象施設	種類	-	開放・直線型堆肥化装置による豚ふんの堆肥化装置
		面積	m <sup>2</sup>	84 発酵槽 (W) 4.0 m × (L) 21 m
		容積	m <sup>3</sup>	(W) 5.0 m × (L) 24 m × (H) 3.5 m = 168 m <sup>3</sup>
	送風量	換気量	m <sup>3</sup> /分	42 252 m <sup>3</sup> × 10回/時 ÷ 60分
		通気量	m <sup>3</sup> /分	16.2 0.1 m <sup>3</sup> /分 · m <sup>3</sup> × 81 m <sup>2</sup> × 2.0 m (堆積高さ)
		計	m <sup>3</sup> /分	58.2
	臭気濃度 (NH <sub>3</sub> ガス濃度)	ppm	200以下	
	接触時間	秒	100	表7-1による
脱臭槽	土壌の堆積高さ	m	0.5	詰込み時の高さ0.6 m
	見掛け風速	mm/秒	5	500 mm ÷ 100秒
	脱臭槽面積	m <sup>2</sup>	214 58.2 m <sup>3</sup> /分 ÷ 5 mm/秒 × 16.7 × 1.1 (安全率)	
	土壌堆積量	m <sup>3</sup>	128.4 214 m <sup>2</sup> × (H) 0.6 m	
	設置容積	m <sup>3</sup>	214 (W) 21.4 m × (L) 10 m × (H) 1.0 m	
	送風ダクト内径	mm	400 ダクト内風速7.7 m/秒	
	送風機	型式		モーター出力5.5 kW、静圧250 mmH <sub>2</sub> O

注) 設置する脱臭槽の規格(寸法)により設置容積は計算値と若干異なる場合がある。

土壤だ週材料：黒ぼく土(火山灰土)、0.5 m堆積・見掛け風速5 mm/秒時の静圧を200 mmH<sub>2</sub>O、管路内圧力損失50 mmH<sub>2</sub>O、計250 mmH<sub>2</sub>Oとした。

設計に当たっては送風管路内径を十分に取り管路の圧力損失を少なくする。

## 2) 脱臭装置の規模算定事例

### (1) 堆肥脱臭システム



堆肥脱臭付き簡易低コスト堆肥舎



堆肥生産風景

図7-1 堆肥脱臭付き簡易低コスト堆肥舎

堆肥化は好気状態で行われるため、野菜が腐った様な臭いの硫黄化合物や汗くさい様な臭いの低級脂肪酸等の発生は抑制される。しかし、堆肥化材料中のタンパク質が微生物によって分解される過程でアンモニアが生成されるため、極めて高濃度のアンモニアが発生する。有機物の分解過程でアンモニア発生を避けることはできないので、発生したアンモニアを多く含んだ高濃度臭気を低コストに脱臭し、地域住民の快適な生活環境の確保や環境問題の解決に努めることが重要である。

#### i) 堆肥脱臭システムの概要

出来上がり堆肥には臭気を吸着する能力があり、堆肥に臭気を通過させるという簡単な方法で、低コストに脱臭を行うことができる。牛ふんとオガクズの堆肥化で1週間毎に切り返しを行う方式では、出来上がり堆肥  $1\text{ m}^3$  を製造するのに約1 kgのアンモニアが発生する。特に最初の2週間で全体の9割が発生することから、1、2週目の発酵槽からの臭気を処理することで、低コストで効果的に臭気を低減できる。堆肥に吸着したアンモニアは、堆肥中の微生物によって硝化され無臭化される。この硝酸態窒素は酸性であり、堆肥化過程臭気の主要成分であるアンモニアと反応し、硝酸アンモニウムの形態で窒素成分が堆肥に回収される。脱臭に用いた堆肥は窒素濃度が増加することから、肥料的価値が高まり、速効性有機質肥料として減化学肥料栽培や有機農業用の堆肥となる。この高窒素濃度堆肥を肥料価値と見合った価格で販売することで、脱臭経費の回収が可能となる（図7-1, 7-2）。

#### ii) 脱臭の方法

①半密閉構造とされた1、2週目発酵槽からの臭気を、発酵槽への入気量に対して4~7倍程度の流量（密閉した発酵槽の換気回数が10回/h程度）のターボファンで、1次発酵槽と同様の大きさの悪臭吸着槽にそれぞれ導入する。

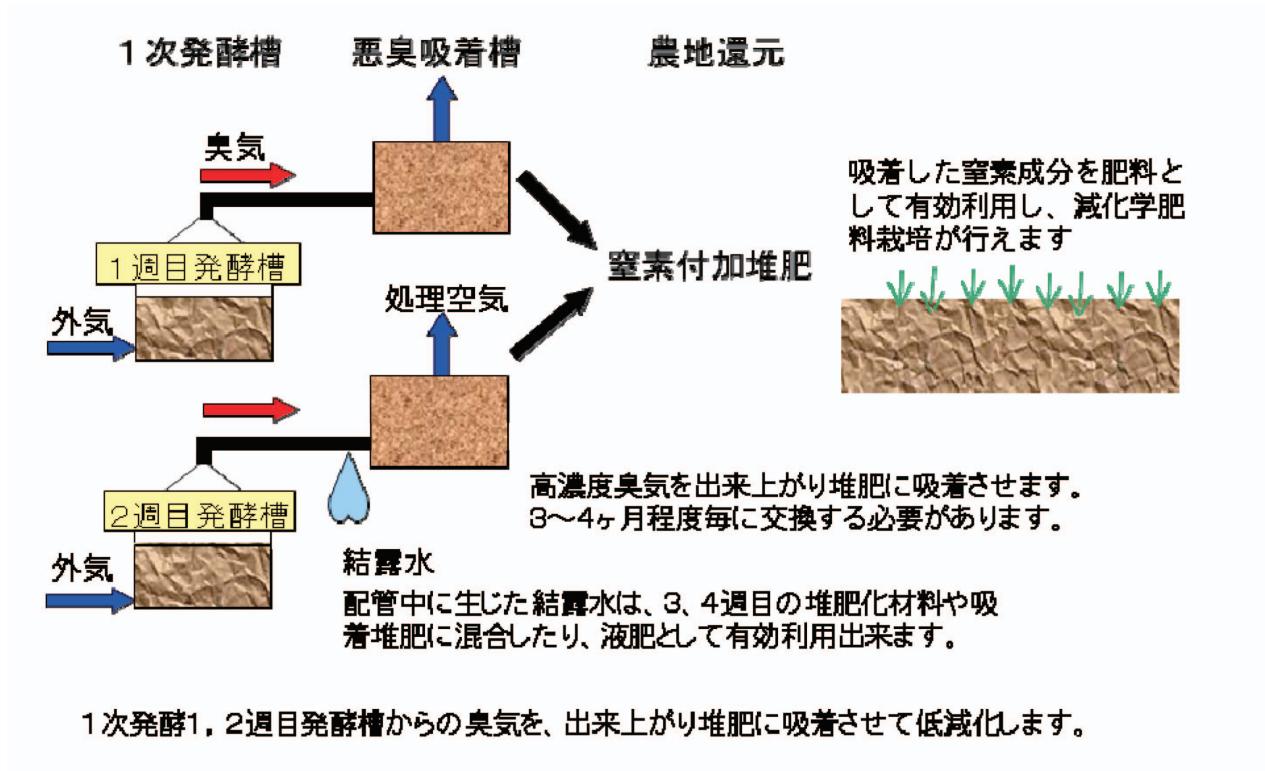


図7-2 堆肥脱臭システムの概要

②悪臭吸着槽には、堆肥化原材料と同体積（堆積高1.8 m程度）で含水率50～60%程度の2次発酵が終了した出来上がり堆肥を入れ、臭気を床面から導入する。システム立ち上げ時には活性汚泥を約2%混合し、その後、吸着用堆肥の入れ替え時には、使用済堆肥を5%割程度混合する。悪臭吸着槽への入気は飽和水蒸気状態であるが、脱臭用堆肥の水分は減少するので含水率が45%程度になったら加水する。

③臭気を送る配管内では、発酵槽からの排気温度が高く水分を多く含んでいるため、アンモニア濃度800 ppm程度の結露水が発生する。結露水は液肥として利用できるが、利用できない場合には堆肥化3、4週目の材料や悪臭吸着槽の堆肥に混合し有効利用する。結露水量は材料の初期重量1 t当たり冬期6 L/t/週、夏期2 L/t/週程度であるが、配管の断熱施工により、それぞれ1 L/t/週、0.2 L/t/週程度まで低減できる。

④アンモニアを吸着した堆肥を無臭化槽で弱く通気し好気状態にすると、好気性の硝酸化成菌により約1週間でアンモニウム態窒素は硝酸態窒素に変換される。更に、数ヶ月間好気状態にすると有機態窒素に変換される。また、脱臭用堆肥に古紙等の炭素源を5%程度添加して使用することで、増加窒素の50%程度を有機態窒素として保存できる。無臭化された堆肥は、窒素分を多く含んだ良質有機肥料として圃場還元できる。また、再度脱臭に利用することも可能である。

⑤配管内で発生した結露水は、臭気と共に床面の配管先端部へ移動する。床面配管の先端部分では、配管内の動圧が静圧に変換される。その静圧を利用し先端に集まつた結露水を、配管先端から堆肥化施設外部まで貫通した細い配管を通して外部に排出する（図7-3）。

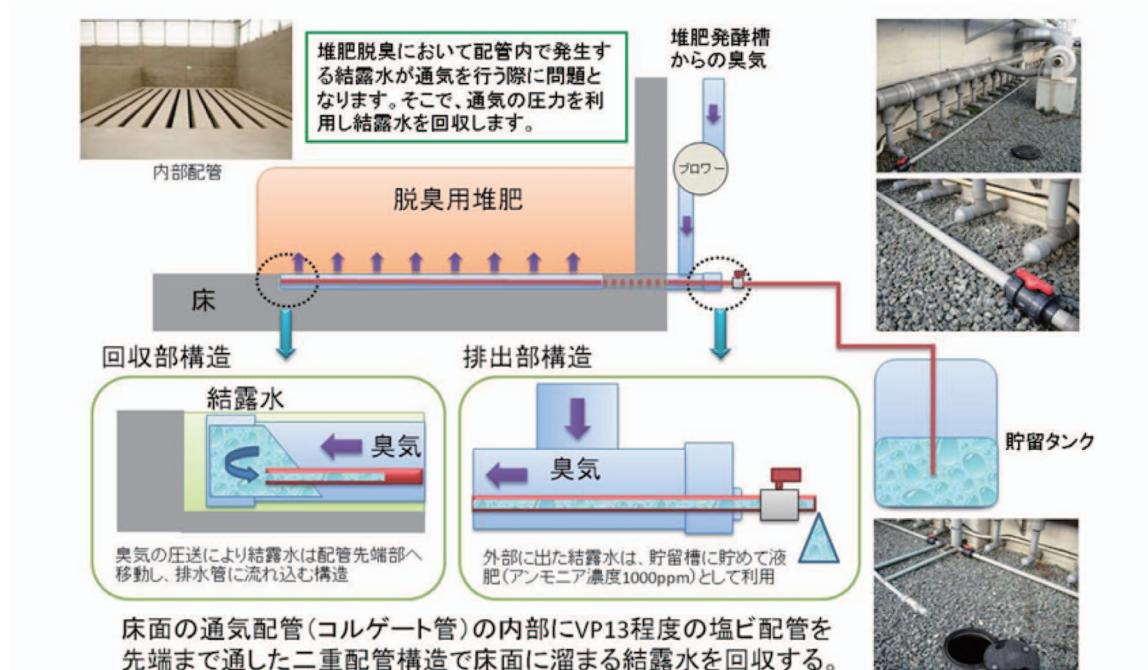


図7-3 結露水排出構造

### iii) 脱臭能力

堆肥脱臭は、アンモニア及び硫黄化合物に対して高い除去効率を得ることができる。アンモニアの除去率は97%で季節による変動も余りなく、年間を通じて安定した除去率が得られる。悪臭吸着槽への入気アンモニア濃度は外気によって希釈されるので最高濃度600~700 ppm（週平均濃度200 ppm程度）であり、堆肥脱臭処理後の濃度は20 ppm程度になる。アンモニアの次に排出量の多いメチルメルカプタンに関しても、95%程度除去可能である。また、低級脂肪酸に関しては、プロピオン酸をのぞき50~60%程度を除去することができる。プロピオン酸についても、堆肥化は好気発酵であり、初期に濃度が低下するため大きな問題となることはほとんどないものと思われる。ただし、堆肥脱臭の脱臭能力は堆肥の状態に影響され、出来るだけ完熟に近いものを使用し、活性汚泥水等で硝酸化成菌を添加することが重要である（図7-4）。

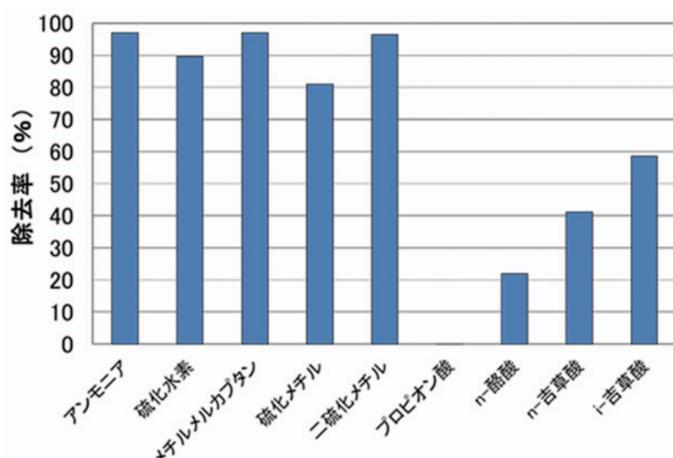


図7-4 堆肥脱臭の悪臭成分除去効果

#### iv) 施工上の留意点

① 1次発酵槽の1週目と2週目の悪臭を出来上がった堆肥に吸着させるには、1次発酵槽と同様の大きさの悪臭吸着槽が2槽必要である。1、2週目発酵槽は、臭気を集められるように密閉構造とするが、高濃度のアンモニア、水蒸気、結露水等で壁面が湿った状態となる。骨組みは木材などアンモニアの腐食に強い材料、また壁に使用する材料にはシート等の水を通過しない丈夫な部材を用いて施工する。

