

令和 6 年 6 月 15 日現在

機関番号：17601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H03108

研究課題名（和文）大群管理下におけるAIとIoTによる養豚の自動化

研究課題名（英文）Automating pig farming with AI and IoT under horde management

研究代表者

川末 紀功仁（Kawasue, Kikuhito）

宮崎大学・工学部・教授

研究者番号：20214645

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,800,000円

研究成果の概要（和文）：養豚生産では、各農場での飼育頭数が増加する一方で、養豚に携わる労働人口が減少しており、労働の軽労化が期待されている。豚の格付けで体重が大きな基準の一つであり、適正体重で出荷する必要がある。しかし、豚は1頭100kg以上あるため、1頭1頭の体重を量るのは非常に手間がかかる。大規模農家では1つの豚舎で50頭以上の豚を飼育し、出荷適正体重になった日を決めて一斉に出荷する。収益性を向上させるためには、豚舎内の豚が均一に成長するように成長を管理し、適正な出荷日を決定することが重要である。本研究では、日々の体重分布をカメラで自動計測し、体重に応じて仕分けするシステムを試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

開発したシステムは、豚の1日の体重分布を測定し、生産者が豚の出荷日を決定する際に有用な情報を提供する。ロードセル測定装置は、敷料に使用のおがくずの影響を受けやすく、正確な測定のためには日々のメンテナンスが必要である。少人数の養豚場では、日々のメンテナンスとしてシステム内のおがくずを除去することは難しい。一方、開発したシステムは、豚の通路上部に設置したRGB-Dセンサーで豚の体重を推定するため、おがくずを取り除くメンテナンス作業が不要。そのため、豚が小さいうちから出荷日まで毎日使用することができる。実験結果からは、実用上十分な測定精度が確認され今後の養豚業の軽労化に寄与することが期待できる。

研究成果の概要（英文）： In pig production, the number of pigs raised on each farm is increasing, but the population of workers involved in pig production is decreasing, so lighter labor is expected. On the other hand, it is also important to improve pig grading and profitability. Weight is a major criterion for pig grading. Too heavy or too light will decrease profits, and pigs need to be shipped at the appropriate weight. However, since each pig weighs more than 100 kg, weighing each pig is very labor intensive. In large farms, more than 50 pigs are kept in a single piggery, and they are shipped together at the same time, after determining the day when they have reached the proper weight for shipment. In order to improve profitability, it is important to control the growth of pigs in a piggery so that they grow uniformly and to determine the appropriate shipping date. In this study, a prototype system was developed to automatically measure daily weight distribution.

研究分野：知能センシング

キーワード：養豚の自動化 AI IoT 画像計測

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

養豚場の大規模化が進み、各養豚場では数百頭の豚を飼育している。一般的には、30kg程度の豚が持ち込まれ、出荷に適した体重である120kgになるまで飼育される。約100日間、同じ豚舎で飼育される。出荷の際には、豚舎内の豚を一度に出荷するのが一般的である。豚舎の敷料にはおがくずが使用される場合が多い。防疫のため、豚の出荷後に古いおがくずを取り除き、豚舎内を消毒して新しいおがくずに入れ替える。豚の体重は豚の格付けにおいて重要な要素であり、重すぎても軽すぎても等級は下がる。通常、豚は120kg前後で出荷されるのが最も等級が良いとされる。しかし、すべての豚が一樣に成長するわけではなく、また豚舎の環境の違いもあるため、出荷時の体重が安定しないこともある。100kg以上の豚の体重を量るのは非常に手間がかかるため、実際には豚の体重を量らずに、経験に基づく飼育日数や見た目による大きさで出荷時期を決めている農家も多い。

