

平成 21 年度 成果報告書
(地域中小企業・ベンチャー重点支援型)

「牛の発情検知システムによる繁殖農家と畜産技術者との
情報通信ネットワーク形成を目的とする研究開発」

目 次

1	研究開発課題の背景	3
1-1	研究開発課題の背景	3
1-2	研究開発の現状	3
2	研究開発の全体計画	6
2-1	研究開発課題の概要	6
2-2	研究開発の最終目標	7
2-3	研究開発の年度別計画	8
3	研究開発体制	9
3-1	研究開発実施体制	9
4	研究開発実施状況	12
4-1	装着器具ならびに牛体への装着方法の検討	12
4-1-1	研究開発内容	12
4-1-2	通信方式	12
4-1-3	広域農場の放牧にも対応可能な検知データ通信システム	12
4-1-4	出産検知にも使える検知システムの設計	13
4-1-5	発情検知精度の向上	13
4-1-6	センサー技術の開発	15
4-1-7	量産化に向けた研究開発	20
4-1-8	牧場内掲示板システム	23
4-1-9	装着ベルト	24
4-1-10	発情検知システム	30
4-1-11	分娩検知システム	31
4-1-12	まとめ	33
4-2	分娩・発情解析プログラムの研究開発	34
4-2-1	研究開発内容	34
4-2-2	発情検知のノイズ除去プログラム	34
4-2-3	牛の横臥時を乗駕と誤認知してしまうことに対するプログラム	35
4-2-4	乗駕に対する検知精度を向上させるプログラム	36
4-2-5	分娩解析プログラムの研究開発	37
4-2-6	まとめ	38
4-3	繁殖農家と畜産技術者とのネットワーク形成の研究開発	38
4-3-1	研究開発内容	38
4-3-2	テレビ会議システムの検討	38
4-3-3	サポートセンター環境整備	39
4-3-4	畜産技術者ネットワークシステムの開発	39
4-3-5	繁殖農家と地元 JA、畜産技術者とをネットワークするシステム	42
4-3-6	システムのパッケージ化による汎用化の実現	43
4-3-7	まとめ	43
4-4	情報通信ネットワークの実証試験	43
4-4-1	研究開発内容	43
4-4-2	新見市 FTTH のネットワーク実証実験	43
4-4-3	新見ネットワークセンター内で遠隔地の牧場の様子を監視できるシステム	45
4-4-4	まとめ	45

4-5	牛発情検知・分娩検知補足試験	46
4-5-1	研究開発内容	46
4-5-2	発情・分娩検知システムの牛への装着・検証実験	46
4-5-3	発情・分娩時のセンサーデータ、監視カメラ映像との照合	46
4-5-4	検出された発情時の牛の卵巣動態・排卵時間の確認	49
4-6	牛発情検知・分娩検知補足試験	51
4-6-1	研究開発内容	51
4-6-2	牛発情検知に関する補足試験	51
4-6-3	牛分娩検知に関する補足試験	52
4-6-4	まとめ	53
4-7	総括	54
5	参考資料	55
5-1	研究発表・講演等一覧	55
5-2	産業財産権	55
5-2-1	出願特許数等	55
5-2-2	公開特許一覧	55
5-2-3	登録意匠一覧	55
5-2-4	製品化	55

1 研究開発課題の背景

1-1 研究開発課題の背景

中国地方には多くの黒毛和種牛の優良系統が存在し、古くから種畜の主要な生産基地としての役割を担ってきた。また近年、消費者の安心安全な国産肉牛の需要が大きく増加して来ている。しかし国内の飼養農家の担い手不足と高齢化が一段と進んでおり、小規模飼養農家戸数は著しく減少し、素牛の生産基盤が弱体化してきているのが現状である。このような情勢の中、地域振興施策としての和牛生産対策は喫緊の課題となっている。その対策の一つとして、遊休農林地を活用した放牧や素牛生産の中核となる繁殖育成センターの設置などの例もみられるが、現状としては、農家の点在化と多頭数飼育化が起こっている。このような繁殖牛を取り巻く飼養状況の変化に伴って、飼養従事者による牛の個体観察が疎かになるなどの個体管理上の問題点が指摘されている。一方で、繁殖農家からは様々な飼養形態に対応でき、かつ省力化を加味した和牛生産効率の向上策が求められている。

また公共事業の削減などの影響から、土木建築業者など異業種から畜産業への新規参入の検討が進められている。それは100頭以上の大規模のものとなっている。島根県隠岐の島の海士町でも土木関連企業の畜産業新規参入による隠岐肉牛が高い評価を受けるという事例も出てきている。従来のような小規模飼養農家の勘と経験による畜産から、新規参入業者による大規模な畜産へ転換を可能にする技術の必要性も指摘されている。このような背景から、ITによる畜産業支援技術の早期開発及び現場普及は緊急性、重要性が極めて高いと言える。

ワコムアイティでは平成15年より岡山県新見市千屋地区においてITを活用した牛の発情検知システムの開発に取り組んできた。牛の発情を的確に検知して飼養農家に携帯メールで通報する本システムは、岡山県総合畜産センターならびに島根県立畜産技術センターなど公的機関による試験評価を重ねており、商品化の直前段階まで来ている（図1-1、図1-2）。平成19年度から民間基盤技術研究促進制度の委託研究による研究開発を開始し、平成20年度以降商品化および販売開始を目指しながら研究開発を実施するものである。



図 1-1（発情検知センサーをセットした牛の背中）

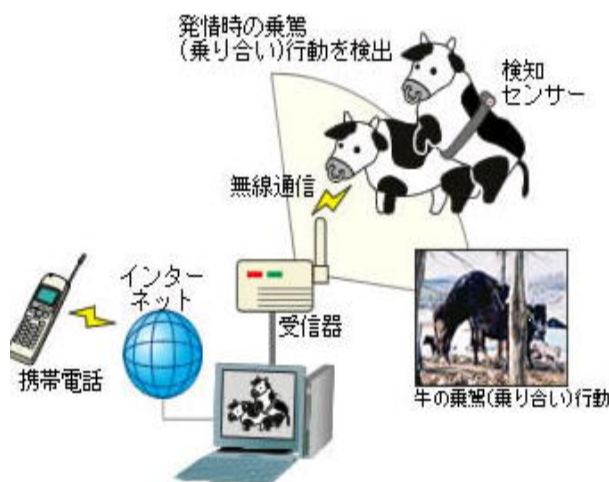


図 1-2 既開発の発情検知システム

1-2 研究開発の現状

和牛生産効率を向上させるためには、第一に発情の発見が基本かつ重要な作業である。繁殖農家の牛群管理において、発情発見は飼養従事者が管理しなければならず、また技術と労力を要し、その成否は妊娠率や空胎期間の長さなど繁殖成績に直接的に影響する。日常の飼養管理の中で発情を発見できる割合は50%程度と報告されている。（表1-1）

表 1-1

牛発情検知システム導入による効果

期待される効果	ケース1 発情検知機をつけない場合	ケース2 既存の発情検知機を付けた場合	ケース3 Witで研究開発中の発情検知機を付けた場合
分娩間隔の短縮について	個体観察が疎かになり、発情を見逃すケースが多い。その結果、分娩間隔は長期化し経済損失が拡大する。 全国平均 : 421日 岡山県 : 430日	分娩間隔は短縮されているという報告を農家から聞いているが、wit製品との比較試験はなされていない。	分娩間隔は短縮されることが新見市畜産農家で確認された。しかし、統計的な数字としては母数が少ないため、今後の公的研究機関との研究開発のなかで効果を数値化していく予定。
発情発見率について	24時間観察の場合 97～100% 日常飼育時観察の場合 56% (Laudedaleら1974年)	歩数・乗駕圧力などによる発情発見率は100%とうたっているメーカーもあるが、公的研究機関による評価では50%未満(近畿中国四国農業研究センター)	岡山県総合畜産センターによる調査レポートでは75%の発情発見率 今後の研究開発によりこれを80%以上を目標とする。
受胎率について	人工授精タイミングは発情行動開始後12時間であるが、これを見逃すケースが多い。受胎率は農家の経験や飼育形態によってばらつきがある。	発情行動開始時間が分かれば受胎率は向上する。しかしセンサーが発情行動と誤認識する場合、無駄な人工授精をする場合もある。	発情開始時間が分かることで、受胎率は向上する。また同時に遠隔監視モニターで牛の行動をチェックでき、目視によって発情行動を確認できる。誤認識の原因となるノイズ除去技術を研究開発するのも今回のテーマ。

これまで進めてきた発情検知システムは、発情兆候である乗駕行動（農家では通常雌牛だけが飼育されており発情すると雌同士が乗駕しあう行動が見られる。他牛に乗る行為がマウンティング、他牛に乗られる行為をスタンディングと呼ぶ。）を傾斜センサーと加速度センサーで確実に捉えること、様々な飼養形態に対応できること、個々に装着したツールからの情報をリアルタイムで収集・伝達することができること、の3点を備えた情報技術（IT）活用型の発情検知システムである。（図 1-3）

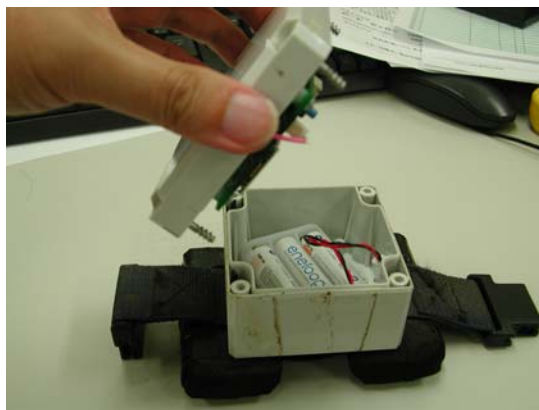


図 1-3 NICT 事業採択以前の試作モデル

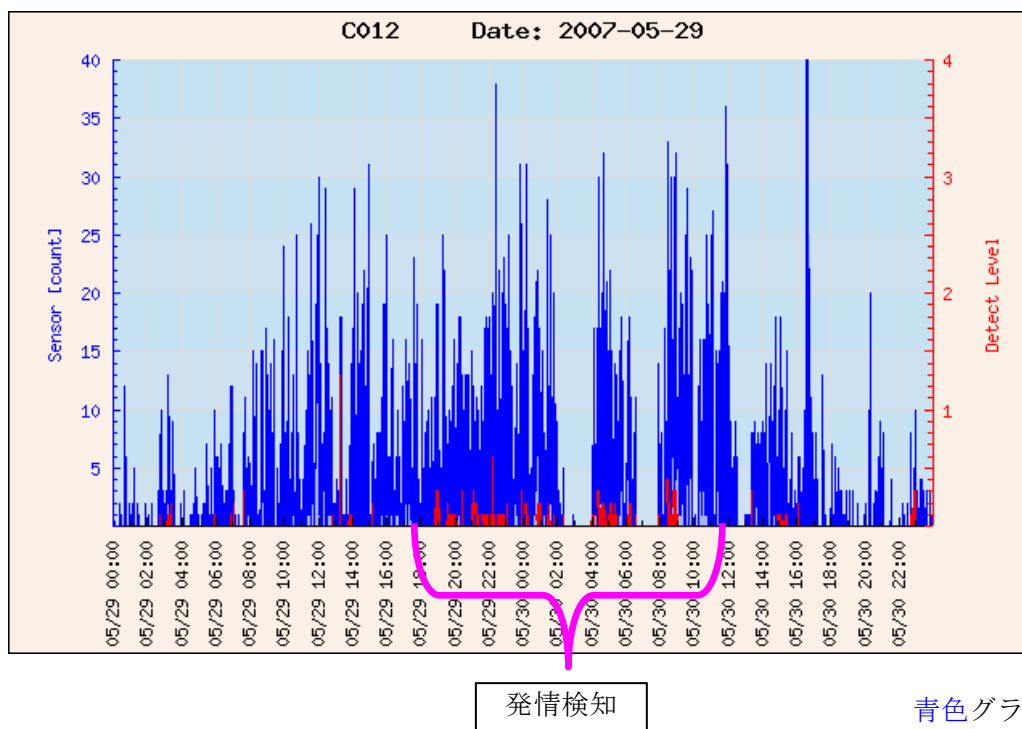


図 1-4 岡山県総合畜産センターによる評価試験

新見市（岡山県）は、平成 15 年より地域ブランド牛である千屋牛の増頭計画「千屋牛パワーアッププロジェクト事業」の一環で、「IT 利活用による畜産業振興事業」を行った。この計画立案にワコムアイティは参加しており、その中で、加速度及び振動センサーを組み入れた装置の試作を開始し、新見市千屋地区において検証を行ってきた（図 1-4）。これにより、マウンティングの検知に不可欠なセンサーを活用した発情センサーの開発が可能になる。なお、マウンティングにより発情を検知する装置ならびにセンサー保持ベルトについては特許出願中である。

（特許出願）	（発明の名称）	（出願日）
特願 2004-019162	発情検知装置	2004/1/28
特願 2005-269218	発情検知装置	2005/9/15
特願 2007-043620	センサ保持用ベルト	2007/2/23

2 研究開発の全体計画

2-1 研究開発課題の概要

繁殖農家・農場において発情発見は基本的かつ重要な作業である。繁殖農家・農場の牛群管理プログラムにおいて、“発情”の発見は人間が管理すべき事項で、その成否は妊娠率や空胎期間の長さにダイレクトに影響することから、様々な商品が考案されてきた。たとえば牛の臀部にペンキを塗っておき、発情した牛が乗駕することでペンキがはげたり、相手側の牛の胸部にペンキが付着したりすることで発情を見るといった原始的な手法もとられている。

しかし、①乗駕行動を確実に捉えること、②様々な飼養形態に対応できること、③個々に装着したツールからの情報をリアルタイムで収集・伝達することができること、この3点を兼備した“IT活用型”の発情検知システムは現在、見あたらない。実用に耐えうるレベルの発情感知精度を有するツールとITを組み合わせたシステムを開発・商品化することによって、地域の畜産業の振興に資すること、ひいては全国的な波及効果を目指すことがこの研究の目的である。

近年、消費者からは安心安全な国産肉牛の需要が増加しているのに対して、繁殖・飼養農家の担い手不足と高齢化が一段と進んでおり、小規模農家戸数は著しく減少している。逆に公共事業の削減から土木建築業者など異業種から畜産業への新規参入の検討が進められている。それは100頭以上の大規模のものとなっている。このように小規模農家の勘と経験による畜産業から、ITなど様々な先進技術を活用した大規模な畜産業へと変化しようとしているのが現状である。

ワコムアイティでは平成15年より岡山県新見市千屋地区においてITを活用した牛の発情検知システムの開発に取り組んできた。これは牛が発情時に見せる雌牛同士による特異な乗駕行動（マウンティング：他牛に乗る行為、スタンディング：他牛に乗られる行為）を傾斜センサーと加速度センサーで捉える技術である。今回の研究開発は発情検知の精度を向上させ、商品化に向けた課題解決をする。

今回、開発を進めている発情検知システムは発情を75%と高い確率で検知(*注)することが可能（岡山県畜産技術センターによる評価）であることが報告されており、将来性が期待されている。また本システムは、発情牛の情報を共有化することで繁殖農家や人工授精師、公立畜産センター研究者などの畜産技術者をインターネットや携帯電話を利用して広域の情報通信ネットワークを形成することを最終目標としている。

本事業で開発を進めているシステムは、①分娩検知②CPU内蔵式発情検知センサー③健康管理システム④GPS放牧牛管理システムへの発展も目指している（表2-1）。

表 2-1 本システムの発展（段階）

①分娩検知	開発中のシステムを活用した分娩検知の予備試験を行っており、20分娩中16例で分娩の事前検知に成功している。
②パソコンを使わないCPU内蔵式発情検知センサー	牛に装着するシステム単独で発情を検出し、授精適期を通知するシステムが出来れば、安価で小頭数飼育農家でも導入が可能となる。さらに、通信機能を付加し、ステーションでの一体管理が出来れば、地域型のシステムが構築できる。
③脈拍、体温、筋電センサーの賦課による健康管理システムへの発展	胴体ベルトで背中にセンサー格納部を取り付けるので、発情検知や分娩検知の他に健康管理のための機能を組み込むことで総合的な牛健康管理システムに発展が期待できる。
④GPSを組み込んだ放牧牛管理システムへの発展	同様にセンサー格納部分にGPS機能を組み込めば、放牧牛の位置情報が把握可能であり、大規模牧野における放牧牛の繁殖管理や健康管理に活用が期待できる。GPS放牧牛管理システムへの発展の可能性がある。

発情検知システムの導入事例は、全国の肉牛農家戸数85,600戸、酪農農家戸数26,600戸の中でもまだ700戸程度（他社類似商品販売実績）であり1%にも満たない。より良い商品の市場投入により今後飛躍的に導入が進むものと考えられることから、本研究開発成果を利用した製品ならびにサービスの市場性は非常に大きいものと予想される。

＊注

システムの精度を高めるためには2つの方法がある。1つは誤報を減らす、もう一つは発情見逃しを減らすことである。発情検知システムでは、発情発見率が高く、正答率が高い（誤報率が低い）ならば、実用性が高いといえる。誤報率が高いと、システムの発情の検出の都度、人工授精師さんに来てもらい発情かどうかを確認し、真の発情であれば人工授精し、偽りの発情であれば、無駄足になり、出張料金のみ発生することになる。正答率が高ければ無駄足にならない。また、真の発情と偽りの発情が一度に多頭数いると、どの牛が発情しているのか、偽りの発情の牛も全て直腸検査し、発情牛を確認する作業が必要となる。北海道農業研究センター坂口主任研究官によれば、発情発見率80%、誤報率20%程度が実用化のレベルとされている。

発見率(%) = (真の発情検出) / (真の発情総数) × 100

正答率(%) = (真の発情検出) / (システムによる検出回数) × 100

誤報率(%) = (偽の発情検出) / (システムによる検出回数) × 100

2-2 研究開発の最終目標（平成21年12月）

平成19年12月～平成21年12月3日

・発情検知・通報のシステム化

発情検知情報を電子メール等で自動通報できるシステムの構築を進める。また、1システム（5頭分、内訳：発情センサー5個、装着器具5個、受信機、データ解析ソフト、メール通信ソフト）の価格は、8ヶ月齢前後の黒毛和種仔牛1頭分の販売価格程度（50万円前後）を目指す。また、より安価でかつ高齢者でも容易に取り扱いが可能なものとして、装着器具あるいは発情センサー本体に取り付けたLED等の発光体によって発情経過時間を通知するシステムの開発を行い、1システム（1頭分、内訳：発情センサー1個、装着器具1個）5万円程度の価格を目指す。合わせて、通信費等を含めたランニングコストの試算も行う。

・高度ネットワークの実証試験

開発した発情検知システムの有効性を現地で検証する。具体的には、農場と人工授精師等、地域の畜産技術者とのネットワークを構築し、実用化に向けた有効性を調べる。この試験は、光ファイバーによる高度ネットワーク体系の構築を目指している岡山県新見市において行う。

2－3 研究開発の年度別計画

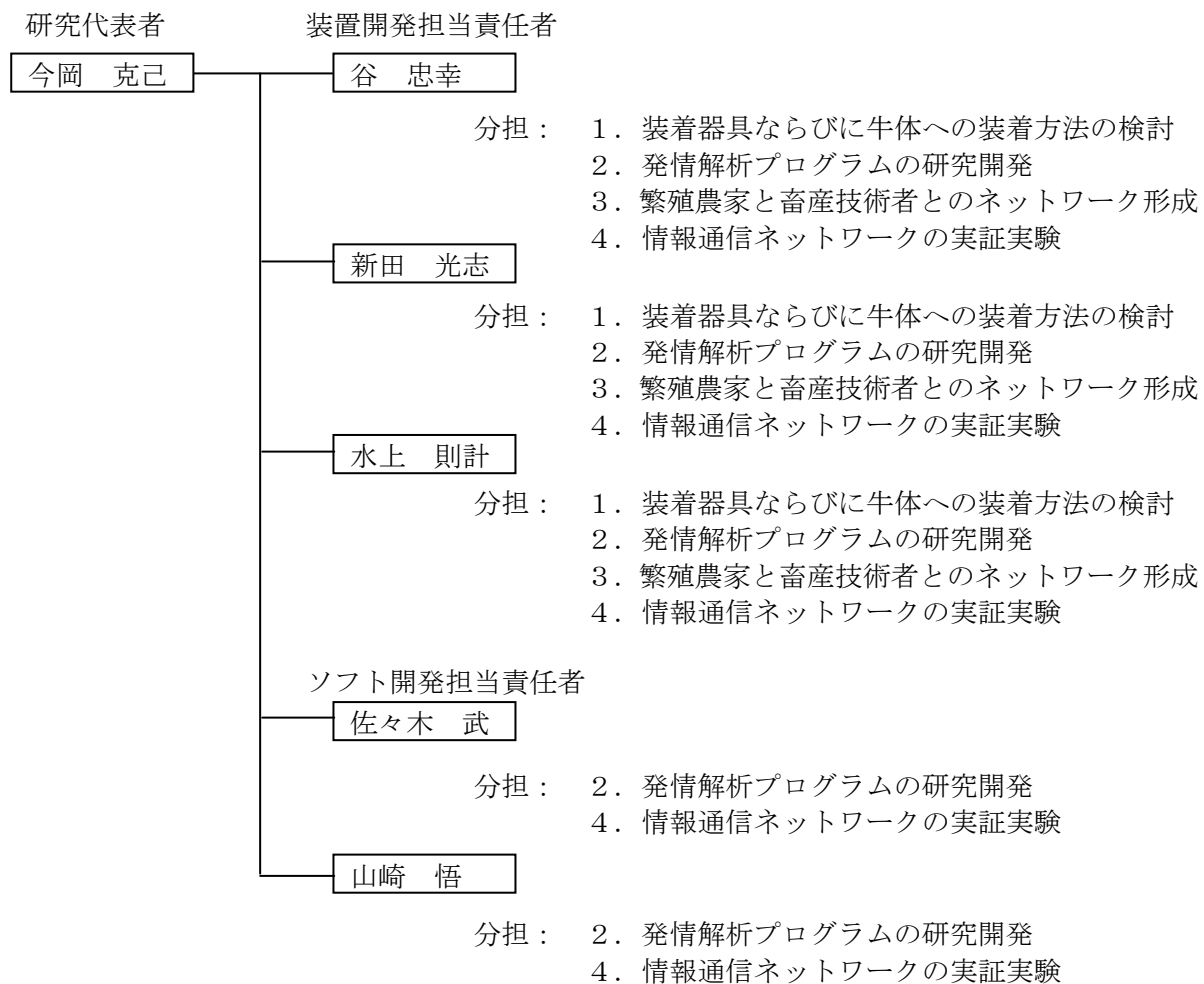
金額は非公表

研究開発項目	平成 19 年度	平成 20 年度	平成 21 年度	計	備考
1. 装着器具ならびに牛体への装着方法の検討	—	—	—	—	再委託先： 岡山県総合畜産センター 島根県畜産技術センター
2. 発情解析プログラムの研究開発	—	—	—	—	
3. 繁殖農家と畜産技術者とのネットワーク形成	—	—	—	—	
4. 情報通信ネットワークの実証実験	—	—	—	—	
5. 発情検知・出産検知補足試験		—	—	—	
6. 発情検知・出産検知補足試験		—	—	—	
間接経費額（税込み）	—	—	—	—	
合 計	—	—	—	—	