② 悪臭吸着槽を設置する場合には、出来るだけ発酵槽から吸着槽までの通気配管が短くなるようにし、通気配管を断熱施工し配管内部において生じる結露水を少なくする。

③ 悪臭吸着槽における床面の通気溝部分においても結露水が生じるため、結露水を外部へ排出しタンクなどに集める構造とする（図7-5）。

④ 臭気を発酵槽から吸着槽へ送る配管は、通気量が換気回数10回/h程度となるので、管径の大きなものを用い通気抵抗を小さくする。また、臭気を吸着槽へ送るターボブロワは、連続運転するので抵抗計算を行い、適正な消費電力の物を選定する。

#### v) 運転上の留意点

① 堆肥に吸着させたアンモニアは、好気性の硝酸化成菌で無臭の硝酸に変えるか、好気性のアンモニア資化菌により菌体蛋白に変化させる必要がある。そのための菌体添加として、最初の立ち上げ時に活性汚泥などを2、3%添加する。2回目からは、吸着済み堆肥を約10%程度混合したものを使用する。また、1年に1度程度、活性汚泥等を添加する。

② 吸着に用いる堆肥は窒素成分が増加するので3～4ヶ月毎に交換する。なお、悪臭吸着に用いた堆肥の含水率は、初期に比較して若干減少する。

③ 吸着システム配管等から出てくる結露水は、アンモニアを多く含んでいるため、夏期には堆肥化3、4週目材料、冬期には吸着済み堆肥などに混合して有効利用する。



簡易低コスト堆肥舎の全景



結露水の堆肥混合作業

図7-5 堆肥脱臭付き簡易低コスト堆肥舎

#### (2) 堆肥脱臭付き簡易型低コストふん尿処理施設の設計例

- ・堆肥化施設の規模：乳用牛飼養頭数100頭
- ・飼養方式：フリーストール方式
- ・堆肥化方式：ローダー一切返し方式
- ・発酵期間：1次発酵（高温発酵）4週間、強制通気式

- ・2次発酵（中温発酵）5ヶ月間、内強制通気1ヶ月
- ・脱臭方式：仕上がり堆肥による悪臭吸着方式

### i) 堆肥化施設

簡易型低コスト糞尿処理施設を用いて乳用牛飼育頭数100頭の酪農家から排出される家畜ふん尿を堆肥化するために、熊本県旭志村に建設する実証堆肥舎の設計を行った。水分調整を行った堆肥化原材料の1週目投入量を、 $55\text{ kg/頭/日} \times 100\text{頭} \times 7\text{日}$ として35 tとした。また、原材料のかさ密度を $700\text{ kg/m}^3$ と仮定すると、1週目投入体積は $50\text{ m}^3$ となる。堆肥化槽のサイズは、投入高さを約2 mとし必要床面積を算出すると $25\text{ m}^2$ となるが、堆肥化槽前方部では斜めに積む事となるので約10%の安全率とし幅3.8 m×奥行き7.2 mとした。

1週間当りの2次発酵槽投入量は、1次発酵終了後の材料重は投入時の約60%に減少し、かさ密度が $500\text{ kg/m}^3$ になると仮定すると、重量で21 t/週、体積で $42\text{ m}^3/\text{週}$ となる。2次発酵槽の体積は、通気設備を備えた2次発酵槽で1ヶ月間発酵させるとして、 $42\text{ m}^3/\text{週} \times 4\text{週} = 168\text{ m}^3$ の貯蔵容積が必要である。2次発酵槽での投入高さを2.3 mとし、また、1次発酵槽同様に約10%の安全率を与えて幅10.4 m×奥行き7.2 mの寸法とした。ただし、2次発酵の最初の1ヶ月間は、通気設備を備えた槽で発酵させる。また、通気設備を伴わない2次発酵槽では約1ヶ月間発酵させ、その後の3ヶ月間は堆肥貯蔵槽に移動して発酵させる方式とした（図7-6）。

### ii) 堆肥脱臭槽

アンモニア吸着試験の結果、1次発酵槽の1週目と2週目の悪臭を出来上がった堆肥に吸着させるには、1次発酵槽と同様の大きさの吸着槽が2槽必要である。1、2週目の排気をそれぞれの悪臭吸着槽に通気する構造とする。なお、床面の配管は通気量が多くなるので、呼び径65Aの暗渠用コルゲート管を各槽に4本ずつ設置する（図7-7）。

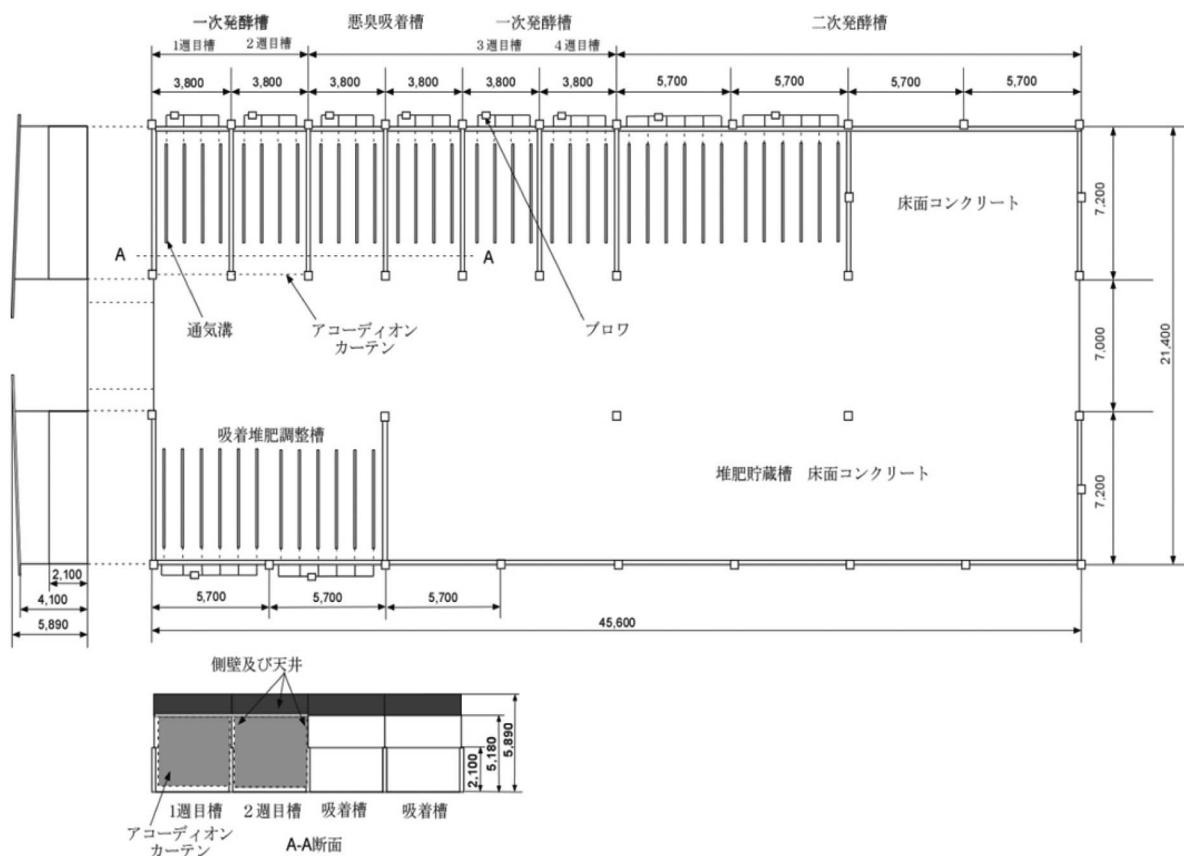


図7-6 施設概要図

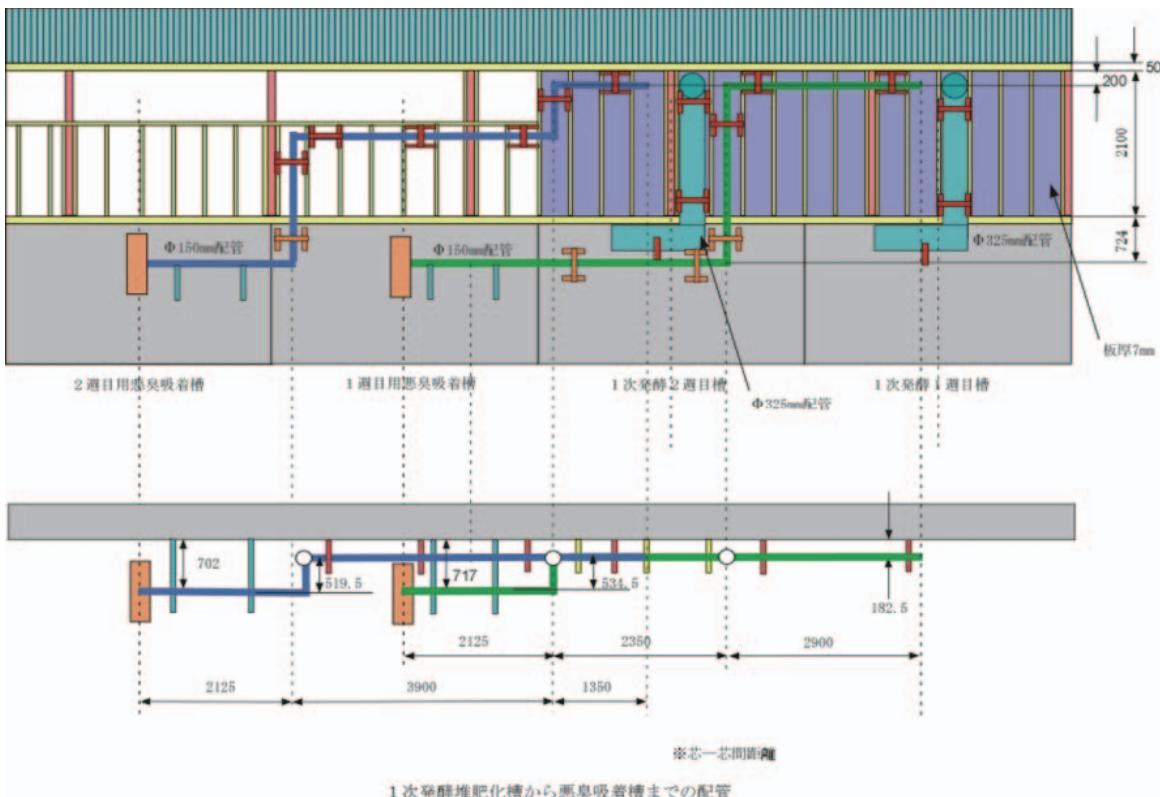


図7-7 発酵槽から吸着槽までの吸引配管例

### iii) 堆肥脱臭システムの高度化

システムは、1次脱臭処理の堆肥脱臭と2次脱臭処理の噴霧装置によって構成される。1回の堆肥化処理量が80 t程度の施設で、2次脱臭用の噴霧装置が1台必要となる。噴霧装置は、溶液をタンクから電動ポンプでファンに圧送し送風空気に噴霧する外置き式で、30万円程度の価格で市販されている。噴霧装置は首振り式で、堆肥脱臭槽の上部空間に向かって噴霧する様に設置する（図7-8）。

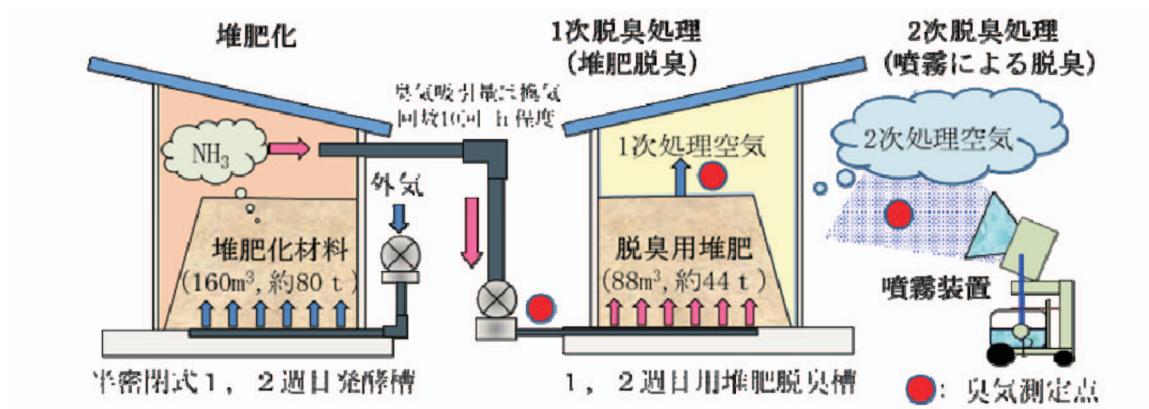


図7-8 高度堆肥脱臭システムの概要

#### ① 2次脱臭処理方法（消・脱臭剤法）

1次脱臭の堆肥脱臭で除去できなかった臭気を、酸・アルカリ溶液を堆肥脱臭槽の上部に向けて噴霧する。噴霧する溶液は0.5%の乳酸水溶液、或いは1%の苦土石灰懸濁液とする。

