

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：54502

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K02926

研究課題名（和文）脈波解析による学習取り組み姿勢の評価を可能とする実験プラットフォームの開発

研究課題名（英文）Development of an Experimental Platform for Educational Evaluation on Learner's Behavior Based on Biometric Information Analysis Including Pulsewave Analysis

研究代表者

佐藤 徹哉（Sato, Tetsuya）

神戸市立工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：40583745

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究ではICT技術を活かした教育実践実験プラットフォーム、特に脈波解析による学習取り組み姿勢の評価を行うことができるシステムを開発しました。

近年SDGsの4番目に掲げられたQuality Educationの一環として発展途上国における遠隔教育が注目されているが、教室での授業と比較すると一人一人の集中力を高める仕組みが必要です。

この研究成果を用いれば、遠隔からでも一人一人の集中度合い等の取り組み状況が定量的に把握することができるため、遠隔教育の効果を高めることができるだけでなく、お年寄りの認知機能改善のためのトレーニングにも応用することができます。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究成果の社会的意義は、ICT技術を活かした教育の効率化にある。

教育は教授される内容も重要ではあるが、学習者が集中して取り組む（考える）ことによって深い学びを実現することも極めて重要であるため、脈動波形解析をはじめとする生体情報をリアルタイムに計測することで取り組み状況を推し量ることの意義は大きい。

この研究成果によって学生の教育効果を向上させることが可能となるので、発展途上国や島嶼部などの通常の学校教育が行い難い地域での遠隔教育の効率化にも貢献できる。また、学生の教育だけでなく、本研究成果はお年寄りの認知機能改善のためのトレーニングにも役立てることができる。

研究成果の概要（英文）：In this research, we have developed a system used as a platform for educational experiments to evaluate learner engagement based on biosignals, including pulse waves. Recently many efforts have been carried out to utilize distance learning measures in developing countries as "Quality Education" in SDGs. A practical evaluation method to evaluate learner engagement is expected to maximize the learner's learning efficiency in such a situation. This research outcome allows us to estimate each learner's engagement level even at a distance so that we can maximize the learning efficiency. At the same time, we believe it should be quite helpful in training to improve cognitive function for the elderly.

研究分野：ICT応用教育工学

キーワード：ICT技術応用 教育工学 英単語学習 生体情報 脈動波形 心拍間隔 眼球電位 まばたき

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究者の勤務する神戸市立工業高等専門学校(神戸高専)は、中学卒業後から5年間の一貫教育により、若年時から興味のある技術分野の座学と実験実習を一般教育とともに学ぶ学校であり、学生は技術には興味を持って熱心に取り組むものの、近年技術者にとって国際的に活躍するために必須となっている英語に関しては苦手意識を持つ者も少なくなく、英語学習への興味を喚起するとともに、効果的な学習機会を提供するための教育実践実験を行えるプラットフォームの開発が期待されていた。

(2) 神戸高専には寮が無いことから、全員が自宅からの通学生であり、通学時間の長い学生が多く、通学時間を有効に活かせる学習ツールを提供するという意味においても、種々の学習ツールを実験的に学生に利用してもらって、その効果を検証できるプラットフォームの開発が期待されていた。

(3) 上記(1)(2)のいずれも、通常の教室での学習とは異なり、学習者が一人でスマホ等の携帯端末を用いて学習する形態を想定しており、学習者の取り組み状況をモニターする手段の開発も併せて必要であった。

(4) 研究開始当初に申請書に記載した背景は上記(1)(2)(3)であるが、研究を進めるうちに、本研究は、近年SDGsの4番目に掲げられているQuality Educationの一環として、発展途上国や島嶼部等の通常の学校教育が行い難い国や地域におけるタブレット等を利用した遠隔授業においても同様に役立てられるものと考えた。

2. 研究の目的

本研究の目的は上記背景に基づく期待を踏まえて、種々の教育実践実験を行えるプラットフォームの開発と、そのプラットフォームを用いて行った実践実験で得たデータを分析することにより、学習者の生体情報、特に脈動波形の解析により学習者の学習取り組み姿勢の評価を可能とすることとしたが、さらに具体的に下記の条件を満たすことを目指して取り組んだ。

(1) 学習内容としてまずは国際的な技術者として必須の英単語を効果的に身につけるため『英語を英語のままに身につける』ことを目標に、通学の電車の中などでも手軽に学習できるものであること。

