

令和4年3月31日

安全な農畜水産物安定供給のための包括的レギュラトリーサイエンス研究推進
委託事業のうち短期課題解決型研究
研究成果報告書

課題番号：21454598

畜産物を探知するためのにおいセンサーの評価

研究期間：令和3年度（1年間）

研究総括者名：永野 武史

試験研究機関名：凸版印刷株式会社 情報コミュニケーション事業本部

<別紙様式3>最終年度報告書

1 研究目的

現在、家畜伝染病対策は大きな課題となっている。その発生予防対策として、原因となりうる畜産物等の国内持ち込みに対する水際対策は重要な施策となる。一方で、その水際対策については、家畜防疫官や動植物検疫探知犬による検知となるが、経験等に左右されるとともに、その経験の育成に非常に大きな時間と労力を要する。今後の水際対策における現場の負荷及びその担当官、動植物検疫探知犬の育成の負荷を軽減及び安定した検査方法の一つとして、においセンサーの可能性を示すことを目指す。本研究は、肉製品に対するにおいセンサーの反応度を明確化し、包装状態などの各種環境における有効性を示すとともに、AIによる判別検証により、畜産物輸入等の対策に必要となるにおいセンサー活用の要件を活用知見として得ることを目標とする。

このため、本研究では、

1. 対象肉製品に対する臭気センサー反応検証及びセンサーの改良
2. 容器パッケージ内の対象臭気センサー反応検証

により、畜産物の不正持ち込み検知に対するにおいセンサーの有効性を解明し、今後の検知手法の要件の明確化を目標とする。

その結果、

1. 肉製品不正持ち込みに対する水際対策となる効果的・効率的な検知の実現
2. 水際対策における担当官、動植物検疫探知犬の負荷軽減

が期待される。

2 研究内容

(1) 研究課題

1) 対象肉製品に対する臭気センサー反応検証及びセンサーの改良

I-PEX株式会社が開発する複数の検知素子が検出する「におい分子のパターン」を認識・識別するに際しセンサーを利用し、今回の対象物となる肉製品の反応の検証を実施する。その検証データを用いAIによる判別モデルを試行し、対象となる肉製品の判別率を検証する。また、においセンサーにおける感応膜について、検証データより最適な感応膜の組み合わせを検証し、その組み合わせを用いた新たなセンサーチップを開発する。

(ア) 肉製品における主成分臭気のセンサー反応確認

先行研究による肉製品の臭気における主成分に対し、においセンサーが反応するかの実証をおこない、その有効性の検証を実施する。

具体的には、主成分の試薬をシャーレ等に入れ、臭気を専用ポンプユニットで吸い込み、センサーに臭気を当てる。そのセンサー反応値を確認し、これらを繰り返し実施し、測定の実現性を検証し、有効性を明らかにする。また、その有効性について、検知濃度や環境影響についても検証する。

(イ) 肉製品臭気のセンサー反応確認

ソーセージ、ハムなどの肉製品の臭気に対し、においセンサーが反応するかの実証をおこない、その有効性の検証を実施する。

具体的には、まず対象製品の一部をシャーレ等に入れ、臭気を専用ポンプユニットで吸い込み、センサーに臭気を当てる。ポンプユニットを使用せずに臭気を測定することもできるが、これまでの研究よりポンプユニットを使用した方がより高い反応を示すことが確認されている。そのセンサー反応値を確認し、これらを繰り返し実施し、測定の実現性を検証し、有効性を明らかにする。

(ウ) 肉製品臭気の判別可否の検証

実行課題（イ）にて測定されたセンサー反応値を用い、AIによる対象臭気の判別モデルを試行を行う。具体的には、実行課題（イ）と同様の臭気測定を100回程度おこない、その収集した反応値をAIにて分析し、「肉製品の統合判別モデル」とし、実際の各種肉製品、ソーセージやハムなどを用い、判別実証を実施し、その有効性を明らかにする。