## ② 1次脱臭効果が不足した際の2次脱臭の効果

1次脱臭（堆肥脱臭）の脱臭効果が不足し堆肥脱臭処理後の臭気の臭気指数が16以上で排出される場合（平均17.3）、2次脱臭によって臭気指数は0.5%乳酸水溶液噴霧で11.6、1%苦土石灰懸濁液噴霧では9.7と、いずれも16以下となる。酸性の乳酸水溶液よりも、アルカリ性の苦土石灰懸濁液を噴霧する方が効果的である（図7-9）。

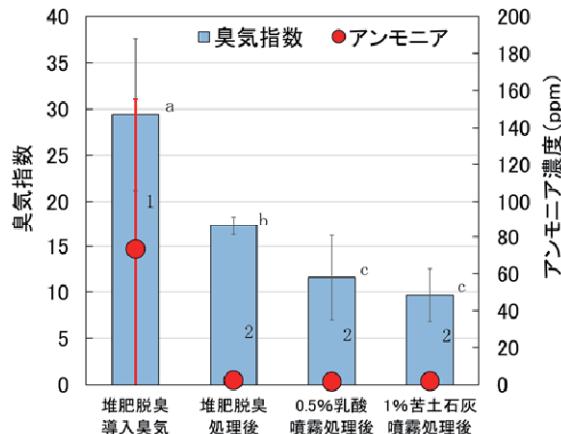


図7-9 堆肥脱臭処理後の臭気強度が3.0(臭気指数16)以上の場合における2次脱臭の効果

臭気指数の異なった英文字間に5%水準で有意差あり。アンモニア濃度の異なった数字間に5%水準で有意差あり。臭気強度：2（何においかわかる弱いにおい）、3（らくに感知できるにおい）、4（強いにおい）養牛業における臭気強度2.5、3.0、3.5に相当する臭気指数はそれぞれ11、16、20

## ③ 2次脱臭経費

噴霧資材価格はL-乳酸（50%濃度）350円/L、苦土石灰360円/20 kg程度で、噴霧装置1台当たりの処理風量77 m<sup>3</sup>/分に対する希釈溶液の噴霧量は約9 kg/hである。1日1台当たり8 h噴霧を行った場合の2次脱臭処理の年間経費は、0.5%乳酸水溶液噴霧で191千円、1%苦土石灰懸濁液噴霧で103千円程度となり、苦土石灰懸濁液噴霧の方が安価となる（表7-10）。

表7-10 乳酸水溶液或は苦土石灰懸濁液を噴霧する2次脱臭経費のまとめ

処理風量 (m <sup>3</sup> /分)	噴霧液	噴霧量 (kg/h)	噴霧装置 減価償却費 (円/年)	電力量料金 (円/年)**	試薬費*** (円/年)	年間経費**** (円/年)
77	0.5%乳酸水溶液	9.1	58,333	39,753	93,232	191,318
	1%苦土石灰懸濁液	9.2	58,333	39,753	4,857	102,943

+ : 開用年数6年、定額法、残存0

++ : 電力量料金22.69円/kWh

+++ : L-乳酸（50%濃度）貰350円/L、苦土石灰360円/20kg

++++ : 噴霧は1日当たり8時間、365日

## ④ まとめ

牛ふんの堆肥化過程で発生する高濃度臭気を低減化する堆肥脱臭に、1%濃度の苦土石灰懸濁液を噴霧する2次脱臭処理を組み合わせると、臭気指数28の元臭が脱臭処理後に12と嗅覚に感じられる臭気の強さは約6割低下し、臭気指数による悪臭規制が導入されている地域での脱臭に利用できる。苦土石灰懸濁液の使用後の残液には苦土石灰の粉末が残るので、再度水に懸濁させて利用する。

## 参考文献

田中章浩：簡易型低コスト糞尿処理施設に関する実証的研究. 畜産環境整備機構, pp. 15-19 (2001)

田中章浩ら：Odor emission control and nitrogen recycling by using adsorption treatment at the pilot scale composting facility. *Journal of Agricultural Meteorology* 60(5), 63 3-636 (2004)

Akihiro Tanaka: Developments of compost deodorization system for composting cattle manure—Stabilization of ammonium nitrogen in compost by adding finished compost and activated sludge-. 農業施設 47(3), 20-27 (2016)

田中章浩ら：臭気指数規制に対応した高度堆肥脱臭システムの開発. におい・かおり環境学会誌 49(3), 168-173 (2018)

## (3) 畜舎バイオフィルターシステム

企業名	ヨシモトアグリ株式会社					
処理方式の区分	生物脱臭方式 (フィルター散水脱臭法)					
問い合わせ先	ヨシモトアグリ株式会社 〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-10-1有楽町ビル5F TEL: 03-3214-1553 FAX: 03-3212-7507 URL : <a href="http://www.yagri.co.jp">www.yagri.co.jp</a>					
施設の概要						
<p>(1) 区分 脱臭装置 (フィルター散水脱臭法)</p> <p>(2) 処理対象 豚舎の排気 (空調システムの一部として)</p> <p>(3) 処理風量 5,200 m<sup>3</sup>/分 豚舎最大換気量に準ずる</p> <p>(4) 施設概要 肥育豚舎から発生する悪臭を捕集、フィルターを担体とした生物脱臭設備</p>						
飼育概要						
<p>(1) 飼養畜種・飼養規模</p> <p>①飼養畜種: 肥育豚 ②飼養規模: 1,200頭 ③ふん尿量: 28.5トン/日</p> <p>(2) 畜舎構造 木造ウインドレス豚舎</p> <p>(3) 畜舎面積 1,284 m<sup>2</sup></p> <p>(4) たい肥化、汚水処理施設の有無</p> <p>①たい肥化処理施設 有</p> <p>②汚水処理施設 有</p> <p>(5) 施設所在地 埼玉県</p>						
施設の設計概要						
<p>(1) フロー図</p> <p>は処理経費欄の建設費に含む施設</p>						
<p>(2) 主機となる設備 ハニカムフィルター、プラスチックフィルター、循環ポンプ、センサ類、循環水槽、換気ファン</p> <p>(3) 施設設置年月日 2016年12月</p> <p>(4) 処理対象 肥育豚舎臭気脱臭システム</p>						

(5)施設システム構成	豚舎の空調システムの一部となっており、2列のフィルター、循環水槽及びコントローラーで空調と連動して制御する。			
(6)付帯施設	該当なし			
(7)施設の特徴	<p>①薬液を使用しないため、廃液処理に関する追加費用の発生はない。</p> <p>②ハニカム構造のフィルターを循環水により常に湿潤状態にし、微生物の脱臭機能を利用して、永続的な脱臭効果が得られる。</p> <p>③施設の管理は、自動化されているため、数ヶ月ごとのフィルター面の掃除、日常点検程度である。</p>			
(8)処理能力	<p>①計画処理風量 夏季MAX5, 200 m<sup>3</sup>/分</p> <p>②計画運転時間 24時間/日</p>			
(9)処理性能	<p>①脱臭排ガス処理目標 豚舎内から排出される粉塵を除去し、排気ファン直下でアンモニア臭気1 ppm以下を目標とする。</p>			
(10)施設設置面積	150 m <sup>2</sup>			
稼働状況(実績)				
(1)施設の稼働実績	<p>①実稼働処理風量 336 m<sup>3</sup>/分 (最低換気量)</p> <p>②稼働時間 24時間/日</p> <p>③年間稼働日数 365日/年</p>			
(2)施設の運転にかかる日常作業	<p>①常勤者 延べ時間 延べ 0 時間/週</p> <p>②非常勤者 延べ時間 延べ 6 時間/週</p> <p>③残さの発生量とその処理 トン/年 散水用の水は循環利用のため発生しない</p>			
分析結果				
アンモニア濃度 (PPM) 粉塵 (mg/ 1 L)				
豚舎内	15	2.22		
ファン直下	0~1	0.15 (94%)		
処理経費				
	千円	備考		
(1)処理施設の建設費 (土木建築、設備機器)				
①施設建設費	21, 000千円 (脱臭施設のみ)			
(2)年間処理経費				
①施設の減価償却費	2, 722千円/年 建築12年定額、設備5年定率			
②維持管理費の合計	1, 080千円/年 電力、消耗品、補償費			
③年償却費と維持管理費の合計	3, 802千円/年			
④製品販売収入	0千円/年			
⑤年間処理経費合計	3, 802千円/年 年償却費+維持管理費-販売収入			

(3) 处理経費原単位等							
①ふん尿処理量 1トン当たり	2,500円/トン						
②出荷豚 1頭当たり	1,400円/頭・年						
技術導入時の留意点							
(1) 排気側に脱臭装置はあるが、舎内で冬期でも散水装置が循環することから、舎内の温度維持が必要。							
(2) ハイブリッドファンを長時間運転する為、厳冬期以外は電気代がかさむ。							
(3) 本装置から排出される余剰水を処理するのに、尿処理施設を併設していること。							
納入実績（当該施設と同一方式）							
秋田県	11箇所	岐阜県	4箇所	埼玉県	2箇所	神奈川県	2箇所
広島県	4箇所	栃木県	4箇所	大分県	5箇所	岩手県	3箇所

#### （4）ロックウール脱臭装置

企業名	パナソニック環境エンジニアリング株式会社	
1. 処理方式の区分		
生物脱臭方式 ロックウール脱臭法		
2. 問い合わせ先		
パナソニック環境エンジニアリング株式会社		
3. 処理対象施設全体の概要		
(1) 施設所在地		
福島県		
(2) 飼養畜種		
乳牛		
糞尿量	27.5 t/日 ※副資材除く	
(3) 畜舎仕様、飼養形態、頭数		
搾乳牛舎	面積	2380 m <sup>2</sup> /棟 3棟 (間口34 m×奥行70 m×軒高6 m)
	飼養形態	フリーバーン
	飼養頭数	160 頭/棟
乾乳舎	面積	1632 m <sup>2</sup> /棟 1棟 (間口34 m×奥行48 m×軒高6 m)
	飼養形態	フリーバーン
	飼養頭数	80 頭/棟
哺乳舎	面積	432 m <sup>2</sup> /棟 1棟 (間口16 m×奥行27 m×軒高3 m)
	飼養形態	フリーバーン
	飼養頭数	100 頭
(4) 堆肥舎仕様		
一次発酵堆肥舎面積	1400 m <sup>2</sup> (間口28 m×奥行50 m×軒高7.5 m ※積高2.5 m)	
二次発酵堆肥舎面積	1680 m <sup>2</sup> (間口28 m×奥行60 m×軒高7.5 m)	
完成堆肥舎	1120 m <sup>2</sup> (間口28 m×奥行40 m×軒高7.5 m)	

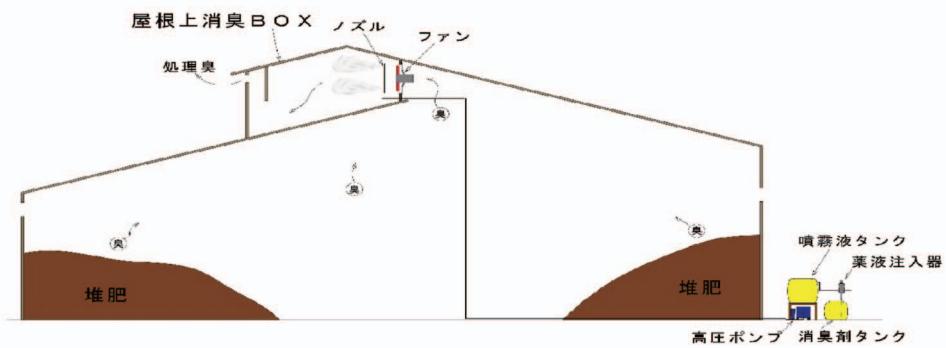
(5) 排水処理施設仕様	面積 86.4 m <sup>2</sup> (間口4.8 m×奥行18 m) 処理量 15 m <sup>3</sup> /日
(6) 飼料庫	面積 874 m <sup>2</sup> 1棟 (間口23 m×奥行38 m×軒高4.7 m)
4. 処理設備の基本仕様	
(1) 商品名・型式	
緊プロ型ロックウール脱臭装置	
(2) 处理対象	
通常式堆肥舎 (畜糞: 乳牛)	
(3) 施設概要	
堆肥化施設から発生する周期を捕集、吸引し、緊プロ型ロックウール脱臭材を用いた脱臭設備に導入して脱臭する施設	
施設規模	設置面積 292.6 m <sup>2</sup> (間口15.4 m×奥行19 m×軒高3.65 m ※機械室除く)
脱臭材料	731.5 m <sup>3</sup> (積高2.5 m)
処理風量	274 m <sup>3</sup> /min ロックウール接触速度 25 mm/s ロックウール接触時間 100 s
散水量	20 ℥/m <sup>2</sup> (ロックウール1m <sup>2</sup> に対し)
運転時間	プロワ 24 時間/日 散水ポンプ 10 分/日
その他	フリーバーン牛舎堆肥化施設
(4) フローシート	