(2) 小型で手軽に利用できる安価なAndroid携帯端末上で動作するものであること。

(3) 学習取り組み状況をモニターするための生体情報センサーとして、指先で手軽に脈動波形が測定できるパルスオキシメータをBluetoothでAndroid携帯端末に接続して、リアルタイムで波形を記録・解析できるものであること。

(4) 上記(3)で述べた脈動波形を、他の生体情報(脳波、まばたき、眼球運動)および回答情報(学習者の回答に要した時間と正誤情報)を併せて記録し、統合的な分析を行えること。

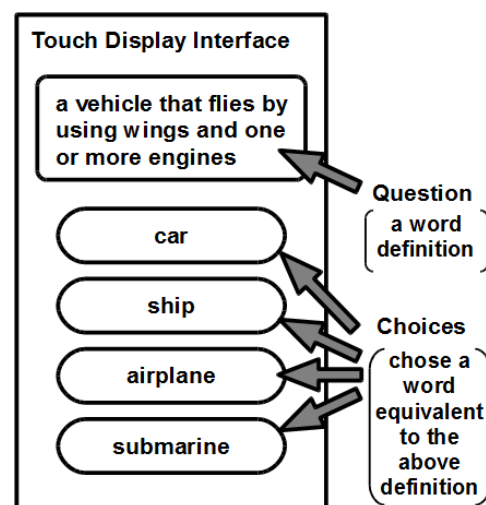
研究の目的は上記(1)-(4)の全てを満足する教育実践実験プラットフォームを開発することと、実際にそれを用いて実施した教育実験で、脈動波形の分析を行えることを実証することとした。

3. 研究の方法

上記研究目的で述べた(1)(2)の条件を満たす携帯端末を予備実験を通して選定した結果、安定してBluetooth接続が行えるBLE(Bluetooth Low Energy)対応の7inch Androidタブレットを教育実践実験プラットフォームの学習端末として使用することとし、開発環境は、Mac PC上でIDE(Integrated Development Environment)としてAndroid Studioを用いてプログラム開発を行った。

実際に作成した英単語学習アプリの画面構成を第1図に示す。

出題は、『英語を英語のままに身につける』ことを狙いとして、英単語の定義文を英語で出題し、4つの選択肢の中から対応する英単語を選ぶ形式とした。出題は当初は英文で表示し、素早く読み取って対応する単語を選択することで『英語を英語のままに読み取って理解する』Readingスキルを鍛える形式でのみ行っていたが、『英語を英語のままに聞き取って理解する』Listeningスキルも鍛えることを目的として、英文定義文を表示せずに読み上げて出題するモードも実装した。



第1図 作成した英単語学習アプリの画面構成

上記研究目的で述べた(3)の条件を満たすため、指先で手軽に脈動波形を測定できるセンサーとしてBLEでの接続が可能なパルスオキシメータ(Konica Minolta社製、SR-700bs)をAndroid端末に接続して用いることとした。

また、上記研究目的の(4)で述べた統合的な分析を実現できるプラットフォームとするために、脳波センサー(NeuroSky社製Mindwave Mobile)、および眼球運動とまばたきの測定が可能なスマートメガネ(JINS社製JINS MEME)もBLEでAndroid端末に接続して用いることとした。

スマートメガネに内蔵されている加速度センサーから学習者(被験者)頭部の動きも記録し、またAndroid端末に内臓の加速度センサーから端末保持の状態も推し測れるようにして、英単語の出題・回答情報(回答に要した時間と回答の正誤)と生体情報と併せて統合的な分析を行うことができるシステムとして開発することとした。

4. 研究成果

(1) 教育実践実験プラットフォームの開発

予備実験を通して選定した脳波センサ、脈波センサ、スマートメガネと安定してBLE接続が行える7inch Androidタブレット(Huawei社製MediaPad T3)をベースとした教育実践実験プラットフォームとして使用可能なAndroidアプリを開発した。実際に教育実践実験として本校学生を対象にとして英単語学習を実施して回答データと生体情報データを記録し、統合的な分析が行えることを確認した。第2図に全体システムの構成図を、第1表に本システムでリアルタイムに計測できる生体情報の一覧を示す。



