



日本中央競馬会
特別振興資金助成事業

日本型悪臭防止最適管理手法（BMP）の手引き



一般財団法人 畜産環境整備機構

はじめに

畜産環境問題の1つに、畜舎や家畜ふん尿処理施設等から発生する臭気による苦情があります。平成27年3月には畜産業を取り巻く情勢の変化を踏まえ、新たな「家畜排せつ物の利用の促進を図るための基本方針」（第三次）が策定され、家畜排せつ物の利用の促進に関する技術の向上に関する基本的事項において「臭気低減技術」の促進を求めています。一方、畜産経営に起因する苦情発生状況の内容別発生状況では、悪臭関連は55.9%を占めており（平成27年農林水産省畜産部調べ）、臭気による問題は早急な対策が求められています。

臭いの苦情は人の感覚（嗅覚）によるものですが、臭気による苦情は立地条件、社会的条件などに左右されることが多く、発生源から臭気を出さないようにすることが第一ではありますが、飼養管理の徹底、周辺地域への配慮等についても不可欠な要件となっています。

本手引き書では、海外の悪臭防止最適管理手法（BMP）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取りまとめました。また、畜舎から発生する臭気の高減技術については、技術開発として得られた知見を4つ成果として取りまとめました。

本手引き書が、畜産経営において臭気対策に取り組まれている生産者、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。

平成29年3月

一般財団法人畜産環境整備機構

目 次

1. 【成果1】畜舎内のダスト低減技術開発	1
2. 【成果2】バイオフィルターによる豚舎内臭気の脱臭技術開発	3
3. 【成果3】微生物資材の効果判定	5
4. 【成果4】畜産周辺の臭気防止技術の開発	7
5. 臭気対策における BMP(最適管理手法 Best Management Practices)	
1) 畜舎における臭気対策 BMP	9
2) 運搬・貯留・処理施設における臭気対策 BMP	13
3) 堆肥等の施用における臭気対策 BMP	16
4) 脱臭方法・装置による臭気対策 BMP	18
6. 畜産における臭気対策の基本	
1) 畜産における最新の脱臭技術の考え方	22
2) においの見える化と悪臭対策	29
7. 参考文献	35
8. 参考資料	
1) 米国の代表的 BMP の整理・比較と日本型区分	37
2) 米国の代表的 BMP の要約	
①ふん尿の臭気対策(米国農業生物工学会)	38
②畜産業から発生する悪臭の低減方法(アイオワ州立大学)	45
③BMP による悪臭対策(ネブラスカ州環境局)	53
④養豚経営の悪臭低減対策としての BMP(全米豚肉委員会)	58

【成果 1】 畜舎内のダスト低減技術開発

畜舎内のダスト除去には、植物油の乳化液を散布すると効果的です。植物油を 5% 混合した乳化液を、豚舎内に 10mL/m² 散布するとダストを 3 分の 1 に低減できました。

1) 試験内容

畜舎内で発生する飼料や敷料等に由来するダストが、臭気や病原菌等が付着して悪臭等を拡散する主要な要因であることから、発生するダストをミスト噴霧等により低減する技術を開発しました。豚舎から発生するダストをミスト噴霧等により低減する技術を開発するために、人畜に害のない乳化剤を使用して、乳化させた油を豚舎に散布し、ダストの低減を図りました。

2) 試験結果

- (1) 乳化剤 (TO-30V+S0-10V、日光ケミカルズ) とサラダ油の最適な混合割合は、サラダ油濃度が 5% の時でした (写真 1)。事前の調査で、水のみ散布でもダストは低減させられるが、油散布の方がダスト低減に即効性があり、その効果が長く続くことを確認しました。
- (2) 動力噴霧器 (型式 MS171MC、丸山製作所) と、散布ノズル (型式 N-ES-5 (平均粒子径 320 μm、ヤマホ) (写真 2) を使用して乳化液の散布を行いました (1 週間連日、朝 8 時、10mL/m² 以上)。
- (3) 乳化液を豚舎 (肥育豚舎) に散布すると、散布しない場合にくらべてダスト濃度を有意に低減することが示されました (図 1、2、表 1、2)。



写真 1 5%油を添加した乳化液



写真 2 乳化液散布用ノズル

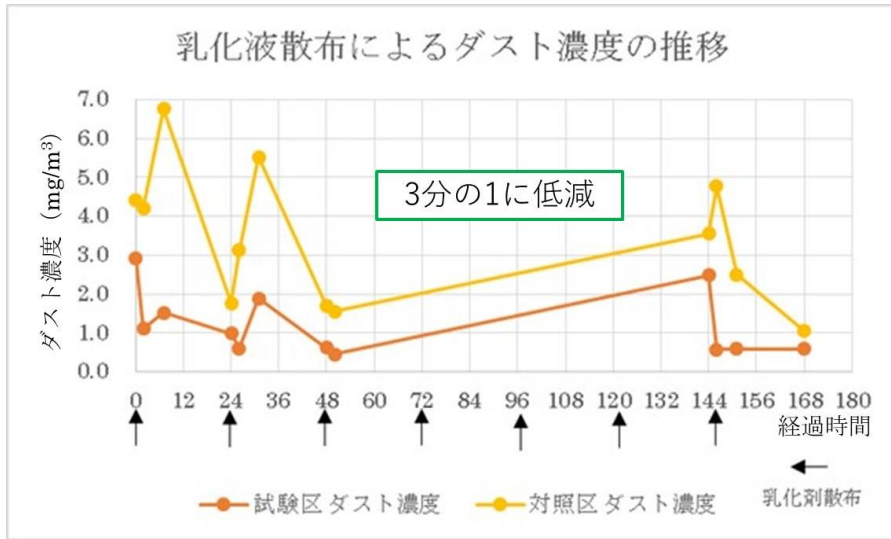


図1 I畜産のダスト濃度の推移 (2016年2月10~16日)

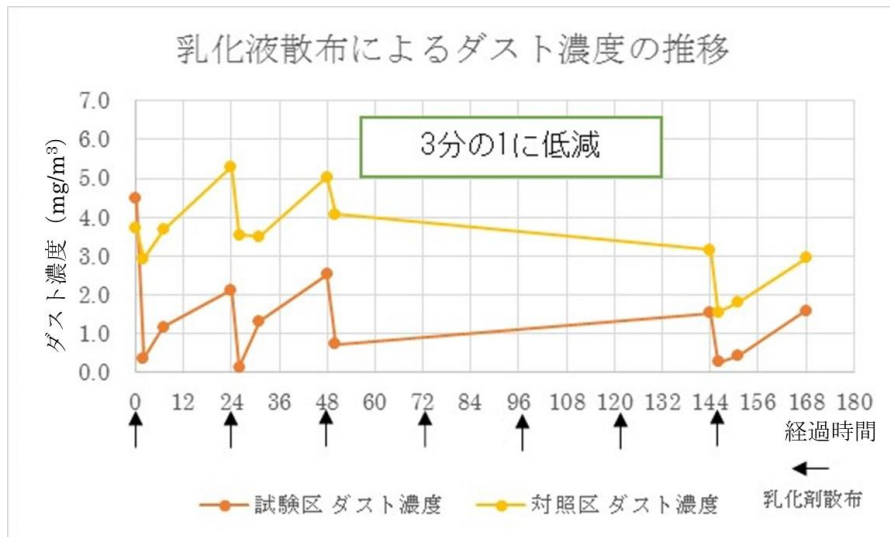


図2 S畜産のダスト濃度の推移 (2016年2月24~3月1日)

表1 I畜産の乳化液散布試験結果

	乳化液散布区	無散布区
ダスト濃度 (mg/m ³)	1.04±0.66 ^a	3.32±1.84 ^b

異符号間で有意差有 ($p<0.05$)

表2 S畜産の乳化液散布試験結果

	乳化液散布区	無散布区
ダスト濃度 (mg/m ³)	1.11±0.79 ^a	3.41±1.15 ^b

異符号間で有意差有 ($p<0.05$)

【成果2】 バイオフィルターによる豚舎臭気 の脱臭技術開発

ヤシガラハスクおよびウッドチップに有機物を加え、脱臭に寄与する微生物活性を高めた脱臭材料に、豚舎臭気を通して脱臭する技術を開発しました。

1) 試験内容

- (1) バイオフィルターとして具備する条件: 通気性に優れ、適度な保水性があり、脱臭に寄与する微生物が生息しやすい材料であること。
- (2) 脱臭試験に用いたバイオフィルター: ①ヤシガラハスク(椰子の樹皮を約1～2 cmの立方体に裁断)、②ウッドチップ(針葉樹を約1～5 cm状にチップ化)に有機物を加えて微生物活性を高めた2種類の材料を供試しました。
- (3) 脱臭装置の諸元:
 - 脱臭槽面積; 1.5m²、バイオフィルターの堆積高さ; 20 cm
 - バイオフィルターを通過する線風速; 20 cm/秒
 - 風量; 18.0m³/分 (1080m³/時)、○脱臭槽下部静圧; 0.1kPa 以下
 - 散水時間; 1～4 時間毎に2 分間 (散水量; 約 6L/回)
- (4) 脱臭試験方法: 豚舎換気を脱臭装置に送り(図1、写真)、脱臭前後の臭気を測定しました。測定方法は、①アンモニア(NH₃)ガス濃度を北川式検知管、②畜環式ニオイセンサー、③におい識別装置 (FF 2 A, 島津製作所製) の3方法で適宜測定しました。

2) 試験結果

- (1) ヤシガラハスクを用いた脱臭試験(5月から試験を開始)では、アンモニアや豚舎臭はかなりよく低減できましたが、豚舎換気の臭気濃度が高くなると脱臭後も臭気の検出がありました(図2)。
- (2) ウッドチップを用いた脱臭試験(8月から試験を開始)では、豚舎換気の臭気濃度が高くなり、送風温度も15℃を下回ると脱臭機能が低下しました(図3)。
- (3) 両材料とも脱臭槽下部静圧が0.1kPaを越えたときは、材料を反転しました。
- (4) 散水による蒸散量は、夏期では約30L/m²で冬期は10L/m²となりました。循環水中のNH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nは、徐々に高くなる傾向にありました。
- (5) 実用化に向けた課題として、①豚舎換気中に含まれる粉塵によりバイオフィルターが目詰まりしないような防止対策、②脱臭装置の設置規模面積を小さくするための設計検討、③散水時の蒸散量が多いため浄化処理水の利用を含めた散水の確保と高濃度窒素循環水の利用などが上げられます。

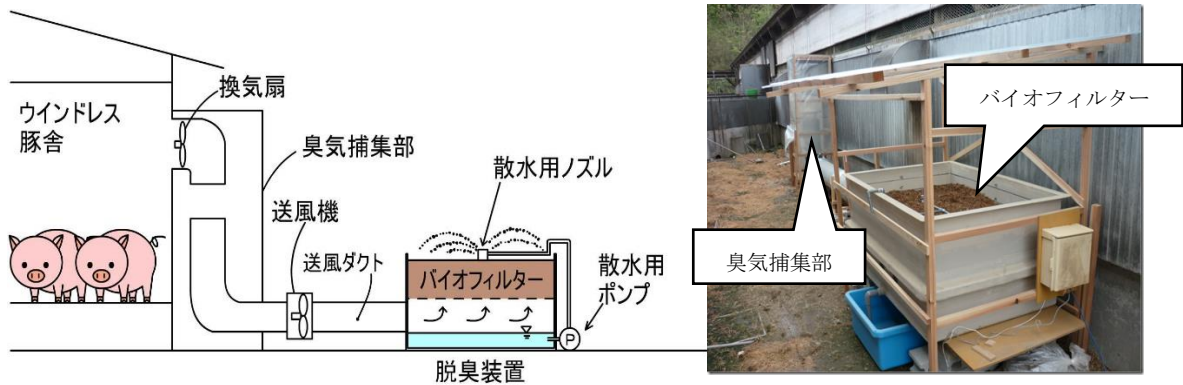


図1 ウインドレス豚舎に設置したバイオフィルター脱臭試験装置の概要 写真 脱臭試験装置

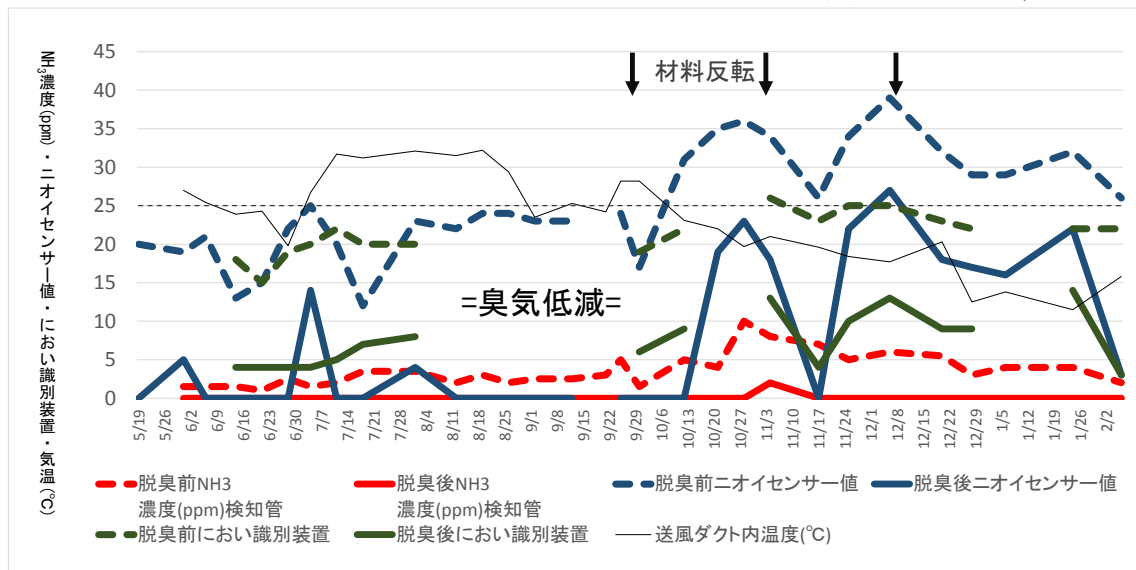


図2 ヤシガラハスクを用いた脱臭装置の臭気測定結果(S畜産)

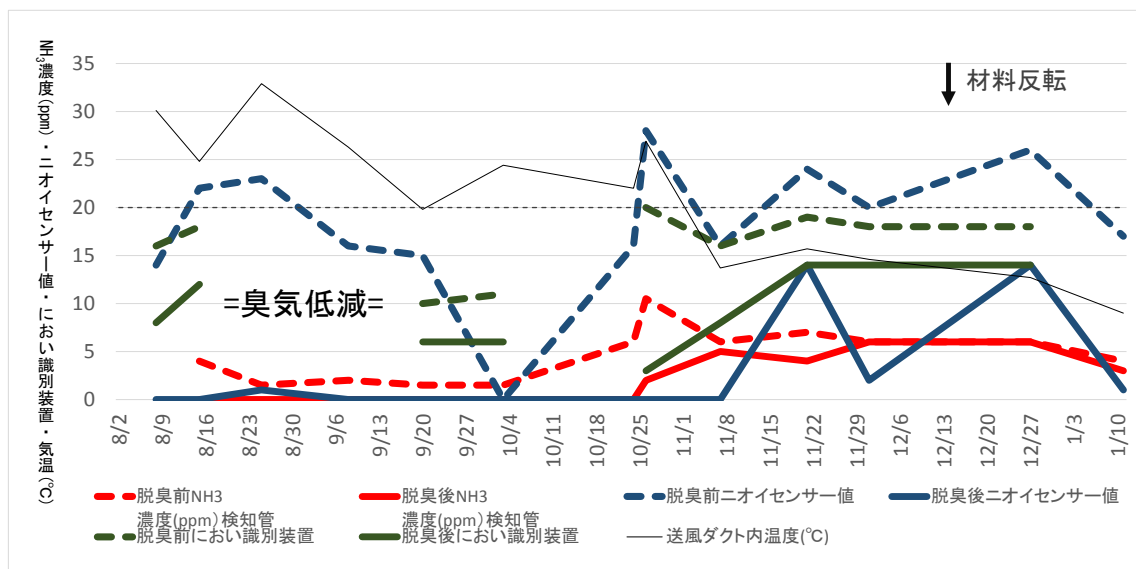


図3 ウッドチップを用いた脱臭装置の臭気測定結果 (I農場)

