

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：32643

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2022

課題番号：18K19844

研究課題名（和文）VRディスプレイ埋設型の多変量生体計測による動的・属人的VR酔い検知予防システム

研究課題名（英文）Dynamic and individual VR sick prevention system using multi physiological instruments embedded within VR headset

研究代表者

小川 充洋（Ogawa, Mitsuhiro）

帝京大学・理工学部・教授

研究者番号：30322085

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：VR装置に埋設可能な光電脈波計測プローブの開発と改良を行い、小型プローブを開発した。また、VRゲームプレイ中の非侵襲連続血圧計測を試み、VRゲームプレイ中の血圧変動の一例を得た。また、外部からの生体信号を入力可能なゲームコンテンツを作成した。VRゲームプレイ中の光電脈波信号より、VR酔いの検知を試みた。結果、短時間（数心拍）での検出は困難であったが、数分以上の計測時間により、VR酔いに伴う自律神経指標変化を得ることが可能との示唆を得た。VR装置に埋設可能な生体計測として頭部誘導心電図からの自律神経指標の計測を達成困難かつ挑戦的な課題として挙げたが、頭部誘導心電図の導出は依然として困難であった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、VR装置に埋設した生体計測装置によるVR酔いへの各VR装置装着者毎の対応の可能性を示したことに意義があると考えます。また、VR装置埋設生体計測装置により、様々な生体や健康に関連するパラメータを計測可能であるとの例を示した。2023年6月に発表されたApple社の "Apple Vision Pro" などのように、長時間装着して作業するVR装置が今後普及する可能性が高い。その際に、装着者の健康を管理することは重要となる可能性があり、本提案装置を用いての健康管理も可能と考えられる。このように本研究の成果はデジタルゲームに留まらず、VRやAR、MR一般に対して意義があると考えます。

研究成果の概要（英文）：We developed and improved an PPG measurement probe that can be embedded in VR devices. Additionally, we attempted non-invasive continuous blood pressure measurement during VR gameplay and obtained an example of blood pressure fluctuations during gameplay. We also created game content that can accept biometric signals from the outside.

We also attempted to detect VR sickness from the optoelectronic pulse wave signals during VR gameplay. As a result, it was difficult to detect within a short time frame (a few heartbeats), but with several minutes or more of measurement time, we were able to suggest the possibility of obtaining changes in autonomic nerve indicators accompanying VR sickness.

Measurement of autonomic nerve indicators from the electrocardiogram induced on the head, as a biometric measurement that can be embedded in VR devices, was identified as a challenging and difficult task. However, the derivation of the electrocardiogram induced on the head remained a challenge.

研究分野：ゲームサイエンス、生体医工学

キーワード：VR VR酔い 光電脈波 ストレス 自律神経指標 頭部誘導心電図

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

研究代表者小川は、生体医工学を専門とし、ヒトが生活中に恒常的に受ける比較的軽いストレスの計測と解析・解釈に興味を持っている。小川は、この「軽いストレス」のモデルとしてデジタルゲームを使用し、デジタルゲーム中の生体計測によってプレイヤーの受けるストレスやプレイ中の快不快を評価する研究を行っている。また、これまでに生活空間中での健康管理・生体計測のための家具調度に埋設した生体計測装置を開発しており、これら装置によれば、「浴槽内に埋設した電極から、入浴すれば必ず心電図が計測できる」などのように、通常の生活中に生体情報が取得できる。この装置の設計戦略を応用すれば、VR用ヘッドマウントディスプレイ装置に生体計測装置を埋設すれば、VR視聴時には必ず生体信号を計測できる。

以上の技術的な背景を基に、本研究では、いわゆるバーチャリアリティ酔い (VR酔い) に関して、VR酔いへの耐性の個人差に着目した。

研究開始時点までに、VRコンテンツの作製における「VR酔い防止のためのガイドライン」として ISO 9241-392:2015 などがあるが、個人差には強く着目していない。「ガイドラインを守っているにも関わらず VR酔いに陥る体験者がいる一方で、VR酔い耐性が高い体験者は VRの表現力を十分に体験できない」恐れがあると考え、この克服を試みた。

### 2. 研究の目的

本研究の大目的は、コンテンツ視聴時の VR酔いの予測・検出の達成であり、これを達成するために、ゴーグル型 VR用ヘッドマウントディスプレイ装置に埋設した非侵襲生体計測装置の開発を行い、計測した生体信号の解析から VR酔いの予測と検出を行うことを目標とした。本研究では上記の達成により、より安全な VRコンテンツ視聴の実現と、視聴者各個人の VR酔い耐性に応じた VRコンテンツの動的・属人的な調整を目指すものとした。