一つの豚舎でたくさんの豚を飼うので、最初は同じ大きさでも、成長過程で大きい豚と小さい豚が出てくる。大きい豚は力が強いので、小さい豚の給餌を邪魔する。これは小さい豚にとってはストレスになる。そのため、出荷等級から見ると、大きい豚は重くなりすぎ、小さい豚は小さくなりすぎてしまう。養豚生産では、各農場での飼育頭数が増加する一方で、養豚に携わる労働人口が減少しており、労働の軽労化が期待されている。一方、豚の格付けと収益性の向上も重要である。豚の格付けは体重が大きな基準の一つである。重すぎても軽すぎても利益が減るので、豚は適正体重で出荷する必要がある。国内の養豚場では、一つの豚舎で数百頭以上の豚を同時に飼育する大群飼育が増加しており、いくつかの問題が生じている。まず、人手不足のため、一頭一頭を個別に管理することが難しい。個体管理を目的としてICタグを利用する提案もあるが、一頭当たりのコストが高く、取り付けやデータ読み取りに伴う作業の負担が大きい。さらに、好奇心の強い豚によってICタグが壊されやすく、維持が難しいという課題がある。また、大群飼育環境では感染性の疾病が短期間で豚舎全体に広がるリスクが高まる。防疫上、農場内での病原体の相互感染を防ぐためにオールイン・オールアウト方式が推薦されているが、成長が早い豚と遅い豚が混在するため、全ての豚を出荷適正体重に揃えることが難しく、枝肉成績が安定しない問題が生じる。さらに、目視では判断できない疾病も多く、中には感染性がある場合もあるため、養豚業界では疾病の早期発見を実現するシステム開発への期待が大きい。家畜(牛など)ではIoTやロボットの導入が進んでいるが、養豚分野への導入は少ない。豚の特性や飼育環境を考慮した独特の工夫が必要とされる。具体的には、大群飼育されている環境で一頭一頭の豚を個別かつ正確に検査し、検査結果に基づいて自動的に対応する技術の開発が求められている。

2. 研究の目的

これまでにも、ロードセルを用いて豚の体重を測定し、出荷に適した体重に成長した豚を選別するシステムがいくつか開発されている。また、ロードセルはおがくずによる機械的な問題があるため、システム上部に設置したカメラで重量を測定するシステムも提案されている。しかし、これらのシステムは豚の出荷時のみ作動するものであり、豚の育成過程では常時作動するものではない。

そこで本研究では、豚を体重によって3つの出口に振り分けるシステムを試作した。このシステムは豚舎内の豚が餌場へ行く通路に設置し、豚が餌場へ行くたびにRGB-Dセンサーで体重を計測する。3つの出口のうち、1つは出荷に必要な大きさに成長した豚を選別するために使用される。他の2つの出口は、中型と小型の豚用である。2つの出口を出た後、豚は別の給餌エリアに向かい、小型の豚も専用の給餌エリアで餌を食べることができる。このシステムにより、豚舎内の豚のグループの平均体重を知ることができ、豚の格付けが高くなるように適切な出荷日を決定することができる。

大群飼育環境において飼育頭数の増加により個別管理が手薄になる課題を解決するための実用的な技術を確認する。この技術により、省力化、枝肉価格の安定化、疾病の早期発見を実現することを目指す。具体的には、一頭一頭の豚を個別かつ正確に検査し、その検査結果に基づいて自動的に対応する技術の開発を行う。一つの豚舎でたくさんの豚を飼うので、最初は同じ大きさでも、成長過程で大きい豚と小さい豚が出てくる。大きい豚は力が強いので、小さい豚の給餌を邪魔する。これは小さい豚にとってはストレスになる。そのため、出荷等級から見ると、大きい豚は重くなりすぎ、小さい豚は小さくなりすぎてしまう。従って、成長過程における豚舎内の豚の体重分布を知ることが有用である。本研究では、1日の体重分布の状態を測定するシステムを開発した。また、成長過程における小型豚のストレスを軽減することを目的として、小型豚と大型豚が別々のエリアで給餌できるような制御システムを試作した。さらに、人手不足の問題を考慮し、これらの作業が24時間自動的に行われるシステムとした。また、悪環境下でも誤動作せず、メンテナンスフリーで運用できるシステムが求められる。このような技術開発を通じて、養豚業界の効率化と品質向上を図り、持続可能な養豚業の実現を目指す。また、サーモグラフィの画像にAIによる画像認識アルゴリズムを加えることで豚の体温測定を行う手法を開発した。

3. 研究の方法

図1に試作したシステムの図と写真を示す。システムは給餌ゾーンに通じる通路に設置され、豚は給餌ゾーンに向かう途中でシステムを通過する。システムには1つの入口と3つの出口がある。システムの通路は、豚の標準的な最大幅に合わせて400mmとした。これにより、豚は通路を通過する際、ほぼまっすぐな姿勢で通過することになる。使用したRGB-Dセンサー（Intel RealsenseD455）はシステム上部の高さ1500mmに設置されている。RGB-Dセンサーは、解像度640×480ピクセル、30fpsで16ビットの深度画像を提供する。RGB-Dセンサーはターゲット距離に関連した輝度値を出力し、グローバル座標に簡単に変換できる。RGB-Dセンサーからの情報に基づいて、コンピュータ（Renovo ThinkCentre M90n-1, Intel Core i3-8145U, 2.1 GHz, 4 MB）が豚の体重を推定する。推定重量に基づいて、豚は大、中、小に分けられる。各ゲートは機構上一方通行である。

