

## センシング技術を活用した若狭牛の効率的な増産技術の確立 (第 3 報)

### (多機能性膣内留置型測定器の改良と継続的な装着方法の検討)

稲田恭兵・高村映一郎<sup>1)</sup>・瀧柊也<sup>1)</sup>・松井多志<sup>2)</sup>・森下和幸<sup>2)</sup>・佐賀圭真<sup>2)</sup>・川森庸博<sup>3)</sup>

1) 福井大学大学院工学研究科, 2) 福井県工業技術センター, 3) 現 奥越高原牧場

**要 約** 複数のセンサを組み合わせることで正確な発情検知と分娩時刻を予測する膣内留置型測定器の開発を目的に、測定器の改良とセンサの実用性の検証を行った。本報では、膣内留置型測定器の通信距離および装着方法、形状の改良とグルコースセンサおよび湿潤センサの検証を行った結果を報告する。通信装置を膣外に出すことで、通信可能範囲は半径最大約 130m となった。形状の改良により、複数のセンサを搭載可能とし、装着期間を延長した。また、複数のセンサを作動させた状態でのバッテリー保持時間が約 21 日間となった。グルコースセンサは ELISA で計測した値とほぼ同様の数値を示し、牛粘液の正確な計測が可能であった。湿潤センサは、電流値の違いから乾燥状態、水、牛粘液を区別することが可能であった。

キーワード：センシング, 発情検知, グルコースセンサ, 湿潤センサ, 複合センサ

#### 諸 言

近年、畜産分野においても IoT が導入され始めており、歩数計、活動量計および体温測定といったセンシング技術を取り入れ発情を検知する商品が市販されている。しかし、条件によって発情検出成績が異なる<sup>1)</sup>など、依然として完成された技術とは言い難い。

これらのセンシング技術は、牛の発情時などに起こる行動や生理的变化に着目したもので、牛の発情時の変化として体温の上昇<sup>2)</sup>、子宮頸管粘液の pH の低下、電気伝導度の上昇<sup>3)</sup>などが報告されている。

本試験では複数のセンサを組み合わせることで、既製の IoT 機器よりも正確な発情発見と分娩時刻を予測することができる膣内留置型測定器を開発し、受精卵移植数増加と無看護分娩による分娩事故を防ぐことで若狭牛の増産を図ることを目的とした。

前報<sup>4)</sup>では、膣内留置型測定器の無線化とバッテリー保持時間の延長、グルコースセンサの長期安定性を検証した。その中で、膣内留置型測定器の通信可能範囲およびグルコースセンサの実用性の検証が課題として残ったため、本報では、膣内留置型測定器およびグルコースセンサの課題解決と複数センサを搭載した膣内留置型測定器の改良、測定器の継続的な装着方法について検討したので報告する。

なお、センシング機器の開発のため、測定機器全般の開発を福井県工業技術センター、バイオセンサの開発を福井大学工学部、開発されたセンシング機器の生体試験を福井県畜産試験場が各々分担した。

#### 材料および方法

##### 1 膣内留置型測定器の改良

###### (1) 膣内留置型測定器の構造

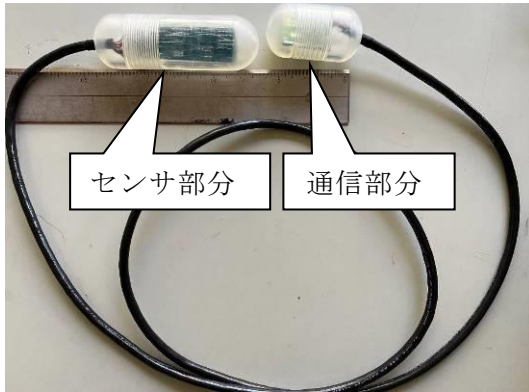


図 1 センサ部分と通信装置を分離した様子

前報<sup>4)</sup>で通信装置を膈外から出すことで通信が可能となったことから、センサ部分と通信装置を分離し(図 1)、通信装置を牛の尾に装着することによる遠距離での通信および測定器の継続的な装着方法について検討した。

### (2) 通信可能範囲の検証

周年放牧しているホルスタイン種 3 頭を供試牛とした。センサ部分を膈内へ留置し、通信装置を膈外に出した状態の牛を牛舎内に繋ぎ、通信装置から中継器(WZR-HP-G450H; (株)バッファロー, 愛知)を介して専用の受信ソフトをインストールしたパーソナルコンピュータ(パソコン)へ、データの送受信が可能距離を調査した。なお、通信装置と中継器の距離は 1 m とし、中継器とパソコンの距離を徐々に離していくことで通信可能範囲を調査した(図 2)。

