

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：32717

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K12144

研究課題名（和文）AI解析を用いたコロトコフ音波形による健康管理指標値の研究

研究課題名（英文）Study of health management index value by Korotkoff sound waveform using AI analysis

研究代表者

片山 富美代（Katayama, Fumiyo）

桐蔭横浜大学・スポーツ健康政策学部・教授

研究者番号：70309649

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：血圧計測時のコロトコフ音波形を用いて、AI解析を用いた健康管理指標値に関する検討を行った。心疾患経験者と健常者の波形を極座標表示を用いて、波形の特徴を保持した画像に変換できることを明らかにした。さらに、画像の類似度判定により対象画像間の距離を算出し、3次元座標に配置することにより、各画像位置の立体的俯瞰図を作成した。この図を利用することにより、各疾病画像との位置関係から、健康管理指標を得る可能性があることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

通常の血圧測定の際に、計測できるコロトコフ音波形により健康指標値が得られるのであれば、被験者に負担をかけず、循環器系アセスメントが可能になるため、社会的な意義が大きい。

研究成果の概要（英文）：A study on health management index values using AI analysis was conducted using the waveform of Korotkoff sounds during blood pressure measurement. It was clarified that the waveforms of a heart disease-experienced person and a healthy person can be converted into images that retain the characteristics of the waveforms using polar coordinates. Furthermore, by calculating the distance between the target images by judging the degree of similarity of the images and arranging them on the three-dimensional coordinates, a three-dimensional bird's-eye view of each image position was created. By using this figure, it was clarified that there is a possibility of obtaining a health management index value from the positional relationship with each disease image.

研究分野：基礎看護学

キーワード：コロトコフ音 健康管理指標値 AI解析 極座標表示 類似度判定

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

血圧測定時に発生するコロトコフ音に関しては既に様々な研究が行われている。しかしながら、従来のコロトコフ音解析の多くが全体としての音の変化および変化パターンに着目したものが多く、コロトコフ音に含まれる波形そのものに着目した解析が行われていなかった。その理由は、周波数ピークや加速度波形といった単純な指標でも、人間の目でもある程度判断できるものの、個人差による変動が大きいためにも多人数の波形データを統一的に扱うことに適していなかったためである。

ところが、近年の並列計算技術の発展により、このような複雑な音波形解析に対して人工知能 (AI: Artificial Intelligence) いわゆるディープラーニングを活用した分類自体が、一般的に行われる状況になってきた。この AI 解析を活用すれば、人間が目視に頼ってきた波形解析の労力を劇的に軽減できるばかりでなく、特に教師データ (正解、不正解) を与えなくても、音波形 (解析データログ) のクラスタリング (種類分け) が可能となることが想定される。すなわちコロトコフ音の波形解析が特に解析に関する専門知識が無くても行えることを意味している。本研究では、従来からこのコロトコフ音の波形自体に着目して、近隣のダイケアセンターを利用する主として高齢者のコロトコフ音波形の取得を 2009 年以來、約 11 年間実施してきている。この述べ数百人分の波形データを利用して、AI 解析を活用したコロトコフ音波形の分類が可能かの検討が行えるのではないかと考えたのが、本研究の背景である。

2. 研究の目的

本研究では AI 解析で用いられるような画像を活用してコロトコフ音波形の分類が可能かどうかを検討する。コロトコフ音の波形データ活用することにより、基準となる教師データを作成し、日常の健康管理の指標値として確立することを本研究の目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、**図 1** に示すように血圧計測時に発生するコロトコフ音 (以下 K 音) を圧迫用のカフ内に挿入した血圧測定用のマイクロホンを用いてノート PC に記録することにより、波形を記録する。使用するデータは近隣のダイケアセンターを利用する主として高齢者の波形であり、2009 年から 2019 年の約 11 年間の延べ 600 人回以上の波形データを用いる (実際にはコロナ禍の影響もあり 2020 年以降の新規データ取得は中断を余儀なくされている)。