第2図 全体システムの構成図

第1表 本システムでリアルタイムに計測できる生体情報の一覧

測定デバイス	記録できるデータ
脳波センサー NeuroSky社製Mindwave Mobile	<ul style="list-style-type: none"> 集中度(Attention) 落ち着き度(Meditation)
パルスオキシメータ Konica Minolta社製 Pulse oximeter SR-700bs	<ul style="list-style-type: none"> 脈動波形(Pulse wave) 脈拍数(Pulse rate) 血中酸素飽和度(Blood oxygen level, SpO₂) 脈波強度(PI: Perfusion Index)
スマートメガネ JINS社製 JINS MEME	<ul style="list-style-type: none"> まばたき強度(Blink strength) まばたき速度(Blink speed) 眼球運動(Eyeball movements)

本システムでは、中心となる Android アプリが、BLE 接続された 3 つの生体情報センサーからのデータと、Android 端末に内蔵された加速度センサー(端末の向き)のデータと、出題・回答情報をリアルタイムに表示するとともに記録し、インターネットを通してサーバに集積できるシステムとした。また、スマートメガネからは第 1 表に示した生体情報と同時に内蔵された加速度センサー(頭部の向き)と角速度センサー(頭部の動き)のデータもリアルタイムに取得できるので併せて記録して統合的な分析に用いることのできるシステムとした。

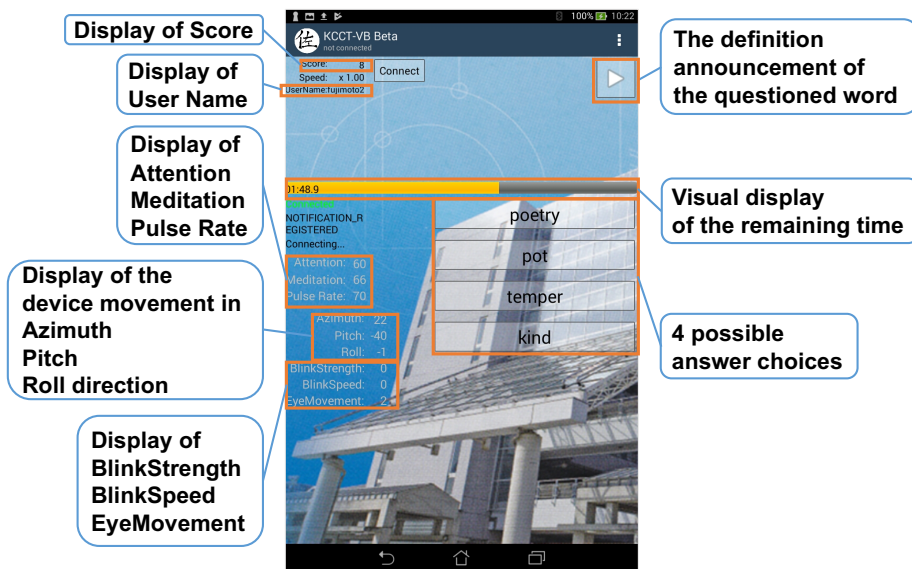
本システムを用いて実施することのできる教育実践実験としては、Android 端末のタッチディスプレイで出題し、回答できるものであれば特定の教科や問題に制限されるものではないが、本研究では、次代を担う高専生にとって非常に重要なスキルであるにもかかわらず苦手意識を持つ学生も少なくない英語学習時の取り組み評価を対象とした。具体的には、毎日少しづつでも取り組むことで語彙力を向上させるトレーニングとして英単語学習アプリを Android 端末上に実装し、学習時の取り組み姿勢を統合的に評価できるシステムとして開発した。

開発した英単語学習アプリの画面を第 3 図に示す。

基本構成は第 1 図と同様であるが、第 3 図は Listening モード時の画面

である。Reading モード時には、プログレスバーの上部に英語の定義文が表示される。また、Listening モード時にも間違っただ後に確認のために英語の定義文を文字で確認したい場合も、ここに定義文を表示させることができる。

英単語学習とは直接関係ないが、センサーの測定値を表示して、生体情報のリアルタイムモニターを行うこともできるようにしているのは、実際の教育実践実験で被験者のデータ取得を行う前に、システムのセットアップが適切に行えていることを確認するために実装した機能である。



第 3 図 Android 端末上で英単語学習中の画面

(2) 開発した教育実践実験プラットフォームを用いた脈波解析による学習取り組み姿勢の評価

上述の通り本研究で開発した実験プラットフォームは、任意の学習を行なっている時の脈波を含む生体情報をリアルタイムに計測・記録することが可能で、脈波解析による学習取り組み姿勢の評価を、脳波やまばたきや眼球の動き等の生体情報の分析と併せて行うことができる。