【成果 3】 微生物資材の効果判定

現在市販されている脱臭資材で、その効果が認められるものは限定的である。効果があるとしても、即効性の脱臭は期待できない。

1) 試験内容

畜舎や堆肥化施設等からの臭気低減に効果のある微生物資材及び臭気物質分解資材の効果判定を行いました。判定方法は、「畜産で利用される臭気対策資材の効果判定方法（畜産草地研究所 2005）」に掲載されている実験装置を改良し（写真 1）、回収した臭気ガスを、におい識別装置（FF-2、島津製作所）によって測定しました。対象とする臭気は、豚ふん尿スラリーとしました。

2) 試験結果

(1) 合計 30 件の資材について評価を行い、市販されている 1 資材に臭気低減効果が認められました（図 1）。資材とスラリーの pH について表 1 に示しました。



写真 1 臭気対策資材の効果判定装置の外観（3 台）

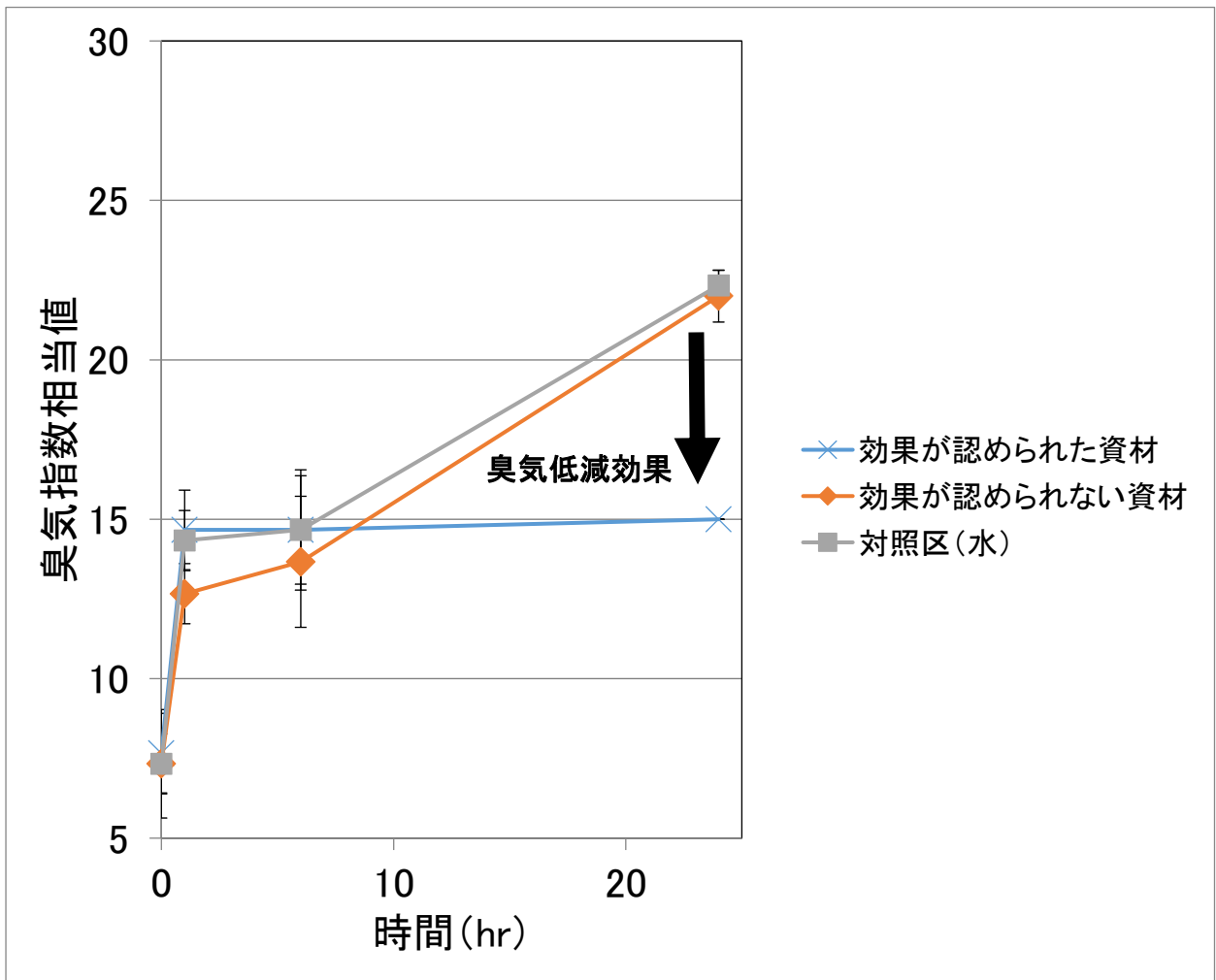


図1 脱臭資材散布後のスラリー由来の臭気指数相当値の推移

表1 脱臭効果のあった資材のpHの推移

	pH*	
	効果のあった資材 (50倍希)	対照区 (水)
資材そのもの	3.4	—
スラリー+資材 (0時間)	6.8	6.5
スラリー+資材 (24時間後)	6.7	5.8

*試験に供試したスラリーのpHは、5.9~6.1

【成果4】 畜舎周辺の臭気拡散防止技術の開発

豚舎の棟（むね）高さ分離れた位置に、軒（のき）高さの遮へい壁を設置すると、ダストおよび臭気の拡散を抑制できる可能性がある。

1) 試験内容

畜舎の換気等による粉塵等の舎外での拡散について、畜舎周辺の遮へい壁の設置等による拡散防止技術を実証しました。開放型豚舎における遮蔽壁の効果を確認するために、縮率 1/40 模型を用い、風下風上に遮へい壁を設置し、その効果を予測しました。その結果をもとに、実際の開放豚舎に遮へい壁を設置し、その効果を実証しました。

2) 試験結果

- (1) 模型試験の結果、遮へい壁は豚舎の棟高さの距離に、豚舎の軒高さの構造物を設置すると、豚舎と壁の間に空気の淀みができ、敷地外に少しずつ拡散しました(図1)。
- (2) 建設用足場（ピケ足場）と農業用 PO フィルムを用いて、遮へい壁を肥育豚舎風下側に設置しました。構造物は、豚舎の棟高さ（むね：5m）分離れた位置に、軒高さ（のき：3.3m）とした。ダストとガスは遮蔽壁と豚舎の間で淀み、ゆっくりと拡散することを示しました(写真1)。肥育豚舎を二つに区分（遮蔽壁設置側を試験区、その反対を対照区）して、ダスト濃度と臭気を測定した結果、豚舎と遮蔽壁の間で、ダストと臭気が滞留した(図2)。
- (3) 豚舎と壁の間の淀みでスプリンクラー等の対策を講じることでダストおよび臭気の拡散を抑制することが可能と考えられた。

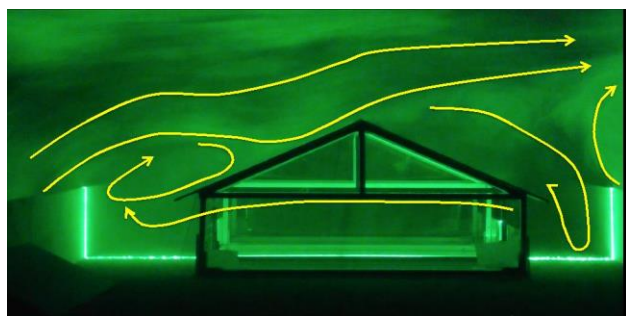


図1 模型による気流の可視化試験

遮蔽壁で臭気の流れを変える



写真1 発煙筒による臭気の流れ

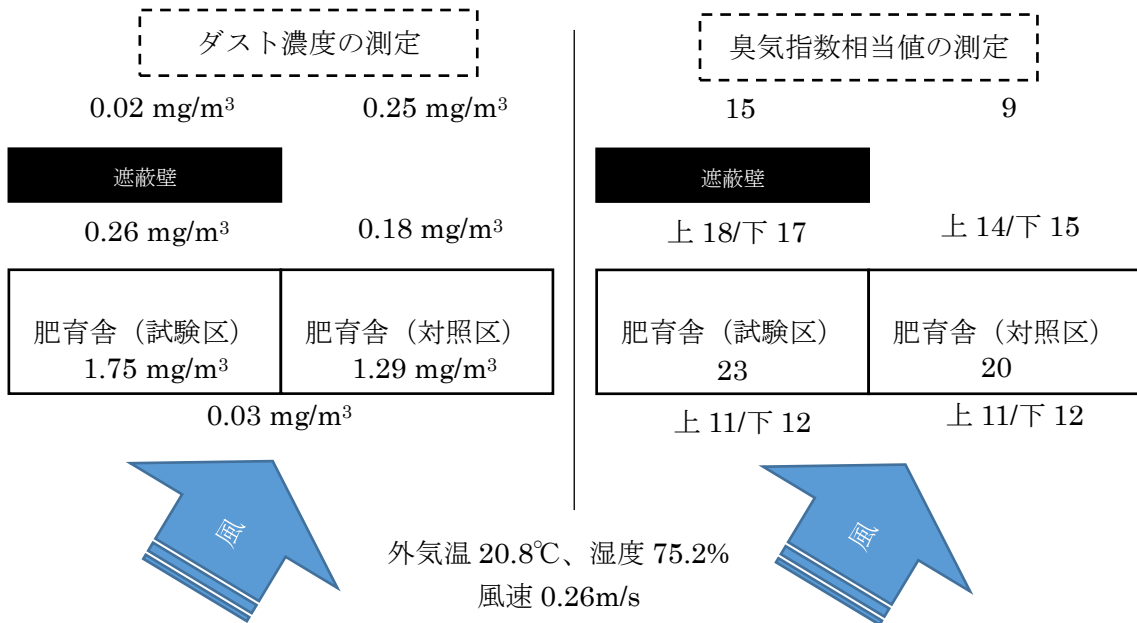


図2 各測定地のダスト濃度と臭気指数相当値

5. 臭気対策におけるBMP

(最適管理手法 Best Management Practices)

1) 畜舎における臭気対策BMP

ポイント1：清掃に努め、畜舎におけるふん尿の不完全分解を防ぐことによって、悪臭の発生を防ぐことができます。

- (1) 畜舎の清掃に努め、ふん尿は速やかに舎内から除去し、処理施設等に搬出しましょう。床面はきれいに清掃し乾燥していることが、臭気低減に効果あります。



写真1 きれいに清掃され臭気の少ない豚舎

- (2) 舎内にふん尿が残っていると、不完全に嫌気性分解して大量の悪臭物質を発生し、悪臭の原因になります。
- (3) オガクズ、モミガラ、剪定枝、戻し堆肥などを敷料として利用すると、臭気低減に効果があります。
- (4) スノコ床畜舎では、スノコのすきまから床下のふん尿溝にふんが落下するので、平床畜舎に比べて床上に残るふん尿量が少なく、臭気低減に効果があります。

ポイント2：畜舎で発生したダスト（エアロゾル）が高濃度の悪臭を拡散させます。畜舎内のダストの発生防止、畜舎排気のダスト除去が悪臭低減に効果があります。

- (6) 家畜の体表面にふん尿が付着していると、家畜の体温で体表面のふん尿の分解が速まり、悪臭やダスト発生の原因になります。家畜の体がふん尿で汚れない

ようにしましょう。

- (7) 畜舎で発生した**ダスト**（エアロゾル）が**高濃度の悪臭**を拡散させます。舎内のダスト発生低減・除去に努め、排気中のダストは**バイオフィルター**などを利用して除去し、敷地外に出さないようにしましょう。
- (8) **密閉型畜舎**の畜舎内のダスト除去には、**植物油の乳化液**を散布すると効果的です。例えば、**植物油を5%混合した乳化液**を、舎内に $10\text{mL}/\text{m}^2$ ・分散布すると**ダストを3分の1に低減**することができます。
- (9) 密閉型畜舎を建設するときに、**ビルトイン**の形で**バイオフィルター**を組み込むと、排気口の**悪臭・ダスト除去**に効果的です。

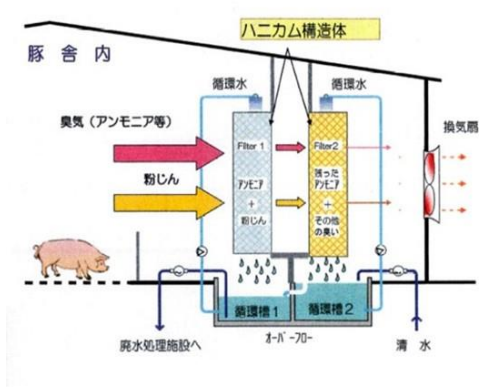


写真2 密閉型豚舎のバイオフィルター設置例

- (10) **開放型畜舎**では、風下に臭気やダストが運ばれるので、風向や風速を考慮して**遮蔽壁**を設置することによって臭気低減に効果があります。密閉型畜舎では排気口への**遮蔽壁**の設置が臭気低減に効果があります。



写真3 排気口への遮蔽壁の設置

ポイント3：飼料成分の調製、臭気低減資材の利用、畜舎周辺の造園による樹木や灌木、防風林などの臭気低減効果も利用しましょう。

- (11) アミノ酸要求量に合わせてバランスをとった低タンパク質飼料を給与すると、排せつされた新鮮ふん尿の臭気を低減できる可能性があります。しかし、ふん尿を畜舎に放置し、一度でも嫌気性になると悪臭が発生します。
- (12) 臭気対策のために豚舎に散布したり、堆肥に混合する臭気低減資材が市販されています。これら資材は、化学薬品、酵素剤、あるいは微生物資材など性質が多岐にわたり、悪臭低減効果について一般的に論じることは難しい現状で、添加資材の使用量、性質、出荷豚1頭当りのコストなどを明らかにしていく必要があります。
- (13) 臭気低減資材の効果判定法としては、農林水産バイオリサイクル研究 畜産エコチーム、微生物エコチーム、農林水産省農林水産技術会議事務局、農研機構畜産草地研究所が発行する「畜産で利用される臭気対策資材の効果判定方法」が役に立ちます。
- (14) 畜舎周辺の造園による樹木や灌木、防風林などは、バイオフィルターの役割を果たし臭気低減の効果があるとともに、景観美化により臭気低減効果が考えられます。



写真4 生垣による臭気低減例

2) 運搬・貯留・処理施設における臭気対策BMP

ポイント1：ふん尿量に見合った施設規模とすることが重要です。悪臭が発生したときは、ふん尿量に見合った施設規模かどうか、設計条件などを再確認しましょう。

- (1) 運搬・貯留・処理施設はふん尿量に見合った施設規模とすることが重要です。過小な規模の施設では、有り余ったふん尿が溢れたり、処理が上手くいかなくなって悪臭発生の原因になります。ふん尿量に見合った施設規模かどうか、設計条件などを再確認しましょう。
- (2) ふん尿が不完全に嫌気性分解すると悪臭が大量に発生します。畜舎の床やふん尿溝にふん尿を長く放置したり、貯留槽に長時間貯留すると、ふん尿が不完全に嫌気分解し、揮発性脂肪酸（揮発性有機酸、低級脂肪酸）やメチルメルカプタンなどの悪臭物質が多く生成します。
臭気低減のためには、ふん尿を速やかに処理施設に搬送し、処理することが重要です。
- (3) ふん尿を畜舎から貯留・処理施設に運搬するときは、ふん尿の積み込み、運搬、積み下ろしなどの作業があるので、臭気が拡散する恐れがあり注意が必要です。

ポイント2：適正な運転条件で順調に稼働している処理装置では、悪臭の発生は少なくなります。もしも悪臭の発生が多いときは運転条件を再確認しましょう。

- (4) 適正な運転条件で順調に稼働している処理装置では、悪臭の発生は少なくなります。もしも悪臭の発生が多いときは運転条件を再確認しましょう。
- (5) 処理施設の運転条件が不適切な場合、悪臭発生の原因になります。例えば、堆肥化では水分や通気量などの条件が不適切な場合、不完全な嫌気性分解によって悪臭が発生します。
- (6) ふん尿を固液分離する場所では悪臭が拡散するので、建物などで覆うなどの対策が必要です。

- (7) わが国の養豚経営において、分離された固形物のほとんど（90%以上）が**堆肥化処理（発酵処理）**されています。順調に稼働している堆肥化施設では、悪臭の発生が低減されています。



