

みどりの食料システム戦略実現技術開発・実証事業のうち  
農林水産研究の推進（委託プロジェクト研究）

現場ニーズ対応型研究

総合的な悪臭低減、臭気拡散防止技術の開発

令和４年度 最終年度報告書

課題番号	18065025
研究実施期間	平成30年度～令和4年度（5年間）
代表機関	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
研究開発責任者	山崎 信
研究開発責任者 連絡先	TEL : 0298-38-8673
	FAX : 0298-38-8606
	E-mail : yamazaki@naro.affrc.go.jp
共同研究機関	国立大学法人 宇都宮大学農学部
	国立大学法人 東京大学大学院農学生命科学研究科
	国立大学法人 信州大学農学部
	栃木県畜産酪農研究センター
	新潟県農業総合研究所畜産研究センター
	石川県農林総合研究センター 畜産試験場
	愛知県農業総合試験場
	中部エコテック株式会社
	朝日工業株式会社
株式会社中嶋製作所	
普及・実用化 支援組織	愛知県知多農林水産事務所
	半田市酪農組合

<別紙様式3>最終年度報告書

I-1. 年次計画

研究課題	研究年度					担当研究機関・研究室		研究担当者 (注1)
	H30	R1	R2	R3	R4	機関	研究室	
研究開発責任者	/	/	/	/	/	農研機構 畜産研究部門	高度飼養技術研究領域	◎ 前任者 鈴木一好 (~2021.3) 後任者 田島清 (2021.4~2022.3) 後任者 山崎信 (2022.4~)
1 農場内悪臭モニタリング技術の開発	○	○	○	○	○	宇都宮大学 農学部	生物資源循環工学研究室	○ 池口厚男
1-1 マッピング手法の高度化	○	○	○	○	○	栃木県畜産酪農研究センター 企画情報課	畜産環境研究室	△ 前任者 高柳晃司 (~2021.3) 後任者 田崎稔 (2021.4~2022.3) 後任者 福島正人 (2022.4~)  岩渕守男 池田純子 齋藤憲夫 小堀優海 添田若菜
1-2 悪臭拡散モデルと農場内悪臭モニタリング技術の開発	○	○	○	○	○	宇都宮大学 農学部	生物資源循環工学研究室	△ 池口厚男
1-3 農場におけるモニタリング技術の実証と対策技術の効果検証	○	○	○	○	○	農研機構 畜産研究部門  愛知県農業総合試験場	スマート畜産施設グループ  畜産環境研究室	△ 福本泰之  前任者 堤公生 (~2019.3) 後任者 豊島浩一 (2019.4~2020.3) 後任者 石代正義 (2020.4~2022.3) 後任者 山本一成 (2022.4~)  瀧澤秀明  黒柳悟 (~2021.3) 星野佑太  前任者 三輪恒介 (~2022.3) 後任者 武田然也 (2022.4~)  前任者 高橋比呂 (2020.4~2022.3) 後任者 時田葉里



								前任者 久保田耕治 (~2021.3) 後任者 長谷川裕二 (2021.4~)
2-3 堆肥化・メタン発酵複合処理からの臭気低減技術の開発	○	○	○	○	○	農研機構九州沖縄農業研究センター  東京大学大学院農学生命科学研究科	肉用牛生産グループ  生物機械工学研究室	△ 田中章浩  黒田和孝 福重直輝  古橋賢一 芋生憲司 海津裕
2-4 密閉縦型堆肥化装置の総合的臭気低減技術の開発	○	○	○	○	○	農研機構中央農業研究センター  農研機構九州沖縄農業研究センター  農研機構畜産研究部門  朝日アグリア  中部エコテック	作業技術グループ  肉用牛生産グループ  スマート畜産施設グループ  開発部  代表取締役  技術課  新商品開発課	△ 前任者小島陽一郎 (~2021.3)  後任者 田中章浩 (2021.4~)  福本泰之 石田三佳 和木美代子 安田知子 中久保亮  浅野智孝 飯塚美由紀 石川伸二 松岡英紀 見城貴志 堀口享平 中村春香  竹内和敏  鈴木直人  吉田達宏 荒川友子 小澤賢人
2-5 生物脱臭装置の窒素除去能向上技術の開発と実用化についての検討	○	○	○	○	○	石川県農林総合研究センター畜産試験場	技術開発部	△ 前任者 上田泰明 (~2021.3) 後任者 塩谷佑衣 (2021.4~2022.3) 後任者 内尾陽子 (2022.4~)
2-6 流体カーテンによる堆肥化切り返し時の悪臭拡散制御技術の開発	○	○	○	○	○	宇都宮大学農学部	地域エネルギー工学研究室	△ 菱沼竜男

## I-2. 研究目的

畜産業の健全な発展のためには地球環境に配慮することが重要であるが、臭気対策は畜産業に課せられた最も深刻な環境対策である。悪臭発生源からの悪臭低減技術の開発とともに、臭気の見える化による総合的な臭気拡散防止技術を開発することで、畜産経営に起因する苦情の過半を占める悪臭問題を可能な限り減少させることを目的とする。

このため、本研究では、

1. 農場内悪臭のモニタリング技術の開発
2. 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発

により、モニタリング手法で明らかとなる農場毎に異なる臭気の発生や拡散状況の情報に基づき、既存ならびに開発した臭気対策技術を最適管理手法の考え方を活用して組み合わせることで、敷地境界における臭気強度を3.0以下（臭気指数14～16に相当）とする総合的な臭気対策技術を開発し、マニュアル等を作成して提示することを目標とする。

その結果、

1. 畜産経営に起因する悪臭に関する苦情の減少
2. 環境問題に影響されない畜産業の健全な発展

が期待される。

## I-3. 研究方法

### (1) 農場内悪臭のモニタリング技術の開発

#### ①臭気マッピング手法の高度化

効果的な臭気低減・拡散防止に資する「臭気の見える化」のために、畜環研式ニオイセンサや光散乱式デジタル粉じん計等を使用した臭気マッピング手法を開発し、農場内での臭気マッピングおよび敷地外での臭気の定点連続調査を実施した。また、農場から発生した臭気の立体的な拡散状況を明らかにするために、ドローンを活用し、農場上空の臭気を調査した。加えて、脱臭施設設置等の臭気対策効果を検証するために、装置設置前後の臭気調査を実施した。

#### ②悪臭拡散モデルと農場内悪臭モニタリング技術

地形、気象条件を加味して農場からの悪臭の拡散を予測するモデルを開発し、悪臭発生状況によって農場内の各施設の悪臭対策技術を制御することを目指した。数値流体力学(CFD)を用い、異なる風向・風速条件下(96パターン)での悪臭物質拡散シミュレーションを行った。得られたデータをもとにAIモデルにより周辺民家等において悪臭が到達する風向・風速を予測した。この予測値を用いて悪臭対策機器の制御ロジックを作成した。これらをウェザーステーションとコントローラからなるコントロールシステムに実装し、悪臭対策機器(マスクング剤噴霧機)を制御し、稼働状況と農場周囲の悪臭測定を実施した。

#### ③農場におけるモニタリング技術の実証と対策技術の効果検証

「臭気マッピング手法を活用した臭気対策の最適化」を現場実証するため、都市近郊の養牛農家、養豚農家を対象とし、臭気マップを作成することで臭気発生状況を調査した。その上で、牛ふん尿乾燥ハウスに対して、既存の簡易対策(カーテン、生垣、樹木帯)と消臭シートの効果を、養豚農場において、汚水処理の原水槽上部の壁設置および密閉縦型堆肥化排気の希釈効果をそれぞれ検証した。

### (2) 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発

#### ①畜舎換気制御システムの開発

ウインドレスブロイラー鶏舎を対象とし、高濃度の悪臭物質の畜舎外への排出を回避するために、悪臭センサを活用した畜舎換気制御ロジックと、畜舎排気除じんフィルターを活用した悪臭物質除去技術を開発することを目的とした。商用鶏舎(ブロイラー約1万羽を飼養)における冬季のアンモニア濃度調査結果を基に、アンモニアセンサを組み込んだ畜舎空気環境制御ロジックを検討した。作成した畜舎換気制御システムの有効性を信州大学実験鶏舎において検証した。また、パイロットスケール試験により畜舎排気除じんフィルターの除じん性能を検証した。

#### ②畜舎用臭気除去装置の開発と基本管理の効果検証

畜舎関連で特に苦情の発生しやすい豚舎の臭気対策として、先行研究で開発した簡易な臭気除去装置を改良し、豚舎臭気で問題となるノルマル(n)-酪酸の除去率を中心に性能評価を行った。豚舎の床構造、清掃等の基本管理の効果検証として、臭気発生量を抑えるための管理方法を調査した。さらにミスト噴霧によるn-酪酸の低減効果を検証した。

#### ③堆肥化・メタン発酵複合処理からの臭気低減技術の開発

酪農で問題となるふん尿処理過程からの臭気について、発生段階毎に有効な臭気低減技術を合理的に組み合わせた臭気対策のモデルを実証し、必要となる各要素技術の開発を目的とした。すなわち、乳牛ふん尿をスクリュープレスで固液分離し、堆肥化原料の窒素成分を減少させて

堆肥化試験を行った。堆肥化過程では、廃食用油の添加によるアンモニア発生低減効果について、通気条件を加味して実験室規模およびパイロットスケールで評価した。さらに、廃食用油添加堆肥を利用した高度堆肥脱臭も加えた、固液分離・廃食用油添加・高度堆肥脱臭を組み合わせた臭気低減効果を実規模で検証した。固液分離後の液分はメタン発酵で処理するため、生ごみと混合した中温メタン発酵試験を実施し、発酵条件が消化液自体の臭気に及ぼす影響を調べた。また、消化液散布時の臭気対策のために、消化液の曝気処理の臭気低減効果を調査するとともに、消化液の均一散布を可能とする車両積載型消化液散布装置を新たに開発し、圃場散布時の臭気を調査した。

#### ④密閉縦型堆肥化装置の総合的臭気低減技術の開発

密閉縦型堆肥化装置では、肥料成分の高い均一な堆肥が生産されるため、肥料原料としての利用が見込まれる一方、生産される堆肥を使った混合堆肥複合肥料（本プロジェクトでは製品堆肥）の臭気、堆肥化時の高濃度の臭気ならびに堆肥化時に発生する結露水の処理が現場で課題となっている。製品堆肥の臭気低減のために、実証農家において堆肥化時の通気制御、堆肥化後貯留時の簡易通気、堆肥造粒工程のpH制御による臭気改善効果を評価した。堆肥化排気については、リン酸によるアンモニア回収と活性汚泥スクラバー脱臭による処理を実証した。アンモニア回収後に問題となる硫黄系ガスの簡易な脱臭方法を検討した。結露水の窒素処理について、アナモックス反応の適用を検討した。

#### ⑤生物脱臭装置の窒素除去能向上技術の開発と実用化についての検討

堆積型堆肥化などからのアンモニアを処理する生物脱臭の低コスト化のため、地域で容易に入手可能な代替資材候補について、小規模の豚ふん堆肥化及び脱臭の試験装置により比較した。その際、アンモニアの生物脱臭で問題となる窒素蓄積の回避に対応するため、アンモニア除去に加え脱窒能に注目し、アンモニア除去による脱臭資材及び循環水の性状変化について調査した。循環水中の無機態窒素が最も少なかった「竹」を脱臭資材として選定し、アンモニアの硝化脱窒が効率よく行われる条件（散水頻度、散水量等）について検討した。さらに、竹チップ脱臭装置の更なる窒素の低減効果を狙い、循環水に添加する硫黄資材（パチルエース）の添加量について検討した。

#### ⑥流体カーテンによる堆肥化切り返し時の悪臭拡散制御技術の開発

堆肥切り返し時に稼働する流体カーテンシステムを開発するため、堆肥舎フレームに簡便に装着できる噴霧ユニットを作成し、養豚農家堆肥舎に流体カーテンシステムを設置した。養豚農家での堆肥切り返し時のエアロゾルおよび臭気の高減効果を確認した。

## I-4. 研究結果

### (1) 農場内悪臭のモニタリング技術の開発

#### ①臭気マッピング手法の高度化

農場内での臭気マッピングに加え、時刻や気象条件等に関わらず、最長約1か月にわたる定点での経時的臭気モニタリング手法を確立することができた。その結果、農場での臭気対策の効果ならびに堆肥化攪拌時等の農場内作業と関連した臭気発生を捉えることが可能となった。さらに、地上での臭気モニタリング手法だけでなく、ドローンを活用した農場上空における臭気モニタリングについて確認することができ、農場から発生する臭気の拡散状況をとらえる手段を確立できた。

#### ②悪臭拡散モデルと農場内悪臭モニタリング技術

農場からの悪臭拡散を予測するために、CFDを用いて悪臭物質拡散のシミュレーションを行っ

た。この結果をもとに、AIモデル（隠れ層4層のマルチパーセプトロン、正解率0.8以上）を用いて、農場周辺民家に悪臭が到達する風向・風速を求め、悪臭対策機器（マスキング剤噴霧機）を稼働すべき風向・風速条件を明らかにした。養豚農場において稼働、周辺の臭気調査をしたところ、晴天時には期待したマスキング剤噴霧効果が得られた。一方、制御範囲を下回る無風時には自然対流による悪臭物質の拡散が起こることが示された。

### ③農場におけるモニタリング技術の実証と対策技術の効果検証

臭気マップ作成により、養牛農場、養豚農場いずれにおいても臭気発生源を特定することができた。すなわち、調査対象の養牛農場では、攪拌発酵ハウスとふん尿乾燥ハウスならびに肥育牛舎、養豚農場では、水処理施設の原水槽、固液分離機付近、堆肥舎ならびに攪拌発酵ハウスが強い臭気発生源であった。さらに、養牛農場でのふん尿乾燥ハウスからの臭気をカーテン、生垣等で物理的に遮断することにより、周辺への臭気の拡散を抑制できること、メッシュ状の消臭シートでは臭気の封じ込めは不十分であるものの、粉じんの拡散については一定の効果があること、養豚農場での密閉縦型発酵排気の空気希釈の臭気低減効果が高いことなどが確認できた。

## （2）畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発

### ①畜舎換気制御システムの開発

ブロイラー鶏舎内の冬季のアンモニア濃度は、最大で30ppmに達し、飼養環境として推奨されている10ppmを大幅に上回ることが確認された。調査結果をもとにアンモニアセンサを組み込んだ畜舎空気環境制御ロジックを作成した。信州大学実験鶏舎において、当該畜舎空気環境制御ロジックを実装した畜舎換気制御システムを稼働させ、ブロイラー飼養環境下で舎内アンモニア濃度を半減できることを確認した。アンモニア濃度に応じて換気制御を行うことにより、舎内温度は平均2.7℃低下したが適正温度範囲内であった。畜舎排気除じんフィルターの除じん性能は優れていたが、圧力損失による換気能力の低下に対して悪臭低減効果は高くないと考えられた。

### ②畜舎用臭気除去装置の開発と基本管理の効果検証

畜舎用臭気除去装置については、先行研究時に試作した室内設置型装置を2/3程度まで小型化した。循環水量を増やし、よりフィルター効果の高い充填資材に変更することで豚飼養環境下でのn-酪酸の除去率を80%にまで高めた。さらに室内設置型に加えルーフファン設置型の装置を開発し、畜舎条件に適した装置の選択を可能にした。基本管理の効果検証としては、平床よりもスノコ床で臭気発生が低いこと、臭気は肥育の日数の経過に伴い強くなる傾向が見られたことから、肥育後半の清掃頻度を上げることが臭気低減に効果的であることを示した。さらなる臭気低減のために豚舎内でのミスト噴霧方法を検証し、噴霧量が同じでも、ノズルの噴霧角度が大きく粒径が小さい方が、臭気低減効果が高いことを明らかにした。さらに、炭酸水素ナトリウムを添加することで、n-酪酸の低減率が上がることを示した。

### ③堆肥化・メタン発酵複合処理からの臭気低減技術の開発

固液分離による堆肥原料の窒素含量低減、廃食油添加による堆肥化時のアンモニア発生低減および堆肥脱臭による堆肥化排気の処理を組み合わせた牛ふんからの堆肥化処理を実証し、堆肥化排気の臭気指数相当値を平均8（最大21）にまで低減することができることを確認した。固液分離後の液分のメタン発酵については、原料の有機物含量が低い場合は、発酵処理により消化液の臭気指数が低下するが、原料の有機物含量が高い場合は、原料と消化液の臭気指数がほとんど変化しないこと、生ごみ添加で消化液の臭気指数が大幅に高くなることを明らかにし

た。消化液散布時の臭気対策では、開発した散布装置を使用することで、走行速度を検出し散布流量を制御することで消化液の均一散布が可能となり、散布前の曝気処理とあわせて消化液散布圃場の境界線上の臭気指数相当値を14以下とできることを確認した。目標値の臭気指数16以下を概ね達成した。

#### ④密閉縦型堆肥化装置の総合的臭気低減技術の開発

密閉縦型堆肥化装置で生産された堆肥そのものの臭気低減については、堆肥化時の通気制御ならびに一次貯留の段階での通気により、堆肥の発酵を促進させることで、その後の肥料化工程で問題にならないレベルまで臭気発生を抑制できた。スカトールとトリメチルアミン等が豚ふん堆肥の臭気に大きく関与していることを明らかにした。堆肥化排気については、養豚農家において、リン酸によるアンモニア回収を自動化し、活性汚泥スクラバー脱臭と組み合わせることにより、密閉縦型堆肥化排気中のアンモニアを95%除去可能であることを実証した。当該脱臭システムで除去が不十分であった硫黄系ガスについては炭化物を用いた場合の脱臭運転初期の除去性能を把握した。アンモニアが主体の結露水の処理については、アナモックス処理を想定した場合の課題を明らかにし、不足するミネラルを補うために豚ふん汚水添加が有効であること、アンモニア酸化のための酸素供給としてリアクターの水位を変化させた干満運転が有効であることを示した。

#### ⑤生物脱臭装置の窒素除去能向上技術の開発と実用化についての検討

生物脱臭装置に用いる脱臭資材を検討したところ、もみ殻、カキ殻、竹のいずれもアンモニアを9割以上除去できた。このうち、循環水中の無機態窒素が最も少なかった竹を選定し、散水頻度を上げることで硝化・脱窒を促進できる可能性を確認した。竹チップ脱臭装置のさらなる窒素の低減効果のために循環水に硫黄資材（バチルエース）を添加した結果、9割のアンモニア除去を確保しつつ、循環水中の全窒素を約7割削減できる可能性を示した。

#### ⑥流体カーテンによる堆肥化切り返し時の悪臭拡散制御技術の開発

噴霧ユニットとポンプを組み合わせた流体カーテンシステムを養豚農家の堆肥舎に設置した。流体カーテンシステム利用によって、堆肥舎内と比較し、敷地境界で臭気指数相当値、アンモニア濃度を低減できることを確認した。

以上より、臭気マッピング・モニタリング手法により農場毎に異なる臭気の発生や拡散状況を把握することができ、既存技術の臭気低減効果を確認できた。また、農場からの悪臭拡散を予測した悪臭対策への基盤を確立できた。最適管理手法の考え方を活用して臭気対策技術を組み合わせたモデルとして、乳牛ふんの堆肥化・メタン発酵複合処理からの臭気について、敷地境界における臭気強度を3.0以下（臭気指数14～16に相当）とすることができることを実証した。「臭気マッピング手法を活用した臭気対策の最適化」については、マニュアルを作成し技術の普及を図る。

### I-5. 今後の課題

ニオイのセンシング、モニタリングにおける課題として、ニオイセンサでの臭気測定値は風などの気象条件の影響を受けるため、人が検知する臭気との差を可能な限り縮めていく必要があること、臭気の拡散は、周辺の建物や地形などに左右されるため、農場周辺への臭気拡散の把握のためには農場毎に効率的なモニタリング方法を選定する必要があることが挙げられる。

臭気モニタリングにより得られた臭気データについては、リアルタイムで確認できるシステムを開発することで、農場毎に異なる飼養形態やふん尿処理の方式に応じて臭気拡散状況と農

場内作業の関係性を調査し、効率的な臭気対策にフィードバックさせることが課題である。

新たに開発した要素技術であるブロイラー鶏舎を対象とした換気制御システムについては、農場毎に異なるニーズに応じたシステムに仕上げる必要がある。豚舎を対象とした簡易な臭気除去装置については、実用化に向けて設置場所等の検討が必要である。廃食油添加堆肥化については、製品堆肥の肥料としての評価が必要である。車両積載型消化液散布装置は、農業現場での耐久性等の評価、自動走行などによる散布に係る省力化を進める必要がある。密閉縦型堆肥化排気を対象としたアンモニア回収装置の自動運転に関しては、中長期的な運転を行い、性能を検討する必要がある。結露水のアナモックス処理については、実際の結露水を用いた長期間の試験を行い、性能を確認する必要がある。炭化物および竹チップを用いた脱臭装置については、実用化に向けた装置の設計を行う必要がある。流体カーテンシステムについては、噴霧資材や効果的なユニット配置の検討が必要である。

実行課題番号	1 - (1)	実行課題 研究期間	平成30～令和4年度
小課題名	1 農場内悪臭モニタリング技術の開発		
実行課題名	(1) 臭気マッピング手法の高度化		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者名	宇都宮大学農学部・生物資源循環工学研究室・池口厚男		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者名	栃木県畜産酪農研究センター・企画情報課畜産環境研究室・福島正人、高柳晃司、田崎稔、岩渕守男、池田純子、斎藤憲夫、小堀優海、添田若菜		
共同研究機関・研究室・研究者名等			

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

畜環研式ニオイセンサや光散乱式デジタル粉じん計等を使用し、農場が実施する臭気対策の前後に臭気のモニタリングを行い、地図上に落とし込む臭気マッピング手法の検討を行う。また、農場敷地外に畜環研式ニオイセンサ設置して臭気の連続記録を行い、臭気対策の前後で臭気の拡散を抑制する効果の検証を行う。併せてドローンにより農場上空の臭気調査を実施し、臭気の立体的な拡散状況を明らかにする。

### 2) 研究方法

#### ①経時的な臭気モニタリング手法の検討

養鶏農場内で臭気対策前後における臭気及び粉じんを地図上に落とし込む臭気マッピングと、農場周辺の民家の庭先で10～30日程度の連続した臭気調査を実施した(図1、2)。

#### ②農場上空の臭気状況調査

養豚農場内の強制発酵施設から発生する臭気を脱臭する施設の設置前後に、臭気マッピング及びドローンによる上空の臭気調査を実施した(図3)。



図1 農場と民家の配置図



図2 農場周辺の民家における庭先での10～30日程度の臭気調査

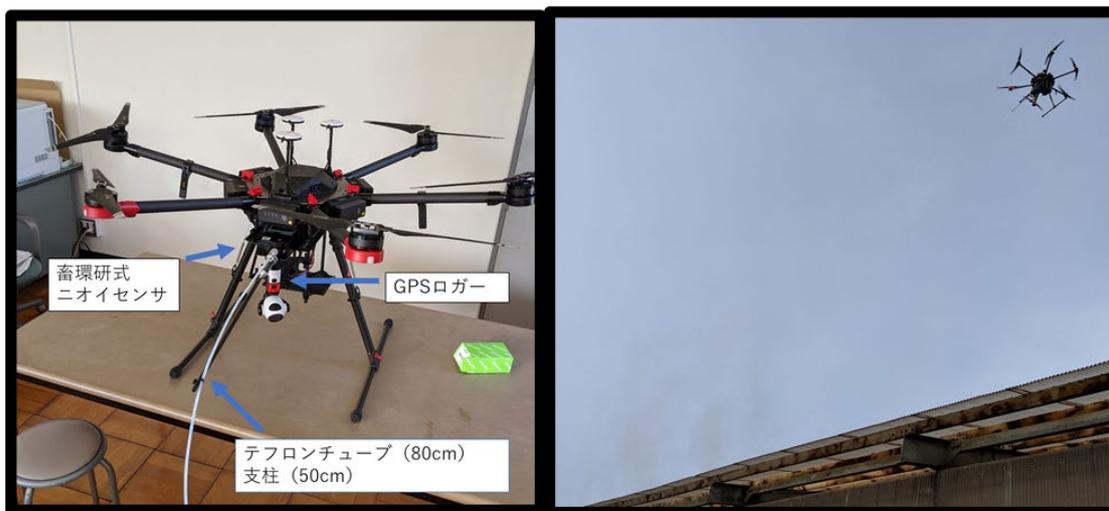


図3 ドローンによる臭気調査

### 3) 研究結果

#### ①経時的な臭気モニタリング手法の検討

養鶏農場では、臭気対策前は、特に、堆肥舎の周辺で臭気指数（相当値）が30以上あり、粉じん量も比較的多く（図4、③部分）、さらに堆肥化作業が始まる午前8時頃に粉じん濃度も上昇した（図6）。また、農場周辺の民家の庭先でも臭気指数（相当値）が30以上を観測する場合もあった（図7）。

臭気対策として堆肥化施設建屋の隙間をふさぐことで臭気の拡散を防止した。脱臭施設を整備した後に臭気調査をしたところ、堆肥舎周辺の臭気指数（相当値）は9以下に低下し、粉じん濃度も減少した（図5）。一方で、A～C氏の庭先の臭気指数（相当値）を測定したところ、特に令和4年7月20日午前6時15分頃及び7月23日午前6時25分頃にA～C氏のそれぞれの庭先で臭気を観測しており、最寄りのアメダスデータでは南南東の風0.3～0.7m/秒だったことから、農場からの臭気が拡散した可能性が考えられた（図8）。

以上から、時刻や気象条件等に関わらず、約1か月にわたる長期的な経時的臭気モニタ

リング手法を確立することができた。

## ②農場上空の臭気状況調査

養豚農場で脱臭槽の設置前後の地上における臭気を調査したところ、脱臭槽設置前は強制発酵施設の排気口から強い臭気が観測された（図9）。一方で、脱臭槽設置後に強制発酵施設周辺及び脱臭槽周辺を調査したところ、臭気は検知されず脱臭されていることが示された（図10）。

