

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：34416

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K05188

研究課題名（和文）PCや複雑な回路を使用しない圧電性繊維を用いたsmart sensing

研究課題名（英文）smart sensing using piezoelectric fiber that does not require a PC or complex circuitry

研究代表者

田實 佳郎 (Tajitsu, Yoshiro)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：00282236

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：我々は伝統工芸技術により作成した圧電性ポリ乳酸センサでバイタルセンシングを可能にしている。本研究では、この手作業に基づく手法を工業化意識した手法に転換するために、有限要素法を用い、工業ミシンによるステッチ形状に工夫を施すことで、伝統工芸手法と同等の機能を実現した。これにより、社会実装の可能性が開かれた。さらに、開発してきた従来のBLEを用いたデータ送信システムでは、被験者の位置や姿勢による信号切れの問題が頻繁に発生したが、回路の最適化を徹底することで飛躍的に性能を向上させた。最終的に、ミシン縫いセンサによるバイタルセンシングの精度検証を室内犬トイプードルの自由な行動の中で確認することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

伝統的な几帳結びを用いた研究段階だったユニークなバイタルセンシングを、より実用的な工業的手法（ミシン縫いの方法）で実現することが可能になった。この成果は、大量生産可能な産業プロセスに転換する道を開いた。特に、室内犬を対象とした健康管理では、このセンサ技術が、動物の安全と快適を保ちながら連続的な健康モニタリングを可能にする。BLE通信の最適化によるデータ送信の安定化も、リアルタイムでの健康データの確実な受信を保証し、動物医療やペットケア産業における予防医学と早期発見の推進に寄与すると考える。この成果は、将来的には人間にも適用可能なウェアラブルセンサ技術の発展に繋がる一歩である。

研究成果の概要（英文）：We have developed piezoelectric polylactic acid sensors for vital sensing using traditional craft techniques. In this study, in order to industrialize this handmade technique, we used the finite element method and devised a sewing shape using an industrial sewing machine to achieve the same functionality as the traditional craft technique. This has expanded the possibility of social implementation. Furthermore, the data transmission system using BLE that has been developed in the past had frequent signal loss problems due to the position and posture of the subject, but by thoroughly optimizing the circuit, the performance was dramatically improved. Finally, we were able to verify the accuracy of vital sensing using a sewing sensor with an ingenious stitching technique in the free behavior of a toy poodle, an indoor dog.

研究分野：物性工学

キーワード：圧電性 高分子 センシング

## 様式 C-19, F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2020年東京オリンピックの準備が活発に進められており、国内外からの観光客の増加が期待されていた。インフラ整備や施設の建設が進行中で、経済活性化が予測され、急激な進歩をとげる **wearable** センサには、健康管理、フィットネス、医療、さらには個人の日常生活の質の向上に寄与することが期待されていた。我々が共同開発してきた紐状の圧電組紐は **motion** センサである。紐状なので「結び、解く」ことができ、生地を針を使い縫い込むことも可能な世界的に注目されているセンサである。最大の特長は、紐の結び形状（叶結び、梅結び、吉祥結び、京結びなど）や刺繍 **stich**（ランニングステッチ、フライステッチ、チェーンステッチなど）の種類により、**sensing** 機能が特化される。言い換えると、圧電組紐を一本の紐と扱えば紐を曲げたときにだけ反応する平凡な曲げセンサである。これを例えば、吉祥結びを用いたチョーカにすると、大きな体動をセンシングせず脈動のみを **PC** や複雑な回路を使わずにセンシングする非常にユニークな **wearable** センサとなることを実験室レベルで示してきた。



圧電組紐

### 2. 研究の目的

本研究は人の複雑な動きから必要な情報のみをセンシングする衣服型センサ(e-textile\*)を具現化することである。複雑な動きが **fabric** に加わった時、その動きをコンピュータ、アルゴリズムを使うことで判定することは既存技術で可能である。しかしながら、そのためには複雑な回路、コンピュータ(**PC**)が必要でシステムが大きくなる。その結果、着用違和感が発生し、日常的な行動様式を妨げ、バイアスのかかっていない良質なデータ収集の妨げになる。本研究では、その場で **fabric** のからの出力信号のみで動きを判定する簡素で実用的なシステムの構築を目指した。



