

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24510170

研究課題名(和文) 繁殖牛の高精度発情検知のためのMEMS血流量センサーの研究

研究課題名(英文) Study on wearable micro blood flow sensors for livestock breeding

研究代表者

澤田 廉士 (Sawada, Renshi)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40380589

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,300,000円

研究成果の概要(和文)：畜産業従事者の収益性を向上させる方法の一つは、子牛の繁殖効率の向上である。子牛の繁殖は人工授精により行われているが、発情期における授精タイミングの的確な検知が困難であるため約70%にとどまっている。繁殖牛の発情周期をMEMS高精度血流量センサによって検知し、取得情報を携帯端末でモニタリングすることで人工授精適期を的確にとらえる発情検知システムの研究を行った。その結果、(1)これまでの端面射出型半導体レーザーを面発光レーザーチップに置き換え、反射ミラーやレンズを省くとともに、(2)レーザーの連続発振をパルス発振駆動に変更し、消費電力を一桁低減し、また接触圧センサを付けて再現性のよい血流測定を実現。

研究成果の概要(英文)：One way to improve the profitability of animal husbandry workers is to improve the breeding efficiency calf. It the success of the artificial insemination is only about 70% because it is difficult to accurate detection of insemination timing in estrus, and the cause of the breeding cost increase revenue decrease until the next estrus are. Our study was conducted to acquire information for the realization of high-precision estrus detection system to capture accurately the artificial insemination proper time by monitoring the mobile terminal. As a result, (1) by replacing the end face emission type semiconductor laser to the high-output single-mode vertical cavity surface emitting laser chip, eliminating the optical components and (2) we also changed the continuous oscillation of the laser to pulse oscillation drive, so that lower power consumption of one order of magnitude, high measurement reproducibility by using a contact pressure sensor were achieved.

研究分野：光MEMS

キーワード：MEMSセンサ 血流量センサ 畜産 接触圧センサ

## 1. 研究開始当初の背景

平成 22 年度、23 年度に九大高原牧場（大分県久住市）の協力を得て、これまで研究してきた MEMS 技術を応用した高感度ウェアラブル血流量センサ並びに小動物用高感度血流センサをベースに作製した MEMS 血流量センサによる繁殖牛の血流量検知の可否について実証研究を行った結果、測定時における接触圧に変化がないとすれば、繁殖牛の血流量検知が可能であること、繁殖牛の発情周期における血流量変動プロファイルの存在(図 1)や脈波高さに変化があるといえる結果が得られた。

## 2. 研究の目的

畜産業従事者の収益性を向上させるための方法の一つは、子牛の繁殖効率の向上である。子牛の繁殖は人工授精により行われているが、発情期における授精タイミングの的確な検知が困難であるため約 70%にとどまっており、次の発情までの飼育コスト増が収益低下の原因となっている。繁殖牛の発情周期を MEMS 高精度血流量センサによって検知し、取得情報を携帯端末でモニタリングすることで人工授精適期を的確にとらえる高精度発情検知システムの実現に向けた研究を行う。具体的には、(1)発情状態の検知精度を向上させる MEMS 血流量センサとそのパッケージングの研究、(2)飼育環境に対応した MEMS 血流量センサの超低消費電力化の研究を行う。

## 3. 研究の方法

(1)発情状態の検知精度を向上させる MEMS 血流量センサとそのパッケージングの研究測定部位にマッチさせるためセンサーパッケージの形状を最適化するとともに、歪ゲージを MEMS 血流量センサープローブの接触部に形成しマッチング(フィッティング)の度合いを定量化することにより装着の不具合によるストレスとの関係を明確にし、発情状態の検知精度を向上させる。(2)飼育