また、脱臭槽設置前にドローンによる強制発酵施設上空や周辺の豚舎上空で臭気を測定したところ、強制発酵施設上空では20以上の臭気指数（相当値）が観測され、周辺の豚舎上空でも10～14の臭気指数（相当値）が観測されたことから、臭気が上空で拡散されていることが示唆された（図11）。併せて、脱臭槽設置前の強制発酵施設を運転させた際の鉛直方向における臭気を調査したところ、上空60mまで臭気指数（相当値）が観測された（図12）。しかしながら、脱臭槽を設置後の上空25m及び60mの臭気指数（相当値）を調査したところ、臭気は観測されなかった（図13）。

以上から、地上での臭気のモニタリング手法だけでなく、ドローンを活用した農場上空における臭気モニタリングの方法を確認することができた。

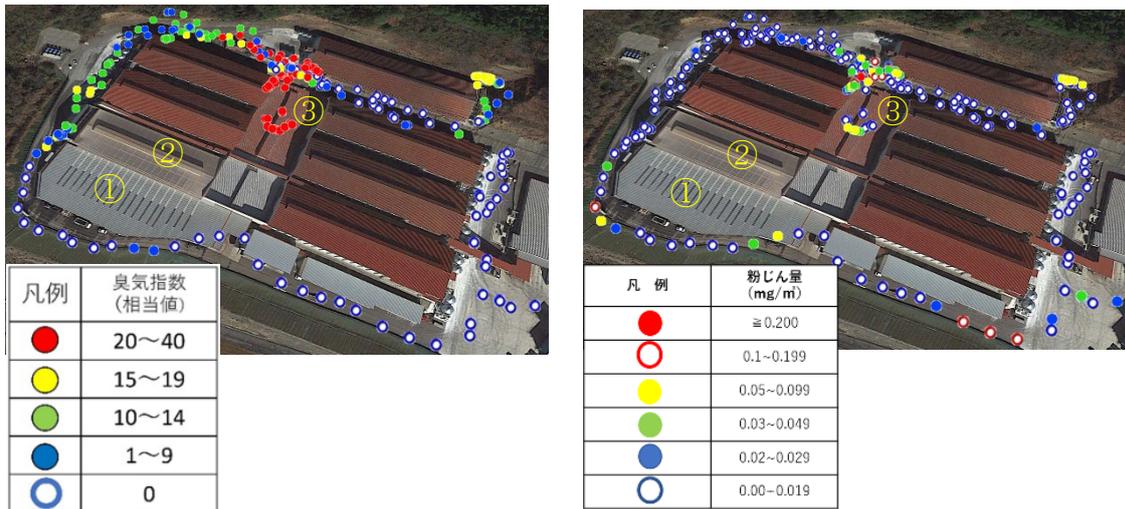


図4 臭気対策前の臭気指数相当値（左の図）と粉じんの状況（右の図）（平成30年度実施）

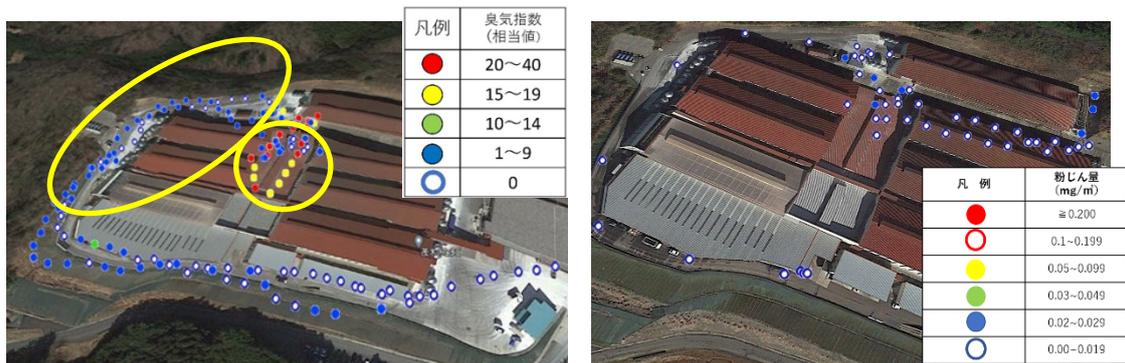


図5 臭気対策後の臭気指数相当値（左の図）と粉じんの状況（右の図）（令和3年度実施）

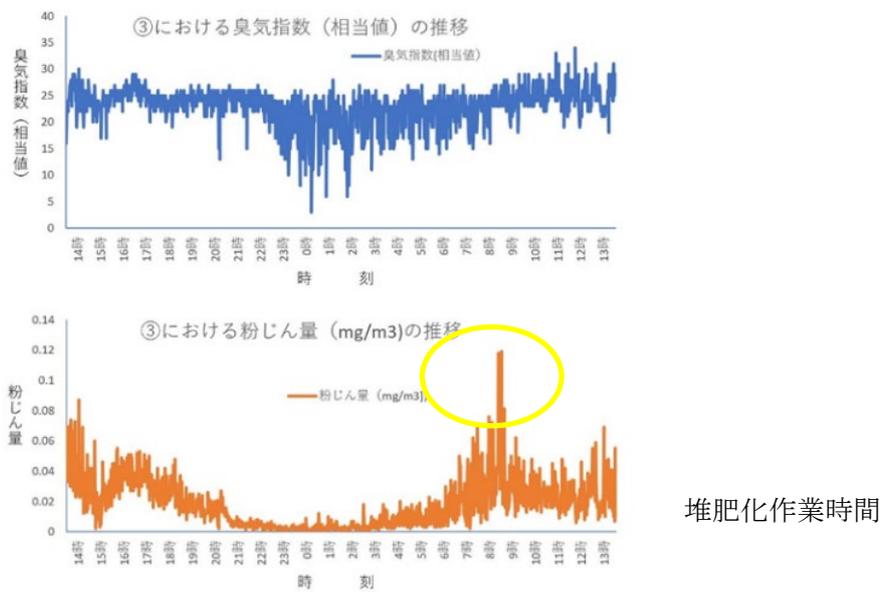


図6 堆肥舎上部における臭気指数相当値と粉じんの結果（令和元年度実施）

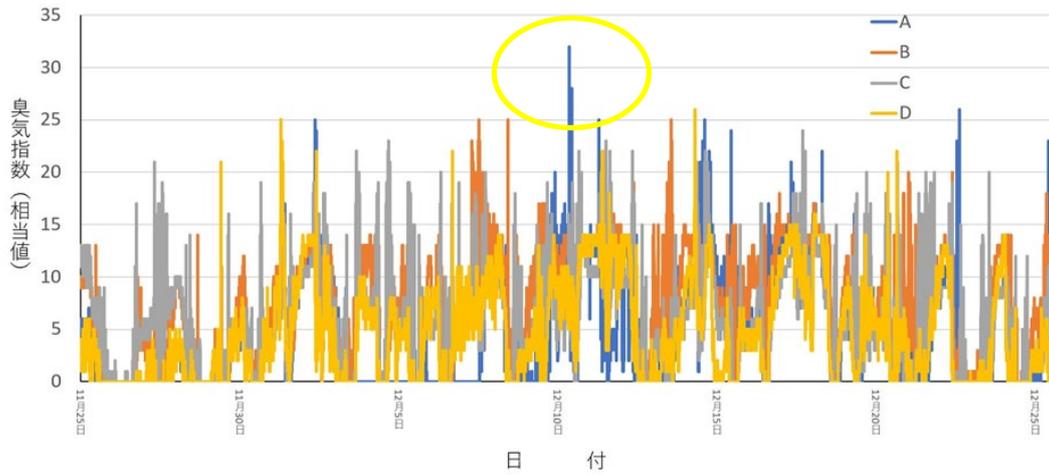


図7 臭気対策前における民家での臭気調査の結果（令和元年度実施）

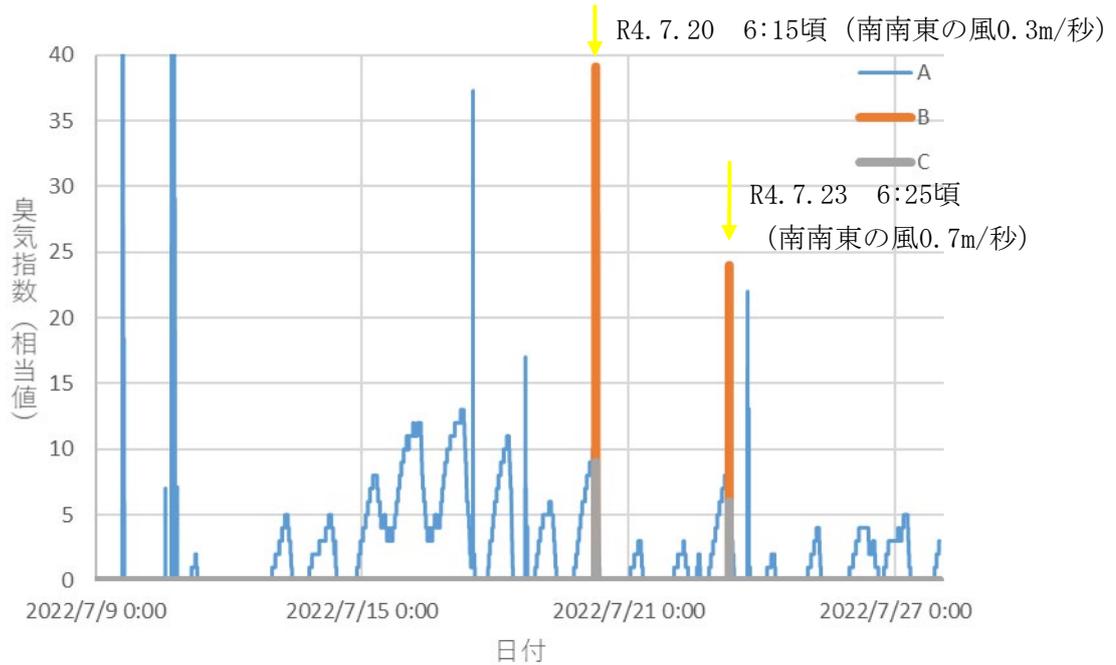


図8 臭気対策後における民家での臭気調査の結果（令和4年度実施）

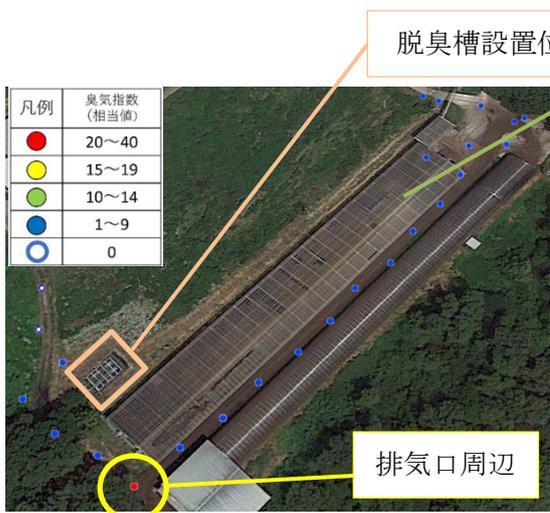


図9 脱臭槽設置前の地上における臭気指数相当値（令和3年度実施）



図10 脱臭槽設置後の地上における臭気指数相当値（令和4年度実施）

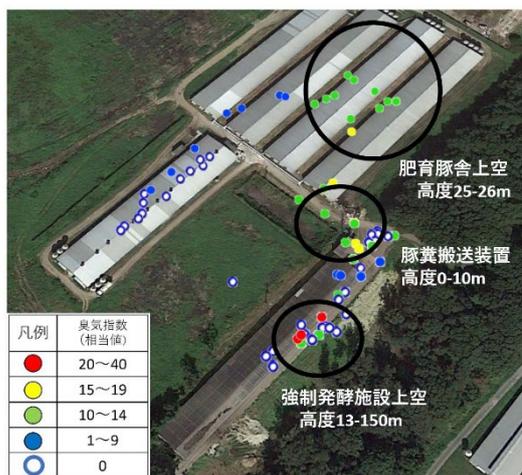


図11 脱臭槽設置前の上空における臭気指数相当値 (令和2年度実施)

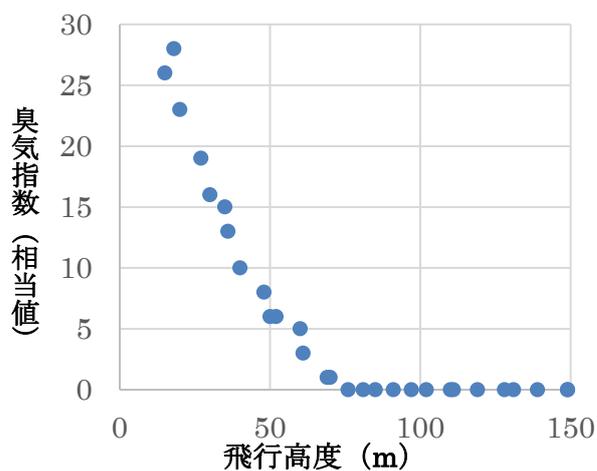


図12 強制発酵施設運転中の上空における臭気指数相当値 (令和2年度実施)

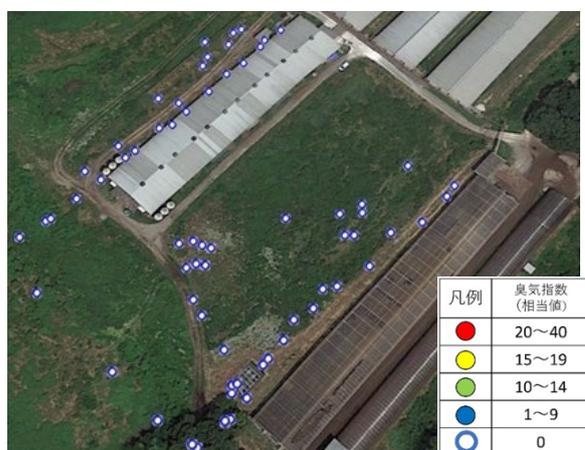


図13 脱臭槽設置後の上空における臭気指数相当値 (令和4年度実施)

#### 4) 成果活用における留意点

ニオイセンサは連続した運転をする設計になっていないため、経時的な臭気モニタリングを実施する際は定期的な動作確認と電源の確保が必要である。

ドローンによる臭気調査は、農場主の許可を得て農場の敷地上空で実施するとともに、航空法に定められた運用が必要である。

#### 5) 今後の課題

今回の試験で悪臭が上空に拡散することを確認したことから、上空で臭気が水平方向へ拡散し、その後下降して臭気が農場から遠隔地で知覚することが想定される。そのため、経時的モニタリングの情報をリアルタイムで確認できるシステムを開発することで、拡散状況と農場内作業の関係性を調査し効率的な対策を検討する必要がある。

実行課題番号	1 - (2)	実行課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	1 農場内悪臭のモニタリング技術の開発		
実行課題名	(2) 悪臭拡散モデルと農場内悪臭モニタリング技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	宇都宮大学農学部・生物資源循環工学研究室・池口厚男		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	宇都宮大学農学部・生物資源循環工学研究室・池口厚男		
共同研究機関・研究室・研究者 名等			

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

農場からの悪臭の拡散を、気象条件を加味して予測するモデルを開発し、このシミュレーション結果から、気象条件と農場内の悪臭発生状況によって各施設の悪臭対策技術を制御することを目指す。そのため、1) 悪臭拡散モデルによるシミュレーション、2) 制御システムを開発することを目的とした。

### 2) 研究方法

対象農場地域の4 km ~ 8 km 四方の領域において数値流体力学(CFD)を用いて、8 風向、0.5 m/s ~ 10 m/s の風速で悪臭物質拡散のシミュレーションを行う。これによって地形や風向・風速を加味した悪臭濃度性状が予測される。次に左記で得られたデータを基にAIを用いて、居住区域等における悪臭が到達する風向・風速を予測する。予測された風向範囲と風速範囲を制御閾値として悪臭対策機器を制御する制御ロジックを作成する(図1)。これらを、ウェザーステーションとコントローラから成るコントロールシステムに実装して悪臭対策機器を制御するコントロールシステムを開発した。このシステムでの実証試験を行った。

### 3) 研究結果

- ① AIにおいてはマルチパーセプトロンの隠れ層は4層で、各ノードは10、10、10、4、とした。正解率は0.8以上であった。
- ② 福島県に位置する悪臭対策としてマスクング剤を噴霧している母豚200頭規模の一貫経営農場(図2)を対象として96パターンのCFDシミュレーションを実施し、風向・風速予測AIモデルにより制御風向風速条件を求めた(図3)。臭気測定の結果、晴れの日で平均風速が1.6 m/sの場合は、マスクング剤臭が感じられたが、曇で無風時は強い豚舎臭であった(表1)。

#### 4) 成果活用における留意点

- 対象農場毎に図1で示された手順で制御システムの風向風速条件と制御ロジックを作成する必要がある。
- 悪臭対策機器をコントロールするためにリレーユニットを作成する必要がある。

#### 5) 今後の課題

無風時に悪臭が自然対流で拡散するため、無風時では風向計測における移動平均で得られた風向に関係なく、制御を稼働させることによる効果を検証する必要がある。

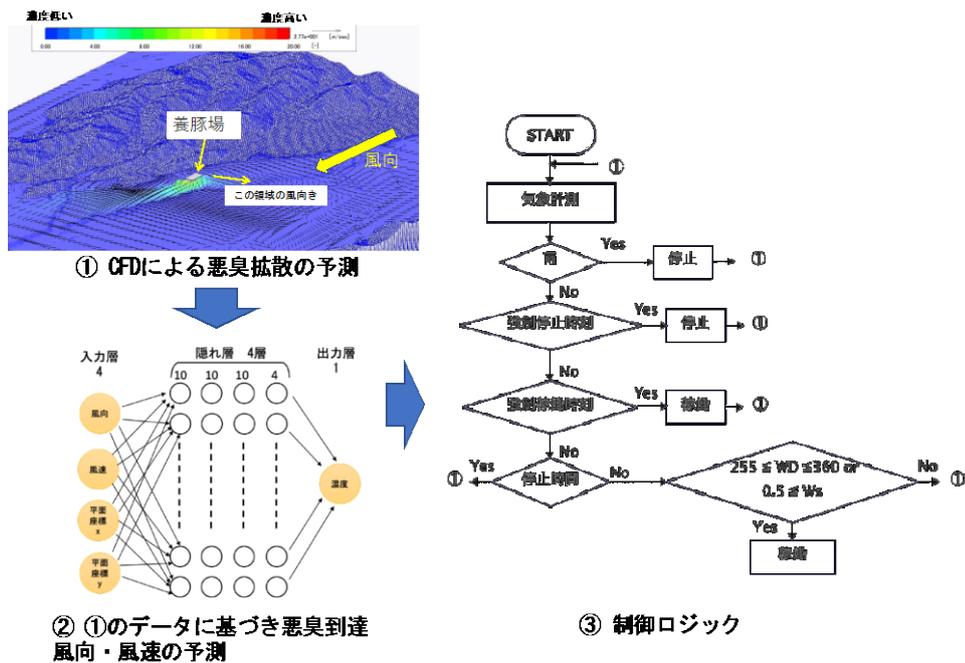


図1 制御ロジック作成の流れ



図2 対象農場

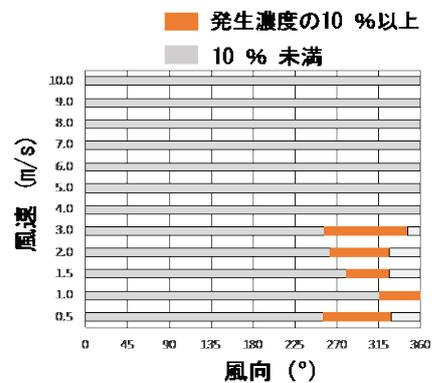


図3 苦情民家に悪臭が到達する風向・風速

表 1 臭気調査結果

	12月12日 晴天			12月20日 曇り、雪		
	臭気強度	快・不快度	風速(m/s)	臭気強度	快・不快度	風速(m/s)
A	1	0	2.0	5	-4 豚舎	0.8
B	1	0 芳香剤、焚火	1.2	1	-1 豚舎	0.4
C	2	1 芳香剤	0.4	3	-2 豚舎	0.4
D	2	0 ネギ畑	1.3	2	-2 豚舎	0.15
E	2	-1 銀杏	0.9	3	-2 豚舎	0.6

小課題番号	1 - (3)	小課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	1 農場内悪臭のモニタリング技術の開発		
実行課題名	(3) 農場におけるモニタリング技術の実証と対策技術の効果検証		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	宇都宮大学農学部・生物資源循環工学研究室・池口厚男		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・福本泰之		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	愛知県農業総合試験場・畜産環境研究室・山本一成、瀧澤秀明、星野佑太、武田然也、天野淳二、堤公生、豊島浩一、石代正義、黒柳悟、三輪恒介、高橋比呂、時田葉里 愛知県農業総合試験場・技術推進室・長渕政広、河野朋之、森下忠、宮川博充 愛知県知多農林水産事務所・農業改良普及課・渡邊拓也、丹後茜、須田坂美、安藤貴洋、青合美佳、早川ひかり 愛知県東三河農林水産事務所・農業改良普及課・安藤孝昭、杉山佳歩、渡邊拓也 半田市酪農組合・青木直行		

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

農場から発生・拡散する臭気の発生状況をオンサイト臭気測定・評価手法である臭気マッピング・モニタリング技術を活用して、問題個所（発生源等）を数値として「見える化」して畜産経営者や関係者で共有することに取り組む。「見える化」できた臭気発生状況に対応して、臭気対策着手の優先順位付けと投入技術の選択及び対策技術の実施とで定着を促進し悪臭問題の軽減を目指す（平成30年～令和4年度）。大規模経営体が集中する都市近郊の畜産産地（愛知県）において、飼養形態・処理方式が異なる畜舎及びふん尿処理施設から発生する臭気を、測定時間・気象条件等を加味したうえで、収集・データ化して発生状況を明らかにする。さらに、小課題1の(1)、(2)にフィードバックして臭気マッピング・モニタリング技術の高度化に応用する。また、把握した臭気発生状況に応じた簡易対策技術や本プロジェクト研究で開発された臭気対策技術のうち、導入可能なものについて効果および経済性を検証・確認して臭気対策事例集を作成する（令和2～4年度）。

### 2) 研究方法

対象は都市近郊に位置する畜産農家のうち、愛知県知多地域の養牛農家、愛知県東三河地域の養豚農家とした。

## ア 臭気発生源特定及び畜舎・ふん尿処理施設の臭気発生状況調査

栃木県が開発した臭気マップ作成技術を用いた。畜環研式ニオイセンサ（以下、ニオイセンサ）と任意のGPSロガーの記録間隔を合わせ同時に計測開始し、農場内を歩き臭気の強さと位置情報を記録した。パソコンにて臭気の数値、位置データを地理院マップシートに入力しkm1ファイルを作成、それを地理院地図で読み込み臭気マップを作成した。作成した臭気マップにより臭気の強い場所を把握し、付近の施設について臭気源として特定した。

## イ 養牛農場における簡易対策の効果検証

農場において既に取り組んでいる臭気対策等（カーテン、生垣、樹木帯）の効果を臭気マップを作成して検証した（図1）。

臭気源として特定した牛ふん尿乾燥ハウスに対し、その出口付近側面開放部に2mmメッシュの消臭シートを設置し、臭気拡散抑制効果について検証した（図2）。この時、複数の異なる条件にて計測を実施した。具体的な条件は以下のとおりである。

- (a) 施設近辺の臭気マップを作成することで検討した。
- (b) 乾燥ハウス内外の消臭シート付近および乾燥ハウスから約5m離れた位置にニオイセンサを定点設置して計測した。この時、ハウス外設置のニオイセンサに風速計を併設した。さらに消臭シートを部分的に捲り上げて計測する条件も設けた。
- (c) 乾燥ハウス内外の粉じん濃度を光散乱式デジタル粉じん計で計測した。



図1 既存の臭気対策



図2 乾燥ハウス側面消臭シート及びニオイセンサ定点計測設置状況

## ウ 養豚農場における臭気対策の効果検証

### (a) 原水槽に対する対策

原水槽上部空間にステンレス板で高さ約2mの壁を設け、上部空間の8割程度を被覆した(図3)。壁を設けた部分も原水槽真上に空気が抜ける構造になっていた。壁設置前後の臭気状況を臭気マップで検証した。

### (b) 密閉縦型堆肥化装置に対する対策

密閉縦型堆肥化装置3基の排気に対し空気を送り希釈し、高さ10mの煙突で排気させた(図4)。ブロワ及び配管や煙突の設置後に調査に入ったため、施工前の周囲の臭気の状態は確認できなかった。そこで、発酵槽内の臭気および希釈後の臭気をニオイセンサーで計測し、希釈効果を確認した。また、においシミュレーターを用いて煙突排気された臭気が地上部に到達する際の臭気指数を推定した。

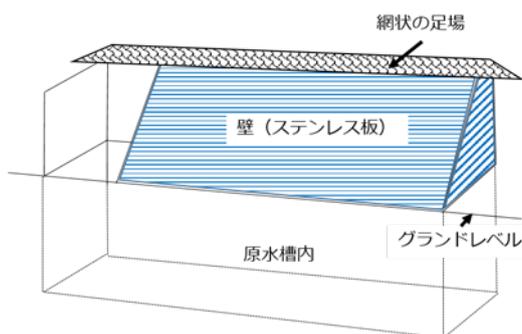


図3 原水槽に設置した壁

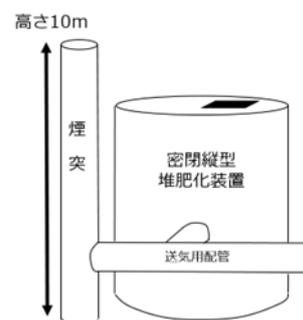


図4 密閉縦型堆肥化装置と排気用の煙突

## 3) 研究結果

### ア 臭気発生源特定及び畜舎・ふん尿処理施設の臭気発生状況調査

臭気マップ作成技術は大筋で本調査でも活用できた。唯一、GPSロガーについては、当初採用した機種が週数ロールオーバー問題で使用不能となったため、普及の観点からもより安価で精度に問題がない製品を模索し、選定できた(図5)。

