

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24248044

研究課題名(和文)牛消化器疾病早期摘発のための無線ルーメンセンサ・ネットワークシステムの開発

研究課題名(英文)Development of Wireless Sensor Nodes and Network System for Early Detection of Cattle's Digestive Diseases

研究代表者

伊藤 寿浩 (ITO, Toshihiro)

独立行政法人産業技術総合研究所・集積マイクロシステム研究センター・副研究センター長

研究者番号：80262111

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,600,000円

研究成果の概要(和文)：ルーメン収縮運動が、ルーメンあるいは第二胃内に留置した加速度センサで検出できることを実験的に明らかにするとともに、連続動作寿命3年以上、直径23 mm×長さ70 mmの、加速度センサと温度データを無線送信することができるアクティブ型の小型経口投与型ルーメンセンサ端末を開発した。また、この端末からの無線データを95%以上の確率で受信できるシステムを開発し、3か月以上の複数頭の実証実験により、鼓腸症などのルーメン機能異常による運動障害の監視が可能であることを示すことができた。

研究成果の概要(英文)：It has been experimentally found that micro-accelerometer placed in rumen or reticulum can detect rumen motility effectively. Bolus type rumen sensor nodes with 23 mm in diameter and 70 mm in length that can send their own acceleration and temperature in wireless transmission have been developed. A receiving system with reception of 95% or over has also been realized. 3 months field experiments of several cattle utilizing the rumen sensor nodes and system have demonstrated that rumen motility disorder originated from rumen diseases such as rumen tympany can be continuously monitored.

研究分野：マイクロシステム集積化学

キーワード：リモートセンシング

1. 研究開始当初の背景

(1) 我が国の畜産の総産出額は約 2 兆 5 千億円 (平成 21 年) で、農業総産出額 (約 8 兆円) の 31% を占める重要な産業である (生産農業所得統計, 農林水産省 2011)。畜産の生産性向上を図るための技術として家畜への濃厚飼料 (麦、トウモロコシなど) 多給技術がある。牛への濃厚飼料多給技術は、肉用牛の成長を早め、乳牛の乳量を大幅に高める。しかし、この方式は牛の第一胃 (ルーメン) 内環境の恒常性に破綻 (異常発酵) をきたすことが多く、ルーメンアシドーシス、鼓脹症、胃腸炎などの消化器病を中心とした生産病と呼ばれる生産過剰に伴う疾病の増加を招き (新井, 日本飼養標準肉用牛, 2008) 我が国では消化器病による牛の死産頭数が年間数万頭 (乳用牛: 25,153 頭・肉用牛: 18,488 頭 平成 21 年度; 家畜共済統計表, 農林水産省 2010) に及ぶ多大な経済的損失を与えている。これらルーメン障害を主徴とした牛の消化器病を早期に発見するためには、日々変化している個々の牛のルーメン機能を労力をかけず低コストで自動的にセンシングできる技術の開発が必要である。

(2) 牛の消化器病の発症は、肉牛では濃厚飼料を多給する肥育期間 (2~3 年間)、乳牛では分娩後の泌乳期間 (3 年程度) に多発するため、ルーメン機能のセンシングは少なくともこれらを監視できる期間、すなわち 3 年程度の連続計測が出来るセンサ端末の開発が産業上必要となる。

2. 研究の目的

(1) ルーメン機能に関わるセンシングデータを無線送信することができるアクティブ型のメンテナンスフリー経口投与型ルーメンセンサ端末と、データを高い信頼性で受信・解析してルーメン機能異常を自動検知するシステムを開発する。

3. 研究の方法

(1) 温度と加速度を測定可能な無線ルーメンセンサ端末を試作 (長さ 7cm、直径 27~30mm、測定頻度 1 回/秒、重量密度 1.1~2.0g/cm³) し、ルーメンフィステル (牛のルーメン部に外科的に取り付けられた窓) より直接ルーメン内に投入して、センサ端末の持続的留置に必要な条件を検討するとともに、ルーメン内の端末と受信機との無線通信性能評価試験を行った。

