

## 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)

### (膣内留置型測定器とグルコースセンサの改良)

鈴木要人<sup>(1)</sup>・瀧終也<sup>(2)</sup>・佐賀圭真<sup>(3)</sup>・川森庸博<sup>(1)</sup>

(1 福井県畜産試験場, (2 福井大学工学部, (3 福井県工業技術センター

**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、センサの開発と発情時や分娩時の生理的变化について調査を行った。本報では、膣内留置型測定器の無線化とバッテリー持続時間の向上およびグルコースセンサの安定性向上について検討した結果を報告する。マイクロコンピューターを組み合わせることで、バッテリー持続時間が約 20 日に延びたが、牛膣内に留置した状態では無線通信は行えなかった。応答電流を補正することで、グルコースセンサは、牛の体温と同じ温度条件下で 31 日間の連続測定が可能となった。

キーワード：センシング, 発情検知, グルコースセンサ

### 諸 言

近年畜産の生産現場では、発情不明瞭牛の増加、受胎率の低下あるいは分娩事故の増加といった繁殖管理に関わる問題が増えている。全国の黒毛和種出生頭数をみても、直近 10 年ほどでは平成 22 年度の約 54 万頭をピークに以後減少を続け平成 27 年度には約 50 万頭となっている<sup>2)</sup>。

福井県においても黒毛和種における出生頭数は全国の推移と同様に平成 22 年度～平成 27 年度まではほぼ毎年減少<sup>2)</sup>しており、黒毛和種子牛の不足が問題となっている。黒毛和種子牛増産のため、黒毛和種牛の受精卵を乳用雌牛へ移植する方法や、二卵移植をする方法が考えられる。しかし、福井県内では発情不明瞭なため移植できなかった乳用雌牛が多くいること、また単胎分娩に比べ多胎分娩は事故率が高い<sup>3)</sup>ことなどから、現在では二卵移植を行っておらず、課題解決に至っていない。

一方、近年では畜産分野においても、センシングなどの 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>5)</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>1)</sup>、子宮頸管粘液の pH の低下、電気伝導度の上昇<sup>4)</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、より正確な発情発見と分娩時刻の予測が可能で膣内留置型測定器の開発を目的に、各種センサの実用性について調査した。

前報<sup>8)</sup>では、膣温、GPS、子宮頸管粘液の pH、電気伝導度およびグルコースセンサの各種センサが、膣内留置型測定器として用いることが可能か検討した結果、膣内留置型測定器候補として温度センサとグルコースセンサを選定した。一方、膣内留置型測定器の無線化とバッテリー持続時間の短さが課題として残ったため、本報では膣内留置型測定器の課題解決とグルコースセンサの改良について検討したので報告する。

なお、膣内留置型測定器を含めセンサ開発全

般を福井県工業技術センター、グルコースセンサの開発を福井大学工学部と共同研究した。

## 材料および方法

### 1 膈内留置型測定器

#### (1) マイクロコンピュータ (マイコン)

前報<sup>8)</sup>で製作した膈内留置型測定器のマイコンを ATmega328P (Microchip Technology Incorporated, 米) と ESP-WROOM-02 (Espressif Systems, 中) を組み合わせた複合型に変更 (図 1) し、無線化とバッテリー持続時間について検討した。

#### (2) 無線化とバッテリー持続時間

周年放牧しているホルスタイン種 3 頭を供試牛とし、膈内留置型測定器を牛膈内へ留置し、無線通信により膈内留置型測定器から中継器 (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か調査した。なお、膈内留置型測定器と供試牛の距離は 1m。ルーターとパソコンの距離は 5m (図 2) とした。