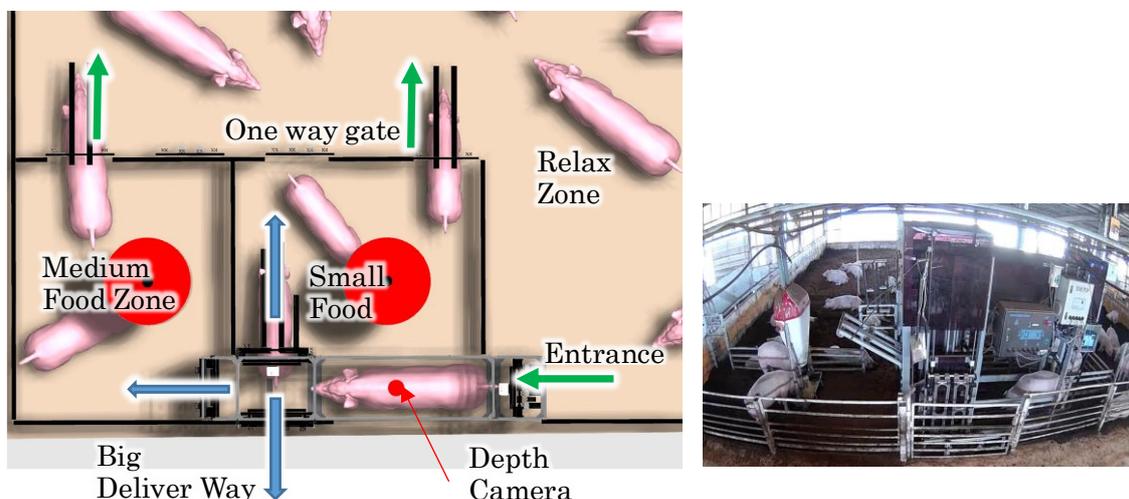


図1 システム構成

出口につながる各部屋にはそれぞれ給餌エリアがあり、異なるサイズの豚は他のサイズの豚がいるゾーンに入ることはできない。測定領域に2頭以上の豚が同時に入ると選別ができなくなるため、2頭以上の豚が同時に入らないような機構を開発した。図2に示すように、垂直方向に昇降する扉を設置した。この扉は片側に自由に回転でき、扉が下がる際は豚の体に沿って下がる。したがって、後方の2頭目のブタが同時に進入する隙間はない。システム内に設置されたRGB-Dセンサーが豚の位置を常時監視し、豚が適切な位置にいるときに入口ドアを下げる。ドアは下がっている状態でも一方方向に自由に回転できるようになっており、停電などのアクシデントが発生した際に豚が後退するとシステムから出ることができるようになっている。ただし、豚は基本的に餌場に向かおうとするので、バックで出るとはほとんどない。

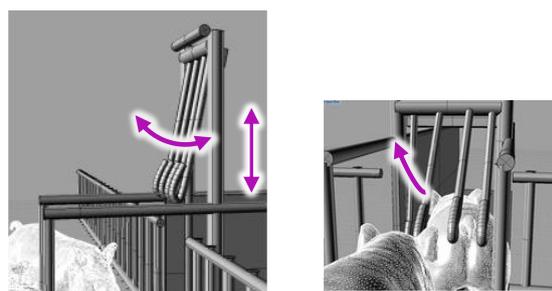


図2 同時進入防止機構

4. 研究成果

一つの豚舎で多数の豚を飼養する養豚場では、豚舎内の豚群の平均体重や体重分布の情報があると便利である。そこで、開発したシステムを通過する豚の体重情報を管理するプログラムを作成し、検証を行った。図3に本システムで得られた画像データの一例を示す。開発した分離機構により、約95%の豚が1頭ずつ適切に分離され、体重分析が行われている。この図のE1は、豚の動きが速く、適切なタイミングで画像を取得できなかったため、豚の臀部のみを撮影した例である。E2は、豚の向きが他と異なる。これはブタが逆から入ってきた例である。これは、前のブタの計測が終わって、出口のドアが開いた瞬間に、出口のドアの近くにいた別のブタが入ってきたことによって生じている。しかし、画像処理によってブタをコンピュータ処理で回転させているため、ブタの向きが違っても重量推定結果に影響はない。