養牛農場において特に強い臭気源となった施設は、ふん尿処理施設(具体的には攪拌発酵ハウス、乾燥ハウス)、肥育牛舎であった。調査対象の農場では、発酵ハウスでの堆肥化処理がメインとなる関係により、堆肥舎では臭気が少なく臭気源にはなっていなかった(図6、7)。但し、調査時に堆肥舎における切り返し作業に当たることが無かったためとも考えられ、実際に切り返しが行われる際には臭気が発生することは十分に考えられた。

ふん尿処理施設の臭気状況は、基本的に出入口近辺で臭気を検知することが多かった。発酵ハウスにおいては、攪拌中もしくは蒸気が見えるような発酵が進んでいる状況下で臭気が強かった(図7)。乾燥ハウスにおいては、当該地域の堆肥化処理フローの関係

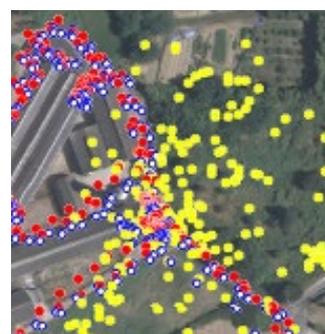


図5 GPSロガー性能比較

- : ロガーA
- : ロガーB
- : 対照ロガー

で副資材を混合せず生ふんのままで投入される傾向にあるため、特に入口周辺で臭気が強くなった。そのため、入口付近で攪拌機が動作した場合において臭気が高まる状況にあった（図6）。肥育牛舎では敷料の状態によって臭気の強さが異なっており、敷料交換後であれば臭気は強く出ず、敷料交換後一定程度の期間使い続けた場合で強い臭気を検知した（図8）。

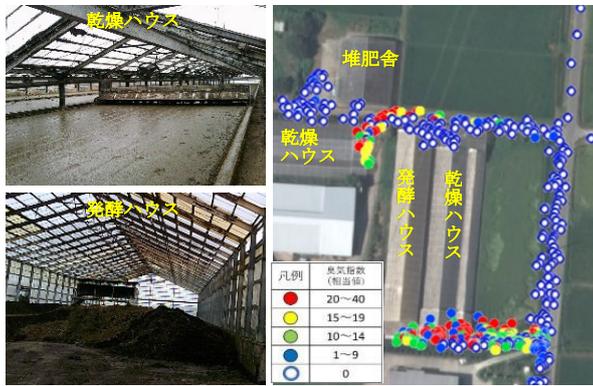


図6 ふん尿処理施設の臭気指数相当値の状況

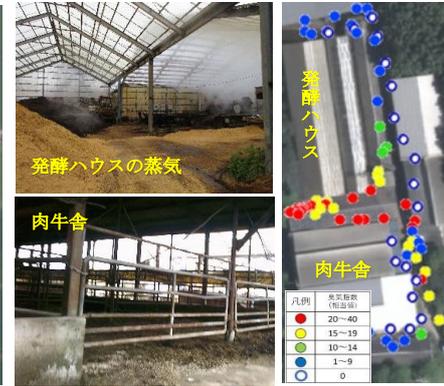


図7 発酵ハウスの蒸気、肉牛舎近辺の臭気指数相当値の状況

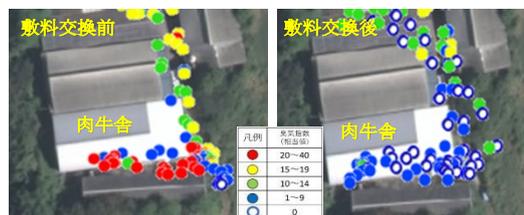


図8 肉牛舎敷料交換前後の臭気指数相当値の状況

養豚農場において特に強い臭気源となった施設は、浄化槽のうち原水槽、スクリーン施設、固液分離機近辺、他では堆肥舎、攪拌発酵ハウスであった。

浄化槽は常に稼働していることから、調査時に原水槽、スクリーン、固液分離機近辺に居る時はほとんど臭気を検知している状況であった。



図9 養豚農場における各種臭気源と臭気指数相当値

イ 養牛農場における簡易対策の効果検証

養牛農場において、既に取り組みされている臭気対策の効果を臭気マップにより確認した。ふん尿乾燥ハウス出口側に取りつけられていたカーテンは、カーテン開閉状況での臭気の比較をしたところ、閉じている時の方が抑制していた（図10）。生垣及び樹木帯は、臭気源から見て生垣・樹木帯までの空間と生垣・樹木帯の向こう側の空間とを臭気マップで比較したところ、前者で臭気指数相当値が高く後者は数値が検知されなかったことから、生垣により臭気が物理的に遮断されていると確認できた（図11）。



図10 乾燥ハウス出口側カーテンによる臭気指数相当値への影響



図11 生垣及び樹木帯による臭気指数相当値への影響

ふん尿乾燥ハウス側面に消臭シートを設置した既述の条件 (a)、(b)、(c) について、(a) では臭気マップ上では臭気の強さが低くなる傾向で見取れたが、実際は鼻で臭気を感じている場合もあったことから、風の影響によりニオイセンサで臭気をしっかり吸引できていなかった可能性も考えられた。

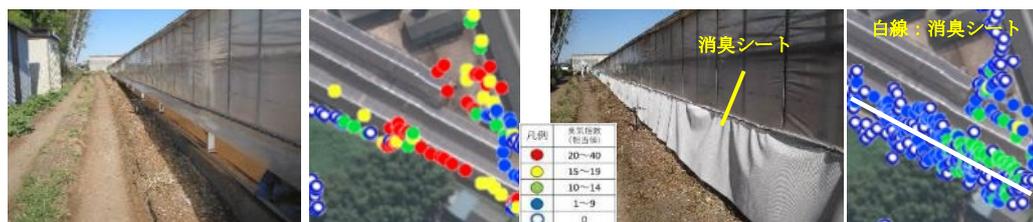


図12 乾燥ハウス側面消臭シート設置による臭気指数相当値への影響

(b) では乾燥ハウス外の消臭シート直近位置の臭気指数相当値が乾燥ハウス内と比べ

高い場合、低い場合、同等の場合のいずれも観察された（図13、14、15）。このことから、消臭シートがメッシュ状であるために臭気が通過してしまうことが分かった。また、今回利用した消臭シートは風の通りを強く妨げることが分かっており、このことはハウス内外の風の流れが異なる状況を生み出しやすいと考えられた。これを前提に考えると、ハウス外臭気指数相当値が高い場合というのは、ハウス外の風の動きが緩慢で漏れ出した臭気が消臭シート付近に留まっていたためと推察された。同じように、ハウス外臭気指数相当値の方が低い場合、同等の場合というのも、ハウス外の風の動き次第であったと推察された。消臭シートを一時部分的に捲り上げた時、ハウス内外の臭気指数相当値の推移をグラフで見るとベースとなる数値が徐々に下がった（図15）。この時、併設していた風速計では風の流れが活発になっていることが確認できた（図16）。風の動きを抑制していた消臭シートが外され風の動きが活発になったことで、ハウス内外の臭気が外に流れて拡散し数値が低くなったと考えられた。

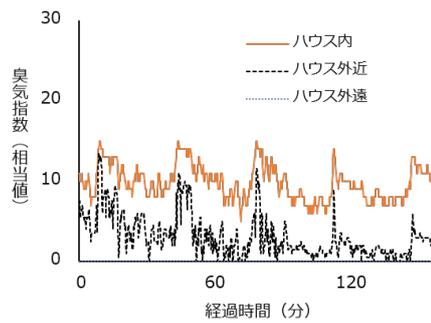


図13 消臭シート設置乾燥ハウス周辺の臭気指数相当値の推移  
(臭気強さ：ハウス内>ハウス外)

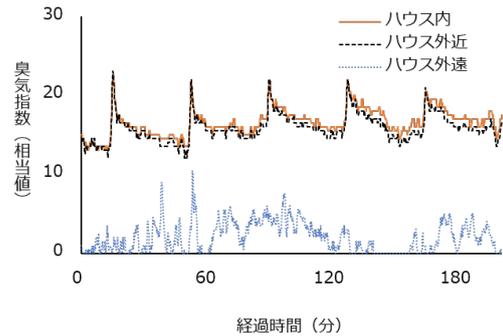


図14 消臭シート設置乾燥ハウス周辺の臭気指数相当値の推移  
(臭気強さ：ハウス内≒ハウス外)

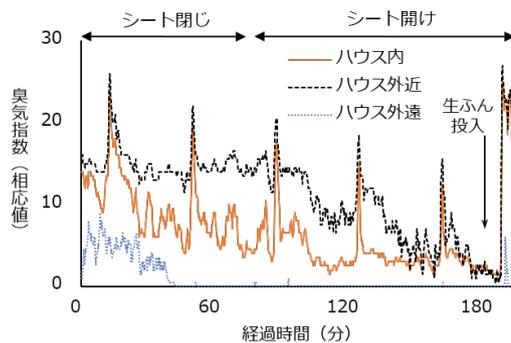


図15 消臭シートの影響を無くした際の乾燥ハウス周辺の臭気指数相当値の推移変化  
(臭気強さ：ハウス外>ハウス内)

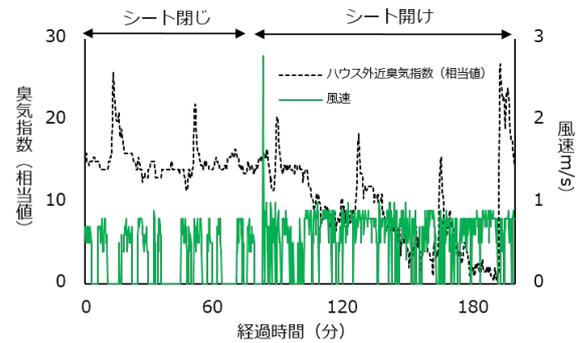


図16 消臭シートの影響を無くした際の乾燥ハウス外直近位置の風速の変化

(c) では乾燥ハウス出口側で攪拌機の稼働の状況毎に乾燥ハウス内外での粉じん濃度を計測したところ、攪拌機稼働時の乾燥ハウス内で最も高く、攪拌機稼働時の乾燥ハウス外で次いで高く、攪拌機停止時の乾燥ハウス内外の濃度は同等で、最も低くなった（表

1)。ふん尿が最も乾燥している乾燥ハウス出口付近で攪拌機が動くことにより、粉末が舞い粉じん濃度が上昇したと考えられる（図17）。そして、消臭シートが物理的に粉末の漏出を抑制し乾燥ハウス外では乾燥ハウス内ほどの濃度にはならなかったと推察された。なお、消臭シートのハウス内側には乾燥ふん粉末がこびりつく状況であり、メッシュ状であっても一定程度の飛散抑制効果があるものと考えられた（図18）。

表1 攪拌機稼働状況における乾燥ハウス内外の粉じん濃度 (mg/m<sup>3</sup>)

	攪拌機停止時	攪拌機稼働時
ハウス内	0.003	0.039
ハウス外近	0.003	0.008



図17 乾燥ハウス内攪拌機稼働時の乾燥ふん粉末飛散状況

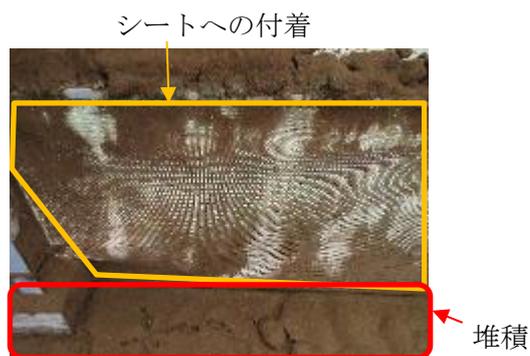


図18 消臭シートへの乾燥ふん粉末付着と付近における堆積状況

#### ウ 養豚農場における臭気対策の効果検証

##### (a) 原水槽に対する対策

壁設置前後の原水槽付近の臭気指数相当値を臭気マップで確認したところ、壁設置後の方が周囲の数値が低くなる傾向に見られた。壁の中を直接計測した時と比べても、濃い臭気が外に拡散されていないことが確認できた（図19）。



図19 原水槽上部の壁設置による臭気指数相当値への影響

##### (b) 密閉縦型堆肥化装置に対する対策

密閉縦型堆肥化装置3基のうち2基の発酵槽内臭気指数相当値はそれぞれ32、20であった。ブロワで空気を送り続けている配管に3基全ての排気が合流し希釈される。希釈後臭気を計測したところ、臭気指数相当値は20であった。ちなみに単純な空気量の比較ではブロワによる送気が16,000m<sup>3</sup>/時間、密閉縦型堆肥化装置3基の排気量は合計で

4,860m<sup>3</sup>/時間で、容量として約4.3倍希釈している計算となる。希釈後臭気指数相当値20や排出口高さ等諸条件を用いて最大着地臭気指数を算出したところ2であった(図20)。

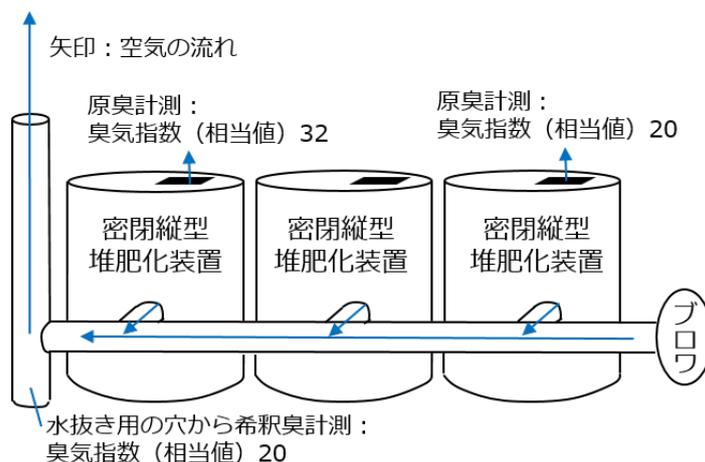


図20 密閉縦型堆肥化装置の空気希釈による希釈効果概要図

#### 4) 成果活用における留意点

臭気マップ作成技術は、条件を満たした機器とインターネット接続環境があれば誰でも扱える。留意点は、GPSロガーは製品によって精度差があること、週数ロールオーバー問題は一定周期で生じるようなので対応している機器の用意もしくは買い替えが必要となる。また、臭気は鼻での感知が敏感なことから、臭気を感じてもニオイセンサで反応しないこともある。そのため臭気マップは臭気の有無より臭気の強弱に着目して活用すべきである。

既存の臭気対策の状況を見るに、カーテン、生垣等物理的な遮断が最も効果が高いようである。その一方、消臭シートはメッシュ状であったため臭気が漏れ出てしまっていたことから、周辺で臭気を感じる機会があった。ただ、消臭シートは風速を抑制することから、臭気、粉じんの遠方への拡散については抑制が見込める。離れた住宅からの苦情対応に活かせる可能性がある一方、風次第で漏れ出る臭気が留まる可能性があるため敷地境界近くの施設や民家等が隣接している農場で利用する場合には留意する必要がある。今回消臭シートを設置した施設は乾燥ハウスである。乾燥ハウスは対象の水分蒸発が目的であるため密閉できないことからメッシュ状のシートを活用した。密閉しても良い施設等で対策する場合は消臭シート以外の選択もできるため、施設に応じて手段を検討することとなる。

密閉縦型堆肥化装置の排気への空気希釈では、煙突・配管等の施工費用、ブロワ本体料金等の初期投資費用及びブロワ稼働に要する電気代がかかる。電気代は先に紹介したブロワのフル稼働で約4万円/月(2021年時点)であった。排気は配管を通るため漏れ出るとは基本的に無く、施設周辺における排気由来の臭気の感知はほとんどないと考えられる。留意点として、煙突排気による地上部到達時点の臭気指数は諸条件により算出結果が異なってくるため、予め検証しておく必要がある。

#### 5) 今後の課題

簡易的な臭気対策として消臭シートの利用を想定したが、臭気が漏れ出した場合に風がどのように影響するを明らかにできなかった。風向きは建物や地形により狭い範囲でも異なるため、計測機器の数を多くする必要がある。今回の調査は、計測機器の数を揃えること

ができず検討出来なかった。

粉じんと臭気の関係性は、今回利用した機器ではそれぞれの数値化に時間的ずれが生じることから、両方を直接現場で計測することが困難であり、今回の調査で明確にすることは出来なかった。機器や計測方法の検討を行う必要があると考えられた。

実行課題番号	2 - (1)	実行課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	2 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発		
実行課題名	(1) 畜舎換気制御手法の高度化		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・福本 泰之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・中久 保亮、石田三佳、黄宸佑		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	株式会社中嶋製作所・営業部・樋本清一 株式会社中嶋製作所・技術部・谷口悠二、篠田智之、堀内 準也、山根京平 信州大学農学部・動物行動管理学研究室・竹田謙一		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

悪臭センサおよび畜舎排気除じんフィルターを活用した畜舎換気制御手法の開発により、畜舎換気に起因する畜舎由来悪臭の低減を目指す。本研究では、開発ニーズの高い肉用鶏舎を研究対象とするが、開発される換気制御技術は畜種を問わず活用可能である。高濃度の悪臭物質の畜舎外への排出を回避するために、悪臭センサを活用した舎内悪臭および温度を制御指標とする畜舎換気制御ロジックを開発する。これと並行して、畜舎から排出される悪臭物質を低減するために、畜舎排気除じんフィルターを活用した悪臭物質除去技術を開発し、畜舎換気制御手法を高度化する。平成30～31年度において、畜舎換気の制御指標となる悪臭物質をセンシング可能な悪臭センサを選定し、当該センサによる畜舎換気制御ロジックを開発する。また、畜舎排気除じんフィルターを活用した悪臭物質除去技術をパイロットスケール試験により開発する。令和2～4年度において、畜舎排気中悪臭物質濃度の40%削減を目標として開発技術の有効性を実証する。

### 2) 研究方法

約1万羽を飼養する9m×72.2mブロイラー鶏舎において、換気量が低下するために舎内悪臭濃度が高くなる冬季においてアンモニアの動態を測定した。調査結果をもとに、舎内悪臭物質の低減を目的として、ビッグダッチマン社製アンモニアセンサ「DOL53」を組み込んだ畜舎空気環境制御ロジックを検討した。

畜舎空気環境制御ロジックを実装した畜舎換気制御システムを作成し、ブロイラー44羽を飼養する信州大学実験鶏舎（飼養密度9.3羽/m<sup>2</sup>飼養面積）において、ブロイラー出荷後に、畜舎換気制御システムプロトタイプ機による舎内アンモニア換気制御を検証した。敷料が過度の乾燥状態にあったため、7L/m<sup>2</sup>飼養面積の散水により、実際のブロイラー飼養環境と同

様の舎内環境条件を再現した上で、外気温の低い冬期間において、舎内温度を維持しつつ必要最低限の換気を行う目的で実施される間欠換気を対照区として設定した。換気頻度は、一般的な間欠換気の設定である10分毎に30秒間の換気とした。これに対して試験区では、アンモニア濃度が閾値を上回る場合に、温度環境の維持に優先して換気を行う畜舎換気制御システムプロトタイプ機を稼働させた。アンモニア濃度の閾値は、ブロイラーの飼養環境として推奨されている10ppmに設定した。

次に、信州大学実験鶏舎において、畜舎換気制御システムを稼働させる飼養試験を実施した。飼養面積3.1m×2.0mの鶏舎3室において、それぞれブロイラー80羽を飼養し（飼養密度12.9羽/m<sup>2</sup>飼養面積）、畜舎換気制御システムによる舎内アンモニア制御データを取得した。敷料としてオガクズ（水分20%）を供試し、約5cmの堆積高さとなるように調整した後に、入雛作業を行った。従来の換気制御システムが稼働する対照区では、外気温の低い冬期間において、舎内温度を維持しつつ必要最低限の換気を行う間欠換気を設定した。換気頻度は、一般的な間欠換気の設定である15分毎に30秒間の換気とした。これに対して試験区1および試験区2では、対照区と同様の間欠換気の設定に加えて、アンモニア濃度が閾値を上回る場合に、温度環境の維持に優先して換気を行うことにより、舎内アンモニア濃度を制御する畜舎換気制御システムを導入した。アンモニア濃度の目標値をブロイラーの飼養環境として推奨されている10ppmに設定した。対照区、試験区1および試験区2のいずれにおいても舎内アンモニア濃度が20ppmを超えたことを確認した後に、試験区1および試験区2において畜舎換気制御システムを稼働させ、舎内アンモニア濃度低減効果を検証した。

畜舎排気除じんフィルターを活用した悪臭物質除去技術については、信州大学の実験鶏舎にビッグダッチマン社製除じんフィルター「StuffNix」を設置し、7週齢のブロイラー14羽の飼養下において、畜舎排気除じんフィルターによる悪臭物質除去性能を評価するパイロットスケール試験を実施した。換気ファン（三菱電機製有圧換気扇HG-50DTCN-50、出力200W）のインバータ出力を10%、30%、50%に設定し、鶏舎内エアロゾル濃度および除じんフィルター通過後の排気中エアロゾル濃度をパーティクルカウンタ（TSI製OPS3330）により測定し、除じん性能を検証した。

### 3) 研究結果

約1万羽を飼養する9m×72.2mブロイラー鶏舎において、換気量が低下するために舎内悪臭濃度が高くなる冬季においてアンモニアの動態を測定した。舎内アンモニア濃度は、最大で30ppmに達し、飼養環境として推奨されている10ppmを大幅に上回ることが確認された（図1）。そこで、ビッグダッチマン社製アンモニアセンサ「DOL53」を組み込んだ畜舎空気環境制御ロジックを開発し、畜舎換気制御システムとして実装した（図2）。

ブロイラー44羽を飼養する信州大学実験鶏舎（飼養密度9.3羽/m<sup>2</sup>飼養面積）において、ブロイラー出荷後に畜舎換気制御システムによる舎内アンモニア換気制御を検証した。温度環境の維持を優先して必要最低限の換気を行う、従来の間欠換気（換気時間30秒/10分）を実施した対照区では、平均アンモニア濃度21.7ppm、臭気指数相当値（畜環式ニオイセンサの臭気指数相当値換算式により算出）15であった。

対して、舎内アンモニア濃度10ppmを制御閾値に設定し、畜舎換気制御システムを稼働させた試験区では、平均アンモニア濃度7.8ppm、臭気指数相当値12となり、舎内アンモニア濃度を閾値濃度以下で制御可能であることが実証された。また、舎内平均アンモニア濃度

は対照区と比較して64%の低減、臭気指数相当値は3ポイントの低減であった（図3）。

次に、飼養面積3.1m×2.0mの鶏舎3室において、それぞれブロイラー80羽を飼養し（飼養密度12.9羽/m<sup>2</sup>飼養面積）、畜舎換気制御システムを稼働させる飼養試験を実施した。温度環境の維持を優先して必要最低限の換気を行う対照区では、平均アンモニア濃度21.7ppmであったのに対して、試験区1および試験区2の平均アンモニア濃度はそれぞれ10.2ppm、10.3ppmとなり、舎内アンモニア濃度を閾値濃度にて制御可能であることが実証された。また、舎内アンモニア濃度は対照区と比較して52.8%の低減であった（図4）。

一方で、対照区の舎内温度がほぼ一定に保たれたのに対して、試験区1および試験区2では、外気温が低下する夜間において、舎内温度が設定温度から解離する傾向が顕著にみられた。平均舎内温度は、設定温度17.5℃に対して、対照区：18.1℃、試験区1：15.5℃、試験区2：15.2℃となり、アンモニア濃度に応じて換気制御を行うことにより、舎内温度は平均2.7℃低下した。肥育後期の推奨温度帯は17℃を目安として14～19℃とされており、本実証においては、アンモニア濃度低減を優先させたものの温度低下は適正温度の範囲内であったといえる。

畜舎排気除じんフィルターを活用した悪臭物質除去技術については、畜舎排気除じんフィルターの設置により、エアロゾル質量濃度は、排気ファン出力10%、30%、50%の条件下において、それぞれ、70.3%、21.7%、47.7%除去され、優れた除じん性能を有することが確認された（図5）。しかし、除去されたダストからは悪臭成分がほとんど検出されず、悪臭低減効果は大きくないと考えられた。また、除じんフィルターの設置による圧力損失により、換気能力が低下する傾向が認められ、商用農場への導入において、大きな制約になるものと考えられた。