飾り結び圧電組紐紐



圧電刺繍

### 3. 研究の方法

我々は伝統工芸技術により作成した圧電性ポリ乳酸センサでバイタルセンシングを可能にしている。本研究では、この手作業に基づく手法を工業化意識した手法に転換するために、有限要素法を用い、工業ミシンによるステッチ形状に工夫を施すことで、伝統工芸手法と同等の機能を実現を目指す。開発してきた従来の Bluetooth Low Energy (BLE) を用いたデータ送信システムでは、被験者の位置や姿勢による信号切れの問題が頻繁に発生している。ここでは開発してきた研究回路の最適化を外部の専門家を巻き込み徹底的に行い、実用レベルにする。

圧電組紐の縫い付け技法の確立とデザイン性を持った **BLE** 回路の装着を含んだシステムインテグレートを実現することを目指した。電組紐を傷つけずにしっかり縫い込む工業的な工程の具現化に取り組む。ここで難度の高い技能が必要とされる。これには深い経験が求められるこの縫い付けについて、ミシン加工、手縫い加工に手厚い技能と経験を有している。外部の専門業者との密接な協業を実現する。

**BLE** 回路の最適化においては多層基板上のアンテナ設計が重要であるがこれも回路の **artwork** 専門家とアンテナ設計者との密接な打ち合わせを行い、研究代表者が責任を持って最適化を協業して行うことを常として進める。

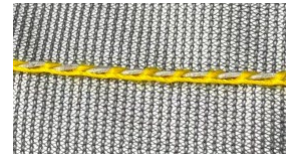
#### 4. 研究成果

##### 工業的手法の確立（ミシン縫い）

圧電組紐機能を最大限に発揮するためにはミシン縫いでもチェーンステッチ縫いのような生地表面に糸が大きく現れることと、波縫いのように生地に垂直に糸が



研究当初) 本縫いミシンセンサがミシンに通り縫えることは分かったがシワになり製品化とはほど遠い。



成果) 本縫いチェーンステッチ太い針の為ミシンの針穴に生地がくい込む。圧電組紐は糸のようにしなりが無いため、上下糸のタイミングの調整や糸の流れの負荷が掛からない、治具の付け替えを行い実現した。

同時に配置される必要がある。圧電組紐は径が太いため通常のミシンでは甚だ困難であり、不可能に近かった。ミシン針が23番以上でなければ針通しができず、またこれ以上の径の針では通常の生地では穴をあける、破いた状態になってしまい、広島福山のデニム生地を扱っている専門業者をはじめ多くの専門業者に試作をお願いしたが叶わなかった。しかしながら綾部にある地場のミシン裁縫業者に知己を得、その協業で、ミシン針治具を地道に改良し、また下糸の番手との組みあわせを最適化することで、具現化を目指した。その結果、ミシン針23番を切削改良し下糸を8番にすることで実現した。

その成果をもとに室内犬のトイプードルによる京組紐で行えたバイタルセンシングが同等の精度で行えるかを検証するために、小型犬の首輪、洋服に組紐センサをミシン縫いしたものを作成した。



小型犬の首輪  
圧電組紐センサをミシン縫製

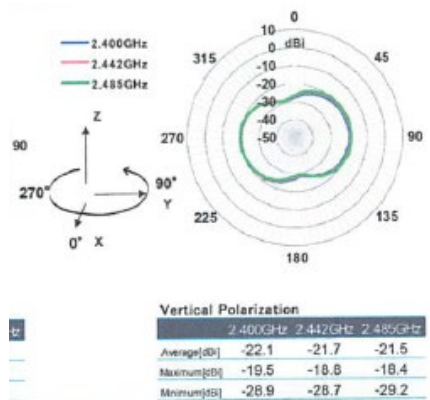


小型犬の服  
圧電組紐センサをミシン縫製

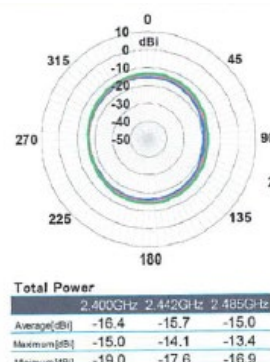
##### BLE 回路の最適化

BLE の信号切れの問題を解決するために誘電体アンテナの専門会社と協業し、回路シミュレーションを駆使し、アンテナ配置を最適化し、artwork を起こし回路を試作した。その結果電波強度が 20dB ほど改善し、電波切れ問題を解決できた。