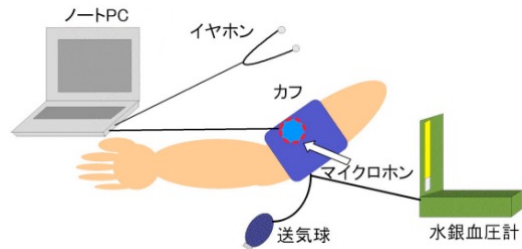


図 1 コロトコフ(K)音波形の取得

4. 研究成果

(1) K 音の波形例

K 音の波形例を**図 2** に示す。0.49 秒や 1.21 秒付近のピークは心電図の R 波のピーク (=心室筋の励起) に対応する K 音の主峰である。心周期は 0.72 秒で、特徴として、①主峰直前(0.45,1.20 秒)の切れ込み、②主峰直後(0.51,1.24 秒)の小さなピーク、③深い谷(0.66,1.40 秒)、④オーバーシュートのようなピーク(0.70,1.42 秒)などがある。年齢差や個人差で、山谷の大きさ、位置(位相)のバラバラは大きく、①や④はないことがあり、②についてはない場合と 2 つ以上ある場合がある。

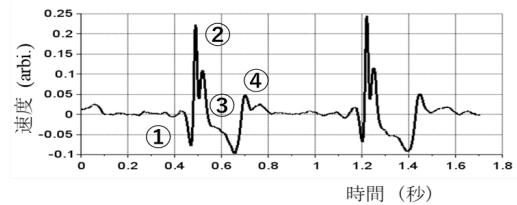


図 2 K 音の波形例 (2 周期分)

(2) 高齢者と若年者の波形比較例

図 3 は、高齢の被験者 10 名 (72~90 歳) と若年の被験者 13 名 (21~37 歳) それぞれの “平均” 波形である。横軸は実時間を個々の心周期 (0.5~1.5 秒) で正規化し、縦軸は単純に算術平均した。また、主峰となる時間を T=0 としてそろえた。図より若年の波形は、主峰の直前に切れ込んだあと、鋭い主峰、浅い谷を形成し、すばやくゼロラインに戻る。一方、高齢の波形は、主峰前に明瞭な切れ込みはなく、緩慢で高い主峰、深い谷を形成し、ゆっくりとオーバーシュートしてからゼロラインに戻る

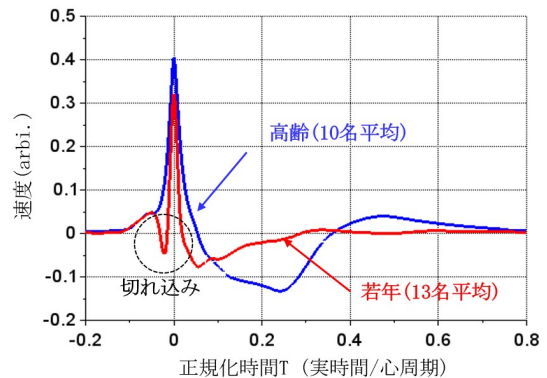


図 3 経年変化による K 音波形への影響

傾向があることが分かる。これは心臓の弁の動きや、血管の弾力性、減衰能などの差に起因するものと推測される。

(3) 虚血性心疾患の波形

次に過去 10 年分のデータ中に含まれていた心疾患の経験者（以下、“経験者”）7名と、平均年齢が近い心疾患の未経験者（以下、“未経験者”）の7名の比較を行った。図4に心疾患経験者と同年齢の未経験者の波形を、横軸に心周期で正規化した時間にとり示す。図より、両波形には明らかな差があることが分かる。