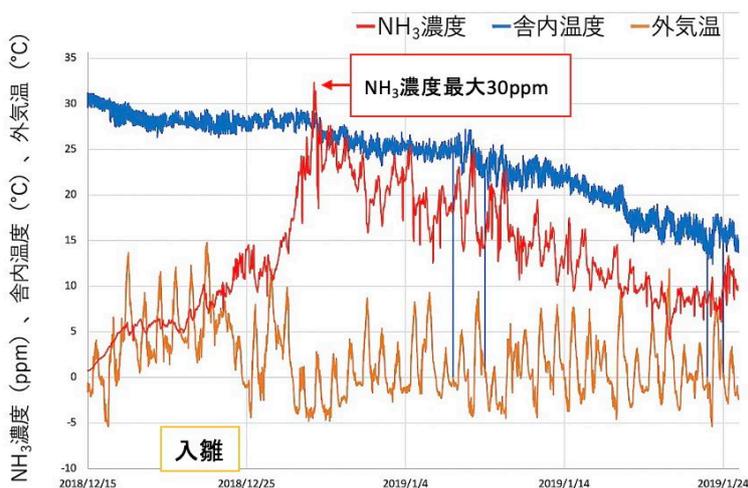


図1 商用ブロイラー鶏舎における舎内アンモニア濃度の経時変化

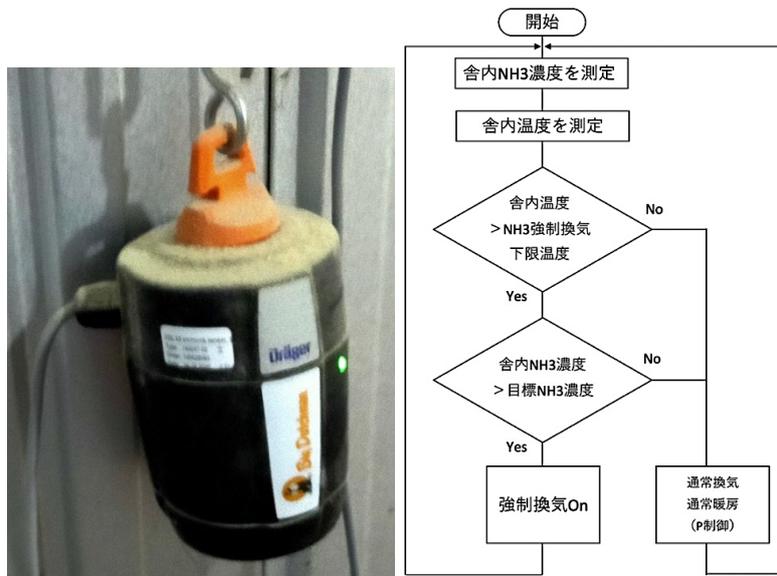


図2 アンモニアセンサ「DOL53」および開発した畜舎空気環境制御ロジック

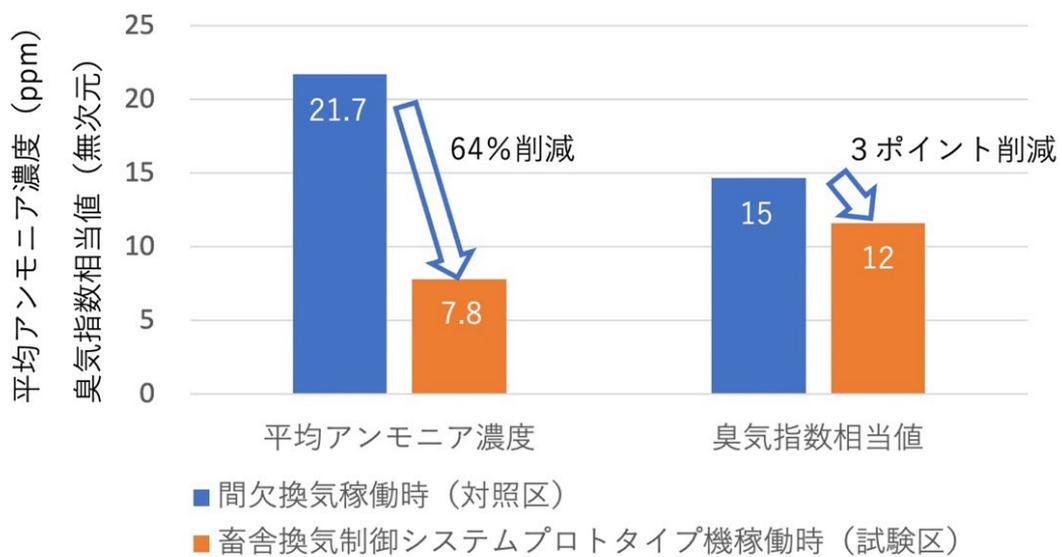


図3 畜舎換気制御システムの稼働による悪臭低減効果

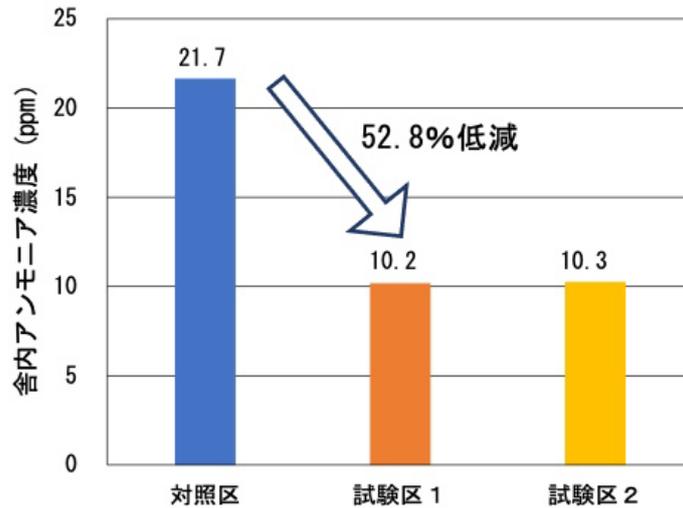


図4 飼養試験における畜舎換気制御システムによる舎内アンモニア濃度の低減効果

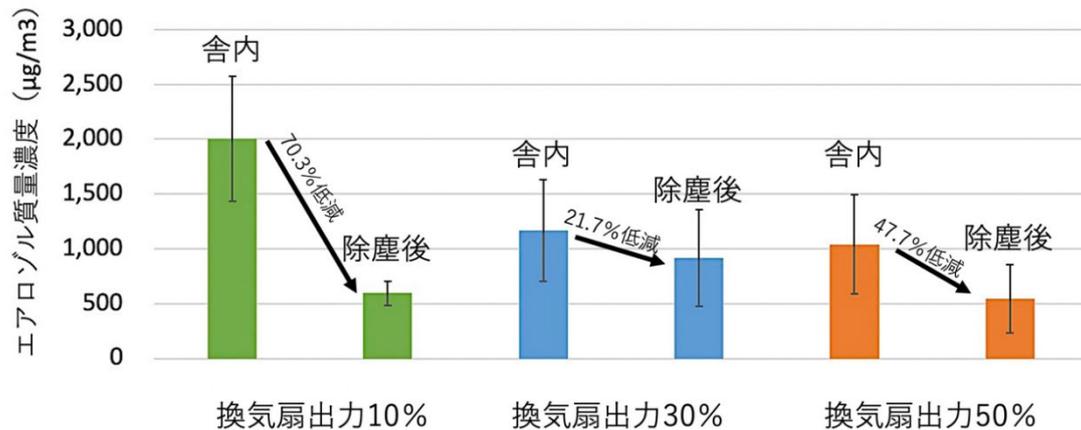


図5 畜舎排気除じんフィルターの設置によるエアロゾル質量濃度低減効果  
(バーは標準偏差を示す)

#### 4) 成果活用における留意点

冬季夜間など、外気温の低い環境条件下においては、舎内アンモニア濃度の制御が舎内温度の低下を招く可能性があるため、注意が必要である。なお、開発した畜舎換気制御システムでは、舎内温度と設定温度との温度差が、予め設定した許容値を超える場合には、舎内アンモニア濃度低減を優先とする換気制御を停止するロジックが組んでおり、ユーザー側で舎内温度と舎内アンモニア濃度とのバランスを調整できる仕様としている。

#### 5) 今後の課題

現在、アンモニアセンサは7農場に導入されており、その内の3農場に本研究により開発した畜舎換気制御システムが実装されている。本研究により普及が始まったばかりの状況といえるが、今後は現場ニーズ対応すべく、システム詳細の作り込みを行う必要がある。また、畜舎換気制御システムの基本ロジックは、畜舎換気だけでなく、堆肥舎などのアンモニア発生量の多い畜産施設においても活用可能性があるものと考えられ、様々な悪臭対策への応用可能性についての検討が望まれる。

実行課題番号	2 - (2)	実行課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	2 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発		
実行課題名	(2) 畜舎用臭気除去装置の開発と基本管理の効果検証		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・福本 泰之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	新潟県農業総合研究所畜産研究センター・生産・環境科・ 小見 朋子、藤井 崇、小柳渉、久保田耕治、長谷川裕二 名		
共同研究機関・研究室・研究者 名等			

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

豚舎から発生する臭気を対象に、臭気の水への吸着作用を利用した除去装置の開発を行うとともに、畜舎の構造や清掃の程度、水のみスト噴霧等の基本管理による臭気低減効果を検証する。

### 2) 研究方法

#### (1) 臭気除去装置の開発

臭気除去装置について、先行研究時に試作した装置を基に小型化ならびに水の散布量等を改良した新規臭気除去装置を開発し、装置通過前後の臭気を測定してその能力評価を行う。

#### (2) 基本管理の効果検証

床構造や清掃頻度等が異なる条件下における臭気を測定し比較することで、臭気発生量を抑えるための管理方法について明らかにする。また、発生した臭気の高減が期待されるのみスト噴霧について、噴霧ノズルの性能の違いによる効果の比較や噴霧する水への資材添加による効果検証等を行うことで、より効果的なのみスト噴霧方法を明らかにする。

### 3) 研究結果

#### (1) 臭気除去装置の開発

##### (ア) 室内設置型臭気除去装置

先行研究時に試作した室内設置型装置の構造を見直し、高さ130センチと従来比2/3程度まで小型化した(写真1左)。スプレーノズル等の見直しによりおよそ4倍の循環水量を確保し、ファン直下に位置する資材をフィルター効果の高い資材に変更することで能力の向上を図った(図1)。

一般の養豚農場に近い環境下において能力評価を行った結果、豚舎臭気の主要な悪臭物質であるノルマル (n) -酪酸の除去率は80%以上であった。先行研究時の試作品ではn-酪酸の除去率は70%程度であり、改良により除去率が10ポイント向上した。

### (イ) ルーフファン設置型臭気除去装置

室内設置型の装置では豚舎内の設置スペースの確保が困難な場合があるため、既存のルーフファンに装置を取付けるルーフファン設置型臭気除去装置を開発した(写真1右)。構造は室内設置型と概ね同様である(図1)。n-酪酸の除去率が92%と高かった。

装置の耐久性について、室内設置型、ルーフファン設置型ともに累計1,200時間程度稼働させたが故障や能力低下は認められなかった。設置場所の異なる二種類の臭気除去装置を開発したことにより、畜舎条件に適した装置の選択が可能となった。

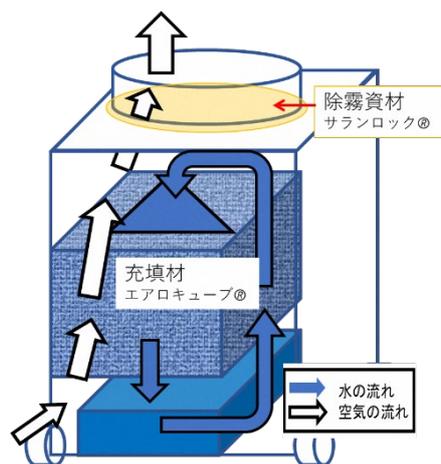


写真1 臭気除去装置

(左: 室内設置型 右: ルーフファン設置型)

図1 臭気除去装置の模式図

## (2) 基本管理の効果検証

研究期間中に実施した試験について表1に示した。

表1 各試験の概要

試験の内容	結果概要
臭気発生状況の比較	
床構造 (スノコ・平床等) の違いによる差	スノコ床の方が臭気が低い… (ア)
温度・湿度の違いによる差	明確な差は見られず
送風の有無による差	明確な差は見られず
清掃の頻度による差	肥育後期の清掃頻度を上げるとよいことを示唆… (イ)
ミスト噴霧方法の検証	
ノズルの選定 (市販ノズル5種の比較)	噴霧角度、噴霧量、粒径等により差がある… (ウ)
ノズルの数の違いによる差	数が多いほど臭気低減効果高い
噴霧間隔の違いによる差	明確な差は見られず
ミストへの市販消臭資材の添加効果	添加により臭気低減効果が向上
ミストへの炭酸水素ナトリウムの添加効果	0.5%の添加により臭気低減効果が向上… (エ)

### (ア) 豚房内床構造の違いによる臭気発生状況の比較

豚房内の床構造が全面スノコ床、半面スノコ床、平床の場合での臭気を測定したところ、ニオイセンサで測定した複合臭は、全面スノコ床と比較して、半面スノコ床では1.5倍、平床では3.8倍と強い臭気が発生していた。n-酪酸は全面スノコ床と半面スノコ床では同程度であったが、平床の場合は全面スノコ床と比較して3.1倍の濃度となり、臭気の発生を抑えるためには平床よりもスノコ床の方が有効であることが示された。なお、スノコの材質（コンクリート製とステンレス製）の違いによる臭気発生への差は見られなかった。

表2 豚房内床構造の違いによる臭気発生状況の比較

	全面スノコ		半面スノコ		平床	
	発生量	発生比	発生量	発生比	発生量	発生比
複合臭（臭気濃度）	266	1.0	395	1.5	1008	3.8
n-酪酸（ppm）	0.084	1.0	0.069	0.8	0.263	3.1

### (イ) 清掃の頻度の違いによる臭気発生状況の比較

複合臭は、肥育期間中の清掃頻度にかかわらず両区とも日数の経過とともに強くなる傾向が見られ、肥育後期には清掃あり区に比べ清掃なし区がやや強くなった（図2）。n-酪酸は豚房内の清掃を行わない場合では肥育後期に発生量が増え、毎日清掃を行う場合の8～26倍であった（図3）。肥育後期で臭気が増えた要因は、豚の成長に伴い豚房面積に余裕がなくなり排泄スペースと休憩スペースを分けることが難しくなったこと等で、豚体にふん尿が付着して臭気が発生しやすくなったものと考えられる。

これらのことから、肥育期間のうち特に後半の清掃頻度を上げることが臭気低減に効果的であることが示唆された。

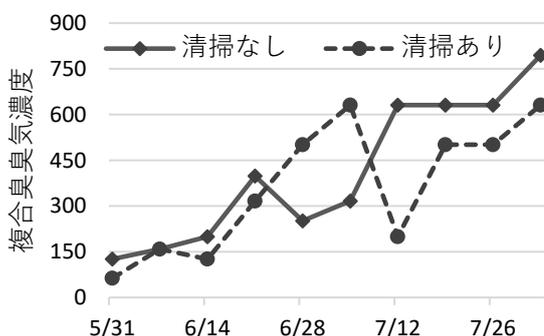


図2 豚房内で発生した複合臭の推移

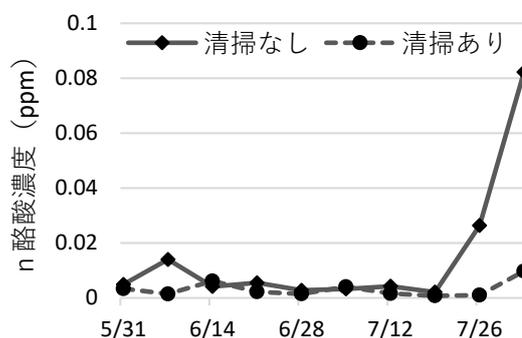


図3 豚房内で発生したn-酪酸濃度の推移

### (ウ) ミスト噴霧に使用するノズルの選定

ミスト噴霧用ノズルの性能の違いによる臭気低減効果の差について、n-酪酸を定量発生させた条件下で市販の5種類のノズルを用いて比較検討した（表3）。

噴霧量が同程度であるノズルB・C・Dで比較すると、DはB・Cよりも臭気低減率

が低かった。これはノズルの噴霧角度が狭いこと、また粒径が大きいことによる接触効率の低下によるものと考えられた。ノズルAはB・Cと比較すると低減率は劣るものの噴霧量あたりの低減率は高く、水の使用量に制限がある場合には有効なノズルであった。ノズルEはもっとも高い低減率であったが、価格が他のノズルの10倍程度と高価なため、特に強い臭気の発生が懸念される場合の選択肢として有用と考えられた。

また、当センターの小型実験豚舎（床面積3.3㎡、容積8.7㎡）で肥育後期豚を3頭飼育した条件下で、ノズルAを3個設置して15分噴霧、30分休止の間欠噴霧とした場合の複合臭の低減率は噴霧中の平均値（噴霧開始直後を除く）で48%であった。

表3 試験に用いた噴霧ノズルの性能（噴霧角度・噴霧量は0.7MPaでのカタログ値）

種類	噴霧角度（度）	噴霧量（L/分）	粒径（ $\mu\text{m}$ ）	形状	備考
A	80	0.03	45~60	空円錐	
B	80	0.12	50~75	空円錐	
C	80	0.09	80~200	空円錐	
D	70	0.1	170~190	充円錐	
E	180	0.23	45	充円錐	高価

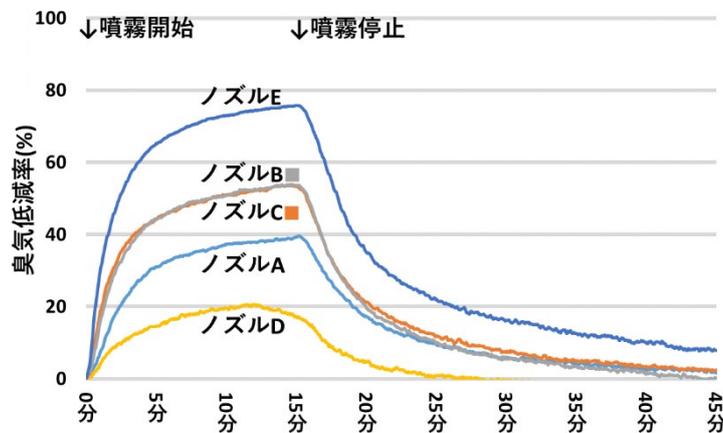


図4 n-酪酸定量発生下でのノズルの種類の違いによる臭気低減率の比較

#### (エ) ミスト噴霧への炭酸水素ナトリウム添加による臭気低減効果の検証

ミスト噴霧への添加資材として炭酸水素ナトリウムの効果を評価した。n-酪酸を定量発生させた条件下において、ミスト噴霧によるn-酪酸の低減率を比較した結果、ミスト噴霧直前の臭気強度が4.0以上の場合には、無添加で55%、0.5%添加で85%、1%添加で86%、2%添加で65%となり、炭酸水素ナトリウムを添加することで向上した。添加濃度は、低減率及びコスト面を考慮し、0.5%とすることが望ましいと考えられた。

市販の消臭資材と比較しても安価であり、容易に入手可能であること、また入浴剤や食品添加物にも使用されており体内に入っても害がないこと等から、ミスト噴霧への添加資材としての活用が期待される。

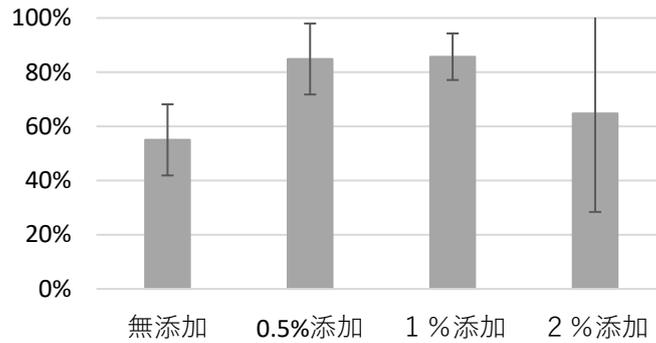


図5 ミスト噴霧への炭酸水素ナトリウム添加によるn-酪酸の低減効果

#### 4) 成果活用における留意点

開発した室内設置型臭気除去装置のみで豚舎から発生するn-酪酸濃度を50%低減させるために必要な台数をファンの能力をもとに試算すると、母豚100頭規模の肥育豚舎では10台程度となる。設置場所の確保が課題となるため他の技術と組み合わせて複合的に対策する。

基本的な管理の効果検証として、豚房内の清掃やミスト噴霧等による効果を示したが、養豚農場により臭気の発生状況や周囲の環境等に違いがあることから、あらかじめ対象農場の状況を確認し、コスト面等も考慮した上で導入する技術を選択することが重要である。

#### 5) 今後の課題

開発した臭気除去装置については、サイズや設置場所等にまだ改良の余地が残っており、実用化に向けて引き続き検討を進める必要がある。

臭気を低減する基本的な管理方法等について、農場の状況に応じた導入案を示すためのマニュアル等を作成することにより、現地での普及を図る。

実行課題番号	2 - (3)	実行課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	2 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発		
実行課題名	(3) 堆肥化・メタン発酵複合処理からの臭気低減技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・福本 泰之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構九州沖縄農業研究センター・肉用牛生産グループ・ 田中章浩、黒田和孝、福重直輝		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	東京大学大学院農学生命科学研究科・生物機械工学研究 室・古橋賢一、海津裕、芋生憲司		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

牛ふん尿の処理において、スクリープレスを用いて固液分離を行い、固形分を堆肥化、液分をメタン発酵することを想定して悪臭低減を図る。堆肥化処理においては、固液分離による固形分窒素含量の低減化および炭素源の添加によりアンモニア発生を3割低減する。また、堆肥化での臭気の堆肥脱臭による処理では、脱臭用資材に炭素源を添加した堆肥を用いることにより脱臭後の臭気指数を16以下とする。液分のメタン発酵では、発酵消化液を悪臭防止法の第3号規制基準の臭気指数（第1号規制基準+16）以下とするための方法を確認する。また、低コスト（250万円以下）の消化液散布装置を開発し、消化液の圃場散布時の周辺環境を臭気指数16以下となることを検証する。

### 2) 研究方法

#### 1. 固液分離による乳牛ふん尿の堆肥化処理からの窒素揮散量および発生臭気の低減

乳牛ふん尿をスクリープレス（ME-200DAN、モリプラント、ウェッジワイヤースクリーン間隔0.8 mm）で固液分離した。この固液分離により回収した固形分（固液分離区）、および元の乳牛ふん尿にオガクズを混合し水分調整した試料（オガクズ混合区）をパイロットスケール堆肥化装置（1.8 m<sup>3</sup>容）に投入して堆肥化を行った。4週間の試験期間中（7日毎に切り返し）の窒素揮散量を比較した（試験回数2回）。また、排出口から期間中毎日採取袋に排気（臭気）を定量採取し、100倍希釈後に畜環研式ニオイセンサで臭気指数相当値を測定した（センサ指示値+20で表示）。また、採取した臭気試料のうち12点について3点比較式臭袋法（パネル4名による簡易法）により臭気指数を測定した。堆肥化通気量は、試験区の有機物分解率を同等とするため、排気中の二酸化炭素濃度が3.5%となるように制御した。

## 2. 廃食用油添加による堆肥化からのアンモニア (NH<sub>3</sub>) 発生低減

- 1) 実験室規模試験: 乳牛ふん尿/オガクズ混合物に、廃食用油を添加した乳牛ふん重量の1.5%、3%添加したもの(1.5%添加区、3%添加区)、および無添加のもの(対照区)を、堆肥化試験装置(容14 L)に充填した。これらを高通気条件(開始時通気量0.55L/分、充填物1 m<sup>3</sup>あたり39.2 L/分相当)および低通気条件(0.3 L/分、充填物1 m<sup>3</sup>あたり21.4 L/分相当)で20日間堆肥化し、NH<sub>3</sub>発生濃度の推移および窒素損失を評価した。
- 2) パイロットスケール試験: 乳牛ふん尿/オガクズ混合物に廃食用油を3%添加したもの(添加区)、および無添加のもの(対照区)を、パイロットスケール堆肥化試験施設(容1.8 m<sup>3</sup>)に堆積し、実験室規模試験の結果を考慮して低通気条件(40 L/分、開始時堆積物1 m<sup>3</sup>あたり22.2 L/分)で28日間堆肥化し、NH<sub>3</sub>発生濃度の推移と窒素損失を調べた。

## 3. 固液分離・廃食用油添加・堆肥脱臭を組み合わせた臭気低減効果

固液分離処理を行った堆肥材料(固分)1,151 kgを実規模堆肥化装置(高1.8 m×幅1.0 m×奥1.0 m)に入れ、堆肥化処理を行った。また、堆肥化槽からの排気を堆肥脱臭装置(高0.6 m×幅2.0 m×奥1.0 m)に導入し、臭気低減効果を明らかにした。堆肥脱臭装置には脱臭用堆肥として水分60%の廃食用油添加牛ふん堆肥(堆肥化開始時にふん尿質量の3.0%の廃食用油を添加)を439 kg(水分61.2%)入れた。初期堆肥材料1 m<sup>3</sup>当たりの堆肥化通気量は、1週目56 L/min、2週目33 L/minとした。また、堆肥脱臭装置には堆肥化臭気を希釈するために、堆肥化からの排気と共に外気を0.1 m<sup>3</sup>/minの割合で導入した。したがって、堆肥脱臭装置での堆肥化臭気希釈率は、1週目2.0倍、2週目2.7倍であった。堆肥化排気及び堆肥脱臭装置からの排気のアンモニア濃度をガス検知器(GASTEC、GV-100S)と検知管(GASTEC、3HM、3M、3L)で測定した。

## 4. 乳牛ふん尿を原料としたメタン発酵消化液の臭気評価および低減

半連続投入型メタン発酵槽(3.6 L)に、乳牛ふん尿をスクリーブレスで固液分離した液分と生ごみを供試し、37°Cでメタン発酵試験を実施した。異なる有機物濃度、水理学的滞留時間(HRT)、生ごみ添加割合の条件下で得られた消化液の臭気官能試験(強度・確信度判定法、パネル3名)を行い、臭気指数への影響を明らかにした。官能試験に用いた消化液は、条件変更後から継続的に材料投入を続け、設定HRTを経過したものをを用いた。

また、後段処理による臭気低減手法の検討として、HRT30日でメタン発酵した消化液を15°C、25°Cで貯蔵し、定期的に官能試験により臭気指数を測定した。さらに、乳牛ふん尿の搾汁液を原料とした熊本県内のメタン発酵プラントの発酵槽から採取した消化液を、内径194 mmの管内に1,000 mm(30 L)供試し、空孔径20、150 μmの底部散気管より曝気(3.0 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/h)し、排出口でNH<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>S濃度を経時的に測定した。曝気2 h経過したものを官能試験に供試した。

