

| | | | |
|---------|--------------------------------------|-----|--------------|
| 氏名 | 味藤 未冴来 | | |
| 学位の種類 | 博士（工学） | | |
| 学位記番号 | 博甲第9413号 | | |
| 学位授与年月日 | 令和2年3月25日 | | |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 | | |
| 審査研究科 | システム情報工学研究科 | | |
| 学位論文題目 | 機械学習モデルに基づく豚飼養管理における熱画像・音響情報処理に関する研究 | | |
| 主査 | 筑波大学 | 教授 | 工学博士 水谷 孝一 |
| 副査 | 筑波大学 | 准教授 | 博士（工学） 若槻 尚斗 |
| 副査 | 筑波大学 | 准教授 | 博士（工学） 海老原 格 |
| 副査 | 筑波大学 | 助教 | 博士（工学） 善甫 啓一 |
| 副査 | 筑波大学 | 助教 | 博士（工学） 前田 祐佳 |
| 副査 | 筑波大学 | 教授 | 博士（農学） 北村 豊 |
| | （生命環境科学研究科） | | |
| 副査 | 農研機構・動物衛生研究部門 | | 獣医学博士 西藤 岳彦 |
| | 研究領域長 | | |

論文の要旨

本研究は、機械学習モデルに基づく豚の飼養管理における重要な情報を得るために各種センサから得られる熱画像情報や音響情報の処理方法の構築を目的としており、農業情報工学を始めとする工学に関する分野において有効な成果を得ている。

【第1章】では、研究背景について豚の飼養管理の内容や課題を概説している。豚の飼養管理は、主に肥育管理・繁殖管理・衛生管理であることを述べられるとともに、肥育管理においては多くの先行研究を紹介し、これらによる定量計測が試みられていることが述べられている。このため、経験的知見の多くリスクの大きい繁殖管理と衛生管理における定量的計測の必要性が述べられている。繁殖管理では、経験に依存する発情確認が熱画像により行えるものの環境の影響を受けやすいことや、衛生管理では感染症の初期症状であるとされるくしゃみの認識精度が低く、また感染状態との関連が示されていないこと等、研究の必要性が示されている。

【第2章】では、繁殖管理に対する研究成果が示されている。熱画像情報、周囲の環境情報に対して回帰モデルを用いて発情による体表面温度変化が検出されている。特に豚舎環境要素として、豚の臀部・豚舎の気温および豚舎の地域の気温を説明変数に用いているが、推定手法としては線形回帰・Support Vector Machine (SVM)回帰・Neural Network 回帰のどの手法においても 1.4 °C以下の誤差で外陰部温度の推定が行われている。また、可視画像から多層 neural network の一つである Autoencoder を用いて豚体を検出し、この結果から豚領域を抽出するとともに、熱画像情報を併用し

た輪郭抽出および豚の体表面温度の自動取得を試み、豚認識に必要な特徴量を自動取得するとともに、多くの豚で対象温度が正しく抽出されている。本章により、繁殖管理における経験的技能を必要とする発情確認を、熱画像と機械学習に基づく方法により自動化できる可能性を示している。

【第3章】では、衛生管理に対して行われており、感染実験中の豚舎内音響情報を複数地点で計測し、これにより構築したくしゃみ音データセットを用いて音響イベントの自動検出・特徴量抽出・分類の3段階で音響イベントを分類し、くしゃみ音を検出している。音響イベントの自動検出においては、実際に収録したくしゃみ音の周波数特性・継続時間幅を考慮することで、くしゃみ音と特性の大きく離れた音響イベントを候補から除外するとともに約2週間の実験において収録した音源から、74,533 サンプルの音響イベントを自動検出している。特徴量抽出・分類においては、発生が稀で少数のくしゃみ音サンプルであることから、少数の音響特徴量と SVM に基づく分類モデルを採用している。従来の音声認識で用いられている特徴量の他に、くしゃみ音の特性を考慮した音響徳量を設計、くしゃみ音分類に適した音響特徴量の組み合わせを検討している。これらから、Mel Frequency Cepstral Coefficients および設計特徴量を併用した場合に従来法より大幅に性能が高く、F 値として92.8%の性能でくしゃみ分類が可能としている。これらにより、少数の音響特徴量を用いる収録環境に依存しにくいくしゃみ音自動判別器を構築している。