(エ) 肉製品臭気の判別に適したセンサーチップの改良

実行課題（ア）及び（イ）にて測定されたセンサー反応値を用い、肉製品の検知に適したセンサーチップの改良を実施する。今回用いるにおいセンサーは、180種の感応膜を20種組み合わせたものとなる。まずは、既存の組み合わせによるセンサーチップを複数用い、各感応膜の反応を検証したうえで、肉製品検知に適した感応膜の組み合わせによるセンサーチップを開発する。また、その改良チップによる臭気検知実証をおこない、改良チップの有効性を明らかにする。

2) 容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応検証

小課題1)の検証成果を踏まえ、一次容器（パックフィルム等）及び二次容器内に肉製品を包装した場合のセンサーによる検知実証を行い、その有効性を検証する。

(ア) 一次容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応確認

ソーセージ、ハムなどの肉製品を一次容器に包装し、その状態において臭気に匂いセンサーが反応するかの検証を実施する。具体的には、対象製品の一部を一次容器に入れ、一次容器の近辺にポンプの吸入口を近づけながら臭気を専用ポンプユニットで吸い込み、センサーに臭気を当てる。そのセンサー反応値を確認するとともに、その繰り返し実施し、その再現性を検証する。

一次容器については、行政部局との調整の上で、一般的に肉製品が流通する食品ラップフィルによる包装、パック包装等や、現状不正持ち込みに使用されている梱包形態を行政部局との連携により、複数の環境による実証を行う。また、その検証の上で、センサーが反応を示さない場合等、外乱の影響を極力低減させるために、一次容器自体を何らかの方法で囲う等、センサーの有効性の検討も実施する。

(イ) 一次容器パッケージ内の臭気の判別可否の検証

実行課題（ア）にて測定されたセンサー反応値を用い、AIによる対象臭気の判別モデルの試行をおこなう。具体的には、実行課題（ア）と同様の臭気測定を100回程度おこない、その収集した反応値をAIにて分析し、一次容器に包装された状態の肉製品の判別モデルの検証を行い、その有効性を明らかにする。その際、行政部局との連携により、実際に不正持ち込みされた肉製品及び一次容器パッケージによる検証も実施する。

(ウ) 二次容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応確認

ソーセージ、ハムなどの肉製品を一次容器に包装したものを二次容器となる段ボール梱包やスーツケース内に入れ、臭気においてセンサーが反応するかの検証を実施する。また、二次容器自体の臭気漏れ等を検証するため、一次容器に包装しない状態の肉製品を二次容器に入れた場合の検証も行う。その際、二次容器を一部開閉した状態や、対象容器何らかの方法で囲った場合など、現場の運用で考えうる実装方法も試み、センサーの有効性の検討も実施する。

(エ) 肉製品臭気の判別可否の検証

実行課題（ウ）にて測定されたセンサー反応値を用い、AIによる対象臭気の判別モデルの試行を行う。具体的には、実行課題（ア）と同様の臭気測定を100回程度おこない、その収集した反応値をAIにて分析し、二次容器に包装された状態の肉製品の判別モデルの検証を行い、その有効性を明らかにする。その際、行政部局との連携により、実際に不正持ち込みされた肉製品及び一次容器パッケージによる検証も実施する。

(2) 達成目標及び進捗目標

実行課題を通し、肉製品に対するにおいセンサーの反応度を明確化し、包装状態などの各種環境における有効性を示す。また、AIモデルによる判別検証により、課題となる畜産物輸入等の水際対策に必要となるにおいセンサー活用の要件を、活用知見としてまとめる。