(2) 持続的に留置可能なルーメンセンサ端末を供試牛に投与、投与後 1 カ月後に病理解剖を行い、消化器粘膜への影響、ルーメンセンサが留置されている解剖学的な位置関係を調査するとともに、測定された加速度データよりルーメン内でのセンサの運動を解析した。

(3) ルーメン収縮運動を直接導出するためにルーメン漿膜面に Force Transducer (FT) を外科的に縫着したホルスタイン種成牛を準備して、この供試牛にルーメンセンサを投入し、ルーメン内容物の流動性 (ルーメンセンサの加速度データ) と FT 法によるルーメン収縮運動の関連性を解析した。また実験的に塩酸キシラジンを供試牛に投与して、牛のルーメン運動を停止させることにより、鼓腸症を再現した。

(4) ホルスタイン種成牛を用いて、3 カ月以上の長期試験を複数頭数で実施、日内変動試験 (24 時間の動画撮影を行い牛の行動によるデータの変化の調査)、長期間の無線通信性能評価試験を行い、センサに求められる性能などを検討した。

(5) これまでのルーメンセンサ端末の評価試験、実験結果により得られた知見をもとに、実用型 (普及型) センサ端末の設計、試作を行った。

4. 研究成果

(1) 図 1 左図に示すセンサを使った実験により、センサの重量密度を 1.3g/cm³ 以下にした場合は投与 3 日後には糞中に排泄され、1.5g/cm³ では投与 37 日後に排泄され、1.8g/cm³ 以上では持続的にルーメン内に留置されることが明らかになった。

またルーメン内の端末と受信機との無線通信性能評価試験 (図 1 右図) において、無線給電電力 10dBm、送信アンテナからの出力 2.9dBm 時、受信アンテナでの受信強度は 16dB 以上を確保でき、実用的な受信率 (95%以上) を得ることが可能であることが判明した。以上により、牛のルーメン内での持続的モニタリング法およびルーメン内流動性解析を行



図 1 ルーメンセンサと無線通信性能評価試験

うための基礎技術を確立した。

(2) センサ投入の 1 ヶ月後に供試牛 6 頭を病理解剖したところ、ルーメンセンサは主に第二胃内に留置 (5/6 頭) されており、第一胃腹囊に留置 (1/6 頭) される場合もあった。以上から、ルーメンセンサは第一胃及び第二胃を移動しながら留置されていると考えられる。また第二胃の粘膜面に軽度のびらんが認められ、センサによる粘膜面への物理的な刺激の影響が示唆されたが、その程度は軽微

なものと考えられた。

センサの運動を短軸方向の運動と長軸方向の運動とに分けて解析を行った。短軸方向への運動は数秒間周期の大きな運動（加速度の変化）と、1～2時間かけて円周方向に転がる運動（図2）が観察された。長軸方向では円周方向への運動と同様に数秒間周期の大きな運動（加速度の変化）とともに、センサの長軸が垂直方向から水平方向に変化する運動が観察された（図3）。数秒間の大きな運動はルーメン収縮運動に同期する運動と考えられ、（3）において従来法（FT法）との比較をおこなっている。第胃二位内容物が比較的流動性が高いため、センサの運動はルーメン内に留置される位置（例えば、第二胃にあるのか、第一胃にあるのか）により、異なると考えられる。ルーメン機能障害の病態発現メカニズムを解明するためには、センサの位置とその運動の関連性を明らか

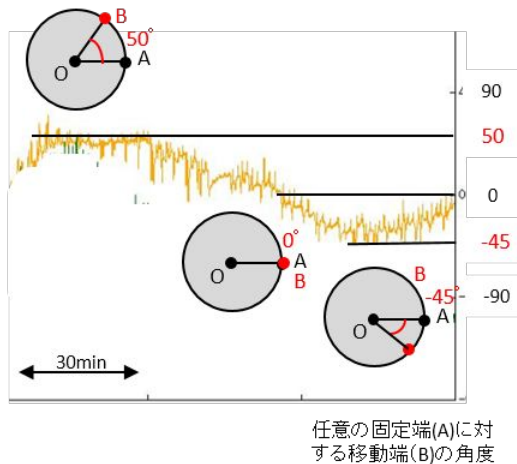


図2 センサの短軸方向の運動

にすることが重要である。

(3) ルーメンセンサから得られるルーメン内容物の流動性（加速度）の変化は、ルーメン収縮運動が起こるとほぼ完全に同調して発生することから、ルーメン内容物の流動性測定によってルーメン収縮運動が検知できることが明らかになった。また鼓脹症再現試験では、FT法により健康な牛で確認されていたルーメン収縮運動は、塩酸キシラジン投与後に停止し、ルーメンセンサから得られる流動性（加速度の変化）も同調して停止するこ

