

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：56203

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K18410

研究課題名(和文) 付け爪を応用した皮膚に触れないウェアラブル心拍センサ：生活環境下での実証実験

研究課題名(英文) Wearable sensors without skin-contact inspired by a nail tip: Demonstration experiment in daily life environment

研究代表者

石井 耕平 (ishii, kohei)

香川高等専門学校・機械電子工学科・准教授

研究者番号：40710653

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：付け爪型心拍センサは爪には汗腺、感覚神経がないことに着目した装着感のないウェアラブルデバイスである。これまでに計測系の電力消費が多く、付け爪サイズの電池では数時間しか計測できないことや、体動由来の外乱が重畳し、安定した脈波計測ができないことが課題として残されていた。本研究では、爪表面に存在する微小ひずみを爪に貼り付けた圧電フィルムにより電気信号に変換することで、センサ素子への電力供給なしに、脈波を取得できることを示した。また、計測回路、無線通信回路、電池を内蔵したプロトタイプを開発し、8日間の連続計測に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

爪表面に存在する心拍由来の微小ひずみを利用して、センサ素子への電力供給が不要な脈波計測法の実現可能性を示した。大きな電池を搭載できないウェアラブルデバイスにとってこの計測法は、新たなアプローチであり、学術的意義のある研究といえる。この技術を発展させることにより長期間にわたり不快な装着感なく、患者の健康状態を見守ることができる可能性があり、社会的意義のある研究といえる。

研究成果の概要(英文)：Wearable pulse wave sensors attached to fingernail which can realize no uncomfortable wearing feeling and long-term continuous measurement is developed. In the previous report, miniature coin battery is used as power source to make the wearable sensor as small as ordinary artificial fingernail, but it is not brought enough life time. Thus, establishment of pulse wave measuring technique which has less power consumption is necessary to realize long term measurement like several weeks. From the experimental results, piezo film sensor which requires less electrical power supply can provide pulse wave from micro strain on finger nail surface. Developed prototype driven by miniature coin battery successfully worked for 8days. Proposed measuring technique can reduce power consumption of wearable pulse wave sensors attached to fingernail.

研究分野：医用生体工学

キーワード：爪 ウェアラブルデバイス 脈波 遠隔モニタリング

1. 研究開始当初の背景

高齢化が進む中で在宅療養患者の容態変化にいち早く気づくことのできる遠隔モニタリングシステムの重要性は高まっている。ところがワイヤレス心電計は皮膚への電極貼り付けが必須であり、皮膚への負担が避けられない。また入浴時はデバイスの着脱が必要であるなど、依然として開発途上である。

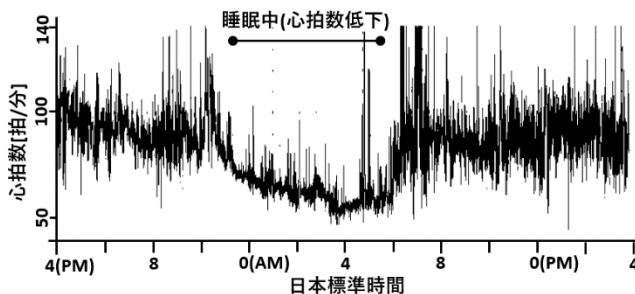
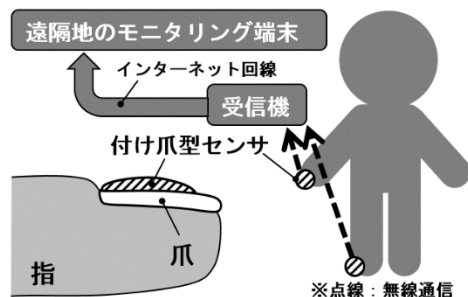


図1 付け爪型センサの構想 図2 心拍数の日内変動(爪に取り付けたセンサにより取得)