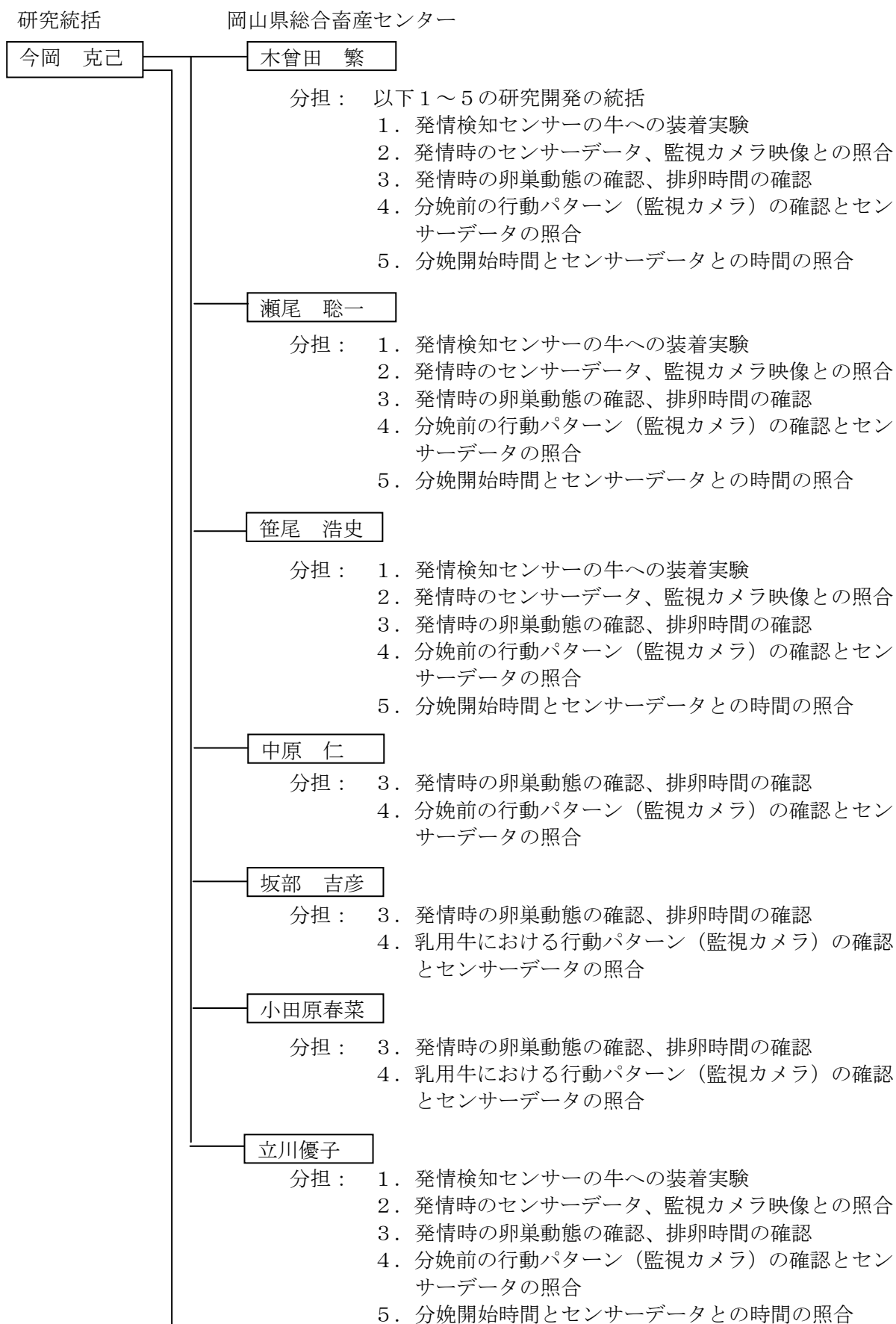
3 研究開発体制

3-1 研究開発実施体制

【ワコムアイティ社内体制】



【再委託先体制】



(次ページに続く)

(前ページより)

島根県畜産技術センター

岡崎 尚之

分担： 以下 1 ～ 6 の研究開発の統括

1. 飼養形態別の発情発見の観察および排卵時期の推定
2. 発情期における血中ホルモン濃度の経時的な測定
3. 分娩の監視
4. 分娩前からの経時的な体温の測定
5. 分娩時における兆候の観察
6. 分娩前から分娩後における血中ホルモン濃度の経時的な測定

長谷川 清寿

分担： 1. 飼養形態別の発情発見の観察および排卵時期の推定
2. 発情期における血中ホルモン濃度の経時的な測定

澤 香代子

分担： 3. 分娩の監視
4. 分娩前からの経時的な体温の測定
5. 分娩時における兆候の観察
6. 分娩前から分娩後における血中ホルモン濃度の経時的な測定

土江 博

分担： 1. 飼養形態別の発情発見の観察および排卵時期の推定
2. 発情期における血中ホルモン濃度の経時的な測定
3. 分娩の監視
4. 分娩前からの経時的な体温の測定
5. 分娩時における兆候の観察
6. 分娩前から分娩後における血中ホルモン濃度の経時的な測定

錦織 美智子

分担： 1. 飼養形態別の発情発見の観察および排卵時期の推定
2. 発情期における血中ホルモン濃度の経時的な測定
3. 分娩の監視
4. 分娩前からの経時的な体温の測定
5. 分娩時における兆候の観察
6. 分娩前から分娩後における血中ホルモン濃度の経時的な測定

4 研究開発実施状況

ワコムアイティでは平成 15 年より岡山県新見市千屋地区において IT を活用した牛の発情検知システムの開発に取り組んできた。これは牛が発情時に見せる雌牛同士による特異な乗駕行動（マウンティング：他牛に乗る行為、スタンディング：他牛に乗られる行為）を傾斜センサーと加速度センサーで捉える技術である。今回の研究開発は発情検知の精度を向上させ、商品化に向けた課題解決をし、また発情牛の情報を共有化することで繁殖農家や人工授精師、公立畜産センター研究者などの畜産技術者をインターネットや携帯電話を利用して広域の情報通信ネットワークを形成することを最終目標としている。

本研究ではこれら課題を解決するために 1. 装着器具ならびに牛体への装着方法の検討、2. 発情解析プログラムの研究開発、3. 繁殖農家と畜産技術者とのネットワーク形成、4. 情報通信ネットワークの実証試験の 4 つのサブテーマを設け平成 19 年度は「第 1 フェーズとして研究調査と試作モデルの設計」、平成 20 年度は「第 2 フェーズ、試作モデルによる評価試験」平成 21 年度は「第 3 フェーズ、エンジニアモデルによる評価試験」を行った。

4-1 装着器具ならびに牛体への装着方法の検討

4-1-1 研究開発内容

本研究における課題は、発情検知精度を高めることと出産検知への応用である。

【平成 19 年度】

(1) 過酷な環境で長期に装着された検知ユニットから安定した通信を行うための通信方式の決定、(2) 出産検知にも使える検知システムの設計、(3) 着脱が容易で牛への装着ストレスの少ない装着方法の検討を行った。

【平成 20 年度】

(1) 発情検知精度向上のため方位センサーを用いた計測、(2) センサー技術開発、(3) 量産化に向けた研究開発、(4) 装着ベルトの開発を行った。

【平成 21 年度】

(1) 広域農場でも対応可能な通信システム、(2) 方位センサーと加速度センサーの併用による発情検知精度の向上、(3) 牧場内掲示板システム、(4) 快適に装着できるベルト、(5) 発情検知システムの完成、(6) 分娩検知システムの完成、を行った。

4-1-2 通信方式 (19 年度研究)

検知ユニットとの通信方式に牧場のような広い場所での使用を想定した場合、多段階の中継が自立的に可能な ZigBee の検討を行ったが、新しい技術で実績が無く未知の部分が多いことやライセンス料金が必要なことから特定小電力無線方式を採用することとした。

一方特定小電力無線方式を採用した場合にデメリットとして通信距離や複数で運用した場合のチャンネル間の干渉と混信により発生するエラーなどの問題があった。通信距離に関しては、中継を設ける事で数 km 程度はカバー出来る。混信によるエラーは送信ユニットに時計と受信機能を設けそれぞれの送信機同士が同時に送信を行わないような仕組みを作る、などの対策を行う。

4-1-3 広域農場の放牧にも対応可能な検知データ通信システム (21 年度研究)

広域農場の放牧でシステムを運用する場合、出来る限り通信距離を伸ばす必要がある。中継による距離拡大も検討したが、今回採用した 429 MHz 帯特定小電力無線局では電波法上での制約もあり、中継の仕組み作りの難航が予想されたため、単段で出来る限り通信距離を伸ばす方向で検討した。

21 年度研究では親機のアンテナをより利得の高い物に変更し、回路定数の変更によりマッチングを取った結果、20 年度よりも通信距離を伸ばす事ができた。今後この親機を利用して中継装置の開発を行う予定である。図 4-1-3-1 にアンテナ変更前、変更後の通信距離を示す。尚、子機はどちらも同一の物を使用した。



図 4-1-3-1 アンテナ変更前後の通信距離差

4-1-4 出産検知にも使える検知システムの設計 (19 年度研究)

発情により乗駕や運動量の変化が起こり、これを検出することにより発情を検知する。出産は出産房内での回行動を行うことが知られており、この運動を検出することで出産の予想が可能になると考える。どちらも運動パターンの変化であり、同様の装置によって検出が可能と考える。出産の場合特有の回行動は方位センサーを取り付けることで容易に検出出来ると考えられる。発情検知精度を高めるためには、3 軸加速度センサーを設け斜め上方向への動きを計測することにより不完全な乗駕も捉えなければならない。3 軸加速度センサーと方位センサーと組み合わせることにより精度向上をはかることが出来ると考えられる。

(1) 3 軸加速度センサーによる予備実験

医療用に開発されている 3 軸加速度センサー (図 4-1-4-1) を牛にとりつけ、斜め上方向の動きの検出実験を行った。

使用したセンサーは株式会社医療電子科学研究所のバイタルセンサーで、牛にベルトで取り付け約 15 分間歩行を行わせ加速度を計測した。

計測結果から歩行に合わせた 3 軸の各方向への加速度を得ることができ歩行周期が特定できた。加速度センサーでは身体の傾きを検出することが出来ないが、方位センサーと組み合わせ身体の傾きと歩行パターンを解析すれば不完全な乗駕と出産の前兆を捉えることが出来ると考える。

(2) 3 軸方位・加速度センサー

株式会社シーアンドエヌ社製 3 軸方位センサーを入手しベンチテストを行った。このセンサーは方位センサーと加速度センサーが内蔵されておりそれぞれ 3 軸の出力を得る事が出来る。

大きさは 10cm×7cm×3cm で牛への装着が可能な範囲である。借用期間限定のために詳細な実験を行うことは出来なかったが、方位と傾斜の変化をパソコン画面で確認した。



図 4-1-4-1

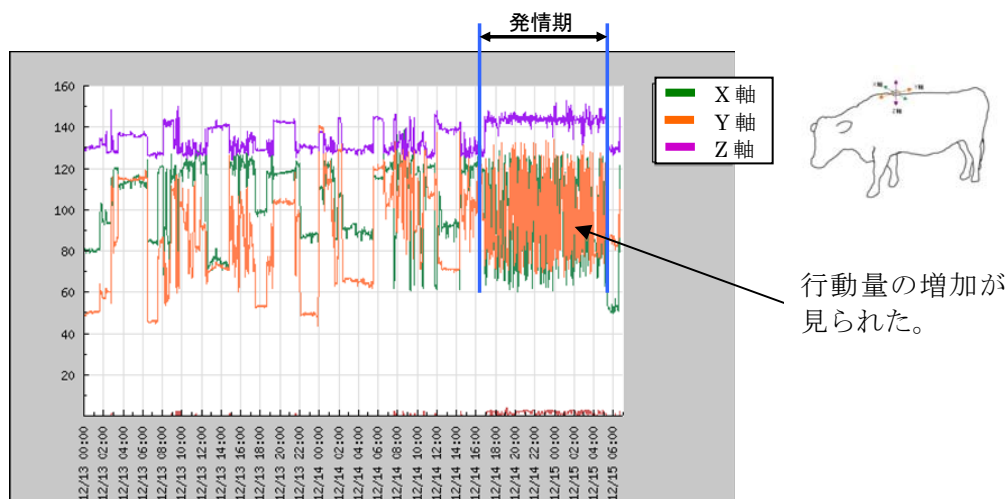
4-1-5 発情検知精度の向上 (20・21 年度研究)

(1) 方位センサーによる測定 (20 年度研究)

発情の検知精度は昨年度までの実績で 75%程度であった。今年度は発情のみではなく分娩も検知できるセンサーの開発を行った結果、振動や加速度を検知するセンサーから方位センサーを利用した行動量の変化を検知する方法に変更したことで、検知精度を再測定する必要性が生じた。図 4-1-5-1 は牛の発情時の動きを実時間で示したものである。(縦軸はセンサー出力相対値) 牛が立ち止まった時や、寝ている時は値が変化しないのでグラフはフラットになり、歩行などの動きがある時は値が変化する(線が

縦に動く)。図 4-1-5-1 を見ると前半が通常の牛の動きをとらえており、後半が発情期を示す。発情期になると牛の行動量がふえるので動きの量が激しくなることがわかる。

現在（20 年度末）のところ岡山，島根の両畜産試験場で合計 7 例の発情検知実験を行い、発情した際に 7 例とも 20 年度開発したセンサーにより行動量が増加することが検知できており、検知率は 100% といえる。ただまだ実施数が少ないため、引き続き実験を続けていながら検知率、正答率の向上を図る。



図の線は XYZ 軸の地磁気の変化量

図 4-1-5-1 方位センサーによる計測

(2) 方位センサーと加速度センサーによる測定（21 年度研究）

昨年度の研究で方位センサーを使い行動量をもとにした発情検知の検知率はほぼ 100%を達成したが、牛や飼育環境によって全体の行動量が異なり個体毎のデータを処理する仕組みが必要となる。これに対応する為にはパソコンを使用し個体毎のデータを蓄積・管理できるデータベースを構築して処理すれば検知可能であるがデータ量は膨大となる。今回はスタンドアローン型のシステム構築を念頭に置いたため、メモリや処理能力、またユーザーインターフェースの制約から実現が困難であった。

そこで加速度センサーによる乗駕の検出と行動量の増加を組み合わせる事でデータ量の削減と検知アルゴリズムの簡略化を図り限られたハードウェアで検知を実現すると共に正答率の向上を念頭に実

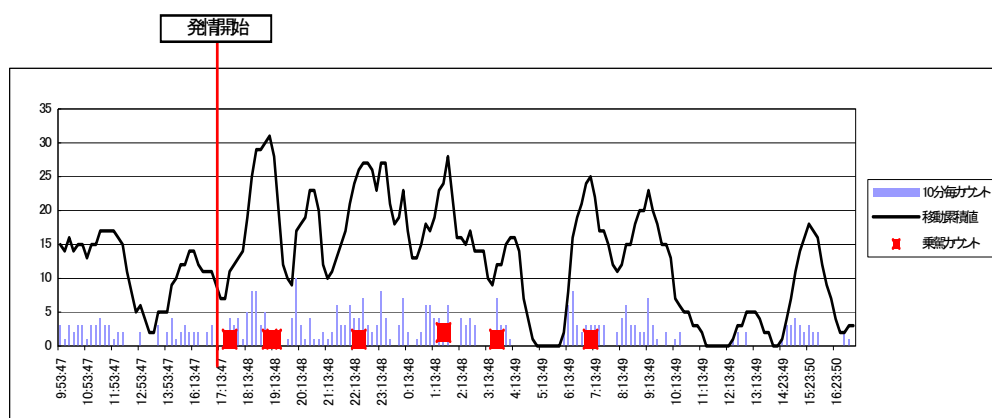


図 4-1-5-2 方位センサーと加速度センサーによる計測

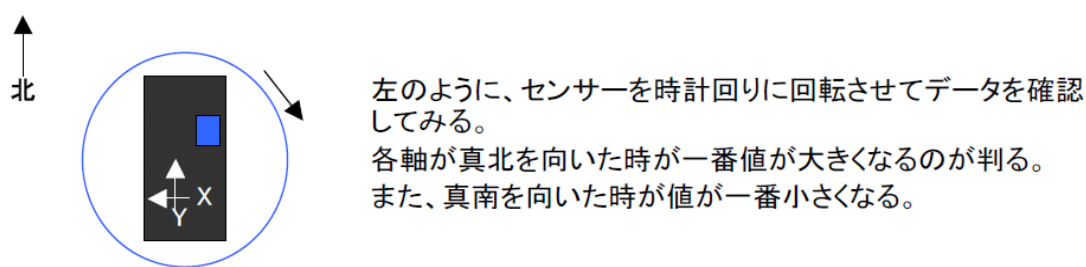
験を行った。行動量については従来通り方位センサーを利用した。乗駕検出は加速度センサーを使用し乗駕行動の検出に特化したアルゴリズムを子機に実装し親機にカウント値を送る仕様とした。このシステムを使用して取得した牛の発情時のデータを図 4-1-5-2 に示す。図のよう行動量の増加と乗駕カウント値に相関関係が認められる。乗駕行動は牛の発情時に見られる特有の行動で行動量のデータに組み合わせることでデータ量の効率化と検知率の向上が期待される。詳細は「4-2 項」を参照のこと。

4-1-6 センサー技術の開発（20年度研究）

（1）検知の原理

牛の発情時に現われる行動量の変化を捉えるため非接触（電気的な接点を持たない）で行動量を検出できるデバイスを検討した結果、方位センサーである電子コンパス（地磁気の方角成分を計測するデバイス）を行動量センサーとして採用する事となった。またこれは、発情検知に加えて分娩検知にも有用性が認められた事にもよる。牛が分娩する数時間前から見られる、特有の回転行動（巣作り行動という説もある）は地磁気を測定する事により検出する事ができ（図 4-1-6-1）、分娩検知の精度向上が期待される。

牛が行動すると、方位センサーが検出する地磁気データに変化が生じる。牛の発情時に行動量が増え、地磁気データにも変化が認められれば、行動量センサーとして使用できる事になる。



センサーが回転すると下記のようなデータが出てくる

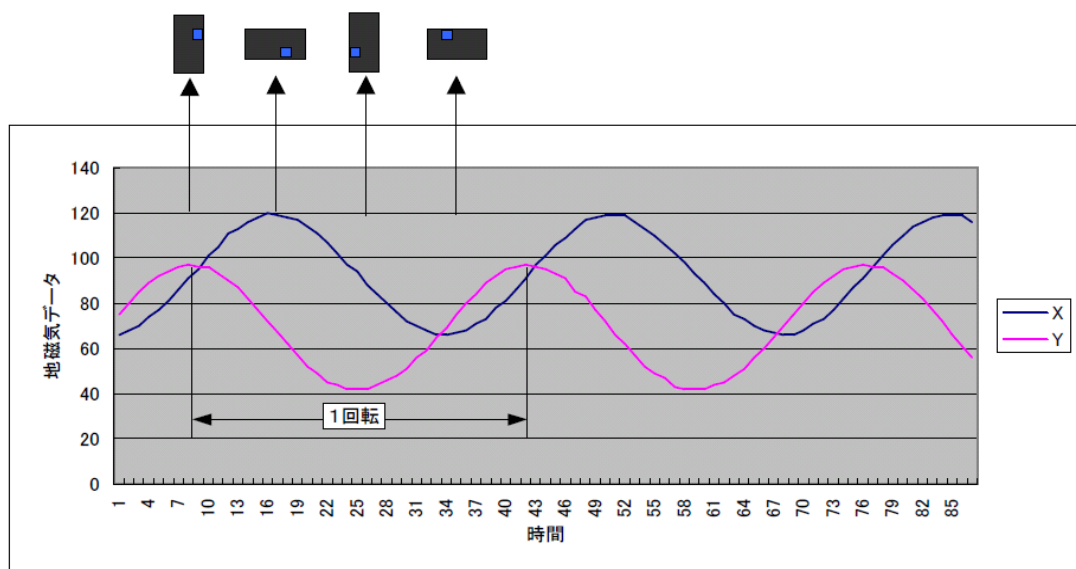


図 4-1-6-1 方位センサーによる回転の計測法

（2）構成

牛の向いている方角を方位センサーによって計測/処理し送信する子機と、子機からのデータを受信/処理してサーバに転送する親機で構成される。

親機からはシリアル（RS-232C）で出力されるため、LAN に変換してサーバに送信する。サーバは、農場の事務所等に設置されるが、牛舎・パドックからの距離がある場合は無線 LAN を使用して通信を行った。図 4-1-6-2 にシステム全体の構成を示す。

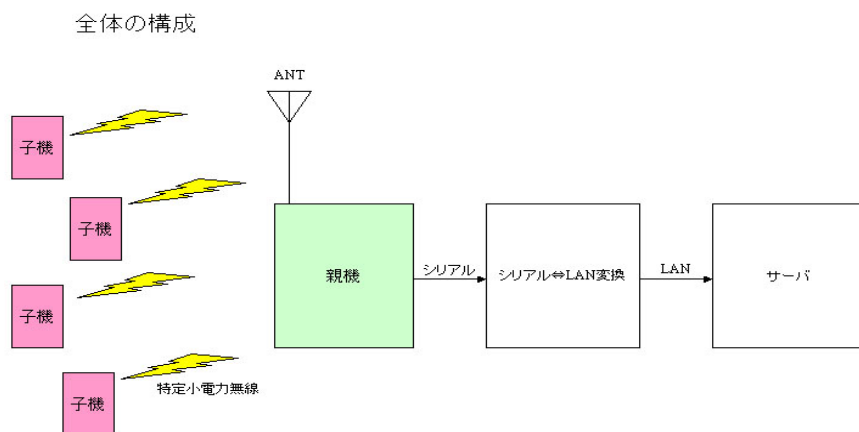


図 4-1-6-2 システム全体の構成

図 4-1-6-3 に子機（センサー）の構成を示す。

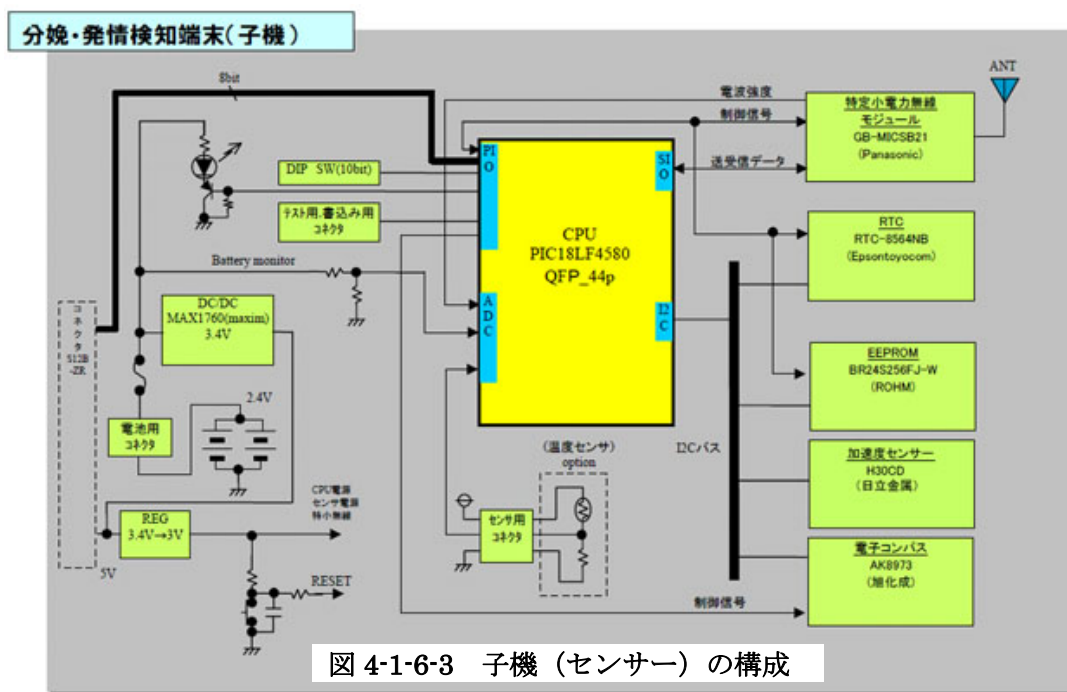


図 4-1-6-3 子機（センサー）の構成

子機は電子コンパス（方位センサー）により牛の行動のサンプリングを行い、親機へデータを送信する。実験の初期段階ではデバイスの評価及び基礎データ取得の為に2秒毎にサンプリングしたXYZの地磁気データをそのまま親機へ送信していたが、研究の過程で子機側で地磁気データのX/Y軸と振幅それぞれに閾値を設定して超えるかどうか監視し、10分毎に閾値を超えた回数をカウントして親機へ送信する仕様とした。