環境に対応した超低消費電力化のためには、飼育環境に対応した超低消費電力化に関する研究これまでの端面出射型の半導体レーザーから VCSEL(面発光レーザー)に置き換え、反射ミラーならびにレンズを不要とする構造にする。さらに連続発振駆動からパルス発振駆動にして一桁以上の低消費電力化を実現する。VCSEL の使用は低消費電力のみならず MEMS 血流量センサチップの大幅な小型化に寄与させる。

## 4. 研究成果

(1)これまでの端面出射型半導体レーザーを高出力・シングルモードの VCSEL(面発光レーザー)チップに置き換えて、反射ミラー、レンズを省き、光伝達損失を低減(同時に MEMS センサー部の小型化も実現)した。

(2)レーザーの連続発振をパルス発振駆動に変更し、消費電力をさらに一桁低減した。

### 血流量センサプローブの基本設計

レーザーチップ、フォトダイオードチップなどの光学素子を組み込んだ血流量センサプローブの基本設計を行った。基本的に個々の光学素子はパッケージされていないベアチップを使用し、全体をパッケージ化した。

### 接触圧センサ

図 1 に示すように、接触圧センサはプローブ上面の蓋ガラスに取り付ける歪によって電気抵抗が変化する原理を使用する方法と、レーザー変位センサを応用した接触圧センサの導入を検討している。図 2 にレーザー変位センサを応用した接触圧センサの原理図を述べる。このレーザー変位センサは我々がこれまで研究開発してきた技術を応用したものである。

レーザー変位センサは図 2 に示すように外部の反射ミラーに VCSEL(面発光レーザー)から出射された拡散光の一部を反射させ、

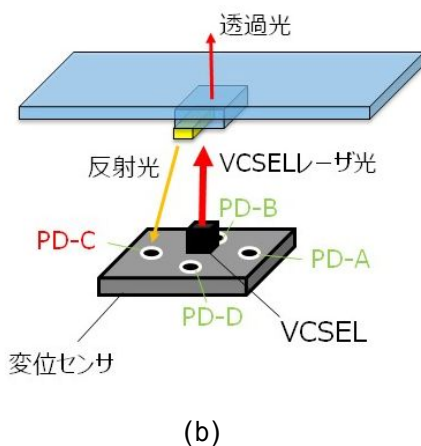
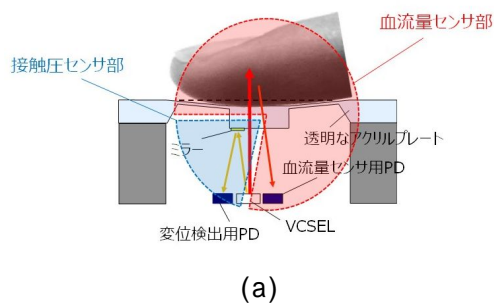


図1 接触圧センサ2（レーザ変位センサを利用した接触圧センサ）

反射した光を VCSEL 近傍に置かれたフォトダイオードで検出することにより、その外部ミラーの変位を測定する。ミラーを接触圧によって変位する透明なアクリルプレートに貼っておけば、接触圧に応じたアクリルプレートの変形を検出することにより、接触圧を測定できる原理である。血流量センサの光源 VCSEL を併用するために、新たにレーザチップを付加することなく、血流量センサにおけるフォトダイオードチップと同じチップを並べて置くことができるために、電気配線やパッケージ化が容易である特徴がある。生体から反射した散乱光が、変位センサの受光信号に悪影響を及ぼさない工夫が必要になる。

