

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：32413

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K03183

研究課題名（和文）ウェアラブル生体情報測定機器を用いた学習者の状態・特性把握手法の開発

研究課題名（英文）The development of methods for understanding the state and characteristics of learners using wearable biometric measurement devices

研究代表者

長野 祐一郎（Nagano, Yuichiro）

学校法人文京学院 文京学院大学・人間学部・准教授

研究者番号：00325870

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：オープンソース資産を導入し、金銭的・人的コストの低い、授業中の計測に特化した皮膚コンダクタンス、心拍測定システムの構築を行った。STEM教育授業での6回の測定では、講義回に比べ、測定や組み立てなどの実習回で、ポジティブな主観評価が得られた。「不快-快」、「活気のある」、「集中した」評価が、生理反応と比較的強い関係を示す可能性が示された。授業形態に関わらず、生理反応の高さは受講者の快さを反映する可能性が考えられた。授業に対する活気評価の高い学生は、覚醒水準が低下しやすい授業後半でも比較的高い覚醒を維持した。集中評価は、皮膚コンダクタンスのみと関係し、心拍数による集中度評価は難しいと考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、オープンソース資産の導入により、金銭的・人的に低コストで、授業中の受講者の生理反応測定を可能とした。さらに、STEM教育を対象とした実測では、講義において覚醒が低下しやすい参加者が存在すること、皮膚コンダクタンスが授業に対する快-不快評価や活気、集中を反映する可能性、心拍数による集中評価が困難である可能性が示された。これらの結果は、従来知識やスキルに偏りがちであった授業評価に、態度やモチベーションの評価を加え、参加者の特質に応じたカリキュラム提供の可能性を開くものである。

研究成果の概要（英文）：We constructed a skin conductance and heart rate measurement system tailored for classroom use, incorporating open-source assets to minimize financial and human costs. In six STEM education sessions, practical exercises such as measurement and assembly yielded more positive subjective evaluations compared to lecture sessions. The evaluations of "unpleasant-pleasant," "vigor," and "concentration" demonstrated a relatively strong correlation with physiological responses. Regardless of the class format, higher physiological responses appeared to reflect the students' sense of pleasantness. Students with higher vigor ratings maintained relatively high alertness even in the latter parts of the class, where alertness typically tends to decrease. The concentration rating was solely related to skin conductance, suggesting that assessing concentration through heart rate alone may be challenging.

研究分野：教育工学

キーワード：教育 生理指標 皮膚コンダクタンス 心拍数 ウェアラブル機器 授業評価

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

教育目標は、認知的領域、情意的領域、精神運動的領域に分類され(Bloom et al., 1971)、各々の領域ごとの評価実施が望まれる。しかし、学習評価で広く用いられるテストは、知識やスキル等の認知的側面を主に評価するものであり、情意的側面を評価することは難しい(寺尾, 2012)。生理心理学は、学習に対する意欲や関心、態度といった情意領域における評価において、その貢献が期待されてきた(梅沢, 1998)。発汗活動を反映する皮膚コンダクタンス(Skin conductance: SC)や、心臓血管活動の代表である心拍数(Heart Rate: HR)は、実施者の覚醒状態や課題に対する注意やストレス反応を評価可能であり(長野, 2017)、さらに授業期間内を時系列的に評価できる点も、形成的評価の視点から大きなアドバンテージとなる。授業内における生体計測が一般化すると、従来アンケート調査を用いて定定的に行っていた覚醒度やストレスなどの学習者の状態評価を時系列的に行い、さらに各授業形式への適性などの学習者の特性を短時間で把握可能となり、教育効率を飛躍的に向上させると同時に、評価の客観性を高めることが可能となる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、高価で専門的知識が必要とされる従来の生体計測装置の制約を克服することであった。Arduino や 3D プリンター、IoT 技術などのオープンハードウェアを組み合わせ、測定機器の物的および人的コストを大幅に削減し、学習者の心理・生理反応をリアルタイムで計測・評価する手法の開発を目指した。具体的には、SC、HR、心拍変動(Heart Rate Variability: HRV)を測定することにより、学習者の状態や特性の把握を目指した。

