

令和 7 年 6 月 25 日現在

機関番号：37401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2022～2024

課題番号：22K05911

研究課題名（和文）ウシ疾病予防のための薄型光MEMSセンサとメカを一体化した尾根部装着型センサ端末

研究課題名（英文）Wearable optical integrated sensor and mechanical unit appressed to base of a calf's tail

研究代表者

野上 大史（Nogami, Hirofumi）

崇城大学・工学部・准教授

研究者番号：50736147

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：ウシ尾根部に装着可能な定圧付与機構一体型の脈波センサ端末と小型ロガーを開発し、従来課題であった通信断によるデータ欠損を回避、一夜間にわたる安定した脈波・心電信号の同期記録を実現した。PRIとRRIの比較により高い相関が確認され、ストレス指標としての有効性が示唆された。また、ばねの復元力を活用した簡便な装着構造により、測定準備時間の大幅な短縮と再現性の高い信号取得が可能となった。これは、体動ノイズ除去に向けたアルゴリズム開発や新たな生理指標の抽出に対しても非常に大変有効である。今後は農場実装に向けた多頭飼育のストレス見える化システムの実現を目指す。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ウシ尾根部に装着可能な定圧付与型脈波センサと小型ロガーを用いたストレス反応計測手法を確立し、非侵襲かつ高精度な生体信号の長時間取得を実現した点で学術的意義は大きい。特に、安定した区間では、脈波センサによる脈拍間隔変動値（PRI）と心電計による心拍間隔変動値（RRI）に高い相関が確認され、ストレス指標としての有効性が示唆された。今後、計測時間の長期化と精度向上により、大規模に飼育される家畜個体のストレスを定量的に把握可能とする技術へ発展する可能性がある。これは、疾病の早期発見・予防を通じた持続可能な畜産への貢献という社会的意義を有している。

研究成果の概要（英文）：We developed a pressure-applied pulse wave sensor with an integrated spring mechanism and a compact logger for attachment to the base of a cow's tail. This system enabled stable overnight recording of synchronized PPG and ECG signals, avoiding data loss due to cable disconnection. A strong correlation between PRI and RRI was confirmed, indicating its potential as a stress indicator. The easy-to-attach design improved usability and signal reproducibility. This system supports motion artifact reduction and physiological analysis, and is expected to contribute to stress monitoring in group-housed cattle on farms.

研究分野：生体情報計測

キーワード：ストレス見える化 ウェアラブルセンサ 生体情報計測 心拍間隔変動値 脈拍間隔変動値 体動ノイズ 畜産

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

畜産において疾病を予防するためストレスをかけない飼養管理は重要である。疾病を予防するには個体ごとにストレスを軽減・緩和させる必要があり、個体ごとのストレスの見える化が必要である。

臨床研究では、心電計を用いたストレス反応計測が行われており、ストレスの大きな個体ほど疾病にかかりやすい。心電計を用いた方法は疾病とストレスとの関係性を明らかにするには非常に有効な方法ではあるが、心電計の電極を取り付けるためには胸部を剃毛し胸部を一周するテーピングを行わねばならない。ウシへのストレスや取り付けの手間も多大で、農場で日常的に使用するには適さない。この課題に対し、研究代表者らはウシの尾根部にある被毛の薄い部位に着目し、そこに光電式脈波センサ (Photoplethysmographic: PPG) を装着することで、非侵襲的かつ簡便にストレス反応を計測できることを示した。本手法は、センサ端末を短時間で装着できる点で現場適用性が高い。一方で、光電式脈波センサは体動ノイズに弱く、実際にストレス反応を安定的に計測できるのは、1日あたり数十分程度に限られるという課題がある。よって、PPG センサを畜産現場に実装するためには、体動ノイズに対する技術的な対策が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、体動ノイズへの対策を行った尾根部装着型センサ端末とそれを用いたストレス反応計測システムを実現する。PPG センサを利用してヒトのストレス反応を計測する方法は以前から考案されているが、一方でその欠点は体動ノイズの影響を受けやすいことである(図1)。ヒトでは、運動中や運転など体動がある場合でもストレス反応を計測できる時間を長くするために、波長の最適化、加圧式測定法により SN 比を向上させ、その対策に取り組んでいる。本研究では、ウシの尾根部の皮膚に対して、波長および光源と受光部間の距離を最適化した薄型光 MEMS 脈波センサチップ (2mm x 3mm、厚さ 1mm) を開発する。また測定時に加圧することで SN 比は更に向上するが、腕時計のようにベルトの締結力を利用する方法は、長期間の使用では緩みが生じてしまう。そのため、測定部 (ウシの皮膚と脈波センサチップの接触部) のみに常に一定圧を付与可能な機構を有し、かつ尾根部に巻き付け可能な 5mm 以下のセンサ部を実現する。センサ部の信号から脈拍間隔変動値 (PRI) を検出する尾根部装着型無線センサ端末を試作、ストレス反応を計測するシステムを構築する。24 時間の装着試験では、PRI によるストレス評価方法と、心電計で測定される心拍間隔変動値 (RRI) によるストレス評価方法との比較試験を行い、PRI によるストレス値と RRI によるストレス値の関係性やストレス反応の計測可能時間を示す。1 カ月程度の長期装着試験では、複数頭同時測定時の無線干渉による通信エラー、長期間の使用時における定圧付与機構の圧力低下の有無について調査・検証する。