(5) 主要な設備	ロックウール脱臭材、ロックウール脱臭槽、臭気プロワ、脱臭プロワ、散水ポンプ 散水ノズル、排水ポンプ									
(6) 施設稼働年月日	2015年6月									
(7) 施設の特徴	<p>①ロックウールは腐食、変質がなく、長期利用が可能です。</p> <p>②脱臭は微生物がアンモニアを分解し生育することで行われています。 従って脱臭菌群の補給、添加は不要です。また脱臭時の余剰水は循環利用するため排水による土壤汚染を防止することが可能です。</p> <p>※半年に1回程度、循環水槽の水を入れ替えることで長期利用が可能です。</p> <p>※余剰水は季節により変動があります。</p> <p>③通気性の良いロックウールを主材料としており、従来の土壤脱臭システムと比べ1/5の設置面積となります。</p> <p>※半年に1回程度、ロックウールをほぐすことで長期利用が可能です。</p> <p>④脱臭に使用する機械設備は臭気プロワ、脱臭プロワ、散水ポンプ、排水ポンプのみであります、ランニングコストは電気代がほとんどです。</p> <p>また脱臭菌群の管理の必要がないため、メンテナンスは機械設備のみとなります。</p>									
(8) 処理性能	<table> <tr> <td>脱臭設備入口の臭気濃度</td><td>200 ppm以下 (アンモニア)</td></tr> <tr> <td>脱臭設備出口の臭気濃度</td><td>5 ppm以下 (アンモニア)</td></tr> </table>	脱臭設備入口の臭気濃度	200 ppm以下 (アンモニア)	脱臭設備出口の臭気濃度	5 ppm以下 (アンモニア)					
脱臭設備入口の臭気濃度	200 ppm以下 (アンモニア)									
脱臭設備出口の臭気濃度	5 ppm以下 (アンモニア)									
5. 施設の稼働状況										
(1) 施設の稼働実態	<table> <tr> <td>①実稼働処理風量</td><td>304 m<sup>3</sup>/min</td> <td>4. (3) 処理風量と同じ</td> </tr> <tr> <td>②稼働時間</td><td>24 時間/日</td> <td>4. (4) 処理風量と同じ</td> </tr> <tr> <td>③年間稼働日数</td><td>365 日/年</td><td></td> </tr> </table>	①実稼働処理風量	304 m <sup>3</sup> /min	4. (3) 処理風量と同じ	②稼働時間	24 時間/日	4. (4) 処理風量と同じ	③年間稼働日数	365 日/年	
①実稼働処理風量	304 m <sup>3</sup> /min	4. (3) 処理風量と同じ								
②稼働時間	24 時間/日	4. (4) 処理風量と同じ								
③年間稼働日数	365 日/年									
(2) 施設の運転に関わる日常作業量	<table> <tr> <td>①常勤者 延べ時間</td><td>8 時間/日</td> </tr> <tr> <td>②非常勤者 延べ時間</td><td>6 時間/日</td> </tr> </table>	①常勤者 延べ時間	8 時間/日	②非常勤者 延べ時間	6 時間/日					
①常勤者 延べ時間	8 時間/日									
②非常勤者 延べ時間	6 時間/日									
(3) 排水、残滓の発生量とその処理	散水用の水は循環利用ですが、半年に1回程度入れ替えるのが望ましい。									
6. 処理性能	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) 発生源：堆肥 アンモニア臭</li> <li>2) 処理風量：304m<sup>3</sup>/min at20°C</li> <li>3) ガス温度：Max40°C以下 Min10°C以上</li> <li>4) 相対湿度：常時100% R H</li> <li>5) ダスト風量：微量</li> <li>6) 入口圧力：吸引口にて-50mm A q 以上</li> <li>7) アンモニア組成 アンモニア濃度平均 200 ppm以下</li> </ol>									

7. 処理経費			
(1)処理施設の建設費	90,000 千円	建築・土木・設備含む	
(2)年間処理経費			
①施設の減価償却費	5,250 千円/年	建築・土木20年、設備15年耐用	
②維持管理費の合計	500 千円/年	電力・消耗品・補修費	
③年償却費と維持管理費の合計	5,750 千円/年		
④製品販売収入	0 千円/年		
⑤年間処理経費合計	5,750 千円/年		
(3)処理経費原単位等			
①糞尿処理量1tあたり	391 円/t		
②飼養家畜頭数あたり	13 円/頭・年		
8. 導入にあたっての留意点			
①堆肥化する原料により脱臭対象容積の換気回数を変える必要があります。 ②原臭濃度、温度により希釈して脱臭設備に導入する必要があります。 ③散水用の水は基本的に循環使用ですが、半年に1回程度入れ替えるのが望ましい。 ④悪臭除去を目的としており、堆肥舎内の蒸気（湯気）や結露水の改善策ではありません。 ⑤好気性発酵による臭気が対象であり、嫌気性発酵臭気には対応しておりません。			
9. 納入実績			
	畜種	所在地	処理風量
①	肉用牛	茨城県	44 m <sup>3</sup> /min
②	肉用牛	鹿児島県	450 m <sup>3</sup> /min
③	肉用牛	長野県	200 m <sup>3</sup> /min
④	乳用牛	愛知県	10 m <sup>3</sup> /min
⑤	肉用牛	宮城県	330 m <sup>3</sup> /min
10. 適用可能畜種			
牛			

## (5) 細霧脱臭

企業名	中国工業株式会社
処理方式の区分	細霧式消臭装置
問い合わせ先	中国工業株式会社 施設機器部 〒737-0192 広島県呉市広名田1-5-5 TEL : 0823-72-1615 FAX : 0823-70-0019 <a href="http://www.ckk-chugoku.co.jp/">http://www.ckk-chugoku.co.jp/</a>
施設の概要	
<p>(1) 区分 細霧式消臭方式</p> <p>(2) 処理対象 堆肥化装置の排気、堆肥舎の排気</p> <p>(3) 処理風量</p> <p>①消臭BOX = <math>1,248 \text{ m}^3/\text{分}</math> (ファン最大能力)</p> <p>②屋根上消臭BOX = <math>2,184 \text{ m}^3/\text{分}</math> (ファン最大能力)</p> <p>(4) 施設概要</p> <p>堆肥化装置から排気される悪臭に対し、消臭BOX内で外気を取り入れながら水又は消臭剤を噴霧し消臭する。</p>	
飼育概要	
<p>(1) 飼育畜種・飼養規模</p> <p>①飼育畜種 = 肥育豚</p> <p>②飼養規模 = 母豚1500頭</p> <p>(2) 堆肥舎構造</p> <p>(3) 堆肥舎寸法 W23 m × L50.4 m × H11.3 m</p> <p>(4) 堆肥化、汚水処理施設の有無</p> <p>①たい肥化処理施設 有</p> <p>②汚水処理施設 有</p> <p>(5) 設置所在地 東北地方</p>	
施設の設計概要	
(1) フロー図	
<p>①消臭BOX</p>	



②屋根上消臭 B O X

(2) 主機となる設備

- ①ポンプ 方式：プランジャー式高圧ポンプ  
材質：主に真鍮  
特徴：7 MPaまでの高圧噴霧可能
- ②配管 方式：高圧用樹脂配管  
材質：ナイロン  
特徴：自由に敷設可能で施工が容易
- ③ノズル 方式：1流体ノズル  
材質：真鍮、ステンレス（先端）  
特徴：構造がシンプルで取り扱いが容易  
吐出量：約2.1 L/h (圧力4 MPa時)  
細霧径：5~10 μ (メーカー参考値)
- ④噴霧リング 方式：パイプ曲げ加工品  
材質：ステンレス  
特徴：リングを使用する事で集中的に噴霧する事が可能  
：排気用ファンから排出される臭気に対し、効率よく  
噴霧させることが可能  
：サイズは5種類あり、ファンの大きさに合わせ選択
- ⑤電磁弁 方式：間欠運転用開閉具  
電圧：200 V
- ⑥フィルター 方式：糸巻きフィルター  
材質：ケース=樹脂
- ⑦タンク 方式：ローリータンク  
材質：ポリエチレン（黒）
- ⑧薬液注入器 方式：水圧作動式  
材質：樹脂

(3) 施設設置年月日 2011年6月

(4) 処理対象 堆肥化装置、堆肥舎

(5) 施設システム構成 排気用ファンの稼働にポンプを連動させ細霧を噴霧する。  
噴霧量は連続又は間欠運転で調整する。

(6) 付帯設備 該当なし

(7) 施設の特徴①細霧は4～7 MPaの超高圧ポンプを使用する事で消臭液が微細霧になり、悪臭と効率よく接触させることが可能 ②微細霧の噴霧を間欠運転させることで使用水量を制御 ③ノズルは排気ファン1対象ヶ所につき、リングを1台設置し、最大15個まで取り付けが可能 ④消臭BOXを設置する事で風雨に影響なく、水や消臭剤と悪臭を接触させることが可能
(8) 処理能力①計画処理風量 消臭BOX=MAX1, 248 m <sup>3</sup> /分 屋根上消臭BOX=MAX2, 184 m <sup>3</sup> /分②計画運転時間 臭気の状況により稼働
(9) 処理性能 消臭排ガス処理目標 臭気軽減
(10) 施設設置面積 消臭BOX=6.3 m×5 m=31.5 m <sup>2</sup> /1BOX 屋根上消臭BOX=3.6 m×3 m=10.8 m <sup>2</sup> /1BOX

稼働状況
------

## (1) 施設の稼働状況

- 臭気の状況により都度稼働 (2) 施設の運転にかかる日常作業  
 ①常時 延べ時間 1時間未満／週 (手動によるON・OFF)  
 ②非常時 延べ時間 1時間／週 (ノズル・フィルターのメンテ)  
 ③残さの発生とその処理 特になし

分析結果
------

## アンモニア濃度(ppm)

脱臭槽内 200
消臭BOX出口 19

処理経費
------

## (1) 処理施設の建設費 (設備機器)

概算6,000千円 (ポンプ、ファン、タンク、配管、リング、ノズル他、設置工事)

## (2) 年間処理経費

- ①設備の減価償却費 857千円/年 (設備7年耐用で想定)  
 ②維持管理費 (8 h/日稼働) 403千円/年 (電気のみ、水は井水利用)  
 ③年償却費と維持管理費の合計 1,260千円/年  
 ④製品販売収入 0千円/年  
 ⑤年間処理経費合計 1,260千円/年

## (3) 処理経費原単位等 出荷頭数1頭当たり 31.5円/頭・年

技術導入時の留意点
-----------

- (1) 使用する水量の確保  
 (2) 水質により、ノズルが詰まる可能性がある。特に井戸水は確認が必要  
 (3) 冬場の凍結対策  
 (4) 腐食性の高い消臭剤を使用する場合、耐食仕様の機器選定が必要  
 (5) ノズル、ろ過フィルターの詰りがないか、管理が必要

納入実績 (当該施設と同一方式)
------------------

東北地方 19箇所 関東地方 2箇所 中国・四国地方 4箇所  
 九州地方 3箇所

## 第8章 日本型悪臭防止最適管理手法（日本型BMP）

臭いの苦情は人の感覚（嗅覚）によって不快臭と感じたときに発生するが、臭気による苦情は立地条件や社会的条件などに左右されることが多く、まずは発生源から臭気を出さないようにすることが第一である。そのためには臭気を発生させないように飼養管理を徹底するとともに、周辺地域への配慮等についても不可欠な要因となっている。

これまで畜産経営に起因する臭気の苦情に対し、臭気の発生抑制技術、脱臭技術、地理的要因、社会的要因などを考慮しながら苦情発生の原因究明とその対処法に取り組んできたが、体系的にまとめた取り組みがなされていなかった。当機構では、米国農業生物工学会、州立大学の普及機関、州の環境部局、養豚の生産団体の4つの組織から発行されている悪臭対策に関する悪臭防止最適管理手法（Best Management Practices）を参考に、わが国の畜産経営状況に沿った日本型の悪臭防止最適管理手法としてとりまとめ、「日本型悪臭防止最適管理手法（BMP）の手引き」（2017年3月）として刊行した。同書は畜産環境技術研究所のホームページ

<http://www.chikusan-kankyo.jp>

に記載されており、無料でダウンロードできる（図8-1）。日本型BMPと米国の代表的なBMPの比較表を表8-1に記した。また、【参考資料】として米国の文献資料の要約を載せた。