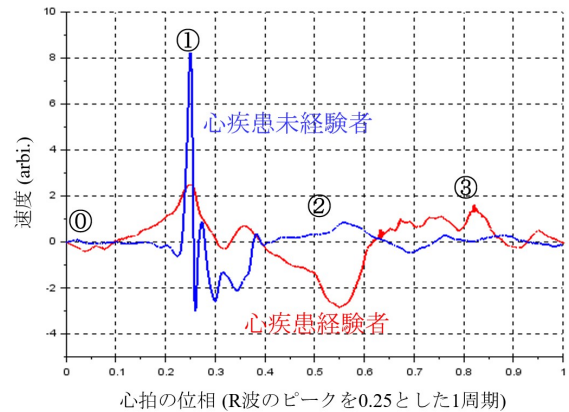


図4 心疾患経験者と未経験者の波形比較

(4) 極座標表示を用いた AI 用画像の作成

図3および図4のような特徴のある波形を AI の画像認識により自動で判別させるには、時間波形そのものを使用するよりも、その特徴を画像化した方が適していると思われる。そこで、図4の時間軸を偏角(0°, 90°, 180°, 270°)と見なし、縦軸の最小値を0、最大値を1と正規化した上で、速度振幅を中心からの距離に変換した極座標表示を考案した。この極座標表示内部を塗りつぶした場合の表示例を図5に示す。図より、経験者と未経験者では波形の特徴の違いが明確になっていることがわかる。

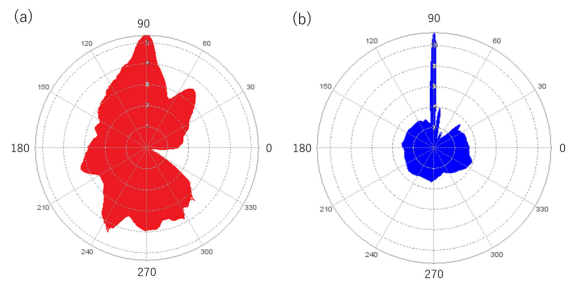


図5 極座標表示を用いた波形比較

(a)心疾患経験者、(b)心疾患未経験者

(5) 特定の心疾患経験者の K 音波形について

図6に特定の心疾患経験者の3年間のK音波形(85~87歳;不定期で10回)で、それぞれ10秒前後ある波形を3秒ずつ切り継ぎ(横長となるため、上下に2分割して)表示した例を示す。以降、波形識別のため、これらの波形を図中に[1]~[10]と表記する。それぞれ特徴のある波形であるが、特に[8]の波形は、ピーク波形が明瞭でないことから、心疾患の“予兆”を示している可能性があると思われる。

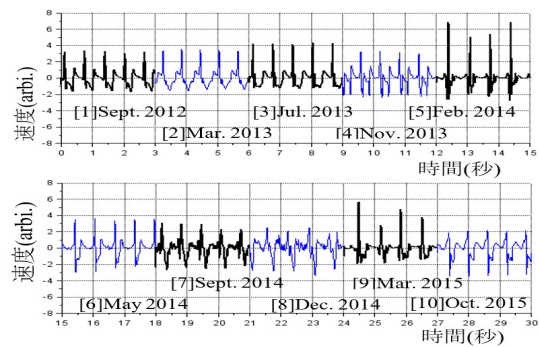


図6 心疾患経験者の極座標表示例

しかしながら、時系列波形での類似度判定では処理にやや煩雑な側面がある。そこで、極座標を用いて時系列波形を“画像”に変換し、画像処理による判定を行うこととした。

図7は、図6の波形[1]~[10]のそれぞれ1周期分を極座標に変換後、内部を塗りつぶし、画像として表現したものである。いずれも個性的な画像であるが、例えば、[7]には、既に[8]の“蝶”のようなイメージ現れていること、そして、[9]ではそのイメージが消失していることが容易に認識することができる。

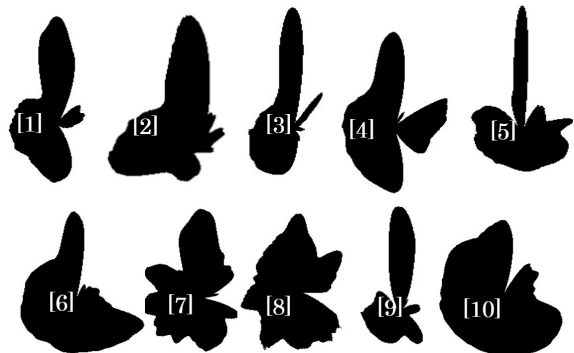


図7 心疾患経験者の極座標表示例

(6) 画像の類似度判定

本研究では、画像の類似度判定として、画像の拡大縮小、回転にロバストで、かつ精度でも評判の高い特徴量抽出アルゴリズムである AKAZE (Accelerated KAZE)を使った。本ソフトは OpenCV (Open Source Computer Vision Library)で、医療領域でも広く使われており、アルゴリズムや応用例につい