(3) 研究成果の行政施策・措置への貢献

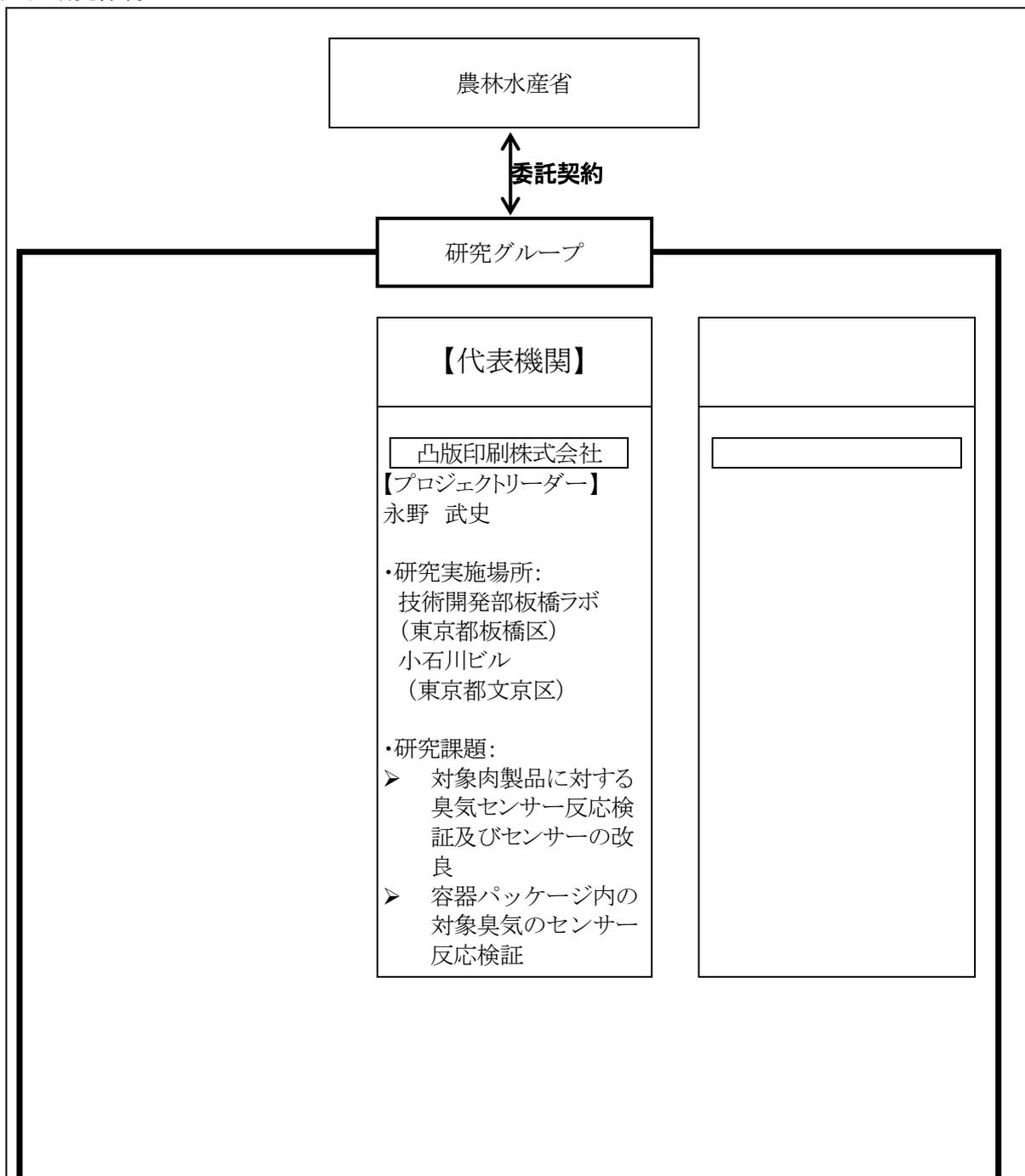
現在、畜産物の国内侵入防止の対策としては、家畜防疫官や動植物検疫探知犬による検知が多く用いられている。但し、家畜防疫官や動植物検疫探知犬による検知は経験等に左