### レーザの発振を連続駆動からパルス駆動に変更

これまで、血流量センサは従来のセンサと異なり、ノイズにうずもれた信号を検出

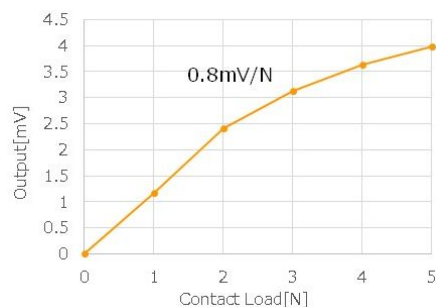
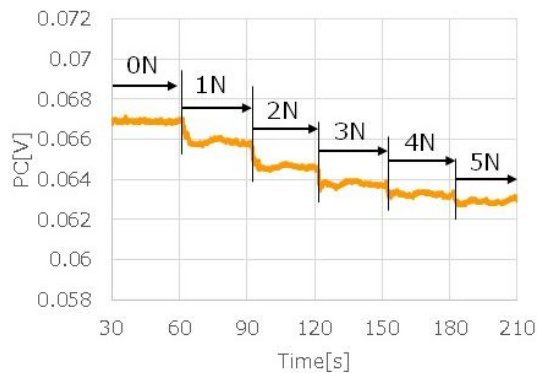


図2 接触圧と出力を求めた実験結果

するための特別な電気回路を使用せざるを得なく、レーザをパルス発振すると受光素子 PD で検出された信号を増幅する際に図3 (b) に示すように信号部分にフラットな部分が全く無く、連続発振時に得られる信号を得ることができなかった。しかし、種々の検討の結果図(c)に示すように、新しい要素回路を追加することにより、連続発振時に得られる信号が検出できるようになった。

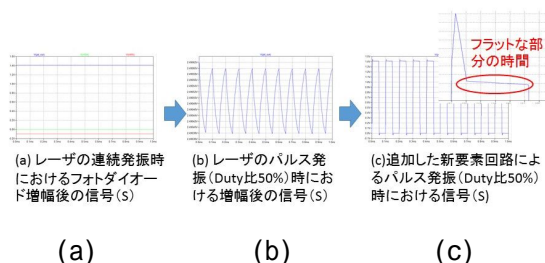


図3 レーザのパルス発振による課題とその課題を解決した結果

表1に、10KHz、20KHzのパルス発振時における信号Sのフラットな部分の時間を示す。なお、現状の血流量センサは20kHz~を使

用している。20 kHz のレーザ発信の場合、25%のDuty(1周期に示す発振時間。連続発振の場合 100%である。)周波数が高くなるとフラットな部分の時間が減少。Duty比が小さくなるとフラット部分の時間が減少した。

表1 パルス発振時における信号のフラットな部分の時間

Duty比	75%	50%	25%
10kHz	65us	42us	17us
20kHz	28us	13us	5us

このことから、サンプリングに要する時間が5 $\mu$ sで十分であれば、現状の血流量センサ新におけるサンプリング20kHz、Duty25%のサンプリングが可能となることから、レーザもパワーを4分の一までに低減化できる。すなわち、新要素回路を追加することにより、大幅な低消費電力化を達成できる。現状のサンプリングに要する時間は理論的には、0.5 $\mu$ sあれば可能であることを考慮すると、さらに10倍、すなわち1/40に低減化が可能といえる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Songsong Zhang, Tao Wang, Liang Lou, Wei Mong Tsang, Renshi Sawada, Dim-Lee Kwong, and Chengkuo Lee, Annularly Grooved Diaphragm Pressure Sensor With Embedded Silicon Nanowires for Low Pressure Application, *IEEE, JOURNAL OF MICRO ELECTRO MECHANICAL SYSTEMS*, VOL. 23, NO. 6, pp. 1396-1407, 2014.

Takuma Iwasaki, Toshihiro Takeshita, Yuji Arinaga, and Renshi Sawada, Torque measurement device using an integrated micro displacement sensor,

*Sensor and Materials*, Vol.25, No.9, pp.601-608, 2013.

〔学会発表〕(計19件)

Ryo Ueno, Terukazu Akiyama, Takeshi Gotanda, and Renshi Sawada, Fundamental Study on Finger pressing Test as Evaluation method, International Union of materials Research Societies The 15th IUMRS International Conference in Asia(IUMRS-ICA2014) Program, (24-30 August 2014, Fukuoka University, Fukuoka), A6-025-004, 2014.

