

10次世代型のセンシング技術を用いた家畜生体情報の監視システムの開発

（11）牛体温の常時監視システムの開発

（12）家畜体温監視システムを用いた繁殖管理システムの開発

Development of the continuous monitoring system of body temperature in the cows

武石 秀一・井上 一之・木下 正徳・松井 英徳・野々下 雅彦・石田 睦夫
池田 哲¹⁾・佐藤 哲哉¹⁾・小田原 幸夫¹⁾・宇都宮 茂夫²⁾・利光 政彦²⁾

要 約

家畜における体温は、健康の指標となる一方で、分娩や発情時の生理的変化を表すことが知られている。今回、我々は、家畜体温の常時遠隔監視システムを開発し、その技術を用いた健康管理、分娩、発情等の精密飼養管理技術の構築を目標とし、産官連携で取り組んだところ、以下の成果を得た。

1. 高精度無線温度測定センサの開発とそれに基づく連続体温監視システムの構築。
2. 連続体温測定を可能とした膣用留置形状の考案、開発。
3. 出産前の体温低下を利用した「出産予測及び開始通報システム」の開発。

以上のシステムを用いることで、飼養者に有益な情報を提供することが可能となり、飼養者の監視作業の軽減や事故防止による生産性の向上が期待できる。

キーワード：牛体温、監視システム、温度センサ、出産予測

背景及び目的

近年、効率的に低コストで畜産物を安定供給するために、畜産農家は、規模拡大を図りながら省力化をすすめてきた。しかし、多頭飼育を行うにあたり、個々の家畜の健康管理や繁殖管理には、十分な時間がとれず、生産性の低下を招いている。

家畜の生体情報の一つである体温を正確に且つ、連続的に、また、遠くにいても把握できる技術を開発することは、体温の変化により得られる有用な生体情報をいち早く捕らえることが可能となり、生産性低下を招く疾病や分娩事故の予防、発情等の早期発見等生産性の向上が期

待できる。本課題は、センシング技術を用いた省力的で且つ生産性を向上させる家畜精密飼養管理技術の確立を目的として産官連携で実施したものである。

方法

1. 発信機能を有する測温送信モジュールの開発

家畜の体温を遠隔で監視する目的から、以下の仕様を条件とした。

- （1）体温領域での温度精度・分解能の高次元化
- （2）家畜に制限を加えない小型且つ無線送信化
- （3）インターネット網を活用した温度監視システム（ASP^{*}仕様）

※ASP：アプリケーションサーバ・プラットフォーム

1) 大分県産業科学技術センター

2) (株) リモート

2. 体温測定部位の選定

（1）有線温度センサを用いた測定部位の選定

牛の体温測定部位を選定するために、既存の有線温度センサ（サンヨー製、温度精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、分解能 0.06°C ）を用い、乳用牛成牛1頭の直腸、膣、尾付根、乳房、外耳道（耳介奥）、耳介中、耳介溝の7カ所と環境の合計8カ所の温度測定を5分間隔、24時間行った。

（2）膣内と外耳道内の温度測定及び形状の検討

牛の膣内と外耳道内の温度を検討するために、測温送信モジュールを用いて、膣内と外耳道内の温度を同時測定した。また、膣内及び耳での長期留置を行う為の形状も併せて検討した。

3. データの収集

家畜体温の基礎的データを収集する目的で、以下の分類で温度データを収集した。

（1）泌乳中の牛；供試頭数2頭、55～59日間

（2）分娩前の牛；供試頭数25頭、4～14日間

結果

1. 発信機能を有する温度センサの開発

測温送信モジュール及び受信モジュールは、改良を加えながら、以下の基本仕様を評価し、生産体制の整備を図った。

（1）測温送信モジュール

温度センサ ダイオード型

高精度測定範囲 $34.1^{\circ}\text{C}\sim 44.0^{\circ}\text{C}$

測定精度（分解能） $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ (0.1°C)

低精度測定範囲 $-20^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$

測定精度（分解能） $\pm 1^{\circ}\text{C}$ (0.5°C)

送信周波数 315MHz

送信電界強度 $500\mu\text{V}/\text{m}$ 以下

変調方式 FSK

送信速度 2.5kbps

送信データ数 5回/5分ランダム送信

電源電圧 DC 3V(TYP) リチウム電池

消費電流 測温時1mA(TYP)送信時13mA(TYP)