本研究はセンシングデバイスの固定場所を切り口とした新たなアイデアへの挑戦である。付け爪型心拍センサは計測回路、無線回路、電池により構成され、付け爪の要領で爪に貼り付けて計測する(図1)。計測した信号は無線により外部の受信機に送信、次にインターネットを通じて遠隔地のモニタリング端末に送られる。この端末にて脈波を解析し、心拍数等の生理パラメータを表示する。利用形態としては、医師の診察の際にデバイスを爪に貼り付け、次回の診察(1~2週間後)にて交換するものとし、この間には入浴や炊事、外出を含む普段通りの生活を無拘束かつ連続的にモニタする。これまでに、小型の光電脈波計測回路を開発、入浴や手洗い、運動を含む生活環境下にて24時間の脈波計測に成功した。その結果、人体の末端である爪に取り付けたセンサであっても、心拍数の日内変動を観測できることが示された(図2)。一方、明らかとなった課題として、光源(LED)の電力消費が多く、付け爪サイズの電池では数時間しか計測できないことや、体動由来の外乱が重畳し、安定した脈波計測ができないことが挙げられる。

2. 研究の目的

ピエゾフィルムを用いたセンサ素子へのエネルギー供給が不要な脈波計測法を開発するとともに多点同時計測による脈波計測の安定性向上の可能性を検証する。また、プロトタイプを製作し付け爪型心拍センサの有効性を示す。

予備実験から爪に貼り付けたピエゾフィルム(圧電素子のフィルム)により脈波を観測可能であることが、明らかになっている(図3)。末梢血管は心臓の拍動に伴い、微小な拡張、収縮を繰り返している。この現象に起因して、爪も極めて微小ではあるが、周期的変形を繰り返している。ピエゾフィルムは変形により電圧を生じる性質を有しており、心臓由来の微小な爪の変形が、ピエゾフィルムに微小な電圧を生じさせたと言える。よってこのアプローチにより電力を供給することなく脈波を計測することが可能となる。本研究ではピエゾフィルムを用いたセンサ素子へのエネルギー供給が不要な脈波計測法の基盤を構築する。それにより、デバイスの省電力化が進むことで、電池の交換なしに数週間にわたる連続計測を目指す。

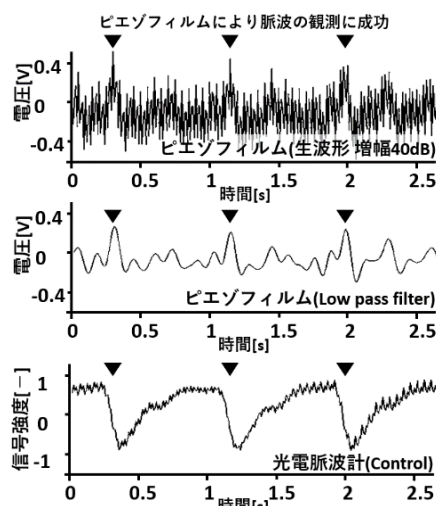


図3 ピエゾフィルムによる脈波測定を試み

3. 研究方法

センサ素子へのエネルギー供給が不要な脈波計測法に関する実験として、被験者の爪表面にピエゾフィルムを固定し、出力信号を観察する。この際、ひずみゲージおよび通常的光電脈波計測を同時に実施し、得られた信号を比較する。加えて、脈波の多点計測の実験として、手の爪に加えて足の爪にもひずみゲージを取り付け、心拍由来の微小ひずみの計測を実施する。これにより、計測する爪による微小ひずみ波形の比較を行う。最後に、爪と同程度の大きさであり、電池、計測回路、無線通信回路を含むプロトタイプを製作する。

4. 研究成果

(1) センサ素子へのエネルギー供給が不要な脈波計測法

成人男性の親指の爪にひずみゲージおよびピエゾフィルムを貼り付けて取得した波形および左手人差し指から取得した脈波を図4に示す。この結果より、光電脈波に同期し波形の似た微小ひずみが爪表面に生じていることが明らかとなった。また、ピエゾフィルムから出力された信号の波形が微小ひずみ波形と同期し、波形も似ていることから、爪表面の微小ひずみがピエゾフィルムに伝播、ピエゾフィルムにも微小なひずみが生じることで、信号が出力されたものと考えられる。