Songsong Zhang, Tao Wang, Renshi Sawada and Chengkuo Lee, NEMS Pressure Sensor Aiming at Low Pressure sensing for Healthcare Applications, International Union of Materials Research Societies The 15th IUMRS International Conference in Asia (IUMRS-ICA2014) Program, (24-30 August 2014, Fukuoka University, Fukuoka), A6-026-002, 2014.

Eiji Higurashi, Michitaka Yamamoto, So Ikeda, Tadatomo Suga, and Renshi Sawada, Low-temperature gold-gold bonding using argon and hydrogen gas mixture atmospheric -pressure plasma treatment for optical microsystems, 2014International Conference on Optical MEMS and Nanophotonics (OMN2014), (17-21, August 2014, Glasgow, Scotland), ThOp8.1, pp.89-90, (2014).

Ryo Ueno, Terukazu Akiyama, Hirofumi Nogami, Renshi Sawada, Evaluation of Blood Flow by a Finger Pressing Test that uses a MEMS Blood Flow Sensor, The 6<sup>th</sup> International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM) 2014 (30July-1August 2014, Singapore), pp.258-259.

林田優馬、針崎康太、竹下俊弘、森田伸友、野上大史、安藤秀幸、日暮栄治、澤田廉士、マイクロ変位センサを用いた接触圧センサの開発、第29回エレクトロニクス実装学会春季講演大会、平成27年3月16日-18日、発表17日、東京大学本郷キャンパス、17A1-2, pp.190-192.

竹内良輔、野上大史、澤田廉士、血流量センサの指圧センサ部の技術開発研究—マイクロフィラメント素子の応用—、平成27年度日本生体医工学学会九州支部学術講演会、平成27年3月7日(土)、九州大学病院キャンパス、一般講演(1)3B2、pp40.

T. Iwasaki, T. Takeshita, K. Harisaki, and R. Sawada, Embedded optical shearing force measurement device, 26th International Microprocesses and Nano technology Conference (MNC 2013), (Nov. 5-8, 2013, Royton Sapporo, Hokkaido, Japan), 8B-10-3, 2013.

Kei Nishihara, Wataru Iwasaki, Renshi Sawada, MEMS blood flow meter for chicken and daily fluctuation of the blood flow, International Conference on BioSensors, BioElectronics, BioMedical Devices, BioMEMS/NEMS and Applications 2013 & 5th Sensing Biology Symposium (Bio4Apps 2013), (Oct. 30-31, 2013, Tokyo Medical and Dental University, Japan), PNM-11.

K. Harisaki, T. Iwasaki, T. Takeshita, R. Sawada, Shearing force measurement device with a built-in integrated micro displacement sensor, International Conference on BioSensors, BioElectronics, BioMedical Devices, BioMEMS/NEMS and Applications 2013 & 5th Sensing Biology Symposium (Bio4Apps 2013), (Oct. 30-31, 2013, Tokyo Medical and Dental University,

Japan), PS-9.

Takuma Iwasaki, Toshihiro Takeshita, Satoshi Takeuchi, Masutaka Furue, Renshi Sawada, Shearing Force Measurement Device Using an Integrated Micro Optical Displacement Sensor, (Barcelona, 25-31, August 2013), SENSORDEVICES 2013, The Fourth International Conference on Sensor Device Technologies and Applications(IARIA), pp.14-19, (2013).

Kei Nishihara, Wataru Iwasaki, Masaki Nakamura, and Renshi Sawada, Application of the Laser Doppler MEMS Blood Flow Micrometer for Chickens, Joint Seminar of Research Center for Advanced Biomechanics and the Japan Institute of Electronics Packaging Kyushu Branch MEMS, (2014年2月3-4日、九州大学), O10.

上田平祐樹、澤田廉士、血流量センサを用いた心拍変動の測定、Joint Seminar of Research Center for Advanced Biomechanics and the Japan Institute of Electronics Packaging Kyushu Branch MEMS, (2014年2月3-4日、九州大学), O22.