電池寿命 約5年間（電池取替不可）

送信距離（参考値）約30m（使用環境により減衰します）

ID識別番号 出荷時に弊社基準で書き込み

回路サイズ $5\text{mm}\times 47\text{mm}$

（2）受信モジュール

受信感度 50Ω 入力 -107dBm (TYP)

電源電圧 DC5V(TYP)専用アダプタ

消費電流 300mA(TYP)

通信プロトコル TCP/IP

インターフェース 無線または有線LAN標準装備

外部接続端子 入力接点（無電圧） $\times 4$ 出力接点
 $\times 1$

2. 体温測定部位の選定

（1）有線温度センサを用いた測定部位の選定

実験データを図1に示す。どの部位も $33\sim 39^{\circ}\text{C}$ の範囲で推移しているが、直腸等のデータのなかには、急激な温度低下を示すものがある。これは排糞行動とともに温度センサが体外に排出されたり、装着がはずれたりすることに起因しており、この部分のデータを今回のデータ処理から除外することにより、体温測定部位の一次選定に使用できると判断した。

家畜では、従来から直腸温度を基準体温としており、牛体温を常時監視するにあたって、できるだけ直腸温度に近い動きをする温度部位を選定する必要がある。そこで今回のデータ処理では、直腸に対する各部位の相関係数を求めて判断した。その結果は表1に示すとおり、直腸と膣の相関係数は0.828、直腸と外耳道（耳介奥）の相関係数は0.512、直腸と乳房の相関係数は0.544であり、直腸と他の部位の相関係数は0.5未満であった。このことから直腸温度と膣内温度は高い相関が認められたので、膣内