## 5. 消化液散布装置による施肥及び圃場周辺臭気低減

車両積載型散布装置は走行速度を検出し流量を制御する機構を有する。散布には最大吐出量1,100L/分のエンジンポンプ(HONDA、WB30XT)を利用し、流量調節にはフランジ形ボール三方弁(日本バルブコントロールズ、PHXLR001TTP-065)を使用した。また、流量測定には電磁式流量計(キーエンス、FD-UH100H)、駆動車両の速度検出にはGPS速度センサー(RACELOGIC、VBSS05)を使用した。データ収集及び制御には、データロガー(Campbell、

CR-1000) を用い散布特性およびコスト評価を行った。積載型散布装置をクローラー運搬車 (ヤンマーアグリ、CD-19350SD-V) に積載し、塩ビ管 (VP50) で作成した散布管幅を2.1m として散布試験を実施した。牛ふん尿を原料としたメタン発酵消化液の散布前に曝気を  $3 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{h}$  の割合で30分間行い、消化液臭気の低減効果を明らかにした。臭気低減化を行った消化液は、車両積載型散布装置を利用して、圃場に4,000 kg/10aの割合で表面散布した。散布直後に散布圃場4方向の境界線上高さ1.2mの位置で臭気をサンプリングし、臭気指数相当値 (春日工業、XP-329ⅢR)、ガス検知器 (GASTEC、GV-100S) を用いて検知管「アンモニア濃度 (GASTEC、3L)、硫化水素濃度 (GASTEC、4LK)」で測定した。また、車両の低コスト化においては、上述のGPS速度センサを、GPSやGLONASS等の5つの衛星測位システムに加えて、基準局からの補正情報を受信してセンチメートル級測位を行うことができるGNSS受信モジュール (ZED-F9P、u-blox) に変更して、低コストかつより高精度な測位を可能とした。RTK測位のための基準局からの補正情報には、ソフトバンクのネットワークサービスを通じて配信されるichimillを用いた。データ制御には、ネットワークに接続可能なESP32シリーズ (Espressif Systems) のマイクロコントローラーを用いた。

### 3) 研究結果

#### 1. 固液分離による乳牛ふん尿の堆肥化处理からの窒素揮散量および発生臭気の低減

固液分離することで乳牛ふん尿に含まれる窒素は、搾汁液側に平均で47.1%、試験2では49.4%移行した。また、水分調整する前の乳牛ふん尿当たりの堆肥化によるアンモニア揮散量は、55.0%削減された (図1)。水分調整前の乳牛ふん尿1tを堆肥化した場合の臭気発生量 (堆肥化送風量) と臭気指数相当値の積で表される臭気発生排出強度

(OER、Odor Emission Rate) は、期間中1週目で44.4%、2~4週目で36.5~38.8%減少した (図2)。

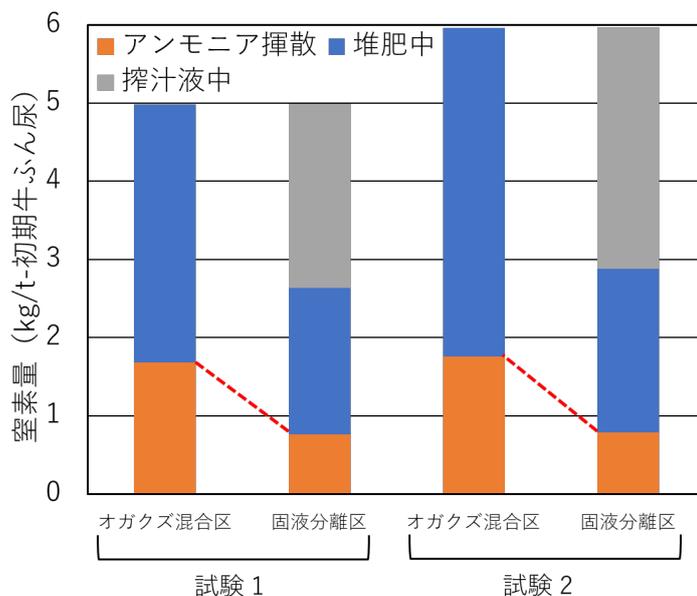


図1 固液分離および堆肥化处理での乳牛ふん尿中窒素の収支

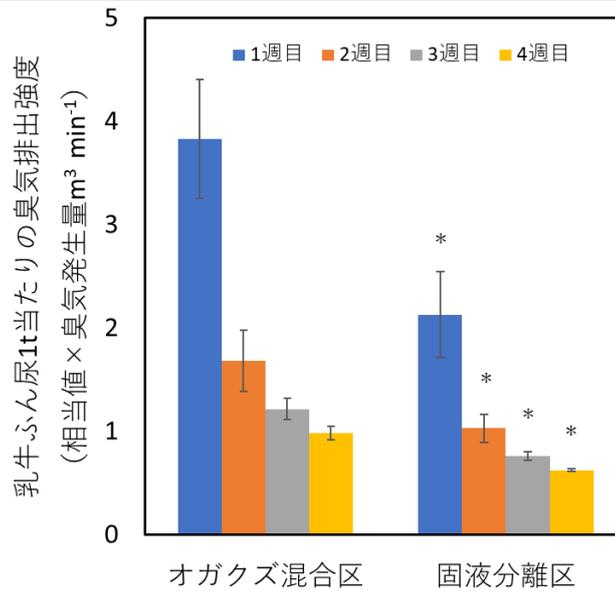


図2 水分調整前の単位乳牛ふん尿当たりの堆肥化で発生する臭気排出強度の週平均 (mean ± SD)

## 2. 廃食用油添加による堆肥化からの NH<sub>3</sub> 発生低減

1) 実験室規模試験：高通気条件ではアンモニア発生濃度は対照区と添加区に大きな差はなく、窒素損失は添加割合の増加に従ってむしろ増加した。一方、低通気条件ではアンモニア発生濃度は添加区で対照区に比べて低めとなり、窒素損失は添加割合の増加に従って低減した。添加割合と窒素損失の間には、高通気条件で正の、低通気条件で負の1次相関がみられた(図3)。この結果から、乳牛ふん尿重量の3%までの廃食用油添加では、低通気条件で堆肥化することでアンモニア発生低減効果が得られることがわかった。

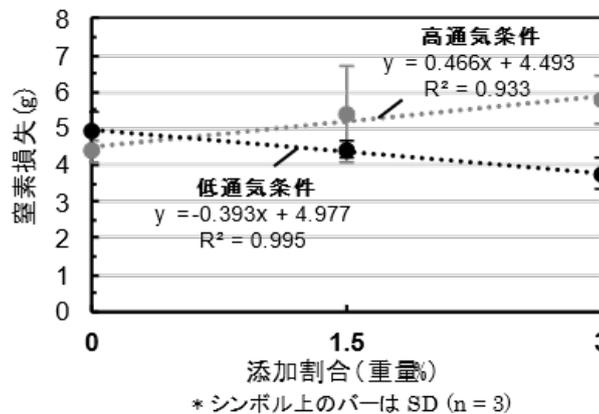


図3 廃食用油添加割合と窒素損失の相関 (実験室規模試験)

2) パイロットスケール試験：堆肥化前半のアンモニア高濃度発生時期においても、添加区では対照区に比べてアンモニアの発生は低濃度であった(図4)。添加区では対照区に比べて堆肥化期間中の窒素損失は21.5%少なく、一方堆肥中の残存分は多く、これらについて有意差が確認された(図5)。この結果から、廃食用油添加(乳牛ふん尿/

オガクズ混合物に廃食油を3%)と低通気条件の組み合わせは、実際の堆肥化処理でもアンモニア発生低減に有効と考えられ、発生量を約2割削減できた。

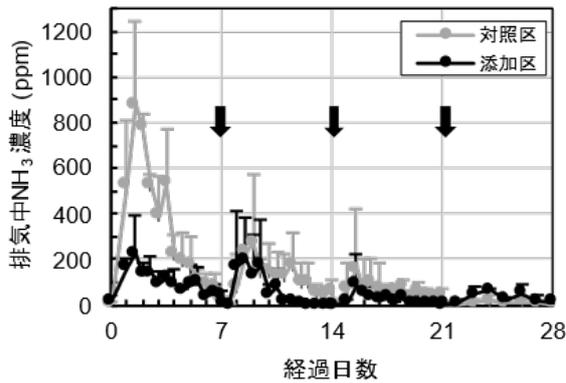


図4 堆肥化過程のNH<sub>3</sub>発生濃度の推移 (パイロットスケール試験)

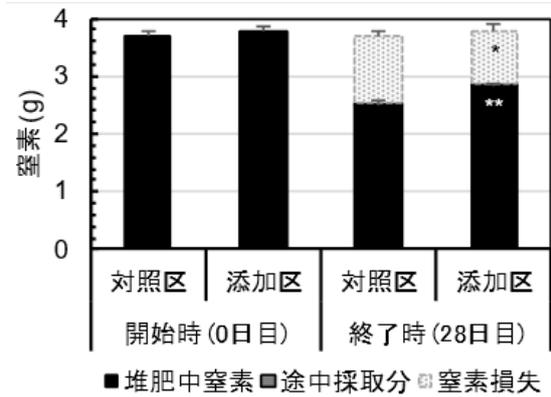


図5 堆肥化過程の混合物中窒素含有量 (パイロットスケール試験)

### 3. 固液分離・廃食油添加処理及び堆肥脱臭処理による堆肥化臭気低減

固液分離を行った牛ふん固形分に質量割合で1%の廃食油を添加したことで、堆肥化温度は80℃近くまで上昇した。堆肥化での排気アンモニア濃度は堆肥化1、2週の平均245 ppm (最大2,000 ppm) に対して、堆肥脱臭処理空気は平均0.3 ppm (最大4 ppm) まで低減した。また、臭気指数相当値は、堆肥化臭気2週間平均36 (最大42) であったのに対して、堆肥脱臭処理により78%低減し、平均8 (最大21) となり、目標値の「臭気指数16以下」を概ね達成した (表1)。

表1 堆肥化及び堆肥脱臭排気中のアンモニア濃度及び臭気指数相当値

項目	アンモニア濃度			臭気指数相当値			
	堆肥化排気 (ppm)	堆肥脱臭後 (ppm)	低減率 (%)	堆肥化排気	堆肥脱臭後	低減率 (%)	
1週目	平均	407.1	0.5	99.9	35.4	9.4	75.1
	標準偏差	713.9	1.2	0.2	3.7	8.6	22.0
	最大値	2000.0	4.0	100.0	42.0	21.0	100.0
2週目	平均	115.6	0.0	100.0	36.4	6.1	81.4
	標準偏差	179.8	0.2	0.0	3.0	8.1	22.0
	最大値	600.0	0.6	100.0	42.0	20.0	100.0
2週間	平均	245.2	0.3	100.0	35.9	7.8	78.0
	標準偏差	504.8	0.8	0.1	3.3	8.3	21.4
	最大値	2000.0	4.0	100.0	42.0	21.0	100.0

#### 4. 乳牛ふん尿を原料としたメタン発酵消化液の臭気評価および低減

純水希釈により調整した強熱減量 (VS) の異なる搾汁液を原料として、HRT20日の条件で有機物負荷を変えたメタン発酵を行った。原料VS濃度が3.2%と低い条件では、消化液の臭気指数は原料と比較して9ポイント減少した (図 6 A)。一方で、VS濃度が高い場合には、明確な臭気指数の低減はみられなかった。また、VS5.4%の搾汁液を原料として、HRTを長くすることで有機物負荷を低減させた試験でも明確な臭気指数の低減はみられなかった。(図 6 B)。さらに、人工生ごみを添加して有機物負荷量を変えた試験では、3.2 g-VS/L/d の条件で、酸敗等による発酵不良はみられなかったが、臭気指数が50を大幅に超えた (図 6 B)。ガス発生副資材として生ごみ添加を行った場合、消化液の臭気に留意する必要があることが明らかとなった。

同VS5.4%を原料として得られた消化液を15°C、25°Cで2ヶ月間貯留したところ、原料消化液 (臭気指数45) と比較して、貯蔵温度15°Cでは有意に8ポイント減少した (図 7)。25°Cでは1ヶ月で有意に11ポイント減少したが、官能試験でのばらつきが大きいいためか、2か月後では臭気指数が若干増加した。しかし、温度に関わらず貯蔵処理で5ポイント以上減少することが明らかとなった。また、曝気による後段処理では、曝気直後から硫化水素が放出されることが確認された (図 8 A)。空孔径20 μmの散気管を用いた場合、150 μmのものと比較して、排出口での硫化水素濃度の極大値が低くなると共に放出時間も短縮された (図 8 B)。溶存酸素の増加により、硫化水素の酸化反応が促進された可能性が考えられる。20 μmの場合、0.75 h以内で硫化水素の検出は見られなくなった。また、硫化水素の放出が終わり、しばらく経過すると、排出口でのアンモニア濃度が増加した。本試験では、2 h曝気により5ポイントの臭気指数低減傾向が確認された (図 8 C)。

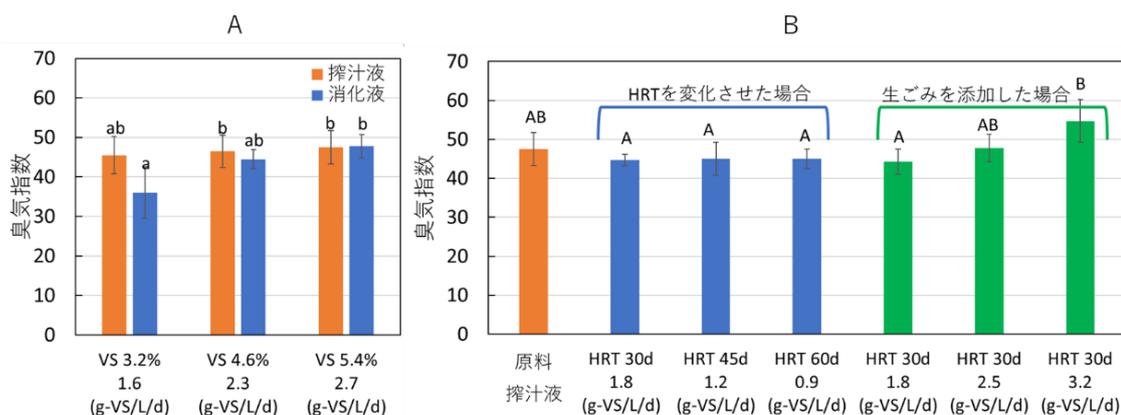


図 6 牛ふん尿のメタン発酵における発酵条件が消化液の臭気指数に与える影響

A : 原料濃度 B : HRTおよび生ごみの投入

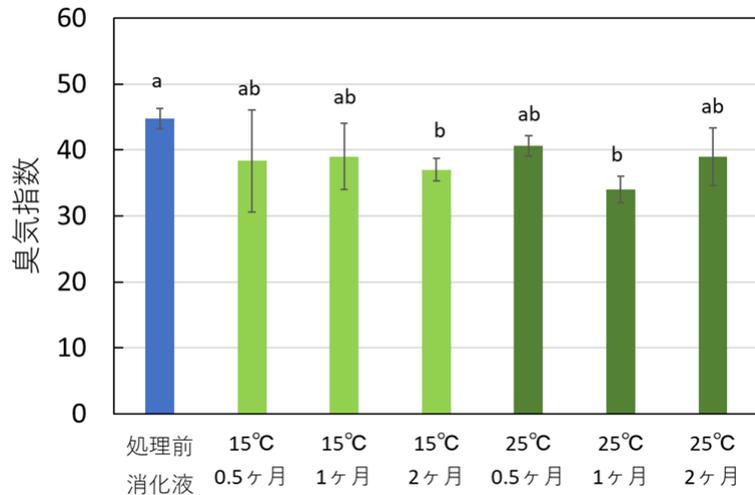


図7 消化液の貯留条件が臭気指数に与える影響

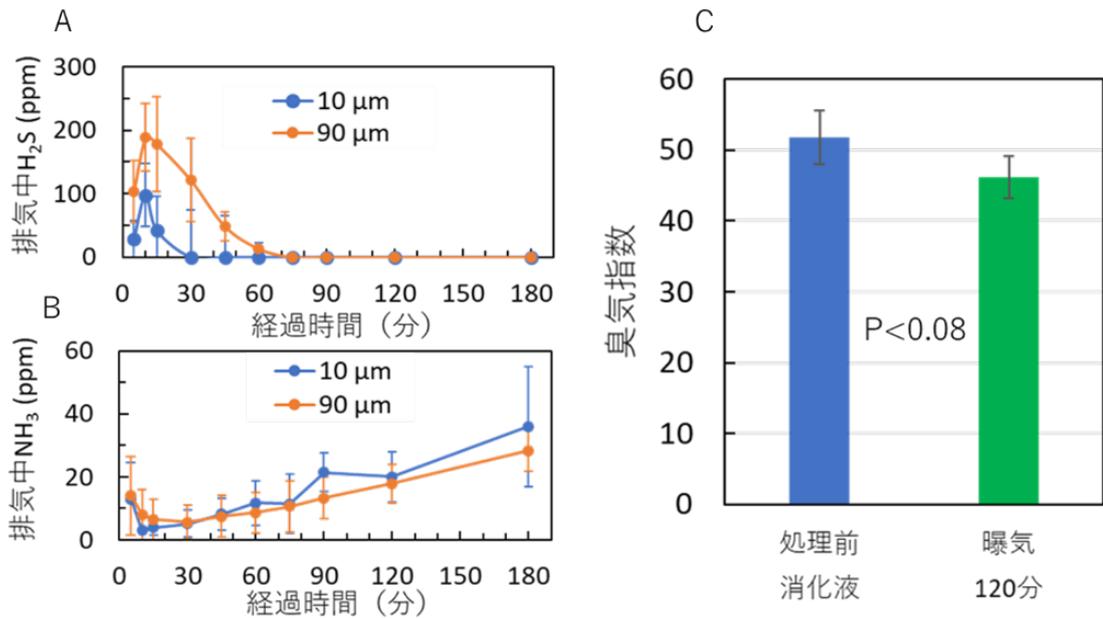


図8 曝気処理が消化液からの臭気物質の低減および臭気指数に与える影響

A: 排気中の硫化水素の推移 B: アンモニアの推移 C: 臭気指数変化

##### 5. 曝気処理及び均一散布による消化液の散布圃場周辺臭気の低減

車両積載型の低コストポンプ式メタン発酵消化液散布装置概要を図9に示した。車両積載型消化液散布装置は、エンジンポンプ、フランジ型ボール三方弁、流量計、RTK-GNSS（リアルタイムキネマテックGNSS）速度センサ、マイコン制御装置、タンクで構成され、配管部品等を含めた価格は93万円である。また、クローラー運搬車（積載可能重量1.2 t）の価格が136万円であることから、散布機械の価格は229万円となる（表2）。また、本制御装置は、マイコンに付属させたキー入力により、車両上で容易に設定散布量を変更可能である。

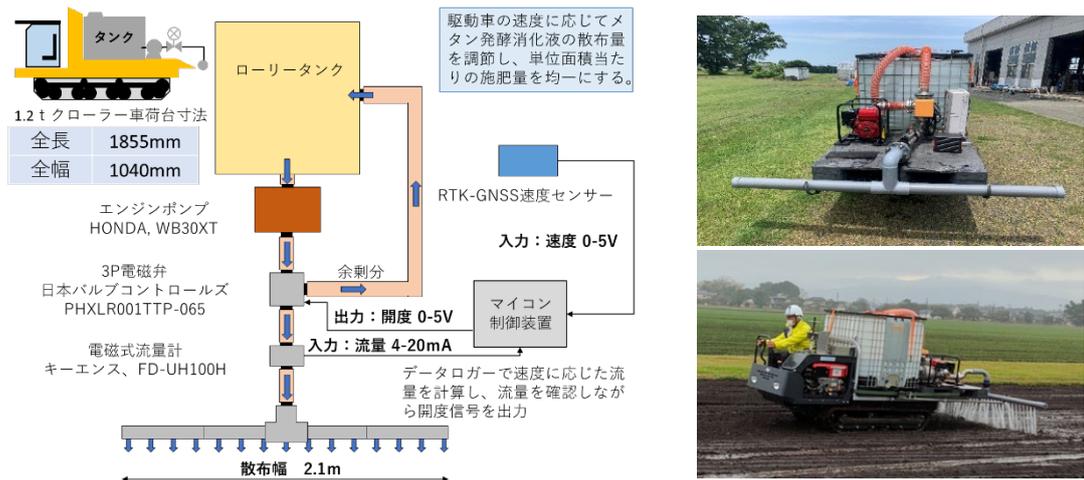


図9 車両積載型散布装置の概略

表2 車両積載型消化液散布装置とクローラー運搬車の価格

項目		数量	単位	金額 (円) 税込み
積 載 型 散 布 装 置	エンジンポンプ	1	台	63,690
	フランジ形ボール三方弁	1	個	239,250
	超音波流量計	1	個	391,900
	GPS速度センサー	1	個	39,000
	制御装置	1	式	10,000
	配管部品等	1	式	120,940
	1tタンク	1	個	65,890
	小計			930,670
駆動車	クローラー運搬車(1.25t)	1	台	1,357,400
総合計				2,288,070

散布量は、走行速度と流量計の出力を用いてフランジ型ボール三方弁開度を制御し、散布側管路へ流れる流量を調節する方式である。車両搭載型散布装置をクローラー運搬車（移動速度1.7~4.4 km/h）に積載し、牛ふん尿を原料としたメタン発酵消化液（かさ密度1031 kg/m<sup>3</sup>、粘度6.57 mPa s、動粘性係数6.4×10<sup>-6</sup> m<sup>2</sup>/s、pH=8.01、TS=6.8%、VS=38.3%）の散布実証を行った。その結果、設定散布量9.2±1.7 L/s（平均±標準偏差）に対して実際の散布量は8.7±2.5 L/s となり、平均平方二乗誤差（RMSE）は0.5 L/sとなった。また、長さ40.7m、幅2.1mでの設定施肥量332.6 kgに対して実際の散布量は321.8 kgであった（図10）。また、装置の一部構成を変え低コスト化し、車両速度およびオペレータによるキー入力による設定散布量（2,100~6,000L/10a）を変えた場合の散布実証試験においても同等の散布精度であった（表3）。

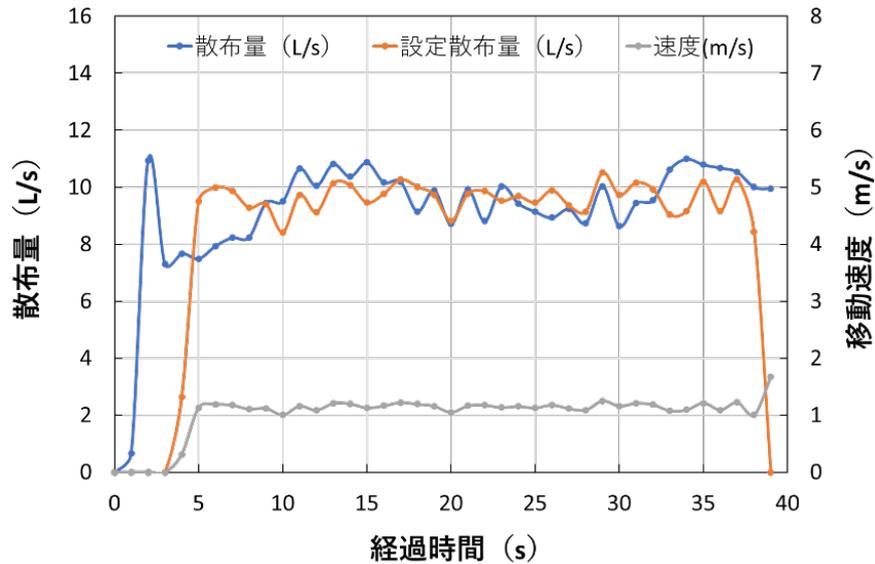


図10 移動速度に応じた設定散布量と実際の散布量の関係

表3 異なる設定散布量および走行速度における実証試験の実散布量

設定散布量 (L/10a)	車速平均 (km/h)	目標流量平均 (L/s)	実流量平均 (L/s)
6,000	3.9±0.3	13.5±1.2	13.2±1.0
6,000	1.9±0.2	6.3±1.1	6.5±0.5
4,900	4.0±0.2	11.4±0.5	10.8±0.6
4,200	3.8±0.5	9.3±1.2	9.1±0.5
3,200	4.0±0.4	6.9±1.1	7.4±0.7
2,100	3.8±0.5	4.7±0.6	4.5±1.1

散布前の消化液（臭気指数相当値39）に曝気を  $3 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{h}$  の割合で30分間行った結果、消化液のアンモニア濃度は2～43 ppm増加したが、硫化水素（平均13 ppm）は曝気により検出されなかった。その結果、臭気指数相当値39（臭気濃度相当値7900）の消化液は曝気処理により臭気指数相当値28（臭気濃度相当値630）まで低減した。散布圃場の境界線上の臭気測定を行った結果、アンモニア濃度1 ppm、硫化水素は検出されず、臭気指数相当値は14以下となった（表4）。養牛業における臭気強度2.5、3.0、3.5に対応する臭気指数は11、16、20（環境省）であることから、消化液の曝気処理と車両積載型消化液散布装置による均一散布により、臭気強度3.0以下に対応可能であると考察された。プロジェクトの目標である「低コスト（250万円以下）の消化液散布装置を開発し、消化液の圃場散布時の周辺環境を臭気指数16以下」を達成した。

表4 消化液散布直後の圃場周辺臭気のとまとめ

項目		曝気前 消化液	30分曝気後 消化液	圃場散布後 (4000 L/10a)			
				圃場北	圃場東	圃場南	圃場西
臭気指数 相当値	1回目	39	28	8	2	2	14
	2回目	39	28	11	5	11	9
	最大値	39	28	11	5	11	14
アンモニア (ppm)	1回目	60	62	1	1	0	1
	2回目	46	89	0	0	0	0
	最大値	60	89	1	1	0	1
硫化水素 (ppm)	1回目	14	0	0	0	0	0
	2回目	12	0	0	0	0	0
	最大値	14	0	0	0	0	0
風向	1回目	東南東					
	2回目	西北					
風速 (m/s)	1回目	1.0					
	2回目	1.5					