ての文献も多い。ここで計算は python 上で行った。

本研究での評価指標は、比較する画像の特徴点同士のマッチング距離(以下、距離と略す)とした。AKAZE で算出される距離は 2 進数で定義されるいわゆるハミング距離であるが、直感的に理解するため、以降、単純に定規で測れるユークリッド距離と等価であるとして進めた。

また、参考データとして、図 6 に示した心疾患経験者の 10 波形に、心疾患の経験のない(以下、健常者と略す)若手 2 名、及び、この心疾患経験者と同年代の 2 名を加えた合計 14 波形を使った。図 8 には加えた 4 名の波形と変換後の画像を示す。

表 1 には、AKAZE で計算した 14 画像の総当たり距離の一覧を示す。表から、心疾患の予兆は仮に [8] の 1 つのみとすれば、疾病の有無判定には各画像と [8] との距離のみ考えればよいであろう。そして、判定のガイドライン値として、例えば距離 < 40 とあらかじめ決めておけば、最も近い [4] は要注意レベルと判断できそうである。

しかし、心疾患に限っても血管の閉塞部位や、機能低下した弁の位置などによって、K 音波形は異なるのが自然であろう。したがって、判定は 1 つの画像との距離だけでなく、数種の疾患画像との距離や位置関係からなされるべきと思われる。そのためには、複数の画像との位置関係を俯瞰できる視覚化が望ましい。

(7) 画像の 2 次元配置による可視化

表 1 に示す画像間の特徴点間距離を使った位置関係の視覚化について検討した。今回のようにデータが 4 個以上の場合には、最小二乗法のような一意に座標を定める計算法はないため、初期値としてランダムな座標を与え、以降、反復計算により、表 1 の距離と予測距離の残差が最小(最小絶対値)となる座標を求めた。使用する乱数シードによって多少の差異はあるものの、いずれも似た配置となることが確認できたため、図 9 に配置例を示す。

この配置例から、仮に [8] を心疾患の予兆画像とすれば [4] はこれに近く、要注意レベルであることが一目でわかる。また、健常者 [11]~[14] は、この心疾患経験者とは ([5] を除き) 一定以上の離れた位置に点群(クラスター)を形成する様子もわかってきた。

しかしながら、この 2 次元配置では距離の線形性が必ずしも保たれていないことや、表現できる疾病の種類に制約が出る可能性が懸念される。

(8) 3 次元空間での可視化と疾病検出

次元を際限なく上げれば、前節の課題は解決可能であるが、可視化図として人間が直感的に把握しやすいのは 3 次元までであると思われる。そこで表 1 の距離を元に、距離の残差が最小となるよう 3 次元の座標を決めた結果を図 10 に示す。

2 次元に比べ、3 次元はポテンシャルが高く、より多様なデータを包摂しつつ、より正確な配置が可能となる。例えば、前節で述べた配置の歪みにつ

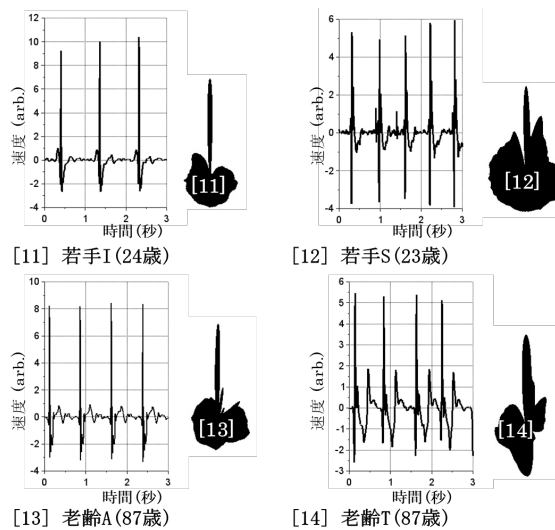


表 1 14 画像の特徴点間距離(総当たり)