3. 研究の方法

(1) 計測機器の作成

本研究は、2018-19 年度に科学研究費補助金(挑戦的研究(萌芽)適応的な学習支援を目指した生体情報計測による学習活動のモニタリング手法の確立(課題番号 18K18670)研究代表者:早稲田大学森田裕介)で作成されたシステムをベースに、HR の測定機能を新たに追加した。ハードウェアのコストと、データ処理の利便性、双方を考慮に入れ、HR センサーの選別を行い、データの処理量の増加に対応し、処理能力の高いマイクロコンピュータを新たに選別した。

(2) 授業中での測定

本研究では、多彩な形式の授業を対象に学習者の心理・生理反応の測定を行うことを目的とした。そのため、心臓活動の計測を対象とした STEM 教育を題材とした授業で実際の運用を行った。この授業は、心臓の活動を測定する意義についての講義(Science)、市販の測定器とソフトウェアを用いた HRV 測定と解析(Technology)、心電図測定回路の組み立てと測定(Engineering)、コンピューター言語を用いた測定結果の処理(Mathematics)から成り立っていた。授業には心理学科所属学生 20 名が参加し、合計 6 回の授業にわたり SC 及び HR を測定した。また、測定終了後に各授業に関して、長野・永田・宮西・長濱・森田(2019)に基づく項目を用い、アンケート調査による評価を行った。また、授業の進行を事後に確認する目的で、360 度カメラを用いて授業の様子を撮影した。

4. 研究成果

(1) 計測機器の作成

従来の SC 計測デバイスに指尖容積脈波センサーを追加し、HR、HRV を同時に計測可能とする事を目的に研究開発を行った。HR 測定は、測定値の安定性、センサーボードの形状、消費電力、改造ベースとなる測定装置のマイクロコンピュータとの相性などの点を考慮し、開発・運用の両面で大きなアドバンテージがあると判断し、Qwiic - MAX30101/MAX32664(SparkFun Electronics)を採用した。マイクロコンピュータは、処理能力の高い ESP32 系マイクロコンピュータ M5 ATOM Lite (M5Stack Technology)を採用した。

生産された SC・HR 測定装置を図 1 に示した。SC 測定部分は長野ら(2019)に準じ、マイクロコンピュータ搭載用の基盤は新たに設計した。最終的な装置のサイズは、5 × 7 × 1.5 cm、重量は 50g 程度であった。HR 測定モジュールは、紙めくり用リング型指サック(メクリッコ 35-886, PLUS)を用いて固定した。搭載されたバッテリーは 400mA であり、およそ 3 時間の連続使用が可能であった。本研究で使用した電子回路やソフトウェアは長野・櫻井・鈴木(2022)にし詳説した。

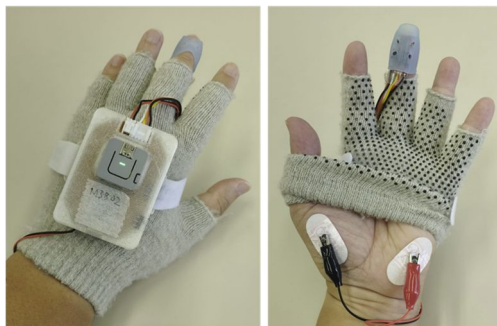


図 1. 本研究で生産された SC・HR 測定装置

本研究では、多人数同時測定時のトータルコストの低さから通信方式にWi-Fiを選定した。ネットワーク接続環境として各計測機との接続に無線LANルーターDecoM4(TP-link)を用いた。当ルーターは64クライアントを同時に接続可能なものであった。様々な環境での計測を想定し、上流にLTE接続型無線LANルーターAterm PA-HT100LN(NEC)を接続し、LTE回線を経由してWANに接続した。

本研究で用いられた計測システムには、大きく分けて計測器側の制御ソフトウェアと、測定結果をサーバー側で受け取りビジュアライズを行う集計ソフトウェアの2種類のソフトウェアが用いられた。計測器の制御ソフトウェアはArduino IDE 1.8.19を用いて開発した。その際、ESP32 Arduino Core Ver. 2.0.9, Adafruit ADS1X15, M5 ATOM ライブラリを使用した。サーバー側のソフトウェアはPHP Ver. 5.2.17で作成し、大学外の商用サーバー上で運用した。測定者は、サーバー上に蓄積された計測結果をPC上のブラウザから随時確認することができた。確認用ソフトウェアは参加者のSC及びHRも変化を最大8人同時に確認可能なものであり、ユーザーインターフェースから測定結果を表計算ソフトに向けてコピーアンドペーストすることが可能であった。