写真5 順調に稼働している堆肥化施設

- (8) 順調に稼働している堆肥化施設でも、堆肥化初期には**大量のアンモニアが発生**するので、脱臭装置やアンモニア回収装置が必要な場合が多くなります。
- (9) わが国の養豚経営において、汚水のほとんど（75%以上）が**浄化処理（活性汚泥処理）**されています。順調に稼働している**浄化処理施設（浄化槽）**では、ほとんど**悪臭の発生がありません**。



写真6 順調に稼働している浄化槽（活性汚泥処理施設）

- (10) 浄化槽が順調に稼働し悪臭の発生少なくても、**汚水貯留槽**では汚水が嫌氣的になって悪臭を発生することがあります。汚水マスなどの開口部は蓋などで覆う

ようにしましょう。また、**固液分離施設**では、洗浄を怠ったり、分離した固形物を放置しておく**と悪臭が発生することがあるので、注意**しましょう。

- (11) メタン発酵処理はバイオガス（メタンガス）エネルギーと消化液を生産する処理方法です。メタン発酵が進行した**消化液は、悪臭物質の低級脂肪酸が減少するので、消化液の臭気は生ふん尿よりも低減**します。
- (12) 処理施設周辺の**生垣、防風林**などは、**ダストや臭気成分を吸着する役割**を果たし臭気低減の効果があるとともに、**景観美化**により臭気**の低減効果が**考えられます。

3) 堆肥等の施用における臭気対策BMP

ポイント：堆肥等の施用のタイミングは周辺に考慮し、風向きに注意して、上昇気流の起きている午前中に施用することが勧められます。また、高温・高湿の日、週末や休日など屋外に人出のある日には施用を避けた方がいいでしょう。

(1) 堆肥の施用

- ①適切な**農地施用量**を把握し、過剰な堆肥施用は慎みましょう。過剰に施用すると分解せずに残存した堆肥等が悪臭発生の原因になり、土壌や作物にも害を及ぼします。
- ②施用後すぐに**鋤込む**こと、または**覆土**することが臭気低減に効果があります。
- ③堆肥等の**施用のタイミング**は、周辺への配慮が必要です。
 - ア **施用計画**はあらかじめ近隣に公開・連絡して施用するほうが苦情対策になります。
 - イ **風向**をみて、風下に住宅等があるときには注意が必要です。
 - ウ 上昇気流の起きている**朝から昼**にかけて**施用**することが勧められます。概ね午前8時～午後3時の時間帯が目安になります。
 - エ **高温・高湿**の日、また、**週末や休日**など屋外に人出のある日には**施用を避けた方がいい**でしょう。



写真7 マニユアスプレッダーによる堆肥の散布

(2) 液状ふん尿の施用

- ① 散布する液状ふん尿にはメタン発酵の消化液とふん尿混合のスラリーの2つがあります。
- ② 液状ふん尿は低圧力でなるべく地表面近くに散布し、施用後すぐに鋤込むか、または覆土することが臭気低減に効果があります。
- ③ ソイルインジェクション（土壌注入）することによって、臭気発生をなくすことができますが、機械装置にコストがかかり、作業効率に課題があります。



写真8 液状ふん尿（スラリー）の施用



写真9 液状ふん尿（スラリー）のソイルインジェクション（土壌注入）

4) 脱臭方法・装置おける臭気対策BMP

(1) 畜舎排気中のダストと悪臭をバイオフィルターで除去

ヤシガラハスク（ヤシの樹皮を約 1~2cm の立方体に裁断した材料）やウッドチップ（針葉樹の材木を約 1~5cm 状にチップ化した材料）などの材料を詰められた脱臭槽に、堆肥などを混合し微生物活性を付加したものをバイオフィルターといいます。



写真 10 豚舎の排気口のバイオフィルター設置例

畜舎で発生したダスト（エアロゾル）が高濃度の悪臭を運ぶと言われていす。舎内のダスト発生低減・除去に努めるとともに、畜舎排気中のダストと悪臭は、バイオフィルターを利用して除去し、敷地外に出さないようにします。

(2) 土壌脱臭装置

土壌脱臭装置は、脱臭用の土壌（黒ボク土）の堆積高さを 50cm 程度とし、臭気を含んだガスが土壌層を通過する見掛風速を 5mm/秒程度、土壌下部の静圧（通気抵抗）が 150~250mmH₂O、ガスに含まれるアンモニアの平均濃度を 200ppm 程度以下になるように設計します。また、土壌層へ送入するガスの温度は 40℃以下、平均でも 30℃以下とし、下限値は 10℃以上とします。

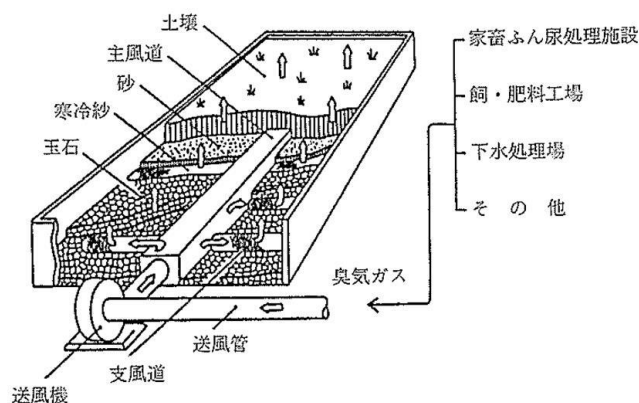


図 1 土壌脱臭装置（道宗（2012）新編畜産環境保全論，p. 229）

(3) ロックウール脱臭装置

ロックウール脱臭資材を用いた方法で、脱臭能力は土壌脱臭装置とほぼ同様です。ロックウール脱臭資材は通気性に優れているため、通気抵抗は土壌の1/4~1/5程度低く、脱臭槽として脱臭資材を3~5倍程度高堆積することが可能です。その結果、脱臭装置の設置面積は土壌脱臭装置に比べて縮小することができます。土壌よりも保水性は劣るため、1日に5~10分の散水が必要となります。

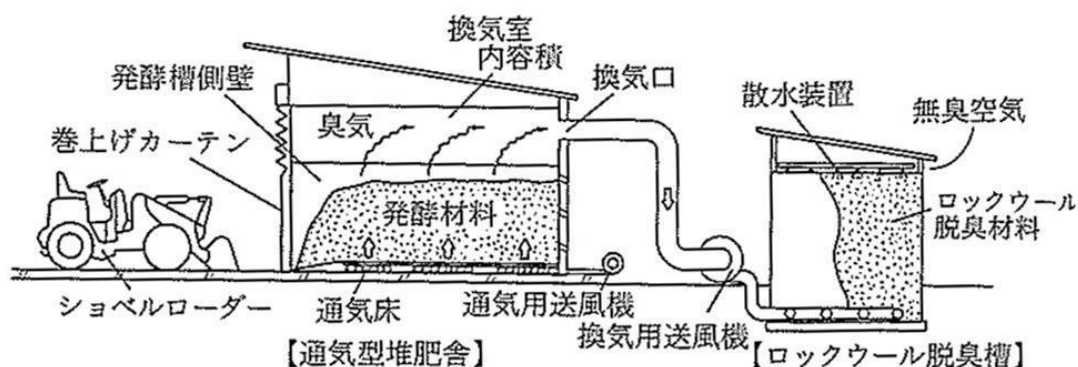


図2 通気型堆肥舎とロックウール脱臭装置 (道宗 (2012) 新編畜産環境保全論, p. 231)

(4) 吸引通気による脱臭と湿式スクラバー

吸引通気方式の堆肥化では、圧送通気方式の堆肥化に比べて、堆肥表面からのアンモニア揮散を1/10~1/100程度に抑制することができます。堆肥から吸引した排気のアンモニア濃度は1000ppmを超えることがあるので、アンモニア回収装置(湿式スクラバー)で硫酸またはリン酸溶液として回収することが有効です。アンモニア回収液はメロンなどの水耕栽培や水稲(飼料用イネ)栽培において利用可能です。

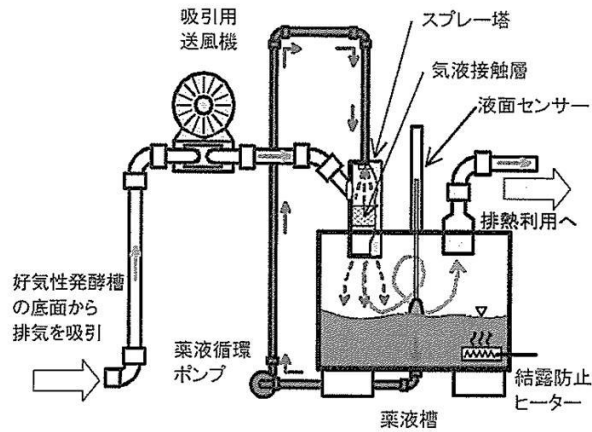


図3 吸引通気方式用に開発したアンモニア回収装置 (阿部ら, におい・かおり環境学会誌, 2009)

(5) 堆肥脱臭

堆肥には悪臭を吸着する能力があるので脱臭資材として利用できます。堆肥化初期の1～2週間はアンモニアの発生量が多いので、そのアンモニアを完熟堆肥に吸着させて脱臭するとともに、堆肥の窒素濃度を上昇させることが行われています。一般的に完熟した堆肥は堆肥化過程におけるアンモニアの損失によって窒素濃度が低くなっているので、このプロセスは窒素濃度を上昇させるために有効であり、完熟堆肥の窒素を1.7%から6%に上昇させることができます。堆肥脱臭は優れた脱臭方法ですが、加えて肥料成分を含む優良な堆肥の生産にもつながります。

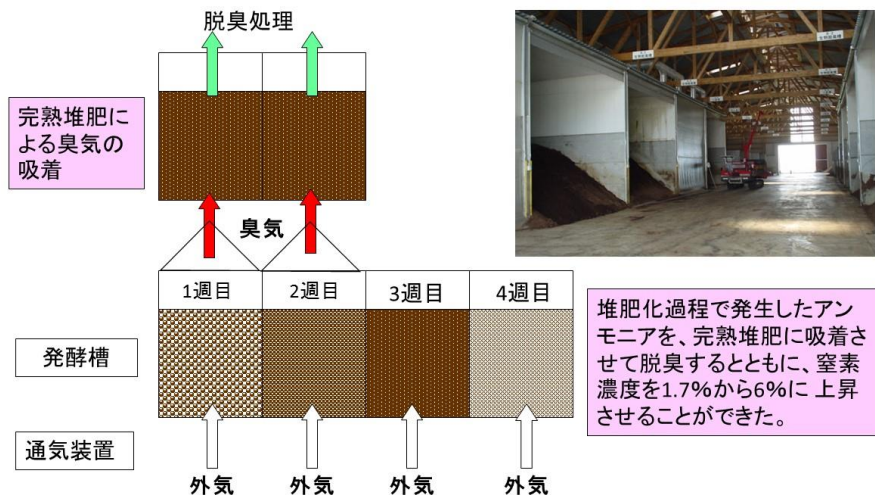


図4 堆肥脱臭システムのフロー (田中彰浩)

(6) 生垣による悪臭の緩和と草花による美化

開放型豚舎から発生する悪臭が周辺に拡散することを防止し除去する方法として、生垣による悪臭対策が有効です。樹木によるアンモニア除去能力は樹種によって差があり、ツゲ、ヒバ類、サンゴジュなどが高く、どの樹種でも明条件のほうが暗条件より高いアンモニア除去能力を示します。

アンモニア除去能力に加えて、生育が早く、萌芽力が強く、管理が容易で、値段が安いことなどの樹木の特性が重要です。総じて、サザンカやサンゴジュなどが適当と考えられます。

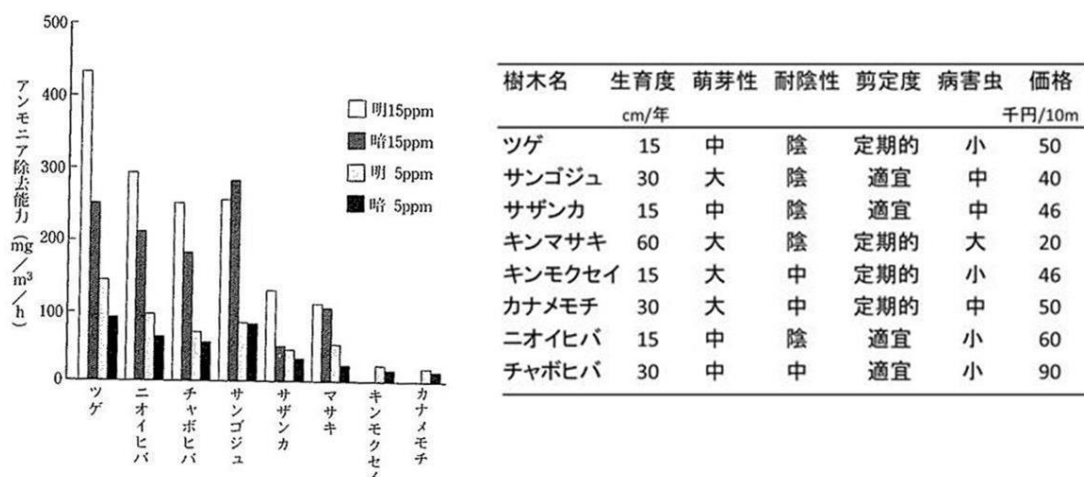


図5 生垣による悪臭の緩和 - 樹木のアンモニア除去特性 (左)
と樹木の特性 (右)

(高橋朋子、畜産環境対策大事典 第2版、2004年)

6. 畜産における臭気対策の基本

1) 畜産における最新の脱臭技術の考え方

におい・かおり環境協会 岩崎好陽
(畜産環境情報 第48号から転載)

1. はじめに

現在、各地において畜産農家は悪臭の問題で悩まされている。家畜のふん尿の堆肥化の過程での悪臭問題が少なからず原因となっているといえる。それ以外にも、畜産農家の規模が大きくなったことも要因としてあげられるし、新たに近隣に住宅が建てられることも大きな原因になっている。

農林水産省¹⁾においても、「畜産環境をめぐる情勢」の中で、悪臭問題を取り上げ、「悪臭防止対策を適切に講じていくことが、畜産業の健全な発展の観点からも重要な課題になっている。」と記載し、悪臭対策の重要性を指摘している。また、畜産環境整備機構²⁾においても、悪臭対策に具体的に取り組んでおり、「悪臭苦情を減らすために」を刊行するとともに、HPでも全文を掲載し畜産農家をサポートしている。このように畜産農家にとって悪臭問題は避けては通れない重要な課題になっている。これらの悪臭問題で畜産経営をやめるとい話を聞くが、私にとっては非常に残念なことである。悪臭問題をぜひ解決していただき畜産事業を今後とも続けてほしい。

すでに、畜産農家における悪臭対策の情報は広く出始めているが、ここでは、一部誤解されている面もあるので、畜産における悪臭対策の基本を述べるとともに、最近畜産農家で使われている最新の脱臭技術について記載してみたい。

なお、最初にお断りしておくが、私自身は畜産の専門家ではない。悪臭対策を専門とする立場から、長く畜産臭気と関係してきた経験から、コメントさせていただいた。

2. 悪臭対策の基本

畜産に限らず、悪臭対策の基本は、悪臭を発生させてから除くのではなく、できるだけ発生させない方法をまず考えるべきであり、効率的にも、経済的にもメリットが大きいといわれている。

畜産でも同様であり、ふん尿からの悪臭の発生量を少なくするためには、ふん尿の処理をできるだけ早く行うことが重要である。特に牛、豚が排出したふん尿は、排出した当初は臭気はそれ程でもないが、時間が経過すると、ふん尿中の微生物の働きにより、悪臭はどんどん増し、対策が難しくなるのである。そのため、ふん尿の処理は、できるだけ早めに処理することが重要である。

次に重要なことは、悪臭の原因物質はアンモニアだけだと誤解している人が多いこ

とである。アンモニアより、イソ吉草酸などの低級脂肪酸やメチルメルカプタンなどの硫黄化合物の方が、かえってにおいが強いことも理解しておかなくてはならない。畜産農家の人は、悪臭＝アンモニアという考えをする人が多く、このことが悪臭対策の失敗につながることが多い。

最後に、ふん尿の処理に当たっては、嫌気性処理は悪臭の発生も強く、反対に好気性処理を行う方が悪臭の発生量が少ない。酸素（空気）の少ない状態で活躍する嫌気性菌により、メタンだけでなく、畜産臭の主要な原因物質である低級脂肪酸や硫黄化合物が高濃度で排出される。