温度を体温として取り扱うこととした。また、直腸温度と外耳道（耳介奥）、乳房温度は相関傾向が見られた。しかし、乳房は取付方法等の懸念があるの

で、测温送信モジュールを使った牛体温の常時監視システムには腔内と耳介奥を検討することとした。

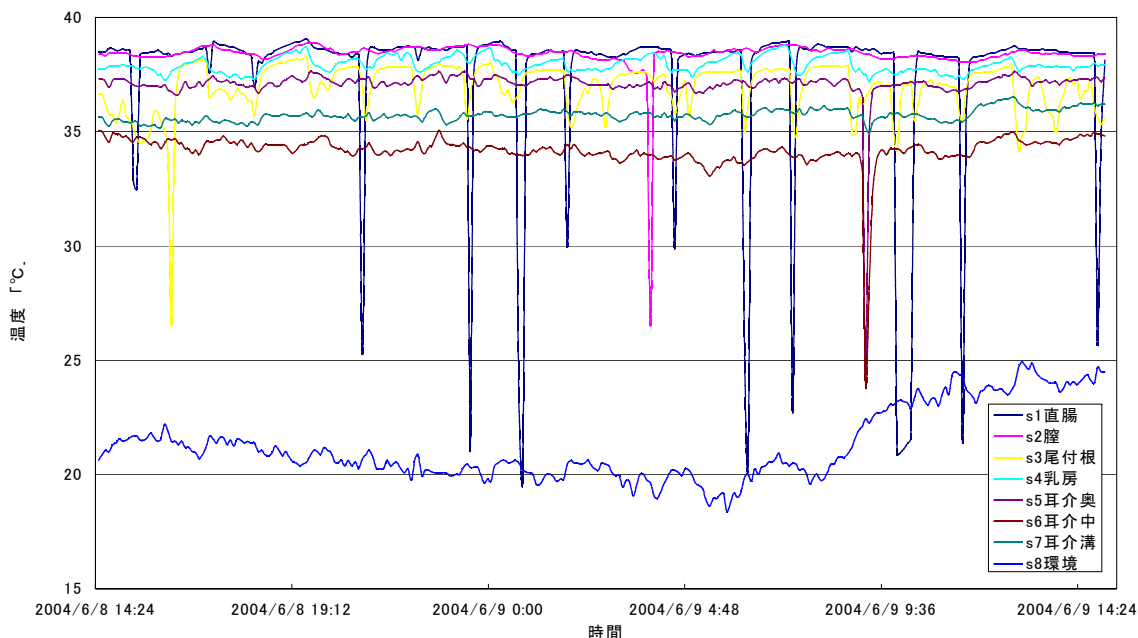


図 1 有線温度センサによる牛体温測定結果

表 1 有線温度センサによる牛の体温測定部位間の相関係数

	s 1 直腸	s 2 腔	s 3 尾付根	s 4 乳房	s 5 耳介奥	s 6 耳介中	s 7 耳介溝	s 8 環境
s 1 直腸	1							
s 2 腔	0.8284	1						
s 3 尾付根	0.2203	0.2928	1					
s 4 乳房	0.5438	0.5492	0.6228	1				
s 5 耳介奥	0.5121	0.5267	0.0699	0.3109	1			
s 6 耳介中	0.1432	0.0431	-0.3063	-0.1301	0.4759	1		
s 7 耳介溝	0.1465	0.0804	0.1748	0.2894	0.5290	0.2439	1	
s 8 環境	-0.2499	-0.3789	-0.4169	-0.4169	0.0838	0.5021	0.3397	1

(2) 腔内と外耳道内の温度測定及び形状の検討

腔内及び外耳道内の温度を長期間測定するために、その形状を検討した。

腔内は、嚢状で比較的広い空間を有すが、腔前庭部は括約筋で比較的強く収縮している。よって、図 2 のような、腔内で Y 字（2 本、3 本）に広がる形状を用いることで、腔外への排出を防止できることが確認された。安定した温度を測定するために、測

温部が前位になるように作成し、また、電波強度の減衰を補う為に、体外に線条アンテナを出すことにした（図 3）。

外耳道は、耳介より奥に 7~8cm 続き、奥には直径 2cm 程度の窪みがある。今回、测温送信モジュールを図 4 のような直径 7mm の管内に入れて作成し、窪みに位置するように耳標留め具を利用して固定した（図 5）。

両者の関係を確認するために、分娩前の牛9頭を用い、臍内及び外耳道内に测温送信モジュールを装着し、2～9日間の温度を同時に測定し比較検討した。確認した時期は、10月～12月。

両モジュールとも、試験期間中は、脱落することなく連続温度データが収集できた。

両者の温度の相関を確認したところ、表2のとおりとなった。11月までは臍と外耳道の体温の相関係数は0.78～0.95と高い相関が認められたが、12月は-0.15となり、相関関係がなくなった。これは外耳道での温度測定が、冬の外気温の影響を受け、耳体温が臍体温を大きく下回ったことによると思われる、冬季の外耳道での体温

測定は困難であることが分かった。従って、牛の体温測定は、無線温度センサを臍内に留置して、深部体温を常時計測する方法で行うこととした。

表2 臍内温度と外耳道内温度との関係
n=7

牛番号	月日	日数	相関係数
19	10/4	1	0.95
21	10/11	2	0.78
38	10/18	4	0.90
39	10/18	1	0.80
23	10/28	8	0.87
28	11/1	1	0.90
31	12/2	7	-0.15