針崎康太、竹下俊弘、岩崎拓真、有永雄司、澤田廉士、マイクロ変位センサを用いたせん断力センサ、Joint Seminar of Research Center for Advanced Biomechanics and the Japan Institute of Electronics Packaging Kyushu Branch MEMS, (2014年2月3-4日、九州大学), O1.

針崎康太、竹下俊弘、岩崎拓真、有永雄司、澤田廉士、マイクロ変位センサを用いたせん断力センサ、2013年度精密工学会秋季大会学術講演会(関西大学、2013年9月12-14日)講演論文集J09、pp.509-510.

澤田廉士、光MEMSを応用したバイタル

センサ、平成 25 年度福岡・長野クラスタ  
ーマッチングフォーラム、(2013 年 12 月 9  
日、社会システム実証センター3 階セミナ  
ー室 1・2 室講演会) 資料 1 (2013)。

澤田廉士、動きながら測定可能な MEMS  
レーザ高感度非侵襲的血流量センサ、産  
総研主催セミナー平成 25 年度第 3 回次世  
代プリンテッドエレクトロニクスシンポジ  
ウム (FLEC、JAPER、次世代プリンテッ  
ドエレクトロニクスコンソ-シアムの共同  
開催)~ プリンテッドエレクトロニクスの  
産業化に向けた材料・製造技術の多様な展  
開 ~、秋葉原コンベンションホール、2013  
年 12 月 10 日、pp18-21 (2013)。

澤田廉士、MEMS 応用とレーザー光を用  
いた携帯可能高感度非侵襲的血流量センサ、  
オプトメカトロニクス協会第 4 回講演会、  
2013 年 1 月 24 日、機械振興会館、

Kei Nishihara, Wataru Iwasaki, Masaki  
Nakamura, Toshihiro Itoh, Ryutaro Maeda,  
Renshi Sawada, Introduction of the  
Application of Wireless Laser Doppler  
Blood Flow Meter for the Measurement of  
Chicken Blood Flow, The 4th  
Japan-China-Korea Joint Conference on  
MEMS/NEMS (JCK MEMS/NEMS 2013),  
(August 22 - 24, 2013, CENTER HALL,  
Tohoku University), O01, 2013.

Takuma Iwasaki, Toshihiro Takeshita,  
and Renshi Sawada, Study on a Shearing  
Force Sensor Using a Micro Displacement  
Sensor, バイオメカニクス研究会 & エレク  
トロニクス実装学会九州支部講演会,  
2013 年 3 月 8 - 9 日、九州大学, O18,  
(2013)。

Toshihiro Takeshita, Takuma Iwasaki,  
Hideyuki Ando, and Renshi Sawada,  
Characteristics and Applications of  
Microsensor Measuring Linear Movement  
and Inclination Around Two Axes, JSPS

Workshop 2012, (Nov. 19, 2012 at  
Auditorium Room, CeLS, NUS, Singapore)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 2 件)

名称: 血流量測定装置、血流量測定方法、  
血圧測定装置及び血圧測定方法

発明者: 澤田廉士、野上大史、上野涼

権利者: 九州大学

種類: 特許

番号: 2014-129157

出願年月日: 平成 26 年 6 月 24 日

国内外の別: 国内

名称: 力センサおよび力センサを有する  
ロボット

発明者: 澤田 廉士、竹下俊弘、岩崎拓真

権利者: 九州大学、安川電機

種類: 特許

番号: PCT/JP2013/069067

出願日: 2013 年 7 月 11 日

国内外の別: 国内、国外

〔その他〕

ホームページ等

<http://nano-micro.mech.kyushu-u.ac.jp/>

九州大学ナノマイクロ医工学研究室へよう  
こそ、せん断力センサ

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

澤田廉士 (SAWADA, Renshi)

研究者番号: 40380589