図 4-1-6-4 に親機の構成を示す。

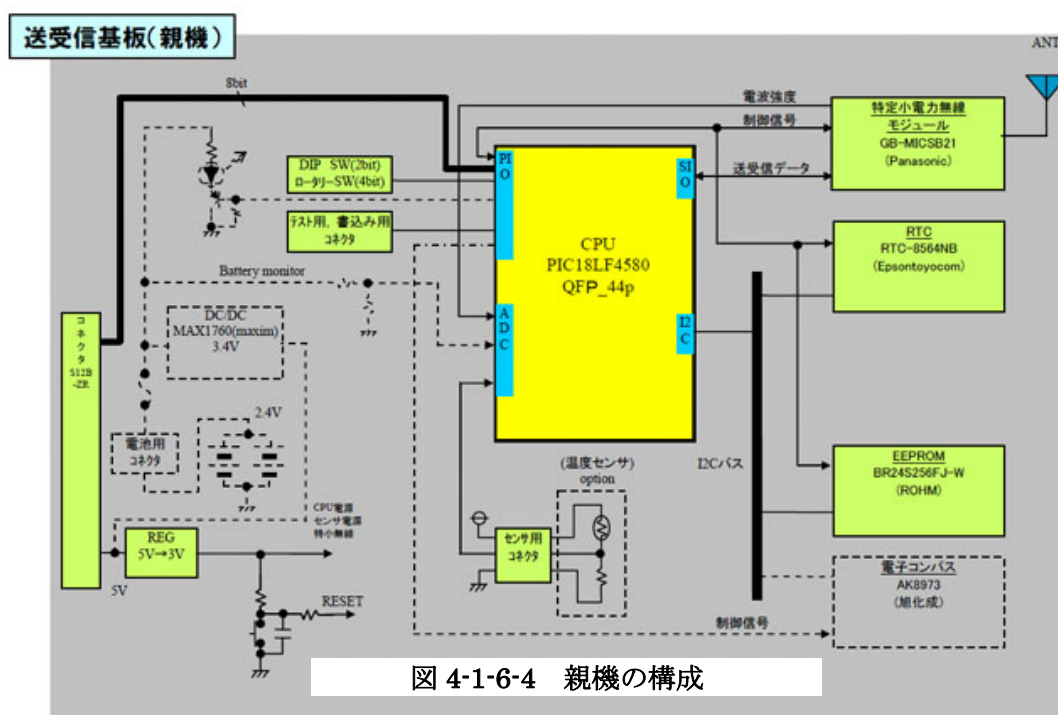


図 4-1-6-4 親機の構成

親機は子機へのコマンド送信、データ受信、子機からの電界強度測定、EEPROM へのデータ蓄積、外部へのシリアルデータ(RS232C)出力を行う。また、分娩検知等のアルゴリズムを搭載する。

(3) 通信のアルゴリズム

子機と親機の通信については、特定小電力無線を使用する。

仕様を表 4-1-6-1 に示す。

表 4-1-6-1 通信仕様

システム	特定小電力無線
変調方式	F1D(2 値 FSK 方式)
使用周波数	429.1750MHz～429.7375MHz 16 チャンネル
運用形態	基本型 1 : N
最大通信速度	4800bps
送信出力	10mW

親機と子機間については、子機の台数が多数ある状況を考慮し、親機から子機にデータリクエストを出す方式にした。技術基準適合に則り各装置の送信タイミング、及び送信時間を決定した。また、各装置にキャリアセンス機能を設け、他の無線局が同じチャンネルを使用している時は送信しない仕様としている。子機の最大数は 60 台まで対応するものとした (図 4-1-6-5)。

・親機の動作

親機は一定間隔 (7 秒) で子機の ID 及びデータリクエストコマンドを送信する。1 回で子機からデータ受信できなかった場合、3 秒後にリトライする。尚、子機へのデータリクエスト送信のタイミングはリアルタイムクロックにより正確に行っている。送信時間は全てにおいて 5 秒以下である。

・子機の動作

子機は親機からのデータリクエストコマンドを受信すると直ちにデータを送信するが、消費電流を抑えるためデータ送信後無線モジュールはスリープモードに入る。次回の親機からのデータリクエスト受信タイミングより 1 秒前に無線モジュールを起動し、コマンド受信に備える。スリープモードからの起動はリアルタイムクロックからの信号によって行う。送信時間は全てにおいて 2 秒以下である。

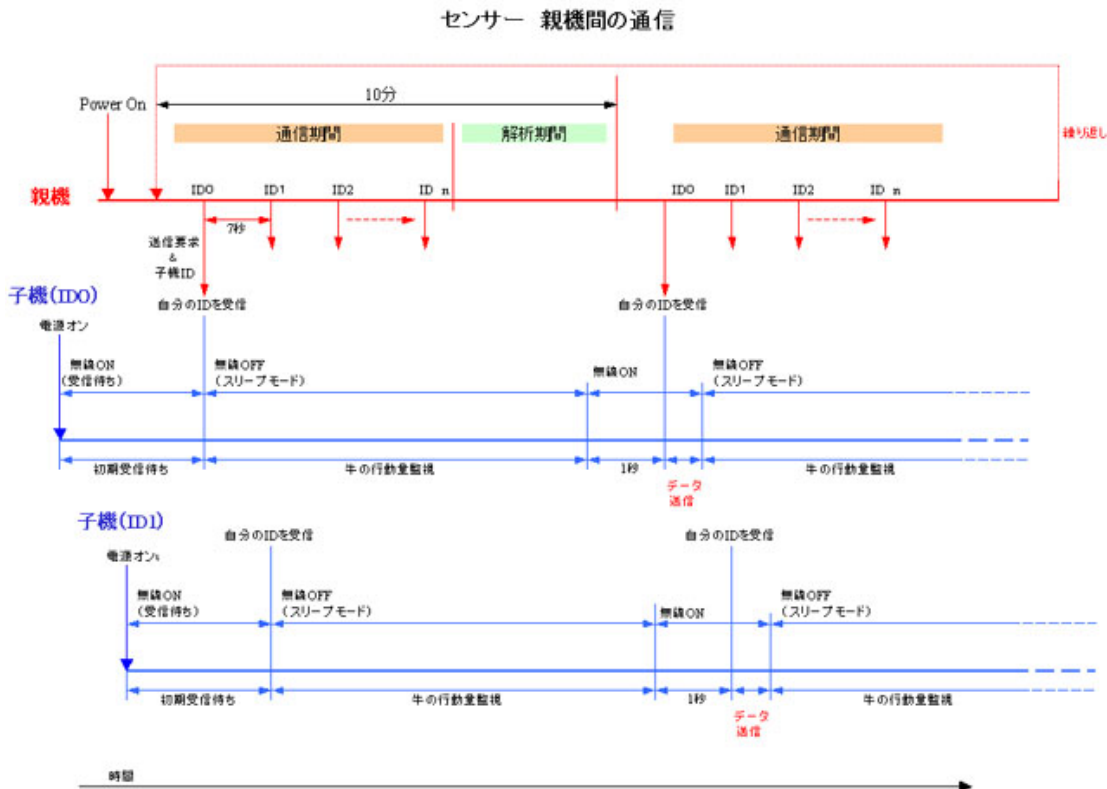


図 4-1-6-5 子機（センサー）親機間の通信

表 4-1-6-2 子機からの主な送信データの内容

子機 ID	子機のユニークな ID（識別符号）	2byte
子機 No	実運用での表示用 ID	1byte
バッテリー電圧値	バッテリー低下時のアラーム用	1bite
データ	10 分毎の行動量カウントデータ	3byte

子機からの主な送信データの内容を表 4-1-6-2 に示す。子機 ID は、LAN の MAC アドレスのような子機毎のユニークな ID で、16bit 幅(2byte)である。子機 No は運用時に実際に使用するいわばラベルのようなものである。バッテリー電圧値は、子機がバッテリー電圧を監視して親機に伝え、バッテリー交換を警告するためのものである。

10 分毎のカウントデータ 3byte 分の内訳は、送信する毎に現時点と前回、前々回（2 データ分）のデータをシフトして送信し、親機側のメモリに 3byte 分格納して過去 30 分のカウントデータを保持する。このため、何らかの理由で親機がデータを受信できなかった場合でも、次回か更にその次の回でデータ受信できればその時点で過去 2 回分のデータを取得できる事になる。

以上のデータにヘッダ、送信バイト数、チェックサム等のデータを付加した上、更に全体での連送を行う。更に、親機がデータ受信に失敗した時リトライする事によって通信の安定化を図っている。

広域牧場に対応するためには電波法の範囲内でできる限り通信距離を伸ばす必要がある。このため、親機のアンテナは外部アンテナ（λ/4）として利得を稼ぎ、更に無線モジュールと厳密なマッチングをとる事によって通信距離の拡大を図った。電波到達距離を図 4-1-6-6 に示す。子機のアンテナは大きさの制限からチップアンテナを使用しているが、無線モジュールとのマッチングをとり問題の無いレベルになった。

アンテナ利得の測定結果を基に利得が最小又は最大となる向きを決め、以下の条件での電波到達距離を測定する。

条件①：利得**最小**方向で送信側、受信側を相対させる。出力は 1mW。

条件②：利得**最小**方向で送信側、受信側を相対させる。出力は 10mW。

条件③：利得**最大**方向で送信側、受信側を相対させる。出力は 1mW。

条件④：利得**最大**方向で送信側、受信側を相対させる。出力は 10mW。

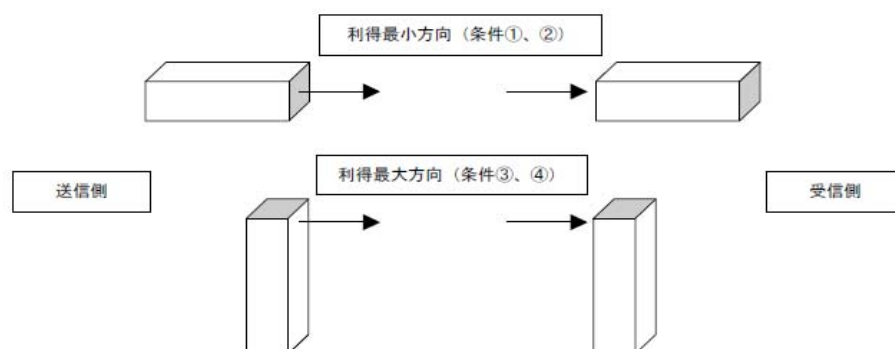


表 1. 測定結果

測定条件	電波到達距離	備考
条件① (利得最小、出力：1mW)	7 5 m	
条件② (利得最小、出力：10mW)	1 5 0 m	
条件③ (利得最大、出力：1mW)	2 0 0 m	
条件④ (利得最大、出力：10mW)	4 8 0 m	

※到達距離については、4800bps で 12byte の任意文字列を送信し正常受信できた時の最大距離を示す。

図 4-1-6-6 電波到達距離確認

(4) 検知例 (発情、出産)

・発情

実際に方位センサーを牛に取り付け、地磁気データを測定してみると、発情開始前に比べて開始後には変化する頻度に顕著な上昇が認められ、発情検知での有用性が認められる (図 4-1-6-7)。

・分娩

分娩牛のデータについても、分娩前には変化する頻度が上がっており、分娩検知として使用できる事が示されている (図 4-1-6-8)。

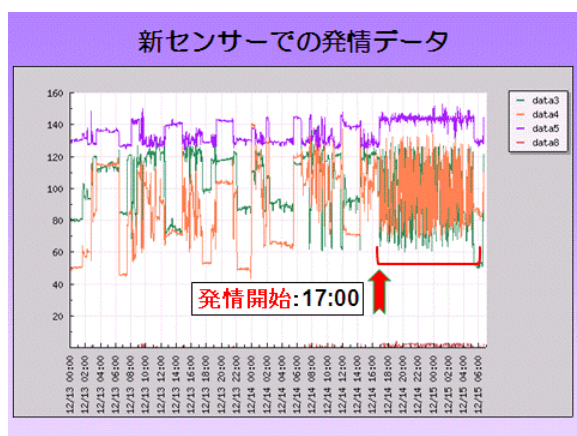


図 4-1-6-7 発情検知例

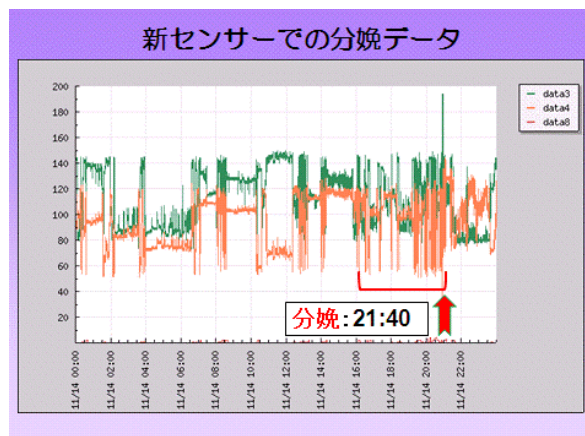


図 4-1-6-8 分娩検知例

(5) 電池の消耗度と今後の対策

子機の電池は単三型のニッケル水素電池を使用している。2本ずつ直並列で使用し、電源電圧は2.4Vである。これを昇圧回路により3Vに昇圧して使用し、少しでもバッテリーを有効に使用する事を目的としている。当初、バッテリー寿命は2週間程度であったが、無線モジュールのスリープ動作等使用する事により、3週間程度連続動作が可能となった。今後、バッテリーの選択や、更なる回路・ソフトウェアの検討を行ってバッテリーの長寿命化を図る予定である。

(6) 電池の消費電力低減化（21年度研究）

21年度の研究として、センサーの消費電力の低減化により更なるバッテリーの長寿命化を研究した。電源回路の検討、データ送信の効率化、LEDのパルス駆動等により消費電力を抑えた上でバッテリーの検討を行い、従来使用していたエネループ(2000mAh)から2700mAh ニッケル水素電池に変更した結果、3週間程度だった連続動作時間を6週間（43日）まで伸ばす事ができた。図4-1-6-9に子機動作中のバッテリー電圧計測データを示す。尚、バッテリーは4本の直並列接続である。

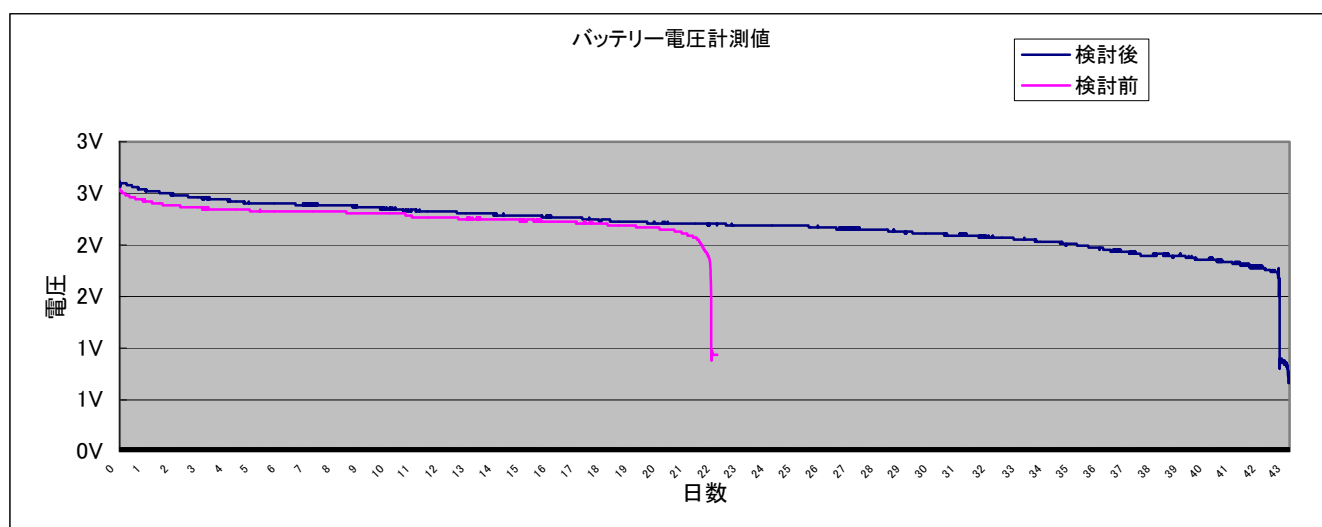


図 4-1-6-9 バッテリー電圧計測値データ

4-1-7 量産化に向けた研究開発（20年度研究）

製品化に向けた量産に対応できるようセンサー等の装置の設計開発を行った。量産化にあたっては、まず試作機を製作し、それに対し評価を行い改良を進めるという形で開発を進めた。開発当初はセンサー部分と電池ケースを別々に構成することを考えていたが、農家の取り扱い性等を考慮し、最終的には電池とセンサーの基板を一体構造とした。

(1) 量産化にむけた設計

図4-1-7-1に試作機の外観を示す。センサーの収まる子機ケース部（右側）と電池ケース（左側）は電線により接続されており別体となっている。

図4-1-7-2は量産検討段階のモックアップ試作であるがこの段階でも、センサー部と電池ケースは別体構造であった。ただこの様態ではセンサー部と電池部を接続する電線の強度の問題、3体がばらばらなので取り扱い性の問題等が指摘され、一体型の検討を行う事となった。

図4-1-7-3が量産前のエンジニアリングモデルに採用したケースのモックアップである。ケース全体を拡大し、内部に乾電池4本を収容できる一体型の構造とした。



図 4-1-7-1 センサー試作機外観



図 4-1-7-2 量産試作モックアップ 1



図 4-1-7-3 量産試作モックアップ最終版

(2) 基板設計

子機（センサー）と親機の機能を一枚の基板上で実現できるよう回路を設計し、全体のコストダウンを図っている（図 4-1-7-4）。また量産に向けたケースが一体型になったことにより、内蔵する基板も電池を収容できるよう拡大された（図 4-1-7-5）。



図 4-1-7-4 基板外観



図 4-1-7-5 ケース外観

(3) ケース設計

センサーを収容するケースは防塵防水仕様とし、牛が牛舎の外を移動しても問題ない機械的特性を備えた設計とした。表 4-1-7-1 に主な機械的、環境的特性を示す。

表 4-1-7-1 機械的特性（暫定）

項 目	内 容
外形寸法	127mm×33mm×132mm
質量	320 g（電池除く）
ケース材質	樹脂ケース
使用温度範囲	10～60℃
放置温度範囲	20～70℃
湿度	45～85%RH
保護構造	防塵防水保護等級 IP65
耐振動	周波数：5～500Hz 加速度：1.25～3.5G XYZ 方向 5 サイクル

(4) エンジニアリングモデル

量産前のエンジニアリングモデルを製作し、

(図 4-1-7-6 写真は未塗装)、このモデルを使用し、評価実験をおこなった。左は子機 (センサー)、右は親機を示す。子機の構造は裏に電池を入れる蓋がついており上部前方に表示用の LED、側面にベルト通しを備える (図 4-1-7-7)。親機は側面にアンテナと外部出力用のコネクタを装備する。親機はさらに屋外用のケースに入れることを前提に設計を行っており、子機 (センサー) からの受信データを元に大型 LED の表示やブザーなどのお知らせができる機能を拡張できる設計となっている (図 4-1-7-8)。親機に内蔵する基板は前述の通り、子機 (センサー) と共通の基板を用いる。実装状態を図 4-1-7-4 に示す。



図 4-1-7-6 エンジニアリングモデル

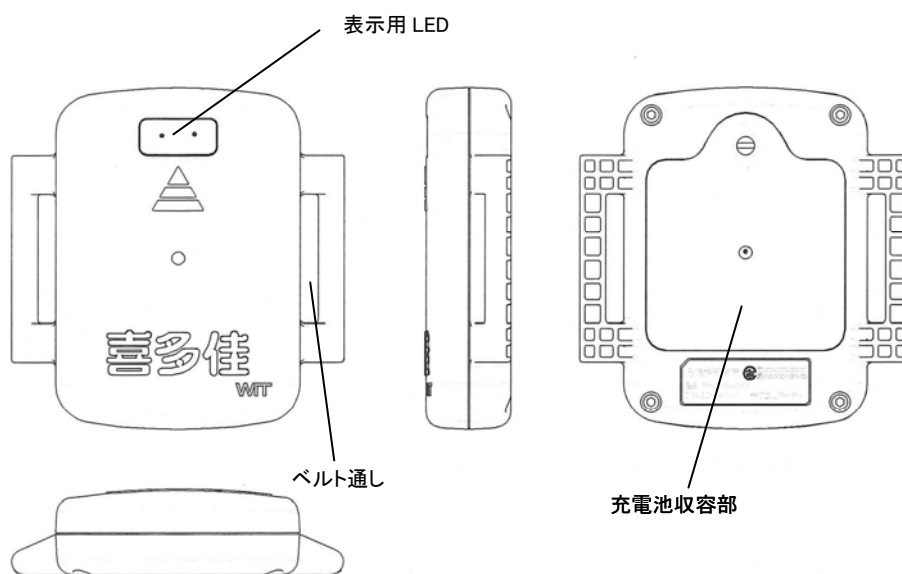


図 4-1-7-7 子機 (センサー)

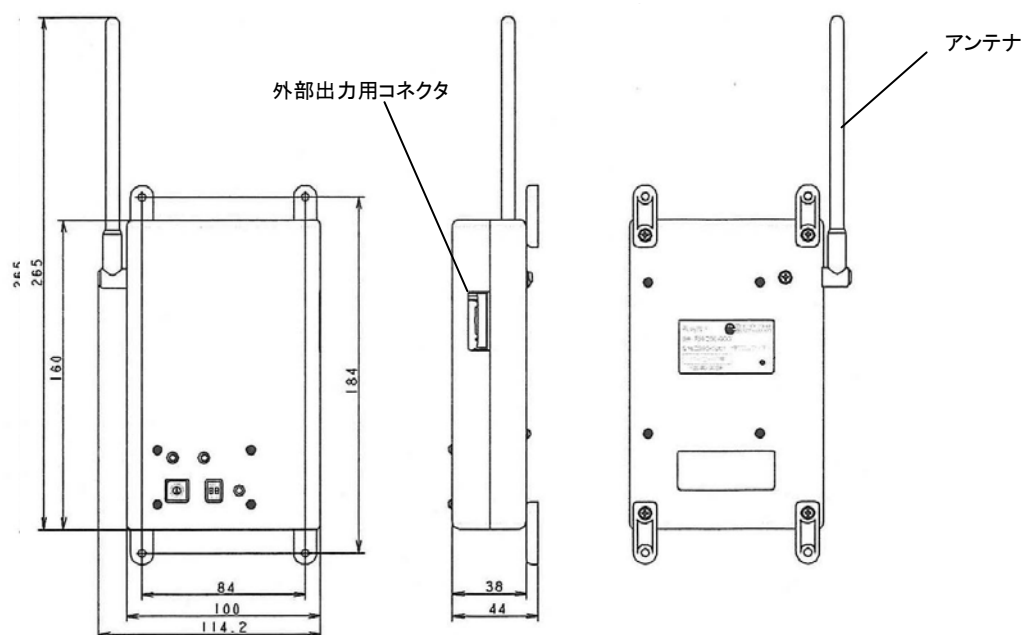


図 4-1-7-8 親機

4-1-8 牧場内掲示板システム (21 年度研究)