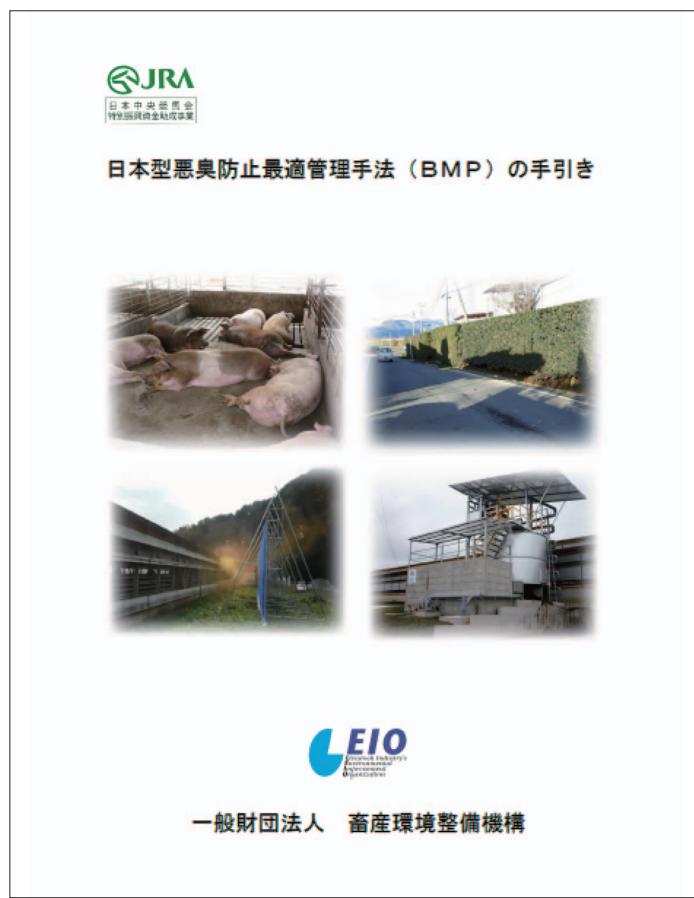


図8-1 日本型悪臭防止最適管理手法（BMP）の手引き

表8-1 米国の代表的BMPの整理と日本型区分の比較

BMP文献 日本型区分	①米国農業生物 工学会(ASABE)	②アイオワ州立大学	③初ラカ州環境局	④全米豚肉委員会
(1)畜舎 畜舎構造 密閉型畜舎 開放型畜舎 清掃、クリーブ ふん尿除去 家畜体表面 敷料 ダスト フィルター 油散布 防風壁 防風林 造園 飼料給与 セットバック距離 添加資材 飼料調製	a. ふん尿除去 (水洗、クリーブ、ブループラグ法等) b. クリーンで乾燥 (家畜体表面、床面、器具装置) c. ダストは悪臭物質のキャリア d. 換気をクリーニング、ダスト除去 e. 排気の脱臭装置 f. ダストない飼料給与 g. セットバック距離 h. 風向 i. フィートロットの地表面のふん尿水分 j. 飼料調製 k. 添加資材	a. 悪臭物質はダストで運ばれる b. ダスト発生防止 c. 機械式フィルター d. バイオフィルター(低コスト) e. 不透過性障壁 (ウインドブレーカー・ウォール、防風壁) f. 油散布(低成本) g. 造園 (透過性フィルター) h. 飼料調製 (低タンパク飼料、ペーパーミント、大麦の発酵飼料)	a. 床を清掃、乾燥、ふん尿の嫌気性分解を防ぐ b. 清掃可能でダストの貯まらない材質 c. ダスト発生防止 d. 排気ファンの清掃、性能管理 e. 添加資材 (ISU, NCSUなど州立大の基準) f. ふん尿の搬出 g. 汚水は攪拌せず h. 防風林 i. バイオマスフィルター j. 飼料調製 k. 油散布	1. 排気対策 a. 悪臭を吸着したダストのフィルターによる除去 b. バイオフィルター c. チムニー(煙突型換気口) d. ウィンドブレーカー・ウォール(防風壁) 2. 油散布 (ダスト除去) 3. 造園 (防風林、植栽緩衝帯) 4. 添加資材 5. 飼料調製 (低タンパク飼料)
(2)運搬・貯留・ 処理施設 固液分離 堆肥化 活性汚泥法 嫌気性ラグ→ 嫌気性消化法 (メタン発酵法) #バード(被覆) エアレーション 添加資材	a. 乾燥 b. 固液分離 c. 消毒・殺菌 d. エアレーション e. 嫌気性消化法 f. 堆肥化 g. カバー(被覆) h. 嫌気性ラグ(ASAEガイドライン) i. 植樹 j. 景観	a. 不完全な嫌気性分解で悪臭発生 b. 固液分離 c. 嫌気性消化法 d. 添加資材 e. 不透性カバー f. 透過性カバー g. エアレーション h. 堆肥化 i. 乾燥ふんで貯留	a. ふん尿量に見合った施設規模 b. 嫌気性ラグ→ c. 投入時に水張り d. 暖季に運転開始 e. 抗菌剤使用せず f. ジオメンブラン・カバー g. バイオカバー h. エアレーション i. 嫌気性消化法 j. 固液分離 k. 堆肥化処理	a. 添加資材
(3)施用 施用量 施用方法 施用のタイミング	a. 農地施用量 b. 養分管理計画 c. 施用後の鋤込み d. ソイルインジェクション e. エアゾル発生防止 f. 地表面近く散布 g. イヤゲーション h. 施用時期 (風向、朝)(週末や休日避ける)	a. ソイルインジェクション b. 鋤込み c. イヤゲーション d. 添加資材 e. 施用のタイミング (短時間に回数多、計画通告、春秋、風向、昼)(休日避ける)	a. 低圧力で散布 b. 地表面近く散布 c. 午前8時~午後3時に散布 d. 風向 e. 高温・高湿日、週末、休日は禁散布 f. 土壌注入 g. セットバック距離	
(4)脱臭方法・ 装置 フィルター バイオフィルター スクラバー 消・脱臭剤 活性汚泥法 オゾン	a. ダスト除去フィルター b. 活性炭フィルター c. 乾式・湿式スクラバー d. 消・脱臭剤 e. オゾン反応槽 f. バイオフィルター	a. 機械式フィルター b. バイオフィルター c. 造園 (透過性フィルター)	a. バイオマスフィルター b. 他産業の悪臭低減技術の適用(コスト高) (活性汚泥法、オゾン処理、湿式スクラバーなど)	a. ダスト除去フィルター b. バイオフィルター

## 【参考資料】

悪臭対策の日本型最適管理手法（日本型BMP）を開発するにあたって、米国の学会、州立大学の普及機関、州の環境部局、養豚の生産者団体の4つの組織から発行されている悪臭対策に関する文献資料を参考にした。その要約を以下に示す。

### 1. 米国農業生物工学会 (ASABE American Society of Agricultural and Biological Engineering) 発行：「ふん尿の悪臭対策」(Management of Manure Odors, ASAE EP379.4 JAN2007) の要約

#### 1) 目的と範囲

- (1) 悪臭の研究は絶えず進行しているので、現状で入手可能な知識に基づき対策方法を決める。
- (2) 畜産農家の悪臭を完全に除去することは経済的に不可能である。しかし、本資料で取り上げた最適管理手法 (Best Management Practices、BMP) を活用することによって対策が可能である。
- (3) BMPを活用する対象者は、汚染対策の技術者及び担当者、土地利用計画担当者、畜産農家などである。

#### 2) 標準的な文献資料

- ・家畜ふん尿処理利用のための嫌気性ラグーンの設計 (ANSI/ASAE EP403.3 FEB04(1998))
- ・臭気及び味覚の閾値測定の標準的実施方法 (ASTM E679-91 (1997))
- ・超閾値臭気強度を参考にした標準的実施方法 (ASTM E544-99 (2004))

#### 3) 悪臭の発生源の特定

- (1) 畜産業における悪臭の発生はふん尿処理・利用と関係している。悪臭の主な発生源は、開放型畜舎、ふん尿の収集・運搬・貯留・処理施設、畜舎の床面、家畜の体表面、飼料給与・貯蔵施設、家畜死体の貯留・処理施設、ふん尿を施用した農地などである。
- (2) ふん尿から悪臭物質が発生し、臭いと感じる人の所にその悪臭物質が到達して悪臭を感じる。悪臭物質が発生する条件には、悪臭物質の性質、温度、ふん尿表面の空気の動きなどが関係している。
- (3) 悪臭物質はふん尿が嫌気的に分解して発生し、150種類以上の悪臭物質が見つかっている。
- (4) 悪臭を感じる頻度 (frequency)、強度 (intensity)、持続時間 (duration)、不快度 (offensiveness) の4つが重要な因子である。

#### 4) 悪臭の濃度及び強度の測定方法 [省略]

#### 5) 悪臭の発生に対する技術

##### （1）家畜ふん尿から発生する悪臭化合物と処理方法

悪臭物質は嫌気的条件における微生物の分解生成物である。代表的な処理方法を以下に示す。

###### ①乾燥処理

エネルギーコストがかかって実用的ではないが、ふんの水分が50%かそれ以下になると、ふんは多孔質になって通気性がよくなり嫌気的分解が起きなくなる。

###### ②液状ふん尿の固液分離

悪臭の発生を低減できる。分離した固形物は乾燥処理、堆肥化、他の処理によって悪臭の発生や、ハエの繁殖を防ぐ。

###### ③消毒・殺菌

ふん尿中の微生物を殺し、嫌気的分解を防ぐ。塩素、過酸化水素、オゾン、その他化学的消

毒剤が消毒に利用されてきた。

#### ④エアレーション（曝気 ばつき）

嫌気的分解を防ぎ、悪臭の発生対策が可能である。曝気槽を用いた完全混合曝気法と、ラグーンを用いた長時間表面曝気法の2種類の処理方法がある。

#### ⑤嫌気性消化

密閉槽内でふん尿の有機物を安定化することができる。

#### ⑥堆肥化

固形状のふんを悪臭が少ない状態に安定化させることができる。堆肥化初期にはアンモニア発生量が多いが、後熟期や農地施用時の悪臭が極めて少ない。

(2) 多種類の悪臭低減資材が市販され、マスキング材、中和剤、脱臭剤、吸着剤の4つのタイプに分類できる。

(3) 家畜のアミノ酸要求量でバランスをとった飼料を給与すると、新鮮ふん尿の初期の悪臭を変えることはできるが、長期間では問題解決にならない。ふん尿が一度でも嫌気的条件になると悪臭が発生する。

(4) 以上、色々な悪臭減技術を利用することができるが、適用するにあたってコストの問題がある。悪臭苦情が起きるのは、本来的にふん尿処理施設自体の問題もあるが、維持管理が悪いこともある。畜産経営者、ふん尿処理施設の維持管理を改善し、悪臭問題を解決する技術を実行する必要がある。

### 6) 畜産農家の臭気対策

#### (1) 家畜ふん尿の悪臭に対する苦情

悪臭を感じる頻度、強度、持続時間、不快度の4つについてはBMPを適用することによって対処できる。

また、近隣の人たちが畜産農業を高く評価し、苦情にならないことも重要である。

#### (2) 立地条件

①近隣の住居や公共施設と畜産農家との距離を適切に保つ必要がある。このセットバック距離を決めるもっとも良い方法は、信頼性の高いコンピューターモデルやツールを用いることである。

②年間風向時間予報データは、近隣の住居、職場、施設に悪臭が届くのを低減することに役立つ。大気の状態が静かな日や寒い夜には悪臭が下方へ移動するので、近隣の住居や公共施設よりも低いところに家畜飼養施設を設置する方がいい。

#### (3) 畜舎とフィードロット（家畜飼養場）

畜舎やフィードロットの悪臭はふん尿が分解して発生する。家畜の体表面、床面、器具・装置などを清潔に乾燥した状態に保つことが、悪臭低減につながる。

ダストは悪臭を高濃度に吸収し運搬する。家畜、飼料、ふん尿からのダスト生成を最小限にし、換気やダスト除去によって悪臭低減の効果がある。

①ダストを除去するためには、フィルターや静電式集じん機を用いる。ガス洗浄のためには、活性炭フィルター、乾式または湿式スクラバー、消・脱臭剤、オゾン反応器、バイオフィルターなどを用いる。ダスト発生の少ない飼料給与方法や、低速再循環ファンを用いることによって畜舎のダストレベルを下げ悪臭低減につながる。

②家畜を清潔に保つように、ふん尿を家畜から分離するスノコ床やフリーストールシステムを適切に設計・操作する。家畜の体表面がふん尿で汚れると細菌類が急激に増殖し、悪臭の発

生と拡散が起こる。

- ③畜舎からふん尿を除去すると、畜舎内の悪臭の発生は低減できるが、舎外のふん尿貯留施設や処理施設からの悪臭発生が増加する可能性がある。
- ④飼料給与施設は乾燥した状態を保ち、飼槽や水飲み場の周辺の飼料の食べ残しは最小限にする。
- ⑤フィードロットのふんの水分は25～40%に管理する。排水と乾燥を促進するために、傾斜度3～6%で、日当たりの良い南または西向きの場所を選定する。ふん及び汚水の収集・貯留システムは適切に設計・操作することによって悪臭も低減される。ダスト低減は重要な悪臭低減方策になる。
- ⑥家畜の死体は畜産現場から24時間以内に搬出する。レンダリング・サービスが利用できるところでは、そのサービスが望ましい。地域の規制によっては、埋設や堆肥化が可能である。焼却は大気汚染の関係で薦められないが、地域あるいは州の規制で許されている。

#### (4) ふん尿の貯留施設と処理施設

##### ①貯留ふん尿の表面を被覆（カバー）

貯留ふん尿の表面から揮散する悪臭を低減するために表面を被覆する。被覆に用いる材料は、プラスチック・フィルム、コンクリート、ふんのスカム、ピートモスなどである。完全に密閉する場合には、ふん尿から発生するガスの圧力を抜くためのガス抜き口が必要である。抜いたガスには悪臭があるので、オゾン処理やバイオフィルターなどによって悪臭を除去する。

##### ②嫌気性ラグーン

嫌気性ラグーンは、地域の地理的、気象的条件に沿って設計し、有機物負荷、pH、塩類濃度、水深など適切な条件で操作する必要があり、詳細は米国農業工学会発行のASAE EP403.3「家畜ふん尿処理利用のための嫌気性ラグーンの設計」を参照する。

ラグーンの規模は、ふん尿の最大量の有機物負荷を基本として設計する必要がある。有機物負荷がオーバーするとラグーンの中の微生物反応のバランスが崩れ、悪臭が発生する。

##### ③風下に植樹

樹林は悪臭化合物を吸着し、空気の流れを樹の上方へそらすことによって、悪臭が近隣へ移動することを防ぐ。植樹は景観上も効果がある。

#### (5) 農地施用

ふん尿を農地施用するメリットは、土壤構造の改良、浸透性の向上、養分リサイクル、土壤侵食の防止などである。農地施用量は連邦もしくは州の養分管理計画に関する規制に一致するものでなければならない。

土壤は優れた悪臭吸着材である。ふん尿を農地施用したときの悪臭低減手法を次に示す。

- ①ふん尿を土壤に鋤込むことは悪臭の低減に効果がある。土壤に注入（ソイルインジェクション）したあと、2.5～5 cmの土壤で被覆する方法、根の深さまでさき込む方法は養分を保全し地表水の汚染を低減する。
- ②ふん尿の表面散布には、エアロゾル（微粒子）の発生が少ない低弾道散布装置またはバンド施用技術を用いて、できるだけ地表面近くに散布する。
- ③良好に処理されたラグーンからポンプアップした液状ふん尿をスプリンクラー・システムでイリゲーション（灌漑、灌水）する場合、悪臭を低減するには蒸発ロスを最小限にする。
- ④適切な施用時期を選ぶことが重要である。住宅地や公共施設地域に向かって風がふくときに