距離	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]	[14]
[1]	0.0	30.9	43.9	35.8	60.0	33.9	42.7	41.9	46.3	32.0	51.0	37.8	51.8	50.7
[2]	30.9	0.0	43.2	28.8	52.2	29.8	39.0	40.9	41.2	33.8	49.5	47.1	40.8	45.9
[3]	43.9	43.2	0.0	41.8	48.8	34.5	43.2	47.2	48.1	46.5	44.8	45.3	42.1	51.2
[4]	35.8	28.8	41.8	0.0	63.5	28.8	39.0	36.7	49.7	31.4	52.3	50.0	55.2	49.0
[5]	60.0	52.2	48.8	63.5	0.0	46.0	59.6	57.1	57.8	53.3	41.6	43.6	49.5	53.2
[6]	33.9	29.8	34.5	28.8	46.0	0.0	40.9	39.9	34.8	24.9	48.5	33.5	41.5	39.2
[7]	42.7	39.0	43.2	39.0	59.6	40.9	0.0	41.6	48.0	38.6	56.3	49.1	49.8	58.4
[8]	41.9	40.9	47.2	36.7	57.1	39.9	41.6	0.0	53.5	43.1	48.3	47.1	51.2	49.4
[9]	46.3	41.2	48.1	49.7	54.8	34.8	48.0	53.5	0.0	51.1	54.7	59.9	64.6	58.8
[10]	32.0	33.8	46.5	31.4	53.3	24.9	38.6	43.1	51.1	0.0	34.1	40.3	41.1	46.1
[11]	51.0	49.5	44.8	52.3	41.6	48.5	56.3	48.3	54.7	34.1	0.0	38.7	43.7	46.5
[12]	37.8	47.1	45.3	50.0	43.6	33.5	49.1	47.1	59.9	40.3	38.7	0.0	49.9	58.9
[13]	51.8	40.8	42.1	55.2	49.5	41.5	49.8	51.2	64.6	41.1	43.7	49.9	0.0	52.2
[14]	50.7	45.9	51.2	49.0	53.2	39.2	58.4	49.4	58.8	46.1	46.5	58.9	52.2	0.0

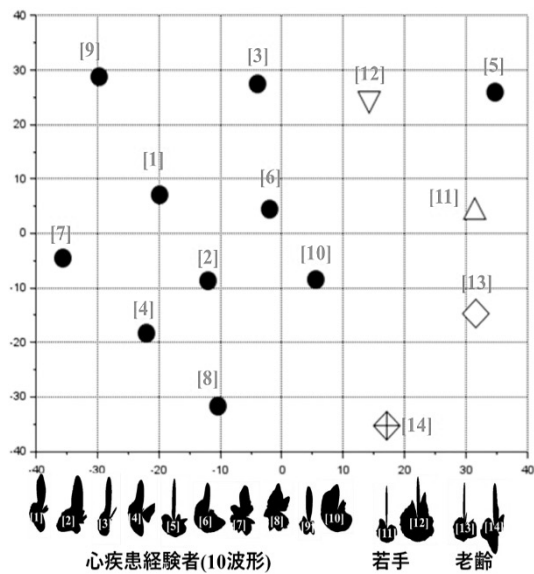


図 9 14 画像の 2 次元配置例

いては、概ね乖離は2次元配置の場合の2/3以下に低減している。また、サンプル数が少ないため判定には尚早ではあるが、心疾患の“予兆”と推測してきた[8]は左下に孤立している他、[4]は2次元の場合と同様に[8]に近く要注意レベルであることを示している。[7]、[9]は[8]から遠いため疾病の予兆ではないとしても、健常者[11]~[14]の点群とは対極にあることから、何か共通した性向を示していることが推測できる。

将来、更に[8]以外にも疾病A、B、Cといった異種の疾病の予兆を示すデータが取得できたとし、このような図に配置すれば、以後の検査したいデータに対しては「AとBを併発し、特にAの程度が進んでいる」など、複合的、かつ程度も含めた判定ができると思われる。