右されるとともに、その経験の育成に非常に大きな時間と労力を要する。今回の研究によるにおいセンサーの肉製品探知の有効性が示された場合、水際対策における現場の負荷及びその担当官、動植物検疫探知犬の育成の負荷を軽減出来るとともに、安定した検査方法の一つとしての可能性を示すことが期待できる。

(4) 年次計画

研究課題	研究年度			
	令和3年度			
	1 Q	2 Q	3 Q	4 Q
<p>1. 対象肉製品に対する臭気センサー反応検証及びセンサーの改良</p> <p>(ア) 肉製品における主成分臭気のセンサー反応確認</p> <p>(イ) 肉製品臭気のセンサー反応確認</p> <p>(ウ) 肉製品臭気の判別可否の検証</p> <p>(エ) 肉製品臭気の判別に適したセンサーチップの改良</p>		<p>成分試薬検知検証</p> <p>肉製品検知検証</p>	<p>臭気反応の分析、検知モデル開発</p> <p>オリジナルセンサーチップ開発</p>	
<p>2. 容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応検証</p> <p>(ア) 一次容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応確認</p> <p>(イ) 一次容器パッケージ内の臭気の判別可否の検証</p> <p>(ウ) 二次容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応確認</p> <p>(エ) 二次容器パッケージ内の臭気の判別可否の検証</p>		<p>容器内検知検証</p> <p>反応の分析 検知モデル開発</p>	<p>容器内検知検証</p> <p>反応の分析 検知モデル開発</p>	

(5) 研究体制



(6) 実施体制

研究項目	担当研究機関・研究室		研究担当者	エフォート (%)
	機関	研究室		
研究総括者：永野武史	凸版印刷		◎永野武史	5
1. 対象畜産物に対する臭気センサー反応検証及びセンサーの改良 (ア) 肉製品における主成分臭気のセンサー反応確認 (イ) 肉製品臭気のセンサー反応確認 (ウ) 肉製品臭気の判別可否の検証 (エ) 肉製品臭気の判別に適したセンサーチップの改良 2. 容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応検証 (1) 一次容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応確認 (2) 一次容器パッケージ内の臭気の判別可否の検証 (3) 二次容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応確認 (4) 二次容器パッケージ内の臭気の判別可否の検証	凸版印刷		○沼田徳樹 宮田健一	5 5
	凸版印刷	技術開発部 板橋ラボ	△松本大輔 塩崎裕介	5 10
	凸版印刷	技術開発部 板橋ラボ	△松本大輔 塩崎裕介	前出 前出
	凸版印刷	マーケティング 事業部	△牧野登志起 川西勇之介	8 2
	凸版印刷		△宮田健一	前出
	凸版印刷		○沼田徳樹 宮田健一	前出 前出
	凸版印刷	技術開発部 板橋ラボ	△松本大輔 塩崎裕介	前出 前出
	凸版印刷	マーケティング 事業部	△牧野登志起 川西勇之介	前出 前出
	凸版印刷	技術開発部 板橋ラボ	△松本大輔 塩崎裕介	前出 前出
	凸版印刷	マーケティング 事業部	△牧野登志起 川西勇之介	前出 前出