は、ふん尿の散布は避ける。屋外レクリエーション活動に人々が参加する週末や祝日やその直前には、ふん尿の施用を避ける。午後遅くよりも、大気が暖まり上昇気流となっている朝にふん尿を散布・施用する。風が吹いて臭気を拡散・希釈し、ふん尿を乾燥させるように散布する。

## 2. アイオワ州立大学 (Iowa State University) の普及部門 (Extension) 発行：「畜産業から発生する悪臭の低減方法」(Practices to Reduce Odor from Livestock Operations) の要約

畜産業に関する悪臭対策は、畜舎、ふん尿貯留施設、施用農地で行われる。悪臭対策技術について長所と問題点、経営評価と経済的側面から対策技術の選択情報を提供する。

### 1) 畜舎の悪臭低減方策

畜舎の悪臭は風下の近隣の民家に達する。悪臭物質はダストで運ばれるので、ダストを発生させない畜舎管理に重点を置く。

#### (1) 機械式フィルターとバイオフィルター

悪臭はダストに付着して運ばれる。機械式フィルターによって、畜舎から出る5~10 μmのダストの45%、10 μmのダストの80%がトラップされる。機械式フィルターによって、悪臭の濃度を40~70%低減する。

バイオフィルターは機械式フィルターよりも低コストで効果がある。700頭の分娩・離乳豚舎において、バイオフィルターのコストは30円/出荷子豚であり、3年で償却できる。

バイオフィルターの内部に悪臭物質を分解する好気性細菌が生育するために酸素濃度、温度、反応時間、水分含量を適正に保つ。28.3 m<sup>3</sup>/分の排気を処理するバイオフィルターは18,000~24,000円と低コストである。

#### (2) 不透過性障壁（遮蔽壁）

ダストの流れを止めるために防風壁を利用する。防風壁を3.048 m × 3.048 mのパイプ枠に防水シートを貼って作成し、肥育豚舎の端の排気ファンのすぐ風下に設置する。交換時期は、材料にもよるが、2、3年から数10年間に及ぶものもある。

#### (3) 油散布

ミネソタ州の研究では悪臭の40~70%を除去できた。硫化水素は40~60%除去できたが、アンモニアは効果がなかった。安全上の問題として滑りやすくなる。植物油のコストは最小である。

#### (4) 造園

樹木や灌木は、バイオフィルターの役割を果たす。3,000頭規模の去勢肥育豚舎に割高な3,000円の樹木を植えると、肥育豚1頭当たり年間81.6円かかる。5%、20年の減価償却とすると、肥育豚1頭当たり10.8円かかることになる。美的好感を与える付帯効果もある。

#### (5) 飼料調製

飼料の粗蛋白濃度を減らし、結晶アミノ酸を使って、悪臭の臭気強度を低減する。豚と乳牛の研究では、血粉を高濃度に含む飼料のときに臭気強度が増加する。ペペーミントを添加すると悪臭が改善した。大麦の発酵した飼料はソルガムに比較して25%臭気強度が改善された。

## 2) ふん尿貯留施設における悪臭低減方策

悪臭は、貯留ふん尿が嫌気的に不完全分解した結果発生する。

### (1) 固液分離

分解しにくく粗大固形物を除去することによって、残りの貯留物の分解反応が改善され、貯留施設からの悪臭の発生（臭気強度と悪臭物質の濃度）が低減される。スノコ床下にフィルター・ネットを設置し、ネット上の固形物を毎日除去すると、豚舎の悪臭を50%低減できた。機械式の固液分離機の設備投資には1,800,000～12,000,000円かかる。

### (2) 嫌気性消化法（メタン発酵法）

嫌気性消化法によってふん尿の有機物を悪臭の少ない化合物に完全分解する。消化槽は閉鎖系なので、大気への悪臭の放出を防ぐ。滞留時間20日間の消化槽を用いた場合、乳牛ふん尿の臭気強度を50%低減した。

一般的には、大きな建設コストを要する考えられているが、ある見積もりでは嫌気性消化法が大規模でも経済的に可能なことが明らかになっている。予算例として、メタンガスを捕集してエネルギー源として利用した場合、乳牛1頭当たり年間3,720円の純収入がある。

### (3) 添加資材

濃度の薄いふん尿処理システムにおいて、補助的に細菌や酵素を添加することによって、処理速度を高めることができる。スラリーや固形物システムよりも薄い濃度のシステムのほうが、酵素や化学物質の添加が悪臭の低減に、より大きな効果がある。

ラグーンにおいて、悪臭のレベルと嫌気性光合成細菌の存在量との間に直線的な関係がある。ラグーンの表面がピンクのバラ色に見えたときは、その細菌がいる。

入手可能な多くの市販資材の作用機序については不明だが、いくつかの酵素は悪臭物質を悪臭の少ない最終生成物に分解することを促進する。

### (4) 不透過性カバー

ふん尿貯留施設から大気への悪臭物質の移動を防ぐ。悪臭除去効率は70～85%であり、表面を不透過性カバーで完全に被覆すれば90%に上る。ポリエチレンカバーのコストは設置費込みで一般的に1,300～1,800円／m<sup>2</sup>である。使用期間は10年とされている。

### (5) 透過性カバー

透過性カバーであるバイオカバーは、ふん尿貯留施設の表面でバイオフィルターの役割を果たす。カバーとして使用する材料は、麦ワラ、トウモロコシ茎、ピートモス、発泡プラスチック、不織布、人工熔融岩石などである。

バイオカバーの中に好気性微生物が生育し、悪臭物質を分解する。麦ワラを利用したときの悪臭除去率は40～50%である。浮上性マットやコルゲート資材（波形資材）を利用したときには85%の悪臭除去率が記録されている。バイオカバーのコストは用いる材料や使用方法によって大きく異なる。ミネソタ州では3.2 mmの不織布資材を適用した場合323円／m<sup>2</sup>の設置費がかかる。ふん尿の表面をカバーする厚みは、最低でも20.3 cm、できれば25.4～30.5 cmある。設置後4カ月で50%の麦ワラしか残らないため、新しい資材を、少なくとも毎年使用する必要がある。

### (6) エアレーション

悪臭物質は不完全な嫌気的環境で発生するので、好気的環境を維持することによって悪臭を防ぐことができる。

ふん尿スラリーや薄い濃度のふん尿に対して機械式エアレーターを利用することによって、

十分に悪臭を除去できる。しかし、設備投資と運転経費が出荷豚1頭当たり120～480円かかる。エアレーションによって、悪臭は効率的に除去されるが、アンモニア揮散は増加する。

#### (7) 堆肥化（コンポスト化）

堆肥化は好気的環境でふん尿を処理するので悪臭対策になる。しかし、堆肥化には高水準の管理技術が必要である。炭素窒素比のバランスを維持するために、副資材（新聞紙、ワラ、ウッドチップなど）を添加する必要がある。アンモニア揮散対策には注意しなければならない。堆肥化施設は雨水による浸出水を防ぐためにカバーをしなければならない。堆肥化は家畜ふん固形物を処理するには良い方法である。

#### (8) 乾燥ふんの貯留

オープンロット（開放型家畜飼養施設）では、ダストと浸出水対策によって施設からの悪臭対策ができる。

水はけを良くし、畜産経営者は不要な水を使わないようにするオープンロットとして利用していた肉牛・乳牛施設を、踏み込み牛舎として利用する場合の悪臭対策は、牛床を良く管理し乾燥した状態に保つ。このシステムの管理方法、必要とされる敷料、各種敷料の吸着能力などのガイドラインが入手可能である（参考文献：家畜ふん尿処理施設ハンドブック、アイオワ州立大学 MWPS-18, 1993）。

### 3) 土地施用時の悪臭低減方策

#### (1) ソイルインジェクション（土壤注入）と鋤込み

ふん尿の表面施用後、ただちに土壤に注入あるいは鋤込むことは、悪臭を防ぐ手段として最良である。土壤注入のコストは、液状ふん尿を運搬し散布するコストで約0.1円/Lである。アイオワの圃場試験の結果では、表面散布に比べて土壤注入は50～75%の悪臭低減があった。

#### (2) 灌溉

ピボット灌漑システムは、風下に向けての悪臭発生源である。ノズルをできる限り立ち上げを低く、圧力を低くする。点滴法システムで灌漑散布したときは、ふん尿の悪臭対策ができる。天蓋に近いところでスプレーし、適切な位置にノズルを置き、均一な養分が散布できるようにする。

#### (3) ふん尿添加資材

ふん尿施用時に悪臭を低減する添加資材はない。資材のコストは、単位重量当たりのコストと同じように、施用量や施用頻度についても算入される。

#### (4) 施用のタイミング

施用のタイミングは悪臭対策の観点から、短い時間で回数多く散布するほうが望ましい。

春または秋にふん尿を散布し、近隣の住民への悪臭が最小限となるように計画する。休日には散布を避け、風向きに注意し、住民が風下に住んでいる場合、できる限り短時間で散布する。

ふん尿の散布計画を近隣の住民に通報することもまた重要である。真昼は気流の乱れがあるので悪臭が拡散しやすいが、気流の安定した夕方早くにふん尿を施用すると悪臭が淀んで悪臭問題がより大きくなる

### 4) 結論

家畜飼養施設の悪臭対策を講じることによって、悪臭被害はほとんどなくなる。いくつかの方法が利用可能だが、すべての経営に適用できるということではない。各々の方法について、慎重に考慮・選択すれば、期待される結果が確実なものになるであろう。どの方法を選択しようとも、近隣の住民に対する良識と考慮が、健全な悪臭対策計画にとって必要な構成要素である。

### 3. ネブラスカ州環境局 (Nebraska Department of Environmental Quality) 発行： 「最適管理手法による悪臭対策 (Best Management Practices for Odor Control) の要約

#### 1) 畜舎の悪臭対策

以下のことに留意し畜舎を清掃する。

- ①床は清掃・乾燥し、ふん尿の嫌気的分解を防ぐ。②ふん尿が貯まらないようにする。③ダスト、ガス、水分、熱が貯まらないよう換気を適切に行う。④畜舎の材質は、簡単に清掃可能で、ダストなどが貯まらない材質にする。⑤給飼装置はダストをできるだけ発生させないものにする。⑥排気ファンやシャッターのダスト・ゴミを定期的に清掃し、ファンの換気性能を維持する。⑦床下に貯まったふん尿は、できるだけ頻繁に水洗するか、スクレーパー等でかき出す。⑧循環利用している洗浄水にはカバー（被覆）する。⑨槽内の排水をできるだけ攪拌しない。⑩外部にある集水・合流枡、排水タンク、貯留槽などをカバーする。

#### 2) ふん尿貯留施設の悪臭対策

悪臭発生源となるので、悪臭発生が少ない設計・管理とする。

- ①ふん尿の処理・貯留量に適合した施設規模とする。嫌気性ラグーンが過負荷の場合は悪臭発生源となる。②空のラグーンにふん尿を投入する時は、最初に水を1.2 m入れ、固形物が下に沈むようにする。③ラグーンは夏の暖かい時期に運転開始し、必要な微生物を確保する。④ラグーンの微生物の活動を阻害する硫酸銅のような抗菌飼料添加物を使用しない。

#### 3) 土地施用の悪臭対策

液状ふん尿の土地施用は近隣住民の悪臭苦情の大きな原因となるので、次のことに留意する。

- ①低い圧力でふん尿を散布する。②地面に近い位置にふん尿を施用する。③散布する時刻は、空気が暖まって上昇気流が起きている時とする。通常午前8時から午後3時の間である。悪臭が住宅や会社方面に行かないよう風向きに注意する。④高温で湿度の高い日には、悪臭が地面近くに淀るので、施用を避ける。また週末と休日も避ける。⑤ふん尿の土壤注入は悪臭低減に有効な方法である。⑥近隣住民からの離れる距離（セットバック距離）を確保する。

#### 4) オープンロット（開放型家畜飼養施設）の悪臭対策

家畜飼養施設から発生するダストは、悪臭物質を高濃度に吸着している。ダストは風で長距離運ばれ、ガス状の悪臭物質よりも地面近くに淀む傾向があるので、悪臭対策には次のことに留意する。

- ①スプリンクラーで水を散布し、防風林を設置すると、ダストが除去できる。②生ふんよりも、腐敗が進んだふんのほうが悪臭が強い。嫌気的分解を防ぐために、ベタベタしたふんの塊をなくし乾燥した畜舎とする。③畜舎は定期的に清掃し、ふん尿はできるだけ早く土地施用する。適切な堆肥化処理によって短期間に悪臭を除去できる。④沈殿池などとくに有機物の負荷が高い場所は定期的に洗浄する。

#### 5) 追加的対策

悪臭を低減する新しい技術は、コストがかかるが効果的な例もある ((16) その他の悪臭低減技術を参照)。

#### 6) 家畜ふん尿処理施設の立地条件と悪臭の感じ方

悪臭苦情をなくす重要な方法は、家畜ふん尿処理施設の立地条件をどう選択するかにかかっている。住宅地、商業地域、レクリエーション地域、主要道路などに近い立地のときにはとくに苦情が多い。

①地形や一般的な風向きも考慮に入れる。②においに対する個人の感じ方が重要である。③きれいで景観が良く、よく管理された農家は悪臭がほとんどなく、苦情もない。樹木、灌木を植えることは、悪臭を低減し景観を良くする。