このように畜産臭気に関する基本的な 3 つの要素である「スピード」、「アンモニア以外の成分」、「好気性」をいつも頭に入れていただき、悪臭対策に取り組んでほしい。

3. 畜産農家における悪臭の発生源

畜産農家においては、ほとんどの場所が悪臭の発生源といえるが、その中でも特に問題となる発生源は、①畜舎、②排水処理施設、③堆肥化施設と考えられる。

①の畜舎については、密閉型をうたう農家もあるが、実際には夏場、畜舎内の温度が上がることから、密閉型は不可能である。そのため、畜舎から臭気が漏れることは避けられず、近隣の住宅から悪臭苦情が発生する場合がある。しかし、畜舎からの臭気は主にアンモニアが中心であり、近隣には悪臭苦情をもたらすが、数百m先まで悪臭被害を及ぼすことは、まず少ないのが一般的である。

畜舎においては、家畜のふん尿が中心であるが、飼料のにおいが問題になるケースもある。特にサイレージ飼料を用いている場合には、ふん尿のにおいよりかえって飼料の発酵臭が強くなる場合もある。

②の排水処理における悪臭対策の問題は、排水の放流先によって大きく異なる。また、下水道放流の場合は、畜産農家が存在する行政の対応状況によるところが大きい。窒素分やSSなど何の基準もなく、下水道に放流できるところもある。このように畜産における排水処理の問題は、排水の放流先の状況に大きく依存するが、近年各種の回分式処理槽などの開発により、排水処理施設からの悪臭問題は少なくなったように思える。しかし、施設のトラブル時には大きな悪臭問題に繋がることも多いので、十分注意する必要がある。

③の堆肥化施設は、畜産施設の中で、悪臭の発生量が最も大きい場所である。堆肥化施設についてはアンモニアも発生するが、他の臭気成分の発生量も大きい。堆肥が、一次発酵、二次発酵と、完熟していく過程で、臭気物質が放出される。最終的に完熟した堆肥は、においはほとんどない。完熟に至るまでの過程が重要である。

縦型発酵槽を用い、畜ふんを堆肥化している施設も少なくない。この場合も縦型発酵槽からの排気は、強烈な臭気を持ち、通常の場合、悪臭対策が必要になる。

以上のように、畜産において最も臭気が強く、問題が生じているのは堆肥化施設が

多い。後でも詳しく解説するが、現実には脱臭装置を設けている堆肥化施設も多い。また、畜産農家においてもこの堆肥化施設からの悪臭の解決に努力はしているが、一部誤解されている面もあり、解決に至っていない農家が多いのも事実である。

4. 畜舎における悪臭対策

畜舎においては、先にも述べたように、畜舎内の臭気が外部に漏れることは避けられない。そのため、畜舎における悪臭対策としては、臭気を発生させないように、できるだけ清潔に保つことが重要である。スクレーパーの稼働回数は悪臭対策には、それ程にはつながらないという報告²⁾もあるが、それでも1日に1~2回は必要である。この報告では、稼働回数よりも取りこぼしが重要視されている。取りこぼしにより長時間堆積しているふん尿から強い臭気が発生している可能性がある。

また、悪臭対策として、畜舎の開放部に水をたらしたり噴霧したりして、アンモニアなど水に吸収される臭気成分を除去する対策がとられる施設もある。また、開放部の傍に細かな網目状の布を張り、そこに水をたらす方法もみられる。これらの脱臭対策は、アンモニアの除去には有効でそれなりの効果はあるが、脱臭できない臭気成分も多いのも確かであり、畜舎からの悪臭を完全に除けるわけではない。それより、この対策は畜舎から排出される細かな粉じんを除去するのに役立っている。畜舎から排出される粉じんは、飛散して遠方でいつまでもおいを放つことになる。その意味でこの水洗浄による対策は有効といえる。

さらに、新しい技術として、光触媒を用いた脱臭装置が、各種のメーカーから、畜舎の悪臭対策に提案されている。ランニングコストが比較的安価なことから期待はされるが、脱臭効率の信頼できるデータは少なく、まだ、研究開発レベルと思える。

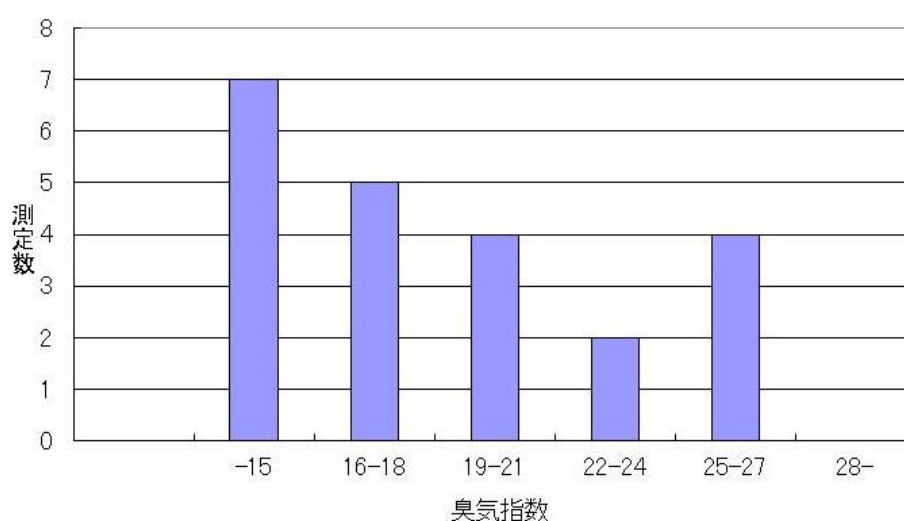


図1 豚舎内の臭気指数

次に、豚舎について、私が各種文献などから集めた臭気指数の測定結果の事例を図1に示した。臭気指数は三点比較式臭袋法³⁾により測定されている。全国で22か所の養豚場の豚舎内の臭気指数である。臭気指数とは日本の悪臭防止法で採用されている尺度で、臭気指数10とは、そのにおいを10倍に清浄な空気希釈した時に初めてにおいが消える濃度であり、臭気指数20とは、100倍に希釈した時に初めてにおいが消える濃度である。図1をみると、多くは臭気指数20（臭気濃度100）程度以下であり、この場合は近隣に大きな悪臭影響をもたらすことは少ないのではないかと考えられる。きちんと管理さえしていれば、測定データからは臭気濃度100以下は可能と思われる。この図の中で臭気指数25（臭気濃度30）程度の養豚場もみられるが、この場合は要注意である。

5. 堆肥化施設からの悪臭対策

ふん尿の堆肥化施設を有している畜産施設においては、臭気の排出総量の多くの部分は、この堆肥化施設からと考えられる。残りが畜舎及び排水処理施設などからの臭気ということになる。それだけ、臭気という面からは堆肥化施設が最も重要である。

堆肥化の過程では微生物により、ふん中の有機物を分解する必要があるが、その分解の過程で臭気が発生する。当初はアンモニアが発生し、その後は問題の多いイソ吉草酸などの低級脂肪酸やメチルメルカプタンなどの硫黄化合物が発生する。堆肥の需要者側からは、コストなどの関係で、必ずしも完熟堆肥を希望しない場合もある。しかし、完熟堆肥を目指して堆肥化を行う場合、この発生する臭気の状態は、堆肥製造工程を好気性で行うか、嫌気性で行うかによって全く異なる。

ふんを堆積し、数週間に一度シャベルローダーなどにより攪拌しているような施設においては、堆肥は嫌気性になり、低級脂肪酸や硫黄化合物などの強い臭気が発生する。今は見かけないが、昔私が経験した事例では、副資材を混ぜた牛ふんを、数か月、数mの高さまで堆積し、堆肥を製造している農家が存在した。悪臭苦情は2～3km離れた団地から多く寄せられた。

堆肥の発酵過程での悪臭問題を解決するため、比較的規模の大きな畜産農家では、好気性を目指してロータリー式、スクープ式、スクリー式などの自動攪拌式の発酵装置を導入する農家も多い。これらの装置の導入により悪臭問題が解決している事例もみられる。

このような嫌気性処理より好気性処理が悪臭対策上も優れている。好気性処理の有効性については畜産環境技術研究所のHP⁴⁾にも詳しく記載されているので参照してほしい。

なお、自動攪拌式の発酵装置を導入しているのは比較的規模の大きな畜産農家であるが、規模の小さな畜産農家においては、温度などで管理し、嫌気性にならないようにシャベルローダーなどで適宜攪拌してあげることになる。

現在、この堆肥化施設において多くの脱臭装置が付設されている。縦型の発酵装置にも脱臭装置が付設されているケースをみることがある。これらの堆肥化施設からは臭気指数 40 を軽く超える強烈な臭気（臭気濃度で数万）が発生する。多くの脱臭装置は、これらの堆肥化施設のあるヤードから強い臭気を吸引し、湿式洗浄装置や微生物脱臭装置で脱臭している。

湿式洗浄装置では酸洗浄、アルカリ洗浄などにより脱臭しているが、脱臭効率は高くは望めない。設置直後は高い脱臭効率も見られるが、その後は、せいぜい 50%程度か。脱臭効率が低い理由は、臭気成分には、酸性成分もあれば、アルカリ成分もあること。また、処理ガス量が非常に大きいこと（数百 m^3 /分）なども理由となっている。

微生物脱臭装置については、バーク、オガコ、鉱物などの充填層に臭気を通し脱臭しているが、長期的に安定して脱臭効率を維持しているものは少ない。微生物層にアンモニアが悪い影響を与えている可能性が強い。

以上のように、現在堆肥化施設に付設されている脱臭装置は必ずしも十分に機能していないものも多く見受けられる。

6. 堆肥化施設における新しい脱臭技術

それでは、畜産における堆肥化施設の脱臭装置はどのようなシステムがよいのかについて検討しよう。各種の脱臭装置を調べてみると、比較的長期にわたり高い脱臭効果を維持していくためには、湿式洗浄装置では難しく、微生物脱臭装置が有効である。その場合でも、次の点に注意を払う必要がある。

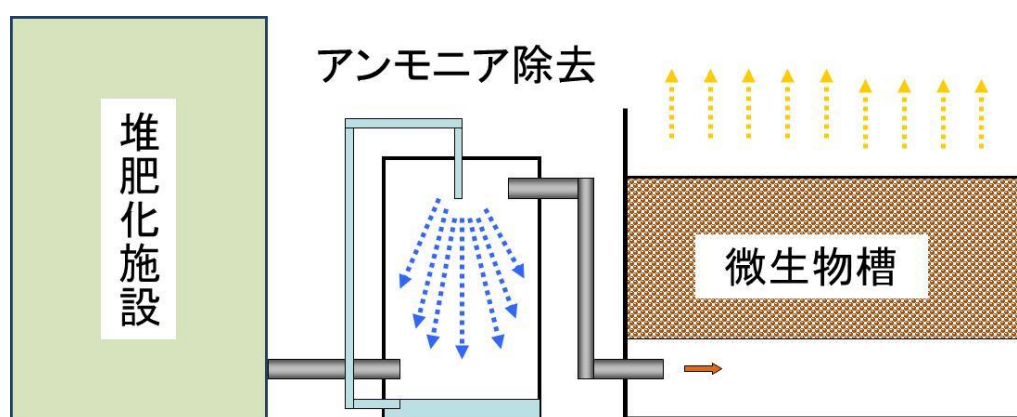


図 2 新しい脱臭装置の概念図

(1) 微生物脱臭法の場合、微生物槽の前でアンモニアを除いておく必要がある

堆肥化施設からの臭気を、微生物脱臭装置に導入する前に、図2に示すように、まずアンモニアを除いておく必要がある。簡易なアンモニアスクラバーなどで堆肥化施設から発生する数百 ppm から数千 ppm 程度の濃度のアンモニアを、10ppm 程度にまで低減しておく必要がある。

このアンモニアスクラバーには、スプレー式、充填筒式など各種の方式がある。吸収液としてリン酸や硫酸を用いることにより、吸収効率が上がるとともに、リン安、硫安などの液肥として利用することも可能である。この高濃度のアンモニアを除いてから、微生物脱臭装置に導入してあげることが重要である。微生物脱臭装置ではアンモニア以外の臭気を分解することになる。このようなシステムはすでに埼玉県農林総合研究センター畜産研究所⁵⁾でも試みられており、臭気指数のデータも取られ、90%以上の高い脱臭効率が得られている。

微生物脱臭槽で、アンモニアを除去しようと考えている人も多いが、これは非常に難しい。堆肥施設の悪臭の中でも、アンモニアは量的に圧倒的に多く、微生物脱臭では適さない。かえって高濃度のアンモニアにより、微生物層の pH が9程度まで上昇し、微生物は死んでしまい、その数を減少させてしまう。このような状態では1ヶ月で菌数は1/10程度にまで減少していく。アンモニアを脱臭槽に入れることにより、アンモニアを除去できないどころか、pH がアルカリになってしまい、微生物も減少し、アンモニア以外の臭気成分も除去できなくなってしまう。

このアンモニアを除いてから微生物槽に導入するという考え方は、吸気式の処理対策として記載したが、送気式の場合でも同様である。送気式の場合でのヤードのアンモニア濃度が数百 ppm に達することもあり、この臭気を直接微生物槽に導入することはできない。

(2) あくまでも微生物脱臭槽（充填槽）には、微生物がいなくてはならない

微生物脱臭法については、当初は黒ぼく土、ピートモス等が中心であったが、近年ではオガ屑脱臭法、パーク法、ロックウール法、軽石法、堆肥利用法など数多くの材料を利用した微生物脱臭法が試みられている。特に、出来上がり堆肥を活用することも重要である。完熟した出来上がり堆肥はほとんどにおいがないだけでなく、微生物も多く含んでいるので、費用がかからないこともあり、活用すべき充填物である。

土壌、ピートモスや堆肥を利用するものは、その中に $10^6/g$ 個以上の多くの微生物を抱えているが、充填物によっては、微生物の数が期待できないものもある。その場合は、徐々に微生物を多く含んだ小さな堆肥が飛んできて、それらが素材に引っ掛かり、徐々に微生物量が増えていくことは期待できる。

(3) 好気性に保つため、堆肥に通す空気は送気式より吸気式の方が適している

好気性にすることは悪臭対策上は重要であるが、堆肥に空気を送る方法もまた重要である。堆肥に空気を送る方法には、堆肥の下から空気を送る送気式と、堆肥の下から空気を引き抜く吸気式とがある。どちらも堆肥を好気性にする効率についてはさほど差はないが、処理対策上はかなりの差がある。

今までに多くの堆肥化施設をみてきたが、私自身は送気式の施設は悪臭対策上は問題がある施設が多く、多くの場合、吸気式を勧めたい。送気式を採用している畜産農家においては、堆肥ヤードが建屋内にある場合、建屋内は高濃度のアンモニア、臭気及び蒸気に汚染される。目は痛くなり、悪臭にも悩まされることになる。また、建屋が水蒸気などにより腐食の問題が生じ、苦勞することになる。

これに対し、吸気式で行う場合には吸気した空気が高濃度のアンモニア及び臭気を含むことになるが、堆肥ヤードのある室内の作業環境は快適になる。しかし、この場合は当然吸引した臭気の処理が必要になる。

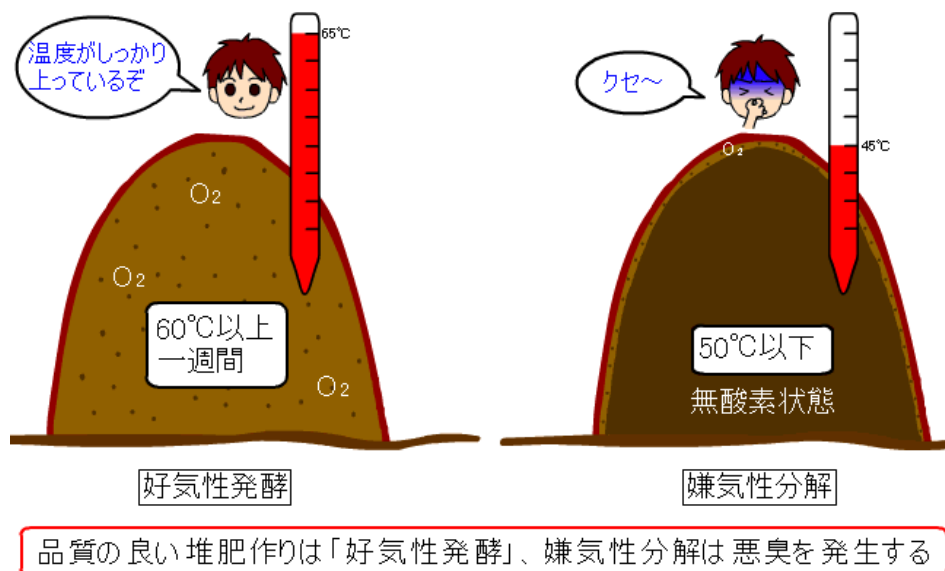
7. おわりに

ここではほとんど記載していないが、畜産における悪臭問題においては、イナワラ、オガコ、剪定枝など、使用する副資材の影響も大きい。副資材は微生物のエサになるだけでなく、堆肥化の過程において好気性に保つ資材としても有用である。このため、悪臭対策上も副資材は上手に活用する必要がある。この副資材を近隣の耕種農家から入手し、逆に近隣の耕種農家に畜産農家で作った堆肥を渡すような、いわゆる耕畜連携を図ることも、これからの畜産農家に必要なことである。さらに、地域の自治体が処理に困る街路樹の剪定枝などを副資材として活用していけば、悪臭苦情の低減にもつながっていく可能性もある。

畜産業は、私たちの社会の中で必要な施設である。悪臭問題を少しでも解決し、児童の社会見学の場にしたり、地域の中でコミュニケーションを保つなど、周辺との理解を深めることも、悪臭対策上、重要なことである。

参考文献

- 1) 農林水産省畜産環境・経営安定対策室：畜産環境をめぐる情勢，平成25年7月
- 2) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所：悪臭苦情を減らすために～養豚・酪農経営をささえる技術と知恵～，
http://www.chikusan-kankyo.jp/akushu_jirei/akushu_jirei.html
- 3) 岩崎好陽：第3訂一臭気の嗅覚測定法，公益社団法人におい・かおり環境協会，2013.
- 4) 畜産環境整備機構 畜産環境技術研究所：畜産農家のための堆肥生産サポートシステム_堆肥生産の基本_堆肥化処理とは_好気性発酵を行うこと，
http://www.chikusan-kankyo.jp/taihiss/taihi/S01/1_1_2_1.htm
- 5) 埼玉県農林総合研究センター畜産研究所：新技術情報 豚ふんの吸引通気式堆肥化処理及び簡易スクラバと剪定枝脱臭槽の組み合わせによる脱臭技術，2006.