(注1) 研究総括者には◎、小課題責任者には○、実行課題責任者には△を付すこと。

(注2) 代表機関及び共同研究機関並びに研究総括者の変更を行う必要が生じた場合はその理由を明記した書面を添付すること。

(7) 各年度の研究費

令和3年度 2,998,000円

3 研究推進会議の開催状況 別添のとおり。

4 研究成果の概要（別紙参照）

(1) 主な成果

- 1) 成果の内容
- 2) 成果の活用

(2) 各研究課題の成果

1) 小課題名：対象肉製品に対する臭気センサー反応検証及びセンサーの改良

(ア) 研究目標

肉製品の検知におけるにおいセンサーの反応確認により、においセンサーの有効性を示す。

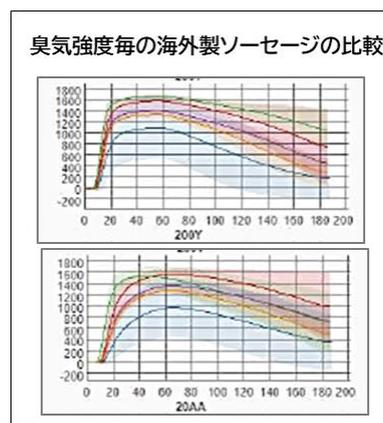
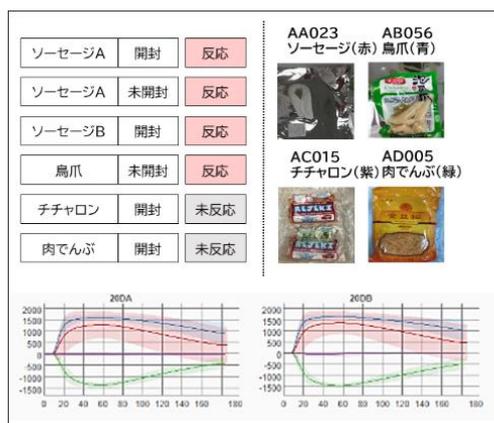
実行課題を通し、肉製品に対するにおいセンサーの反応度の検証より、肉製品におけるにおいセンサー活用の要件を、活用知見としてまとめる。また、肉製品検知に最適なセンサーチップを1種開発する。

(イ) 研究内容

複数の検知素子が検出する「におい分子のパターン」を認識・識別するにおいセンサーを利用し、今回の対象物となる肉製品の反応の検証を実施する。その検証データを用いAIによる判別モデルを試行し、対象となる肉製品の判別率を検証する。また、においセンサーにおける感応膜について、検証データより最適な感応膜の組み合わせを検証し、その組み合わせを用いた新たなセンサーチップを開発する。

(ウ) 研究結果

先行研究を参考に肉製品の主要成分について、GC-MS（ガスクロマトグラフ質量分析装置）による事前測定をおこない、酢酸・アセトン・エタノール・ヘキサナールの4種の成分を選定し、においセンサーにおける反応を検証した。また、動物検疫所にて保管されている複数の海外から違法に持ち込まれた肉製品をにおいセンサーにて測定し、その反応を明らかにするとともに、それぞれの反応を分析し、肉製品の加工の違いによる反応差異を確認した。複数回の主要成分、肉製品の測定データから明らかになった膜ごとの反応差異をもとに、反応精度の高い膜を用いたオリジナルチップを開発した。



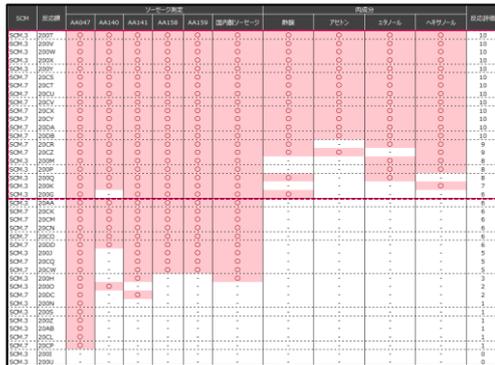


図2 臭気強度毎分析



図3 反応膜ごとの反応検証

(エ) 研究成果の活用における留意点

現時点における成果活用における留意点は特にはない。

(オ) 研究目標の達成に当たっての問題点

においセンサーの肉製品に対する反応は明らかになったが、肉製品の加工等による反応強度には差異があり、検疫対象となる肉製品の判別に向けては多角的なにおいの分析とそのセンサー反応データの蓄積による精度向上が必要となる。