図2 耳用测温送信モジュール

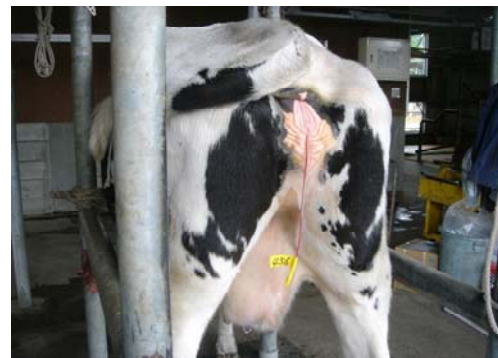


図3 牛への装着例



図4 臍用测温送信モジュール



図5 牛への装着例

3. データの収集

(1) 泌乳牛における臍内温度の時間的変化

2頭の泌乳牛の臍内温度を約2ヶ月に渡り連続して測定した。

図6と図7にそれぞれの日毎重ねグラフを示し、表3には、平均温度、最高値、最低値、日較差を示

した。両者の日内周期の傾向として、日中の臍内温度は低く、夜間にかけて高くなる傾向を示した。

両者の計測期間中40.5℃以上の発熱を呈した日が、No6号に2日間、No25号に8日間確認され、No25号については、乳房炎の治療歴があった。

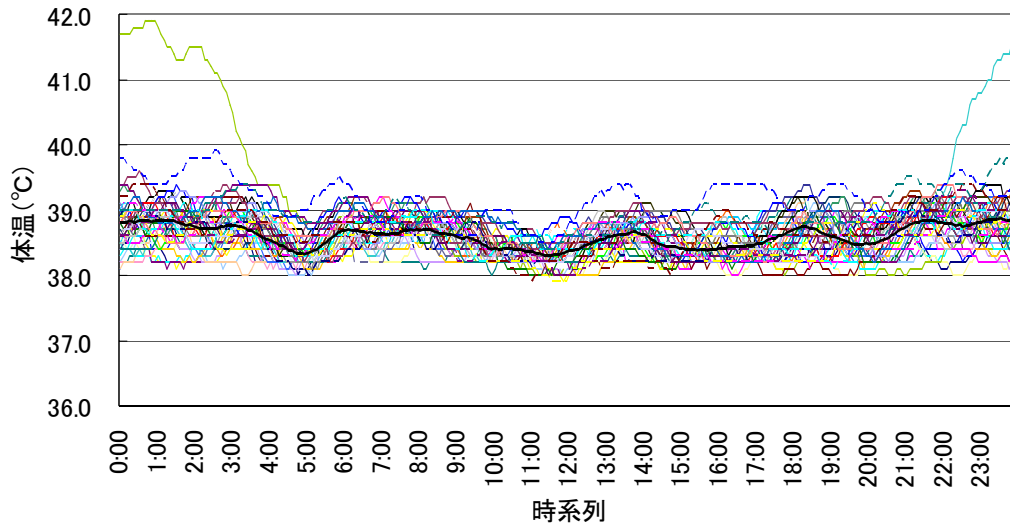


図6 体温の日内変動(No6号、59日分)

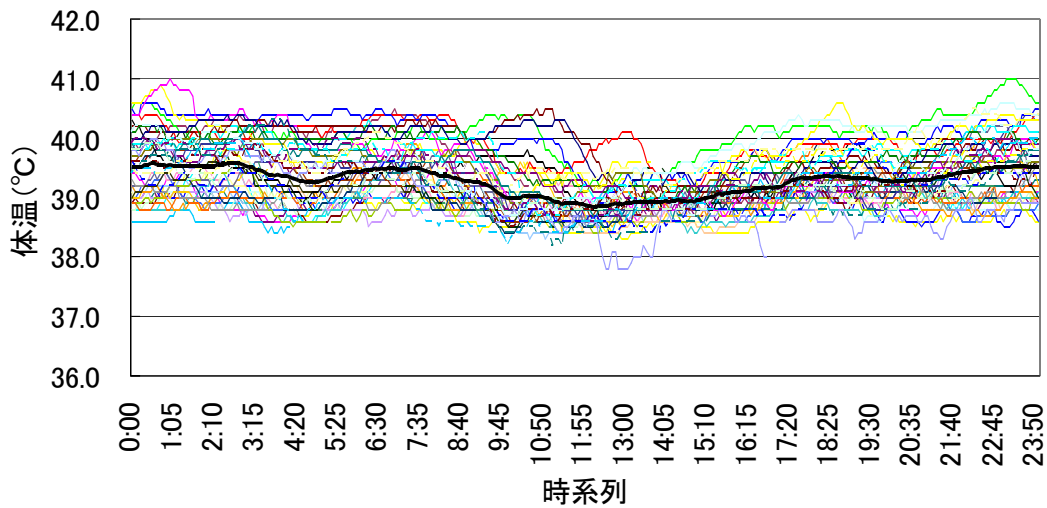


図7 体温の日内変化(No25号、55日分)

表 3 腔内温度の日内変動

	平均温度	最高値	最低値	日較差
No6	38.62±0.33	41.90	37.90	1.14
No25	39.27±0.48	41.00	37.80	1.38

（2）出産前の腔内温度

出産を予定している乳用牛成牛25頭に対し、出産予定の10～14 日前頃に、腔用無線测温モジュールを腔内に挿入・留置し、5 分間に1 回の常時体温計測を行った。そのうち、7 日以上連続して腔温が測定できた22頭について、温度変化を図8に示した。図中の横軸の時間は、出産時をゼロとした時の、出産までの時間であり、横軸左から右へと流れている。グラフの推移より、出産前の約24時間前より温度

が低下する傾向が認められた。さらに、無線测温モジュールが破水または出産時に胎仔に先んじて体外に排出することを確認し、排出された無線测温モジュールの測定温度は、体温レベルから一機に外気温レベルの35℃以下に低下した。