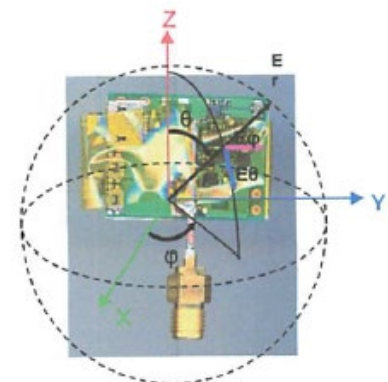
##### トイプードルによる屋外実証実験



旧回路の電波強度



最適化後の回路の電波強度

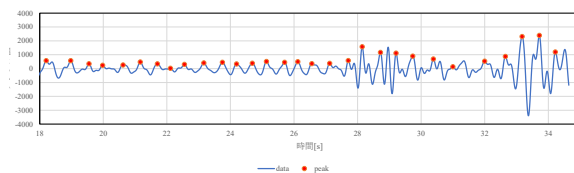


最適化回路

ミシン縫いセンサによるバイタルセンシングの精度検証を室内犬トイプードルの自由な行動の中で確認することができた。以上のように伝統的な几帳結びを用いた研究段階だったユニークなバイタルセンシングを、より実用的な工業的手法（ミシン縫いの方法）で実現することが可能になった。この成果は、大量生産可能な産業プロセスに転換する道を開いた。特に、室内犬を対象とした健康管理では、このセンサ技術が、動物の安全と快適を保ちながら連続的な健康モニタリングを可能にする。BLE通信の最適化によるデータ送信の安定化も、リアルタイムでの健康データの確実な受信を保証し、動物医療やペットケア産業における予防医学と早期発見の推進に寄与すると考える。この成果は、将来的には人間にも適用可能なウェアラブルセンサ技術の発展に繋がる一歩である。



