

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 23 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K19885

研究課題名（和文）リアルタイム自律神経世界地図の構築

研究課題名（英文）Construction of the Real-Time Autonomic Nervous Atlas

研究代表者

吉澤 誠（Yoshizawa, Makoto）

東北大学・サイバーサイエンスセンター・教授

研究者番号：60166931

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、リアルタイムに変化する自律神経世界地図システムをクラウド上に開発することを目的とした。結果として、スマートフォンやパソコンのビデオカメラから得られる映像脈波情報に基づき、人々の自律神経系指標を、他のストレスや体調に関するアンケートとともにオンライン・リアルタイムにクラウド上に収集・解析し、評価結果を各利用者にフィードバックするプロトタイプを仮想サーバー上に完成させた。これにより、巨大データ収集とその利用を自動化することが可能となった。今後の課題は、本システムのサーバーへの実装と世界地図上で評価結果を同時に表示・共有するツールとしての機能の強化である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本システムでは、ごく普通のカメラ付きパソコンやスマートフォン以外には特別なセンサや検査装置を全く必要とせず、しかも非接触的に生体情報を解析できる。さらに、解析結果がリアルタイムに表示されるため、これを利用する世界中の人々の自律神経系疾患や精神的ストレスの分布とその度合いが、各地域の環境に応じてわかるようになると予想される。これは世界規模のリアルタイムで動作するコホート分析ツールといえる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop a real-time changing autonomic world atlas system on a cloud system. As a result, based on the video pulse wave information obtained from the video camera of a smartphone or a personal computer, people's autonomic nervous system indices are collected and analyzed online and in real time on the cloud system along with other questionnaires related to stress and physical condition, and evaluated. We have completed a prototype system on a virtual Windows server that feedbacks the results to each user. This made it possible to automate the collection and use of huge data. The future task is to implement this system on a server and to strengthen its function as a tool for displaying and sharing evaluation results simultaneously on a world atlas in the cloud system.

研究分野：生体医工学

キーワード：自律神経 映像脈波 クラウド ビッグデータ 精神的ストレス コホート分析ツール スマートフォン 自律神経系疾患

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

近年、日常的に健康状態をモニタリングする目的で、さまざまな種類のウェアラブル・センサが開発されている。それらのほとんどは脈波・心電図・加速度・体温などのような非侵襲的生体情報を計測するものであり、いずれもセンサを身体に装着する必要がある。

一方、日常生活において常時使用するためには、特別なセンサを使わずに、かつ非接触に生体情報を抽出できることが望ましい。この点、ビデオカメラで撮影した身体の色映像信号のうち、ヘモグロビン吸収帯域に対応する緑色信号成分は皮下の血液充満量の変化を反映する。したがって、身体の任意の対象領域の輝度平均値の時系列として、脈波信号(映像脈波)が得られる。

映像脈波に関しては既に多くの研究があるが、周辺光の強弱の影響[1]や独立成分分析による雑音除去に関するもの[2]が中心であり、心拍数以外の生体情報として血中酸素飽和度を求めているもの[3]などもあるが、血圧情報の抽出に関する研究はほとんどない。さらに、映像脈波情報から自律神経系の働きである圧反射機能を評価する目的の研究も見当たらない。

一方、研究代表者らは、心臓から見た近位部(顔)と遠位部(掌)の2か所の映像脈波信号間の脈波伝搬時間差[4]や、身体の1か所の映像脈波の歪み時間[5]が血圧と相関することを初めて示すとともに、これらに基づく血圧相関値の推定方法に関する特許[6,7]を登録している。さらにこれまでに、Mayer波帯域(0.1Hz付近)における血圧変動から心拍数変動までの応答特性から血圧反射機能を推定し、自律神経系の健全性を定量的に評価するための手法を提案している[8-10]。

そこで本研究では、多くの人々が持っているパーソナルコンピュータ(PC)やスマートフォン(スマホ)のビデオカメラで撮影した身体映像信号を収集すれば、全世界的規模の遠隔的血圧反射機能推定システムを構築できるという着想を得た。

2. 研究の目的

本研究の目的はリアルタイムに変化する図1のような自律神経世界地図システムを開発することである。すなわち、PCやスマホのビデオカメラから得られる映像脈波情報に基づき、それらが利用可能な人々の自律神経系指標を、他のストレスや体調に関するアンケートとともにオンライン・リアルタイムにクラウド上に収集・解析し、評価結果を各利用者にフィードバックするとともに、世界地図上で匿名化した全員の評価結果を同時に表示・共有するツール(自律神経世界地図)を開発することである。これにより、いわばインスタグラムのように、巨大データ収集とその利用が自動化されると期待される。