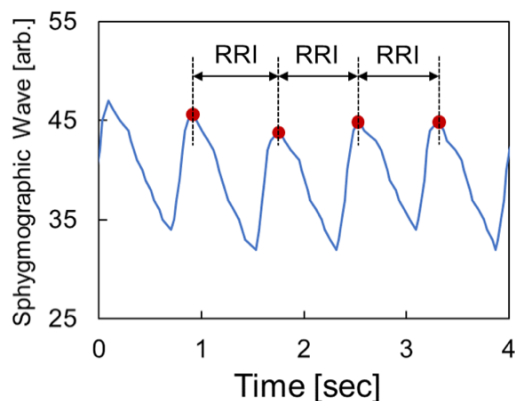
第 4 図に本研究で解析対象とした脈波の測定例を示す。一般に脈波解析では心室の収縮に対応する R 波のピークから次のピークまでを RRI (R-R-Interval) と称し、この RRI の時系列データの揺らぎが興奮・緊張といったストレス状態を表す交感神経と、リラックス状態を表す副交感神経のバランスの影響を受けていることが知られている。

第 5 図と第 6 図に RRI 時系列データをスプライン補間した後にフーリエ変換したスペクトルを示す。このスペクトルの高周波 (HF) 成分 0.15-0.5Hz が副交感神経、低周波 (LF) 成分 0.04-0.15 が副交感神経と交感神経の両方の活性度を表していると言われており、

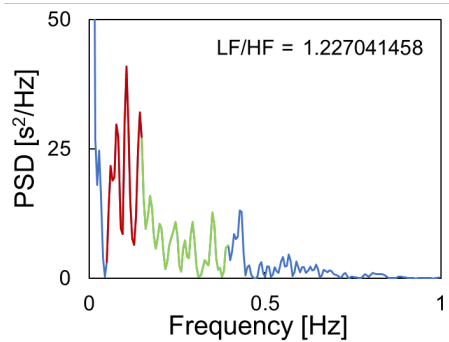
LF/HF 比が相対的な交感神経の優位度を反映し、ストレス状態の評価に用いられている。(引用文献①)

本研究においても開発した教育実践実験プラットフォームを用いて、英単語として実装されているレベル 1 から 4 まで各 1000 単語の計 4000 語の内、最も難易度の高いレベル 4 の英単語の学習時の結果が第 5 図であり、最も初歩的なレベル 1 の英単語の学習時の結果が第 6 図である。このようにレベル 4 の英単語の学習時の LF/HF \approx 1.2、レベル 1 の英単語の学習時の LF/HF \approx 0.58 となり、一般に知られているように有意な LF/HF 比の違いとしてストレス状態を評価できることを確認した。

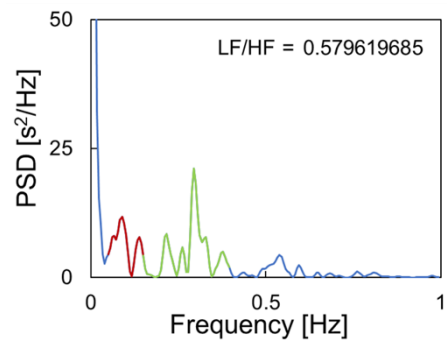
以上のようにして実施した教育実践実験プラットフォームの開発と、それを実際の英単語学習に用いて学習中の脈波解析を行なった実証実験から、本研究の目的である学習取り組み姿勢の評価を行うことのできるプラットフォームの開発は達成することができた。



第 4 図 脈波の RRI (R-R-Interval)



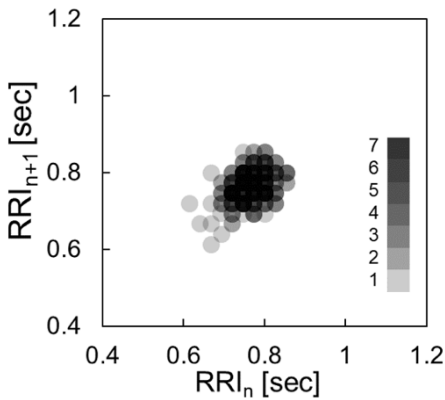
第5図 レベル4の単語学習時のRRIのスペクトル



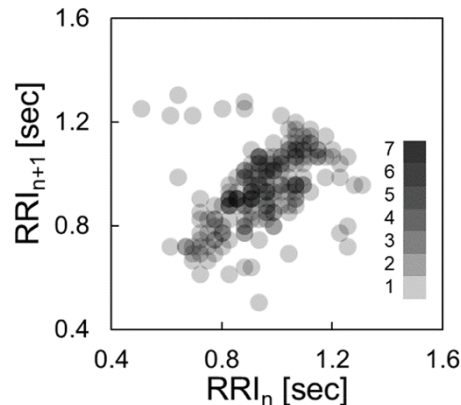
第6図 レベル1の単語学習時のRRIのスペクトル

しかしながら、フーリエ変換スペクトルを用いた解析は多くの臨床実験結果が報告されており信頼できるものと考えられる一方で、Android 端末上でリアルタイムに処理することはできないため、学習後に分析する形とならざるを得ない。