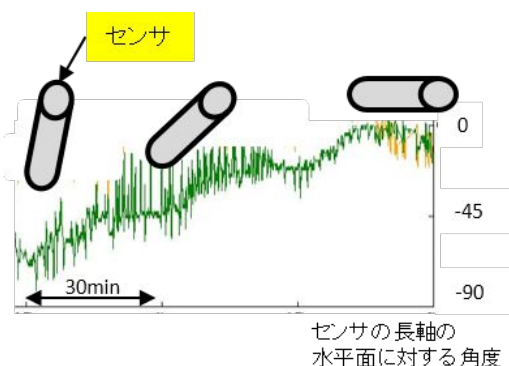


図3 センサの長軸方向の運動

とが確認できた（図4）。以上のことから、ルーメン内容物の流動性（加速度の変化）を評価することで、ルーメン収縮運動を検知する技術と、鼓脹症やルーメンアトニーなどの胃運動障害を非侵襲的に早期に検出できることが可能であることが示された。これらの試験は5頭の供試牛において実施、再現性も確認された。

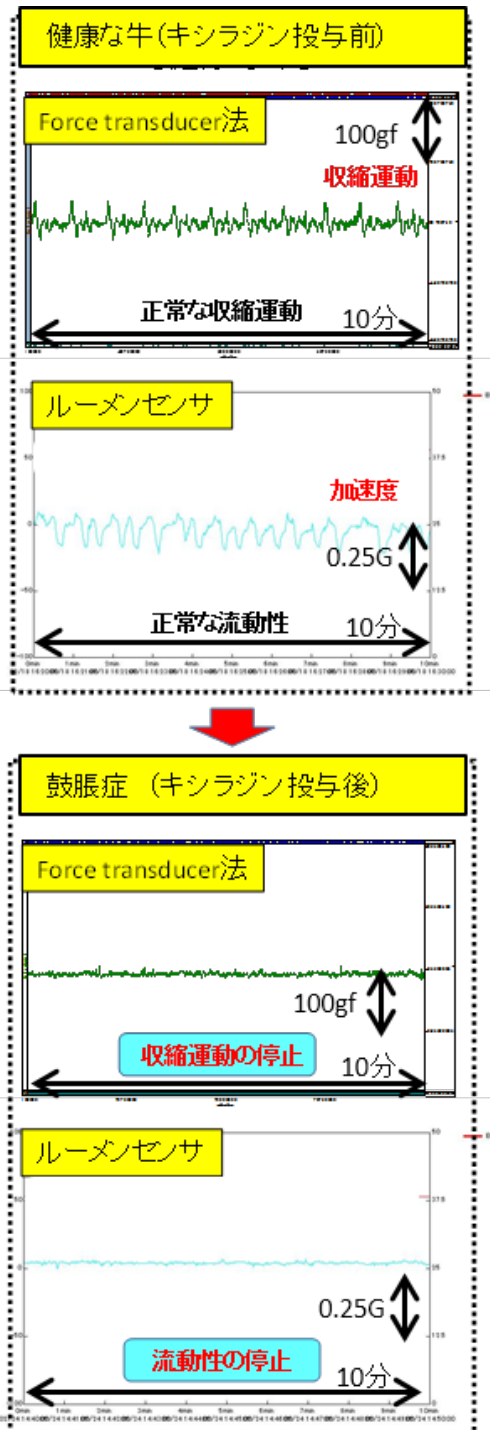


図4 ルーメンセンサとFT法との比較
上：健康な牛（塩酸キシラジン投与前）
下：鼓脹症（塩酸キシラジン投与後）

(4) 日内変動試験において、ルーメンセンサの温度は、概ね 37 後半から 39 の範囲で

推移しているが、飲水行動時に一時的に 1.5 ~ 4 程度低下することが観察された(図 5)。飲水量や、あるいはセンサが留置されている位置によって低下する温度に差が生じていると考えられる。また低下後、元の温度近くに返るには、早い場合で 30 分程度を要した。以上より、ルーメンセンサに求められる温度の測定範囲は、34 ~ 40 であり、測定間隔は 15 分以下であれば飲水行動を判別可能である。