3. 研究の方法

本研究では、ウシを対象とし、3 年間で行い、本研究終了後は社会実装を目指し研究を進める。初年度から次年度において、センサ端末およびストレスモニタリングシステムの開発を行う。

ウシの皮膚の特徴 (色、表皮・真皮各層の厚み) を考慮した薄型 (3mm、厚さ 1mm 程度) 高感度な光 MEMS 脈波センサチップの開発

光電式脈波測定法は、真皮層に含まれる血管の収縮・拡張による変化を光量の変化として測定することである。ウシの皮膚はヒトの皮膚よりメラニン色素が濃いいため、メラニン色素の影響が少ない波長として、赤外領域 (波長 800nm 以上) が有効となる (Zonios et al. 2008 J. Biomed. Opt.)。加えてウシの尾根部の表皮はヒトよりも厚いため、測定深度をヒトよりも深くする必要がある。測定深度は、波長および光源と受光部間距離により決定されるが、最適な光源と受光部間距離は未だ不明である。本研究では、ウシ用の高感度かつ薄型の脈波センサチップを実現する。

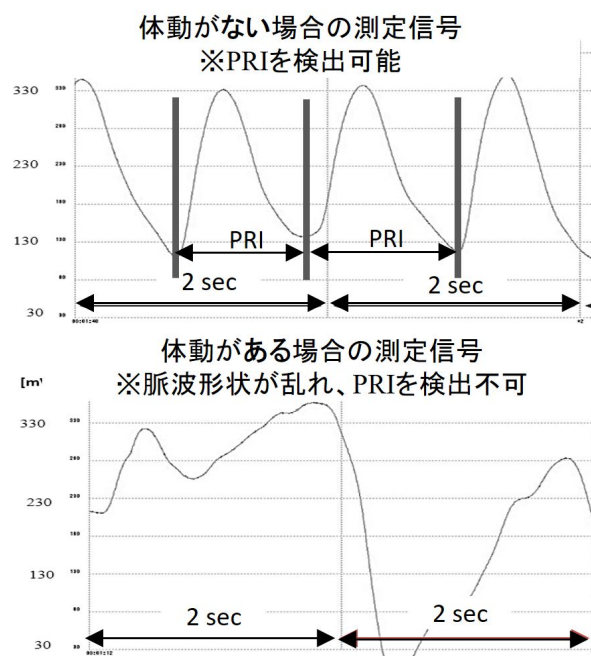


図1 体動がない場合、体動がある場合のウシにおける PPG センサの信号。

定圧付与機構（60mmHg 程度）を有した 5mm 以下のセンサ部の実現

体動ノイズに強い尾根部装着型無線センサ端末とストレス反応計測システムの構築 無線センサ端末は、センサ部（薄型光 MEMS 脈波センサチップ、定圧付与機構）と本体部（信号処理回路、演算機能、無線送信機能）から構成する。研究代表者が参加していた革新的技術開発緊急展開事業うち人工知能未来農業創造プロジェクト「AI を活用した呼吸器病・消化器病・周岐疾病の早期発見技術の開発」（H29～H31）；（AI 農業研究）にて、本体部はすでに試作を終えている。新たに開発するセンサ部とこの本体部を使用して、体動ノイズに強い尾根部装着型無線センサ端末を実現する。最終年度では、ウシにおいて試験を行う予定である。

短期試験によるストレス反応計測システムの評価

ウシにおいて、24 時間の短期装着試験を行う。黒毛和種を使用する理由は、皮膚の色が黒い品種の一つであり、黒毛和種で測定可能であれば他の品種でも測定できるためである。心電計で測定される RRI によるストレス評価方法は、最も正確にストレス反応を計測でき体動にも強く、24 時間の測定が可能である。本法との比較試験を行い、尾根部装着型センサ端末で測定される PRI と RRI の関係性、PRI によるストレス値と RRI によるストレス値の関係性、ストレス反応の計測可能時間を示す。