(参考文献 4)

2) においの見える化と悪臭対策

畜産環境整備機構・麻布大学 羽賀清典
(畜産環境情報 第61号から転載)

何となく実態のつかめないものを「見える化」することが流行っています。例えば悪臭は、感じる人感じない人がいて、つかみどころのないものです。ここではにおい(悪臭)の見える化について考えてみましょう。

1. 悪臭物質が出ているから臭い

なぜふん尿は臭いのでしょうか。それは図1のように、ふん尿から悪臭物質が出ているから臭いのです。

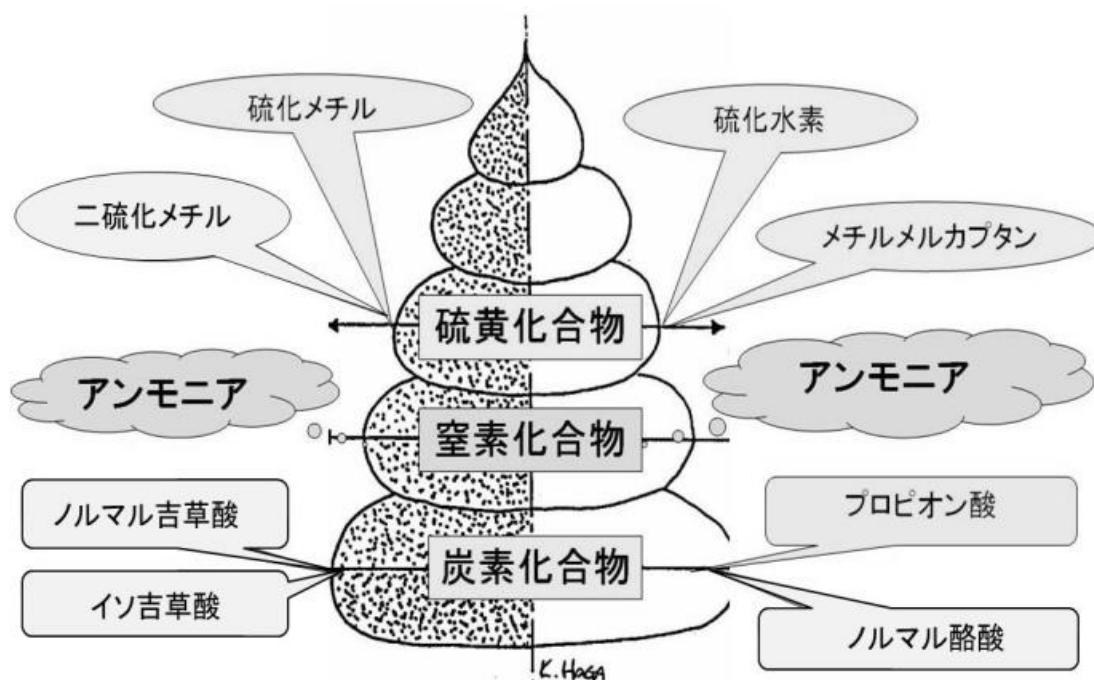


図1 ふん尿から出る悪臭物質

表1にその悪臭物質の性質を整理しました。アンモニアはツーンと刺激のある尿尿のようなにおいです。メチルメルカプタンは腐った玉ねぎのにおいです。

プロピオン酸は酸っぱいような刺激臭です。ノルマル酪酸は汗くさいにおいです。ノルマル吉草酸とイソ吉草酸は濡れた靴下のにおいです。このような悪臭物質のにおいが合わさって、ふん尿が臭いを感じるのです。

表1 ふん尿から発生する主な悪臭物質の臭気強度と特性

悪臭物質	物質濃度 (ppm)			におい
	臭気強度	2.5	3	
アンモニア	1	2	5	屎尿のようなにおい
メチルメルカプタン	0.002	0.004	0.01	腐った玉ねぎのようなにおい
硫化水素	0.02	0.06	0.2	腐った卵のようなにおい
硫化メチル	0.01	0.04	0.2	腐ったキャベツのようなにおい
二硫化メチル	0.009	0.03	0.1	腐ったキャベツのようなにおい
プロピオン酸	0.03	0.07	0.2	酸っぱいような刺激臭
ノルマル酪酸	0.001	0.002	0.006	汗くさいにおい
ノルマル吉草酸	0.0009	0.002	0.004	むれたくつ下のにおい
イソ吉草酸	0.001	0.004	0.01	むれたくつ下のにおい

2. においの見える化

人間の鼻の中にある嗅覚がにおいを感じます。バラの花のいい香り、焼き鳥を焼く美味しいにおい、ふん尿から出る悪臭など、すべてのにおいを嗅覚で感じ取ることができるのです。

臭気強度	内容	悪臭防止法 臭気強度 2.5~3.5の 範囲内で、 各自治体が 規制値を定 める
0	無臭	
0.5		
1	やっと感知できるにおい (検知閾値)	
1.5		
2	何のにおいかが分かる弱いにおい (認知閾値)	
2.5		
3	らくに感知できるにおい	
3.5		
4	強いにおい	
4.5		
5	強烈なにおい	

図2 6段階臭気強度による悪臭の見える化

臭気を感じる強さ（臭気強度）を図2のように6段階臭気強度で見える化（数値化）することができます。臭気強度0が無臭、5が強烈なおいとしてその間を6段階の臭気強度で表します。

臭気強度1はやっと検知できるにおいて、何かにおうが、何のにおいか分かりません。臭気強度2になると何のにおいか認知できるにおいになります。例えば、臭気強度1では何か臭いけど何のにおいか分からないが、2になると豚ふんのにおいと認知できることになります。専門用語で1を検知閾値、2を認知閾値といいます。臭気強度3はらくに感知できるにおい、4は強いにおい、5が強烈なおいとなります。

悪臭防止法の規制は、畜産事業場（養豚農家など）の敷地境界線において、臭気強度2.5～3.5の範囲内で各自治体の長が規制値を定めることとなっています（図2）。このように悪臭防止法は人間の臭気を感じる強さ（臭気強度）を基本に定められています。

3. 悪臭物質を97%除去して半分に感じる

嗅覚を感じる臭気の強さ（臭気強度）と悪臭物質の濃度との間には図3のような直線関係があります。臭気強度は悪臭物質濃度の対数値と比例しているのです。具体的に数値で見ると、悪臭物質が100ppmから50ppmに50%減少しても、臭気の強さは10%程度減るだけで、1.0から0.9になるだけなのです。また、人間が感じる臭気の強さを50%減らし、0.5とするためには、悪臭物質を97%減少させる必要があることが分かります。

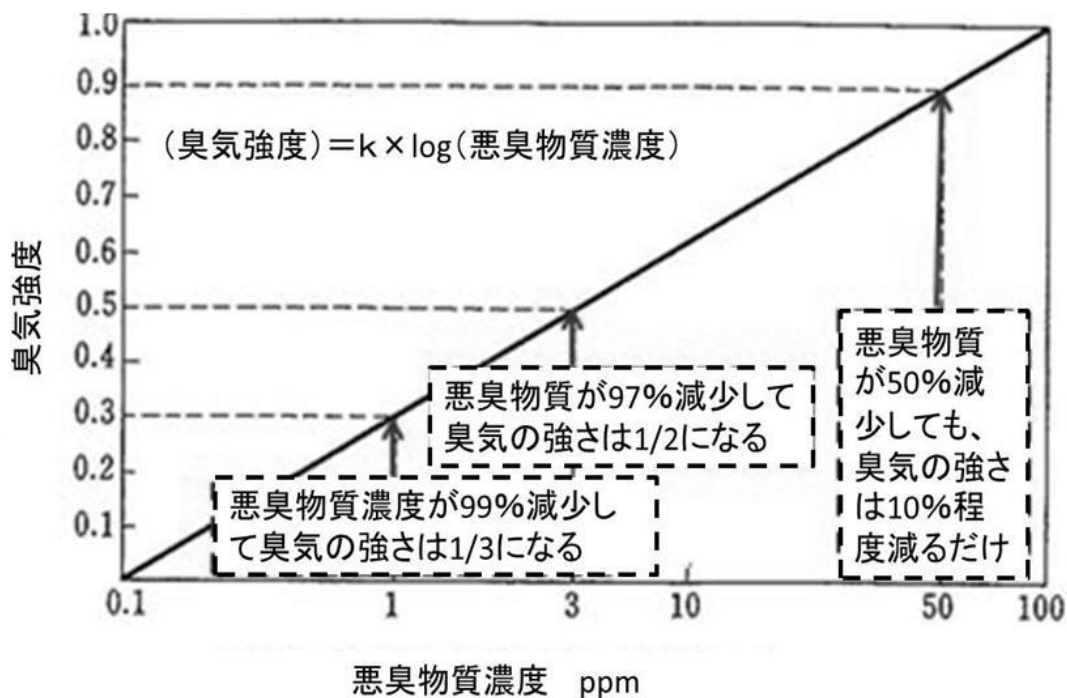


図3 感じる悪臭の強さを半分にするには、悪臭物質を97%除去

悪臭対策のためには悪臭物質を大量に除去しなければなりません。このように、悪臭物質を97%除去して臭気の強さがやっと半分になり、99%除去しても3分の1にしか低減できないということで、悪臭低減の難しさが分かります。

4. 悪臭物質の性質と脱臭

悪臭物質を除去・脱臭するためには、各々の悪臭物質の性質をよく知っておく必要があります。

表2に悪臭9物質の性質と脱臭について整理しました。

表2 悪臭9物質の性質と脱臭

悪臭9物質		水	酸・アルカリ	オゾン	活性炭	微生物
窒素化合物	アンモニア	水によく溶ける	アルカリ性 酸性液(物質)に吸収(吸着)される。	ほとんど分解されない。	あまり効果ない。	硝化菌による酸化。一部の微生物による菌体への変換。
硫黄化合物	硫化水素 メチルメルカプタン	水に少ししか溶けない	酸性	分解される。	吸着される。	硫黄酸化細菌による酸化。光合成細菌による酸化。一部の微生物による分解。
	硫化メチル 二硫化メチル	水に溶けない	中性			
低級脂肪酸	プロピオン酸	水によく溶ける	酸性	ほとんど分解されない。	吸着される。	多種類の微生物による好氣的分解。メタン細菌によるメタンへの変換。
	n-酪酸	水に溶ける	アルカリ液(物質)に吸収(吸着)される。			
	n-吉草酸 i-吉草酸	水に少ししか溶けない				

例えば、アンモニアは水によく溶ける性質を持っているので、水洗脱臭が可能です。さらに、アルカリ性なので酸性水溶液で効率的に除去することができます。硫黄化合物は水にほとんど溶けませんので水洗はあまり効果ありませんが、オゾンや活性炭が有効です。一方、プロピオン酸は水にはよく溶けますが、酸性なのでアルカリ液で効率的に除去できます。また各悪臭物質に特異的に作用する微生物がいるので、臭気低減にはその微生物利用も有効です。

代表的な脱臭装置である土壌脱臭装置は表2のアンモニアの性質を巧みに利用した装置です。臭気を土壌に通すと、土壌の水分がアンモニアを捉え、そのアンモニアを土壌の微生物が硝酸に変えることによって脱臭する装置です。ロックウール脱臭装置は土壌脱臭装置とほぼ同じ原理で敷地面積を5分の1に縮小した装置です。

5. 人間の鼻による見える化

(臭気指数)

悪臭問題の発生している現場では、アンモニアなどの悪臭物質の ppm 濃度をいくら除去しても問題が解決せず、もっと人間の鼻に近い数字による規制が必要ではないかという意見があります。そのため人間の鼻が感じる数値をもとにした臭気指数が使われています(表3)。養豚において臭気指数15が臭気強度3.0に相当します。臭気指数は次の式に示すように、臭気濃度の対数値を10倍した数値です。

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

表3 畜産における臭気強度と臭気指数の関係

畜種	各臭気強度に対応する臭気指数		
	2.5	3.0	3.5
豚	12	15	18
牛	11	16	20
鶏	11	14	17

例えば、現場で臭気濃度を測定したところ 30 だったとすると、臭気指数 $=\log 30 \times 10 = 1.48 \times 10 = 14.8 \approx 15$ となります。もしも、その地域の悪臭防止法の規制値が臭気強度 2.5（臭気指数で 12）だとすると、臭気指数 15 はそれを超過していることとなります。

6. 臭気濃度（人間の鼻による測定）

では臭気濃度とはどのように測定するのでしょうか。悪臭を無臭空気で薄めたときに、無臭と感じる倍率を人間の鼻で測定するものです。例えば、臭気濃度 100 は無臭空気で 100 倍に薄めたときに無臭、1000 は 1000 倍に薄めたときに無臭だと人間の鼻を感じる値となります。臭気が強いほうが臭気濃度の値は高くなります。

臭気指数は、この前の（式）のように、臭気濃度の対数値を 10 倍した数値となります。悪臭物質の有無とは別に、臭気指数は人間の鼻による悪臭の感じ方をそのまま見える化（数値化）できる特徴があります。そのため悪臭規制に臭気指数を導入する自治体があります。

7. 対策：嫌気処理は好気処理よりも悪臭が多い

（1）嫌気的な不完全分解による悪臭

ふん尿の処理方法は、空気（酸素）を送る好気処理と、空気を送らない嫌気処理の二つに分けることができます。図4のように、嫌気的な不完全分解によって揮発性脂肪酸（プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸）やメチルメルカプタンなどの悪臭物質が発生します。

（2）好気的な完全分解

好気的に完全分解することによって悪臭物質の発生が少なくなります。例えば堆肥化処理において、通気性を良くしてプロアーなどで十分に通気を行うと、好気的になって、悪臭の少ない品質のよい堆肥を生産することができます。

一方、通気性が悪くベタベタした状態で通気をしないと、嫌気的な不完全分解によって酸っぱいような悪臭が強く、品質の悪い堆肥となってしまいます。

しかし、時間をかけて嫌気的分解が完全に進めば、揮発性脂肪酸はメタンや二酸化炭素などの無臭物質に変わります。例えば、よく発酵したメタン発酵消化液の臭気が少ないのはそのためです。