採食、反芻、休息の行動時では、ルーメンセンサから得られるルーメン内容物の流動性(加速度)の変化は、その波形形状が異なることが示されている(図 6)。動加速度は、

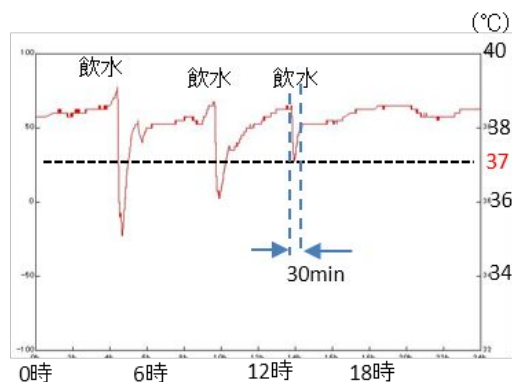


図 5 飲水時のルーメンセンサの温度変化

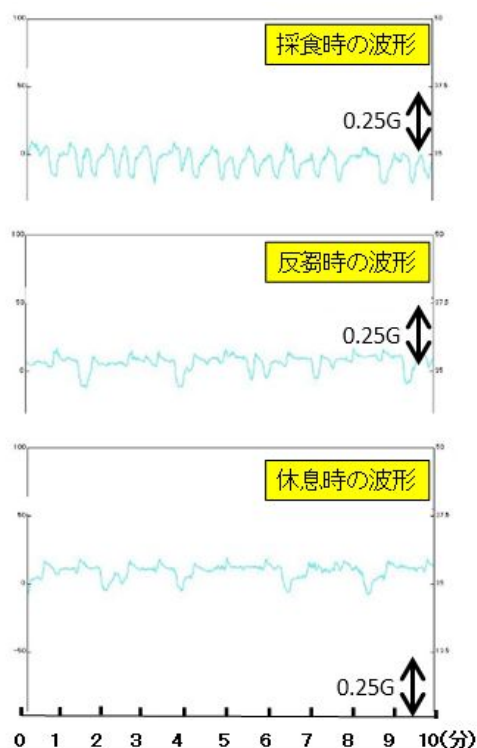


図 6 採食時、反芻時、および休憩時のルーメン内容物の流動性波形

採食時において最も高く、 $4.7\text{m/s}^2 \sim 7.0\text{m/s}^2$

程度であり、反芻、休息の順に低くなることが示された。また、牛が立ち上がる時や、座るときには大きく加速度が変化しており、その時にはセンサの姿勢も大きく変化していた(図 7)。ルーメン運動以外に起因する運動と区別する必要であることがわかった。以上より、加速度センサには、センサの姿勢を判別するための静止加速度と、ルーメン収縮運動を解析するための動加速度を測定する必要がある。