バッテリー持続時間については、1 分間隔で測定し、1 時間ごとにデータの送信を継続した場合の膈内留置型測定器の連続使用時間を測定した。

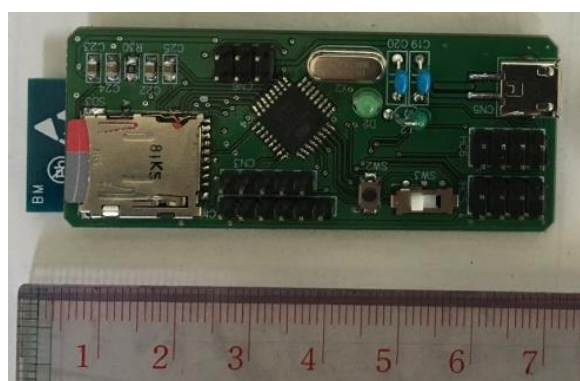


図 1 複合型のマイコン

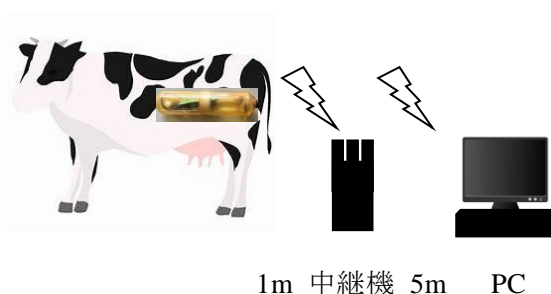


図 2 接続方法のイメージ図

### 2 グルコースセンサの改良

#### (1) 測定温度によるグルコースセンサの安定性比較

前報<sup>8)</sup>で製作したグルコースセンサを用い、30 日間 1 日 1 回応答電流の測定を実施した。また、温度がグルコースセンサに与える影響について調査するため、センサの測定および保存時の温度を 25℃ と 37℃ に設定し比較した。なお、測定対象には 0.5mM グルコース溶液を用いた。

また、37℃ 条件下で酵素とメディエータを Nafion (固定膜) 内へ固定化 (図 3) することで、グルコースセンサの安定性が向上するか調査した。

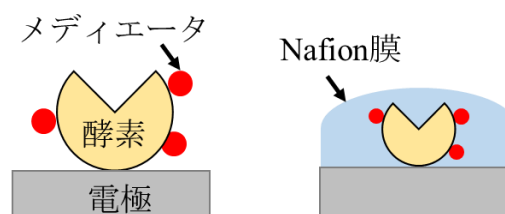


図 3 Nafion (固定膜) のイメージ図

#### (2) 長期安定性確認試験

牛の体温に近い 39℃ 条件下で、0.5mM グルコース溶液を用いて 31 日間グルコースセンサが連続使用可能であるか調査した。なお、酵素とメディエータについては Nafion (固定膜) 内に固定化した。

## 結 果

### 1 膈内留置型測定器の無線化とバッテリー持続時間

臍内留置型測定器を牛臍内へ留置したところ、電波強度の減弱が見られ、臍内留置型測定器からパソコンへ送信されるデータの受信が不安定となった。そこで、臍内留置型測定器のうち無線通信部分を牛臍内から出したところ電波強度の減弱は見られなかった。

バッテリー持続時間については、連続稼働時間が約 20 日となった。

## 2 測定温度によるグルコースセンサの安定性比較

センサ保存温度を 25°C と 37°C で比較したところ、37°C 下では 19 日後に応答電流が消失した (図 4)。しかし、酵素とメディエータを Nafion 内へ固定化することで、37°C 下においても安定性を向上させることができた (図 5)。

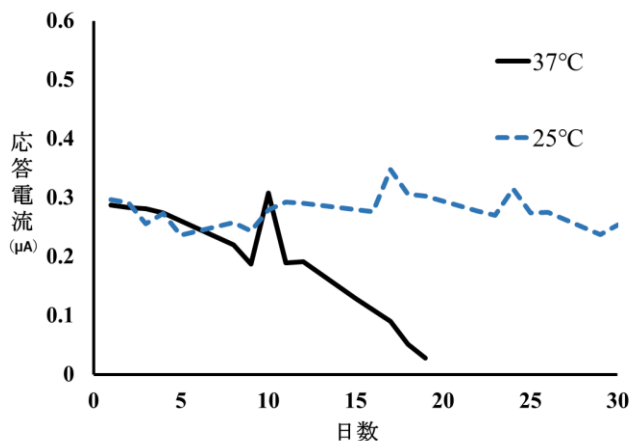


図 4 センサ保存温度による安定性比較

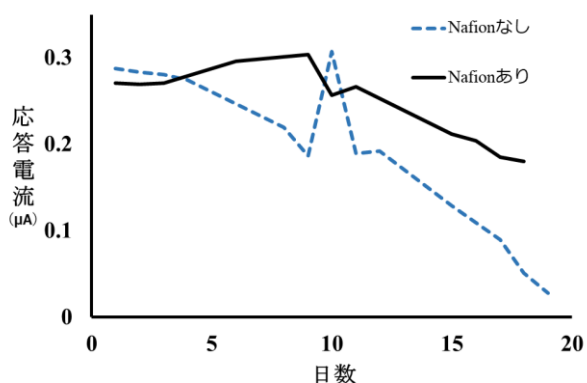


図 5 Nafion の影響

## 3 長期安定性確認試験

31 日間の連続測定を行ったところ、日数の経過に伴い応答電流は減少するが、減少の傾きは

一定の値 (0.0113uA/day) を示した (図 6)。そのため応答電流を補正 ((日数-1) × 0.0113 + 応答電流) することにより、31 日間の連続測定が可能となった。