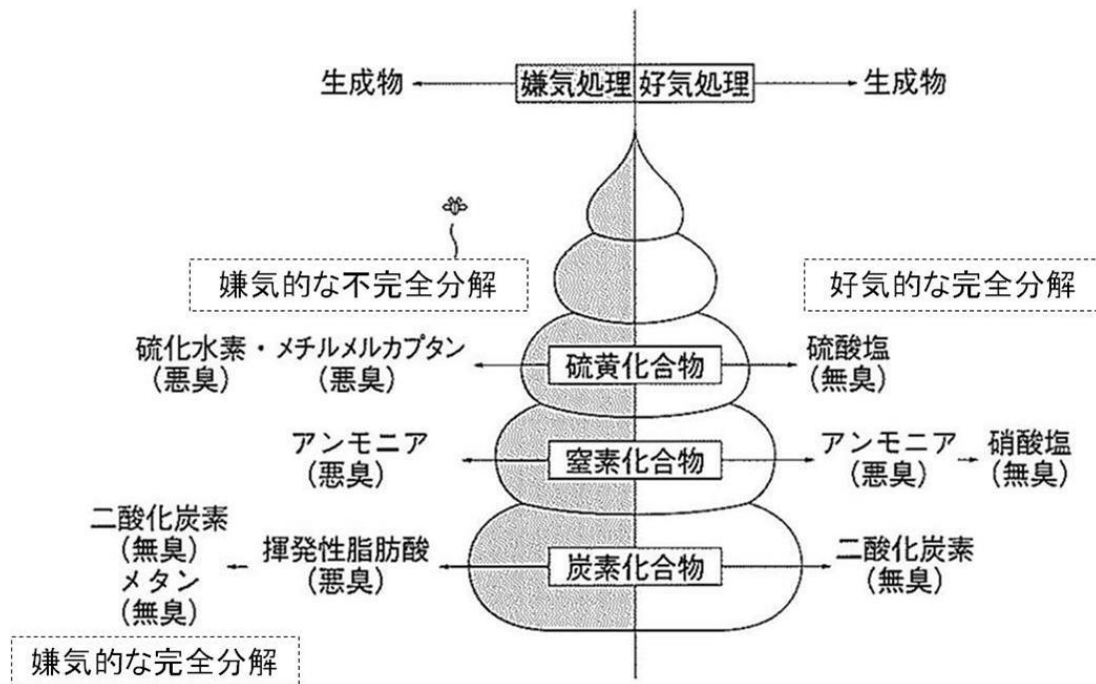


図4 嫌気処理と好気処理による悪臭発生の違い
「どうする！？ 養豚汚水 ふん尿処理対策ブック」より引用改変

(3) 好気的な浄化槽

浄化槽でも、設計条件に合った適正な空気量を送ること（曝気）によって、好気的な条件が保たれ、無臭で透明な処理水を得ることができます。一方、酸素不足になると、悪臭を放ち、水質が悪い処理水となってしまいます。

このように、ふん尿処理においては、適切な処理方法によって、悪臭が少なく、良質な堆肥や処理水を作ることができるのです。

参考文献

- 「新編 畜産環境保全論」, 押田敏雄・柿市徳英・羽賀清典共編, 養賢堂, 2012年, 276頁.
- 「どうする！？ 養豚汚水 ふん尿処理対策ブック」, 羽賀清典監修, チクサン出版社, 2004年, 176頁.

7) 参考文献

(著者・編者名アルファベット順。破線で囲んだ文献を代表的な BMP 文献として要約した。)

- 1) 阿部佳之, 福重直輝 (2006) 堆肥化处理に向けた簡易なアンモニアスクラバ. 農業機械学会誌, 第 68 巻, 第 4 号, 29~31 頁.
- 2) 阿部佳之, 本田善久 (2008) 吸引通気式堆肥化处理技術の開発 (第 3 報). 農業施設, 第 38 巻, 第 4 号, 13~26 頁.
- 3) 阿部佳之, 本田善久, 福重直輝 (2009) 吸引通気式堆肥化处理におけるアンモニア回収と資源化. におい・かおり環境学会誌, 第 40 巻, 第 4 号, 221~228 頁.

4) American Society of Agricultural and Biological Engineering (ASABE) (米国農業生物工学会) (2007) Management of Manure Odors (ふん尿の臭気対策), ASAE EP379.4 JAN2007, 4pp.

- 5) 畜産環境整備機構 (1998) 家畜ふん尿処理・利用の手引き. 1~202 頁.
- 6) 畜産環境整備機構 (2011) 事例解説集: 悪臭苦情を減らすために~養豚・酪農経営をささえる技術と知恵~. 1~85 頁.
- 7) 中央畜産会 (1990) 畜産における臭気とその防止対策. 1~208 頁.
- 8) 道宗直昭 (2014). 畜産におけるこれからの脱臭技術の考え方ーわが国の畜産に適した臭気対策をー. 畜産コンサルタント, 第 50 巻, 第 9 号, 12~16 頁.
- 9) 道宗直昭 (2015) 臭気対策技術の課題ー臭気の特徴と対策の考え方を踏まえてー. 畜産コンサルタント, 第 51 巻, 第 11 号, 33~35 頁.
- 10) 羽賀清典 (2015) においの見える化と悪臭対策. 畜産環境情報, 第 61 号, 21~26 頁.
- 11) 羽賀清典 (2004) 微生物等を原料とする各種資材の特徴と使い方. 農山漁村文化協会, 畜産環境対策大事典【第 2 版】, 595~637 頁.
- 12) 池口厚男 (2004) 畜舎内汚染物質の拡散防止. 農山漁村文化協会, 畜産環境対策大事典【第 2 版】, 675~681 頁.
- 13) Ikeguchi, A., Okushima, L., Zhang, G. and Strom, J.S. (2004) Contaminant air propagation between naturally ventilated scale model pig buildings under steady-scale conditions (大気安定条件下の模型自然換気豚舎における汚染空気の拡散). *Biosystems Engineering*, **90**(2), 217-226.
- 14) 池口厚男 (2014) 臭気物質と微生物を運ぶエアロゾル. 畜産環境情報, 第 54 号, 15~24 頁.

15) Iowa State University (アイオワ州立大学) (2004) Practices to Reduce Odor from Livestock Operations (畜産業から発生する悪臭の低減方法), 8pp.

- 16) 石黒辰吉 (1997) 臭気対策の基礎と実際、オーム社, 1~215 頁.
- 17) 泉 稔久 (2014) バイオフィルターシステムにおける臭気低減効果ー生物膜に臭気成分と粉じんを吸着させ硝化ー. 畜産コンサルタント, 第 50 巻, 第 9 号, 32~35 頁.
- 18) 岩崎好陽 (1997) 臭気の嗅覚測定法ー三点比較式臭袋法測定マニュアル. 臭気対策研究協会, 1~146 頁.
- 19) 岩崎好陽 (2013) 畜産における最新の脱臭技術の考え方. 畜産環境情報, 第 48 号, 9~16 頁.
- 20) 加藤 仁, 東城清秀, 渡辺兼五 (2002) 有機性廃棄物のコンポスト化過程で発生する環境負荷ガスの回収と利用. 農業施設, 第 33 巻, 第 2 号, 113~122 頁.

- 21) 環境庁大気保全局大気生活環境室監修 (1998) [最新] においの用語と解説 (改訂版), 臭気対策研究協会, 1~217 頁.
- 22) 小島陽一郎, 阿部佳之 (2011) 吸引通気式堆肥化処理による発酵熱の回収と利用. 農業施設, 第 42 巻, 第 2 号, 51~58 頁.
- 23) 栗木鋭三 (2014) 将来を見通した経営を. 養豚界, 第 49 巻, 第 3 号, 20~22 頁.
- 24) 黒田和孝 (2004) 養豚で利用される臭気対策資材. 日本養豚学会誌, 第 43 巻, 第 3 号, 143~167 頁.
- 25) 黒田和孝 (2009) 畜産経営における悪臭問題の現状と仮題. におい・かおり環境学会誌, 第 40 巻, 第 4 号, 221~228 頁.

26) National Pork Board (全米豚肉委員会) (2010) Basic Management Practices to Mitigate and Control Odors from Swine Operation (養豚経営の悪臭低減対策としての BMP) 3pp.

27) Nebraska Department of Environmental Quality (ネブラスカ州環境局) (2005) Best Management Practices for Odor Control (BMP による悪臭対策) 7pp.

- 28) 農林水産バイオリサイクル研究 畜産エコチーム 微生物エコチーム, 農林水産技術会議事務局, 農研機構 畜産草地研究所 (2005) 畜産で利用される臭気対策資材の効果判定方法. 畜産草地研究所, 1~49 頁.
- 29) 小堤悠平 (2015) 堆肥発酵熱を用いた堆肥の乾燥. 日本畜産学会報, 第 86 巻, 第 2 号, 219~227 頁.
- 30) 小堤悠平 (2015) 畜産臭気の高減対策について—BMP マニュアルの取り組み—. 畜産コンサルタント, 第 51 巻, 第 11 号, 36~38 頁.
- 31) 押田敏雄, 柿市徳英, 羽賀清典 共編 (2012) 新編 畜産環境保全論. 養賢堂, 1~276 頁.
- 32) 澤村 篤 (2010) 臭気を防ぐ効果がある「スラリーの浅層施用技術」. もっと知りたい環境対策—糞尿を宝にし、搾乳排水を浄化する, デーリィ・ジャパン社, 31~36 頁.
- 33) 田邊 眞, 川村英輔, 齋藤直美, 青木 稔, 藤井八月, 倉田直亮 (2007) 消臭型家畜ふん堆肥化ハウスの開発 (2) 畜産臭気脱臭システムの実証試験. 神奈川県畜産技術センター研究報告, 第 1 号, 31~39 頁.
- 34) 田邊 眞, 川村英輔, 加藤博美, 青木 稔, 柿市徳英, 代永道裕 (2007) 微生物脱臭装置と活性汚泥浄化槽による密閉型強制発酵装置排気の処理に関する試験. 神奈川県畜産技術センター研究報告, 第 1 号, 45~50 頁.
- 35) 田中章浩 (2003) 堆肥脱臭装置つき低コスト強制通気式堆肥舎の開発. 畜産環境情報, 第 21 号, 18~21 頁.
- 36) 田中章浩 (2009) 出来上がり堆肥による悪臭の除去と堆肥の窒素成分調製. におい・かおり環境学会誌, 第 40 巻, 第 4 号, 229~234 頁.
- 37) 東城清秀 (2003) コンポスト化材料中の水分移動解析. 木村俊範監修, バイオマス資源のコンポスト化技術, シーエムシー出版, 75~84 頁.
- 38) 山田正幸, 三枝孝裕, 高橋朋子, 鈴木睦美 (2009) 畜産現場向けの脱臭装置. におい・かおり環境学会誌, 第 40 巻, 第 4 号, 235~240 頁.
- 39) 山本朱美 (2009) 豚における低蛋白質飼料への高繊維質飼料原料の添加によるアンモニア発生量の低減. におい・かおり環境学会誌, 第 40 巻, 第 4 号, 241~247 頁.

8) 参考資料

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ネbraska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、グリーン 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、スクレーパー、 プル・プラグ法等) b. グリーンで乾燥 (家畜体表面、床 面、器具装置) c. ダストは悪臭物質の キャリアー 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. フィードロットの地表面 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 (ウインドブレイク・ウォ ル、防風壁) f. 油散布(低コスト) g. 造園 (透過性フィルター) h. 飼料調製 (低タンパク飼料、 ペパーミント、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. ウインドブレイク・ウォ 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 嫌気性ラグーン 嫌気性消化法 (メタン発酵法) カバー(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. 嫌気性ラグーン (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. 嫌気性ラグーン 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μβ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. 堆肥化处理	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. エアロゾル発生防止 f. 地表面近く散布 g. リケージョン 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. リケージョン 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 ーなど)	a. ダスト除去フィルター b. バイオフィルター

2) 米国の代表的BMPの要約

①米国農業生物工学会 (ASABE American Society of Agricultural and Biological Engineering)

ASAE EP379.4 JAN2007

ASAE EP379.4 JAN2007
Management of Manure Odors



American Society of
Agricultural and Biological Engineers

ふん尿の臭気対策 (Management of Manure Odors) (要約版)

この資料は ASAE (米国農業工学会) の農業衛生・廃棄物処理委員会が創案し、ASAE の施設・環境部会の標準化委員会の承認を受け、1975年12月に ASAE に採用された。その後 1980年12月と 1985年12月に再確認、1986年12月に改訂、1991年12月に再確認、1997年11月に改訂、2003年2月に再確認、2005年7月に改訂、2007年1月に改訂されている。

1. 目的と範囲

- 1.1 臭気の生成、発生、移動、検知などの原理については研究途上であり、現状入手できる知識に基づいて悪臭対策を決める。
- 1.2 家畜ふん尿の悪臭は環境汚染 (nuisance) である。畜産農家の悪臭を完全に除去することは経済的には不可能である。しかし、この資料で取り上げた最適管理手法 (best management practice) を活用することによって、悪臭の生成と環境汚染対策に取り組むことができる。
- 1.3 この技術的実施手法が役立つ範囲は、技術者、汚染対策担当者、土地利用計画担当者、畜産農家など、その地域において土地利用計画、建設、家畜飼養・畜産業に携わる人たちである。その結果、家畜ふん尿の臭気によって生じる社会的紛争や大気汚染の悪化に取り組むことができるものとする。

2. 標準的な文献

- 2.1 ANSI/ASAE EP403.3 FEB04, 家畜ふん尿処理利用のための嫌気性ラグーン的设计。
注：ANSI (American National Standard Institute)：米国国立規格協会
ASAE (American Society of Agricultural Engineers)：米国農業工学会
- 2.2 ASTM E679-91 (1997), A Forced-Choice Ascending Concentration Series Method Limits による臭気及び味覚の閾値測定の標準的実施手法。
注：ASTM (American Society for Testing and Materials)：米国材料試験協会
- 2.3 ASTM E544-99 (2004), 超閾値臭気強度 (Suprathreshold Odor Intensity) を参考にした標準的実施手法

3. 臭気の発生源とその同定

- 3.1 畜産業の臭気はふん尿処理利用方法に深く関係している。臭気物質は無機及び有機物質の蒸気及びガスである。臭気物質は畜産業の多くの場所から発生する。しかし、臭気の主な発生源は、**オープン方式のフィードロット、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**である。
- 3.2 臭気物質が発生し、臭いと感じる人の所にその臭気物質が移動すると、臭気を感じる。ふん尿からの臭気の発生条件は、**臭気化合物の揮発性、ふん尿の物理化学的性質、温度、ふん尿表面の空気の動き**などが関係する。
- 3.3 臭気物質は主に**嫌気性分解反応で発生**する。ふん尿の分解にともなう悪臭に関する 150 以上の化合物が同定されている。これら化合物の主要なグループを表 1 に示す。

表 1 家畜ふん尿の嫌気性分解で発生する代表的な化合物

揮発性脂肪酸	硫化物
酢酸	硫化水素
プロピオン酸	硫化メチル
酪酸	硫化エチル
イソ酪酸	二硫化メチル
イソ吉草酸	
	アンモニアとアミン
アルコール	アンモニア
	メチルアミン
アルデヒド	エチルアミン
	ジメチルアミン
エステル	トリメチルアミン
	ジエチルアミン
フェノールとクレゾール	
フェノール	窒素ヘテロ環化合物
p-エチルフェノール	インドール
p-クレゾール	スカトール
メルカプタン	
メチルメルカプタン	無臭ガス
エチルメルカプタン	二酸化炭素
プロピルメルカプタン	メタン

- 3.4 臭気による環境汚染は、一般的に次に示す 4 つのファクターで定義される。臭気を感じる**頻度** (frequency)、**強度** (intensity)、**持続時間** (duration)、**悪臭の度合** (offensiveness) の 4 つである。臭気の感覚は個人的な反応である。臭気観察者の感覚は同じでなく、一番厳しい基準に従うことになる。臭気強度が変動する気象条件は、**風向、温度、大気の安定度**などである。したがって、臭気の強さや臭気の性質に関する資料は、特定の場所や特定の発生源に焦点を当てたものである。もしも、その場所へ調査に行けないときは、比較対照として、操作条件や気象条件が同じ場所を利用する。