(2) 授業中での測定

(2-1) 測定対象となった授業の概要

生産したSC・HR測定環境を実際に運用し、授業中の生体情報を2023年10月9日から2024年1月15日までの期間で、合計6日間にわたり測定した。対象授業は、HR測定に関するSTEM教育を題材にしたものであった。各回の授業内容と測定日時は、「計測機の使い方解説(2023年10月9日)」、「STEM教育の概要とHR測定アプリの使い方説明(2023年10月16日)」、「心臓活動を測る意義の解説およびHRVの実測(2023年10月30日)」、「マイクロコンピュータを用いた生理指標測定の解説(2023年11月13日)」、「電子回路の組み立て(2023年11月20日)」、「Python言語を用いたHRデータの解析(2024年の1月15日)」であった。

(2-2) 心理指標の結果概要

心理指標は長野ら(2019)に準じて測定した。「不快-快」、「睡眠-覚醒」、「活気のある」、「楽しい」に関する結果を図2に示した。「不快-快」に関しては、全般的に、座学よりも、機材を使った実習や組み立て作業において快感が高い傾向が見て取れた。同様に、「睡眠-覚醒」は、解説において低く、実習において高い傾向が見られ、電子回路の組み立てにおいて高い傾向が見て取れた。「不快-快」に各回で有意な差は認められず、「睡眠-覚醒」は、2回目<5回目、4回目<5回目となり、電子回路の組み立てが特に高い覚醒を示し、解説回が特に低い覚醒状態であることが示された(不快-快: $F(5,55)=1.89$, ns; 睡眠-覚醒: $F(5,55)=4.38$, $p<.05$)。「活気のある」にしても、測定や組み立てなどの実習において高い傾向が認められた。「楽しい」に関しては、全般的に高い傾向にあったが、座学の解説ではやや低い傾向が認められた。「活気のある」は、2回目<5回目となり、解説回が電子回路の組み立てより低かった。「楽しい」は、各回で有意な差は認められなかった(活気のある: $F(5,55)=3.54$, $p<.05$; 楽しい: $F(5,55)=0.92$, ns)。

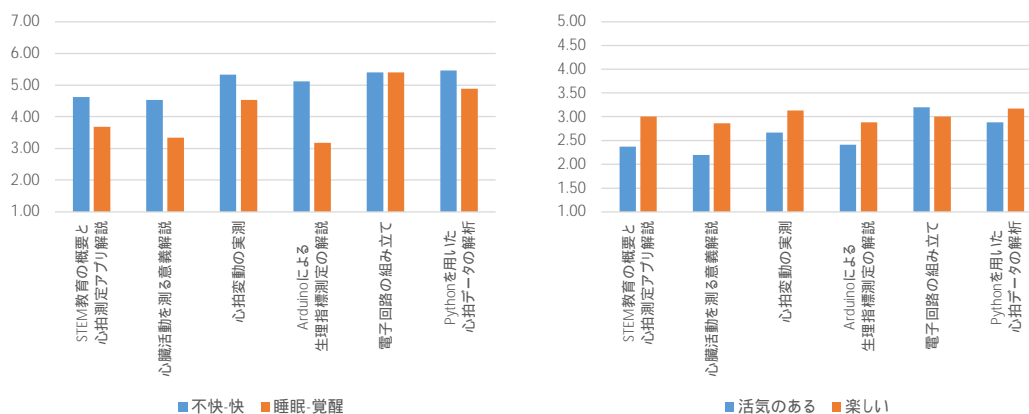


図2. 「不快-快」「睡眠-覚醒」「活気のある」「楽しい」に関する測定結果

「充実した」は各回を通じて比較的一定の点数を維持しており、座学と実習で明確な差は認められなかった。「集中した」は、測定や組み立て、プログラミングなどの実習において高い傾向が認められた。「充実した」、「集中した」ともに各回で有意な差は認められなかった(充実した: $F(5,55)=0.81$, ns; 集中した: $F(5,55)=1.48$, ns)。「主体的な」は、測定や組み立て、プログラミングなどの実習回において明確に高く、座学で解説を行う回では低い傾向が認められた。「受け身な」は、座学による解説回で高く、組み立てやプログラミングでは低い傾向が認められた。「主体的な」は、1・2・4回目<5回目、2・4回目<6回目、4回目<3回目となり、全体として講義回が実習回(電子回路組み立て、HRV測定、Pythonプログラミング)より低い傾向にあった。「受け身な」は、1・3・5・6回目<4回目となり、講義のみを行った4回目が高かつ