図1 自律神経世界地図システム

本システムが実現できれば、ごく普通のカメラ付きPCやスマホ以外には特別なセンサや検査装置を全く必要とせず、しかも非接触的に生体情報を解析できるようになる。さらに、解析結果がリアルタイムに表示されることで、これを利用する世界中の人々の自律神経系疾患やストレスの分布とその度合いが、各地域の環境に応じてわかるようになると予想される。これは世界規模のリアルタイムで動作するコホート分析ツールといえる。

3. 研究の方法

(1) 脈波解析システムのクラウド化

上記の目的を実現するためには2つの方法がある。一つの方法は、ユーザーが持つスマホ上に専用のアプリをインストールし、そのアプリによってクラウドサーバーにアクセスする方法である。もう一つは、クラウド上にアップロードサイトを構築し、ユーザーは自分のプラットフォームから映像ファイルをアップロードし、クラウド側で解析する方法である。

本研究では後者の方法を採用した。なぜならこのようにすると、ユーザーのプラットフォームに専用のアプリをインストールすることなく解析サービスが受けられるようになるからである。さらに、使用するプラットフォームはスマホでもPCでもよく、プラットフォームの種類に依存しない。

そこでまず、上記システムの基盤を構築するために、スマホやPCなどのプラットフォームに依存しないクラウド型映像脈波解析システムのプロトタイプを開発した。これは、Web アプリケ

ーション開発用ソフトウェア xampp と Web サーバソフト Apache で動作する仮想 Windows サーバ上において、php スクリプトによって実現した。

構築目標とするクラウドサービスを図 2 に示す。まずユーザーは、インターネットに接続している PC またはスマホによって、本システムのサイトのトップページにアクセスし、パスワード認証を受けた後、ユーザーのプラットフォーム内に予め保存されている映像ファイルをアップロードする。その後、アップロードされた映像ファイルに対し、サイト内解析エンジンが自動的に動作し、映像脈波解析結果が順次表示されていく。

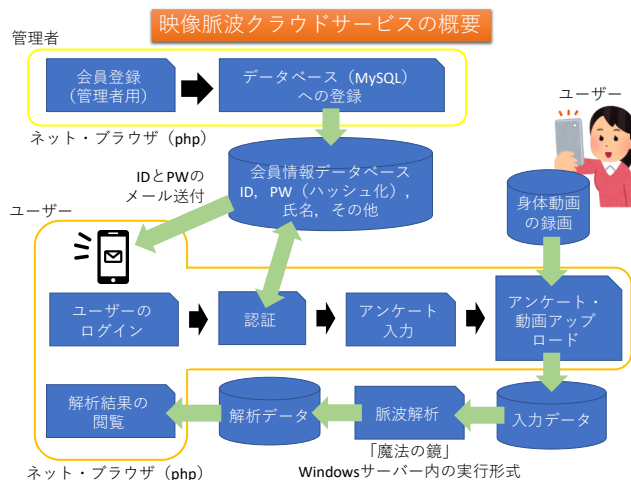


図 2 クラウドサービスの構築目標

(2) 映像脈波解析の自動化とクライアントマシンのビデオカメラの利用

上記システムにより、ユーザーは本クラウドサイトにアクセスし、映像ファイルをアップロードすることによって、サイト内の解析エンジンが映像脈波を自動解析することができる。しかしこれまで、映像脈波抽出対象領域の設定を手動で行う必要があった。そこで、これを自動化した。すなわち、Viola-Jones 法による顔検出アルゴリズムと、Nelder-Mead 法による肌色部分抽出に関する複数パラメータの最適化を組み合わせることにより、実時間での顔の自動追尾を実現した。

また、ユーザーの利便性をさらに向上させるために、映像脈波抽出対象の自動抽出と自動追尾ばかりでなく、肌色抽出した結果と顔検出結果を組み合わせ、顔と掌を自動分離した後、掌に対して楕円フィッティングを行うことによって、顔と手の 2 か所の解析対象領域抽出の自動化を図った。さらに、目の自動検出による頬と額の 2 か所の自動抽出も可能となった。

一方、これまでのシステムでは、ユーザーが別の撮影ソフトで身体映像を撮影した後、その動画ファイルを一旦保存し、解析するとき Web ブラウザからシステムサイトにアクセスした後、解析対象の動画ファイルを選択してサイトにアップロードする、という手間のかかる一連の作業が必要であった。これに対し、新たに開発したシステムでは、クライアントマシンの内蔵カメラを使って直接映像が自動的に撮影されるようになり、上記の手続きが省略されシームレスにサイトにアップロードできるようになるとともに、解析結果の表示が自動的に行われる。