#### 4) 成果活用における留意点

本成果は、牛ふん尿を対象として実施したもので、他の畜種の排せつ物を対象とする場合には留意する必要がある。

廃食用油添加による堆肥化については、廃食用油の安価な入手方法を模索することが望まれる。

#### 5) 今後の課題

車両積載型消化液散布装置に関しては、農業現場等において中長期的な運用を行い、耐久性等の評価、また、自動走行などの更なる自動化を進めることで消化液の散布に係る省力化を進める必要がある。

廃食用油添加による堆肥化については、調製した堆肥の作物肥料としての評価を行う必要がある。

実行課題番号	2 - (4)	実行課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	2 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発		
実行課題名	(4) 密閉縦型堆肥化装置の総合的臭気低減技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・福本 泰之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構九州沖縄農業研究センター・肉用牛生産グルー プ・田中章浩		
共同研究機関・研究室・研究者 名等	農研機構中央農業研究センター・作業技術グループ・小島 陽一郎 農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・福本 泰之、石田三佳、和木美代子、安田知子、中久保亮 朝日アグリア株式会社・開発部・浅野智孝、飯塚美由紀、 石川伸二、松岡英紀、見城貴志、堀口享平、中村春香 中部エコテック株式会社・代表取締役・竹内和敏 中部エコテック株式会社・技術課・鈴木直人 中部エコテック株式会社・新商品開発課・吉田達宏、荒川 友子、小澤賢人		

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

密閉縦型堆肥化装置で1)生産される堆肥および2)排気ならびに3) 排気処理過程で発生する結露水の処理により総合的な臭気低減を目指し、以下3つの研究内容を実施する。

#### (1) 製品堆肥の臭気低減技術の開発

密閉縦型堆肥化装置では、低水分で均一な堆肥が生産され、かつ、肥料成分が希釈・散逸されにくいことから水稲向け粒状肥料の原料として用いられるなど肥料的価値は高い。一方で、肥料化後でもいわゆる堆肥臭が残存するため、運搬・販売時に臭気が問題になり得る。そこで、本課題では、最終的な製品堆肥の臭気低減を目的として、堆肥化施設から製品化過程における臭気低減システムを構築し、製品堆肥の臭気を低減する技術の開発を目指す。

#### (2) 排気の高脱臭技術の開発

密閉縦型堆肥化装置の排気は、アンモニアの他、低級脂肪酸やメルカプタン類なども含まれる複雑臭であり、悪臭として検知しやすい。本課題では、密閉縦型堆肥化装置排気の高脱臭技術を開発することを目的として、排気中のアンモニアや水蒸気といった脱臭装置の効率を低下させる物質を連続的に除去する前処理技術を開発するとともに、後段に脱臭装置を組み合わせた高度脱臭システムの開発を目指す。具体的な脱臭装置は、特に臭気対策に対する要求が大きな農場を想定し、既存の設備に外付けが容易で物理化

学的に脱臭を行う機械型脱臭装置もしくは、既存の生物脱臭装置を高度化した高度生物脱臭装置である。

### (3) 結露水の高度浄化処理技術の開発

密閉縦型堆肥化装置においては、臭気成分を含む排気の温度の変化により高濃度窒素を含む結露水が生じるが、水処理施設のない場合や水処理施設があっても厳しい窒素規制のため結露水まで対応できない畜産経営ではその処理が課題であった。結露水は有機物濃度が低く、窒素濃度が高いことにより、従来の窒素除去手段では処理コストがかかる。そこで、本課題では処理コストの低いアナモックス反応を主体とする微生物反応によって除去する技術を提案する。

## 2) 研究方法

### (1) 製品堆肥の臭気低減技術の開発

千葉県の実証農場を現地として選定し、製品堆肥の臭気低減技術の開発及び実証を行った。農場における豚ふんの堆肥化方法は、発生した原料（豚ふん）を密閉縦型堆肥化装置（中部エコテック、S60ET）で堆肥化⇒2週間程度の一次貯留⇒肥料工場での1か月程度の二次貯留⇒普通肥料製造であった。貯留過程においては、脱臭および水分調整を目的とした資材（ゼオライト）を混合した。これらの原料について、堆肥性状、アンモニア、硫化水素、メチルメルカプタン、低級脂肪酸、スカトール、トリメチルアミン等の悪臭原因物質濃度を測定した。実証農場の密閉縦型堆肥化装置からの1次発酵堆肥に、通気棒を4本刺して通気する簡易通気装置を用いて2週間間欠通気（348 L/min/本、15分毎間隔で通気ON-OFF）し、1次貯留中の臭気低減を検討した。簡易通気装置の通気量は、流量計（WETMASTER、CE50A22）及び圧力計（FLUKE、922）を用いて測定した。通気処理品及び無処理品について、粒状加工処理を実生産レベル（10 t規模）及び試験機レベル（10 kg規模）にて実施し、堆肥単体及び加工品の臭気評価を実施した。臭気評価は、におい識別装置（SHIMADZU、FF-2020）、GC/MS、においセンサ（新COSMOS、XP-329IIR-LK）、検知管式気体測定器（ガステック、GV-100）を用いて実施し、臭気改善効果の評価と各臭気評価方法の妥当性について検証した。においセンサによる臭気指数相当値は、ガスバックに堆肥200 gおよび無臭空気を4 L入れ、30分間静置後に測定した。

### (2) 排気の高度脱臭技術の開発

排気については、養豚農家23戸に対して、堆肥化装置や脱臭施設の導入効果やコストについてのアンケートを実施した（回答20軒、回答率87%）。密閉縦型堆肥化装置からの臭気を、自動運転化したアンモニア回収装置（岡本製作所、容積：幅0.9 m×奥0.9 m×高1.2 m）及びラグーン処理水を利用したステンレス製の試作スクラバー（幅1.0 m×奥行1.0 m×高1.85 m）で臭気低減化を行った。脱臭装置には、密閉縦型堆肥化装置からの排気全量（7.71 m<sup>3</sup>/min）を導入した。アンモニア回収装置は、リン酸濃度63%溶液を1/2濃度（約32%）に希釈し36 L、水30 L投入し、初期pH=0.93の溶液を41.3 L/minの流量で排気に噴霧して運転した。スクラバーには、農場の好気性ラグーン処理水（2 h毎に2 hの曝気）を39.5 L/minの流量で接触材に散水して運転した。好気性ラグーン処理水は、ラグーンとスクラバーをホースで繋ぎ循環させた（図1）。

生物脱臭装置の高度化に向けて、密閉縦型堆肥化装置からの排気で問題となる硫黄化合物等について、特性の異なる候補資材の吸着能を調査した。硫黄系成分の吸着能が高

いと見込まれた炭化物について、共存臭気成分の影響を調べるとともに、資材単価当たりの硫化水素の除去率が比較的高かった木炭について、オガクズ、活性炭と比較して脱臭性能を評価した(図2)。微生物源としてオガクズ豚ふん堆肥を資材との容積比が1:6(資材:堆肥)となるように混合、加水後に円筒容器(内径7.7cm高さ32cm)に充填した。パーミエーターを用い、一定量の硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチルの混合ガスを毎分0.6Lで下部から送風した。充填物が乾燥しないよう、装置流入前に加湿した。窒素、リンを含む無機塩培地を適宜添加した。経時的に異なる充填高さ(P1~P4:ガス接触時間はP1~P4でそれぞれ14、47、80、113秒)でガスを採取し、硫黄化合物と二酸化炭素をガスクロマトグラフで測定した。

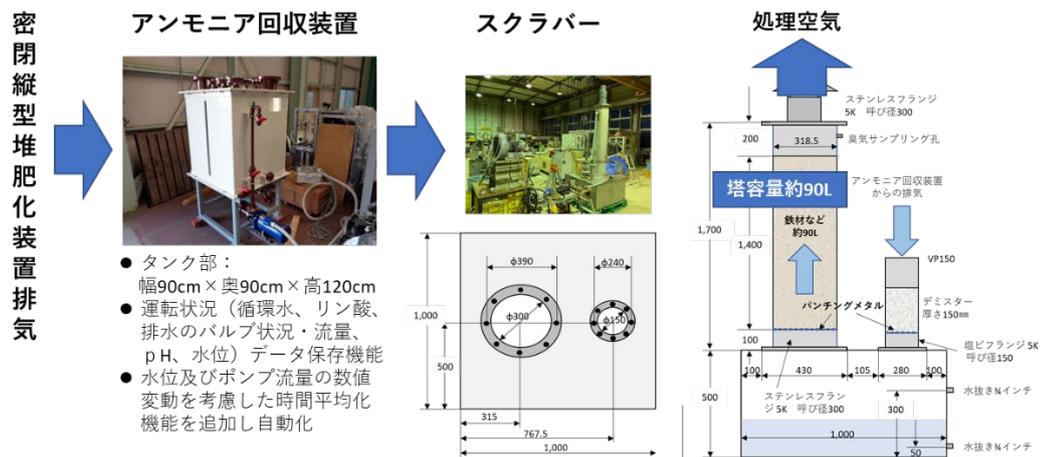


図1 密閉縦型堆肥化装置排気の脱臭システムの概要

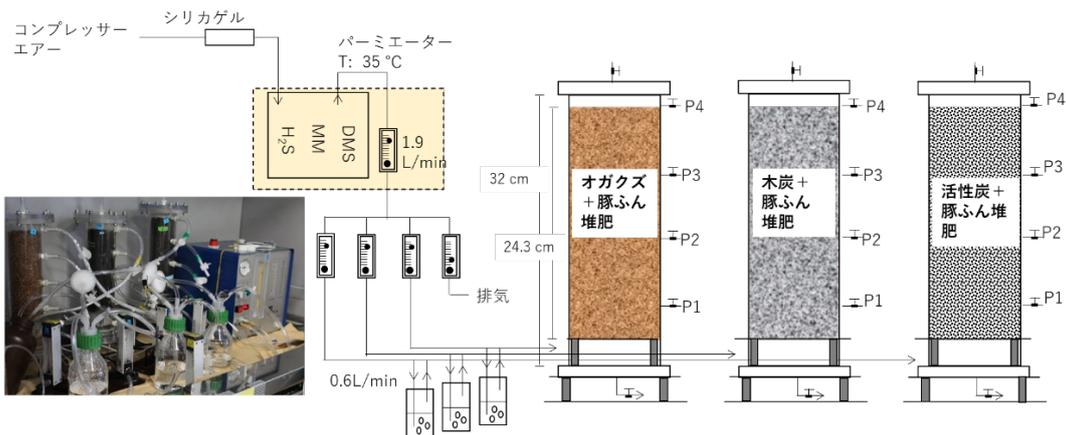


図2 脱臭試験の概要

(H<sub>2</sub>S: 硫化水素、MM: メチルメルカプタン、DMS: 硫化メチル)

### (3) 結露水の高度浄化処理技術の開発

結露水の処理については、結露水の不足ミネラルを補充する手段を検討するため、豚ふん汚水の添加効果を検討した。次いで、アンモニア酸化のための酸素供給を検討した。不織布を用いた有効容積 100mLのアナモックスリアクターについて、合成培地を用いて運転を行った。合成培地は、アナモックスの基質となるアンモニアと亜硝酸を含む状態から、結露水を模倣して、窒素成分はアンモニアのみの状態に移行させた。簡易

な手段での酸素の供給のために、リアクターの上部20%–85%までを水位が変動する状態（水に浸された状態と干された状態が交互に生起する）にして運転を行った。

### 3) 研究結果

#### (1) 製品堆肥の臭気低減技術の開発

千葉県の実証農場における豚ふん、堆肥化直後の堆肥、および一次貯留後の堆肥中の悪臭原因物質濃度および、揮発成分濃度を図3に示した。

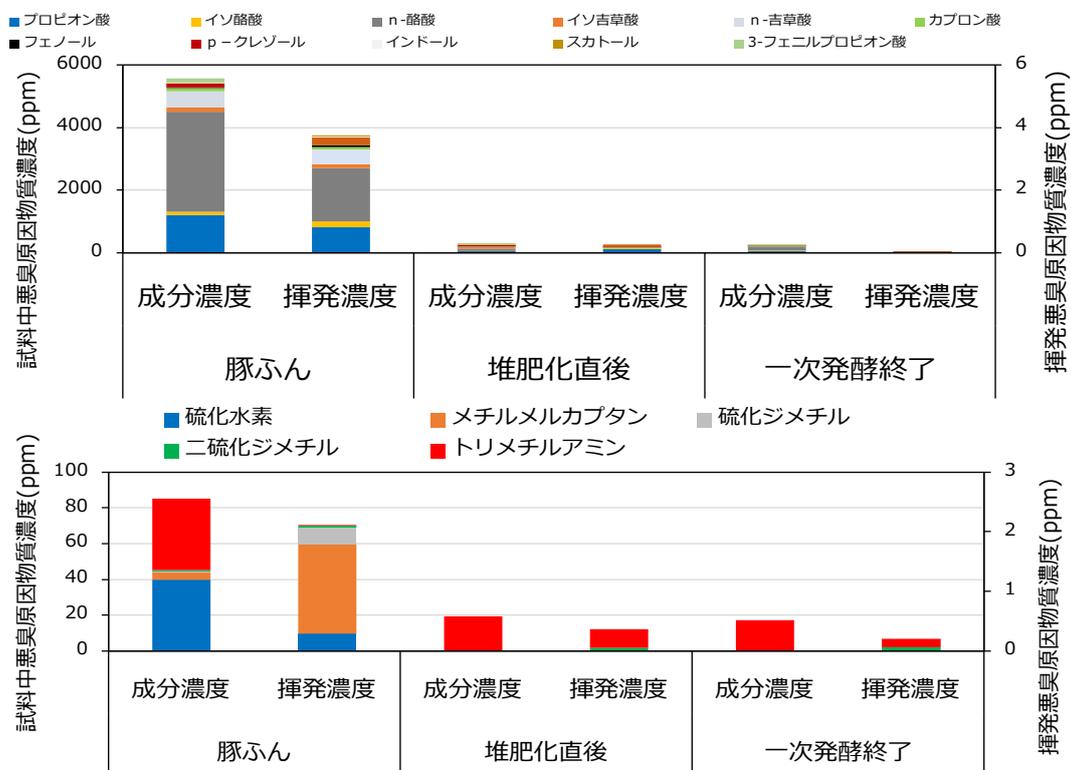


図3 堆肥化・肥料化工程における各悪臭原因物質の変動

上)揮発性脂肪酸等有機性臭気物質、下)硫黄系臭気物質およびトリメチルアミン

豚ふんの悪臭原因物質濃度および揮発物質濃度は、堆肥化处理により大きく低減した。また、豚ふん中のメチルメルカプタンのように、試料中の組成比に比較して揮散程度の大きな物質があることが明らかになった。悪臭原因物質濃度を100(%)とした時の、各処理後の残存率では、一次貯留終了後でもイソ(i)-酪酸、フェノール、スカトール、二硫化ジメチル(二硫化メチルに同じ)、およびトリメチルアミンが20%以上残存することがわかった。

堆肥の臭気測定において、高含水率材料については風乾し含水率を20~30%程度に合わせ、堆肥100g以上のサンプルを2L容のガスバッグに充填することで、安定した臭気測定が可能であることを明らかにした。

密閉縦型堆肥化装置から排出された堆肥の一次貯留中に、堆肥に通気を行う事で含水率とともに臭気が減少することが明らかになった。そこで、通気機構のない貯留エリアで通気を行うため、堆肥に突き刺して通気を行う機構を考案した。通気構造(通気棒)は、φ25、1.5m長のステンレス管で、貯留中の堆肥に4本を突刺すもので、内径15mmの

ホースを用いて配管した。

におい識別装置による製品堆肥の臭気指数相当値を表1に示した。密閉堆肥化装置から排出された堆肥の臭気指数相当値は、従来通気による堆肥の27.8から通気量制御によって21.3まで低減された。また、密閉堆肥化装置から排出された堆肥（臭気指数相当値27.8）は、従来の管理方法では1次貯留槽において嫌気状態となることから、臭気指数相当値が増加し41となった。1次貯留槽において通気を行うことで、発酵促進と乾燥が進み臭気指数相当値はで28.3となった。製品堆肥の臭気指数相当値は、試験区1（約18）が最も低く、1次貯留堆肥（通気なし）の41に対して、55%の臭気低減効果を示した。しかし、この結果は官能的感觉と差異があった。要因として、におい識別装置では硫化水素等酸性臭気の影響が強く、アンモニア、アミン類のアルカリ性臭気の影響度は低いと見られた。このため、ガス検知管、GC/MS分析と共に、官能検査による臭気指数測定を実施した。

表1 おい識別装置による製品堆肥の臭気指数相当値

採取場所	サンプル	臭気指数相当値	指数
密閉縦型堆肥化装置出口	通気制御有堆肥	21.3	52.0
	通気制御無堆肥	27.8	67.8
1次貯留槽	通気あり（処理区）	28.3	69.0
	通気なし（無処理区）	41.0	100.0
千葉工場	処理区をpH調整し粒状化	25.3	61.7
	無処理区をpH調整し粒状化	25.5	62.2
試験区1	処理区を粒状化	18.4	44.9
	無処理区を粒状化	18.0	43.9
試験区2	処理区をpH調整し粒状化	30.2	73.7
	無処理区をpH調整し粒状化	33.9	82.7

1次発酵堆肥（試料1、臭気指数36）は、1次貯留期間に通気を行わない場合、アンモニア、二硫化メチル、インドールが60～88%増加し、臭気指数が42（試料2）と6ポイント増加した。また、1次貯留期間（2週間）に通気を行うことで発酵と乾燥が促進され、硫化水素、ノルマル（n）-吉草酸およびカプロン酸は若干増加したが他の悪臭成分が15～85%減少し、堆肥の臭気指数（試料3）は37と1次発酵堆肥（試料1、臭気指数36）の1ポイント増となった。1次貯留期間の通気によって、堆肥水分が3%程度減少すると共に、スカトール、トリメチルアミンなどの悪臭物質が減少し、臭気が低減化された。

造粒工程におけるpH制御（酸性処理）では、pH制御あり（試料5）の臭気指数36に対して、pH制御無しの製品堆肥（試料4）の臭気指数は39と3ポイント増となった。これは、造粒時のアルカリ添加により、pH制御なしの場合、アンモニア、低級脂肪酸等が著しく発生するためと考察され、pH制御することで製品堆肥の臭気を低減できることがわかった。

密閉縦型堆肥化装置の従来通気・管理方法で堆肥化し造粒した製品堆肥（試料4）の臭気指数39に対して、1次発酵通気制御・1次貯留槽通気あり、pH処理後に造粒した製

品（試料7）の臭気指数は32と、従来の製品堆肥に比較して18%臭気指数を低減することができた。

豚ふん堆肥の臭気に大きく影響する悪臭物質が、スカトール、トリメチルアミン等であることが明らかになった。1次発酵堆肥（試料1）のスカトール濃度14 ppmは、1次発酵通気制御・1次貯留槽通気の発酵促進や乾燥及びpH処理・造粒を行うことで67%低減され、最終的な製品堆肥（試料7）では4.6 ppmとなった。しかし、トリメチルアミンに関しては、一次発酵堆肥（試料1）4.5ppmに対して製品堆肥（試料7）5.1 ppmと、低減することはできなかった。

1次発酵通気制御及び1次貯留槽通気は、堆肥の発酵を促進し一時的に臭気は強くなるが、造粒加工処理後は悪臭成分のポテンシャルが低下し、最終的な熱風乾燥処理により製品臭気は改善されると考察された（表2、図4）。

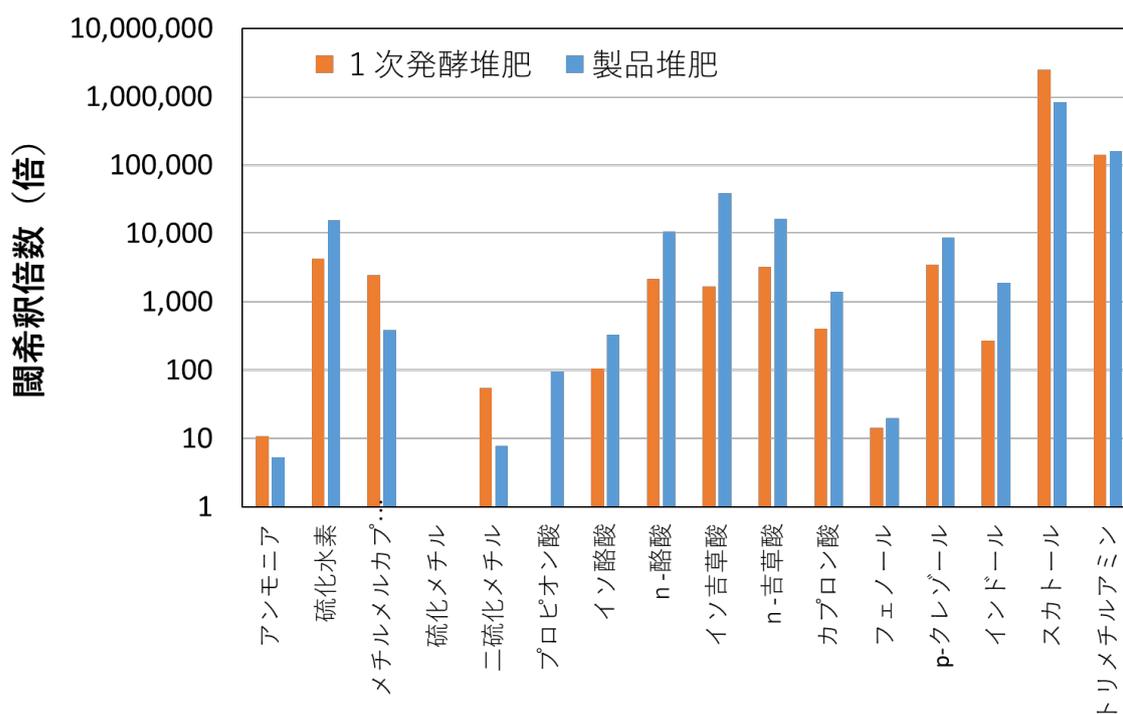


図4 1次発酵堆肥および製品堆肥の悪臭物質濃度と検知閾値濃度の関係

表2 堆肥の臭気指数と悪臭物質濃度

番号		1	2	3	4	5	6	7
1次発酵通気制御		X	X	X	X	X	○(低)	○(低)
1次貯留槽通気処理			X	○	X	X	X	○
造粒 工程	pH処理				X	○	○	○
	造粒				○	○	○	○
臭気指数		36	42	37	39	36	36	32
水分(%)		26.1	28.1	24.7	7.4	7.5	4.7	6.8
pH		8.6	8.7	8.7	7.6	6.1	6.0	6.1
悪臭 物質 濃度 ( ppm )	アンモニア	16	30	20	650	8	9	8
	硫化水素	0.60	0.23	0.34	2.70	2.50	3.00	2.20
	メチルメルカ プタン	0.17	0.072	0.045	0.011	0.01	0.01	0.027
	硫化メチル	0.01未満						
	二硫化メチル	0.12	0.25	0.038	0.018	0.017	0.017	0.017
	プロピオン酸	0.1未満	0.1未満	0.1未満	0.41	3.50	1.20	0.55
	イソ酪酸	0.16	0.1未満	0.1未満	1.20	6.30	1.00	0.49
	n-酪酸	0.41	0.40	0.38	2.90	15.00	1.90	2.00
	イソ吉草酸	0.13	0.06	0.03	7.50	21.00	15.00	3.00
	n-吉草酸	0.12	0.04	0.05	0.51	1.30	0.63	0.61
	カプロン酸	0.24	0.12	0.17	0.71	1.20	0.96	0.83
	フェノール	0.08	0.16	0.07	0.72	0.80	0.26	0.11
	p-クレゾール	0.19	0.16	0.08	0.38	0.51	0.89	0.47
	インドール	0.08	0.13	0.11	0.42	0.29	0.20	0.57
	スカトール	14.0	9.5	5.1	2.7	3.2	3.2	4.6
トリメチルア ミン	4.5	4.5	2.1	5.2	7.0	6.7	5.1	

(2) 排気の高度脱臭技術の開発

養豚農家に対して、堆肥化装置や脱臭施設の導入効果やコストについてのアンケートを実施した結果、密閉縦型堆肥化装置を導入している農家は「発生する臭気」に対して評価が低いことが明らかになった。また、併設している脱臭装置およびその満足度についても調査し、規模の大きい農家では費用対効果を感じにくくなる傾向がみられた。密閉縦型堆肥化装置の排気は、アンモニアの他、低級脂肪酸やメルカプタン類なども含まれる複雑臭であり、悪臭として検知しやすい(表3)。

表3 堆肥化方式別のアンケート調査結果の概要

集計 (件)	初期導入費用	維持費用	耐久性	操作性	臭気の発生	堆肥の出来	発酵時間	作業時間	
									評価
堆積式	▲、×	31.8	50.0	36.4	36.4	68.2	22.7	40.9	45.5
開放式	▲、×	37.1	51.4	34.3	20.0	48.6	22.9	22.9	34.3
密閉式	▲、×	40.9	40.9	45.5	9.1	★50.0	36.4	9.1	9.1

堆積式	割合 (%) ※22件	初期導入費用	維持費用	耐久性	操作性	臭気の発生	堆肥の出来	発酵時間	作業時間
		◎	18.2	13.6	13.6	4.5	4.5	31.8	9.1
○	40.9	36.4	45.5	50.0	22.7	40.9	45.5	40.9	
▲	13.6	36.4	18.2	18.2	50.0	13.6	27.3	27.3	
×	18.2	13.6	18.2	18.2	18.2	9.1	13.6	18.2	
なし	9.1	0	4.5	9.1	4.5	4.5	4.5	4.5	
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	