分娩のお知らせを牧場内で行う為に、掲示板システムを開発した。分娩を検知すると該当センサーの数字を表示する。バッテリー警告については数字横のドットを点灯する仕様とした。表示には大型の 7 セグメント LED を使用した。このシステムをメインユニットに内蔵した。図 4-1-8-1 に外観を、図 4-1-8-2 にシステムの構成図を示す。



図 4-1-8-1 掲示板システム

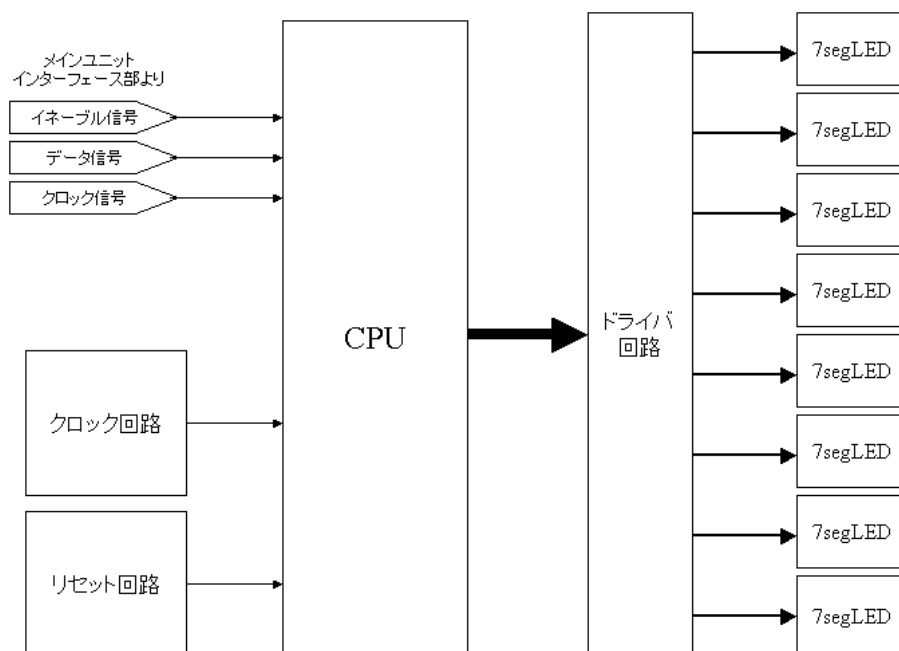


図 4-1-8-2 掲示板システムの構成図

4-1-9 装着ベルト (19・20・21 年度研究)

(1) 装着方法 (19 年度研究)

発情検出のため牛の背に検知ユニットを装着している。これは加速度センサーで発情による乗駕行動を最も捉え易い位置であるためである。しかし、牛の背に検知ユニットを装着する作業は一人では行えないことや、装着状態によっては褥瘡が発生する危険も高まる。本研究では発情検知システムの出産検知システムへの応用が課題の一つであるが、出産検知では牛の出産房内での回旋運動を捉えることから、検知ユニットの位置は必ずしも、牛の背である必要はない。着脱性、運動検知精度、牛への負荷などから装着部位を検討し出産検知では首に装着する首輪型検知ユニットを選択し概要設計を行った (図 4-1-9-1)。

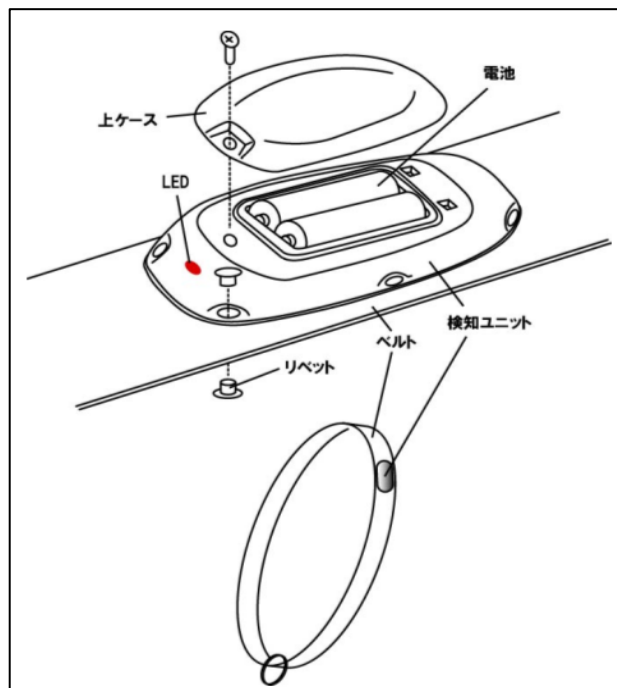


図 4-1-9-1 送信ユニットの首輪への取り付け位置

(2) 装着ベルト (20 年度研究)

センサーを牛に固定するための装着ベルトの研究開発を行った。開発目標は「1. ずれずに確実にセンサーを固定する」「2. ベルト装着の牛への負担軽減・褥瘡が発生しないもの」「3. 一人で簡単に装着できる方法と構造」である。20 年度はこの課題解決のために、首と背の 2 タイプの試作と装着試験を行った。

(2-1) 首装着タイプの試作と装着試験

首装着タイプは 2 タイプを試作し装着テストを行った。試作 1 は伸びのないベルトにセンサーを装着する袋を取り付けた。牛の頸部にきつく装着したが首の向きや、屈伸によって周囲径がかなり大きく変化し、ずれが生じ試作 1 の構造では適当でないことが分かった。

このため、首周囲径が変化しても一定の張力を保つように伸びの大きな素材を使い試作し装着した (図 4-1-9-2)。このベルトではずれが生じなかった。頸椎の可動域は非常に大きく頻繁に動かすために、発情検知、分娩検知のノイズとして現われることが予想された。しかし 3 軸方位センサーを追加することでこのノイズの除去の可能性もあると考えたために首タイプの試作を行ったが実際に計測を行った結果、予想より首の運動が激しくこの部位は分娩・発情の検知が困難であった。



図 4-1-9-2 首タイプ試作 2

(2-2) 背中装着タイプの試作と装着試験

これまでの研究でセンサーは背中に取り付けた場合が最も発情による乗駕行動を捉え易い事がわかっている。しかし、背中への取り付けは、「1. 一人での装着はむずかしい」「2. 前後へのずれや廻りが生じやすい」「3. 装着状態によっては褥瘡が発生する危険がある」などの課題があった。

これら課題解決のため 15 タイプの試作と装着テストを行った (表 4-1-9-1)。この中で試作 15 がもっとも安定し、現在のところ傷の発生もない。真夏、炎天下の装着でベルトの劣化やセンサーの温度上昇などの発生が考えられ、さらに装着し評価を行う必要がある。

表 4-1-9-1 背中装着タイプ試作一覧

N o	構造	結果
試作 1	両端をループ状にしたベルトで、背部から降りたベルト端のループを前肢に通す構造。	装着直後に脱落した。
試作 2	センサー取り付け部からベルトを下ろし前肢後部を通り前肢前部を周り上に上がり首部へ回る。素材はネオプレンゴムで前肢の部分は幅広にし皮膚への食い込みを避ける。	装着状態は安定していたが前肢にかかるネオプレンが広い面で接触できずに食い込みが生じた。2 時間装着後脱落した。
試作 3	試作 2 と構造は同様。ベルトが主体の構造でネオプレンゴムを用い伸びる部分を作った。	試作 3 を装着して歩かせても試作 2 のように直ちにずれることはなかったが、頭を下げたときに前方に脱落した。
試作 4	試作 3 で頭を下げた時に前方に脱落したために、背部のベルトから前肢を一周した輪をつくりさらに頸部へベルトを接続した。これにより首が下がった時にゆるみを防ぐ。	前肢の動きにより内側（腋下）部と背部の距離が変わりゆるみが生じ脱落した。
試作 5	従来の形状で素材を置き換えた。	しばらくは問題なかったが装着約 4 時間後（録画で確認）前方にずれ脱落した。
試作 6	首部が無いタイプ。首のないタイプは試作 1 で製作したが、試作 6 では、下部で連結しており胴部を一周させた。頸部がないのでずれた時の復元力はないが構造がシンプルになった。	試着時にはずれは生じなかったが夜中に前方にずれた。
試作 7	試作 3 のような構造で、下部で連結し胴部を一周するようにした。試作 3 で首を下げた時に胴の部分もゆるんで脱落したので、胴のベルトを下部で連結してゆるみがでないようにした。	装着時には問題がなかったが牛が寝たときに胴体のベルトが緩む。肢に回しているベルトがきつくなって胴体ベルトを前に引張る。
試作 8	試作 6 は装着の翌日にずれが発生した。前肢にかけるベルトをはずして、装着するとずれが無いため胴部を一周するだけのタイプを試作した。	装着 4 日経過後の時点で完全にずれた。（センサー取り付け部分が腹側に来た）録画から午後 2 時ごろにセンサー部分が背中の中点からずれその後徐々にずれていった。
試作 9	試作 7 は安定しているのでこれをさらに装着しやすくするため胴部から下部に向けてのベルトのバックルの位置を下方にした。ベルトの先端を反対側からとりやすくするための補助具を取り付けられるようにした。首部のネオプレンゴムの幅を広くし長さを短くした。	装着 5 日経過時点で胴体ベルトが少し前にずれ 7 日後には完全に首までずれていた。
試作 1 0	ネオプレンー体型。	5 日間装着でずれは生じない。舐められた場所の生地が起毛した。 装着 2 週間後にベルトの縁があたり牛に傷が出来た。前肢つけねの後部に傷が発生しこの部分の圧迫を除くためにベルトを切り抜いたが、今度はずれが生じた。 牛の個体差による体型の差でずれが発生している可能性もある。
試作 1 1	試作 10 の傷の発生を防ぐためベルトの縁を柔らかい素材に変更した。装着しやすいように金属環を取り付けてマジックテープのついたベルトを通し折り返すようにした。	金具の使用により装着が格段に楽になり一人での装着も可能になった。 10 日装着後縁がぼろぼろになった。他の牛がなめたと思われる。
試作 1 2 試作 1 3	縁素材の接触で牛の傷が出来たためにやわらかい素材を使ったが、短期の装着でぼろぼろになった。そのためやわらかくても強い素材を検討するために試作 1 2 オペロン地と試作 1 3	オペロン生地のは 2 週間程度の装着で傷の発生はなく、ぼろぼろにもなっていない。

	合皮を製作した。	
試作 1 4	センサーケースのモックアップモデルを装着できるものを試作。 試作 1 4 と 1 5 は同時に作成した。試作 1 4 はセンサーケースのベルト取り付け部にベルトを通し折り返すタイプ。	試作 1 4 と比較すると試作 1 5 が、センサーの固定に優れ安定がよかった。
試作 1 5	試作 1 5 はベルトがセンサーの上部を通るタイプ。	

(3) 着脱が容易で牛へのストレスの少ない装着ベルトの完成 (21 年度研究)

19 年度において、首型のセンサー取り付けベルトの設計、20 年度においては、首型と背中型のベルトの試作と装着試験を行い背中型がセンサーの取り付け位置として適切であることがわかった。背中型は 15 タイプの試作を行い一人で容易に装着できるベルトの開発を行った。

21 年度は、高温多湿になる夏場も牛にストレスを加えることなく快適に装着することが出来るベルトの開発と乳牛への装着試験を行った。乳牛への装着試験を行ったところ和牛用のベルトでは適合が悪いことがわかったため乳牛用のベルト開発を行った。

(3-1) ストレスへの対応・発汗対策

20 年度に背タイプのセンサー取り付けベルトの開発を行い、安定的にセンサーを牛の背に固定することが出来た。21 年 7 月になり南九州での装着試験で牛に傷が発生した。これは気温が上がり発汗などにより蒸れが生じて傷が出来やすくなったためと思われる。21 年度は夏場でも牛に対して負担のかからないベルトの開発を行った。

【傷の状況と対応】

鹿児島での夏季装着試験で傷が発生した。傷の箇所は、①上部パットの内縁が当たる部分、②前肢の後ろ・ベルトの前縁、③胴体上半分に 10cm 程度・ベルトの前縁の 3 箇所です。いずれの場所も圧迫しやすい場所である (図 4-1-9-3)。7 月時点では岡山、島根での装着実験で傷は発生していないが鹿児島は高温で牛の発汗量が多いことが影響していることが考えられる。発汗により毛が抜け皮膚とベルトとの摩擦が生じ傷に至っている可能性が考えられる。傷は全ての牛に発生しているわけではないが、傷の発生は致命的な問題であるため、次の対応を行った。汗を吸収して傷を防ぐ目的でベルトとパットに吸湿性の高いカバーを取り付けた。牛の皮膚状態は改善されたがセンサーのずれや、カバーの燃れが生じ実用にならなかった。そのため、ベルトの吸汗対策としてベルトに空気穴を開け、パットカバーをビニールレザーから布製に変更した。鹿児島、岡山それぞれの牛に装着して改良を加えながら経過を観察した。

【パットの吸湿性改善】

パットのカバーの素材はビニールレザーで通気性がないため、布製のものを試作、装着した。試作 1 (図 4-1-9-4) ではパイル生地を使ったが、素材が弱く安定が悪い。試作 2 (図 4-1-9-5) は腰の強い布に変更したが、ビニールレザーに比較すると安定が悪いので、試作 3 (図 4-1-9-6) にてマジックテープ面を増やし安定性を得た。試作した布カバーを牛に装着して経過を観察した結果、試作 3 ではセンサーは良く固定され安定がよく、牛の皮膚の状態も良好であった (図 4-1-9-7)。



図 4-1-9-3 傷の発生場所



図 4-1-9-4 布パット試作 1
装着状態は良好 装着 19 日目の写真



図 4-1-9-5 布パット試作 2
装着 7 日目 皮膚の状態はよい



図 4-1-9-6 布パット試作 3
マジックの面を大きくした



図 4-1-9-7 布パット試作 3
ベルトを外した状態。毛は倒れているが乾燥していて状態は良好。パットの装着面は乾燥している。

【ベルトの通気性改善】

ベルトによる傷の発生を防止するため、パット同様にカバーの装着を行ったが、カバーのずれや汚れなどからカバーでは対応できず本体の改善の必要が生じた。本体の素材の検討も行ったが適当なものがなくベルトに通気の穴を開けた（図 4-1-9-8）ところ、牛の皮膚の状態が改善された（図 4-1-9-9）。しかしベルトの伸びが大きくなり緩みが発生したため（図 4-1-9-10）、穴と穴の間隔を変更して経過を観察し適切な穴間隔を決定し良好な結果が得られた（図 4-1-9-11）。



図 4-1-9-8 穴あきベルト装着



図 4-1-9-9 9 日間装着
通気性が改善した。



図 4-1-9-10 19 日間装着
伸びが大きい。



図 4-1-9-11 穴間隔を大きくし伸びを防止。
装着状態良好

(3-2) ホルスタイン用ベルトの開発

乳牛へのセンサー取り付けを行うため、乳牛の体型を調査したところ、身体の高さや、肉の付き方が異なりこれまで試作した和牛用ベルト・パットでは、安定して装着できないことが分かったので、乳牛用のベルト・パットの開発を行った

【ホルスタインの体型】

岡山総合畜産センターでホルスタインを観察すると体型が全体に大きく、背の部分が痩せていて背骨が突出している。

【ホルスタイン用ベルト】

○ ベルト長

これまでより 40cm 長いベルトを島根県内で最も大きいと言われる牛に装着した(図 4-1-9-12)。やや小柄の牛に同ベルトを装着した場合には長すぎ、この牛に従来のベルトを装着したところやや短いながら実用範囲で装着が可能であった。このことからこれまで和牛で使用して来た長さのベルトと、これより 20~30cm 長いベルトがあればホルスタインも含め大半の牛に装着できるのではないかと考える。

○ パット形状

乳牛のホルスタインは背骨の突出が大きいために和牛用のパットではベルトが背骨にあたり傷を作る心配がある(図 4-1-9-13)。またトップの部分が曲面になりセンサーの形状と合わないため隙間が生じて安定が悪い。ホルスタインには和牛用のパットが適合しないためホルスタイン用パット 3 種を試作し試着した。左右のパットの上部が連結したもの(図 4-1-9-14) 2 種と従来と同じようなセパレートタイプのもの 1 種(図 4-1-9-15)を試作装着した。試着の結果、セパレートタイプの適合が良好であるがずり下がりによる傷の発生が考えられるので背骨の部分に別にパットを入れる 3 分割型を試作、試着し良好な適合が得られた(図 4-1-9-16)。3 分割にした場合、両側のパットを上部のパットで固定出来るので、体型に合わせ両側のパットの左右からの圧迫を作ることが出来、ずり下がりがある程度コントロールできる。また上部に平面を作ることが出来るのでセンサーを安定して装着することが出来た。



図 4-1-9-12



図 4-1-9-13 和牛用パット試着
背骨の突出が大きくは適合が悪い。



図 4-1-9-14 一体タイプ 試作 2-2
連結したタイプは 2 種類とも全体に下がり、背骨の部分に圧迫が生じた。



図 4-1-9-15 分割型 試作 2-3
セパレートタイプは、ずり落ちた場合、直接ベルトが背骨（棘突起）を圧迫する



図 4-1-9-16 試作 2-4
3 分割型は全体にずり落ちた場合でも背骨への負担を少なくした。

4-1-10 発情検知システム (21 年度研究)

完成した発情検知装置は牛の行動を検出する子機と各種処理を行うメインユニットで構成される。
4-1-11 の分娩検知システム同様メインユニット内に検知アルゴリズムを実装した。
子機は行動量の計測を行うための方位センサーと乗駕を検出する為の加速度センサーを搭載した。
子機の外観を図 4-1-10-1、加速度センサーの写真を図 4-1-10-2、メインユニットの外観を図 4-1-10-3
に示す。



図 4-1-10-1 子機

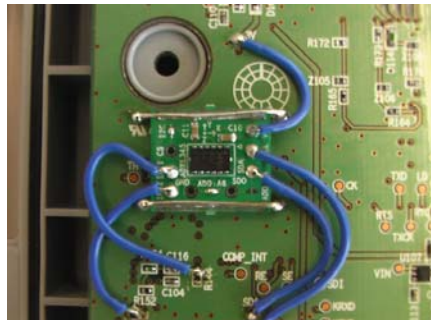


図 4-1-10-2 加速度センサー



図 4-1-10-3 メインユニット

●子機

- ・ 方位センサーによる回転行動の検出
- ・ 加速度センサーによる乗駕行動の検出
- ・ EEPROM によるデータの保存(通信エラー時対策)
- ・ バッテリー電圧監視
- ・ 特定小電力無線モジュールによるデータ送受信
- ・ 地磁気/加速度データのサンプリングと 1 回転検出を示す LED

子機は方位センサーにより回転行動を検出すると共に、加速度センサーで乗駕行動を検出する。
これらのカウント値とバッテリー電圧計測値を親機からの指令により 10 分毎に送信する。
図 4-1-10-4 に子機の構成図を示す。

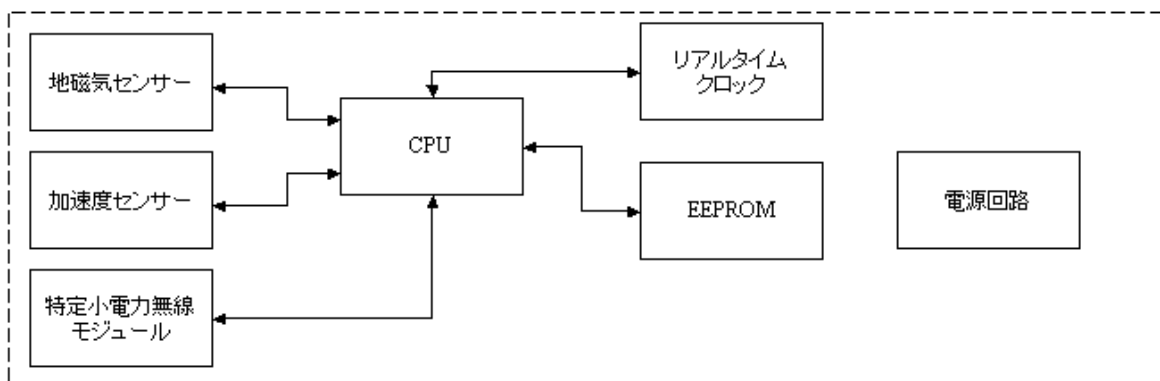


図 4-1-10-4 発情検知システム用子機 構成図

●メインユニット部

- ・ 特定小電力無線モジュールによるデータ送受信
- ・ EEPROM による受信した回転カウントデータ、乗駕データの蓄積

- ・ 蓄積したデータによる発情検知処理
- ・ 各センサーのバッテリー残量判定処理
- ・ 各センサーからの電波の電界強度測定
- ・ 分娩・バッテリー残量を知らせるメール送信
- ・ メインユニット本体での分娩表示
- ・ 行動データ・バッテリー電圧値・電界強度のデータを採取するための LAN を使ったデータ送信
- ・ イーサネットコンバータによる無線 LAN

メインユニットは回転行動と乗駕データにより発情検知処理を行う。

ハードウェア構成は分娩検知システムと同様である。

また、ネットワークを含めた全体の構成も分娩検知システムと同様である。

4-1-11 分娩検知システム（21 年度研究）

完成した分娩検知装置は回転を検出する子機と各種処理を行うメインユニットで構成される。

分娩の検知アルゴリズムをメインユニット内に実装し、農家の方にも使い易いシンプルなシステムを目指した。センサーの外観を図 4-1-11-1、メインユニットの外観を図 4-1-11-2 に示す。



図 4-1-11-1 子機



図 4-1-11-2 メインユニット

センサー、メインユニットの機能を以下に記す。

●子機

- ・ 方位センサーによる回転行動の検出
- ・ EEPROM によるデータの保存(通信エラー時対策)
- ・ バッテリー電圧監視
- ・ 特定小電力無線モジュールによるデータ送受信
- ・ 地磁気データのサンプリングと 1 回転検出を示す LED