4. 臭気濃度及び臭気強度の測定

- 4.1 大気中の臭気 (もしくは臭気化合物) は 2 つのタイプの臭気閾値 (しゅうきいきち)、すなわ

ち臭気検知閾値と臭気認知閾値で表される。**臭気検知閾値**は人間の嗅覚で検知できる臭気物質の最小濃度と定義される。**臭気認知閾値**は人間によって認知できる臭気物質の最少濃度と定義される。**ふん尿の臭気閾値は、臭気化合物の混合物**で測定される。畜産農家において、ふん尿処理の違いが臭気低減に与える影響は、臭気閾値で評価される。

4.2 臭気の測定法には二つの基本的な方法が開発されている。**直接試験法**または**嗅覚試験法（官能試験法）**は人間の鼻を用いる方法で、ふつうは訓練を受けたパネル（パネリストと呼ぶ）によって行う。**間接試験法**は各化合物の濃度を測定する方法、または直接法で測定したにおいのデータと相関を持つ一連の化合物を測定する方法である。

4.2.1 **直接試験法**は、スケーリング法と希釈法の2つに分けられる。**スケーリング法**は、数値尺度または既知の比較対照物質の臭気強度に照らして、臭気強度の値をパネリストから聞き取る方法である。もっともよく用いられる比較対照物質は1-ブタノール（別名：n-ブチルアルコール、またはブチルアルコール）である。**希釈法**は、無臭の液体または空気によって、被験者がほとんど検知できなくなる閾値まで希釈する方法である。測定に用いる機器はセントメーターとオルファクトメーターである。オルファクトメーターを用いた標準法がASTM E544-99に掲載されている。

4.2.2 **間接試験法**は、臭気のある大気に存在する**成分の濃度を測定する方法**である。アンモニアと硫化水素の2つの化合物は、家畜ふん尿の臭気を評価するときにはごく一般的に測定されるが、臭気強度のとの間にはほとんど相関がない。**ガスクロマトグラフィー質量分析計（GC-MS）**は、各化合物を正確に同定するために一般的に利用されている技術である。GC-MSと**嗅覚試験ポートを組み合わせた方法（GC-MS-O）**によって、各化合物の化学分析と嗅覚分析が同時にできる。GC-MS-Oは臭気に関係する主要な化合物を同定する役立つ技術である。臭気化合物の濃度と人間の嗅覚による測定（臭気強度）の間には相関がある。

5. ふん尿からの臭気発生対策技術

5.1 家畜ふん尿の収集、運搬、貯留、処理、土地施用のときに発生する**悪臭化合物は、嫌気性条件下における微生物の代謝生産物**である。これら悪臭化合物を処理する方法には、**化学的、物理的、生物的な各種処理プロセス**を応用する方法があり、以下に**代表的な方法**を示す。

5.1.1 **乾燥処理**はエネルギーコストがかかって実用的ではないが、嫌気性の微生物分解を阻止する意味では有効である。ふんの水分が50%かそれ以下に低減すると、ふんは多孔質になり、通気性がよくなり嫌気性分解が起きなくなる。

5.1.2 液状ふん尿から**固形物を分離**することによって、嫌気性分解する炭素化合物の一部を除去でき、液状処理施設から臭気が発生する可能性を低減できる。分離した液状物からの臭気発生低減のために、細・微粒子を除去する必要がある。分離した固形物は乾燥処理、堆肥化、他の処理によって臭気が発生や、ハエの繁殖を防ぐ必要がある。乾燥や堆肥化は臭気やハエの対策に有効である。

5.1.3 **消毒・殺菌**によってふん尿中の微生物を殺し、嫌気性分解を防止する。塩素、過酸化水素、オゾン、その他化学的消毒剤が希釈汚水の消毒に利用されてきた。ふん尿の**pHを調節**することは、微生物の活性低減に効果がある。pH9以上にするとふん尿の臭気低減に有効だが、pHが上昇することによって、ふん尿からのアンモニア揮散が膨大になる。したがって、悪臭発生とアンモニア揮散とのトレードオフの関係を考慮し、pH調節を評価すべきである。

5.1.4 **エアレーション**によって、嫌気性分解を防ぎ、臭気が発生対策が可能である。処理槽を用

いた完全混合曝気とふん尿貯留槽もしくはラグーン処理における長時間表面曝気法の2種類の処理方法がある。臭気対策に必要な曝気量は、処理するふん尿の性質、温度、処理の形式、後処理槽の規模などで異なる。**生物化学的酸素要求量（BOD）の1/3～1/2に相当する酸素**を供給することで、エネルギーコストを最小限とし、臭気の発生を低減することができる。

- 5.1.5 **嫌気性消化**は、**密閉槽内**でふん尿の有機物を安定化することができる。嫌気性プロセスで発生する臭気ガスを捕集し、ガス流路内で化学的、生物的、または熱化学的洗浄法によって臭気を除去する。消化液や消化汚泥から発生する悪臭は、離れた施設に貯留することで最小限にすることができる。
- 5.1.6 **堆肥化**は、固形状のふんを**臭気が少なく安定化**させるために有効な技術である。効果的な堆肥化を行うためには**水分が40～60%、炭素窒素比が20～30**である必要がある。もしも、ふんの水分が高すぎ、炭素窒素比が低すぎる場合には、他の**有機物を添加**して最適レベルに合わせる。そのための添加有機物には、ワラ、綿実カス、再生紙などがある。これら副資材を適正に使用することによって、堆肥への酸素の拡散量が増加する。堆肥化初期にはアンモニア揮散量が多いが、後熟期や農地施用時の堆肥化物の臭気が極めて少ない。
- 5.2 臭気対策を促進するように作製された多種類の**臭気低減資材**が市販されている。これら資材は、化学薬品、酵素剤、あるいは微生物資材の性質を持っている。いくつかの資材は臭気低減に効果があるといわれてきた。大量に購入するにあたっては、実験室と圃場で綿密に評価する必要がある。臭気低減用の4つのタイプの化学製品について以下に述べる。
 - 5.2.1 **マスキング剤**は、揮発オイルの混合物で、ふん尿の臭気を強力にカバーしてしまう。
 - 5.2.2 **中和剤**は、ふん尿と混合したときの臭気を低減するように、ふん尿の臭気をキャンセルする資材である。
 - 5.2.3 **脱臭剤**は、ふん尿の臭気が揮散しないよう臭気を除去あるいは別の物質に変換する資材である。脱臭剤は強力な**酸化剤**であったり、微生物活性の**阻害剤**であったり、**酵素バランス**を変えて消化プロセスに変化を及ぼしたり、ふん尿の **pH** を変えて臭気化合物の**化学変化**を起こさせるものなどがある。
 - 5.2.4 **吸着剤**は、大きな表面積を持っており、臭気物質が環境に排出される前に吸着する資材である。
- 5.3 **飼料組成**を変えたり、臭気を低減する**資材を飼料に添加**して、ふん尿の臭気を低減する試験が行われてきた。家畜のアミノ酸要求量に合わせてバランスをとってタンパク質を給与すると、臭気を低減できる可能性がある。この資材を利用することで、新鮮ふん尿の初期の臭気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性になると臭気が発生する。
- 5.4 色々な臭気低減技術を利用することができる。これら技術を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**が悪い結果もある。畜産経営者は、維持管理を改善し、臭気問題と解決する技術を実行するようにプログラムを開発する必要がある。

6. 畜産農家の臭気対策

- 6.1 家畜ふん尿の臭気で引き起こされた苦情の程度は、物質的ファクターと社会的ファクターの関係式で示される。**物質的ファクター**は臭気そのものであり、例えば、臭気の強度、持続時間、頻度、悪臭の度合は**最適管理手法（best management practice）**を適用することによって対処で

きる。**社会的ファクター**は、例えば、近所の人たちが畜産農業を高く評価してくれること、近所の人たちが地域の環境に親しみを持っていること、そして畜産経営の外見に関する事などそのすべてに関して、臭気に対するレベルが寛容レベルなのか苦情レベルなのかによる。

6.2 **立地条件** 地域の地理的条件、地形学的条件、気象学的条件を考慮して、畜産経営に適切な立地を選定することは、環境に配慮し、社会に受け入れられる畜産経営を創造する上で非常に重要である。

6.2.1 汚染の苦情の可能性をなくすためには、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。畜産農家の畜舎から発生する臭気に関する多くのファクターには複雑な相互作用があるため、単純に距離を離すことがすべての経営に当てはまるものではない。施設の**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。

6.2.2 屋外レクリエーション活動に関係のある年間**風向時間**予報データは、近隣の住まい、職場、施設に臭気が届くのを低減すると考えられる。大気の状態が静かな日や寒い夜に臭気が下方へ移動するのを防ぐために、低地や谷地域に住む隣人よりも低いところに家畜飼養施設を設置する。

6.3 **畜舎とフィードロット** 畜舎やフィードロットで発生する臭気は**ふん尿の分解生成物**である。家畜の体表面、床面、器具・装置などを**クリーンかつ乾燥した状態**に保つことが、臭気を低減することにつながる。**ダスト**は臭気の実質的なキャリアーとなっている。家畜、飼料、ふん尿からのダスト生成を最小限にする管理手法が望まれる。換気の臭気やダストを除去することも臭気低減に効果ある。

6.3.1 **換気をクリーニング**することによって、臭気を低減することができる。クリーニング法としては、ダストを除去するために**フィルター**にかけることや静電式集じん機を用い、ガス洗浄のためには物理的吸着（**活性炭フィルター**、**乾式または湿式スクラパー**）、化学反応（**消・脱臭剤**、**オゾン反応器**）、生物学的酸化（**バイオフィルター**）などの方法を用いる。ダスト発生が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ることも、臭気を低減し大気の質を改善することにつながる。

6.3.2 **ふん尿の収集システム**は、家畜をクリーンに保つように設計・操作されるべきである。暖かい家畜の体表面を湿ったふん尿で覆うと、細菌類の増殖が加速度的に促進され、臭気の生成や大気への急速な臭気揮散が促進される。**ふん尿を家畜から分離**する収集システムである**スノコ床**、適切に設計された**フリーストールシステム**などが使用されるべきである。

6.3.3 畜舎から**ふん尿の除去**を頻繁に行うと、舎内のふん尿からの臭気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臭気発生が増加するであろう。ふん尿除去方法として通常行われている方法は、**水洗**、**スクレーパー**、栓を引き抜いて貯留ふん尿を排出（**pull-plug プル・プラグ法**）するシステム、**ピットに再貯留**（**pit recharge ピット・リチャージ法**）するシステムなどである。浅いピットでは、ふん尿を除去したあとに水を張ることによって、新鮮ふん尿の臭気は低減するであろう。

6.3.4 **飼料給与施設**のエリアは乾燥した状態を保ち、飼槽や水飲み場の周辺の**廃棄飼料の蓄積量は最少限**にすべきである。

6.3.5 **フィードロットの地表面の貯留ふん尿の水分を 25~40%に管理**することは、重要な臭気低減実施手法である。土地の排水と乾燥を促進するために、傾斜度3~6%で、太陽光線の当たるところ（南または西向き）を選定する。**ふん尿及び汚水の収集・貯留システム**は、適切に設計され運転されなければならない。そのことによって、ふん尿と汚水を一緒に収集

し、フィードロット周辺の水質が保護される。これらシステムでは排水が適切に行わなければならない、その結果、臭気低減も達成される。効果的な**ダスト低減**を効果的に行うことは、フィードロット周辺の重要な臭気低減方策となる。

6.3.6 **家畜の死体処分**は、臭気を低減し、ハエを防ぎ、厳しい健康リスクをなくすために明確な計画が必要とされる。死体は生産現場から 24 時間以内に除去することがほとんどの地域で必要とされている。**レンダリング・サービス**が利用できる場所では、そのサービスが望ましい。地域の規制によっては、地中に埋めること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いくつかの地域では可能であろう。

6.4 **ふん尿の貯留施設と処理施設** ふん尿からの臭気発生を低減する技術に関しては 5 節で述べた。ここでリストアップする低減方法は、ふん尿貯留・処理施設で追加的に実施される臭気低減技術である。

6.4.1 貯留ふん尿の表面を**被覆**（カバー）または空気に曝される表面積を小さくすることによって、臭気の揮散率を低減する。被覆に用いる材料は、合成品（プラスチック・フィルム、メンブタン）、コンクリート、天然素材（ふんの塊（クラスト）、ピートモス、その他浮く素材）などである。完全に密閉して被覆した場合、ふん尿から発生するガスの圧力を抜くために、ガス抜き口が必要である。抜いたガスは臭気があるので、処理することが薦められる。処理法としては、オゾン処理のような化学的処理や、バイオフィルターのような生物学的処理がある。

6.4.2 **嫌気性ラグーン**は、固形物を液状化し臭気を低減するなど、生物学的な部分処理である。しかし、ラグーンが適切に機能するのは、温度、有機物負荷、pH、塩類濃度、水深などの条件次第である。嫌気性ラグーンは、地域の地理学的、気象学的条件に固有なガイドラインに沿って設計、操作されなければならない。ASAE EP403.3「**家畜ふん尿処理利用のための嫌気性ラグーン的设计**」を参照。ラグーン的设计は、予測される最大のふん尿負荷を基本として設計されるべきである。有機物負荷が過剰になるとラグーンの中の微生物反応のバランスが崩れ、臭気発生が増加する。ラグーン投入前に固液分離を行うことによって、嫌気性ラグーン処理の必要容積を減らすことができる。

6.4.3 ふん尿貯留施設や処理施設の風下に**植樹**することは、春・秋の季節特有の風で明らかにように、臭気化合物を**吸着**するだけでなく、**空気の流れを樹の上方へ**そらすことによって、臭気が近隣へ移動することを防ぐ方法となっている。植樹は人にアピールする**景観**を作る付加効果もある。

6.5 **農地施用** ふん尿の農地への有効性を上げると、土壌構造の改良、水浸潤性の増加、農業システムにおける養分リサイクル、土壌侵食の防止などがある。土壌は有機固形物を安定化したり、病原性生物をろ過除去したり、好ましい環境を提供している。土壌は優れた臭気吸着材であるが、**農地施用量**については適切な養分管理やシステム計画に沿って決められるべきであり、また、**養分管理計画**に関する連邦もしくは州の規制に一致するものでなければならない。ふん尿を農地施用したときの臭気発生の可能性を低減する手法を次に示す。

6.5.1 ふん尿を農地施用しているとき、または施用してすぐに土壌に**鋤込む**ことは臭気揮散の低減に効果がある。住宅地域、公共施設、道路の近くという臭気に敏感な地域では、ふん尿のすき込みが推奨される。その方法は、1)土壌に**注入**（injection **ソイルインジェクション**）したあと、1~2 インチ（2.5~5cm）土壌で**被覆**（カバー）するやり方、2)施用中もしくは施用後すぐに根の深さまですき込むやり方である。この方法は、養分を保全し地表水

の汚染の可能性を減らす。

- 6.5.2 ふん尿の表面散布には、ふん尿の**エアロゾル**の発生が少ない装置を使用すべきである。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。早く乾燥し暖かい気候でもハエの増殖が起きないように、ふん尿は均等に薄い層になるよう散布する。ふん尿の表面散布頻度を管理する。
- 6.5.3 適切に設計され良好に管理されたラグーンからポンプアップされたふん尿や、5 節にリストアップした確実な処理プロセスで処理した液状ふん尿について、スプリンクラー・システムを用いた**イリゲーション**（灌漑、灌水）が一般的に利用されている。臭気を低減するために蒸発ロスは最小限とすべきである。
- 6.5.4 農地施用における臭気的环境汚染を防ぐためには、適切な**施用時期**を選ぶことが重要である。住宅地や公共施設の近くの地域に向かって**風**が臭気を移動させる時には、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**、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。臭気を低減するために最も好都合な気象情報を利用する。荒れた風が吹いて臭気を拡散・希釈し、ふん尿を乾燥させるような時を選択する。

②アイオワ州立大学 (Iowa State University)



Practices to Reduce Odor from Livestock Operations

IOWA STATE UNIVERSITY
University Extension

畜産業から発生する悪臭の低減方法 (Practices to Reduce Odor from Livestock Operations) (要訳版)

畜産業に関係する悪臭対策は、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。悪臭物質はダスト粒子で運ばれるので、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

悪臭は粒子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 μ m の粒子の 45%、10 μ m の粒子の 80%がトラップされる。機械式フィルターによって、臭気希釈閾値を 40~70%低減する。