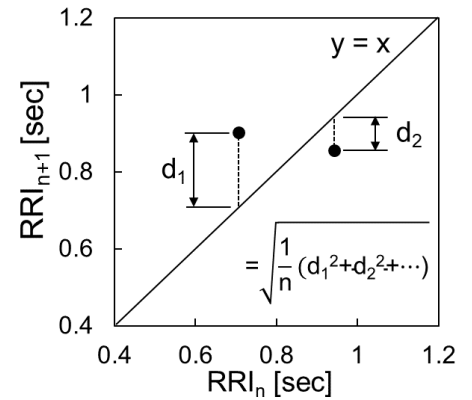
そこでAndroid 端末上でリアルタイムに計算が可能な指標として第7・8図に示すLorentz Plot を元に、次のRRIが前と全く同じであった場合の直線 $y=x$ からの乖離時間のRMS(Root Mean Square)を第9図のように計算してRRI fluctuation と称した。



第7図 レベル4時のLorentz Plot



第8図 レベル1時のLorentz Plot

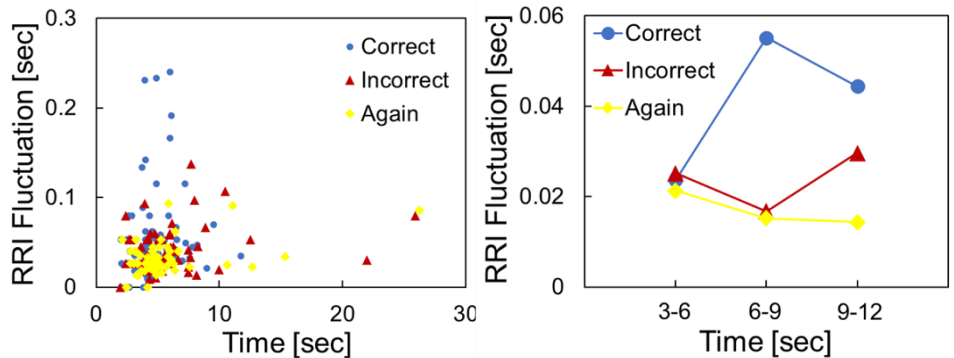


第9図 RRI fluctuationの計算

このRRI fluctuationは、一つの英単語に回答するのに要する数秒間の数個のRRIから算出できるため、回答毎にフィードバックが可能となるだけでなく、第10図のように、回答に要した時間と、正答時・誤答時・聞き直しボタンを押した時の場合毎にストレス状態を評価することができる。第10図の左は回答毎にプロットし、右は回答に要した時間で区切って平均をプロットしたものであるが、6-9秒考えた後に正解を回答した際に最もリラックスできている様子が確認できた。

(3) 今後の展開

紙面の関係で記載できなかったが本研究で開発したプラットフォームでは、脳波、まばたき、眼球の動き等のデータも同時に計測・記録して統合的に分析できるため、英単語学習に限らず、様々な活動に取り組んでいる時のストレス度合い、リラックス度合いの定量評価に活かせるものと考えられる。