<引用文献>

1. YANO, Y, MAEDA, T, HIRATA, T, “The Headspace Volatiles Generated at the Initial Stage of Spoilage in the Aerobically and Vacuum Packed Beef, Pork and Chicken”, *Anim, Sci. Technol.(Jpa)* 66(8): 684-692, 1995

2) 小課題名：容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応検証

(ア) 研究目標

一次容器および二次容器に包装された状態の肉製品におけるにおいセンサーの反応確認により、においセンサーの有効性を示す。

実行課題を通し、肉製品に対するにおいセンサーの反応度の検証より、容器内における肉製品の検知に対するにおいセンサー活用の要件を、活用知見としてまとめる。

(イ) 研究内容

ソーセージ、ハムなどの肉製品を一次容器および二次容器となる段ボール梱包やスーツケース内に入れ、臭気に対してにおいセンサーが反応するかの検証を実施する。二次容器を一部開閉した状態や、対象容器何らかの方法で囲った場合など、現場の運用で考えうる実装方法も試み、センサーの有効性の検討も実施する。

測定されたセンサー反応値を用い、AIによる対象臭気の判別モデルの試行をおこなう。具体的には、臭気測定を100回程度おこない、その収集した反応値をAIにて分析し、二次容器に包装された状態の肉製品の判別モデルの検証をおこなう。

(ウ) 研究結果

ポリ袋、新聞紙による簡易な包装状態による臭気検知の検証をおこない、ブランク状態の反応値と比較の対する反応差異を確認した。その反応値を用い、AIによる解析をおこない、ブランク状態における測定値との分別の可能性を検証した。それにより、肉製品とは断定できないまでも、何かしらの肉製品に近い物質が包装の中に含まれ

ることを識別できるモデルの可能性を示した。

また、実際の運用現場の疑似状況として段ボール内に肉製品のサンプルを設置し、
 においセンサーによる反応検証を実施した。その結果、段ボール内に肉製品サンプル
 を静置した状態から、段ボールの切り目付近にセンサーを設置し測定した際は反応を
 確認できることが出来なかったが、肉製品のサンプルを段ボールに静置後の時間を伸
 長し、吸引ノズルをダンボール内に一部挿入することにより、反応を確認が出来た。
 これにより、先述のポリ袋や新聞紙の簡易包装同様、段ボール等の二次包装状態にお
 いてもにおいセンサーの反応を用い、二次包装内にある物質の検知の可能性を示すこ
 とが出来た。