バイオフィルターは粒子をトラップし生物的に分解する。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 0.25 ドル/出荷子豚 (1 ドル 120 円として 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群が生育する適正条件を実現する。その条件は、酸素濃度、温度、反応時間、水分含量である。低コストのバイオフィルター・システムは、1000cfm の排気を処理するバイオフィルターで 150~200 ドル (28.3m³/分の排気を処理するバイオフィルターは 18,000~24,000 円) となる。

(2) 不透過性障壁 (遮蔽壁)

悪臭はダストに載って動いている空気の流れを止める防風壁 (ウインドブレイク壁) や空気溜めを利用する。

防風壁を 10 フィート×10 フィート (3.048m×3.048m) 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。

遮蔽壁の交換時期は、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。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り、他の経費として噴霧機と毎日の噴霧作業する労働費がある。

(4) 造園

造園は、粒子物質の透過性フィルターの役割を果たす。樹木や灌木は、バイオフィルターの役割を果たす。敷地境界線にも植えることができる。



造園

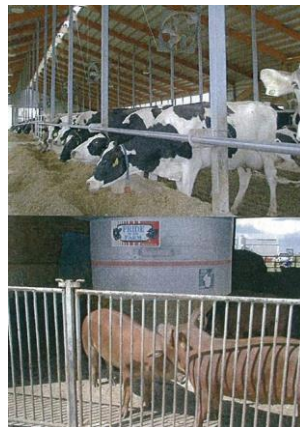
コストは、選ぶ樹木や灌木の種類、敷地境界線のサイズによって異なる。3,000 頭規模の去勢肥育豚舎に割高な樹木（25ドル（3,000円）／灌木または樹木）を植えて、肥育豚1頭当たり年間0.68ドル（81.6円）かかるとして、5%、20年の減価償却とすると、肥育豚1頭当たり0.09ドル（10.8円）かかることになる。

造園の付帯効果として、遮りとともに美的好感を与える効果がある。

（5）飼料調製

飼料調製によってふん尿の成分、さらにはふん尿の悪臭を変化させ、悪臭低減に効果がある。飼料の粗蛋白濃度を減らし、結晶アミノ酸を使って、悪臭の臭気強度が低減する。

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。ペパ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。



乳牛舎、豚舎

コラム：飼料調製によって排泄前にふん尿の悪臭を低減できる。

2. ふん尿貯留施設における悪臭低減方策

悪臭は、貯留ふん尿が嫌氣的に不完全に分解した結果発生する。分解過程で悪臭のある中間反応物が生成し、その中間反応物を分解する微生物の数が不足している場合、悪臭被害を引き起こす。

（1）固液分離

粗大固形物を除去することによって、貯留施設の負荷率を低減し、寿命を延ばす。分解しにくい物質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、豚舎の臭気閾値を50%低減できた。

機械式の固液分離機の設備投資には15,000~100,000ドル(1,800,000~12,000,000円)かかる

コラム：分解反応を改善することによって悪臭の発生を低減できる。



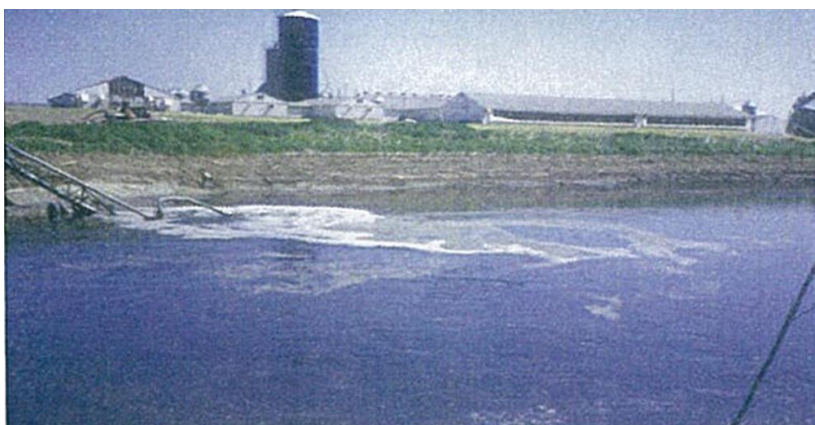
豚舎

(2) 嫌気性消化法 (メタン発酵法)

嫌気性消化法は、有機物を悪臭の少ない化合物に完全分解する。ふん尿が閉鎖系で行われるので、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、大きな資本を要する施設と考えられているが、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あきらかになっている。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31ドル(3,720円)の純収入がある。肥育豚3,000頭規模の施設を基本として経済情報が得られる。

コラム：嫌気性消化法(メタン発酵法)は、ふん尿の悪臭低減に効果のあることが実証されている。



ラグーン

(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発生を防ぎ、風や日射が悪臭発生速度に与える影響を排除する。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平方フィート当たり1～1.4ドル(120～168円/平方フィート、1,300～1,800円/m²)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、バイオカバーはふん尿貯留施設の表面の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、炭素、窒素、硫黄成分を生育に利用している。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。



バイオカバーのために、ふん尿貯留槽に切断した麦ワラを投入する

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、1/8インチ(3.2mm)の不織布資材を適用した場合、1平方フィート当たり0.25ドル(30円/平方フィート、323円/m²)と設置費がかかる。



人工熔融岩石でカバーしたコンクリートピット内の液状豚ふん尿

ふん尿の表面をカバーする厚みは、最低でも 8 インチ (20.3cm)、できれば 10~12 インチ (25.4~30.5cm) 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

悪臭の被害は不完全な嫌気性プロセスの結果生ずるので、好気性環境を維持することによって効果的に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かなりかかる (2~4 ドル/出荷豚 (120~480 円/出荷豚))、

コンサルタントによる意思決定と計画プロセスが必要とされる。

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。



養豚施設の二段式ラグーンのエアレーターは硫化水素の発生を低減するがアンモニアの発生は増加する

(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、堆肥化プロセスをタイムリーに管理する高水準の管理技術が必要である。

分解プロセスの炭素：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。

コストを考える際に、堆肥の継続的な管理、切り返しやエアレーションに適したサイズの施設が必要である。

堆肥化は家畜ふん固形物を扱うにはより良い方法である。液状システムにおいて、堆肥化によって悪臭を防ぐためには、乾燥システムもしくは大量の副資材を必要とする。

コラム：堆肥化は家畜ふん固形物の処理にはより良い選択である。



肉牛ふんの堆肥化

(8) 乾燥ふんの貯留

オープンロット施設では、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。ロットは水はけを良くし、畜産経営者は不要な水を使わないようにする



肉牛ふん尿の貯留場

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、必要とされる適切な量の敷料、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 (MWPS-18, 1993)。

3. 土地施用時の悪臭低減方策

(1) インジェクション（土壌注入）と鋤込み

ふん尿の表面施用後、ただちに土壌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。

土壌注入のコストは、液状ふん尿を運搬し散布するコストで0.003ドル／ガロン（約0.1円／リットル）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壌注入は50～75%の悪臭低減があった。



土地施用時のアンモニア揮散を低減するふん尿土壌注入の実演

(2) 灌漑

ピポ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、最大限、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、施用時についても施用量や施用頻度についても測定されている。

(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。



マニュアルスプレッダー



スラリー散布機

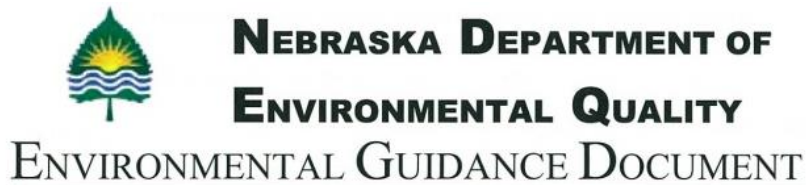
コラム：大気が安定して静かな夕方、ふん尿を散布すると、昼間よりも大きな悪臭問題をまねきやすい。

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時に計画する。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。悪臭が放散しやすい気流の乱れのある真昼よりも、気流の安定した夕方早くにふん尿を施用すると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。



BMPによる悪臭対策 (Best Management Practices for Odor Control) (要約版)

1. 畜舎の悪臭

畜舎を清掃する。

- ①床を清掃し、乾燥させ、ふん尿の嫌気性分解を防ぐ。
- 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、簡単に清掃でき、ダストなどが貯まらない材質にする。
- ⑤給餌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、かき出す (スクレーパー) こと。
- ⑧循環利用している洗浄水のカバー
- 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・合流桝、排水タンク、貯留槽などをカバー (被覆) する。

2. ふん尿貯留施設

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こと。嫌気性ラグーンは過負荷の場合に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4フィート (1.2メートル) 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

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。

- 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むので、施用を避ける。また週末と休日も避ける。
- ⑤ふん尿の土壌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（開放型飼養施設）

フィードロット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。

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。

嫌氣的分解を防ぐために、べたべた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。

適切な堆肥化处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排水域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. 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。地形や一般的な風向きも考慮に入れる。

良い匂いなのか悪臭なのかという個人の感じ方が重要である。

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

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。

微生物反応によって、ふん尿の有機物を分解し、ガスと液状物質とバイオソリッド（微生物菌体など）に変換する。

牛のフィードロットでは土を盛り上げただけのラグーンを使用するが、養豚家では嫌気性ラグーンを使用する傾向にある。

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のような悪臭物質や、中間生成物である揮発性有機化合物が生成する。一方、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。

ラグーンには二つの主要なグループの細菌が存在する...それは酸生成菌とメタン生成菌である。酸生成菌は比較的低い温度でも働き、有機物を揮発性有機物と揮発性脂肪酸に分解するが、両化合物とも悪臭がある。メタン生成菌はそれより高い温度で増殖し、これら複雑な悪臭物質を簡単な構造の無臭物質、メタンや二酸化炭素に変換する。しかし、メタン生成菌は、酸生成菌のように春早くから活動し始めるわけではない。

よく管理されている嫌気性ラグーンの pH は 7 から 8 の弱アルカリ性である。ラグーンの有機物負荷がオーバーすると、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、ラグーン表面に農業用消石灰を散布する。

抗生物質や金属化合物、例えば硫酸銅などを飼料に過剰添加すると、これら細菌類を殺滅し、悪

臭が発生する。

多くのラグーンでは表面が紫／赤っぽい色となっている。この色は自然に発生した**光合成硫黄酸化細菌**によるものである。この色はラグーンが良好に運転されている良いサインであり、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れらの細菌がどのような仕組みで悪臭を除去しているのかを研究している。

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被覆（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が大きいと、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、いくつかの成功例がある。

①**ジオメンブラン・カバー（Geomembrane cover）**：高密度ポリエチレンまたは強化ポリプロピレンの素材で貯留槽の表面に浮かべる構造である。このカバーは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。カバーの中に貯まったバイオガスを抜いて燃やす必要がある。

②**バイオカバー（Biocover）**：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。カバー材料として、各種ワラ、トウモロコシの芯、ピートモスなど使用する。バイオカバーは貯留ふん尿の悪臭低減効果は高く、化学合成品カバーよりも低コストである。バイオカバーの欠点といえば、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ないことである。

バイオカバーは**セミソリッド（半固形物状）のふん尿の被覆にもっとも向いており**、ラグーンにはカバー材料の必要量が多すぎて向いていない。液状物では、カバー材料の沈降が早くなって、風によってカバーが壊れたりする

③バイオカバーよりも耐久性がある材料として、人工熔融岩石などがある。

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

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。70～115°F（21～45°C）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。**高コストシステム**であり、ガス発生が不安定であり、養分が残存することが消化槽建設の制限因子となっている。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

多くの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、肥料効果の向上であり、すべてが貯留ふん尿に添加した効果で

ある。

資材は化学物質、酵素剤、細菌剤、悪臭吸収剤、悪臭マスキング剤などである。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、VOC（揮発性有機物）、VFA（揮発性脂肪酸）、アンモニアが無臭化合物に変換される。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 頭当たり少なくとも 0.22 ドル（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、その他繊維状資材を用いて低コスト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（ウィンドブレイクウォール）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コストのために多く利用されている。

14. 飼料調製

飼料を調製することによって、排泄される窒素、リン、銅、亜鉛の量を大きく低減できることは、すでに研究されている。この技術の発端は悪臭問題だが、今後は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、ふん尿が嫌氣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（1 平方フィート当たり 2 ンス=0.61kg/m²）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

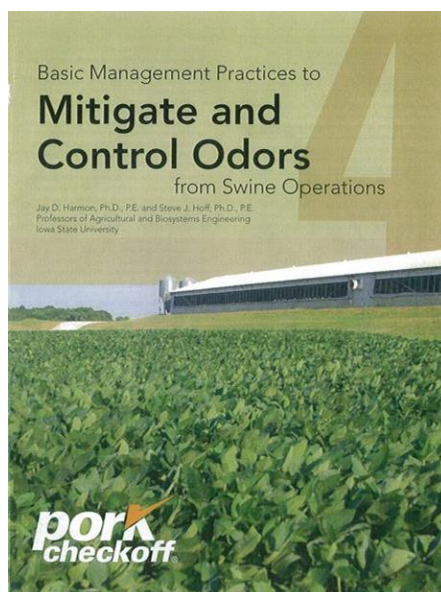
産業や都市のシステムは長期間にわたって悪臭問題に直面し、多くの悪臭低減技術を利用してきた。これら技術のいくつかは、畜産システムに適用できる。主な欠点は、コストが高いことと、管理が増えることである。

- 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全米豚肉委員会 (National Pork Board, IA, USA)

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) (要約版)



悪臭問題を抱える施設を有し、その解決アプローチに取り組んでいる養豚経営者には、いくつかの選択肢がある。ある選択肢は容易に実施できるが、一方では、チャレンジとなる選択肢もある。アプローチためのコストと利益については、実施する前に注意深く考えなければならない。この資料では、養豚業から発生する悪臭の低減対策の重要な選択肢について論じている。

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。ダスト、ガス状物質、悪臭物質は除去することが可能である。効率的畜産と家畜の健康のためにも換気は重要である。

(1) フィルターで除去する

悪臭物質を吸着したダストをフィルターで除去することが悪臭低減に有効である。

(2) バイオフィルター

樹木チップなどで作成したバイオフィルターに排気を3~4秒接触させる。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）

プルーム（煙流）状の悪臭が発生するのを防ぐ。上昇気流の排気がプルーム（煙流）状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る。チムニーの中にはファンを設置し、風が上向きに吹くようにする。自然換気の畜舎においてチムニーが良く用いられる。

(4) ウィンドブレイクウォール（防風壁）

チムニーと同じようにプルーム（煙流）状の悪臭を防ぐ。プラスチック製で畜舎の排気ファンの外 2~3 フィート（約 1m）に設置する。この壁によって上昇気流を起こし、悪臭やダストを混合・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) いつ、どの方式を選んだら良いのか

大気のもっとも安定した夕方や夜間にかけての排気に処理が必要である。

バイオフィルターは、夏季の大量の換気量では、大きい表面積を必要とするので換気量を維持するのは難しい。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。

環境問題が重大な場合、ファンの対策として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

ダストが周囲に放出される前に畜舎内で除去することが可能である。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。しかし、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（Vegetative Environmental Buffer(VEB)）は上昇気流によってプルーム（煙流）状の悪臭を混合・消滅させる。VEBは公衆の眼から施設を遮り、悪臭の感覚をなくす。VEBの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。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が必要である。初期のコストは大きい、15～25年使えば豚1頭あたりで償却できる。



防風林に樹木を利用する

4. 添加資材

飼料またふん尿に添加する**様々な添加資材が市販**されている。その範囲は広く、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形物を減少させたり、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。



ピット内への添加資材が悪臭低減に利用されている

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。

BMP(最適管理手法)活用畜産悪臭苦情軽減技術開発普及事業推進委員名簿

泉 稔久	公益社団法人 中央畜産会 施設・機械部会 (ヨシモトアグリ株式会社)	会 員
岩崎 好陽	元 公益社団法人 におい・かおり環境協会 (平成 26,27 年度)	会 長
川村 英輔	神奈川県畜産技術センター 企画指導部 企画研究課	主任研究員
栗木 鋭三	一般社団法人 日本養豚協会	相談役
澤村 篤	元 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 畜産草地研究所 畜産環境研究領域	領域長
東城 清秀	国立大学法人 東京農工大学 農学研究院 農業環境工学部門	教 授

BMP(最適管理手法)活用畜産悪臭苦情軽減技術開発普及事業

日本型悪臭防止最適管理手法 (BMP) の手引き

平成 29 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

編集および連絡先 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1
電話 0248-25-7777 FAX 0248-25-7540