### 3. 研究の方法

本研究では、VR酔いの予測と検知を、非侵襲生体計測と生体信号の解析によって行うものとした。研究用の「VR酔いを引き起こし得る VRコンテンツ」の製作のためにデジタルコンテンツを開発可能な研究者を含め、「生体・生理工学(とくに生体計測と生体信号処理)」と「デジタルメディアに関する科学・工学」を融合する研究体制により、多面的に VR酔いの予測・検知のための方法の開発を目指した。生体信号計測については、将来的な実用化を鑑み、VR用ディスプレイ装置そのものに埋設可能な非侵襲生体計測装置・システムを開発することとした。これにより、VRコンテンツ視聴時に必ず生体計測を行って VRディスプレイ装着のみで VR酔い予測・検出が可能となる。

### 4. 研究成果

#### 4-1 ゴーグル型 VR用ヘッドマウントディスプレイ装置埋設型生体計測装置の開発

##### 4-1-A 光電脈波計測装置

ゴーグル型 VR用ヘッドマウントディスプレイに埋設可能な生体計測装置として、光電脈波計測プローブの改良・開発を行った。光電脈波計測部位としては、ゴーグル型 VR用ヘッドマウントディスプレイが顔面に接触する額部または眼周辺部あるいは後頭部とするものとした。また、光電脈波検出方式は反射式を採用するものとした。

まず、計測部位について検討を行った結果、後頭部は毛髪の影響を受けるため、安定した計測が困難な場合があった。額部または眼周辺部での計測についても検討を行い、眼部において安定な計測の達成が容易であった。ただしこれは、使用したゴーグル型 VR用ヘッドマウントディスプレイの形状や重量配分にも依存するものと考えられた。

プローブの改良は小型、軽量化を目指して行った。しかし、小型化・軽量化を進めると、逆に

安定した計測が困難な場合があった。これは、慣性質量が小さいため、外力の影響を受けたアーチファクトが顕著となるものと考えられた。プローブの最終バージョンを図1に示す。なお、プローブの外形寸法は、2cm x 2cm程度に収まった。光電脈波検出のための波長域は、緑色、赤色または近赤外とし、プローブ作成のための基板実装時の発光・受光素子の選択の際に決定するものとした。

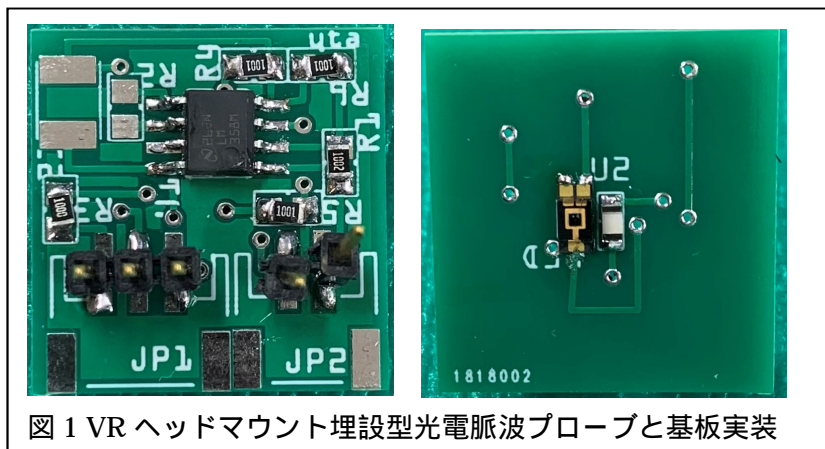


図1 VRヘッドマウント埋設型光電脈波プローブと基板実装

ための基板実装時の発光・受光素子の選択の際に決定するものとした。

このプローブを用いた脈波の計測例を図2に示す。図2の背景が計測波形である。計測波長は緑色を選択し、図2では指尖部からの脈波を計測している。指尖部と同様に、額部からも計測可能である。図2においては、脈波波形において二峰性を認める。これはいわゆる「ディクロティックノッチ(心臓の左心室の大動脈弁が閉鎖した時点に対応し、連続血圧波形においては短時間の上昇・下降の凸を示す点)に対応するものと考えられ、血管動態をよく計測していることを示唆するものと考えられた。なお、市販の小型光電脈波プローブにおいては、フィルタ処理などが過剰に行われている場合があり、「ディクロティックノッチ」のような情報は明確に取得できない場合がある。