第10図 各問題の正答・誤答・聞き直し別のRRI Fluctuation計算結果

2021年度はこれまでに行ってきた英単語学習に加えて、新たにお年寄りの認知機能のトレーニングにもこの研究成果を活かせるように実験と分析を開始したところである。

<引用文献>

① A. Hernando et al., Inclusion of respiratory frequency information in heart rate variability analysis for stress assessment, IEEE J. Biomed. Health Informat., vol.20, no.4, pp.1016-1025, Jul.2016.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 6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 高野 泰生、兵頭 大輝、松原 怜耶、佐藤 徹哉	4. 巻 2020
2. 論文標題 香りを活かした作業効率改善効果の無意識生体情報を用いた分析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 神戸高専 産金学官技術フォーラム'20 講演論文集	6. 最初と最後の頁 66
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 藤本 光稀 , 林 涼弥 , 佐藤 徹哉	4. 巻 119
2. 論文標題 モバイル端末を用いた学習時の取組状況把握の試み	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会 信学技報119巻393号	6. 最初と最後の頁 15-20
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 Ryoya Hayashi , Mitsuki Fujimoto , Tetsuya Sato	4. 巻 2019
2. 論文標題 A Quantitative Study on Learner Engagement Evaluation: Integrated Analysis of Biosignals Including Pulse Wave and Eye Movements	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, Nov 04, 2019 in New Orleans, Louisiana, United States ISBN 978-1-939797-45-2	6. 最初と最後の頁 496-501
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 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 Mitsuki Fujimoto , Ryoya Hayashi , Tetsuya Sato	4. 巻 2019
2. 論文標題 Development of an Evaluation Platform of Learner Engagement: A Measurement of Eye Movement with Conventional Pulses and Brainwave	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. of E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, Nov 04, 2019 in New Orleans, Louisiana, United States ISBN 978-1-939797-45-2	6. 最初と最後の頁 484-489
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 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 佐藤 徹哉	4. 巻 36
2. 論文標題 国際技術者養成のためのICT応用教育を目指して	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 教育システム情報学会誌	6. 最初と最後の頁 43-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14926/jsise.36.43	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 Takaya Masaki, Tomohiro Nakahara, Hatsuho Nankai, Ryoya Hayashi, Akihito Fujimoto, Tetsuya Sato	4. 巻 2018
2. 論文標題 Utilization of AI Voice Interaction for Educational Experiment System Based on Biological Data Analysis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2018	6. 最初と最後の頁 53-58
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 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 Ryoya Hayashi, Tomohiro Nakahara, Hatsuho Nankai, Akihito Fujimoto, Takaya Masaki, Tetsuya Sato	4. 巻 2018
2. 論文標題 A Study of Pulse Wave Analysis Based on Biological Data Measurements in Educational Experiments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of E-Learn: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education 2018	6. 最初と最後の頁 139-144
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 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 佐藤 徹哉	4. 巻 23
2. 論文標題 電気工学科における専門教科で英文教科書を用いた若年からの国際技術者教育の試み (特集 高専の教育 : 専門科目 : 電気・電子・情報系)	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本高専学会誌	6. 最初と最後の頁 3-6
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 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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 高野 泰生、兵頭 大輝、松原 怜耶、佐藤 徹哉
2. 発表標題 香りを活かした作業効率改善効果の無意識生体情報を用いた分析
3. 学会等名 神戸高専 産金学官技術フォーラム'20
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤本 光稀 , 林 涼弥 , 佐藤 徹哉
2. 発表標題 モバイル端末を用いた学習時の取組状況把握の試み
3. 学会等名 電子情報通信学会 教育工学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryoya Hayashi , Mitsuki Fujimoto , Tetsuya Sato
2. 発表標題 A Quantitative Study on Learner Engagement Evaluation: Integrated Analysis of Biosignals Including Pulse Wave and Eye Movements
3. 学会等名 E-Learn2019: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, Nov 04, 2019 in New Orleans, Louisiana, United States (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Mitsuki Fujimoto , Ryoya Hayashi , Tetsuya Sato
2. 発表標題 Development of an Evaluation Platform of Learner Engagement: A Measurement of Eye Movement with Conventional Pulswave and Brainwave
3. 学会等名 E-Learn2019: World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare, and Higher Education, Nov 04, 2019 in New Orleans, Louisiana, United States (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takaya Masaki, Tomohiro Nakahara, Hatsuho Nankai, Ryoya Hayashi, Akihito Fujimoto, Tetsuya Sato
2. 発表標題 Utilization of AI Voice Interaction for Educational Experiment System Based on Biological Data Analysis
3. 学会等名 E-Learn2018 organized by AACE(Association for the Advancement of Computing in Education) at Las Vegas, NV, United States (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryoya Hayashi, Tomohiro Nakahara, Hatsuho Nankai, Akihito Fujimoto, Takaya Masaki, Tetsuya Sato
2. 発表標題 A Study of Pulse Wave Analysis Based on Biological Data Measurements in Educational Experiments
3. 学会等名 E-Learn2018 organized by AACE(Association for the Advancement of Computing in Education) at Las Vegas, NV, United States (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

神戸高専教員紹介（電気工学科）佐藤徹哉
<http://www.kobe-kosen.ac.jp/department/staff/denki/tesato.html>

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