開放式	割合 (%) ※35件	初期導入費用	維持費用	耐久性	操作性	臭気の発生	堆肥の出来	発酵時間	作業時間
		◎	20.0	20.0	20.0	37.1	20.0	40.0	22.9
○	31.4	28.6	45.7	42.9	31.4	34.3	54.3	34.3	
▲	25.7	25.7	22.9	20.0	37.1	22.9	22.9	34.3	
×	11.4	25.7	11.4	0.0	11.4	0	0	0	
なし	11.4	0	0	0	0	2.9	0	0	
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	

★密閉式	割合 (%) ※22件	初期導入費用	維持費用	耐久性	操作性	臭気の発生	堆肥の出来	発酵時間	作業時間
		◎	4.5	18.2	22.7	31.8	22.7	54.5	59.1
○	50.0	40.9	31.8	59.1	27.3	9.1	31.8	59.1	
▲	36.4	36.4	45.5	9.1	18.2	27.3	9.1	4.5	
×	4.5	4.5	0	0	31.8	9.1	0.0	4.5	
なし	4.5	0	0	0	0	0	0	0	
合計	100	100	100	100	100	100	100	100	

◎	○	▲	×
◎:とても満足	○:やや満足	▲:やや不満	×:不満

密閉縦型堆肥化装置からの排気を、アンモニア回収装置及びスクラバーで臭気の低減化を行った結果を表4に示した。アンモニア回収装置へのリン酸投入では、濃度63%溶液をポンプで投入することができなかったが、1/2濃度(約32%)に希釈することでポンプ投入が可能となった。密閉縦型堆肥化装置からの排気温度は55.8℃、熱回収後のアンモニア回収装置入気温49.2℃、スクラバー通過後の排気温25.5℃であった。堆肥化からの排気中の悪臭成分濃度が、臭気強度3.5相当濃度の何倍か検討した結果、アンモニア(105倍)、メチルメルカプタン(179倍)と、2成分が分析した臭気成分の中では堆肥化臭気に大きく影響していることがわかった。堆肥化装置からの排気中のアンモニア濃度(平均524 ppm)は、アンモニア回収装置処理後平均178 ppm、スクラバー処理後平均26 ppmと、それぞれ有意(P<0.05)に減少した。アンモニア回収装置のアンモニア除去率は、熱回収等の影響で堆肥化排気中のアンモニア濃度が低く推移したため、66%となった。しかし、後段処理のスクラバーにおいてアンモニアが86%除去され、脱臭システム全体での除去率は95%と、目標値の「目標臭気物質濃度を1/10まで低減」を達成した。硫化水素に関しては、アンモニア回収装置入気平均0.12 ppmに対して、スクラバー排気平均

0.35 ppmと、特にラグーン処理水が嫌気状態にある処理水をスクラバーに循環している時に高くなる傾向が見られたが、有意差 (P>0.05) はなかった。また、メチルメルカプタンに関しては、アンモニア回収装置入気平均1.79 ppmに対して、スクラバー排気平均1.78 ppmと有意差 (P>0.05) はなく、ラグーン処理水をスクラバーに循環利用しているために除去効果は見られなかった。他の硫黄化合物の硫化メチル、二硫化ジメチル及び低級脂肪酸 (プロピオン酸、n-酪酸、i-吉草酸) についても有意差 (P>0.05) はなく、除去効果は見られなかった。また、n-吉草酸に関しては、23%程度の除去効果が見られたが、有意差 (P>0.05) は見られなかった。スクラバーに使用したラグーン処理水のアンモニア性窒素は、脱臭処理前448 mg/L (pH=7.7) が脱臭処理後466 mg/L (pH=7.8) と4%程度が増加する傾向が見られた。

表4 密閉縦型堆肥化装置からの臭気低減実証試験結果のまとめ

特定悪臭物質	臭気強度3.5相当濃度 A	測定位置	平均 B	標準偏差	最大	除去率 (%)	臭気強度3.5相当濃度に対する倍数 B/A (倍)
アンモニア (ppm)	5	回収装置入気	524 <sup>a</sup>	264	840	-	104.80
		回収装置排気	178 <sup>b</sup>	60	230	66.0	35.60
		スクラバー排気	26 <sup>c</sup>	1	28	95.1	5.10
硫化水素 (ppm)	0.2	回収装置入気	0.12 <sup>a</sup>	0.14	0.35	-	0.61
		回収装置排気	0.39 <sup>a</sup>	0.57	1.36	-218.1	1.94
		スクラバー排気	3.68 <sup>a</sup>	5.06	11.56	-2915.2	18.42
メチルメルカプタン (ppm)	0.01	回収装置入気	1.79 <sup>a</sup>	1.38	4.15	-	179.00
		回収装置排気	1.57 <sup>a</sup>	1.44	3.86	12.4	156.72
		スクラバー排気	1.42 <sup>a</sup>	1.22	3.20	20.6	142.16
硫化メチル (ppm)	0.2	回収装置入気	0.30 <sup>a</sup>	0.18	0.49	-	1.52
		回収装置排気	0.24 <sup>a</sup>	0.20	0.46	22.4	1.18
		スクラバー排気	0.27 <sup>a</sup>	0.22	0.51	10.1	1.37
二硫化ジメチル (ppm)	0.1	回収装置入気	0.54 <sup>a</sup>	0.20	0.82	-	5.38
		回収装置排気	0.49 <sup>a</sup>	0.34	0.80	9.5	4.87
		スクラバー排気	0.44 <sup>a</sup>	0.31	0.82	18.1	4.40
プロピオン酸 (ppb)	200	回収装置入気	1.50 <sup>a</sup>	2.00	4.65	-	0.01
		回収装置排気	0.95 <sup>a</sup>	1.34	3.20	36.4	0.00
		スクラバー排気	1.06 <sup>a</sup>	1.79	4.12	28.9	0.01
n-酪酸 (ppb)	6	回収装置入気	1.70 <sup>a</sup>	3.07	7.09	-	0.28
		回収装置排気	1.58 <sup>a</sup>	1.92	4.34	6.9	0.26
		スクラバー排気	1.17 <sup>a</sup>	1.93	4.44	31.1	0.20
i-吉草酸 (ppb)	10	回収装置入気	0.22 <sup>a</sup>	0.33	0.79	-	0.02
		回収装置排気	0.20 <sup>a</sup>	0.31	0.73	11.2	0.02
		スクラバー排気	0.13 <sup>a</sup>	0.19	0.40	40.6	0.01
n-吉草酸 (ppb)	4	回収装置入気	0.80 <sup>a</sup>	1.22	2.76	-	0.20
		回収装置排気	0.95 <sup>a</sup>	0.91	1.91	-18.2	0.24
		スクラバー排気	0.61 <sup>a</sup>	0.90	1.98	23.2	0.15

同一特定悪臭物質平均濃度の異なった上付き英文字間に有意差 (P<0.05) あり

炭化物を用いた脱臭試験の結果を図5、6に示した。流入ガス中の各成分の濃度は硫化水素、メチルメルカプタン、硫化メチルでそれぞれ2.0 ppm、0.12 ppm、0.56 ppmであった。ガス接触時間が47秒以上ではいずれの資材でも硫化水素とメチルメルカプタンは

100%除去されたが、14秒ではオガクズの除去性能は低かった（図5）。硫化メチルは、木炭とオガクズの除去率は低く、活性炭は、運転初期は高かったものの、徐々に除去率が低下した。一方、木炭とオガクズでは低い除去率が持続しており、活性炭でも破過後に除去性能が回復した（図6）。いずれの資材でも、二酸化炭素の発生が見られることより、微生物分解が同時に起きて除去が持続したと考えられた。今回の試験では豚ふん堆肥を微生物源として接種したが、微生物の増殖は十分ではないので、炭化物を用いた際の脱臭装置内での微生物活性の変化を調べ、最適運転条件を明らかにする必要がある。

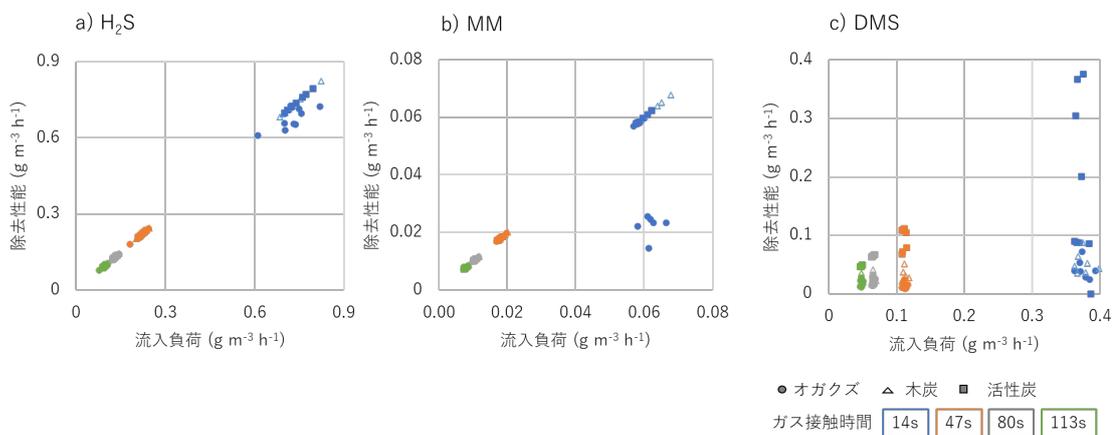


図5 各硫黄化合物の流入負荷と除去性能との関係  
(H<sub>2</sub>S: 硫化水素、MM: メチルメルカプタン、DMS: 硫化メチル)

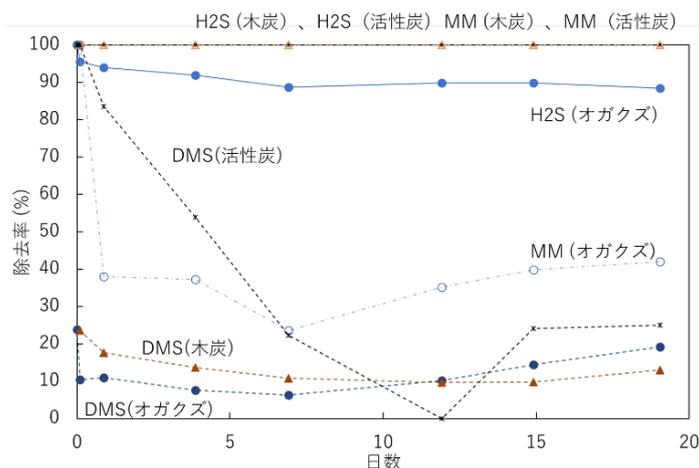


図6 硫黄化合物の脱臭性能の経時変化  
(ガス接触時間14秒。H<sub>2</sub>S: 硫化水素、MM: メチルメルカプタン、DMS: 硫化メチル)

### (3) 結露水の高度浄化処理技術の開発

結露水の組成について、アンモニアが主体であり、アンモニア濃度はアナモックス処理を想定した場合やや高い傾向があること、亜硝酸は完全に不足していること、pHが高すぎること、微量ミネラルが極端に不足すること、等の課題を示した。微量ミネラルを

添加しない培地に、豚ふん汚水を添加してアナモックスリアクターを運転することで、アナモックス菌が増殖する可能性を示した（図7）。結露水中の窒素組成はアンモニアが主体であることから、酸素供給を行い、アンモニア酸化反応を生起させる必要がある。図8に示すように、有効容積 100 mL のリアクターの上部を水位が変動する流れにすることで、簡易に酸素供給が可能となった。流入水中には有機物が含まれないにも関わらず、窒素成分の減少が起こったことから（図9）、水位が変動する運転（干満運転）により、アンモニアが亜硝酸、硝酸まで酸化され、供給されたアンモニアと生成された亜硝酸を消費してアナモックス反応が起こったと考えられた。さらに、固定床型アナモックスリアクターを0.8Lまでスケールアップし、窒素除去率 60% を得る干満条件を明らかにした。

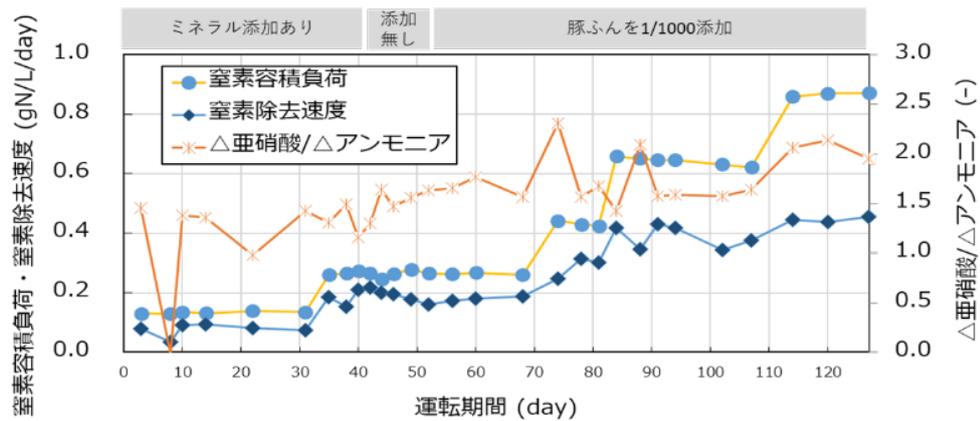


図7 アナモックスリアクターの窒素除去速度と亜硝酸・アンモニアの減少比の変化  
 ミネラル：アナモックス培地用微量ミネラル、豚ふん：豚ふん汚水（添加後BOD 30 mg/L 相当）  
 $\Delta$ 亜硝酸/ $\Delta$ アンモニア：亜硝酸とアンモニアの減少比

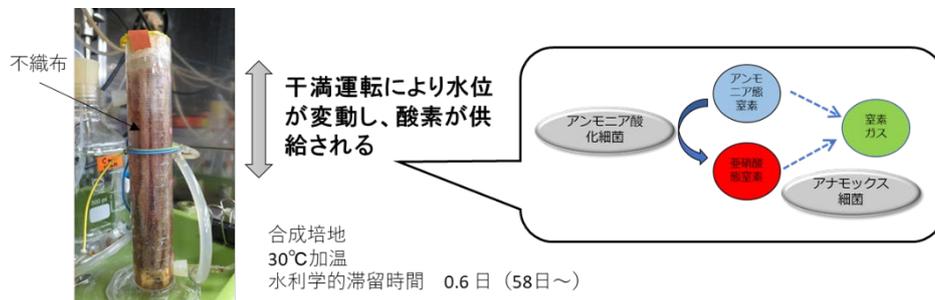


図8 アナモックスリアクター写真

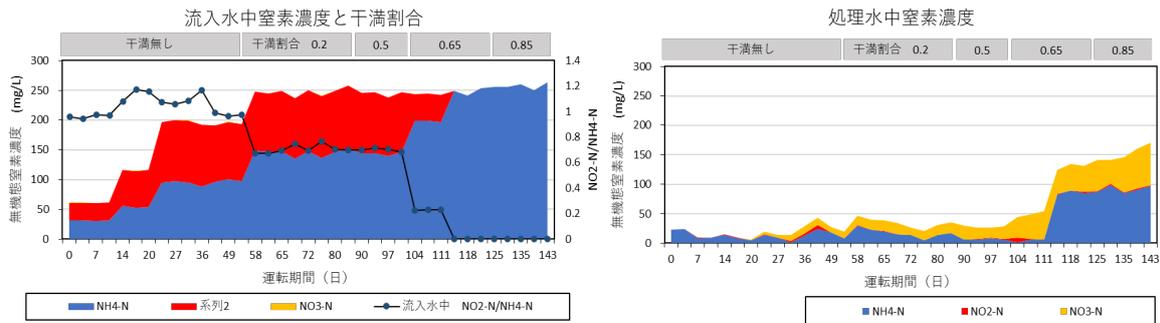


図9 流入水中窒素濃度、亜硝酸/アンモニア比（左図）および、処理水中窒素濃度（右図）

#### 4) 成果活用における留意点

密閉縦型堆肥化装置を用いた豚ふんの堆肥化に係る成果であり、悪臭物質濃度、脱臭効率等は材料や堆肥化方法、通気量等によって変動する。

スクラバーによる臭気低減化の脱臭効率は、散布する溶液の性状によって変動する。

結露水のアナモックス処理については、合成培地を用いたラボ試験の結果であることに留意する必要がある。

#### 5) 今後の課題

アンモニア回収装置の自動運転に関しては、中長期的な運転を行い検討する必要がある。

アンモニア回収装置、スクラバーによる堆肥化臭気の低減化では、硫黄化合物などの除去効率を向上させる必要がある。また、炭化物を用いた脱臭装置の必要規模の算定、メンテナンス方法を確立するためには、最適運転条件を実験室規模で確認するとともに現地実証試験を行う必要がある。

結露水のアナモックス処理については、実際の結露水を用いた長期間の試験を行い、性能を確認する必要がある。

実行課題番号	2 - (5)	実行課題 研究期間	平成30～令和4年 度
小課題名	2 畜舎およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発		
実行課題名	(5) 生物脱臭装置の窒素除去能向上技術の開発と実用化についての検討		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・福本 泰之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	石川県農林総合研究センター畜産試験場・技術開発部・内 尾 陽子、上田泰明、塩谷佑衣		
共同研究機関・研究室・研究者 名等			

## II. 小課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

密閉縦型堆肥化装置のような高濃度ではないが、堆積型堆肥化や強制通気型堆肥化時に発生するアンモニアを主体とし生物脱臭のみでも対応可能なガスを対象に、脱臭性能を劣化させる原因となる脱臭槽内への窒素の蓄積を、脱窒反応等を活用して回避する生物脱臭装置の開発を目的とする。

### 2) 研究方法

#### ①ロックウールに代わる安価な資材の検討

生物脱臭装置に用いる脱臭資材として、一般的に使用されているロックウールと、地域で容易に入手可能な代替資材候補である「もみ殻」「カキ殻」及び「竹」（竹は2～3cmのチップ状とした）のアンモニア除去能力について比較した。

小規模の堆肥化試験装置及び脱臭槽を利用して試験を行った。堆肥化試験装置に豚ふんを充填し、堆肥化過程で発生するアンモニアを送風機で脱臭槽に送り込み、脱臭前後のアンモニア濃度を測定することで、アンモニアの除去率を測定した。脱窒能を見るため、脱臭槽中のガスを採取し、 $N_2O$ を測定した。また、脱臭資材及び脱臭資材に散水する循環水（脱窒用硫黄資材である固形のバチルエースを添加したもの）を定期的にサンプリングし、アンモニア態窒素濃度、硝酸亜硝酸態窒素濃度、pH等を調べることにより、アンモニア除去による脱臭資材及び循環水の性状変化について調査した。

#### ②脱窒が効率よく行われる条件の検討

①で比較した各資材のうち、循環水中の無機態窒素が最も少なかった「竹」を脱臭資材として選定し、アンモニアの硝化脱窒が効率よく行われる条件（散水頻度、散水量等）について検討した。

堆肥化装置を用い、豚ふんを堆肥化した時の臭気をブロワで脱臭装置に送り込み、脱臭率等を調査した。試験装置は、堆肥化装置(1 m<sup>3</sup>)に豚ふんとオガクズを充填し、週1回程度切り返し、月1程度で交換した。30L/minのブロワで脱臭槽に臭気を送風した。脱臭槽は200Lタンクに竹チップを充填し、20Lの循環水槽から、循環水を定期的(試験区別)に散水した。

試験区は、Ⅰ区：散水無し、Ⅱ区：1日2回(1回12分)程度、Ⅲ区：1日12回(1回2分)程度、Ⅳ区：1日24回(1回1分)程度とし、合計散水量が1日40L程度となるよう調整した。脱臭資材に散水する循環水を定期的にサンプリングし、アンモニア態窒素濃度、硝酸亜硝酸態窒素濃度、pH等を調べることにより、アンモニア除去による脱臭資材及び循環水の性状変化について調査した。

### ③硫黄資材添加量の検討

竹チップ脱臭装置の更なる窒素の低減効果を狙い、循環水に添加する硫黄資材(バチルエース)の添加量について検討した。

小型堆肥化装置を用い、豚ふんを堆肥化した時の臭気を、竹チップを充填した脱臭装置にブロワで送り込み、脱臭率等を調査した。堆肥は週1回程度切り返しを行い、4週間ごとに交換した。竹チップ脱臭槽には10L容量のポリバケツを用い、竹チップを充填し、循環水を定期的に散水した。循環水量は3Lとし、試験開始時に循環水中に硫黄資材を添加した。試験区は、Ⅰ区：硫黄添加無し、Ⅱ区：1kg添加、Ⅲ区：2kg添加、Ⅳ区：3kg添加とした。

脱臭槽通過前後のアンモニア濃度を測定、また、脱臭資材に散水する循環水を定期的にサンプリングし、アンモニア態窒素濃度、硝酸亜硝酸態窒素濃度、pH等を調べることにより、アンモニア除去による脱臭資材及び循環水の性状変化について調査した。

## 3) 研究結果

### ①ロックウールに代わる安価な資材の検討

生物脱臭装置に用いる脱臭資材については、一般的に利用されているロックウール以外に「もみ殻」「カキ殻」「竹」のアンモニア除去能力を確認し、いずれもロックウールと同等の高い効果が得られた。脱臭前のアンモニア濃度は最高1,600ppmとなったが、脱臭後の濃度は最も高かったもみ殻が22ppm、竹が8ppm、次いでカキ殻が5ppm、ロックウールが1ppmであり、いずれも9割以上が除去できた。循環水中の硝酸態窒素濃度について、カキ殻で他資材よりも高く推移し、硝化が行われやすい資材であると考えられた。またN<sub>2</sub>O測定の結果、循環水中の硝酸態窒素濃度が高いとき、竹資材からN<sub>2</sub>Oの発生が認められたため、脱窒が行われているものと推察された。

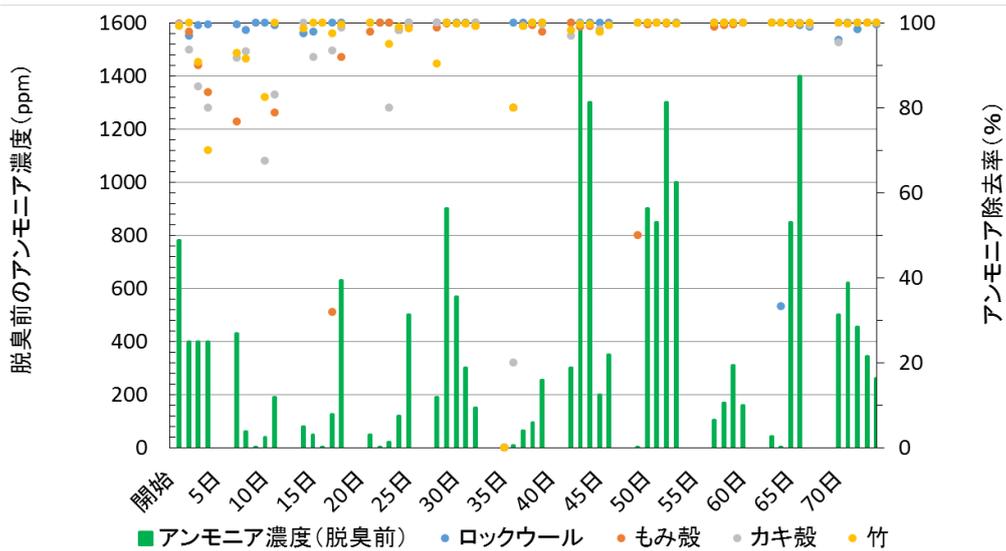


図1 各資材のアンモニア除去率

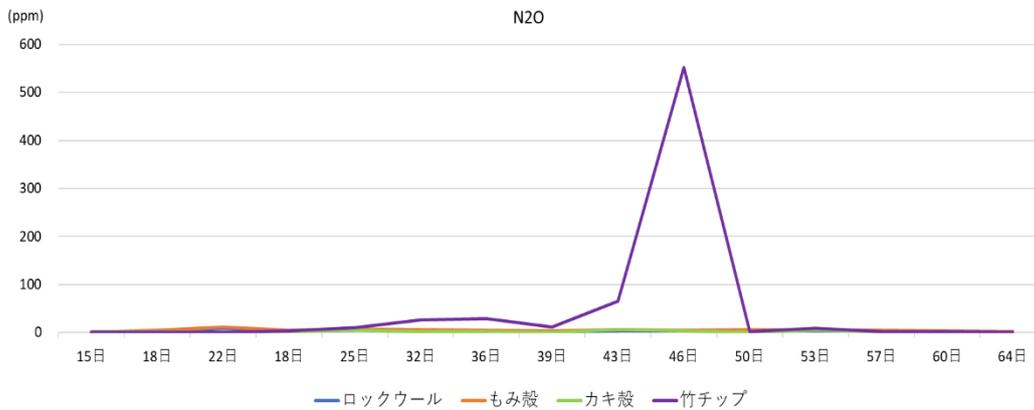


図2 脱臭槽からのN<sub>2</sub>Oの発生

## ②脱窒が効率よく行われる条件の検討

各条件のアンモニア除去率（図3）では、Ⅲ区、Ⅳ区では19日目以降に8割以上が安定的に除去された。これは19日目までは吸着による物理的脱臭、以降は生物脱臭が稼働したと考えられる。また、200ppmを超える高濃度のアンモニアについても散水したⅡ～Ⅲ区ではアンモニアの除去が可能だった。Ⅱ～Ⅳ区では、気温が10度を下回る冬季においても除去率は低下しなかったことから、竹チップ脱臭槽は冬季でも脱臭可能であると考えられる

循環水中の無機態窒素（図4）においては、アンモニア態窒素、硝酸・亜硝酸態窒素ともに、85日目までは安定的に低濃度で推移した。以降の上昇については、経過日数、もしくは気温の低下に伴う機能低下と考えられるが、今後も検討が必要である。85日目以降はⅣ区の増加率が比較的緩やかだったことから、散水頻度の多いⅣ区が硝化・脱窒が行われやすい条件である可能性があった。