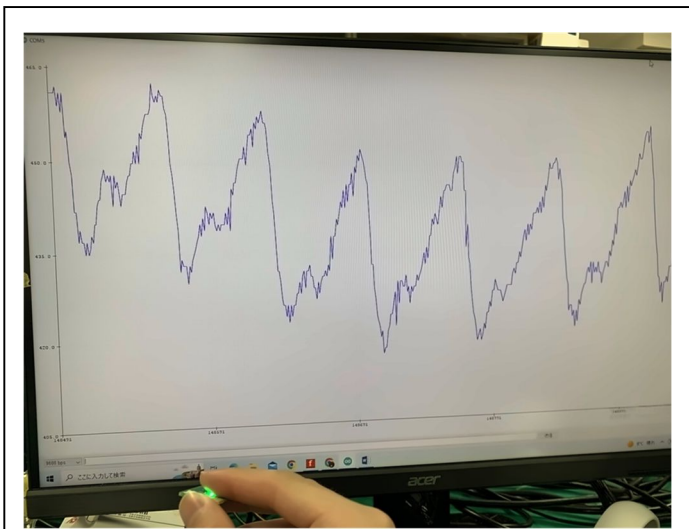


図2 VRヘッドマウント埋設用光電脈波プローブによる計測評価

#### 4 1 B 頭部誘導心電図

心電図は光電脈波と比較して高周波数の成分を持ち、各種の非侵襲計測に基づくストレス解析においては理想的な生体信号のひとつである。理論的には、1点の参照電極と、心臓からの等電位線を避けて2点のワーキング電極を設置すれば心電図の計測は可能であるので、頭部の2点の電位差を用いても心電図は計測可能と考えられる。VRディスプレイに電極を埋設すれば心電図の計測も可能であると考え、実現不可能かもしれないが実現すれば意義は大きい挑戦として、VRディスプレイ埋設型電極による心電図計測法について検討した。まず、文献的な調査を行ったが、山越らが頭部誘導心電図の開発を試みているが、安定した計測には至っていない(木原, 李, 出口, 草場, 福本, 池尻, 石崎, 山越, “頭部誘導心電図における高精度心拍数検出のためのバンドパスフィルタの周波数帯域について検討”, 生体医工学, Annual57 Abstract S63\_1-S63\_1, 10.11239/jsmbe.annual57.s63\_1, 2019 など)。しかし、周波数空間における検討は可能であった。また、脳波計測において心電図成分が混入することがあることから、頭部誘導心電図の計測の可能性はあるものと考えた。

結果、安定した心電図を計測することは困難であった。心電図を計測可能な被験者においても、心電由来波形と考えられるピークが計測可能な場合と不可能な場合があった。この理由は不明であったが、電極間インピーダンスが低い場合に心電由来波形の導出が困難な傾向を認めた。これは、心電位の出力インピーダンスよりも電極間インピーダンスが低い場合、電極間に発生する電圧降下が小さくなり、心電図が計測不可能となることを示唆するものと考えられた。この仮定が正しいかを検証するためには、心電位の出力インピーダンスを非侵襲に知る必要があり、仮定の検証は困難であるものと考えられた。また、この仮定が正しいとしても、これは頭部誘導心電図の実現が困難であることを示すことになる。

#### 4 1 C 皮膚電位計測装置

VRディスプレイに電極を埋設した皮膚電位の計測についても試みた。しかし、VRディスプレイの重量と、首振りなどの動作に由来する電極への圧力変化によって測定される電位が変動した。電極インピーダンスの低減によって計測される皮膚電位の安定を目指したが、安定した計測は困難であった。

#### 4 - 2 ゴーグル型 VR 用ヘッドマウントディスプレイ装置埋設型生体計測装置によるVR酔いの検知とその応用

上記、光電脈波計測により心拍間隔を検出し、VRコンテンツ視聴・プレイ中の自律神経指標(いわゆるLF/HF)を算出し、ストレスの指標とした。結果、VRコンテンツ視聴・プレイ後にVR酔い的な感想を述べたプレイにおいては、交感神経優位または副交感神経抑制を示唆する結果となる傾向があった。しかし、VRコンテンツ視聴・プレイにおいて、その内容に由来する不快(コンテンツがつまらない、ゲームが単調、など)交感神経優位または副交感神経抑制を示唆する結果を得た場合においても、交感神経優位または副交感神経抑制を示唆する結果と