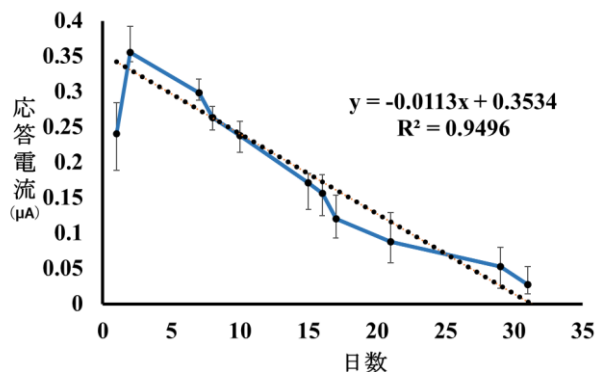


図 6 応答電流の推移

## 考 察

前報<sup>8)</sup>で報告した臍内留置型測定器のマイコンは、消費電力が大きいため 24 時間以内でのバッテリー交換が必要であったが、複数のマイコンを組合せ改良することにより、バッテリー持続時間が約 20 日間に延びた。

無線化については、牛体内で無線通信が可能なセンシング機器として第 1 胃内の pH を連続で測定できる無線伝送式 pH センサが開発されている<sup>6,7)</sup>が、臍内留置型測定器を供試牛の臍内へ留置したところ、電波強度が減弱しデータの送受信が不安定になった。これは、無線伝送式 pH センサは特定小電力無線 (429MHz 帯) を採用しているが、臍内留置型測定器で使用した ESP-WROOM-02 は、2.4GHz~2.5GHz 帯のため、牛の子宮や筋肉が電波の障害になったと考えられた。

グルコースセンサは、牛の体温下で測定することを想定しているため、温度の影響について調査した。25°C 下と牛の体温に近い 37°C 下を比較したところ、37°C 下において応答電流が早い日数で減少し、試験開始 19 日後に消失した。これは、酵素の性質が関係していると考えられた。酵素はタンパク質で構成された三次構造と呼ばれる立体構造を形成し、基質と反応するため、

温度が上がるほど分子運動が大きくなり、酵素反応の速度が上がる<sup>9)</sup>。そのため、37°C下では酵素反応の速度が、25°C下よりも上昇し、センサが早く劣化したと考えられた。しかし、Nafion内へ酵素とメディエータを固定化することで、37°C下においても安定性が向上し、劣化が抑制された。また、改良したグルコースセンサを用い、応答電流を補正することで、39°Cの条件下で 31 日間の連続測定が可能であることが実証された。

今後は、グルコースセンサの野外試験と臍内留置型測定器のマイコンについて再度検討する。

transmission pH measurement system for continuous monitoring of ruminal pH in cows, Preventive Veterinary Medicine, 103:274-279, 2012

8) 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

9) 谷川実, 酵素反応の基礎—名前はよく聞くが、わからない「酵素」をやるために—, 科学と教育, 66-12:584-587, 2018

## 文 献

- 1) 伊藤隆・小番真姫子, 肉用牛の発情における体温変動, 東北農業研究, 52:129-130, 1999
- 2) 農林水産省畜産統計調査  
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/>
- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) Sato S・Atushi kimura・Tomoaki Anan・Norio Yamagishi・Keiji Okada・Hitoshi Mizuguchi・Kazunori ito, A radio transmission pH measurement system for continuous evaluation of fluid pH in the rumen of cows, Veterinary Research Communications, 36:85-89, 2012
- 7) Sato S・Hitoshi Mizuguchi・Kazunori ito・Kentaro Ikuta・Atushi Kimura・Keiji Okada, Thechnical note : Development and testing of a radio

**Establishment of Technology to Increase Reproduction of Wakasa-Gyu, Japanese Black  
Efficiently Using Sensing Technology (The 2<sup>nd</sup> Report)**

**(Improvement of Indwelling Vaginal Monitor and Glucose Sensor)**

Kaname SUZUKI and Nobuhiro KAWAMORI  
Fukui Prefectural Livestock Experiment Station

**Abstract**

In order to develop an indwelling vaginal monitoring instrument that can detect estrus accurately and predict parturition onset time by combined multiple sensors, we developed sensors and analyzed correlation between the parameters and estrus and parturition events. In this paper, we investigated wireless data transmission, improvement of battery life and stability of the glucose sensor. By adapting a microcomputer, battery life extended to approximately 20 days, however radio signal of intra-vagina instrument failed to be received. Correcting weakening current response made possible monitoring 31 consecutive days under the cow's body temperature conditions.

**Keyword:** Sensor, estrus detection, glucose sensor