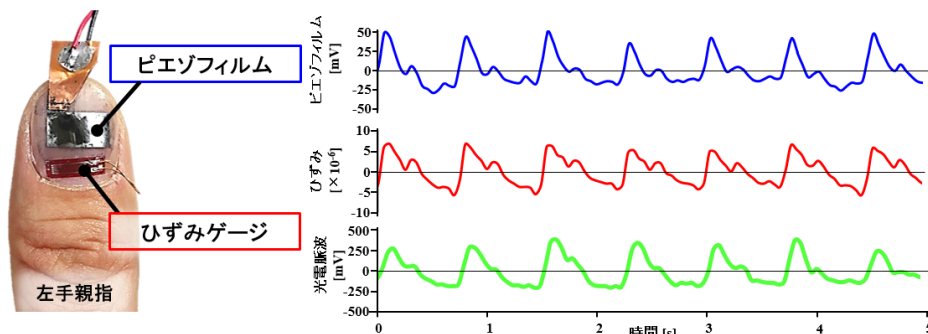


図4 爪表面に配置したピエゾフィルムからの波形と微小ひずみ波形

(2) 脈波の多点計測

手足の爪にひずみゲージ取り付け、取得した微小ひずみ波形を図5に示す。手の爪のみならず、足の爪においても脈波に同期した微小ひずみを観測することができた。また、微小ひずみは爪の横方向に比べ縦方向の方が大きく、異方性があることが分かった。この特徴は手と足のいずれの爪においても確認された。このように異なる爪においても微小ひずみが観測されており、多点計測の実現可能性が示された。

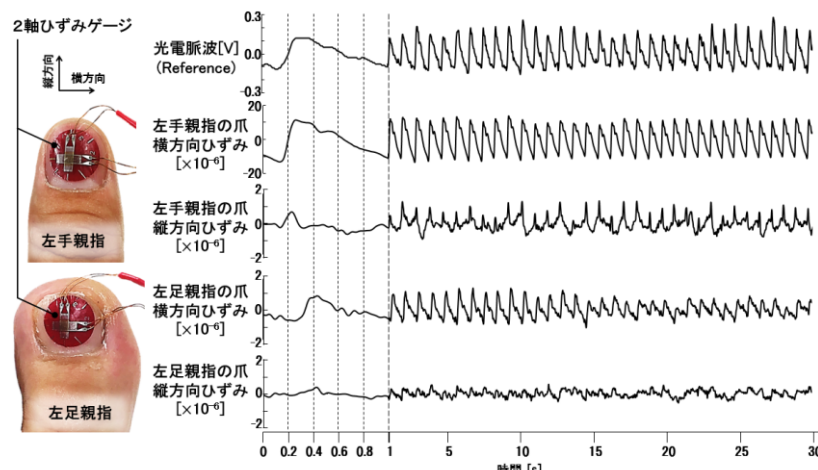


図5 手足の爪から取得した微小ひずみ波形

(3) プロトタイプ開発

これまでに開発した技術を統合したプロトタイプの開発を行った (図6)。プロトタイプは、計測回路、無線通信回路、マイクロコントローラ、電池により構成される。大きさ 13.2mm×11.5mm となり、男性親指の爪サイズとすることができた。爪に生じる微小ひずみを人工的に再現する、微小ひずみ再現装置を用いて、連続稼働実験を実施した。その結果、1分間ごとに脈波を計測し、心拍数を送信するプロトコルにおいて8日間の連続稼働を実証した。