た(主体的な: $F(5,55)=10.54, p<.01$; 受け身な: $F(5/55)=5.25, p<.01$)。「興味深い」に関しては、僕の回の授業が4点を超過しており、比較的高い評価が得られていた。Python 言語によるプログラミングが電子回路と同じ得点となっていることが特徴的であった。「理解度」は、座学が低く実習が高い傾向にあった。「興味深い」に各回で有意な差は認められなかった。「理解度」は5%水準で有意な効果が認められたが、多重比較の結果各回に有意な差はみとめられなかった(興味深い: $F(5,55)=1.50, ns$; 理解度: $F(5,55)=2.95, p<.05$)。

(2-3)生理指標の結果概要

全てが座学で構成された「マイクロコンピュータを用いた生理指標測定 of 解説(2023年11月13日)」を講義の代表回、全てが実習で構成された「電子回路の組み立て(2023年11月20日)」を実習の代表回として比較を行った。講義回では、最初の30分間においてSCの下降が認められ、これは堀(1986)や長野ら(2019)の講義部分で示された結果と同様であった。SCは、睡眠中に低く、精神活動の活発化に従い上昇し、覚醒水準の指標となることから(本多・長野, 2017)、本研究において見られたSCの低下は、継続した講義授業に伴う覚醒水準の低下を示したものと考えられる。一方で、講義回でも部分的に一過性のSC上昇が認められた。SCは、実験刺激の新奇性や重要性を反映し上昇するとの知見(Barry, 1982; Dindo & Fowles, 2008)から、授業参加者が新奇性や重要性を感じ得た部分に、一過性の上昇が生じた可能性が考えられた。授業中の教師の生理指標を測定した山森・長野・徳岡・草薙・大内(2023)では、SCは教師の認知負荷が高まった場面だけでなく、児童の反応が教師の想定を上回ったような場面でも上昇した。これらのことから、SCの上昇は学習内容に対する重要性の評価や驚きを反映する可能性が考えられる。山森・伊藤(2022)によると、授業中におけるHR測定は、受講者のストレスや集中度を反映するものと捉えられてきた。本研究においては、HRの変化はSCの変化に類似しており、かつ平均値として80BPM以上を維持している。このことから、授業中のHRは、相対的に交感神経活動により規定される側面が強いと考えられるかもしれない。

(2-4)心理指標と生理指標の関係

講義回のSCの低下には受講者の「不快-快」評価が関係する可能性が考えられた。具体的には講義を快と判断していた参加者はSCが低下しにくく、計測期間後半を用いたt検定の結果、SCの差にのみ有意傾向が認められた(SC: $p=.051$; HR: $p=.690$)。一方実習回では、授業時間の経過に伴う反応低下は認められず、実習を快と評価した参加者は、全期間において両指標で高い値を示す傾向にあった(SC: $p=.033$; HR: $p=.126$)。講義回で「活気のある」評価が高い学生はSCを講義の最後まで持続させていたがHRに関しては全体を通して高い値を示していた(SC: $p=.097$; HR: $p=.146$)。実習回では明確な傾向は認められなかった(SC: $p=.635$; HR: $p=.392$)。集中評価の影響を図3, 4に示した。講義回において、「集中した」について同様に分析を行ったところ、その影響はSCにおいて比較的明確であるように認められた(SC: $p=.105$; HR: $p=.685$)。実習回では、SCは「集中した」評価の高い参加者において一貫して高いように見受けられたが、それに対しHRの差は明確ではなかった(SC: $p=.046$; HR: $p=.707$)。