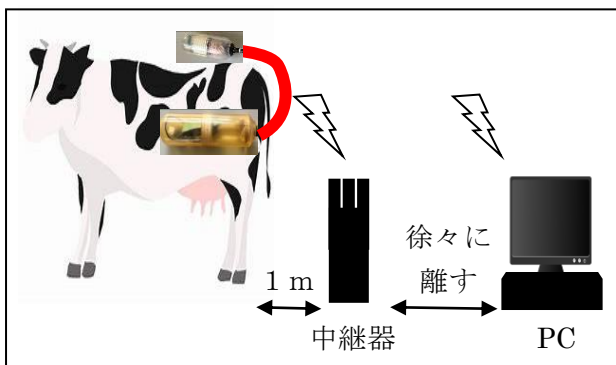


図 2 接続方法のイメージ

### (3) 装着方法の検討

センサ部分を牛膈内に留置し、通信装置を牛の尾に装着した。測定器が脱落するまでの期間

を計測し、脱落の度、外装部および装着方法の改良を行った。

## 2 グルコースセンサの検証

### (1) 供試牛

周年放牧しているホルスタイン種で規則正しい発情周期が確認できた 3 頭を供試牛とした。発情確認については、直腸検査、スタンディング行動、その他発情徴候(粘液漏出、外陰部腫脹など)により総合的に判定した。

### (2) グルコースセンサの実用性の検証

発情時および非発情時の牛粘液を用いて、作製したグルコースセンサの測定値と ELISA による測定値を比較した。なお、グルコース濃度は電流値から換算して測定している。

### (3) 湿潤センサの検討

子宮頸管粘液の排出を検知するセンサとして、膈内に留置可能な湿潤センサを検討した。センサにはグルコースセンサで使用している電極を用いた。In vitro で作製した湿潤センサを用いて、乾燥状態、水、牛粘液を付着させた状態での各電流値を比較した。グルコースセンサおよび湿潤センサについて、測定方法は瀧<sup>5)</sup>の方法に準じて実施した。

## 結 果

### 1 膈内留置型測定器の通信可能範囲と装着方法および形状の改良

通信可能範囲を計測したところ、場内放牧地のほぼ全域(牛舎から半径約 130m)での通信が可能であった。しかし、障害物(木や壁など)が間にある地点や、130m 以上離れた地点では通信が不可能であった(図 3)。

装着方法について、測定器(図 4: 左)を留置したところ、膈内センサ部分が約 1 日で脱落した。そこで、給電を通信装置から行い、バッテリーを膈外に出すことで、膈内センサを小型・軽量化した(図 4: 右)。これを留置したところ、約 3 日間で脱落した。ストッパをより硬い材質に変更し、再度留置したところ、膈内センサ部分の脱落はなくなったが、通信部分の脱落が発生した。膈内センサ部分において、容積の

拡大およびバイオセンサ用センサチップの露出部を追加することで複数センサを搭載可能とした(図5)。また、通信部分において、容積を拡大し、容量の大きいバッテリーを使用可能とした(図6)。また、通信部分がより牛の尾に密着するよう、接地面を湾曲させることで(図7)、放牧した状態でも数日から1週間の継続装着が可能となった。

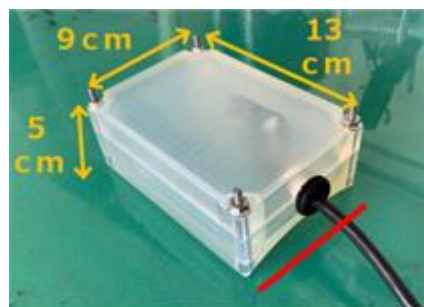


図6 通信部分

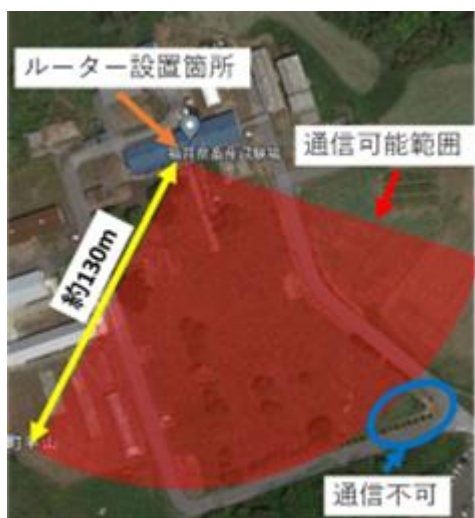


図3 通信可能範囲

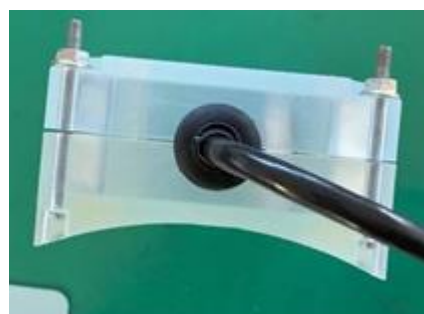


図7 接地面を湾曲した様子



図4 測定器 (左:旧 右:新)