(9)まとめと今後の予定

心疾患経験者と健常者のK音波形を画像に変換し、各画像間の距離を画像処理ソフトで算出した。次に、この画像間距離を極力保持する3次元座標を求め配置すると、各画像の位置を立体的に俯瞰できる図を得ることができた。この図の中に検査したいK音の画像を置けば、これと各疾病画像との位置関係から検査データでの疾病の有無や程度の判定まで可能であると考えられる。現時点では、判定精度を確保できるほどの数の疾病を示すデータは揃っていないため、今後は計測を継続しデータの充実をはかる。また、本技術とAIを組み合わせ、迅速な疾病検出システムの検討を行う予定である。

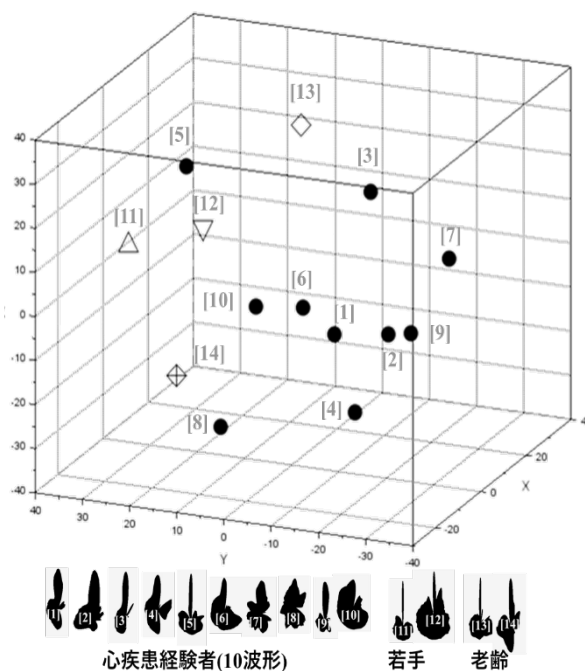


図 10 14 画像の 3 次元配置

現時点では、判定精度を確保できるほどの数の疾病を示すデータは揃っていないため、今後は計測を継続しデータの充実をはかる。また、本技術と AI を組み合わせ、迅速な疾病検出システムの検討を行う予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 高木均、杉本恒美、片山富美代、佐野元昭	4. 巻 46
2. 論文標題 コロナ音から健康情報を抽出する方法についての考察、信号処理および、AI化に向けた取り組み	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 桐蔭論叢	6. 最初と最後の頁 71-78
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 高木均、杉本恒美、片山富美代、佐野元昭	4. 巻 48
2. 論文標題 コロナ音の画像処理を使った疾病検出	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 桐蔭論叢	6. 最初と最後の頁 71-74
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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 H.Takagi, T.Sugimoto, F.Katayama and M.Sano
2. 発表標題 A study on detecting diseases by Korotkoff Sound analysis, -Signal processing for the application of artificial intelligence-
3. 学会等名 16th Toin International Symposium on Biomedical Engineering 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 H.Takagi, T.Sugimoto, F.Katayama, and M.Sano
2. 発表標題 A Study on Finding Diseases by Korotkoff Sound Analysis, -an approach using signal processing and statistical analysis of Korotkoff Sounds-
3. 学会等名 15th Toin International Symposium on Biomedical Engineering
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 H.Takagi, T.Sugimoto, F.Katayama, and M.Sano
2. 発表標題 Detecting Diseases Using Korotkoff Sound Analysis
3. 学会等名 電子情報通信学会 研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T.Sugimoto, F.Katayama, M.Sano and M.Sugawara
2. 発表標題 Study on health index value by Korotkoff sound analysis, -Waveform change of Korotkoff sound with aging-
3. 学会等名 14th Toin International Symposium on Biomedical Engineering
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分担者	杉本 恒美 (Sugimoto Tsuneyoshi) (80257427)	桐蔭横浜大学・工学研究科・教授 (32717)	

	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
研究 協力者	高木 均 (Takagi Hitoshi) (40895356)	桐蔭横浜大学・工学研究科・研究員 (32717)	

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
---------	---------