4. 研究成果

図 3 は構築したクラウド版脈波解析システム「魔法の鏡」のログイン画面である。SQL サーバ上で認証を受けた後、体調に関するアンケートを入力する。その後、動画のアップロードを、クライアントのカメラとするか、既に保存されている動画ファイルとするかを選択する。カメラを選択すると、図 4 のような画面となり録画が始まる。30 秒経過すると録画が自動終了し、動画ファイルがクラウド側にアップロードされる。クラウド側では顔検出が行われ、脈波解析が始まる。

図 5 は、顔検出、肌部分自動抽出、および掌自動検出の経過を表す画面であり、自動的に解析対象の分離が行われていることが確かめられる。

図 6 は、成人健常者の顔に対する脈波解析中の例である。目を検出することにより、その上下の顔領域を分割し、頬と額のそれぞれの映像脈波がリアルタイムに表示される。また、脈波から心拍間隔時系列に基づいて、様々な自律神経指標が計算される。さらに、血圧相関値として、脈波の歪み時間（基本波の谷の時刻と脈波の谷の時刻の差）が計算される。



図3 構築したクラウドシステムのログイン画面



図4 クライアントカメラからの動画撮影

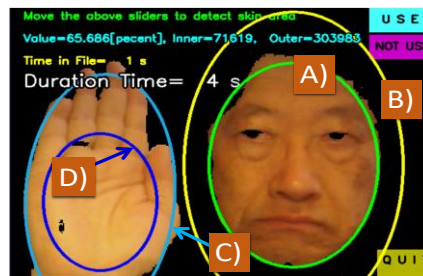


図5 顔検出と肌色部分抽出に関するパラメータの最適化による顔の自動追尾
A) 顔部分抽出結果, B) 最適化のための顔の周囲の定義境界, C) 楕円近似による手の抽出結果, D) 解析対象部分

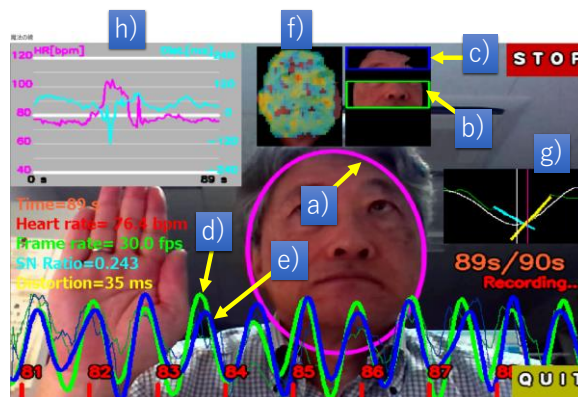


図6 顔検出と肌色部分抽出に関するパラメータの最適化による顔の自動追尾
a) 顔検出結果を表すインジケータ, b) 心臓を基準とした近位部の解析対象領域 (頬), c) 心臓を基準とした遠位部の解析対象領域 (額), d) 頬部分の映像脈波, e) 額部分の映像脈波, f) Lucas-Kanade 法によって安定化した顔に対する血行状態を表すモザイク画面, g) 血圧相関値である歪み時間の計算過程, h) 心拍数(HR)と歪み時間(Dist.)の履歴表示。

本システムからは、対象者の2か所(頬および額)の脈波信号から、次のような多数の指標が得られる。

- ① 平均心拍数
- ② 血行の良さ(脈波振幅)

- ③ 自律神経バランス(LF/HF)
- ④ 血管調整指標(交感神経活動指標; μ_{PA})
- ⑤ 心拍調整指標(副交感神経活動指標; CVRR)
- ⑥ 血圧相関値(歪み時間および脈波伝搬時間差)
- ⑦ 計測雑音の指標(S/N比および振幅の標準偏差)
- ⑧ 自律神経年齢

これらをできる限りわかりやすく表示するために、図7のような CVRR- μ_{PA} 表示による自律神経年齢表示と諸量のレーダーチャート表示を行うと同時に、音声による結果の読み上げを行っている。すなわち、従来、自律神経指標としてよく使われている CVRR(心拍間隔の平均値で規格化された標準偏差)[%]を横軸に取り、脈波振幅 PA[階調](一拍内の脈波の最大値と最小値の差)の時系列に基づく自律神経機能を表わす指標 μ_{PA} を横軸に取ったものが、同図の左半分に表示された CVRR- μ_{PA} 表示である。このような表示方法を採用すると、高齢者が左下に分布し、若年者が右上に分布することがわかっている。CVRRと μ_{PA} の2つの指標から、自律神経年齢が計算される。