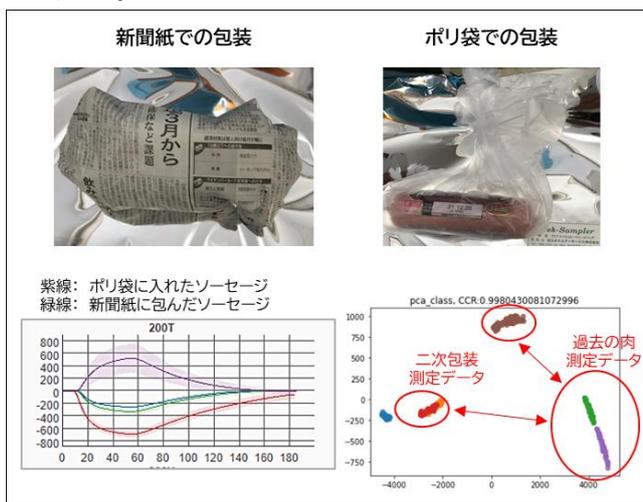


図4 二次包装（簡易包装）
 における反応膜の
 反応検証および識別モデル



図5 二次包装（段ボール梱包）における測定

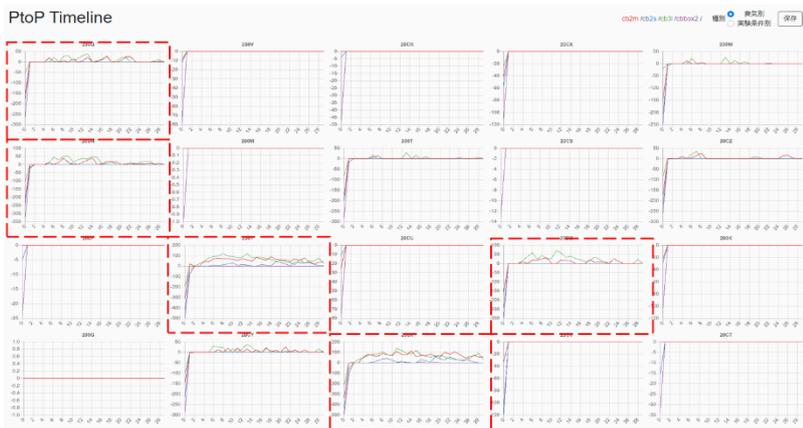


図6 二次包装（段ボール梱包）における測定の反応値

(エ) 研究成果の活用における留意点

現時点における成果としては、二次包装状態における反応は肉製品を検知しているとは言いきれず、活用においては反応している臭気に対する多角的な活用アプローチが必要となる。

(オ) 研究目標の達成に当たっての問題点

においセンサーの二次包装状態における肉製品に対する反応は明らかになったが、AI解析において未包装状態と二次包装状態ではその反応値に差異がみられ、今後、具体的な検査現場における肉製品の判別に向けては、より測定時における反応臭気の検証が必要となる。また、段ボール等の二次包装時における肉製品の判別への活用に向けては、においセンサーの高感度化、測定時における特定対象臭気以外の判別手法などの研究が必要となる。

5 研究成果の発表 別添のとおり。

6 目的の達成に当たっての現時点での問題点等

本研究の成果として、概ね目的となるにおいセンサーの有効性を示すとともに、今後の畜産物の不正輸入等の防止対策に必要となるにおいセンサー活用の要件を活用知見として得ることは達成したが、その結果を用いた肉製品不正持ち込みに対する水際対策となる効果的・効率的な検知については、外部機関からの協力も含めた多角的なアプローチとして、対象肉製品（加工肉含む）の検知物質のサンプル選出や、対象臭気の吸入・測定方法、吸入・測定時間などのセンサーの測定手法の多角的視点による見直し、検査現場での活用に向けた周辺装置の開発と現場環境改善が必要となる。

<研究総括者の自己評価>

項目		評価結果
試験研究全体		A：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
研究 小 課 題	1) 小課題名：対象肉製品に対する臭気センサー反応検証及びセンサーの改良	A：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
	2) 小課題名：容器パッケージ内の対象臭気のセンサー反応検証	A：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
		A：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
		A：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
		A：順調 B：概ね順調 C：やや遅れている D：遅れている
自己評価コメント		<p>本研究において、2つの小課題、研究全体とともに、当初の目的に対して概ね達成出来た。におおいセンサーの有効性を示すとともに、今後の畜産物の不正輸入等の防止対策に必要となるにおいセンサー活用の要件を活用知見として得ることを達成した。</p> <p>但し、今後、その活用成果を用いた肉製品不正持ち込みに対する水際対策へのにおいセンサーの活用においては、更なる外部機関からの協力も含めた多角的なアプローチが必要となる。</p>

研究推進会議の開催状況、研究成果の発表(論文、特許等)等

課題 番号	(1) 研究推 進会議 等開催 回数	(2) 行政が 活用し うる成 果の有 無	(3)学術論文数		(4)口頭発表回数		(5) 出版 図書数	(6)国内特許権等数		(7)国際特許権等数		(8) 報道 件数	(9) 物品購 入の有 無
			和文	欧文	国内	国際		出願	取得	出願	取得		
21454598	5	有	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	無