図4は、2022年10月12日にシステムを通過した合計250頭の豚の体重分布測定結果である。システムの床にロードセルを設置し、RGB-Dセンサーで測定した重量と結果を比較した。RGB-Dセンサーとロードセルの結果を比較すると、体重あたりの豚の頭数に若干の違いがあるが、分布

のアウトラインは同じである。RGB-Dセンサーの平均体重は77kg、ロードセルの平均体重は76kg。豚舎の豚の平均体重の計算結果もほぼ同じある。ロードセルの場合、値が極端に大きかったり小さかったりするケースがある。これは、ロードセルの上で豚を静止させることが難しく、振動の影響が避けられないためである。そのため、ロードセルで測定した値が必ずしも正しいとは限らない。図5は、同じ日にシステムを通過した豚の数を時間ごとに示したものである。豚は午前7時頃に起床し、午後0時頃に休息し、午後5時過ぎに就寝することがわかる。豚の評価は枝肉に処理された後に決定される。評価項目は枝肉重量、背脂肪厚、枝肉外観である。背脂の厚さや枝肉の外観は生産者がコントロールできないため、通常、生産者がコントロールできるのは豚の体重のみであり、そのため、このシステムは生産者にとって関心の高い体重推定を目的としている。表1は日本食肉格付協会（JMGA）が制定した格付表で、4段階の格付がある。一般的に、生産者は枝肉重量 68～83kg（75.5±7.5kg）の GOOD 等級を目指している。したがって、測定誤差が7.5kg以下であれば、75.5kgを目指すのが現実的である。一つの豚舎で大量の豚を飼養している農場では、豚舎内の豚は基本的に一度に出荷されるため、出荷日を決めるためには豚舎内の豚の平均体重を知ることが重要である。図5は、開発したシステムで測定した豚舎内の豚の1日平均体重である。日平均 0.81kg 増えている。この測定結果は、一般的な体重増加率と変わらないことから、システムは適切に体重を測定していると判断できる。最適な出荷日は、システムによる体重の平均推定値によって決定される。枝肉重量が75.5±7.5kgであれば、格付け上、良好と評価される。従って、システムで測定された増加率の安定性は、測定性能が十分に正確であることを示している。

表1 枝肉重量による格付

Grade	Carcass Weight (kg)
Excellent	73-81 kg
Good	68-83 kg
Medium	63-88kg
Poor	Under 63kg or Over 88kg

しかし、システムの運用による成績の向上は、季節など他の要因の影響もあり、現時点では判断できない。また、大型豚と小型豚の飼養場所を分けることによる小型豚のストレス緩和の効果をモニタリングだけで検証することは容易ではない。効果の確認には反復実験が必要だが、成長の1サイクルは期間が長いので長期間の観察が必要である。本システムで得られたデータから、1日の成長率や体重分布の情報を得ることが可能であり、出荷時期の決定に有用であることが実験的考察から判断できる。ロードセル測定装置は、敷料に使用のおがくずの影響を受けやすく、正確な測定のためには日々のメンテナンスが必要である。少人数の養豚場では、軽作業でシステム内のおがくずを除去することは難しい。一方、開発したシステムは、豚の通路上部に設置したRGB-Dセンサーで豚の体重を推定するため、おがくずを取り除くメンテナンス作業が不要。そのため、豚が小さいうちから出荷日まで毎日使用することができる。実験結果からは、実用上十分な測定精度が確認された。しかし、小型豚のストレス軽減や体重分布の自動制御の効果については、さらに長期的な検証が必要である。

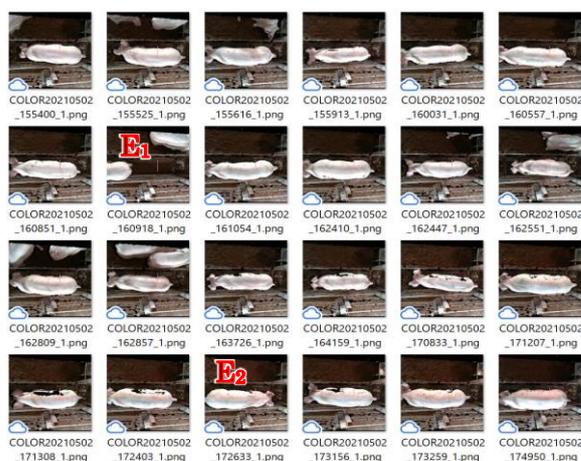


図3 撮影された豚の画像の例

豚の体温を測定するためにAIとサーモグラフィを用いている。サーモグラフィによる結果に体毛の影響があることから、体毛の無い目を温度測定箇所とした、正面から撮影した豚の頭の画像から、画像認識の手法であるYOLOv5を用いて目を検出した。図6は目を検出した位置でのサーモグラフィの温度を示した結果である。