長期試験によるストレス反応計測システムの評価

1 カ月間の長期装着試験を行う。複数頭同時測定時の無線干渉による通信エラー、長期使用時における定圧機構の圧力低下の有無等、農場での使用時における課題について調査する。

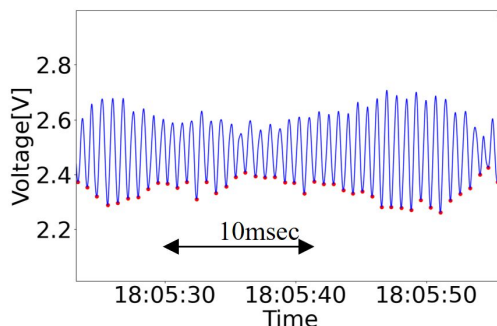
4. 研究成果

近赤外領域の波長の光源を使用し、測定部（ウシの皮膚と脈波センサチップの接触部）のみに常に定圧を付与可能な機構をバネの復元力を用いた装着帯を実現した。ウシでの装着試験において、取り付け取り外しを複数回検証した。この結果、明瞭な脈波信号が常に確認できた。また、これまで脈波信号が確認できるまで数十分ほど時間を必要とすることもあったが、本実験においては、取り付け取り外しを 30 秒程度で行うことができ、かつ取り付け直後に脈波信号が確認できるようになった。農場での使用を考慮した場合に、優位性は大きい。

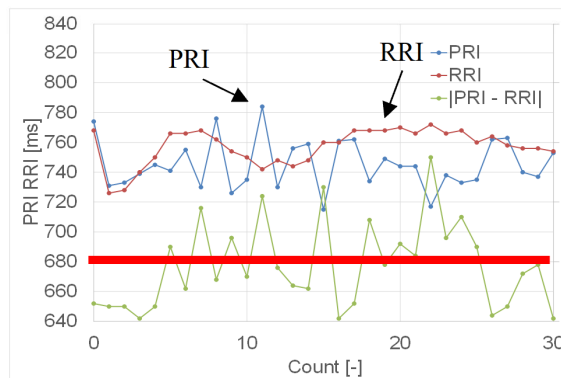
また、体動への影響により検出精度が低下することがわかっているため、レーザドップラ式血流計を用いた体動除去アルゴリズムの開発を行っている。この開発では、センサ部の小型化、体動による影響の低減を確認できている。

脈波信号と体動ノイズとの関係性の追究、脈波信号から体動ノイズを除去する方法を調査するため、新たな実験環境の構築が必要となった。この実験では、脈波信号を有線接続にて 1000Hz で保存するため、ウシが体位を変えた場合でも断線することがないように、伸張性を担保した計測方法を実現した。体動との比較方法として、無線式加速度センサを利用、尾根部と胸部に取り付けることのできる治具を試作、計測を可能とした。またビデオカメラによる体動計測も行った。実験の結果、最も安定した区間において、PRI（脈拍間隔変動値）と RRI（心拍間隔変動値）との差が 20msec 程度となる良好な結果を得ることができた（図 2）。数時間程度であればどのウシでも計測可能であったが、一方で、実験中の断線により一週間測定できない場合が多く発生した。

実績として、定圧付与機構一体型脈波センサ部において明瞭な脈波信号を検出できるようになったため、PRI 検出アルゴリズムの改良も必要となることが分かった。新たな PRI 検出アルゴリズムを脈波信号に適用した結果、一定区間において RRI との差が 20msec 程度となった。計測時間を増やすことにより、脈波センサでもストレス反応計測が十分可能であることが示唆されている。一方で、従来 AI 農業研究において試作されたセンサ本体部（信号処理回路、演算機能、無線通信機能を内蔵）は、本研究で得られた高 S/N 比の脈波信号に対して演算性能が不十分であることが判明した。その結果、高精度な PRI 検出には対応できず、本体部の使用は困難となった。



(a) 最安定記録区間のウシの脈波信号



(b) PRI と RRI の比較したグラフの一部。30 秒間にお PRI と RRI の差が 20msec 以内となるものは 50% であ

図 2 ウシにおける定圧付与機構を有した PPG センサによる測定結果

このため、無線通信機能の使用を中止し、信号処理回路のみを活用した有線接続方式へと切り替えて実験を継続している。また、センサ端末の設置安定性やデータ取得の信頼性を高める観点から、測定対象を仔牛から成牛へと変更した。心電図との比較検証および体動との関係性を明らかにすることが本研究の重要な目的であるため、この変更による支障はないと考えている。