屋外実験の様子



バイタル取得

拍動がしっかり観測できている

以上



## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 7件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Yoshiro Tajitsu, Saki Shimda, Takuto Nonomura, Hiroki Yanagimoto, Shun Nakamura, Shun Nakamura, Ryoma Ueshima, Miyu Kawanobe, Takuo Nakiri, Jun Takarada, Osamu Takeuchi, Rei Nisho, Koji Takeshita, Mitsuru Takahashi, Kazuki Sugiyama	4. 巻 15
2. 論文標題 Application of Braided Piezoelectric Poly-L-Lactic Acid Cord Sensor to Sleep Bruxism Detection System with Less Physical or Mental Stress	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 MICROMACHINES	6. 最初と最後の頁 86-1-86-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi15010086	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takarada J, Okawa Y, Nakagawa I, Tsuneishi H, Tajitsu Y	4. 巻 62
2. 論文標題 Microscopic piezoelectric response of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanote) fiber Japanese Journal of Applied Physics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 1031-1-1031-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.35848/1347-4065/acf586	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yoshiro Tajitsu, Jun Takarada, Tokiya Hikichi, Ryoji Sugii, Kohei Takatani, Hiroki Yanagimoto, Riku Nakanishi, Seita Shiomi, Daiki Kitamoto, Takuo Nakiri, Osamu Takeuchi, Miki Deguchi, Takanori Muto, Kazuaki Kuroki, Wataru Amano, Ayaka Misumi, Mitsuru Takahashi, Kazuki Sugiyama, Akira Tanabe, Shiro Kamohara, Rei Nisho, Koji Takeshita	4. 巻 14
2. 論文標題 Application of Piezoelectric PLLA Braided Cord as Wearable Sensor to Realize Monitoring System for Indoor Dogs with Less Physical or Mental Stress	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 143-1-143-18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/mi14010143	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuzuka M, Takarada J, Kawahara I, Morimoto R, Wang ZK, Kawamura S, Tajitsu, Y	4. 巻 14
2. 論文標題 Application of High-Photoelasticity Polyurethane to Tactile Sensor for Robot Hand	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Polymers	6. 最初と最後の頁 5057-1-5057-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/polym14235057	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Tajitsu, Y ; Takarada, J; Takatani, K; Nakanishi, R ; Yanagimoto, ; Shioni, S ; Nakagawa, I; Kawahara, Nakiri, T ; Shimda, S ; Shimura, Y ; Nonomura, T ; Kojima, K; Ikeguch, A ; Okayama, K; Sakai, T ; Morioka, S ; Takahashi, M ; Sugiyama, K ; Nisho, R; Takeshita, K	4. 巻 12
2. 論文標題 A Prototype Sensor System Using Fabricated Piezoelectric Braided Cord for Work-Environment Measurement during Work from Home	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Micromachines	6. 最初と最後の頁 966-978
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/mi12080966	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Mori, Y; Fukuhara, Y ; Zhu, MZ ; Kinbara, Y; Wada, A ; Mitsuzuka, M ; Tajitsu, Y ; Kawamura, S	4. 巻 35
2. 論文標題 Feedback control of a pneumatically driven soft finger using a photoelastic polyurethane bending sensor	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ADVANCED ROBOTICS	6. 最初と最後の頁 771-786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2021.1911846	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takarada, J ; Mitsuzuka, M; Sugino, Y; Mori, T ; Kinbara, Y; Kageoka, M ; Tawa, T; Kawamura, S ; Tajitsu, Y	4. 巻 60
2. 論文標題 Evaluation of gripping sensor using polyurethane with high photoelastic constant	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS	6. 最初と最後の頁 SFFD03-01-05
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/ac2216	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 田貫佳郎, 三塚雅彦, 奥野広太郎, 川原郁生, 川延美裕, 田中 裕, 宝田 隼, 名切卓男 高橋 力, 上村太一, 田和 務, 吉田光伸, 川村貞夫
2. 発表標題 高分子圧電及び光弾性シートを用いたソフトメカニカル 多軸触覚センサの可能性 強誘電体応用会議
3. 学会等名 強誘電体応用会議
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 田實佳郎, 宝田準, 川原郁生, 奥野広太郎, 三塚雅彦, 吉田光伸, 田和務
2. 発表標題 高分子の圧電性と光弾性を利用した新たなセンサ
3. 学会等名 強誘電体応用会議
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 田實佳郎
2. 発表標題 sustainableな圧電繊維を使った柔軟なwearable組紐センサ
3. 学会等名 電子情報通信学会 総合大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 田實佳郎, 宝田 隼, 引地迅矢, 杉井亮仁, 柳本光輝, 中西 陸, 塩見誠大, 中川勇武, 川原郁生, 名切卓男, 出口 美樹, 武藤崇記, 黒木和明, 柴田武志, 天野 航, 三角綾香, 高橋 満, 杉山一希, 西尾 玲, 竹下皇二
2. 発表標題 圧電組紐センサの開発
3. 学会等名 第39回強誘電体応用会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宝田 隼, 中川 勇武, 中村 隼, 鎌田 浩輝, 川村 碧, 植木 美千子, 脇田 貴文, 守谷 順, 柳 美帆, 黒木 和明, 天野 航, 武藤 崇記, 出口 美樹, 竹内 理, 田實 佳郎
2. 発表標題 客観的心理測定に向けた圧電センサの適応可能性
3. 学会等名 第46回静電気学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Jun Takarada, Isamu Nakagawa, Shun Nakamura, Hiroki Kamata, Aoimano, Takanori Muto, Miki Deguchi, Osamu Takeuc Kawamura, Michiko Ueki, Takafumi Wakita, Jun Moriya, Miho Yanagi, Kazuaki Kuroki, Wataru Ai, Yoshiro Tajitsu
2. 発表標題 Pulse measurement and its signal processing with a flexible piezoelectric sensor for objective psychological assessment
3. 学会等名 The 17th Pacific Polymer Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Tajitsu
2. 発表標題 Development of e-textile sewn together with embroidered fabric having motion sensing function using piezoelectric braided cord
3. 学会等名 Materials Research Meeting(MRM2021) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Tajitsu
2. 発表標題 フレキシブルセンサの新展開
3. 学会等名 電子情報通信学会 シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計3件

1. 著者名 田實佳郎	4. 発行年 2025年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 300
3. 書名 ロボットハンド用センサ ポリウレタン (ロボットハンド理論/実用ハンドブック)	



1. 著者名 田實佳郎	4. 発行年 2022年
2. 出版社 S&T	5. 総ページ数 310
3. 書名 延伸による高分子の構造と物性制御	

1. 著者名 田實佳郎	4. 発行年 2021年
2. 出版社 NTS	5. 総ページ数 528
3. 書名 環境発電ハンドブック	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------