## 7) 嫌気性ラグーン

微生物を利用した嫌気性ラグーン法は、ネブラスカ州の養豚家でもっとも一般的なふん尿処理方法である。

①不適切な設計あるいは管理の悪いラグーンでは硫化水素や揮発性脂肪酸などの悪臭物質が生成する。②適切に機能している嫌気性ラグーンでは、悪臭がほとんどなく汚水を処理できる。③よく管理されている嫌気性ラグーンのpHは7~8の弱アルカリ性である。④有機物負荷が過負荷になると、pHは酸性の6.5かそれ以下になる。この問題を解決するためには、ラグーンに農業用消石灰を散布する。⑤抗生物質や金属化合物、例えは硫酸銅などを飼料に過剰添加すると、ラグーンの微生物が死滅し、悪臭が発生する。⑥良好に運転されているラグーンでは光合成硫黄酸化細菌が発生し、表面が紫／赤っぽい色となっており、悪臭、アンモニア性窒素、溶解性リンが減少している。ネブラスカ大学ではこの細菌がどのような仕組みで悪臭を除去しているのか研究している。

## 8) 貯留施設の被覆（カバー）

多くの農家がふん尿貯留施設のカバーを利用している。ネブラスカ州では、貯留施設のラグーンの規模が大きいため被覆するにはコストが嵩み、経済的にいつも可能というわけではない。しかし、次のカバーが利用されている。

### (1) ジオメンブラン・カバー

高密度ポリエチレンまたは強化ポリプロピレンのシートをラグーンの表面に浮かべ、カバーする。悪臭の発生をなくし、雨水がラグーンに入るのを防ぐ。しかし、カバーの上に溜った雨水を取り除く必要がある。また、カバーの中に貯まったバイオガスは抜いて燃やし処分する必要がある。

### (2) バイオカバー

各種ワラ、トウモロコシの芯、ピートモスなどを使用するカバーである。アイオワ州の養豚家ではごく普通の方法になりつつある。悪臭低減効果は高く、化学合成品カバーよりも低成本である。しかし、カバー材料が沈んでしまうために頻繁に交換しなければならず、風によってカバーが壊れたりする

### (3) 人工熔融岩石

バイオカバーよりも耐久性がある材料として使用される。

## 9) 固形物分離

ラグーンが過負荷で悪臭の発生がある場合、機械的または重力沈殿分離によって固形物を分離することが有効である。分離液は畜舎の洗浄に再利用する。

## 10) エアレーション（曝気）

エアレーションによって好気性細菌が働き、揮発性脂肪酸のような悪臭物質を分解するので悪臭が低減する。しかし、エアレーションには経費とエネルギーがかかる。

## 11) 嫌気性消化槽

ふん尿をメタンと二酸化炭素に分解する。メタンは燃焼させて熱利用、または発電利用する。21~45℃の中温発酵法が一般的である。高温発酵は効率が良いが不安定である。

発酵消化液は、再処理をしないと未分解物が残っていて悪臭もある。消化槽建設の制限因子は

高コストであり、ガス発生が不安定なことなどが上げられる。ヨーロッパ諸国では政府が資金的な援助を行うことによってこのシステムが多く採用されている。

### 12) 添加資材

メーカーが提唱する効果は、硫化水素やアンモニアなど悪臭発生の低減、有機性汚泥の分解、ハエの防除、家畜の健康増進、肥料効果の向上などである。

資材の種類には化学物質、酵素剤、細菌剤、悪臭吸収剤、悪臭マスキング剤などがある。多くの資材がアイオワ州立大学（ISU）またはノースカロライナ州立大学（NCSU）の悪臭低減効果試験を受けている。効果のある資材は少数であり、ほとんど大多数のものは効果がない。しかし、他の悪臭低減方法に比較して通常低コストである。

### 13) バイオマスフィルター

畜舎の排気の脱臭に用いる。バイオマスフィルターの中に増殖した微生物によって、有機物、揮発性脂肪酸、アンモニアを無臭化合物に分解する。工業用のバイオフィルターは高コストだが、バイオマスフィルターの設置・運転コストは、離乳豚1頭当たり約26円である。自然換気法の圧力では、バイオマスフィルターを排気が通過できないので、機械式換気が必要である。ミネソタ大学では、木製パレット、木製チップ、その他纖維状資材を用いて低成本なバイオマスフィルターを作成した。悪臭の95%、硫化水素の90%を除去した。

畜舎から発生する悪臭とダストの除去には遮蔽壁（ウインドブレークウォール）も利用されている。この壁は換気扇の風下に設置し、ダストを落とし、悪臭を上昇気流にのせる。この方法は、風向や気象条件によって限界があるが、アジアの養鶏業では低成本のために多く利用されている。

### 14) 飼料調製

今後、家畜への飼料給与方法を革命的に変えるであろう。しかし、現状では、飼料面で悪臭が低減できても、ふん尿が嫌気的に分解すれば悪臭が発生し、その効果は消失する。

### 15) 油散布

最近の研究では、舎飼い飼養において、少量の油 $610\text{ g/m}^2$ を散布することによって、ガスとダストを低減できることが分かっている。平均的には、この方法によってダストの80%、硫化水素の27%、アンモニアの30%が除去できる。

ダスト低減によって悪臭が除去されるだけでなく、飼養管理者や家畜の健康にも効果がある。しかし、エアロゾル化した油は人間の健康に有害である。また、油の使用量が多いと、床表面がツルツル滑るようになって、労働環境が悪くなる。かかる主要コストは労働費だが、オートメーション化によってこの問題は解決できるであろう。

### 16) その他悪臭低減技術

産業や都市のシステムにおける悪臭低減技術のいくつかは、畜産システムに適用できる。主な欠点は、コストが高いことと、管理が増えることである。以下の技術が上げられる。

①回分式活性汚泥法（SBR）、②オゾン処理、③活性汚泥法、④長時間曝気法、⑤好気性上向流バイオフィルター、⑥湿式スクラバー、⑦凝集処理、⑧焼却、⑨活性炭吸着法、⑩空気希釈法

## 4. 米国の豚肉生産者で構成する全米豚肉委員会 (National Pork Board) 発行： 「養豚経営の悪臭低減対策としてのBMP」(Basic Management Practices to Mitigate and Control Odors from Swine Operation) の要約

養豚業から発生する悪臭の低減対策について述べる。

### 1) 排気対策

畜舎の排気は風下の近隣住民に影響を与えるが、次の方法によってダスト、ガス状物質、悪臭物質は除去できる。

#### (1) ダストフィルター

悪臭物質が吸着したダストをフィルターで除去することによって悪臭を低減する。

#### (2) バイオフィルター

樹木チップなどを利用したバイオフィルターに排気を3~4秒接触させ悪臭を低減する。課題は、畜舎の換気に悪影響を及ぼさないよう、送気圧に注意すること、ネズミの害などに注意することである。

#### (3) チムニー（煙突型換気口）

チムニーによる上昇気流が、排気中の高濃度の悪臭を拡散させる。チムニーは屋根よりも高い必要があり、チムニーの中にはファンを設置し、上昇気流を起こさせる。自然換気の畜舎においてもチムニーが良く用いられる。

#### (4) ウィンドブレークウォール（防風壁、遮蔽壁）

プラスチック製で畜舎の排気ファンの外約1 mのところにウィンドブレークウォールを設置する。この壁によって上昇気流を起こし、悪臭やダストを拡散・希釈する。大きい粒子のダストは壁の表面にぶつかり落下する。

#### (5) 排気する時期と方式

大気のもっとも安定した状態の夕方や夜間にかけた排気には処理が必要になる。

バイオフィルターは、夏季の大量の換気量には向いていない。バイオフィルターを設置できるのは、最小または中くらい換気ファンを利用するときである。バイオフィルターは最小のコストで大きい利益を上げるやり方である。

### 2) 油散布によるダスト除去

ダストは外部に放出される前に豚舎内で除去する。

飼料に油脂を添加すると、飼料からのダスト発生は減少するがフケや乾燥ふんからのダストはほとんど減少しない。

植物油を豚房に散布するとダストを低減でき、悪臭が遠くに運ばれる可能性が少なくなる。ある研究では40~70%低減できた。油散布の課題は、床が滑り易くなること、低温での油の取り扱いに難のあることである。コストの大部分は散布に要する労働費である。

### 3) 造園

防風林や植栽緩衝帯は排気中の高濃度の悪臭を拡散・消滅させるとともに、公衆の眼から施設を遮り、悪臭の感覚をなくす。

課題は植物の背丈が伸びて役に立つまでに年数がかかること、自然換気の施設の気流を邪魔しないようにすることに注意することである。初期の投入コストは大きいが、15~25年使えば豚1頭あたりで償却できる。

#### 4) 添加資材

飼料またはふん尿に添加する様々な添加資材が市販されており、悪臭低減効果について一般的に論じることは難しい。使用量、出荷豚1頭当たりのコスト、添加資材そのものが何であるのかという疑問がある。

ふん尿ピット内の固体物を減少させたり、アンモニアを低減する添加資材はあるが、悪臭についてはほとんど効果がない。

#### 5) 飼料調製

飼料中の粗タンパク含有量を低減し、結晶アミノ酸を利用することによって悪臭を低減できる。リジンを基本として設計した血粉を含む飼料を給与すると臭気強度が増加した。

要約者：羽賀清典（一般財団法人 畜産環境整備機構）

## 用語解説

### 悪臭物質

不快な臭いの原因となり、生活環境を損なうおそれのある物質。悪臭防止法第2条に基づいて22物質が特定悪臭物質に指定されている。都道府県知事が指定した地域では、これらの物質について敷地境界における濃度等が規制される。特定悪臭物質には、アンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素、硫化メチル、ニ硫化メチル、トリメチルアミン、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、ノルマルブチルアルデヒド、イソブチルアルデヒド、ノルマルバレルアルデヒド、イソバレルアルデヒド、イソブタノール、酢酸エチル、メチルイソブチルケトン、トルエン、スチレン、キシレン、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸が指定されている。

### アンモニア

特定悪臭物質になっている分子式 $\text{NH}_3$ で表される無機化合物で、常温では無色の气体である。特有の強い刺激臭があり、毒性があるために劇物に指定されている。水によく溶け、溶けると $\text{NH}_4^+$ となりアルカリ性を示す。

### イソ吉草酸



悪臭防止法の特定悪臭物質の一つで低級脂肪酸（VFA）に属し、群れた靴下の臭いがする。

### フェヒナーの法則

臭気の感覚的強さ（臭気強度）は、悪臭物質の濃度の対数に比例するという法則。悪臭物質濃度が100倍となつても、感覚的には100倍とはならないで2倍となる。臭気強度を1下げるには、悪臭物質濃度を1/10にしなければならない。

フェヒナーの法則(Fechner's law)

$$I = K \cdot \log C$$

I : 臭気強度 K : 臭いによって異なる定数 C : 悪臭物質の濃度 (ppm)

### 活性炭

木材、おが屑、ヤシがら、石炭などの炭素物質を炭化した後に化学的または物理的な処理を行い、吸着効率を高めた炭素を主な成分とする多孔質の物質。脱色、吸湿、脱臭制が高く、臭気物質を活性炭に吸着させて脱臭する活性炭吸着法などに利用される。

### 環境基準

人の健康の保護及び生活環境の保全のうえで維持されることが望ましい基準として、終局的に、大気、水、土壤、騒音をどの程度に保つことを目標に施策を実施していくのかという目標を定めたものが環境基準である。環境基本法第16条で設定されている環境基準は、大気汚染、水質汚濁、騒音、土壤汚染に関するものである。

### 揮発性脂肪酸 (Volatile fatty acids, VFA)

炭素数10個のカプリン酸以下の分子量の脂肪酸で、低級脂肪酸と同義である。特定悪臭物質の、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸などが属する。

### 三点比較式臭袋法

臭気濃度を測定する官能試験法の一つで、容量3 Lの3つにおい袋に無臭空気を入れ、そのうち1試料だけに臭気を入れての任意の濃度に希釈し、パネルが3つの試料を嗅ぎにおいの有無を判定する方法。パネルの回答が正解の時には、希釈倍率を上げ下降法により実施する。パネルの人

数は、6名以上で実施する。

### 臭気強度

臭気の感覚的強さを定量的に数値化する一つの尺度。悪臭防止法では以下のような、6段階臭気強度表示法が用いられる。

- 0：無臭
- 1：やっと感知できるにおい
- 2：何のにおいか分かる弱いにおい
- 3：らくに感知できるにおい
- 4：強いにおい
- 5：強烈なにおい

しかし、人間の嗅覚は、においの強さを数値化するには不得意な器官で、各段階の等間隔性が問題になる。例えば、1と2の差は微妙である。悪臭問題で住民の被害感を無くすには、臭いが強いか弱いかではなく、臭いの有無が重要である。悪臭防止法の施行規則に定める敷地境界線における規制基準の範囲は、下限は臭気強度 2.5に対応する濃度、上限は地域の自然・社会的条件による悪臭に対する順応を考慮して臭気強度 3.5に対応する濃度としている。

### 臭気指数

臭気指数は、臭気濃度の対数を10倍したものとして定義される（臭気指数=10×log臭気濃度）。平成7年4月の悪臭防止法の改定で、嗅覚測定法による規制基準には臭気指数が採用された。フェヒナーの法則から、感覚量と刺激量は対数関係にあるので、臭気濃度の対数をとった臭気指数はより人間の感覚量に近い尺度といえる。また、臭気濃度に排ガス量(m<sup>3</sup>/min)をかけたものを臭気排出強度という。

### 臭気濃度

臭気がどの位の無臭空気で薄められれば臭いが感知できなくなるかを調べ、臭いが感知できなくなった時の希釈倍率を臭気濃度(Odor concentration)といい広播性を表す。臭気濃度表示法は、臭いの有無を調べるものといえる。