最終年度では、有線接続による通信断の影響で一夜間の連続測定ができず、比較検証に必要な長時間データの確保が困難であるという課題に取り組んだ。この課題を解決するため、新たに尾根部に装着可能な圧力付与機構一体型の脈波センサ端末を開発した。本端末では、脈波信号を尾根部に設置した小型ロガーに直接記録する方式を採用し、ケーブル断線による記録中断リスクを大幅に低減した。さらに、同型の小型ロガーを用いた心電計も開発し、脈波信号（PPG）と心電波形（ECG）を同期的に計測可能なシステムを構築した。これにより、PRI（脈拍間隔変動値）とRRI（心拍間隔変動値）の高精度な比較が可能となり、信頼性の高いストレス指標の評価を実現した。

実験では、一夜間にわたる長時間かつ安定した生体信号の取得に成功している。特に、ある条件下においてはPRIの変動傾向がRRIと強く相関していることを確認し、さらに脈波波形の形状を利用することで体動ノイズ除去を行うアイデアが提案されている。

一方で、計画していた1カ月間の長期装着試験については、複数頭同時測定における無線干渉の検証や、定圧付与機構の圧力低下など、農場での実運用時に想定される課題への評価を実施するには至らなかった。本研究により、高品質なデータが取得可能なセンサシステムを構築し、それに基づくPRIとRRIの定量的比較やアルゴリズム開発を行うための環境が整備されたことは、今後の発展における重要な成果である。今後は、より実用性と有意性の高い指標の抽出、およびそれを活用したストレス評価アルゴリズムの高度化を推進していく予定である。

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 Hiejima Takumi, Nogami Hirofumi, Saito Aya, Ban Kazuyuki, Bandara D.S.V., TAKIGAWA Ryo, Arata Jumpei	4. 巻 -
2. 論文標題 Non-wearable pulse rate measurement system using laser Doppler flowmetry with algorithm to eliminate body motion artifacts for masked palm civet (<i>Parguma larvata</i>) during husbandry training	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acc8df	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9件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 藤本貴久、比江島拓己、荒田純平、D.S.V. Bandara、野上大史
2. 発表標題 生体情報の取得を目的とした光MEMSセンサの構造検討
3. 学会等名 第38回エレクトロニクス実装学会春季講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hirofumi Nogami, Takahisa Fujimoto, Takumi Hiejima, Aya Ono, Kazuyuki Ban, Danwatta Sanjaya Vipula Bandara and Jumpei Arata
2. 発表標題 THIN LASER DOPPLER FLOWMETRY WITH A CONTACT FORCE SENSOR FOR MASKED PALM CIVET (<i>PARGUMA LARVATA</i>) DURING HUSBANDRY TRAINING
3. 学会等名 BIO4APPS 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mikihisa Ogata, Chen-Yu Huang, Tomoki Kojima, Hiroshi Ishizaki, Satoshi Haga, Takahiro Aoki, D.S.V. Bandara, Jumpei Arata, Ken-ichi Yayou, Masayoshi Kuwahara, Hirofumi Nogami
2. 発表標題 CATTLE R-R INTERVAL AND PULSE RATE INTERVAL
3. 学会等名 BIO4APPS 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 緒方 幹久, 野上 大史, 黄 宸佑, 兒島 朋貴, 石崎 宏, 芳賀 聡, 滄木 孝弘, D.S.V. バンガラ, 荒田 純平, 桑原 正貴, 矢用 健一
2. 発表標題 ウシのストレスモニタリングを目的とした脈波測定方法の確立
3. 学会等名 第 40 回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野上 大史
2. 発表標題 動物のストレスを可視化するウェアラブルセンサ
3. 学会等名 テックプランター-2023 アグリテックグランプリ2023 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野上大史
2. 発表標題 ウシ疾病予防のための荷重付与機構一体型ストレスセンサ端末
3. 学会等名 第37回エレクトロニクス実装学会春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Takumi Hiejima, Hirofumi Nogami, Aya Ono, Kazuyuki Ban, Ryo Takigawa, D. S. V. Bandara and Jumpei Arata
2. 発表標題 Non-invasive Heart Rate Measurement System Using Laser Doppler Flowmetry and Load Sensor for Husbandry Training
3. 学会等名 MNC2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野上大史
2. 発表標題 動物のストレスを可視化するウェアラブルセンサ
3. 学会等名 第9回熊本テックブラングランプリ
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Hirofumi Nogami
2. 発表標題 Wireless photoplethysmographic sensor nodes designed for wear on a cow's tail
3. 学会等名 AIS- I3S 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	矢用 健一 (Yayou Kenichi) (40343967)	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・研究領域長補佐 (82111)	
研究分担者	兒嶋 朋貴 (Kojima Tomoki) (80781145)	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・研究員 (82111)	

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
---------	---------