以上のように、本システムの利便性がクラウド化される前のシステムから格段に向上した。また、各ユーザーの体調アンケートと映像解析データが自動的に保存・表示・ダウンロード可能となるとともに、各ユーザーのデータが自動蓄積されるようになり、自律神経世界地図構築のためのビッグデータ解析の基盤が整った。現在のところ、PCでは脈波計測として十分な精度が得られているが、スマホのカメラ映像では圧縮率が高い場合があり、改善の余地がある。

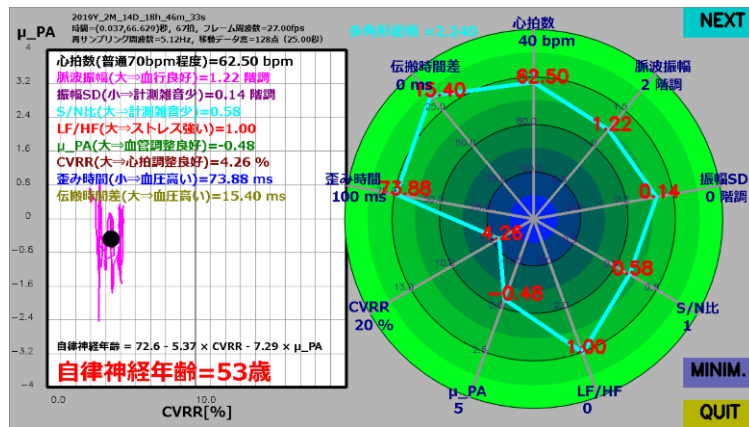


図7 CVRR- μ_{PA} 表示による自律神経年齢表示と諸量のレーダーチャート表示

引用文献

- [1] Y. Sun, et al.: Use of ambient light remote photoplethysmographic systems: Comparison between a high-performance camera and a low-cost webcam, J. Biomedical Optics, 17(3) (2012)
- [2] M.-Z. Poh, et al.: Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation, Opt. Express, 18(10) (2010)
- [3] L. Tarassenko1, et al.: Non-contact video-based vital sign monitoring using ambient light and autoregressive models, Physiol. Meas., 35, (2014)
- [4] N. Sugita, K. Obara, M. Yoshizawa, et al.: Techniques for estimating blood pressure variation using video images, Proc. of IEEE EMBC 2015 (2015). <http://emb.citengine.com/event/embc-2015/paper-details?pdID=5226>
- [5] N. Sugita, M. Yoshizawa, et al.: Contactless technique for measuring blood-pressure variability from one region in video plethysmography, Journal of Medical and Biological Engineering, Vol. 39, Issue 1, pp. 76–85, (2019) <https://doi.org/10.1007/s40846-018-0388-8>
- [6] 高森哲弥, 吉澤誠, 本間経康, 杉田典大, 阿部誠, 田中明: 脈波伝播速度の測定方法、その測定方法を用いた測定システムの作動方法及び脈波伝播速度の測定システム並びに撮像装置, 特許 6620999 号 2017 年 1 月 13 日登録 (特願 2015-504122 ; 2013 年 10 月 22 日出願)
- [7] 吉澤誠, 杉田典大: 生体情報計測装置, 生体情報計測プログラム, 及び生体情報計測方法, 特許 6072893 号 2019 年 11 月 29 日登録 (特願 2017-230362) 2017 年 11 月 30 日出願
- [8] N. Sugita, M. Yoshizawa, et al.: Evaluation of adaptation to visually induced motion sickness based on the maximum cross-correlation between pulse transmission time and heart rate, J. Neuro Engineering and Rehabilitation, vol. 4, no. 35 (2007).
- [9] M. Yoshizawa, et al.: Methods for assessment of effects of habitual exercise on the autonomic nervous function using plethysmogram, Proc. of IEEE EMBC 2011, pp. 1157–1160 (2011).
- [10] 狩野佑介, 吉澤誠, 山家智之, 杉田典大: 自律神経機能測定装置, 特許 5408751 号 2013 年 11 月 15 日登録 (特願 2012-72290) 2012 年 3 月 27 日出願