### 生物化学的酸素要求量 (BOD)

河川や汚水中の微生物で分解可能な有機物量を示す指標で、水の汚染度を表す。BODが高いと、河川や汚水中に生物性有機物が多く含まれ汚濁している。通常20°Cで5日間保存し、保存前後の溶存酸素量の差と希釈倍率から、検水の酸素消費量を計算しmg/Lで表す。

### 堆肥

家畜排せつ物、作物残滓、落葉、野草、生ゴミ等の有機物を好気性微生物の作用によって発酵分解して、植物などに吸収されやすい状態にした有機肥料。堆肥化条件として好気性微生物が活動しやすい条件を整えることが重要である。堆肥化条件としては①栄養分、②酸素、③水分、④微生物、⑤温度、⑥期間がある。有機物分解率はC/N比に影響され、C/N比10~30の材料で比較的良好な分解率が得られる。堆肥化は好気発酵のため、堆肥材料の堆積内に十分に空気が行きわたることが重要で、堆肥の中に空気を通すための空隙の割合は最低30%以上あることが必要で、通気性を確保するための初期かさ密度は700 kg/m<sup>3</sup>が上限となる。また、堆肥化の目的の一つに、病原菌や雑草の種子を死滅させることがあり、切り返しなどを行い堆肥化材料全体が60°C以上の温度に2日間以上とすることが堆肥化の基本である。

### 脱臭装置

においを低減するための装置で、洗浄、吸着法、生物脱臭法、燃焼法、オゾン酸化法、希釈・

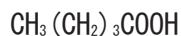
拡散法、マスキング法などがある。脱臭装置の選定は、臭気の種類・風量などの条件に基づき、コスト効果が最大になるよう選定する。

### 二硫化メチル



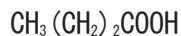
悪臭防止法で指定されている特定悪臭物質の一つで、腐ったキャベツのようなにおいがする。

### ノルマル吉草酸



悪臭防止法で指定されている特定悪臭物質の一つで、低級脂肪酸に属しむれた靴下のようなにおいがする。

### ノルマル酪酸



悪臭防止法で指定されている特定悪臭物質の一つで低級脂肪酸に属し、汗くさいにおいがする。

### プロピオン酸



悪臭防止法で指定されている特定悪臭物質の一つで低級脂肪酸に属し、刺激的な酸っぱいにおいがする。

### メチルメルカプタン



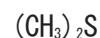
悪臭防止法で指定されている特定悪臭物質で、腐ったタマネギのようなにおいがする硫黄化合物。

### 硫化水素



悪臭防止法で指定されている特定悪臭物質で、腐った卵のようなにおいがする硫黄化合物。

### 硫化メチル



悪臭防止法で指定されている特定悪臭物質で、腐ったキャベツのようなにおいがする硫黄化合物。

# 索引

## あ

悪臭物質, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 22, 23, 28, 30, 54, 67, 72, 74, 75, 76, 77, 79, 82, 86, 88, 89, 90, 95, 128, 129, 132, 133, 135, 136, 138, 140  
悪臭防止最適管理手法 (Best Management Practices, BMP), 127, 128, 129, 130, 138  
悪臭防止法, 3, 6, 8, 9, 10, 15, 28, 29, 31, 32, 140, 141, 142  
アミノ酸, 16, 17, 89, 130, 132, 139  
アンモニア ( $\text{NH}_3$ ), 7, 11, 12, 16, 17, 18, 19, 21, 22, 23, 29, 30, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 47, 48, 49, 55, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 67, 68, 69, 73, 74, 75, 76, 77, 81, 82, 83, 87, 90, 91, 99, 101, 102, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 116, 119, 122, 130, 132, 134, 136, 137, 139, 140

## い

硫黄化合物, 11, 14, 17, 18, 23, 49, 57, 68, 74, 86, 110, 112, 142  
閾希釈倍数, 30  
イソ吉草酸 (i-吉草酸,  $i\text{C}_5$ ), 11, 12, 16, 17, 29, 61, 62, 63, 80, 87, 91, 92, 112, 140  
1号規制基準, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15  
易分解性有機物, 72, 73, 74, 75  
インドール類, 17, 20, 23, 29, 62

## う

ウインドウレス, 36, 48, 54, 58, 62, 63, 68, 69, 118  
運搬施用機械, 96, 97, 100

## え

液状ふん尿, 97, 98, 99, 100, 129, 131, 134, 135

## お

汚水浄化処理, 48, 84, 85, 86  
オゾン酸化法, 36, 37, 49, 128, 130, 131, 137

## か

快・不快度, 8, 9, 50, 51, 52, 82, 93  
攪拌方式, 73, 103  
ガスクロマトグラフ分析器, 9, 20, 28  
ガスクロマトグラフマススペクトロメータ (GC-MS), 28, 29, 30, 34  
家畜排せつ物の処理の適正化、有効利用関連の法律, 3  
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), 3, 4, 5  
家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針, 4  
活性汚泥脱臭法, 37, 48  
活性汚泥法, 84, 85, 86, 88, 128, 137  
活性炭, 37, 40, 128, 130, 137, 140  
火力乾燥機, 36, 79  
換気方法, 35  
環境基準, 140  
環境と調和のとれた農業生産活動規範, 4  
換気量, 35, 36, 43, 62, 83, 101, 107, 118, 119  
乾燥処理, 17, 78, 79, 82, 96, 129

## き

機器測定法, 28  
希釈・拡散法, 36, 37, 49, 137, 138, 141, 142  
揮発性脂肪酸 (VFA), 29, 62, 80, 87, 88, 90, 91, 92, 136, 137, 140  
嗅覚測定法, 28, 30, 32, 34, 50, 141  
吸着法, 36, 37, 40, 107, 137, 140, 141

## け

鶏ふんボイラー, 94, 95  
嫌気, 17, 18, 20, 23, 26, 27, 42, 57, 59, 60, 65, 67, 72, 77, 82, 88, 89, 92, 97, 98, 99, 128, 129, 130, 131, 133, 135, 136, 137  
検知管, 30, 63

## こ

好気, 17, 18, 23, 24, 25, 27, 42, 60, 72, 73, 74, 87, 88, 97, 98, 99, 110, 111, 113, 132, 133,

## さ

細霧脱臭, 124, 125, 126  
採卵鶏舎, 67  
サイレージ, 59, 60  
3号規制基準, 9, 10, 11, 14  
酸性雨, 4  
三点比較式臭袋法, 8, 30, 31, 32, 34, 140

## し

敷料, 17, 19, 54, 55, 56, 57, 59, 62, 65, 66, 68, 69, 71, 72, 73, 96, 134  
自然流下式, 54, 57, 58, 78, 97, 99  
持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律（持続農業法）, 3, 4  
臭気強度, 6, 7, 10, 12, 15, 16, 30, 50, 51, 62, 82, 92, 93, 116, 129, 132, 133, 139, 140, 141  
臭気指数, 6, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 28, 30, 31, 32, 33, 115, 116, 117, 141  
臭気指数による規制, 10, 13, 15, 31  
臭気濃度, 6, 8, 10, 16, 30, 31, 32, 68, 81, 82, 92, 93, 107, 140, 141  
臭気排出強度, 6, 8, 13, 141  
臭気マップ, 31, 32, 33, 34

## す

水洗法, 36, 37, 40, 82  
スクープ式, 73, 74  
スクリュー式, 73, 74, 97  
素掘り, 3  
スラリーインジェクター, 97, 99, 100  
スラリー処理, 76, 77  
スラリースプレッダー, 97, 98

## せ

生物化学的酸素要求量（BOD）, 17, 87, 92, 141  
生物脱臭法, 36, 37, 42, 45, 49, 52, 76, 101, 141  
施用, 76, 77, 96, 97, 98, 99, 100, 128, 129, 130, 131, 132, 134, 135

## た

堆積方式, 73, 76  
堆肥, 3, 4, 5, 17, 35, 42, 43, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 65, 66, 69, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 88, 94, 96, 97, 98, 100, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 141  
堆肥化処理, 4, 18, 57, 72, 74, 75, 76, 96, 101, 103, 104, 107, 115, 124, 128, 129, 130, 131, 134, 135

堆肥散布機, 96, 97

堆肥深層施肥機, 97

堆肥脱臭システム, 48, 110, 111, 115, 117

堆肥脱臭法, 37, 47

脱臭装置, 4, 35, 36, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 52, 58, 74, 77, 83, 84, 88, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 118, 120, 128, 141, 142

脱臭対策, 35, 36, 52, 74

## ち

地球温暖化, 3, 4

畜舎, 16, 17, 19, 20, 28, 29, 35, 36, 44, 48, 50, 54, 57, 58, 59, 65, 69, 71, 72, 73, 76, 82, 84, 96, 97, 118, 128, 129, 130, 131, 132, 135, 136, 137, 138

畜舎バイオフィルターシステム, 118

窒素化合物, 21, 22, 57, 74, 87, 90

## つ

つなぎ飼い式乳牛舎, 54, 55

積込み用作業機, 96

## て

低級脂肪酸, 16, 17, 20, 21, 23, 59, 60, 62, 68, 74, 76, 77, 79, 87, 88, 110, 112, 140, 142

## と

特定悪臭物質, 9, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 28, 29, 34, 140, 142

土壤脱臭法, 37, 42, 46, 52, 82, 84

土壤の酸性化, 4

トリメチルアミン, 11, 12, 16, 17, 22, 23, 29, 57, 63, 74, 87, 140

## に

におい, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 15, 28, 30, 31, 32, 34, 57, 116, 140, 141, 142

肉牛舎, 59

2号規制基準, 8, 9, 10, 11, 12, 14

二酸化炭素 (炭酸ガス, CO<sub>2</sub>), 17, 18, 19, 38, 86, 89, 136

乳牛舎, 54, 55, 56, 58, 71

二硫化メチル(Dimethyl disulfide, DMDS), 11, 12, 14, 16, 24, 25, 26, 27, 29, 61, 63, 75, 80, 91, 112, 140, 142

## ね

燃焼法, 36, 37, 49, 82, 141

## の

野積み, 3

ノルマル吉草酸 (n-吉草酸, nC<sub>5</sub>), 11, 12, 16, 29, 61, 62, 63, 80, 87, 91, 92, 112, 140, 142

ノルマル酪酸 (n-酪酸, C<sub>4</sub>, nC<sub>4</sub>), 11, 12, 16, 17, 29, 59, 61, 62, 63, 74, 80, 87, 91, 92, 112, 140, 142

## は

廃棄物処理法, 3, 94

ハウス乾燥施設, 79, 82, 83

発酵消化液, 88, 89, 90, 92, 137

放し飼い式乳牛舎, 54, 56

## ひ

肥料取締法, 3, 4

## ふ

ファイバーボール脱臭法, 3448,

フィルター散水法, 48

フェノール類, 17, 20, 21, 22, 23, 29, 62, 68, 79

Fechner (フェヒナー) の法則, 7, 140, 141

フリーストール, 54, 56, 57, 71, 103, 113, 130

フリーバーン牛舎, 54, 56, 57, 121

ブロイラーチ鶏舎, 68, 94, 95

プロピオン酸 (C<sub>3</sub>), 11, 12, 16, 17, 20, 29, 59, 60, 61, 62, 63, 75, 86, 87, 90, 91, 92, 112, 140, 142

ふん尿処理施設, 35, 36, 49, 72, 130, 134, 135

## ほ

芳香消臭剤, 50, 51, 52, 53

圃場還元, 76, 78, 96, 98, 111

## ま

マスキング法, 36, 37, 49, 130, 137, 142

## み

密閉型発酵装置, 73, 74, 76

## め

メタン (CH<sub>4</sub>), 18, 19, 20, 28, 38, 58, 88, 89, 90, 92, 93, 133, 136

メタン発酵, 20, 69, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 97, 99, 128, 133

メチルメルカプタン (MM), 11, 12, 14, 16, 29, 57, 58, 62, 63, 67, 74, 75, 77, 82, 90, 91, 112, 140, 142

## や

薬液洗浄法, 36, 37, 39

## よ

養鶏, 8, 19, 52, 66, 95, 96, 103, 137

養豚, 4, 5, 8, 19, 50, 53, 60, 62, 63, 71, 76, 96, 103, 127, 129, 136, 137, 138

養豚農業の振興に関する基本方針, 4

## ら

酪農及び肉用牛生産の近代化を図るための基本方針, 4

## り

硫化水素 (H<sub>2</sub>S), 11, 12, 14, 16, 18, 19, 24, 25,  
26, 27, 29, 38, 39, 57, 58, 59, 62, 63, 75, 82,  
86, 89, 90, 91, 112, 132, 136, 137, 140, 142  
硫化メチル (Dimethyl sulfide, DMS), 11,  
12, 14, 16, 24, 25, 26, 27, 29, 57, 58, 62, 63,  
75, 86, 90, 91, 112, 140, 142

## ろ

ロータリ一式, 73, 74  
ロックウール(RW)脱臭装置, 46, 47, 52, 101,  
104, 106, 107, 109, 120, 121  
ロックウール(RW)脱臭法, 37, 45, 46

## 畜産悪臭対策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 中央農業研究センター
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

### 畜産悪臭対策マニュアル作成専門部会委員

福本 泰之	前述 (悪臭専門部会長)
田中 章浩	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 中央農業研究センター バイオマス利用グループ)
黒田 和孝	国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構 九州沖縄農研センター 畜産環境・乳牛グループ
安田 知子	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

### 畜産悪臭対策マニュアル編集作業委員

中尾 和彦	中国工業株式会社
泉 稔久	ヨシモトアグリ株式会社
下田 裕馬	パナソニック環境エンジニアリング株式会社

### 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
小堤 悠平	(一財) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所

## 資料の取り扱いについて

本資料より転載・複製する場合は一般財団法人畜産環境整備機構にご連絡ください。

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  
(悪臭対策専門部会)

## 畜産悪臭対策マニュアル

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