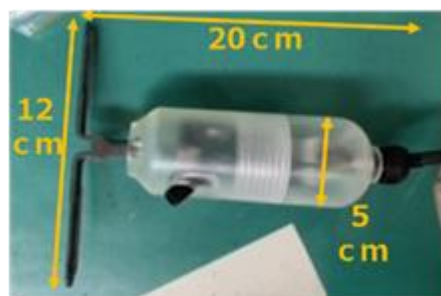


図5 臍内センサ部分

## 2 グルコースセンサおよび湿潤センサの実用性の検証

グルコースセンサで計測したグルコース濃度は、非発情時の粘液中で 0.22mM、発情時の粘液中で 2.9mM、ELISA で計測したグルコース濃度は非発情時の粘液中で 0.25mM、発情時の粘液中で 2.9mM であった(表1)。

作製した湿潤センサで計測を行ったところ、乾燥状態、水、牛粘液中において、大きな電流値の差が見られた(図8)。

表1 非発情と発情時粘液のグルコース濃度

	牛粘液	
	非発情	発情
グルコースセンサ	0.22 mM	2.9 mM
ELISA	0.25 mM	2.9 mM

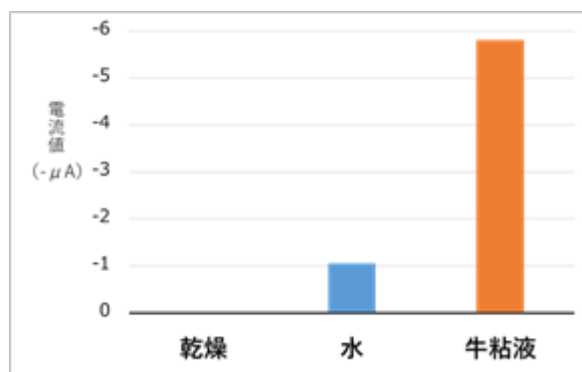


図 8 湿潤センサの測定結果

## 考 察

前報<sup>4)</sup>で報告した膣内留置型測定器の無線化では、膣内で電波の減弱が見られたことから、通信装置を膣外に出すことで遠距離でも通信を可能とした。障害物が無い状態で最大約 130m 離れた位置での通信が可能であったが、壁や木などの障害物がある地点では電波が届かなくなったため、中継器を複数設置し、障害物を回避する必要がある。また、中継器を複数設置することにより、通信可能距離の延長が可能となるため<sup>6)</sup>、広大な放牧地面積の場合でも対応ができると考えられる。

装着方法については、脱落の原因として膣内センサ部分の長さおよび重さが考えられたため、小型・軽量化した状態で留置したが、脱落した。ストッパの硬さを変更したところ、膣内センサの脱落はなくなったため、膣内に留置する際はある程度の硬さが必要であると考えられる。しかし、ストッパを硬くすると牛膣内にかかる負担が大きくなる恐れがあるため、ストッパの先端を柔らかい素材で覆う必要があると考えられる。

形状については、膣内センサ部分は小型・軽量化、ストッパの硬さの改良により継続した留置が可能であったため、容積を拡大し、センサチップのみを露出できるように改良した。これにより複数センサの搭載、膣内に留置した状態で粘液の測定を可能とした。通信部分は、通信装置からの給電とすることで重さが増し、筒型の形状では装着が困難であった。そのため、箱

型で、尾との接地面を湾曲させた形状にしたところ、装着可能期間が延長した。また、容積を拡大したことにより、容量の大きいバッテリーが使用可能となり、バッテリー保持時間が複数のセンサを作動させた状態でも約 21 日間（牛の 1 発情周期分）となった。脱落は、降水や降雪の翌日に起こっていたことから、水分により滑りやすくなったことが原因と考えられる。