子機は地磁気を計測し、回転行動を検出する。同時にバッテリー電圧を計測し、回転のカウント値と共に親機からの指令により 10 分毎に送信する。

図 4-1-11-3 に子機の構成図を示す。

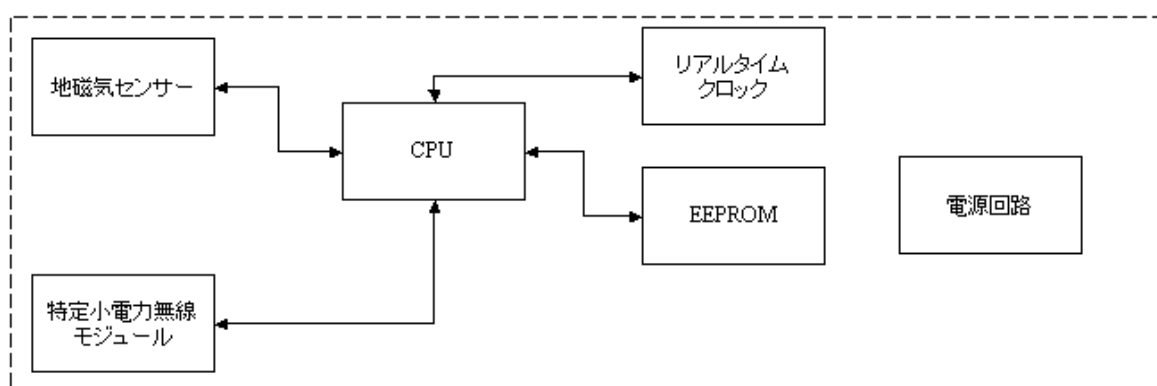


図 4-1-11-3 分娩検知システム用子機 構成図

●メインユニット部

- ・ 特定小電力無線モジュールによるデータ送受信
- ・ EEPROM による受信した回転カウントデータの蓄積
- ・ 蓄積した回転カウントデータによる分娩検知処理
- ・ 各センサーのバッテリー残量判定処理
- ・ 各センサーからの電波の電界強度測定
- ・ 分娩・バッテリー残量を知らせるメール送信
- ・ メインユニット本体での分娩表示
- ・ 回転カウント・バッテリー電圧値・電界強度のデータを採取するための LAN を使ったデータ送信
- ・ イーサネットコンバータによる無線 LAN

メインユニットは親機（受信・処理モジュール）、インターフェース部、メーラーボード、表示部、イーサネットコンバータにより構成されている。親機により分娩検知及びバッテリー残量判定処理を行い、結果をインターフェース基板にシリアル通信にて伝送する。インターフェース基板はそのデータを元に、メーラーボードと表示部、及びブザー（メロディユニット）に指示を送る。また、インターフェース基板には各種データ（回転数、バッテリー電圧、電界強度、親機の動作状態等）の採取用に LAN 経由で PC にデータ送信する機構を設けた。

メーラーボードはインターフェース部からの信号によりセンサー毎の分娩検知の通知と、バッテリー残量の警告通知を行う。

表示部はインターフェース基板からの信号により分娩検知したセンサーのナンバーを表示する。できるだけ遠くから見えるように、大型の 7 セグメント LED を使用した。牛舎内では LAN 環境が無い事が殆どであるため、設置のしやすさを考慮して無線 LAN を搭載する仕様とした。メインユニットの構成を図 4-1-11-4 に示す。

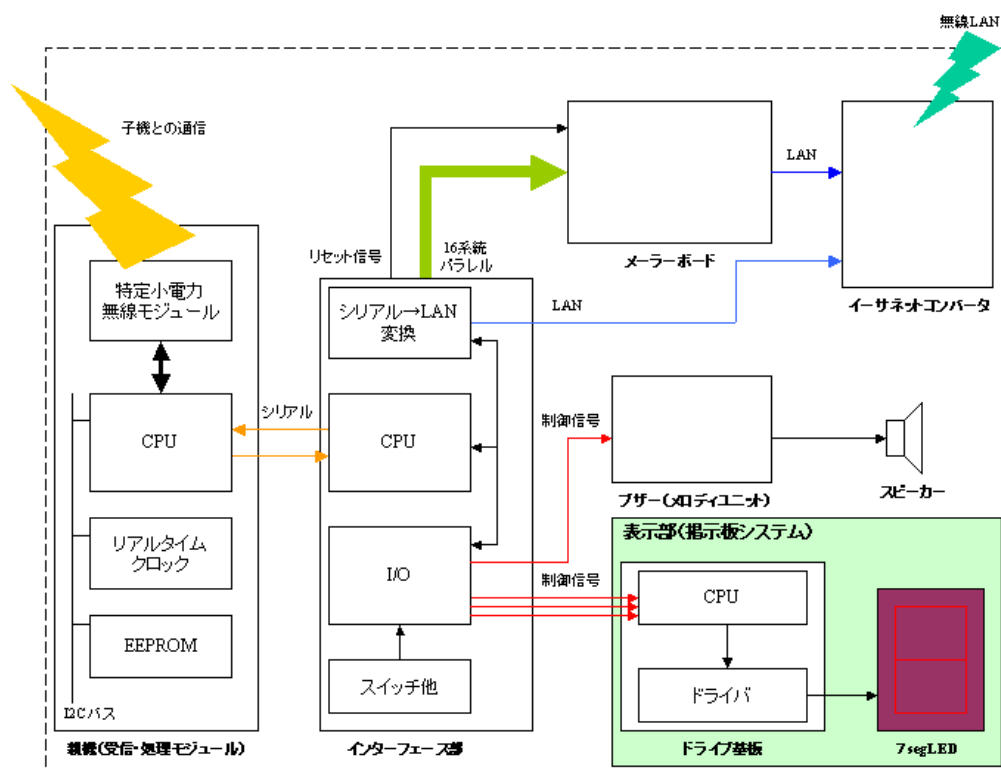


図 4-1-11-4 メインユニット 構成図

分娩検知システムを利用して構築したネットワーク図を図 4-1-11-5 に示す。

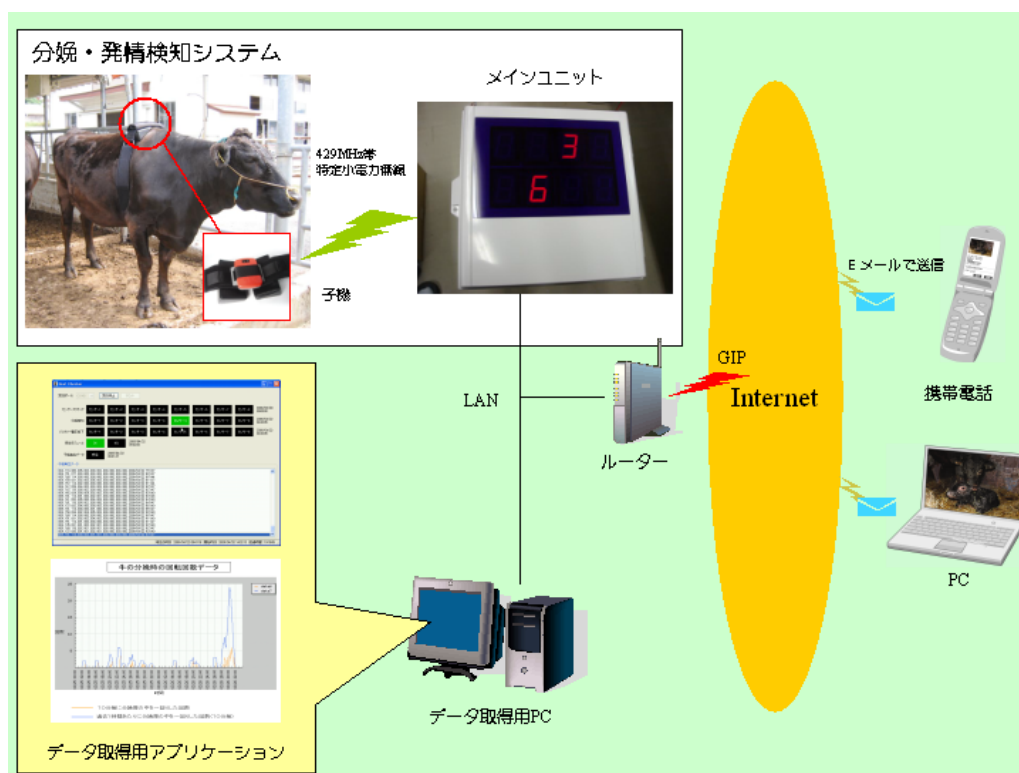


図 4-1-11-5 ネットワーク図

4-1-12 まとめ

平成 19 年度において (1)検知ユニットから安定した通信を行うための通信方式を検討し特定小電力無線方式を採用することとした。(2)出産検知にも使える検知システムの設計を行い方位センサーと加速度センサーを併用することで実現する見通しがついた。(3)着脱が容易で牛への装着ストレスの少ない装着方法の検討を行った。

平成 20 年度において(1)発情検知精度向上のため方位センサーを用いた計測を行い方位センサーで発情を検知することが出来た。(2)センサー技術の開発として方位センサーでの計測技術を確立した。(3)量産化に向けた研究開発を行った。(4)装着ベルトの開発において背中型で安定してセンサーを取り付けることが出来た。

平成 21 年度において(1)広域農場でも対応可能な通信システムとするため通信距離を延長することが出来た。(2)方位センサーと加速度センサーを併用することにより発情検知精度の向上を得た。(3)牧場内掲示板システムを完成させた。(4)発汗対策、傷対策を行い快適に装着できるベルトを完成することが出来た。(5)発情検知システムの完成(6)分娩検知システムの完成、を行った。

4-2 分娩・発情解析プログラムの研究開発

4-2-1 研究開発内容

牛の分娩・発情特有の動きをセンサーで捉えることによって分娩・発情の検知を行う。しかし牛の行動の中に分娩・発情に似た動きが出現や、発情しているにもかかわらず典型的な発情時の動きから外れる動きをする場合がある。これらの行動が分娩・発情の見逃しや誤検知となって現れる。

このような典型的な分娩、発情時の行動から外れた動きからでも正確な検知を行うために（1）夏場のアブ・ハエ等の発生による追い払い行動など、発情検知のノイズ除去プログラムの開発、（2）装着具合によって、牛の横臥時を乗駕と誤検知してしまうことに対するプログラムの開発、（3）乗りかけのような行動も捉えられる、乗駕に対する検知精度を向上させるプログラムの開発、を行った。

4-2-2 発情検知のノイズ除去プログラム（19・20・21 年度研究）

（1）基礎データ抽出（19 年度研究）

発情検知のノイズとなる成分の基礎的な資料を得るために 3 軸加速度センサーを牛に装着して歩行時の計測を行い、歩行パターンを抽出した。発情検知におけるノイズとは発情行動以外の動きの検出である。図 4-2-2-1 に示す計測では 3 軸の各方向への加速度が得られ Z 軸は垂直方向、X 軸と Y 軸は水平方向への加速度で X 軸は左右方向、Y 軸は前後方向を示す。図中の赤線は左右方向の加速度がほぼ 0 になっているところをとっており、歩行による左右への動揺の中間点と思われ、この点で一歩行周期が特定できる。この歩行周期でデータを積分すれば歩行パターンとして特定することが出来き、発情検知ノイズ除去プログラムの基礎データとして用いることができる。

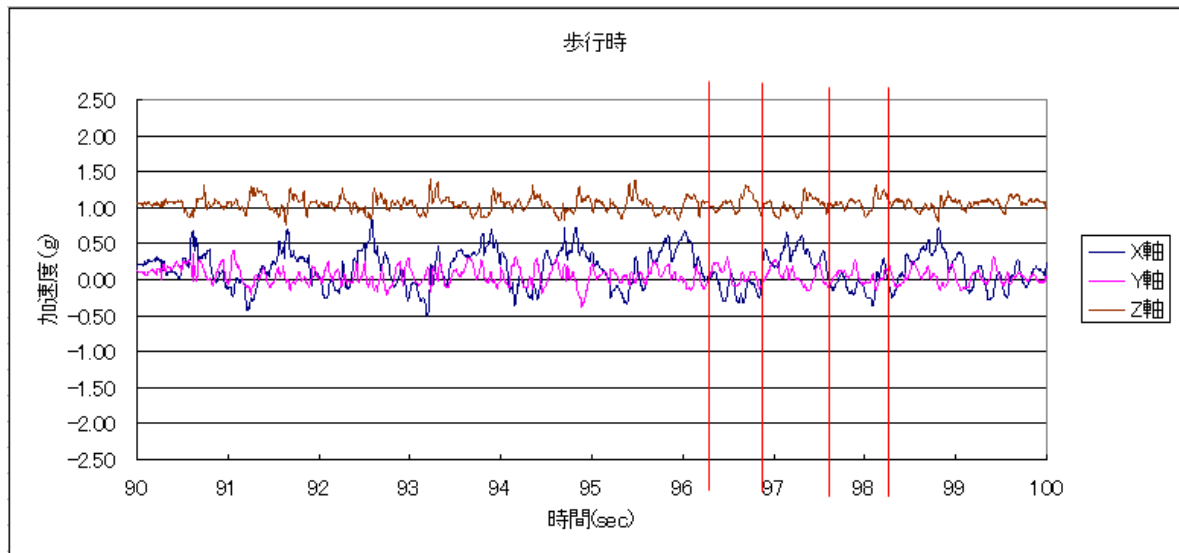


図 4-2-2-1 加速度センサー歩行時の出力

（2）吸血昆虫によるノイズ対策（20 年度研究）

夏場になると、アブや蠅などの吸血昆虫が牛によってくる。これらの昆虫を追いかおうと牛は皮膚の表面をぷるぷるふるわせる仕草をする。この動きが加速度センサーで牛の行動をとらえる場合に問題になっていた。

これを解決する方法として加速度センサーの速い動き（1 秒間に数回）を検知しないようにプログラムに改良を加えた。

なお、方位センサーを使った場合、牛の直接的な動きを捉えるのではなく方位の動きを捉えるので牛の細かな動きがフィルタリングされる事が確認できた。

（3）乗駕検知に特化したアルゴリズムの研究（21 年度研究）

牛が乗駕する際の Z 軸方向の加速度の変化を背中に取り付けた加速度センサーで測定した（図 4-2-2-2）。乗駕の際には通常歩行時と明らかに異なる加速度の変化が起こることがわかる。この乗駕時の加速度の時間的変化を拡大すると図 4-2-2-3 の様に乗る（乗駕）、保持、降りる（落下）、着地の 4 つの段階に分けることができる。まず乗る（乗駕）の段階では上向きの動きにより Z 軸の加速度が大きくなる。次に、乗駕の状態を保つ保持の段階。このときは牛が前後左右に激しく動き、時間も毎回異なる。次に乗った状態から降りる段階で加速度は小さくなる。この前足が地面についた着地で加速度が跳ね上

がる。

これら乗駕の動きに着目し、乗駕時の加速度の変化を乗る（乗駕）、降りる（落下）、着地の3点について閾値を設けて時間的条件を設けることによりノイズ除去を可能にしながら乗駕を検出できることが確認できた。

またこの手法により、吸血昆虫の追い払い行動を乗駕と誤検知しなくなることが確認できた。

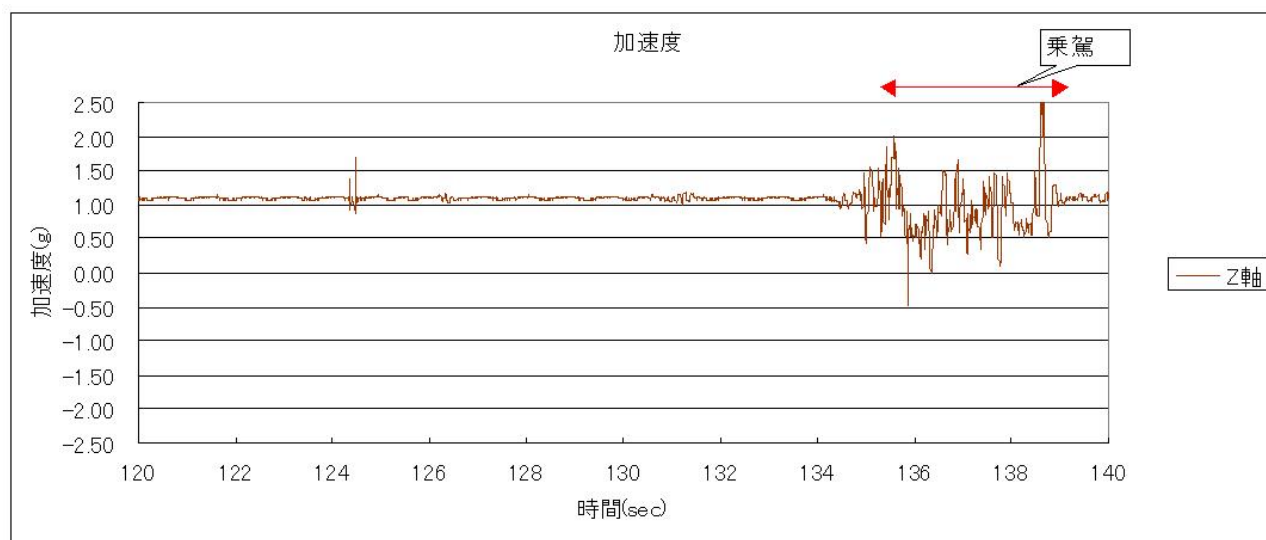


図 4-2-2-2 乗駕行動の一連についての加速度分析

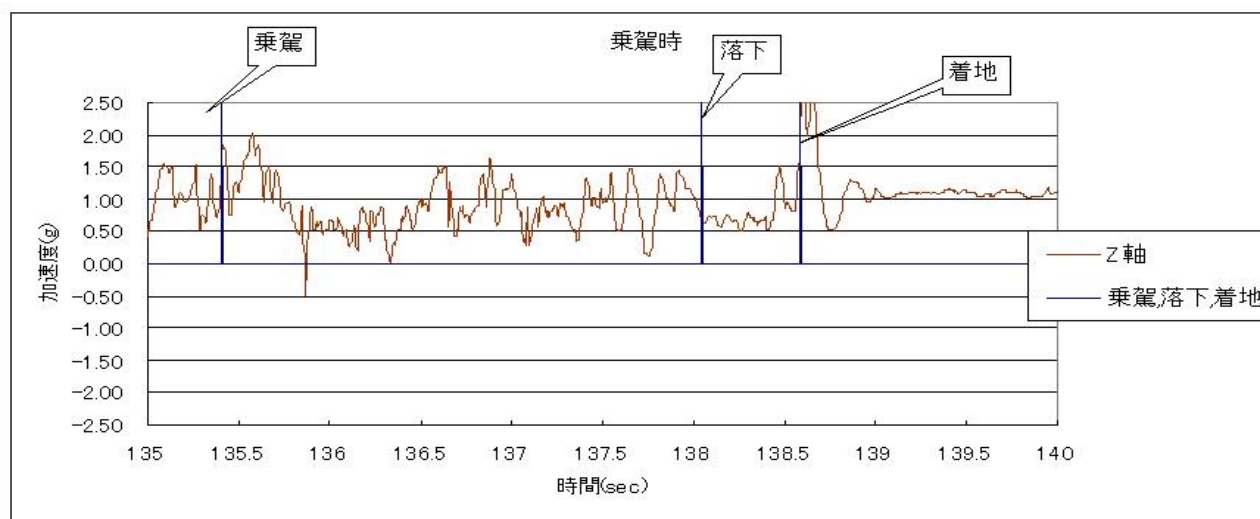


図 4-2-2-3 乗駕行動の一連についての加速度分析部分拡大

4-2-3 牛の横臥時を乗駕と誤認知してしまうことに対するプログラム（20・21年度研究）

（1）t検定による有意差の有無による判定（20年度研究）

発情誤認の対策として、カウントした行動量のデータを前日の同じ時間帯のデータとt検定により有意差の有無により判定する方式とした。これにより誤検知を少なくする事ができた。

（2）横臥時における加速度に対するプログラム（21年度研究）

加速度センサーを使用して乗駕を検出するにあたり、横臥時の誤検知を如何に減らすかが課題であった。そこで、乗駕の検出に加えて、横臥時に検出されるデータを利用してフィルターを設けた。牛がじっと立っている状態のような、地面に対しセンサーが水平な状態を基準とすると、横臥時にはZ-X面の傾きとしてある一定以上の値が継続的に検出される筈である。そこでこのデータに閾値を儲け、時間的要素と共に監視する事で、横臥の検出が可能になる。実際の乗駕検出アルゴリズムとしては、一連の乗駕検出シーケンスの中にX-Z面の傾きをフィルターとして組み込み、検出条件として角度が $\pm 30^\circ$ を超えず、尚且つ乗駕を検出した場合に真の乗駕とみなすようなアルゴリズムとした。これにより、横臥時の誤検知をほぼ0%とする事ができた。また、これは安定した装着が可能なベルトのおかげで実現できた

とも言える。

4-2-4 乗駕に対する検知精度を向上させるプログラム (20・21 年度研究)

(1) 乗駕行動時と歩行時の加速度の比較 (20 年度研究)

牛の背中に取り付けたセンサーで乗駕行動時および歩行時の加速度を測定した(図 4-2-4-1)。乗駕時の加速度は歩行などとは異なり大きく変動することがみてとれた。この変化の度合いを見ることによって乗駕と通常歩行の違いを区別することができる。

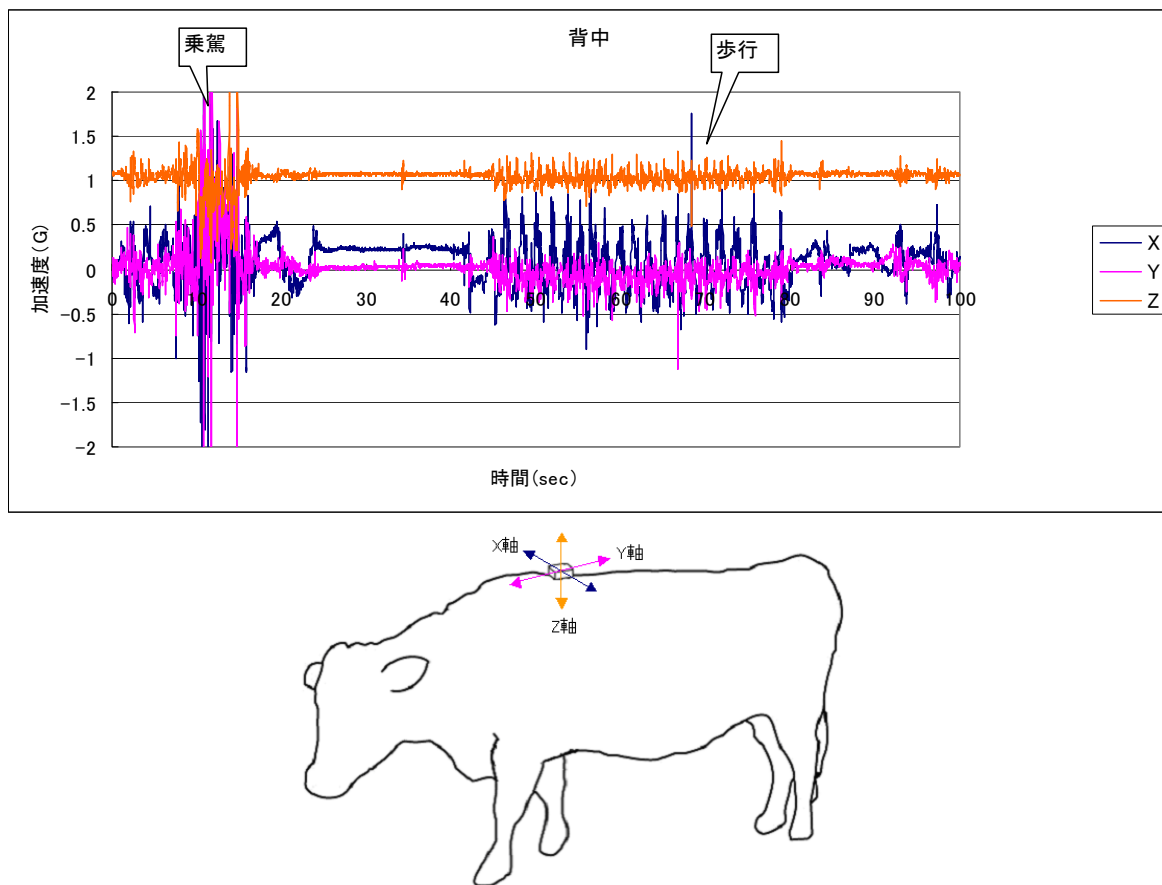


図 4-2-4-1 乗駕行動および歩行時の加速度変化

(2) 方位センサーと加速度センサーの併用による発情検知精度の向上 (21 年度研究)