この2回にわたる温度変化を利用することにより、約24時間前のお産予測と破水等の出産開始を通報するシステムを構築した（図9）。

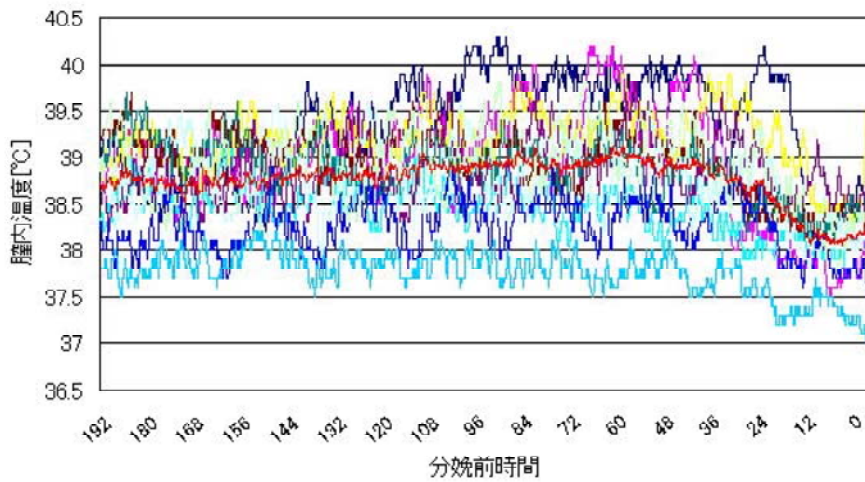


図8 出産前の温度変化

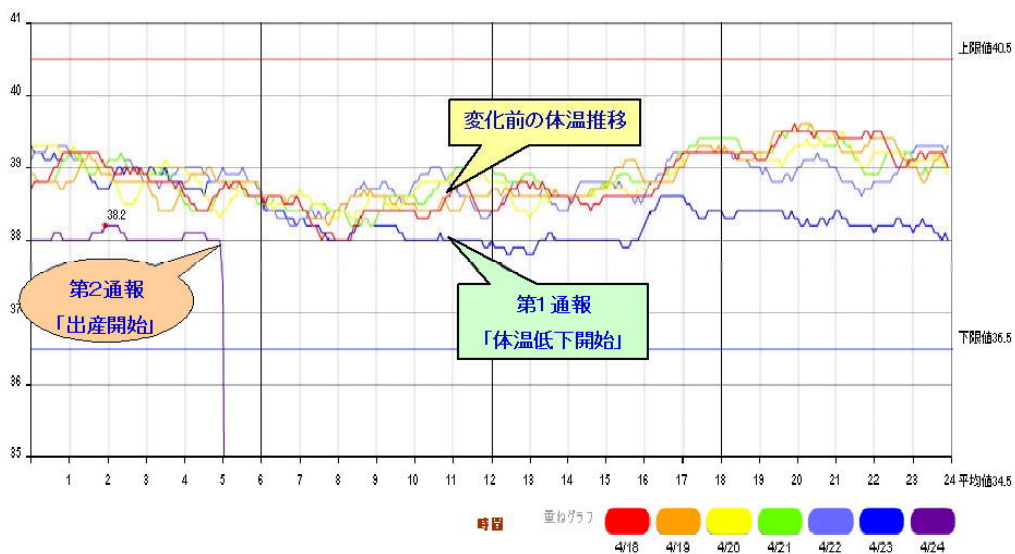


図9 Web上の温度グラフ（出産前の体温推移 事例1）

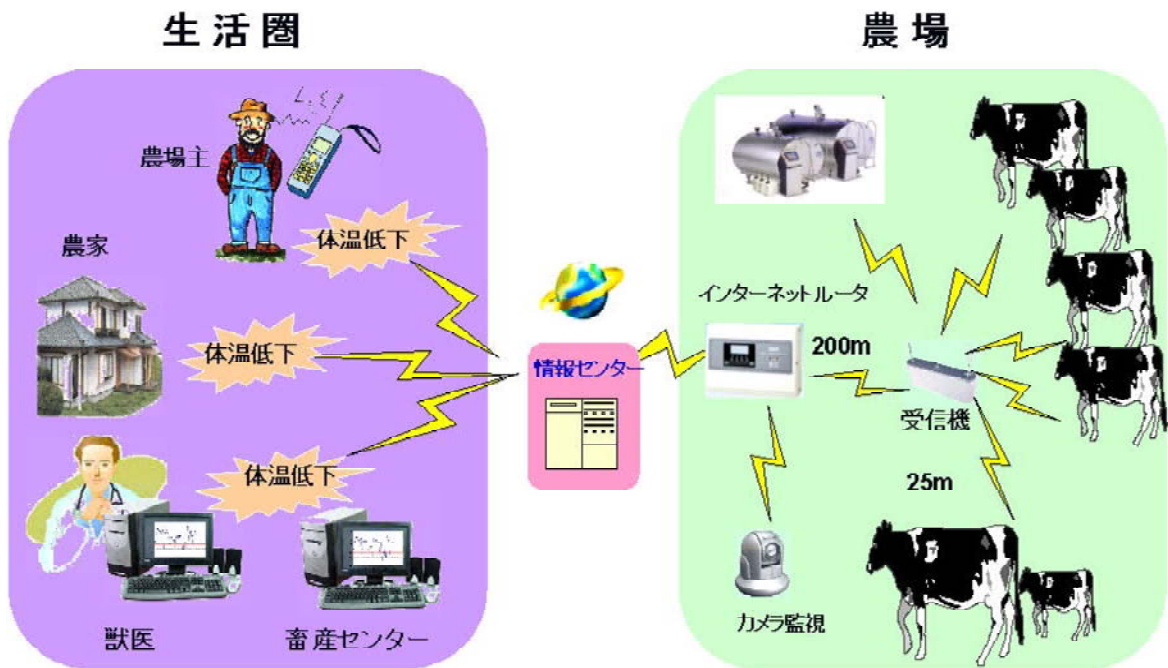


図 10 家畜体温の常時遠隔監視システムの概要図

まとめ及び考察

牛体温の常時監視システムは、発信機能を有する高精度な测温モジュールの完成により、概ね確立できた。

家畜の体温は、本来、直腸内温度を指標とするが、連続して測定する部位としては排糞行動があることから、適切ではなかった。測定部位を検討したところ、外耳道内の温度が直腸温と高い相関があるとの報告¹⁾もあり検討したが、自然環境下では風の影響等もあり、冬季の相関は認めなかった。現状、膈内が一番安定した測定部位であった。乳牛の体温には、日中低く夜間高くなる日内周期が確認された。この日内周期を指標とすることで、発熱や分娩、発情等の兆候をいち早く関知することが期待できる。今回、発熱した牛の温度変化は2例程にとどまったが、今後症例ごとのデータの蓄積を行い、発症予防や治療後の投薬効果の指標としたい。

今回多くのデータを収集した出産前の温度変化では、出産の24時間前より体温が低下することが確認された。栗原ら²⁾は、朝夕2回の定時測定のうち、分娩予知には夕直腸温が利用価値が高く、前日