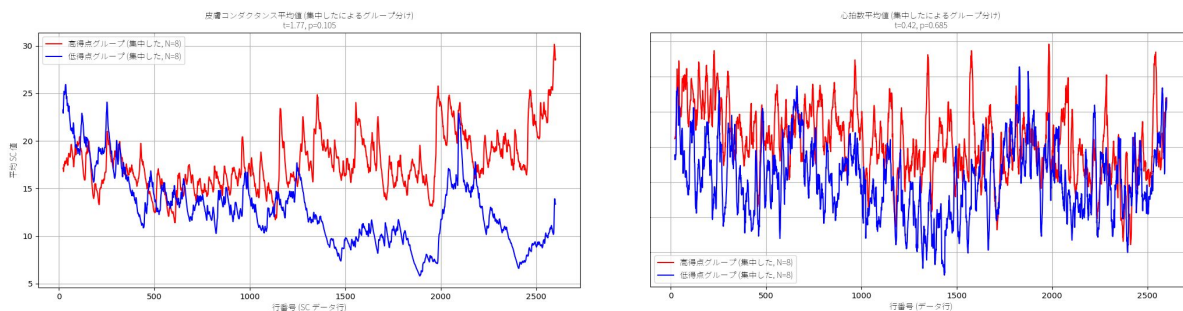


図3. 「集中した」評価によるSC・HRの違い(講義回)

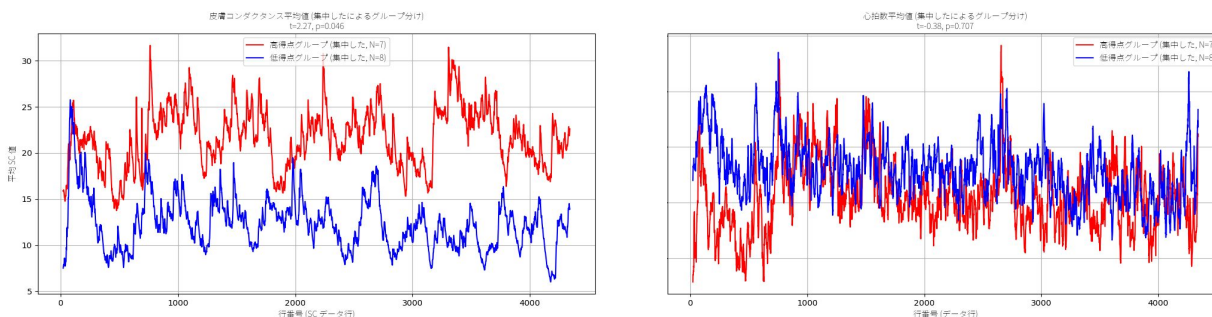


図4. 「集中した」評価によるSC・HRの違い(実習回)

「不快-快」の影響に関しては、快感と不快感の次元 (Valence) の評価には SC が役に立たないとする先行研究 (Bradley, Codispoti, Cuthbert, & Lang, 2001) と一貫しない。「睡眠-覚醒」や「充実した」評価においても「不快-快」と同様の傾向が認められ、講義を聞かなければいけない状況での覚醒低下を参加者が不快と判断した可能性が考えられる。授業形式に着目すると、「活気のある」評価は講義回においてのみ生理指標への影響が明確であった。講義回は SC の平均が 15.28uS, 「睡眠-覚醒」評価が 3.19 に対し、実習回は 17.89uS, 5.4 であり、実習回に比べて講義回は覚醒水準の低下生じた結果から、活気評価が生理反応に影響するのは参加者の覚醒水準が低い場合にのみである可能性がある。指標による違いとして、「集中した」評価が高い参加者は、授業の形態にかかわらず高い SC を示した一方で、HR には明確な影響を与えなかった。SC に対し、HR は交感神経と副交感神経の二重支配である点が異なる (長野, 2017)。注意力や集中力は副交感神経活動の亢進 (結果として HR 低下) を生じることや (Hansen, Johnsen, & Thayer, 2003)、本研究の結果から、HR を受講者の集中の指標とすることは難しいと判断できる。

(3) まとめ

本研究では、従来の計測器を元に、新たに HR を追加測定可能なウェアラブル計測システムを構築した。システムの作成にはオープンソース資産を積極的に採用し、使用方法はできる限り簡便になるように調整し、金銭的・人的コストが大幅に削減され、少ないリソースで比較的大人数の測定が可能となったことが本研究の第一の成果といえる。