牛は発情時に行動量が増加することは広く知られている。今回発情検知の精度を向上させるために方位センサーによって行動量も見ることとした。発情時には、他の牛に乗ろうとする追廻し行動が見られるため、方位センサーを使用した回転数の計測では行動量と同じように値が増加することが見て取れる(図 4-2-4-2)。

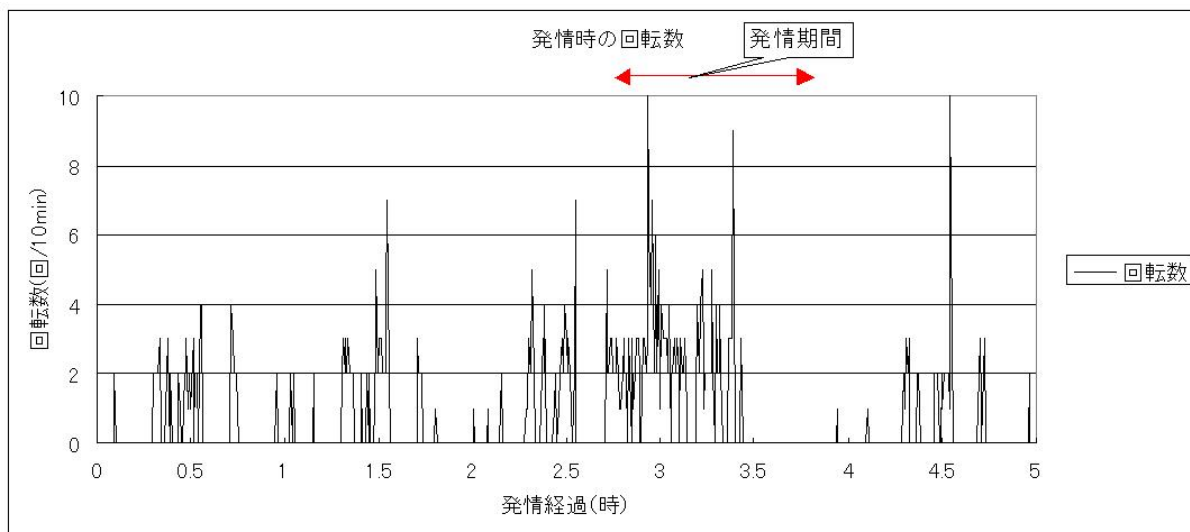


図 4-2-4-2 発情時の行動量検出

そこで回転数（行動量）のデータを当日と前日とで比較し、 t 検定の有意差の有無を判定することにより、発情に対しての検知精度を向上させることができる（岡山県畜産総合センターの報告による）。しかし t 検定を本システムに実装するにはメモリ等のスペック的な制限があるので実装することができない。そこで前日の行動量と当日の行動量との比率を t 検定の有意差の尺度として定義し簡易 t 検定とすることとした。

簡易 t 検定の結果による比率が大きく変わったところを有意な差が有るとして乗駕検出と組み合わせたアルゴリズムにより、発情が高精度で検知することが可能となる(図 4-2-4-3)。

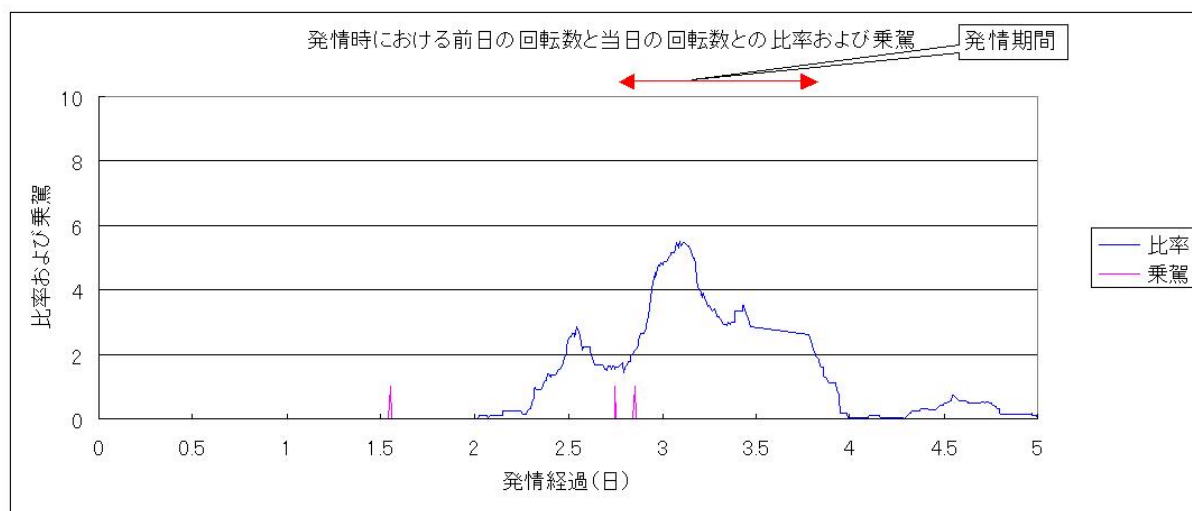


図 4-2-4-3 発情時における前日の回転数と当日の回転数との比率および乗駕

4-2-5 分娩解析プログラムの研究開発

牛は分娩前には行動量が増加し、分娩房内で巡回行動をとるためその動きを方位センサーで計測すると回転数の増加となって現れる(図 4-2-5-1)。分娩を検知するためはその回転数を計測し、あるしきい値を超えたことを検出すれば可能であると考えた。

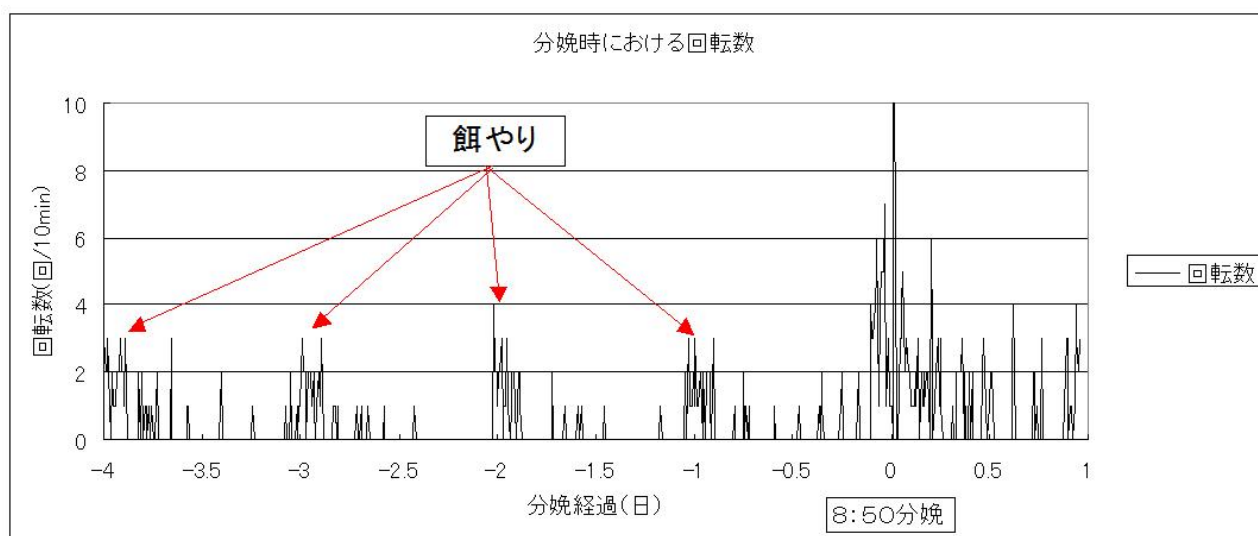


図 4-2-5-1 分娩時における回転数

しかし、実際には上記方法だけでは牛の個体差による行動量の違いや、飼育する環境による影響が出てくる。図 4-2-5-1 に示すように分娩時の回転数の上昇のみでなく、毎日の有る決まった時刻に回転数が増えることがわかる。これは餌やり時に行動量が増えたため回転数が増える為であることがわかっており、その対策が必要となっていた。そこで発情検知解析プログラムに実装したような簡易 t 検定を分娩解析プログラムにも実装することにより前日の回転数と当日の回転数の比率を見ることで餌やりの時間や個有の環境下における行動パターンをフィルタリングして検知率の向上と誤検知の減少が図れることを確認した(図 4-2-5-2)。

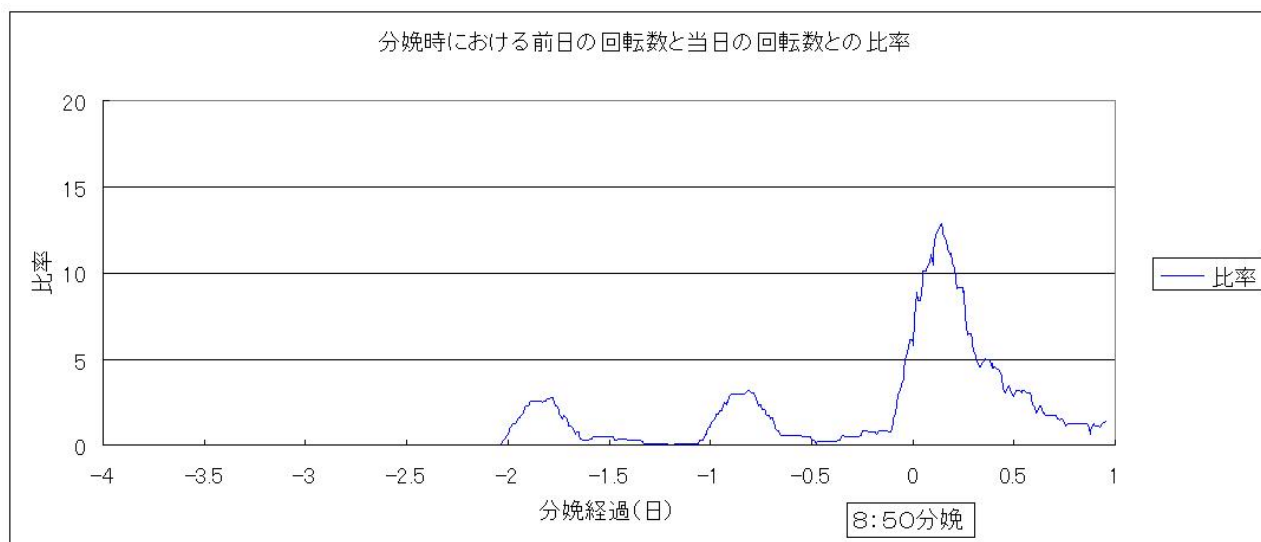


図 4-2-5-2 前日の行動量と現在の行動量との比率

4-2-6 まとめ

本研究の発情解析プログラムは発情時に乗駕行動を検知するのに乗駕時の乗る（乗駕）、降りる（落下）、着地する時の加速度の変化に着目し、乗駕している時間、降りる時の落下時間に時間的制約を設けることにより乗駕を検出できるアルゴリズムを開発した。さらに方位センサーを使い行動量の増加をみることで、誤検知を抑えて検知できることを確認した。

また同様に分娩検知への応用として、牛が分娩時に分娩房を回旋することを方位センサーで検出し、その回転数をみることで高い確率で分娩時間を検出できるプログラムを開発することができた。

4-3 繁殖農家と畜産技術者とのネットワーク形成の研究開発

4-3-1 研究開発内容

本研究はテレビ会議システムによるサポートを可能とするサポートセンター環境整備、繁殖農家と地元 JA、人工授精師あるいは畜産技術センターなどの畜産技術者とのネットワークするシステムの開発とパッケージ化を行う。

4-3-2 テレビ会議システムの検討

(19 年度研究)

(第一フェーズとして研究調査と試作モデルの設計)

畜産関係者のネットワーク化とテレビ会議システムによるサポートに関して 10 カ所の牧場などからヒアリングを行った(図 4-3-2-1)。ヒアリングの結果、効率化や危機管理のためネットワークによるテレビ会議システムやサポートセンターの必要性が明らかになった。

現在牛舎を自宅から離れた郊外に移すような指導が行われており新設される牛舎はすべて自宅から離れた位置に置かれたため、常時監視、特に夜間の監視が困難になっている。このため、分娩事故、発情事故の危険性が高まっている現状がある。これを防ぐためサポートセンターからの一括監視や、農家、獣医、人工授精師、ヘルパーなどの関係者の緊密な連携をとるための会議システムや、給餌機、スタンションのネットワークによる遠隔操作などが有効であると考え。



図 4-3-2-1 ヒアリング先

4-3-3 サポートセンター環境整備（20 年度研究）

当社の新見ネットワークセンター内に WEB カメラによる多地点モニタリングシステム(図 4-3-3-1、図 4-3-3-2)およびテレビ会議システム（図 4-3-3-3）を構築し、その有効性の検討を行った。



図 4-3-3-1 構築した多地点モニタリングシステム



4-3-3-2 牛舎モニタ用ディスプレイ



4-3-3-3 テレビ会議システム

4-3-4 畜産技術者ネットワークシステムの開発（20 年度）

20 年度は畜産農家と農協などの拠点施設をインターネットを利用したネットワークで結び、畜産農家での牛の状況を集中監視できるシステムの開発及び構築を行った。

図 4-3-4-1 にあるように、本システムは農協内に設置した集中監視サーバ、メールサーバ、畜産農家に設置した分娩発情検知センサー、及び監視カメラなどにより構成される。農協では畜産農家で飼養している牛の分娩発情監視センサーの状況をモニタでき、さらに監視カメラにより遠隔から牛の状況を監視することが可能となっている。

このようなシステムを利用し、畜産技術者間の連携を強化したネットワークづくりを支援する。

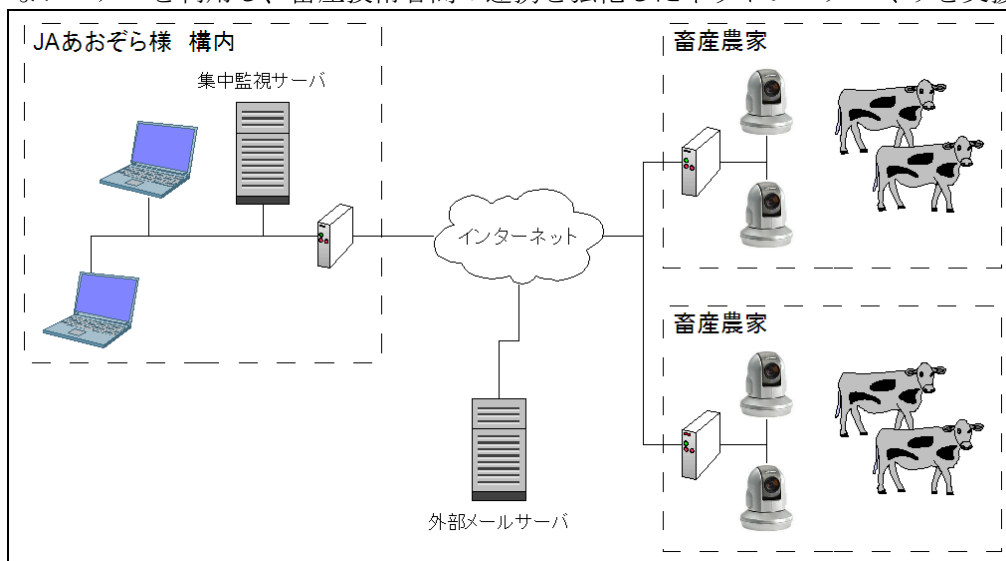


図 4-3-4-1 畜産従事者ネットワークシステム構成図

本システムは下記の各機能により構成される。

(1) 集中監視サーバ機能

・発情・分娩検知メール受信機能

分娩・発情検知端末（親機）より送られる発情または分娩検知メールを受信する機能である。センサーが発情または分娩を検知すると、カメラに事前登録されているアドレスにメールが送信される。サーバ側では1分毎にメールをチェックし、発情または分娩検知メールを受信した場合はその内容をデータベースに登録する。

・動画生成機能

発情および分娩検知前後の動画を生成する機能である。検知センサーが発情または分娩を検知すると、検知30秒前から検知後5分までの画像が10秒毎に1枚の間隔でサーバに転送される。1分毎にデータベースをチェックし、分娩検知から5分以上経過している物について動画を作成する。

(2) モニタリング機能

監視対象の農場の分娩検知センサーから発せられた分娩検知を集中的に監視する機能。

・利用者認証機能

ユーザー名、パスワード入力により、利用者の認証チェックを行う機能。

・集中監視機能

各カメラの発情または分娩検知状況を表示する機能。

画面左側には、農場ごとに分類された監視対象カメラがツリー表示される。画面右側には、左側のツリーから選択したカメラに関する情報が表示される（図4-3-4-2）。左側のツリーでカメラが選択されていない場合は、画面右側には何も表示されない。

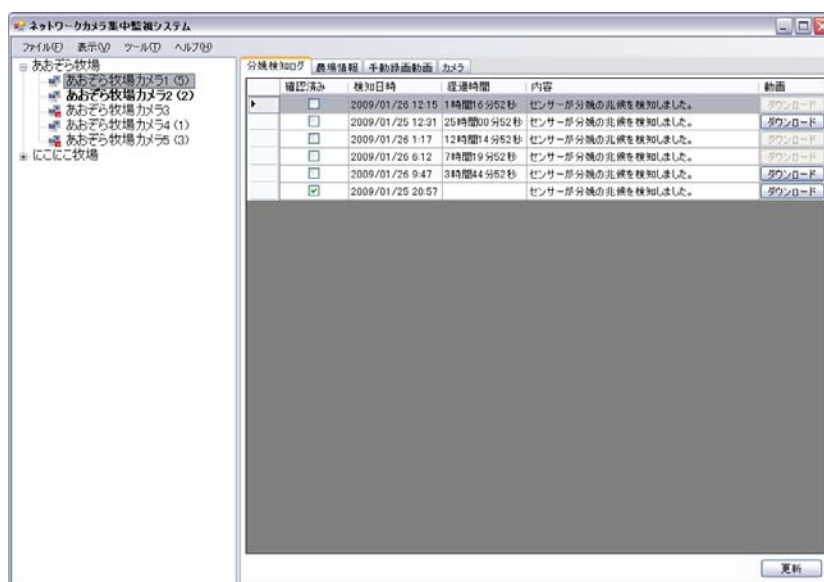


図 4-3-4-2 カメラ一覧

・カメラ一覧表示（図4-3-4-2）

1分毎にネットワークカメラからの分娩検知通知をチェックし、その結果によってカメラ名の表示方法がつぎのように変化する。1. 新着の発情、分娩検知情報なし「通常フォント」、2. 未確認の発情、分娩情報あり「カメラ名の後に括弧付き数字を表示。数字は未確認数」、3. 新着の発情、分娩情報あり」、太字。

・分娩検知ログ一覧（図4-3-4-3）

それぞれのカメラに接続されている分娩検知センサーが過去に検知したログの一覧を表示する機能である。新着のログは太字＋水色背景で表示される。

分娩検知ログ					
農場情報 手動録画動画 カメラ					
	確認済み	検知日時	経過時間	内容	動画
▶	☐	2009/01/26 1:17	12時間31分06秒	センサーが分娩の兆候を検知しました。	ダウンロード
	☐	2009/01/26 9:47	4時間01分06秒	センサーが分娩の兆候を検知しました。	ダウンロード
	☐	2009/01/25 12:31	25時間17分06秒	センサーが分娩の兆候を検知しました。	ダウンロード
	☐	2009/01/26 6:12	7時間36分06秒	センサーが分娩の兆候を検知しました。	ダウンロード
	☒	2009/01/25 20:57		センサーが分娩の兆候を検知しました。	ダウンロード
	☒	2009/01/26 12:15		センサーが分娩の兆候を検知しました。	ダウンロード

図 4-3-4-3 分娩検知ログ一覧画面

- ・農場情報表示（図 4-3-4-4）

カメラが設置されている農場の情報を表示する機能である。

農場		獣医師	
住所:	鹿児島県奄美市名瀬朝仁新町23	名前:	山田 陽一
名前:	あおぞら牧場	電話:	099-347-1367
電話番号:	099-318-9836	携帯:	090-8346-3618
メールアドレス:	xxx@aozora.net	メールアドレス:	xxx@docomo.ne.jp
携帯:	090-1234-5678	受精師	
	090-1234-5678	名前:	鈴木 太郎
	090-1234-5678	電話:	099-861-3390
	090-1234-5678	携帯:	090-8346-3618
	090-1234-5678	メールアドレス:	ttttt@docomo.ne.jp
携帯メール:	xxx@docomo.ne.jp	ヘルパー	
	xxx@docomo.ne.jp	名前:	佐藤 司
	xxx@docomo.ne.jp	電話:	099-347-1067
	yyyy@docomo.ne.jp	携帯:	090-8346-3618
	xxx@docomo.ne.jp	メールアドレス:	ccccc@docomo.ne.jp

監視通知メールを送る

図 4-3-4-4 農場情報表示

画面上のリンクをクリックすると、そのメールアドレスを宛先として既定のメーラーが起動する。「監視通知メールを送る」ボタンをクリックすると、送信先は農場のメールアドレス、メールの内容は設定画面で設定した内容で既定のメーラーが起動する。

- ・手動録画動画

カメラ一覧からカメラを選択し、画面右側に表示されるタブで「手動録画動画」を選択すると、そのカメラで手動録画し、サーバ上に保存されているデータが一覧表示される。

- ・カメラ表示

カメラ一覧からカメラを選択し、画面右側に表示されるタブで「カメラ」を選択すると、そのカメラの Web ページが表示される（図 4-3-4-5）。



図 4-3-4-5 カメラ表示

- ・情報ウィンドウ表示
メニューの「表示」－「潮汐」または「天気」を選択すると、潮汐情報、天気情報の Web ページが別ウィンドウで表示される。表示される Web ページは設定機能によって変更することが出来る。

(3) システム管理機能

管理者がシステムの設定や、データ管理をする機能。

- ・管理者認証機能
ユーザー名、パスワード入力により、管理者の認証チェックを行う機能。
- ・カメラ管理機能
監視するカメラの情報を管理する機能。
- ・農場管理機能
監視する農場の情報を管理する機能。
- ・連絡先管理機能
連絡先の情報を管理する機能。
- ・分娩検知履歴管理機能
分娩検知センサーから受け取ったメッセージを管理する機能。
- ・ユーザー管理機能
システムにアクセスするユーザーの情報を管理する機能。
- ・手動録画動画管理機能
手動録画した動画を管理する機能。

4-3-5 繁殖農家と地元 JA、畜産技術者とをネットワークするシステム (21 年度研究)