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kei Ichiji, Yusuke Yoshida, Noriyasu Homma, Xiaoyong Zhang, Ivo Bukovsky, Yoshihiro Takai, Makoto Yoshizawa	4. 巻 63
2. 論文標題 A key-point based real-time tracking of lung tumor in X-ray image sequence by using difference of Gaussians filtering and optical flow	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Phys Med Biol	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1088/1361-6560/aada71	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 吉澤 誠, 杉田典大	4. 巻 75
2. 論文標題 血圧変動と血行状態をリアルタイムに表示する「魔法の鏡」	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 NATURE INTERFACE	6. 最初と最後の頁 7-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Norihito Sugita, Makoto Yoshizawa, Makoto Abe, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe	4. 巻 1
2. 論文標題 Contactless Technique for Measuring Blood-Pressure Variability from One Region in Video Plethysmography	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Medical and Biological Engineering	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1007/s40846-018-0388-8	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 吉澤誠, 杉田典大	4. 巻 55
2. 論文標題 血行状態モニタリング装置「魔法の鏡」の開発	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 光技術コンタクト	6. 最初と最後の頁 4-11
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
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 Norihiro Sugita, Metin Akay, Yasemin Akay, Makoto Yoshizawa	4. 巻 1
2. 論文標題 Noise reduction technique for single-color video plethysmography using singular spectrum analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/JBHI.2019.2949883	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 該当する

〔学会発表〕 計8件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Norihiro Sugita, Makoto Yoshizawa, Akira Tanaka, Makoto Abe, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe
2. 発表標題 Extraction of Blood Pressure Information from Video Plethysmography
3. 学会等名 IEEE Engineering in Medicine Biology Society 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Tanaka, Yuya Yamada, Makoto Yoshizawa
2. 発表標題 Application of Non-Contact Video Plethysmography to Analysis of Local Vascular Regulation
3. 学会等名 IEEE Engineering in Medicine Biology Society 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Akira Tanaka, Kei Ichiji, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe
2. 発表標題 An Optimization Technique to Extract Video Pulse Wave for Non-Contact Remote Monitoring of Autonomic Nervous System and Blood Pressure Variability
3. 学会等名 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe
2. 発表標題 Non-Contact Extraction Techniques of Autonomic Nervous System Indices and Blood Pressure Variabilities from Video Images
3. 学会等名 The 25th International Display Workshops (IDW ' 18) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Makoto Yoshizawa, Norihiro Sugita, Makoto Abe, Akira Tanaka, Noriyasu Homma, Tomoyuki Yambe
2. 発表標題 Non-Contact Blood Pressure Estimation Using Video Pulse Waves for Ubiquitous Health Monitoring
3. 学会等名 2017 IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉澤 誠, 杉田典大, 魚住洋佑, 加藤 誠, 本間経康, 山家智之, 田中 明
2. 発表標題 血行状態ディスプレイ「魔法の鏡」を使ったゲームの可能性
3. 学会等名 エンターテインメントコンピューティング2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Makoto Yoshizawa
2. 発表標題 Healthcare Display: The Mirror Magical
3. 学会等名 2018 International Symposium on Smart Rehabilitation Innovations (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Norihiro Sugita, Taihei Noro, Makoto Yoshizawa, Kei Ichiji, Shunsuke Yamaki and Noriyasu Homma
2. 発表標題 Estimation of Absolute Blood Pressure using Video Images Captured at Different Heights from the Heart
3. 学会等名 The 41st Annual Conference of IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 吉澤誠, 杉田典大	4. 発行年 2019年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 256
3. 書名 ビデオカメラによる遠隔非接触の自律神経・血圧情報モニタリング(第10章), IoHを指向する感情・思考センシング技術	

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 信号制御装置、信号制御プログラム、及び信号制御方法	発明者 吉澤誠、杉田典大	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-58836	出願年 2018年	国内・外国の別 国内
産業財産権の名称 血圧推定方法及び血圧推定プログラム	発明者 吉澤誠, 杉田典大, 野呂泰平	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2019-104885	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 生体情報計測装置、生体情報計測プログラム、及び生体情報計測方法	発明者 吉澤誠、杉田典大	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、6620999	取得年 2019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
連携研究者	本間 経康 (Homma Noriyasu) (30282023)	東北大学・医学系研究科・教授 (11301)	

6. 研究組織(つづき)

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
連携研究者	杉田 典大 (Sugia Norihiro) (90396458)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	
連携研究者	阿部 誠 (Abe Makoto) (90604637)	信州大学・学術研究院工学系・准教授 (13601)	
連携研究者	山家 智之 (Yambe Tomoyuki) (70241578)	東北大学・加齢医学研究所・教授 (11301)	
連携研究者	田中 明 (Tanaka Akira) (10323057)	福島大学・共生システム理工学類・教授 (11601)	
連携研究者	中澤 徹 (Nakazawa Toru) (30361075)	東北大学・医学系研究科・教授 (11301)	