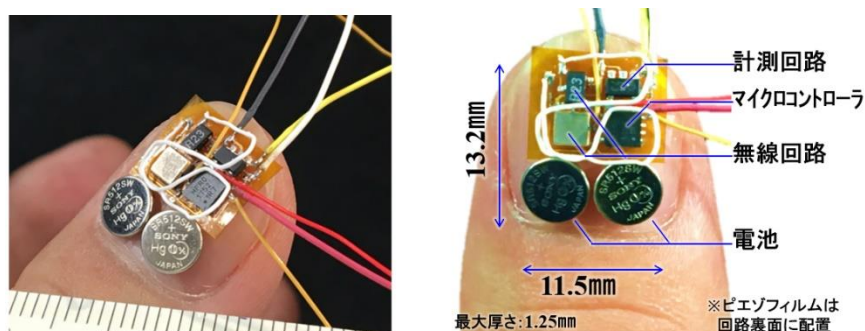


図6 製作したプロトタイプ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kohei Ishii, Nobuaki Hiraoka	4. 巻 15
2. 論文標題 Nail tip sensor: Toward reliable daylong monitoring of heart rate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 902-908
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.23132	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 Kohei Ishii, Itsuro Saito, Junya Fujii, Yusuke Oga, Shizuki Nakai, Sota Iima, Nobuaki Hiraoka	4. 巻 9
2. 論文標題 Measurement of Micro-Strain in Nail Caused by Pulse Wave	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Biomedical Engineering	6. 最初と最後の頁 31-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.14326/abe.9.31	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 Ishii Kohei, Hiraoka Nobuaki	4. 巻 138
2. 論文標題 Pulse Wave Monitoring using Nail Tip Sensor in Daily Life Environment	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electronics, Information and Systems	6. 最初と最後の頁 587 ~ 588
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejeiss.138.587	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11件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 石井耕平、藤井純矢、中井静希、飯間颯太、井上雄介、横田知之、斎藤逸郎、平岡延章
2. 発表標題 ピエゾフィルムによる爪表面からの脈波計測と付け爪型ウェアラブルセンサへの応用
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梶谷奈未, 北村大地, 石井耕平
2. 発表標題 付け爪型センサを用いたケブストラム分析及びMUSIC法に基づく心拍推定
3. 学会等名 35th Signal Processing Symposium
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Kohei Ishii, Junya Fujii, Shizuki Nakai, Souta Iima, Itsuro Saito, Nobuaki Hiraoka
2. 発表標題 Pulse Wave Measurement by Piezo Film Attached to Fingernail Surface
3. 学会等名 41th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei Ishii, Junya Fujii, Shizuki Nakai, Souta Iima, Yusuke Inoue, Tomoyuki Yokota, Itsuro Saito, Nobuaki Hiraoka
2. 発表標題 Wearable sensor attaching to nail surface for long term patient monitoring
3. 学会等名 The 8th meeting of the International Federation for Artificial Organs (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井耕平, 斎藤逸郎, 藤井純矢, 大賀祐介, 中井静希, 飯間颯太, 平岡延章
2. 発表標題 Micro-strain measurement of fingernail brought by pulswave
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井耕平
2. 発表標題 付け爪型ウェアラブルデバイスを実現する爪のひずみに着目した新たな脈波計測技術
3. 学会等名 第2回Center of Innovation学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kohei. Ishii, Nobuaki. Hiraoka
2. 発表標題 A Nail tip sensor: novel wearable sensor without sensation of wearing
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井耕平
2. 発表標題 皮膚に触れないウェアラブル脈波計：複数のセンサによる脈波計測の試み
3. 学会等名 第57回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井耕平, 三宅真正
2. 発表標題 付け爪型脈波計による生活環境下での脈計測と体動アーチファクトの検討
3. 学会等名 第22回日本遠隔医療学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三宅真正, 石井耕平
2. 発表標題 付け爪型脈波計測システムの実用化に向けた小型無線通信回路の性能評価
3. 学会等名 第22回日本遠隔医療学会学術大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石井耕平, 藤井純矢, 中井静希
2. 発表標題 爪に生じる周期的な微小ひずみの計測
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 ウェアラブル脈波センサ	発明者 石井耕平, 斎藤逸郎, 平岡延章	権利者 独立行政法人国立高等専門学校機構
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-224493	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 ウェアラブル脈波センサ	発明者 石井耕平, 斎藤逸郎, 平岡延章	権利者 独立行政法人国立高等専門学校機構
産業財産権の種類、番号 特許、6774108	取得年 2020年	国内・外国の別 国内

〔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
---------	---------