21 年度は 20 年度に開発したシステム (図 4-3-4-1) を活用し畜産技術者のネットワークの構築を図った。鹿児島県の JA あおぞらの繁殖センター内に集中監視サーバを設置し実証実験を行った。農場に設置したカメラからの様子を事務所にいながらにしてモニタすることができた (図 4-3-5-1)。繁殖センターの出産予定和牛に分娩検知センサーを取り付け携帯電話へのメール配信 (図 4-3-5-2) を通じてほぼ確実に分娩の兆候を捕らえることが出来た。特に夜間の分娩ではその有効性を実証することが出来た。このようなシステムを利用することにより畜産農家、受精師、獣医が同時に牛の様子を確認でき、獣医は現場に移動せずとも牛の様子を確認でき適格な判断を行えるのでそのメリットは大きい。ただし、現時点では実験地 (農場等) の通信インフラが整っていない場所もあるが、今後光ファイバー等の通信インフラが整備されれば、監視できる対象の牛舎がふえ、更なる活用が期待できる。



図 4-3-5-1



図 4-3-5-2

4-3-6 システムのパッケージ化による汎用化の実現（21年度研究）

本研究の中で開発した発情・分娩検知システム、集中監視サーバ、TV 会議システムを使用し「繁殖農家と地元 JA、畜産技術者とをネットワークするシステム」の実証実験を行った（前項 4-3-5）。

実証実験を通じ分娩支援等で農家の負担軽減することが実証された。高齢化が進む農家の支援を行うためには農家でのシステムの運用のわずらわしさを解消しなければならない。本システムでは発情・分娩兆候の発見や牛舎での牛の状態を集中管理することにより、農家への負担を軽減することができた。また発情・分娩兆候は携帯電話で各農家へも配信されるためパソコンを常時起動しておく必要も無く導入障壁が少ない。また詳細な画面を確認するためにはインターネット対応テレビやテレビに接続されたゲーム機でも使用できることが確認できた。本研究で開発した発情・分娩検知システム、集中監視サーバ、TV 会議システムのパッケージ化で高齢の農家でも IT を活用した畜産を実現できる目途がついた。

4-3-7 まとめ

農協など畜産農家の牛の状態を常時モニタできる集中監視サーバを設置することで畜産農家が常時、牛の監視をしていなくても、牛の分娩の兆候や出産の様子など畜産農家にとって重要な部分をセンター側で補完することが可能となる。また同時に獣医や受精師が情報を共有できるため、危険な状態をいち早く察知でき事故の防止に役立つことが確認できた。

4-4 情報通信ネットワークの実証試験

4-4-1 研究開発内容

農家や農場と人工授精師等、地域の畜産技術者とのネットワークを構築し、実用化に向けた有効性を調べる。この試験は、光ファイバーによる情報通信ネットワーク体系の構築を目指している岡山県新見市において行う。合わせて、通信費等を含めたランニングコストの試算も行う。

4-4-2 新見市 FTTH のネットワーク実証実験（20 年度）

新見市 FTTH は平成 20 年度より実用化された高速の光回線である。平成 20 年度 5 月に新見ネットワークセンター（住所：岡山県新見市西方 4160）を新設し、当研究の拠点として運用を開始した。

当研究では、補足試験の場所である岡山県畜産総合センター、島根県畜産技術センター、哲多和牛牧場および畜産農家と新見ネットワークセンターを新見市 FTTH で経由したインターネット回線で接続し、発情、分娩の実験に利用した。ネットワークの構築の目的は 2 つあり、一つは WEB カメラを利用した発情、分娩の状況の観察、そしてもう一つの目的は発情、分娩のセンサーの実験データを新見ネットワークセンターで取得を可能とすることであった。新見市 FTTH を利用したネットワークの構成を（図 4-4-2-1）に示す。

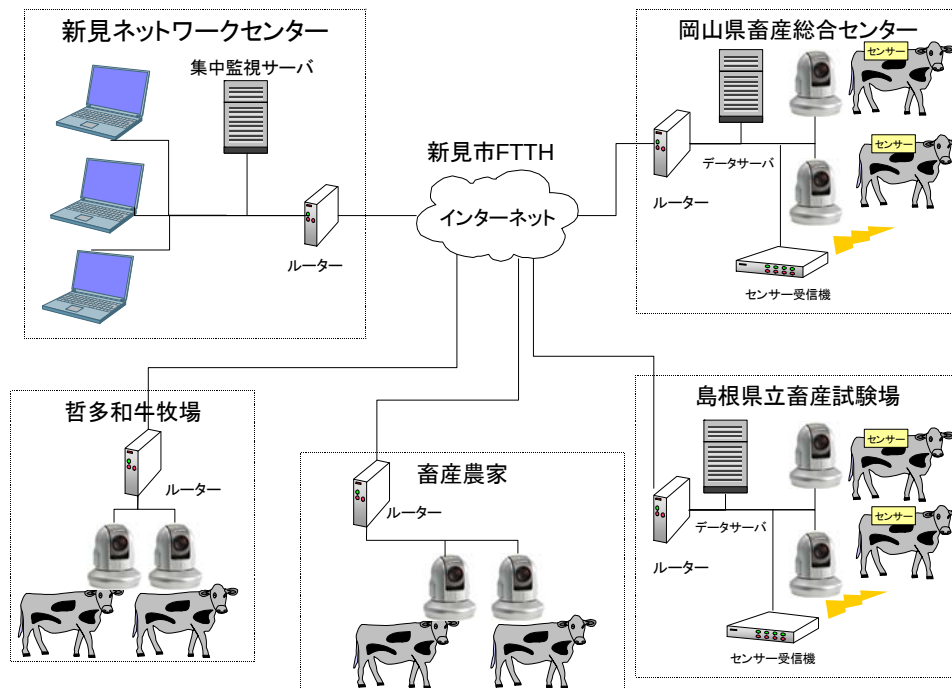


図 4-4-2-1 ネットワークの構成

このようなネットワークを構築することで新見市内に居ながらにして遠く離れた実験場所の発情・分娩の状況確認（図 4-4-2-2）、発情・分娩データの確認（図 4-4-2-3）が可能であり、特に高速の通信環境であればよりスムーズにモニタができることが確認できた。



図 4-4-2-2

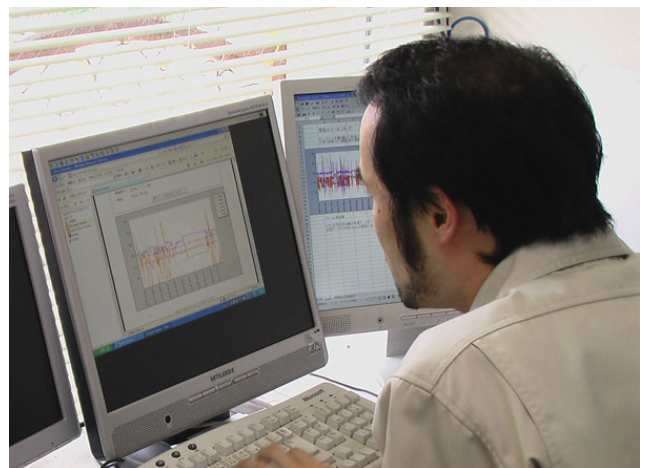


図 4-4-2-3

4-4-3 新見ネットワークセンター内で遠隔地の牧場の様子を監視できるシステム(21年度研究)

新見ネットワークセンター内に遠隔地の牧場の様子を監視できるシステムを構築した(図 4-4-3-1)。監視先として九州2ヶ所、岡山2ヶ所、島根2ヶ所の計6ヶ所に計20台のカメラで発情や分娩牛の画像をモニタし、本研究にて構築した発情・分娩検知システムによるメール通報の正誤および牛の行動とセンサーからのデータと画像の照合を行った。



図 4-4-3-1 牧場のモニタ画面

4-4-4 まとめ

新見市 FTTH を利用して情報通信ネットワーク実証実験を行った。FTTH の環境下であれば新見市内にいながら遠方の実験場所の発情・分娩の状況やデータの確認がスムーズにできた。また遠隔地の牧場の様子を監視するシステムも高速な光回線であるからこそ数多くの地点のカメラをモニタリングすることができた。また FTTH であれば JA などにパッケージ化された集中監視サーバおよび多地点モニタリングシステムを導入すると広範囲にわたる畜産農家をフォローできることがわかった。

新見市 FTTH の利用料金は月々4,883 円である。年間で 58,596 円のランニングコストがかかる

4-5 牛発情検知・分娩検知補足試験

(再委託先：岡山県総合畜産センター)

4-5-1 研究開発内容

牛体に確実にセンサーを固定しなければ発情・分娩の検知を正しく行うことは出来ない。現場で簡単にセンサーを固定するベルトの開発を行うとともに牛への装着・検証実験を行った。

またセンサーによって検知された結果が正確である事を検証するため、発情・分娩時のセンサーから得たデータと監視カメラ映像との照合、発情検出時の牛の卵巣動態と排卵時間の確認を行った。

4-5-2 発情・分娩検知システムの牛への装着・検証実験

1) 専用ベルトの開発 (H20～21)

センサーを和牛の牛体に安定的に装着するための専用ベルトは、平成 18 年度から先行して開発中であつたが、強度の点、及び装着に慣れを要する形状の複雑さの問題があつた(図 4-5-2-1)。このため、平成 20 年から改めて形状、素材の見直しに着手した。数種の形状、素材を試した結果、伸縮性がありかつ強度の高いネオプレンゴムを全体に使用したシンプルな形状のベルトを開発した。発情、分娩試験時に使用し、旧型ベルトで問題であつた脱落・破断や褥創の形成もなく、安定的にセンサー装着が可能となり、また装着も簡易に改善した(図 4-5-2-2)。

さらに、平成 21 年には、背部の形状が異なる乳牛に対応した形状のベルトも開発した。

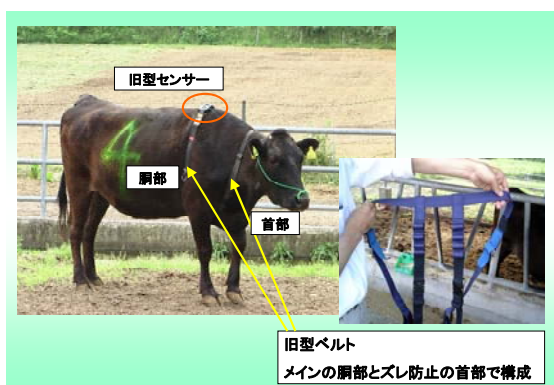


図 4-5-2-1 旧型ベルト

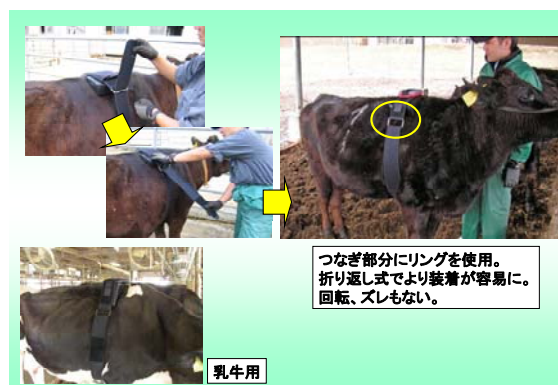


図 4-5-2-2 新型ベルト

4-5-3 発情・分娩時のセンサーデータ、監視カメラ映像との照合

1) 旧型センサーによる発情検知試験 (H20)

センサーデータについては、平成 18 年度から実施した先行試験においては、発情検知率 75%であつたが、機械的な発情の検知基準を明らかにする目的で、平成 20 年度も引き続き旧型センサーでデータをとった。一方、その過程で生じた問題に対応した新型センサーの開発を(株)ワコムアイティと共に行つた。旧型センサーのデータは行動量と乗駕 2 種類のデータで構成され、図 4-5-3-1 に示すとおり、発情時に行動量、乗駕回数ともに大幅な上昇を示すことから、図 4-5-3-2 に示すように、前日の平常時のデータ系列との間で対応する 1 対のデータを用いた有意差検定 (t-検定) を行い、行動量、乗駕回数のデータが、前日のデータと比較し、有意に上昇した場合を機械的な検知とした。

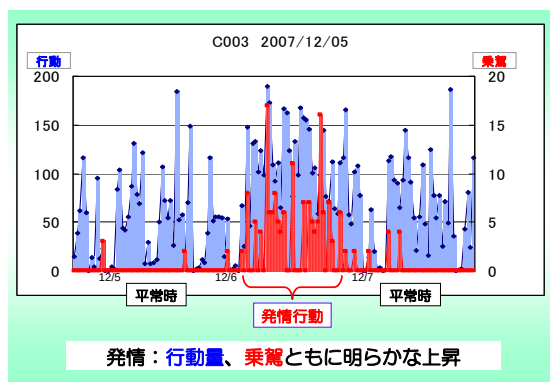


図 4-5-3-1 旧型センサーによる発情例

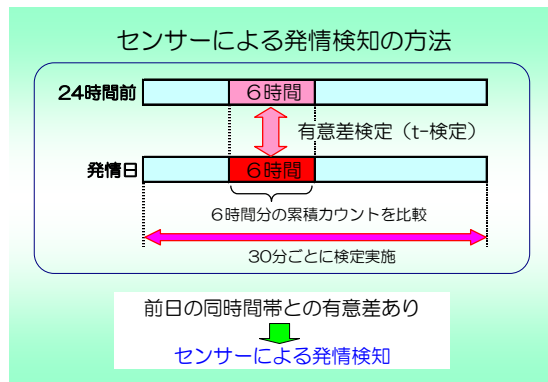


図 4-5-3-2 旧型センサーでの検知方法

その結果、図 4-5-3-3 に示したとおり、行動量センサーでは、全発情 31 回中、30 回検知しており、

発情検知率は96.8%、検知時間はビデオカメラによる発情行動開始時から平均2.0時間後であった。また乗駕センサーでは、全発情31回中27回検知であり、検知率87.1%、初回検知時間4.1時間であった。しかし図4-5-3-4に示すとおり、行動量センサーでは、全検知回数1361回のうち、誤報が486回、誤報率35.7%と誤報の多さが問題であり、改善の必要性が示された。一方、乗駕センサーでは全検知回数612回中誤報は77回、誤報率12.6%であり、乗駕行動をとらえると高い正答率を示した。このため、行動量センサーの発情検知率の高さと乗駕センサーの正答率の高さを組み合わせることで発情検出の第1報は行動量センサーから、第2報を乗駕センサーとすることで、より実用化につながると考えられる。また、新型センサーの開発にあたり、特に行動量センサーにおいて、より誤報の少ない方向への改良が必要であることが分かった。

	発情回数	検知回数	発情検知率(%)	初回検知時間 (平均・h)
行動量	31	30	96.8	2.0
乗駕	31	27	87.1	4.1
行動量 +乗駕	31	26	83.9	4.8

(発情検知率=センサーが検知した発情の回数/発情回数)

図 4-5-3-3 旧型センサーの発情検知率

	発情検知回数	誤報回数	誤報率(%)
行動量	1361	486	35.7
乗駕	612	77	12.6
行動量 +乗駕	431	53	12.3

(誤報率=誤報回数/センサーの発情検知回数)

図 4-5-3-4 旧型センサーの誤報率

2) センサーの改良 (H20)

旧型センサーでは、前述のとおり、行動量センサーでの誤報率の高さが問題となった。このため、行動量を振動としてとらえることを止め、電子コンパスを利用した方位センサー(図4-5-3-5)を用いることで、図4-5-3-6に示すように運動量の増加を回転数の増加として捉えることが可能であることがわかった。新型センサーでは、行動量センサーにこの方位センサーを採用し開発した。最終型では、これに旧型センサーと同様、乗駕行動を捉えるための加速度センサーを組み合わせている。

また、この方位センサーは、分娩前の陣痛による顕著な行動量上昇も捉えることがわかり、発情検知・分娩検知双方の行動量センサーとして利用可能であった。



図 4-5-3-5 新型センサー試作機

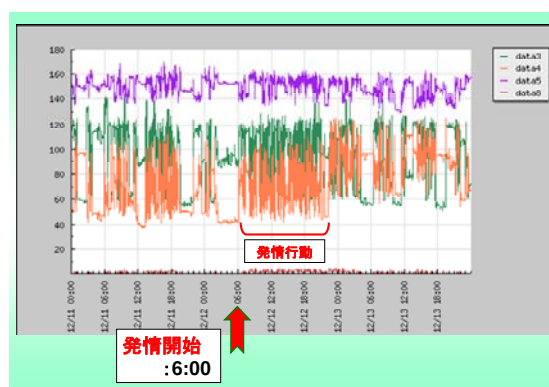


図 4-5-3-6 新センサー試作機での発情データ

3) 新型センサー試作機による発情・分娩検知試験 (H20)

新型センサー試作機(図4-5-3-7)での発情検知試験では、先行試験と同様に、センサーデータの動きと監視カメラによる牛の実際の行動を比較しながら行った(図4-5-3-8)。その結果、発情検知については、6例中全てにおいて発情開始後の行動量データが前日のデータと比較し有意に上昇(先行試験と同様に前日データと発情時データとのt-検定を利用)した。

分娩検知試験では、1時間移動累積15回転/h以上で分娩徴候検知の機械的検知の条件設定を用い、H20.10月からH21.2月の9例分娩データを照会したところ、平均で分娩の4時間41分前に行動量の増加を検出した。このことから、分娩徴候を検知し、予報的に通報することが可能であると判断した。



図 4-5-3-7 新型センサー



図 4-5-3-8 新型受信機・データ収集解析状況

4) 新型センサー最終試作機（ES2）による発情検知試験（H21）

新型センサー最終試作機による発情検知試験の一例を図 4-5-3-9 に示す。この試験牛の場合は、18:10 に発情行動を開始したが、実際の行動量の増加と同様、行動量を捉える方位センサーの数値は上昇を示し、発情開始 2 時間 10 分後の 20:20 に発情を検知した。また、加速度センサーによる乗駕については、全 8 回のカウントを示したが、検知時間と実際の画像照合の結果乗駕を捉えていた（図 4-5-3-10）。しかし、加速度センサーによる乗駕行動の把握については最終試作機作成の最終段階でそれまで利用していた加速度センサーの製造が中止されたため、新たなセンサーの選択、調整が必要となり、予定が大きくずれ込んだ。このためにデータが 2 例しかなく、今後更に例数を重ね、調整する必要がある。

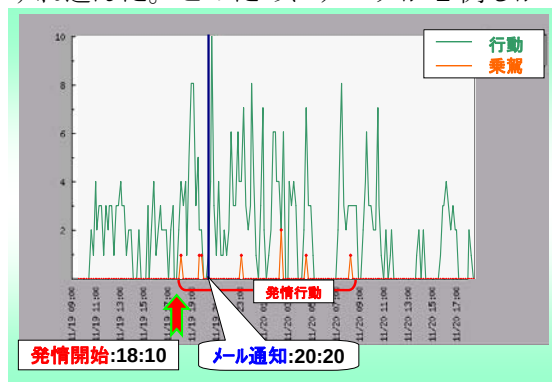


図 4-5-3-9 ES2 で捉えた発情



図 4-5-3-10 発情中の試験牛

5) 新型センサー最終試作機（ES2）による分娩検知試験（H21）

分娩検知試験の状況の例を図 4-5-3-11 に示した。試験牛（図 4-5-3-12）は 23:00 に分娩したが、監視カメラ画像での行動増加を確認した 19:00 頃から行動量を示す方位センサーデータも上昇し、分娩の 2 時間 50 分前、20:10 にメール通知（移動累積 15 回転/h で通知設定）があった。試験全体では、移動累積 15 回転/h で通知設定にした場合、19 例中 17 例（検知率 89.5%）、移動累積 14 回転/h で通知設定にした場合、19 例中 19 例全てにおいて検知（検知率 100%）となった。また全例平均で分娩の 3 時間 55 分前にはメール通知が可能であった。分娩検知においても、機械的検出条件の設定に検討の余地はあるが、分娩前に準備をする時間的な余裕を残し、メール通知が行われており、非常に高い確率で検知・通報可能であった。

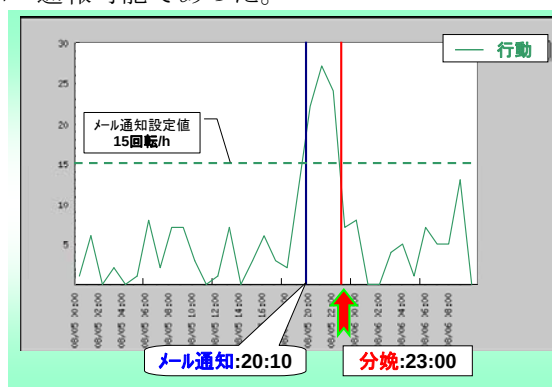


図 4-5-3-11 ES2 で捉えた分娩



図 4-5-3-12 分娩直後の試験牛

4-5-4 検出された発情時の牛の卵巢動態・排卵時間の確認

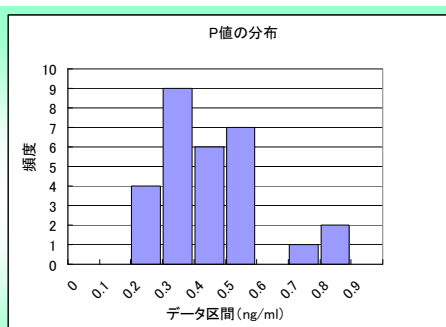
1) 発情時の黄体ホルモンと排卵時間 (H20)

旧型センサーでの、センサーにより検知した発情が真の発情であったかの確認は、①監視カメラによる牛の行動の確認、②外陰部・子宮状態の観察（外陰部腫脹・充血、発情粘液、子宮収縮のスコア）、③超音波画像による卵巢画像の撮影、④血液中の黄体ホルモン(Progesterone)測定などにより行った。

このうち、発情時には1 ng/ml 以下に下降するとされる黄体ホルモンについては、測定を行った 29 例の平均値が 0.4ng/ml（発情開始 24 時間後採血）と低値であり、確かに発情であったことを示していた（図 4-5-4-1）

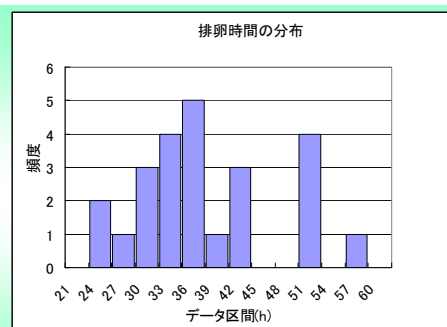
また一部発情例において、卵巢撮影の際に排卵するまでの継続撮影（3 時間ごと）を行い、センサーによる発情検知からの排卵時間をデータ採取したところ、24 例の発情において、センサーによる発情検知後の排卵時間は平均で 36.6 時間となり、これは様々な文献等でいわれる 35 時間前後とほぼ同様の結果を得た（図 4-5-4-2）。

新型センサー最終試作機（ES2）での発情検知の際の内分泌と行動については、島根県畜産技術センターから報告「4-6」参照。



平均Progesteron値：0.4ng/ml

図 4-5-4-1 血中 Progesterone 値の分布と平均



平均排卵時間：36.6h

図 4-5-4-2 排卵時間の分布と平均

2) 分娩時の内分泌状態とセンサーデータの動き(H21)

分娩検知試験においても、分娩時の内分泌状態（血中ホルモン値）と方位センサーデータとの照合を行った。図 4-5-4-3 に一例を示すと、分娩の約 24 時間前に黄体ホルモン(Progesterone:P4)は下降しており、対して卵胞ホルモン(Estradiol17β:E2)は上昇に転じている。一方、行動量を示す方位センサーデータは 10 時間前から徐々に上昇し、分娩 2 時間前から大きく上昇した。この例においては、分娩の約 1 時間 30 分前に分娩徴候検出のメール通知があった。