グルコースセンサについては、第 1 報<sup>7)</sup>の結果では発情日に 0.35mM だったのに対し、本報では 2.9mM と大きくずれが生じた。これは、第 1 報では発情日から 1, 2 日後の値が 2mM, 1.95mM と本報と比較的近い値であるため、発情日の判断が 2 日程度ずれた可能性が考えられる。ただ、作製したグルコースセンサで計測した値と ELISA で計測した値を比較するとほぼ等しい値を示しているため、本研究で作製したグルコースセンサで正確に牛子宮頸管粘液のグルコース濃度を計測可能であった。

湿潤センサについては、*in vitro* での計測では電流値の違いから乾燥状態、水、粘液の区別が可能であり、牛膣内に留置することで粘液の排出を検知できることが示唆された。

第 1 報において、温度センサを用いた発情の検知が上臨界温度以下において可能であることが分かっている<sup>7)</sup>。以上のことから、温度センサおよび湿潤センサ、グルコースセンサを用いた複合型測定器により、牛膣内で発情の検知が可能であることが示唆された。

今後は、農家現場での利用ができるよう、装着方法の再検討、牛膣内での継続的な測定など、更なる改良を行っていく。

## 文 献

- 1) Sakaguchi M・Fujiki R・Yabuuchi K・Takahashi Y・Aoki M, Reliability of Estrous Detection in Holstein Using a Radiotelemetric Pedometer Located on the Neck or Legs under Different Rearing Conditions, *Journal of Reproduction and Development*, 53 (4) :819-828, 2007
- 2) 三宅陽一・三好憲一・森谷浩明・松井基純・

羽田真悟, 乳用雌牛における単胎および多胎分娩事故率に関する調査結果, 産業動物臨床医師, 1 (1) :5-9, 2010

- 3) 森淳一・富塚常夫・広木政昭・板屋堯由, 牛の性周期中における子宮頸管粘液の pH ならびに電気伝導度の変化—生体内測定による検討, 家畜繁殖学雑誌, 25 (1) :6-11, 1979
- 4) 鈴木要人・瀧柊也・佐賀圭真・川森庸博, センシング技術を活用した若狭牛の効率的な増産技術の確立 (第 2 報), 福井県畜産試験場研究報告, 35:14-18, 2022
- 5) 瀧柊也, 牛農家の負担軽減および牛製品の増産と品質向上に向けた牛用バイオセンサの開発, 福井大学工学部物質・生命科学科, 令和 4 年度修士論文掲載予定, 2022
- 6) 福重直輝・伊賀浩輔・志水学, ICT・複数のセンサを使用し牛の発情を示す乗駕許容行動を判別するシステム, 農研機構成果情報, 2015  
[https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2015/15\\_023.html](https://www.naro.go.jp/project/results/laboratory/tarc/2015/15_023.html)
- 7) 鈴木要人・川森庸博, センシング技術を活用した若狭牛の効率的な増産技術の確立 (第 1 報), 福井県畜産試験場研究報告, 34:12-18, 2021

**Establishment of Technology to Increase Reproduction of Wakasa-ushi, Japanese Black  
Efficiently Using Sensing Technology (The 3<sup>rd</sup> Report)  
(Improvement of Intravaginal Multifunctional Device and Validation of Installation Method)**

Kyohei INADA, Eiichiro TAKAMURA<sup>1)</sup>, Touya TAKI<sup>1)</sup>, Futoshi MATSUI<sup>2)</sup>, Kazuyuki MORISHITA<sup>2)</sup>,  
Keima SAGA<sup>2)</sup> and Nobuhiro KAWAMORI<sup>3)</sup>

Fukui Prefectural Livestock Experiment Station

1) Graduate School of Engineering UNIVERSITY OF FUKUI, 2) Industrial Technology Center of Fukui Prefecture

3) Okuetsu Highlands Ranch

**Abstract**

In order to develop an intravaginal monitoring device capable of accurately detecting estrus and predicting the timing of parturition onset time by combining multiple sensors, we conducted modification on the device and assessed the practicality of the sensors. In this report, we present the results of our investigations regarding the communication range and attachment method of the intravaginal device, as well as the validation of glucose and moisture sensors. By extending the communication device outside the vagina, the communication range reached a maximum radius of approximately 130 meters. The improvement in the device's shape allowed for the incorporation of multiple sensors and prolonged attachment duration. Furthermore, the battery life with multiple sensors activated was approximately 21 days. The glucose sensor demonstrated values that closely aligned with those measured by ELISA, enabling accurate measurement of bovine mucus. The moisture sensor was capable of distinguishing between dry conditions, water, and bovine mucus based on differences in current values.

Keywords: sensing, estrus detection, glucose sensor, moisture sensor, composite sensor