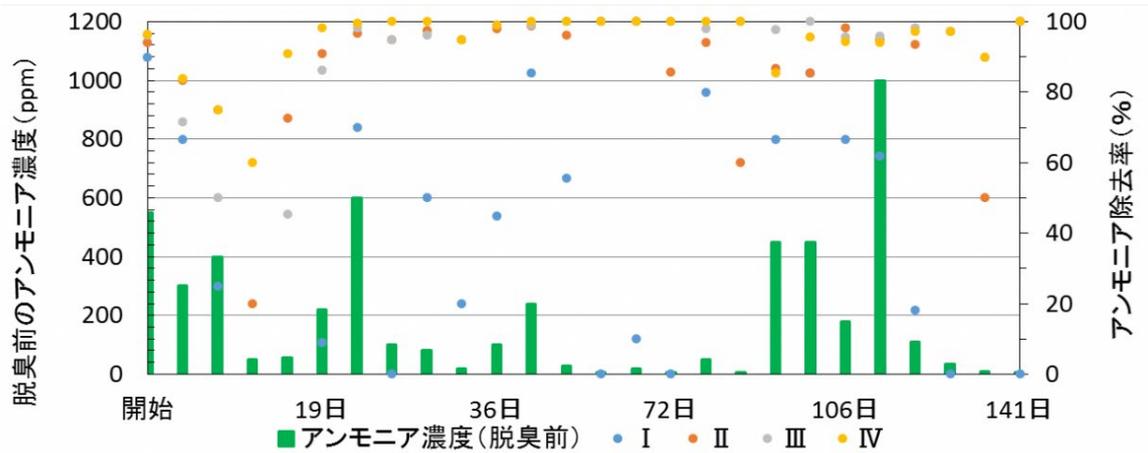


図3 各試験区のアンモニア除去率

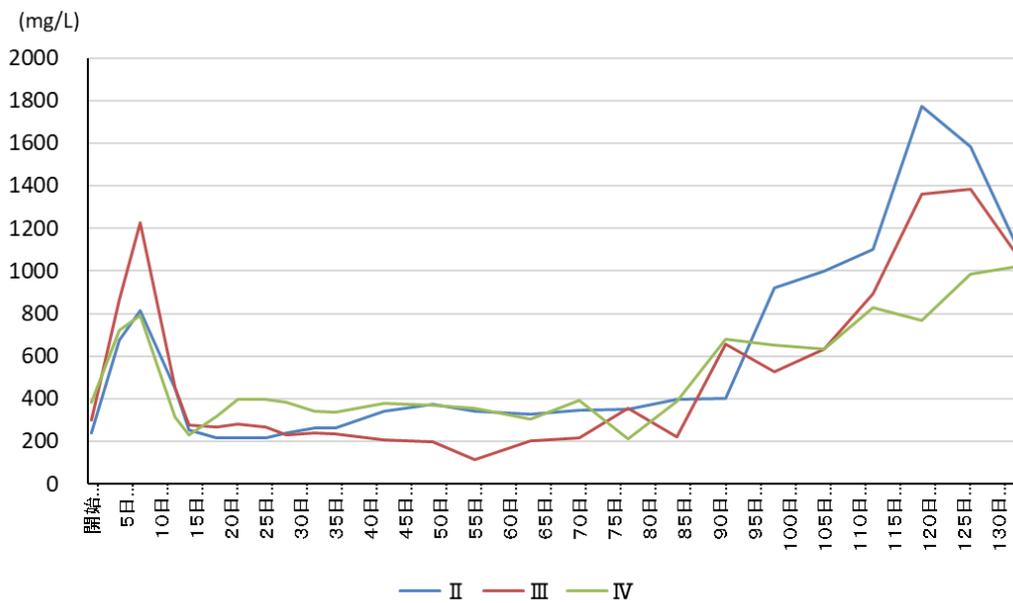


図4 各試験区のアンモニア態窒素濃度の推移

### ③硫黄資材添加量の検討

アンモニアの除去率は、全ての試験区で試験期間を通じて9割以上のアンモニアが安定的に除去された。

循環水中の全窒素濃度については、硫黄資材を添加していないI区では徐々に増加したのに対し、硫黄資材を添加したII～IV区では、ゆるやかに増加した(図5)。循環水中の無機態窒素濃度についても、同様の傾向であった。特にII区では、試験開始から15日目以降は全窒素濃度がほぼ一定の値で推移していたため、最も硫黄脱窒に効果的な添加量と考えられる。II区では、硫黄資材を添加しないI区に対して循環水中の全窒素量を約7割削減できた。

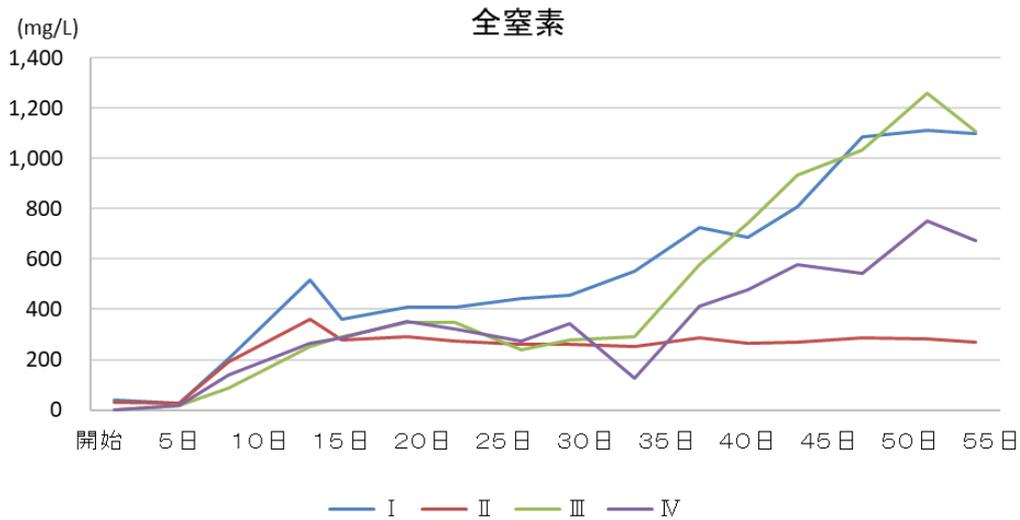


図5 各試験区の全窒素濃度の推移

#### 4) 成果活用における留意点

脱臭資材に用いる竹チップについては、硝化細菌が存在しない場合があるため、脱臭資材として用いる際には事前に活性汚泥や堆肥を添加し、硝化細菌を定着させることを推奨する。

#### 5) 今後の課題

長期利用が可能な条件について引き続き調査し、実用化に向けた脱臭装置の設計を行うとともに、安定的にアンモニア除去できるよう検討を行い実証する必要がある。

実行課題番号	2 - (6)	実行課題 研究期間	平成30～ 令和4年度
小課題名	2 畜産およびふん尿処理過程における臭気対策技術の開発		
実行課題名	(5) 流体カーテンによる堆肥化繰り返し時の悪臭拡散制御技術の開発		
小課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	農研機構畜産研究部門・スマート畜産施設グループ・福本 泰之		
実行課題 代表研究機関・研究室・研究者 名	宇都宮大学農学部・農業環境工学科・菱沼竜男		
共同研究機関・研究室・研究者 名等			

## II. 実行課題ごとの研究目的等

### 1) 研究目的

堆肥舎での繰り返し時に発生する悪臭低減のために、堆肥舎フレームに簡便に装着できる噴霧ユニットを作成し、堆肥繰り返し時に流体カーテンを稼働するシステムを開発する。本システムにより、堆肥舎での繰り返し作業に伴うエアロゾルの拡散抑制を90%以上、敷地境界の臭気強度を3.0以下にすることを目標とする。

### 2) 研究方法

噴霧ユニットは、これまでの研究プロジェクトで作成した流体カーテンシステムでの噴霧ユニットの構造や試験結果、スプレーノズルの寸法図、関係メーカーへの聞き取りなどから得た情報を基に試作した。作成した噴霧ユニットは養豚農家の堆肥舎に設置する。

対象とした堆肥舎は、栃木県にあるA養豚農家の堆肥舎とした。A養豚農家は母豚80頭の経営規模であり、ふんともみ殻と混合して月1度程度の繰り返し作業で堆肥化処理を行っている。堆肥舎は、南と北で向かい合う位置に6mほど隔てて2棟あり、1棟に2つの区画（高さ4.0×幅9.0×奥行7.0m）があった。北側の堆肥舎（2区画）が繰り返し作業用であり、南側の堆肥舎（2区画）はできあがり堆肥と水分調整用のもみ殻の保管区画であった。堆肥の繰り返し作業は同一区画内で行われていた。また、堆肥舎の側壁の高さは地面から2m程度であった。

流体カーテンシステムの運転によるエアロゾルおよび臭気の高減効果の確認試験は、堆肥舎の区画①または②での繰り返し作業を対象とした（図1左）。堆肥の繰り返し作業時に流体カーテンシステムを運転して堆肥舎入口（堆肥舎内）、堆肥舎正面から5m地点（堆肥舎前）および堆肥舎東側の道路と敷地の境界（敷地境界）を測定点として、エアロゾル質量濃度、エアロゾル個数濃度、アンモニア濃度、臭気レベル（ただし、臭気レベルは臭気指数相当値に換算した）を計測した。また、堆肥舎周辺の臭気について、定点でのガス

サンプリングを行い、臭気レベルを計測した（図1右）。

### 3) 研究結果

流体カーテンシステムの噴霧ユニットを試作し、噴霧ユニットとポンプを組み合わせた流体カーテンシステムを養豚農家の堆肥舎に設置した（図2）。

流体カーテンシステムによる悪臭低減効果の確認試験から、流体カーテンシステム利用によって臭気指数相当値は、堆肥舎内よりも堆肥舎前で低くなり、敷地境界では16 - 17まで低減することが確認できた（図3）。アンモニア濃度は、堆肥舎外で2.5 - 3.0 ppmであり、敷地境界では0.0 - 2.0 ppmと低下した。エアロゾル個数濃度は、堆肥舎内に比べて堆肥舎外で55 - 92%の減少しており、粒径の大きいエアロゾルで減少率が高かった。エアロゾル質量濃度（PM10）は、堆肥舎内に比べて28%低下した。ただし、切り返し時の風況によっては、堆肥舎から一定距離だけ離れた地点での臭気指数相当値は敷地境界と同程度であった。これは、各観測点での臭気の質として堆肥臭ではなく豚舎臭を感じていた臭気パネラーが多かった（5名中4名）ことから、敷地内にある豚舎からの臭気が影響したと考えられた。

### 4) 成果活用における留意点

堆肥切り返し時の流体カーテン利用は臭気低減に効果を示したが、風況によっては噴霧が流されてしまうケースがあったことから、風向・風速を確認しながら切返しのタイミングを検討して流体カーテン利用するなどの対応が必要である。

### 5) 今後の課題

噴霧する水溶液や堆肥舎への噴霧ユニットの設置箇所によって、風の影響を抑えた悪臭低減効果が期待できる可能性があることから、噴霧資材や効果的なユニット配置の検討が今後の課題である。

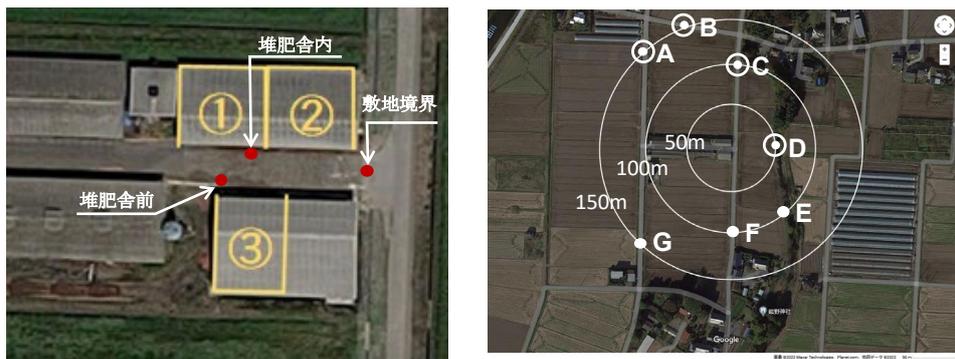


図1 実証農家の堆肥舎の配置と堆肥舎周辺の計測位置



図2 流体カーテンシステムの設置と噴霧制御システムの構築  
(流体カーテンシステムを設置後に悪臭拡散防止のためのベニヤ板を設置した)

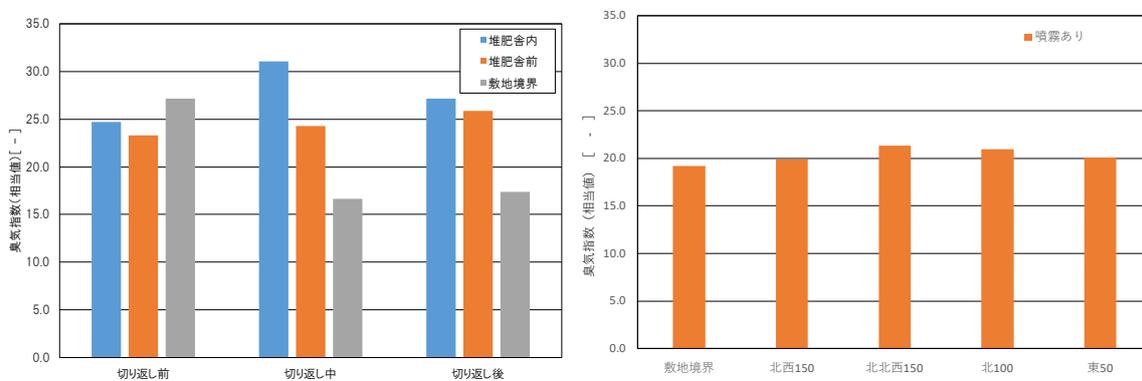


図3 流体カーテンを利用による試験結果 (臭気レベル) の概要

### Ⅲ 研究成果一覧【公表可】

課題番号 1.8E+07

中課題名 総合的な悪臭低減、臭気拡散防止技術の開発

#### 成果等の集計数

課題番号	学術論文		学会等発表(口頭またはポスター)		出版図書	国内特許権等		国際特許権等		PCT	報道件数	普及しうる成果	発表会の主催(シンポジウム・セミナー)	アウトリーチ活動
	和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得					
18065025	1	2	10	0	0	0	0	0	0	0	2	1	1	12

注1)「学術論文」や「学会等発表」等の件数は直接本事業の成果を含むものに限定してカウントすること。

注2)特許権等のカウントは直接本事業の研究成果によるものに限定すること。

注3)特許権等について、出願公開前で知財マネジメント上、公表することが望ましくない場合に限り、「非公表」の様式に計上し記入すること。

(以下、(1)～(9)に上記集計表の明細を記載する。)

#### (1)学術論文

区分:①原著論文、②その他論文

整理番号	区分	タイトル	著者	機関名	掲載誌	掲載論文のDOI	発行年	発行月	巻(号)	掲載ページ
1	①	堆肥化とメタン発酵の複合処理を想定した半固形状乳牛ふん尿の固液分離による堆肥化	古橋賢一、田中章浩、黒田和孝、福重直輝	東京大学、中央農研、九沖農研	農業施設		2020	4	51(2)	21-29
2	①	Effects of thiosulfate addition on ammonia and nitrogen removal in biofilter packed with Oyaishi (pumice tuff)	Yasuda I., Fukumoto Y, Waki M, Matsumoto T.	農研機構	Animal Science Journal	DOI:10.1111/asj.13313	2020		91(1)	e13313
3	①	Effect of waste cooking oil addition on ammonia emissions during the composting of dairy cattle manure.	Kuroda k. <sup>1</sup> , Tanaka A. <sup>1</sup> , Furuhashi K. <sup>2</sup> , Fukuju N. <sup>1</sup>	1. NARO, 2. Univ. of Tokyo	Animal Bioscience	<a href="https://doi.org/10.5713/ab.21.0343">https://doi.org/10.5713/ab.21.0343</a>	2022	7	35(7)	1100-1108

注1)和文、欧文の順で記載。発行年は発行年月(西暦年以下同じ)とする。

注2)区分①の原著論文(受理されたものに限る)は、謝辞等に本事業予算の支援を受けたことが明記されていること。また、論文は直接本事業の成果を掲載したものに限定して記載すること。

注3)「機関名」は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

注4)論文のDOI(Digital Object Identifier)を登録している場合は、そのDOIを記載する。登録がない場合は「なし」と記載する。

#### (2)学会等発表(口頭またはポスター)

整理番号	タイトル	発表者名	機関名	学会等名	発行年	発行月
1	堆肥化処理から発生する臭気を臭気指数16以下に低減する高度堆肥脱臭システム	田中章浩・古橋賢一・黒田和孝	農研機構中央農業研究センター、農研機構九州沖縄農業研究センター	2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会	2019	9
2	堆肥化・メタン発酵の複合処理システムを活用した乳牛ふん尿の堆肥化処理過程における臭気発生の抑制	古橋賢一・田中章浩・黒田和孝・福重直輝	農研機構九州沖縄農業研究センター、農研機構中央農業研究センター	2019年農業食料工学会・農業施設学会・国際農業工学会第6部会合同国際大会	2019	9

3	畜産農場から離れた場所における臭気モニタリング手法の検討	高柳晃治	栃木県畜産酪農研究センター	日本畜産学会第126回大会	2019	9
4	密閉縦型堆肥化装置で処理された豚ふんの堆肥化および肥料調製過程における臭気成分の変動	小島陽一郎 <sup>1</sup> ・松岡英紀 <sup>2</sup> ・浅野智孝 <sup>2</sup> ・見城貴志 <sup>2</sup> ・中久保亮 <sup>1</sup> ・石田三佳 <sup>1</sup>	1農研機構 2朝日工業	日本畜産学会第126回大会	2019	9
5	農場の臭気を見える化した臭気マップの利用	黒柳悟・瀧澤秀明・星野佑太・三輪恒介・高橋比呂・安藤貴洋・早川ひかり・青木直行・森下忠・石代正義	愛知県農業総合試験場、愛知県知多農林水産事務所、半田市酪農組合	令和2年度東海畜産学会	2020	12
6	異なる処理を施した牛ふん尿由来メタン発酵消化液の臭気指数評価	古橋賢一 <sup>1</sup> 、田中章浩 <sup>2</sup> 、黒田和孝 <sup>2</sup> 、福重直輝 <sup>2</sup> 、長谷川文生 <sup>1</sup> 、海津裕 <sup>1</sup> 、芋生憲司 <sup>1</sup>	1. 農研機構, 2. 東京大学	第79回農業食料工学会年次大会	2021	9
7	異なる担体を用いた固定床型アナモックスリアクターの性能比較	和木美代子 安田知子 福本泰之	農研機構畜産研究部門	第17回人工湿地ワークショップ	2022	9
8	車両搭載型のポンプ式消化液散布装置	田中章浩・古橋賢一	農研機構九州沖縄農業研究センター、東京大学	農業食料工学会年次大会	2022	9
9	アンモニア濃度を指標とした畜舎換気制御システムの開発	中久保亮, 石田三佳, 竹田謙一, 羽多野司, 恩田幸司, 山根京平, 樋本清一	農研機構、信州大学、中嶋製作所	2022年度農業施設学会大会	2022	9
10	段階的消点灯がブロイラーの行動と生産性に与える影響	竹田謙一、橋本明生菜、羽多野司、恩田幸司、山根京平、樋本清一、中久保亮	信州大学、中嶋製作所、農研機構	日本畜産学会第130回大会	2022	9

注1)「機関名」は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

(3) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌(学術論文に記載したものを除く、重複記載をしない。)、③年報、④広報誌、⑤その他

整理番号	区分	著書名(タイトル)	著者名	機関名	出版社	発行年	発行月
1		該当無し					

注1) 機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

注2) 複数機関ある場合は著者名の順番と合わせる。

(4) 国内特許権等

区分: ①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日
1		該当なし						

注1) 複数の機関による共同出願の場合は、主となる出願人の下に行を追加し、共同出願人の情報を記載する。

(5) 国際特許権等

区分: ①育成者権、②特許権、③実用新案権、④意匠権、⑤回路配置利用権

整理番号	区分	特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	機関名	出願番号	出願年月日	取得年月日	出願国
1		該当なし							

注1) 複数の機関による共同出願の場合は、主となる出願人の下に行を追加し、共同出願人の情報を記載する。

注2) 特許協力条約(PCT: Patent Cooperation Treaty)に基づく出願の場合は、出願国に「PCT」と記載し、当該様式冒頭の「成果等の集計数」欄には1件として記載する。

## (6) 報道等

区分: ①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映、④その他

整理番号	区分	記事等の名称	機関名	掲載紙・放送社名等	掲載年月日	備考
1	②	臭気マップで農場の臭気を見える化	愛知県農業総合試験場	日本農業新聞	2021/4/23	
2	④	高度堆肥脱臭による堆肥化臭気低減と回収窒素成分を利用した有機質肥料の開発	九州沖縄農業研究センター	NARO RESEARCH PRIZE SPECIAL III	2021/12/15	<a href="https://desknets.cs.naro.go.jp/cgi-bin/dneo/zinfo.cgi?cmd=infoindex&amp;log=on#fid=1&amp;cmd=inforefer&amp;id=68794">https://desknets.cs.naro.go.jp/cgi-bin/dneo/zinfo.cgi?cmd=infoindex&amp;log=on#fid=1&amp;cmd=inforefer&amp;id=68794</a>

注1)「機関名」は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

注2)「掲載誌、放送社名等」には同様の記事が複数社で報道された場合は全ての社名を記載する。

注3)Web上に掲載している場合は、「備考」にURL等を記載すること。

## (7) 普及に移しうる成果

区分: ①普及に移されたもの・製品化して普及できるもの、②普及のめどがたったもの、製品化して普及のめどがたったもの、③主要成果として外部評価を受けたもの(複数選択可)

整理番号	区分	成果の名称	機関名	普及(製品化)年月		主な利用場面	普及状況
1	②、③	堆肥化処理から発生する臭気を臭気指数16以下に低減する高度堆肥脱臭システム	農研機構九州沖縄農業研究センター	2019	3	畜産農家、堆肥生産者、普及指導機関	熊本地域で1件導入済み、鹿児島地域で導入予定

注1)機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

## (8) 発表会の主催(シンポジウム・セミナー等)の状況

整理番号	発表会の名称	機関名	開催場所	年月日	参加者数	備考
1	畜産農業における悪臭対策～最新の技術開発動向と現場での優良対策事例 第62回大気環境学会年会臭気環境分科会	農研機構畜産研究部門	WEB開催	2021/9/14	100	

注1) 機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

注2) 概要等をWeb上に掲載している場合は、「備考」にURL等を記載すること。

## (9) アウトリーチ活動の状況

区分: ①一般市民向けのシンポジウム・講演会及び公開講座・サイエンスカフェ等、②展示会及びフェアへの出展・大学及び研究所等の一般公開への参画、③その他(子供向け)

整理番号	区分	アウトリーチ活動	機関名	開催場所	年月日	参加者数	主な参加者	備考
1	②	バイオマスエキスポ2019春	農研機構中大農業研究センター、農研機構九州沖縄農業研究センター	東京ビックサイト	2019/6/5~7	500	農家、会社員、学生、行政等	
2	②	バイオマスエキスポ2019秋	農研機構九州沖縄農業研究センター	東京ビックサイト	2019/11/20~22	500	農家、会社員、学生、行政等	
3	③	畜産臭気低減対策業務に関する勉強会	栃木県畜産酪農研究センター	茨城県畜産センター	2019/5/15	13	茨城県職員	
4	③	畜産環境に関する先進地視察研修	栃木県畜産酪農研究センター	栃木県畜産酪農研究センター	2019/6/12	3	宮崎県職員、川南町職員	
5	①	「令和元年度高知県臭気対策勉強会」講演	栃木県畜産酪農研究センター	JAF高知茶田町営農経済センター	2019/9/10	20	畜産農家、関係団体職員、市町職員、県職員	
6	①	「令和元年度養豚経営セミナー」講演	栃木県畜産酪農研究センター	千葉県旭市「黄鶴」	2019/10/11	40	畜産農家、関係団体職員、市町職員、県職員	
7	①	やまびこ会での講演「密閉縦型堆肥化装置で産出される熱や肥料成分の有効利用」	農研機構	秋保温泉岩沼屋	2019/11/13	15	畜産資材メーカー	
8	③	「畜産臭気低減対策に係る視察研修」講演	栃木県畜産酪農研究センター	栃木県畜産酪農研究センター	2019/12/18	3	千葉県職員、千葉県旭市職員	
9	①	「県内における畜産臭気低減対策の取り組みについて」講演	栃木県畜産酪農研究センター	栃木県庁 北別館	2020/2/7	40	畜産農家、関係団体職員、市町職員、県職員	
10	①	「臭気マップを活用した畜産臭気低減対策」講演	栃木県畜産酪農研究センター	群馬県農協ビル	2020/2/14	100	畜産農家、関係団体職員、市町職員、県職員	
11	①	「宝飯豊橋養豚青年研究会研修会」講演	愛知県農業総合試験場	東三河総合庁舎	2022/8/8	22	畜産農家、関係団体職員、県職員、畜産関連企業	
12	①	「農業者生涯教育研修、養牛に関する実用化技術研究会(共催)」講演	愛知県農業総合試験場	愛知県立農業大学校	2022/10/17	39	畜産農家、関係団体職員、県職員、市職員、農大学生	
13	①	第30回石川県畜産技術研究会	香川県農業総合試験センター畜産試験場	石川県庁 直江庁舎	2023/3/3	20	県職員、大学生	

注1) 機関名は当該成果に関与した代表・共同機関名を記載する。

注2) 概要等をWeb上に掲載している場合は、「備考」にURL等を記載すること。