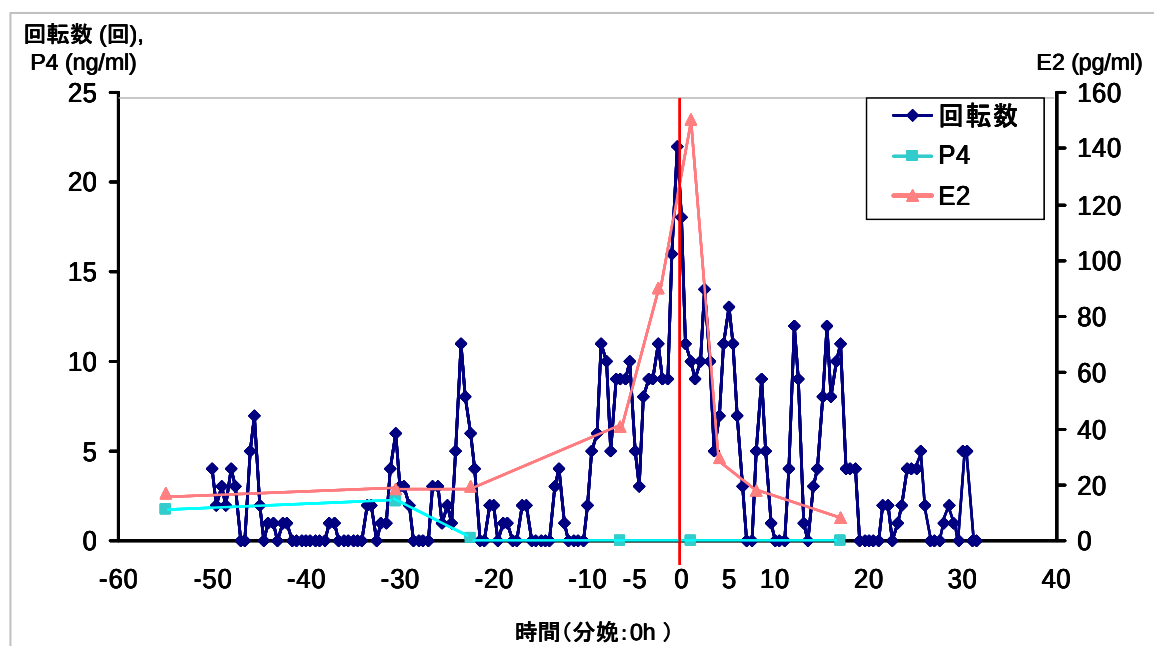


図 4-5-4-3 分娩時の血中ホルモン濃度とセンサーデータの推移

4-5-5 まとめ

1) 専用ベルト開発

センサー装着専用ベルトは、先行試験時の旧型ベルトの欠点を踏まえ、数種の形状、素材から見直し、センサーを安定的に保持でき、牛にストレスなく、かつ簡易に牛に装着できるベルトが開発できた。

2) 機械的発情検知基準

機械的な発情の検知基準を明らかにするため、行動量と乗駕 2 種類のデータを前日の平常時のデータ系列との間で対応する 1 対のデータを用いた有意差検定 (t-検定) を行い、有意に上昇した場合を検知とした。行動量センサーの発情検知率の高さと乗駕センサーの正答率の高さを組み合わせることにより、発情検出の第 1 報は行動量センサーから、第 2 報を乗駕センサーとすることで、より実用化につながると考えられる。

3) センサーの改良

行動量センサーでの誤報率の高さが問題となったため、行動量を振動としてとらえることを止め、電子コンパスを利用した方位センサーを用いることで運動量の増加を回転数の増加として捉えることが可能となった。最終型では、これに乗駕用加速度センサーを組み合わせた。さらにこの方位センサーにより、分娩前の行動量上昇も捉えることがわかり、発情検知・分娩徴候検知双方の行動量センサーとして利用可能であった。

4) 新型センサー最終試作機(ES2)による発情・分娩検知試験

新型センサー開発に向け、試作機から発情・分娩データを採取し分析を実施。最終試作機 ES2 では、発情については、試験例が少なく更なる検証が必要だが、分娩については、検出条件の設定に検討の余地はあるが、19 例中 19 例全てで事前検知に成功し、平均で分娩 3 時間 55 分前での分娩徴候の検知が可能であった。

以上の結果から、本システムのうち、発情の検知のための乗駕行動用加速度センサーは、今後更なるデータの蓄積と検証が必要であるが、行動量を検知する方位センサーは発情、分娩共に行動量の上昇を捉えており、特に、分娩兆候の事前検知は、これまでの分娩予知法（体温低下法）での体温低下から 48 時間以内に生まれるという長い待機時間から、分娩のわずか数時間前に的確に分娩を捉えることでわずか数時間の待機で済むなど、和牛繁殖農家の肉体的、精神的な負担軽減及び、分娩事故の低減に大きな効果を発揮するものと期待できる。

4-6 牛発情検知・分娩検知補足試験

(再委託先：島根県畜産技術センター)

4-6-1 研究開発内容

島根県畜産技術センターでは、(株)ワコムアイティからの「牛の発情検知システムによる繁殖農家と畜産技術者との情報通信ネットワーク形成を目的とする研究開発」に関する研究委託を受け、3軸方位センサーを採用した分娩検知および発情検知システムの評価について黒毛和種雌牛を用いて行った。このセンサーで得られるデータは、肉眼的に観察できる「歩き回る動き」を地磁気の動きとして数値化、つまり「回転数」として計測される数値である。

評価のための調査項目は、次の5項目である。

- (1) 飼養形態別の発情発見の観察および排卵時期の推定 (20・21年度研究)
- (2) 発情期における血中ホルモン濃度の測定 (20・21年度研究)
- (3) エンジニアリングモデルによる分娩の監視 (21年度研究)
- (4) 分娩前からの経時的な体温を直腸温ならびに体表温度で測定 (20・21年度研究)
- (5) 分娩前から分娩後における血中ホルモン濃度の経時的な測定 (20年度研究)

なお、(1)および(2)の項目については「牛発情検知に関する補足試験」として、(3)から(5)の項目については、「牛分娩検知に関する補足試験」として報告する。

4-6-2 牛発情検知に関する補足試験

3軸方位センサーを用いて、黒毛和種雌牛の発情検知が可能かどうかを調査した。

フリーストール形態の牛舎で繋養している黒毛和種雌牛7頭に3軸方位センサーを装着し、発情誘起後、センサーデータ(行動量)を計測しながら、発情観察を行い、直腸検査で排卵確認を行った。

供試牛の発情当日の行動量は発情前日および後日に比べ、明らかに上昇することが確認できた(図4-6-2-1)。

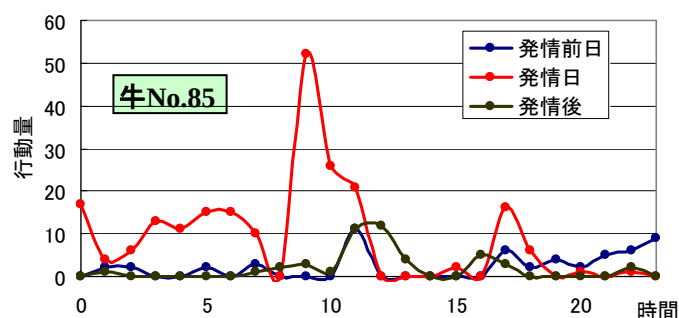


図4-6-2-1

発情前日、当日および後日の行動量の推移(1例)

供試牛は発情誘起 46.0 ± 14.0 時間(平均 $\pm$ 標準偏差)後から発情行動が観察され始め、 52.6 ± 13.8 時間後には LH レベルがピーク(LH サージ)に達した。LH サージから排卵までの時間は、 26.9 ± 5.4 時間であった。行動量と血液中のホルモン濃度の推移は図 4-6-2-2 に示すとおりで、行動量と LH の推移は同様な動きであった。

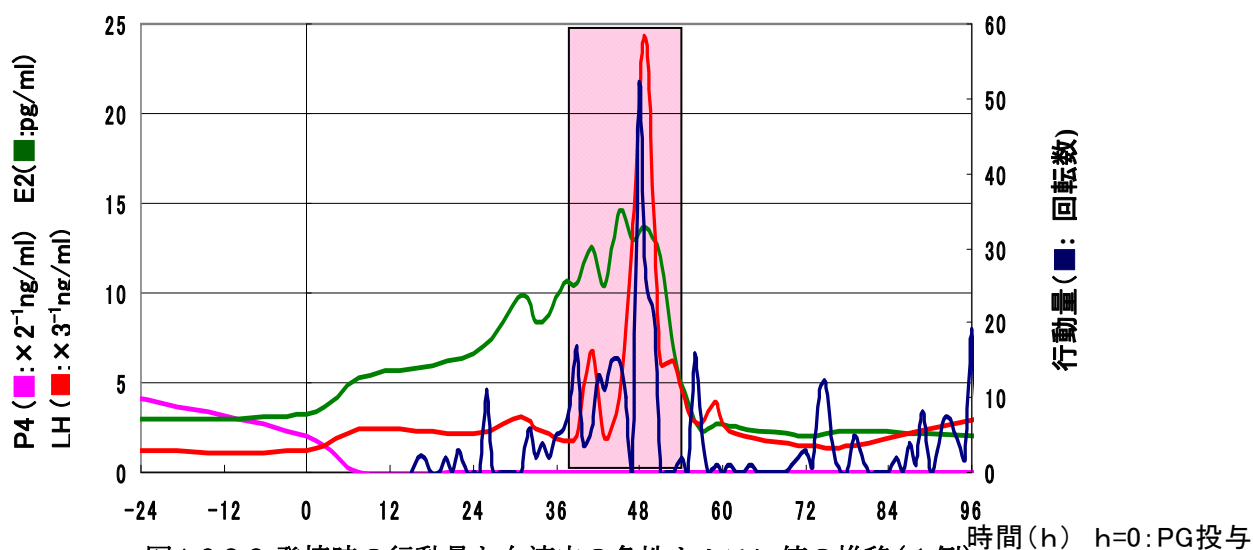


図4-6-2-2 発情時の行動量と血液中の各性ホルモン値の推移(1例)

■: 発情行動を観察できた時間

そこで、行動量と血液中の性ホルモン濃度について回帰分析を行ったところ、行動量と LH との間に相関が認められた。個体別の分析結果では、2 時間の行動量(回転数)と LH の間で 7 頭中 6 頭に相関が認められた。

4-6-3 牛分娩検知に関する補足試験

3 軸方位センサー搭載の分娩検知センサー(試作品)の実用化を目指し、黒毛和種雌牛 17 頭を供試した。主な調査項目は、分娩前後の体温(直腸温度)、センサーデータから得られる行動量(回転数)および血中ホルモン濃度の動態とし、統計解析した。

試験は分娩予定 7 から 10 日前の供試牛 10 頭に装着し、毎日午後 4 時 30 分に体温測定と採血を行った。体温は分娩 1 日前に下降し、分娩時に上昇する傾向で、血中ホルモンのうち、Progesterone は体温下降と連動して分娩 1 日前に低下、逆に Estradiol17 β は上昇した(図 4-6-3-1)。

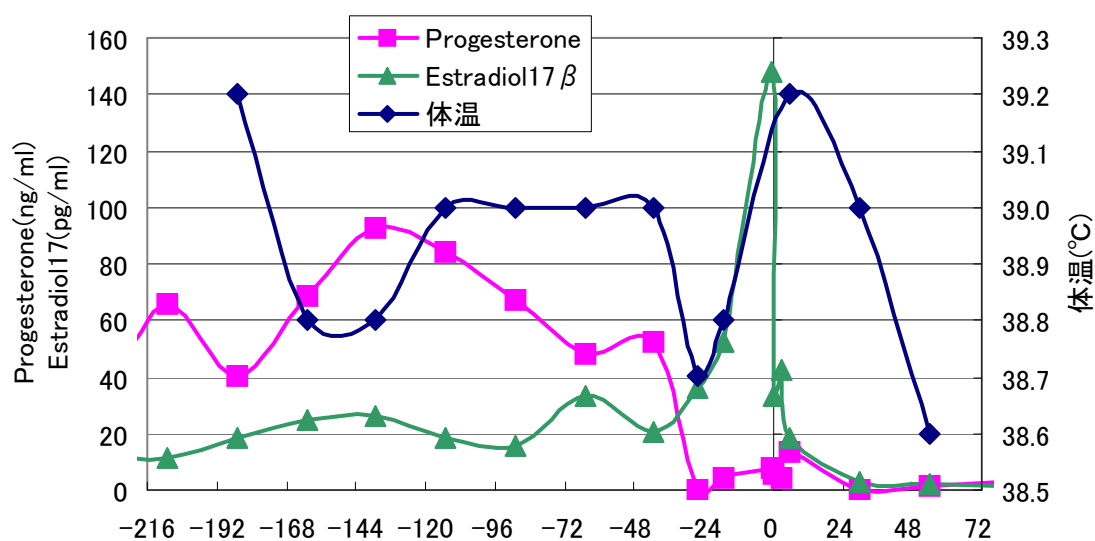


図4-6-3-1
分娩時における体温および血中ホルモン濃度の推移 (1例)
横軸は、分娩前後の経過時間を示し、分娩時を 0 時間 (h=0)

分娩前後の体温(直腸温度)の測定と併せて、尾根部、耳介部、左側腹部、乳房、陰部の体表温度を測定し、回帰分析を行った。その結果、直腸温度と相関が認められた部位は無かった。

分娩前後の行動量(回転数：1 時間の累計値)の推移をみたところ、全ての供試牛で分娩前に増加することが解った。図 4-6-3-2 には経産牛および初産牛のそれぞれ 1 例の分娩前からの行動量の推移を示した。出産経験に関わらず分娩前に行動量(回転数)が増加した。

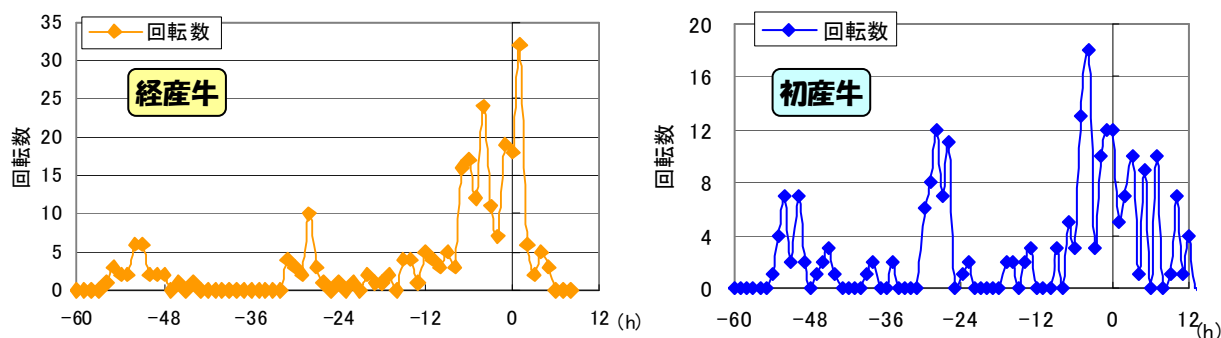


図4-6-3-2 分娩時における行動量(回転数)の推移
値は、1時間の累計値。横軸は、分娩前後の経過時間を示し、分娩時を0時間(h=0)

分娩前において回転数 10 および 15 以上を計測した時間(分娩時=0 h)を分析したところ、表 4-6-3-1 のとおりであった。この結果に基づき、供試牛 7 頭について、携帯電話への通知システムを「15 回転以上確認時=分娩検知値」に設定したところ、分娩前通知があり(8/8=100%)、その平均通知時間は分娩前 3.1 時間であった。

行動量と血液中の各性ホルモン濃度との相関をみたところ、明らかな相関はみられなかった。

表4-6-3-1 分娩前におけるそれぞれの行動量(回転数)到達時間

回転数	頭数 ¹⁾	時間(平均値)	
		初到達 ²⁾	直前到達 ³⁾
10以上	9	-42.0h	-2.5h
15以上	8	-11.9h	-2.5h

注)供試牛は黒毛和種雌牛10頭

1)それぞれの回転数を超えた頭数

2)それぞれの回転数を分娩前に初めて超えた時間

3)それぞれの回転数を分娩直前に超えた時間

4-6-4 まとめ

3 軸方位センサーで得られる行動量データは、肉眼で観察できる「歩き回る動き」を地磁気の動きとして数値化、つまり「回転数」として表示出来る。よって、この数値の変動から行動量の変化が推測出来る。

このセンサーから得られる発情時における行動量は、そうでない時期と比べ明らかに増加した。さらに、発情時におけるこのセンサーから得られる行動量は、LH サージを推定することが可能であり、授精時期の推測が出来ることを意味する。

また、当該センサーは、黒毛和種雌牛の分娩の 3.1 時間前に行動量増加が通知出来ることから、分娩検知も可能であると考えられ、分娩に伴う母牛及び子牛の事故低減に貢献できると思われた。

以上のことをまとめると、今回評価した 3 軸方位センサーから得られた行動量が、発情時或いは分娩前に明らかな増加を示したことから、発情或いは分娩検知の指標として有望と判断された。また、このセンサーの検知システムは、発情時における LH サージの推定に利用出来る可能性が高い。当該システムが生産現場で活用された場合、授精適期の予測による受胎率アップにつながり、さらに分娩検知と併用すれば子牛の生産性向上にもつながることが示唆された。

4-7 総括

3年間にわたる本研究開発の意味を一言でまとめれば、牛の発情検知率をいかにして誤報を少なくし正しい発情を知らせるという技術の開発であった。平成18年度から実施した先行試験においては、乗駕センサーによる牛の発情検知率は75%であった。本事業提案時点でこれを80%以上に向上させて、実運用に耐える製品開発を目指すことをうたった。しかし類似の他社製品などではパンフレットに発情検知率を100%と表示しているものもあり、本研究開発で目標値とした80%以上という数字に対する疑問が生じた。発情時に見せる牛の行動量の変化をすべて拾うという意味では、他社で言うところの100%検知は実現可能な数字であるが、その中には例えば牛尾でハエを追いはらうといった発情とは関係ない動き（ノイズ）も入っており、それらの誤報率は差し引いて検討される必要がある。そこで最終目標値を85%に置いて研究開発に取り掛かった。

牛が発情時に見せる乗駕行動を発情初期の特異的な行動と規定して、それを計測するため本研究開発以前の先行試験では水銀の移動によるスイッチのオンオフで計測する水銀メカニカルセンサーを用い、それを乗駕センサーと称した。しかし水銀は毒性問題があり、より安全で信頼性の高いセンサー開発が課題となった。さらに計測されたデータを放牧地から牧場内事務所までの距離を、いかに消費電力を少なく確実に送信出来るかという通信技術の課題があった。また牛体にセンサーを装着するベルトの開発という課題もあった。

平成19年度において調査研究を行い、乗駕センサーとして3次元加速度センサー、行動量センサーとして3軸方位センサーの選定を行い、平成20年度にその試作を行って評価試験を重ねた結果、行動量センサーでは、全発情31回中、30回検知しており、発情検知率は96.8%が得られた。乗駕センサーでは、全発情31回中27回検知であり、検知率87.1%であった。行動量センサーでは、全検知回数1361回のうち、誤報が486回、誤報率35.7%であった。乗駕センサーでは全検知回数612回中誤報は77回、誤報率12.6%であった。

これらの結果から、行動量センサーの発情検知率の高さと乗駕センサーの正答率の高さを組み合わせることで発情検出の第1報は行動量センサーから、第2報を乗駕センサーとすることで実用化可能であることがわかり、その発情の検知率は当初の目標であった85%を超える結果となった。また当初の計画にはなかった牛の分娩時刻を予測する分娩検知の可能性も発見できたことの意義は大きい。

21年度には、発情検知には行動量の計測を行うための方位センサーと乗駕を検出する為の加速度センサーを搭載し発情検知システムとして完成した。さらにセンサー装着ベルトの研究開発においても、試行錯誤を繰り返し、牛にストレスをあたえず安定した位置に固定させることの出来るベルトを完成させた。センサーの電池寿命も発情発見時から種付け、そして着床の確認までの2ヶ月間、交換の必要は無いものができた。無線によるデータ通信においても一般的な牧場での飼育環境を十分カバー出来る通信距離を実現できた。このように研究期間を通して、当初の目標として掲げたテーマは全てクリアできたことは大きな喜びである。さらに研究開発期間においても、岡山県総合畜産センター、島根県畜産技術センターだけでなく、九州地域の畜産農家での実証実験を重ねることで、実用に耐えうる製品開発の目処が立った。量産化の試作開発を通じて、製品の耐久性と信頼性を確認し、あわせて量産化による製品単価の目処も立てることが出来た。岡山県新見市に整備されたFTTHのネットワーク環境において、遠隔で牧場の管理を行えることも実証出来た。今後、日本中の畜産現場においてもネットワーク整備が進むことで、システムを有効に活用出来るエリアは拡大していくであろう。またパソコンに代わる情報端末としてネット対応型液晶テレビや高機能ゲーム機の普及により、ITに不慣れた高齢の畜産農家においても十分利用可能なシステム提案が可能であることも実証出来た。

この最終報告書を作成している平成22年1月には、本研究開発事業で完成した分娩検知・発情検知センサー「喜多佳」が、兵庫県丹波市の畜産農家に初めて本格的に導入される記念すべき一日となった。本研究開発は実際に畜産農家で役に立ち、製品が普及していくことで畜産農家の生産性向上による所得の向上と国内和牛畜産振興が見込めるものとなる。販売されて得られる収益は当初の目標の通りに、所定の利率で国庫に返納されるものとなる予定である。

最後に本研究開発を遂行するにあたって、様々な指導を頂いた岡山県総合畜産センターならびに島根県畜産技術センターの研究員各位、実証実験の場を提供して頂いた九州地域の畜産農家の方々に心からの感謝の意を表して総括の締めくくりとしたい。

5 参考資料

5-1 研究発表・講演等一覧

<一般口頭発表>

発表方法	発表雑誌名、講演会名、学会名等	発表者	発表タイトル	発表月日
学会(口頭発表)	2009年度日本畜産学会第111回大会	岡崎尚之、澤香代子、長谷川清寿(島根畜技)、立川優子、木曾田繁(岡山総畜)、水上則計、新田光志、谷忠幸、今岡克己(ワコムアイティ)	3軸方向センサーによる黒毛和種雌牛の発情検知の試み	平成21年9月28日
学会(口頭発表)	2009年度日本畜産学会第111回大会	立川優子、瀬尾聡一、笹尾浩史、木曾田繁(岡山総畜)、岡崎尚之、長谷川清寿(島根畜技)、新田光志、水上則計、谷忠幸、今岡克己(ワコムアイティ)	センサーによる発情検出システムの検討	平成21年9月28日

<その他資料>

発表方法	発表雑誌名、講演会名、学会名等	発表者	発表タイトル	発表月日
パネル・実物展示	NICTスーパーイベント2009	今岡克己、渡辺哲也(ワコムアイティ)	牛の分娩・発情検知センサーによるITネットワーク形成	平成21年10月6日～10日

5-2 産業財産権

5-2-1 出願特許数等

国内特許出願 3件、 意匠出願 2件

5-2-2 公開特許一覧

該当なし

5-2-3 登録意匠一覧

登録日	登録番号	意匠の名称
2009/12/4	意匠登録第1377418号	畜産動物用センサボックス装着ベルト
2009/12/4	意匠登録第1377417号	畜産動物用センサボックス

5-2-4 製品化

製品名：「喜多佳」（牛の分娩お知らせセンサ）