【第4章】では、第3章で構築したくしゃみ音分類器を用いて感染実験中のくしゃみ音を24時間体制で検出している。くしゃみ音検出器の学習に用いたサンプルは、各感染群で特定の収録位置で収録したサンプルであるため、収録位置のサンプルのみで精度の高い、過学習が懸念される。このため、構築したくしゃみ自動検出器について、学習位置の影響を受けづらく、高精度なくしゃみ検出を可能とすることを確認している。加えて、くしゃみ音の自動検出を行った結果から、くしゃみ音が給餌や感染確認作業の影響を受けて誘発されていることを明らかにしている。よってこれらの影響のない夜間において、くしゃみ音の発生回数の遷移集計することで、ウイルス排泄量との対応から、くしゃみ回数をモニタリングすることで2種のインフルエンザウイルス株に関しては、最速で感染後3日程度で感染が判断できることが推測されている。

第3章及び第4章により、衛生管理におけるインフルエンザ罹患判定を、音信号と特徴抽出および SVM に基づく分類器によるくしゃみ自動測定により、くしゃみ発生回数から行える可能性を示している。以上より、機械学習モデルに基づく豚の飼養管理における重要な情報を得るために、センサから得られる熱画像や音響情報の処理方法の構築が行われた。

以上から、第2章により繁殖管理に対して、第3章及び第4章により衛生管理に対しての効率化を実現しており、これら併せて豚の飼養管理の効率化に貢献することが期待される。

【第5章】では、本研究の総括がなされている。

審査の要旨

【批評】

本論文は経験的技術（技）が未だ多い豚の飼養管理における繁殖管理・衛生管理について、本論文では定量計測と定量評価により自動化を試みている。特に、豚などの畜産動物をはじめとする生体においては、非線形な要素を多く含むため未だ物理モデリングを行えていない箇所も多く、本研究は収録されたデータからモデリングを行うことのできる機械学習を応用することで、これら問題に対応している。更に、実験データに含まれるモデリングに不要となる情報に対する熱画像処理・音響信号処理を施すシステムを構築することで、豚の飼養管理に寄与する回帰・分類モデルへの適用を実現しており、当該分野への貢献度も高く、評価できる。

繁殖管理については、体表面温度変化が豚舎環境の影響を受けることに関して注目することによって、これらを発情時の環境情報からのみ推定するのではなく、豚舎環境に影響を受けた非発情時温度を推定する回帰モデルを構築し、その差分により発情に伴う体表面温度変化の検出を行い、実験によりその効果を示している。これは、独創的であるとともに、発情期間はごく短期間であることから、半教師有学習による異常検知の観点からも有効な方法である。

衛生管理については、本論文では感染判別に向けたくしゃみ認識器について、自然に発生したくしゃみを認識するため、教師データとなるくしゃみ音収集コストが高いという制約から、音響特徴量を適切に設計した認識法を提案し、擬態的なデータを用いて評価している。音響特徴量には、先行研究で注目された高周波数成分や他の音声認識研究で得られる特徴量はもとより、くしゃみ特有の時間-周波数成分の変動に注目し、これを周波数重心の変動としてとらえることで、少数のくしゃみサンプルでも交差検証誤差を小さくくしゃみ分類を可能としている。また、提案方法で対象としたくしゃみは、豚のみならず鳥（ブロイラー）などの他の畜産動物にも共通してみられる音響的特徴がある。このため、本研究では豚を対象とした評価研究であるが、ここで得られた成果は、他の畜産動物などへの応用が期待される。

研究成果とも言える自動くしゃみ認識器を用いて、世界で初めて豚インフルエンザ罹患時の感染状態と感染症状であるくしゃみ回数計数監視を2週間に亘り実現している。従来の研究では、くしゃみの有無について短時間の観測による報告しかなかったために、感染に伴いどのようにくしゃみ回数が遷移していくかなどはわからなかったが、本研究により、健常群との比較であるものにくしゃみ回数を利用した感染状態の自動監視が可能となり、豚インフルエンザの病理研究やワクチン研究を促進する等、大きな影響を与えると考えられる。

また、本論文における非接触センシング・熱画像・音響信号処理・機械学習モデルについては、これらの提案はもとより、農場で計測した実験データによりその有効性が示されている。これから、現場での実応用が重視される農業工学分野への貢献はもとより、豚に限らず様々な生体や工業製品などの品質管理へも展望も期待されることから高く評価できる。

【最終試験の結果】

令和2年1月27日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。