(1)研究推進会議等の開催実績

区分:①推進会議、②現地検討会、③その他

区分	推進会議の名称	年月日	開催場所	参加者 数	消費・安全局担当 官の出席有無	主な議題及び決定事項
①	第1回推進会議	2021年6月8日	農林水産省 動物検疫所 横浜本所	15	有	・研究計画詳細確認 ・検疫の現状確認
①	第2回推進会議	2021年9月7日	農林水産省 動物検疫所 横浜本所	19	有	小課題1の研究報告及び今後の進め方の確認
②	中間報告MTG	2021年11月8日	オンライン	10	有	小課題2の研究中間報告
①	第3回推進会議	2022年1月14日	農林水産省 動物検疫所 横浜本所	19	有	全体研究報告と最終研究期間に対するすり合わせ
①	第4回(最終)推進会議	2022年3月1日	農林水産省 動物検疫所 横浜本所	19	有	全体研究報告

(2)行政が活用しうる成果

区分:①行政がすでに活用した成果、②行政が活用する目途がたった成果

区分	成果の内容	主な利用場面	活用状況
②	不正持込畜産物摘発へのおいセンサーの活 用の可能性評価	実用センサーシステム開発に向けた要 件検討	

(3) 学術論文

タイトル、著者名、学会誌名、巻、ページ、発行年月	機関名

(4) 口頭発表

タイトル、発表者名、学会等名、発表年月	機関名

(5) 出版図書

区分: ①出版著書、②雑誌、③年報、④広報誌、⑤その他

区分	著書名、(タイトル)、著者名、出版社名、発行年月	機関名

(6)国内特許権等

特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	機関名

(7)国際特許権等

特許権等の名称	発明者	権利者 (出願人等)	特許権等の種類	番号	出願年月日	取得年月日	機関名

(8)報道件数

区分:①プレスリリース、②新聞記事、③テレビ放映

区分	記事等の名称	掲載紙・放送社名	年月日	機関名	備考

(9)購入物品

品名	規格	員数	購入実績(円)		使用目的	備考
			単価	金額		

畜産物を探知するための『においセンサー』の評価

本研究の目的
(課題)

- ・水際対策については、現在は主に動植物検疫探知犬を活用しているが育成面も含めてコストや負荷が課題
- ・国内への家畜伝染病の侵入防止のため「海外からの違法畜産物」をにおいセンサーで検知
- ・においセンサーでの代替によりコストや負荷を軽減し、水際対策の効率的・効果的な実施に貢献

将来的な水際対策への『においセンサー』の活用可能性を明らかにする

小課題 1)
対象肉製品に対する
臭気センサー反応検証
及びセンサーの改良

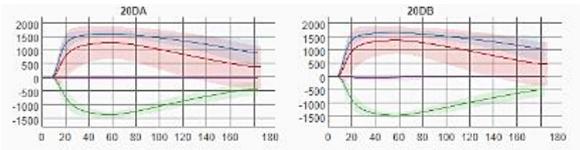


においセンサー

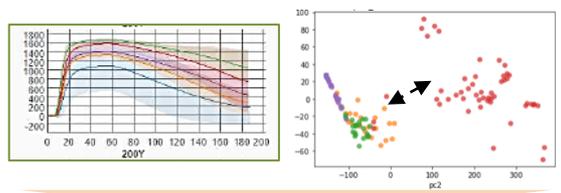
小課題 2)
容器パッケージ内の
対象臭気の
センサー反応検証

<p>国産製サラミ</p>	<p>国産製ソーセージ</p>
<p>海外製ソーセージ(開封)</p>	<p>海外製ソーセージ(未開封)</p>
<p>新聞紙での包装</p>	<p>段ボール梱包</p>
<p>ポリ袋での包装</p>	

不正持込肉類の反応確認



測定データによる分析



活用可能性について

1. においセンサーの肉製品への反応の明確化
2. 包装状態、梱包材内の反応要件明確化
3. 今後、現場への導入に向けた課題の明確化