心理指標に関しては、概して座学を中心とした講義回に比べ、測定や組み立て、プログラミングなどの実習回においてポジティブな評価が認められた。心理指標と生理指標の関係性としては、「不快-快」、「活気のある」、「集中した」の評価が、生理反応と比較的強い関係を示した。授業形態に関わらず、SC・HR の高さは受講者の快さを反映する可能性が考えられた。授業に対する活気評価の高い学生は、覚醒水準が低下しやすい講義形式授業の後半でも比較的高い覚醒を維持した。「集中した」評価は、授業形態に関わらず、SC のみと関係した。集中は HR の低下を引き起こし、結果として HR による集中度合いの検出を困難にさせる可能性が考えられた。

本研究の反省点として、計測器のデザインが計測器の組み立てなどの実習を阻害した可能性や、HRV の評価が困難であった点が挙げられる。今後はより多様な事業形態で測定を実施し、教員への即時フィードバックシステムを導入し、学生の特性によりパーソナライズされた学習カリキュラムの提供を目指したい。

5. 引用文献

- Bloom, B. S., Hastings, J. T., Madaus, G. F. (1971). Handbook on Formative and Summative Evaluation of Student Learning. New York: McGraw-Hill.
- Barry, R. J. (1982). Novelty and significance effects in the fractionation of phasic OR measures: A synthesis with traditional OR theory. *Psychophysiology*, 19, 28-35.
- Bradley, M. M., Codispoti, M., Cuthbert, B. N., & Lang, P. J. (2001). Emotion and motivation I: defensive and appetitive reactions in picture processing. *Emotion*, 1(3), 276.
- Dindo, L., & Fowles, D. C. (2008). The skin conductance orienting response to semantic stimuli: Significance can be independent of arousal. *Psychophysiology*, 45, 111-118.
- Hansen, A. L., Johnsen, B. H., & Thayer, J. F. (2003). Vagal influence on working memory and attention. *International journal of psychophysiology*, 48(3), 263-274.
- 本多麻子・長野祐一郎 (2017) 温熱系. 堀忠雄, 尾崎久記 (監修), 坂田省吾, 山田富美雄 (編) 生理心理学と精神生理学 第1巻. 北大路書房, 京都, pp.207-222
- 堀忠雄 (1986). 教育場面への適用 新美良純・鈴木二郎 (編) 皮膚電気活動 (pp. 183-191) 星和書店
- 長野祐一郎 (2017). 9章1節心電図 堀忠雄・尾崎久 (監) 坂田省吾・山田富美男 (編) 生理心理学と精神生理学第 巻基礎 (pp. 165-173) 北大路書房
- 長野祐一郎・永田悠人・宮西祐香子・長濱澄・森田裕介 (2019). IoT 皮膚コンダクタンス測定器を用いた授業評価 生理心理学と精神生理学, 37, 17-27.
- 長野祐一郎・櫻井優太・鈴木里砂 (2022). Arduino で生理指標を測る. 生理心理学と精神生理学, 40(1), 114-124.
- 寺尾敦 (2012). 第4章生理データを用いた学習評価 永岡慶三・植野真臣・山内祐平 (編) 教育工学選書第8巻 教育工学における学習評価 (pp. 128-142) ミネルヴァ書房
- 梅沢章男 (1998). 21章教育工学と生理心理学 山崎勝男・藤沢清・柿木昇治 (編) 新 生理心理学 3巻 新しい生理心理学の展望 (pp. 250-263) 北大路書房
- 山森光陽・伊藤崇 (2022). 生理心理学的指標や身体運動の計測による教授学習過程研究に関するシステムティックレビュー. 日本教育工学会論文誌, 46(1), 171-182.
- 山森光陽・長野祐一郎・徳岡大・草薙邦広・大内善広 (2023). 生理心理学的指標を用いた授業中の教師の認知負荷の把握. 日本教育工学会論文誌, 47(1), 127-139.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 長野 祐一郎, 櫻井 優太, 鈴木 里砂	4. 巻 40
2. 論文標題 Arduinoで生理指標を測る	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 生理心理学と精神生理学	6. 最初と最後の頁 114-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5674/jjppp.2207si	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 -

〔学会発表〕 計0件

〔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	森田 裕介 (Morita Yusuke) (20314891)	早稲田大学・人間科学学術院・教授 (32689)	

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