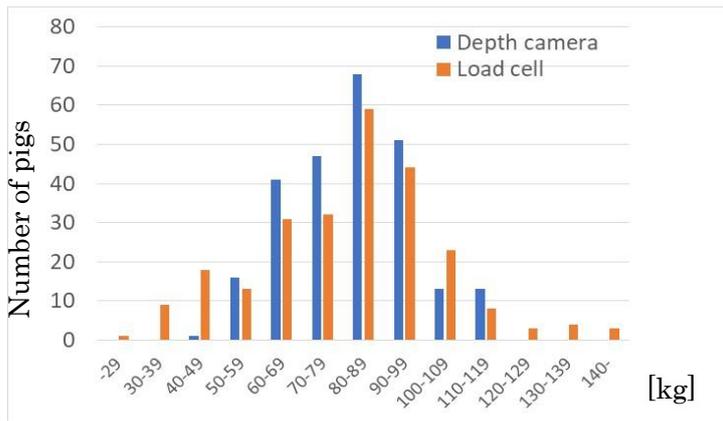


図 4 体重分布

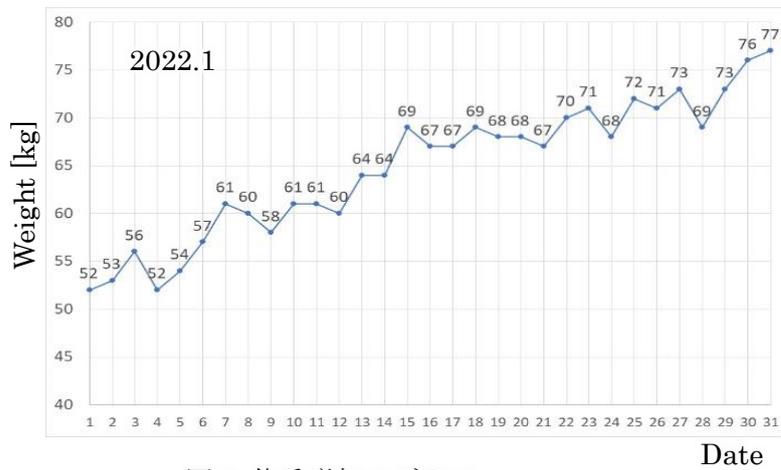


図 5 体重増加のグラフ



図 6 AI とサーモグラフィによる体温測定

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件(うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件)

1. 著者名 Win Khin Dagon, Kawasue Kikuhito, Yoshida Kumiko, Lee Geunho	4. 巻 26
2. 論文標題 Automatic pig selection system based on body size using a camera: rotating mechanics for pig selection	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 155 ~ 161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10015-020-00654-y	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件(うち招待講演 0件/うち国際学会 1件)

1. 発表者名 須本 修平, 辻野 悟史, 荒武 成道, 川末 紀功仁
2. 発表標題 豚の自動選別システム
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 金澤 波音(宮崎大学大学院), 川末 紀功仁(宮崎大学), Khin Dagon, Win(宮崎大学工学部), 巻岐 侑祐(宮崎県畜産試験場)
2. 発表標題 機械学習を用いた豚の体重推定
3. 学会等名 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Lin Htet Lin Htet Htet Soe, Khin Dagon Win, Kikuhito Kawasue, Kumiko Yoshida
2. 発表標題 Automatic pig selection system based on body weight using a camera
3. 学会等名 25th International Symposium of Artificial Life an Robotics (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 重量推定装置及びプログラム	発明者 川末紀功仁	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、EP.4109057.A1	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 重量推定装置及びプログラム	発明者 川末紀功仁	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、WO.2021166894.A1	出願年 2021年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 家畜の誘導頭数規制装置、及び逆侵入規制装置	発明者 川末紀功仁	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、W02020/050087 2020/3/12	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

〔取得〕 計3件

産業財産権の名称 重量推定装置及びプログラム	発明者 川末紀功仁	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、7210862	取得年 2022年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 重量推定装置及びプログラム	発明者 川末紀功仁	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、CN.115135973.A	取得年 2024年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 (3)家畜の誘導頭数規制装置、及び逆侵入規制装置	発明者 川末紀功仁	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-541142	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------

ドイツ	Big Dutchman			
-----	--------------	--	--	--