との体温差が0.4℃以上低下してから24時間以内に分娩するものが57.1%と報告しているが、定時の体温にずれが生じることから、体温低下時を正確に把握できないことが、発見率の低下の原因となっていた。本システムは、5分間隔の温度データを無線で送信し、サーバにて常に温度変化を分析することにより、体温低下時を正確に把握できる。発見率はほぼ100%と高い精度を示し、その有用性が確認された。

牛体温の常時監視システムの特徴は、インターネットを利用したデータ集中管理システムにあり、発信されたデータは、インターネット網を經由して、データ集中管理サーバに蓄積され、IDとパスワードを持ったユーザーは、インターネット環境下であれば世界中どこからでもアクセスできる仕組みになっている。また、監視ソフト「ガリレオ」は、ASP（アプリケーションサービスプロバイダー）で、ソフトのインストールの必要が無く、バージョンアップ等フォローアップが容易で、ユーザーの任意設定で、PCや携帯電話への通報が可能となっている。連続した体温を監視できることで、家畜の生体情報がいち早く

平成 17 年度試験成績報告書：35（2006）

入手でき、より精密で省力的な飼養管理が可能になる。

参考文献

- 1) 「放牧牛のハイテレメトリシステムの開発に関する研究」(1992), 農林水産技術会議事務局研究成果, 264
- 2) 栗原昭博ら(1998) 鳥取畜試, 27:12-15
- 3) 津田敏ら(1995) 富山畜試, 12:1-8
- 4) 山田明央ら(2001) 日本草地学会誌, 47(5)
:491-493