長期間の無線通信性能評価試験において、無線データの 3 カ月以上の受信に成功しており、長期間の使用においても問題がないことが確認された。

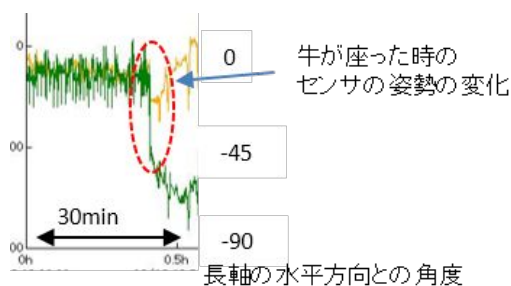


図 7 牛が立った状態から座った時のルーメンセンサの長軸方向の変化

(5) これまでの知見より実用型(普及型)センサ端末の設計、試作を行った。演算処理回路・信号処理回路を有するメイン基板サイズ $12\text{mm} \times 33\text{mm}$ であり、アンテナ基板サイズ $7\text{mm} \times 33\text{mm}$ である。バッテリーには、リチウム塩化チオニルバッテリー(サイズ: $14.55\text{mm} \times 25.15\text{mm}$, 電池容量: 1200mAh)を使用すると全体のサイズは、 $23\text{mm} \times 70\text{mm}$ となった。また無線送信頻度を 60 秒に 1 回(無線給電電力: 10dBm 、送信方法: 5 秒に 1 回のルーメン運動のデータおよび 1 分に 1 回の温度のデータの一括送信)としたとき、理論端末寿命は 3 年以上となり、長期間使用可能な小型経口投与型ルーメンセンサ端末となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

野上 大史、岡田 浩尚、宮本 亨、前田 竜太郎、伊藤 寿造、Wearable Wireless Temperature Sensor Nodes Appressed to Base of a Calf's Tail、Sensors and Materials、査読有、Vol.26、2014、pp. 539 - 545

野上 大史、岡田 浩尚、宮本 亨、前田 竜太郎、伊藤 寿造、Wearable and compact wireless sensor nodes for measuring the temperature of the base of the calf's tail、Sensors and Materials、査読有、Vol.25、2013、pp. 577

〔学会発表〕(計4件)

伊藤 寿浩、Application of Wireless Sensor Nodes to Livestock Health Monitoring, BioElectronics BioSensors, BioMEMS/NEMS and Applications (Bio4Apps) 2014, 2014.11.17-19、上海交通大学(上海、中国)

野上 大史、岡田 浩尚、新井 鐘蔵、前田 竜太郎、伊藤 寿浩、Minimize Wireless Sensor Node Built-in 3-Axis Acceleration Meter for Cow's Rumen Monitoring System, IEEE SENSORS 2014, 2013.11.03-05、バレンシアコンファレンスセンター(バレンシア、スペイン)

野上 大史、岡田 浩尚、宮本 亨、前田 竜太郎、伊藤 寿浩、Flexible Temperature Sensor for an early diagnosis system of pneumonia in calves, BioElectronics BioSensors, BioMEMS/NEMS and Applications (Bio4Apps) 2013, 2013.10.30-31、東京医科歯科大学(東京)

野上 大史、岡田 浩尚、宮本 亨、前田 竜太郎、伊藤 寿浩、Development of a wearable body temperature sensor for an early diagnosis system of pneumonia in cows, BioElectronics BioSensors, BioMEMS/NEMS and Applications (Bio4Apps) 2012, 2012.11.19, National University of Singapore (Singapore)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

名称：牛の第一胃鼓腸症検出方法及び第一胃鼓腸症検出システム

発明者：新井鐘蔵、伊藤寿浩、野上大史

権利者：同上

種類：特許

番号：特願 2015-23112

出願年月日：平成27年2月7日

国内外の別：国内

取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 寿浩 (ITO, Toshihiro)

独立行政法人産業技術総合研究所・集積マイクロシステム研究センター・副研究センター長

研究者番号： 80262111

(2) 研究分担者

新井 鐘蔵 (ARAI, Shozo)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・動物衛生研究所病態研究領域・上席研究員

研究者番号： 20414732

(3) 連携研究者

野上 大史 (NOGAMI, Hirofumi)

九州大学・工学研究院・機械工学部門・助教

研究者番号： 50736147

宮本 亨 (MIYAMO, Toru)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・動物衛生研究所病態研究領域・上席研究員

研究者番号： 20442808

播谷 亮 (HARITANI, Makoto)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・動物衛生研究所病態研究領域・上席研究員

研究者番号： 80355172

岡田 浩尚 (OKADA, Hironao)

独立行政法人産業技術総合研究所・集積マイクロシステム研究センター・主任研究員

研究者番号： 20574940

高松 誠一 (TAKAMATSU, Seiichi)

独立行政法人産業技術総合研究所・集積マイクロシステム研究センター・研究員

研究者番号： 20635320