なる傾向があった。これは、VR酔い(またはその類似状態)に伴う不快と、それ以外の不快を生体情報からでは区別できない可能性があることを強く示唆するものと考えられた。この問題を根本的に解決することは難しいと考えられる。しかし、ゲームなどのコンテンツにおいては、VR酔いの危険性がある表現の有無は予め設計時にわかるため、VR酔いの危険性がある区間において交感神経優位または副交感神経抑制を検知した場合は「VR酔いの可能性が高い」などと判断するアルゴリズムを採用することでVR酔いの検知が可能となるものと考えられた。

また、VR酔いが検知されたときに安全のためにゲームなどのコンテンツの表現を変更することを目的に、外部から生体情報を受け取って演出を変化させることが可能なVRゲームを制作した。

将来的に本方式によってVR酔いなどのストレス情報を検知するためには、連続血圧がひとつのメルクマールになり得る。そこで、本計測装置の有用性を検証するために、VRデジタルゲームプレイ中の非侵襲連続血圧計測を試みた。非侵襲連続血圧計測装置は、CNAP® Monitor を用いた。実験中の被験者の様子を図3に示す。また、図4に連続血圧計測の一例を示す。なお、VRゲームプレイ中に連続血圧を計測した例は世界的に見ても存在せず、このデータは世界初のVRゲームプレイ中に連続血圧計測であると言える。



図3 非侵襲連続血圧計測の様子。右手に血圧計測装置を装着し、左手でゲーム操作を行った。

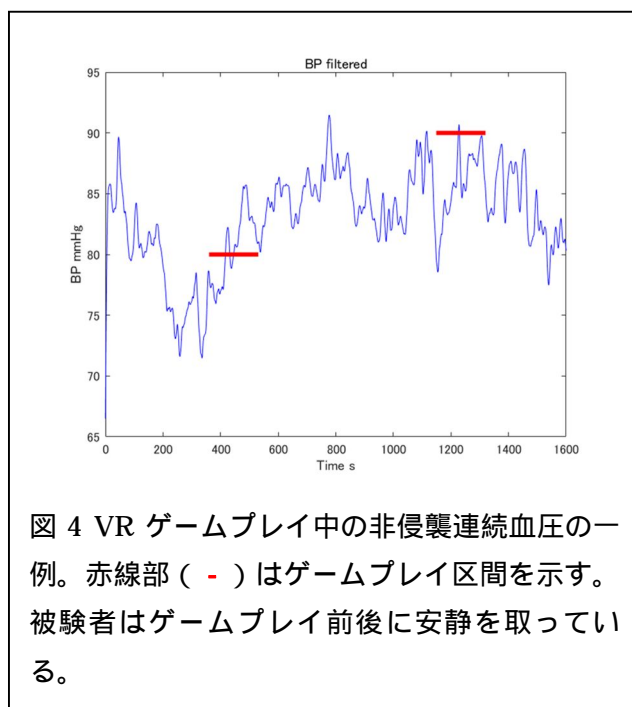


図4 VR ゲームプレイ中の非侵襲連続血圧の一例。赤線部( - )はゲームプレイ区間を示す。被験者はゲームプレイ前後に安静を取っている。

図4においては、ゲーム開始後に血圧の一過性の低下を認めた。血圧は長期あるいは短期の身体的・心理的なストレスを総合的に示す指標であることから、この例においてはゲームプレイ開始直後に、一過性のリラックスまたはストレス低減が起きている可能性がある。ただし、この実験においては被験者はVR酔いに陥らなかったため、血圧動態とVR酔いとの関連については今後の課題として残された。

本研究では、ゴーグル型VR用ヘッドマウントディスプレイに生体計測装置が埋設可能であることを示した。このことは、ゴーグル型VR用ヘッドマウントディスプレイのようなゲーム用装置(ゲームデバイス)による生体計測が可能であることを示し、あるいはVR酔いの対策に留まらない健康管理用装置にも発展可能と考えられた。2023年6月に発表されたApple社の"Apple Vision Pro"またはApple社の提唱する「空間コンピューティング」などのように、長時間装着して作業するVR装置が今後普及する可能性が高い。その際に、装着者の健康を管理することは重要となる可能性があり、本提案装置またはその発展コンセプトによる健康管理も可能と考えられる。このように本研究の成果はデジタルゲームに留まらず、VRやAR、MR一般に対して意義があると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4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 Ogawa Mitsuhiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Physiological Measurement Combined with Game Devices for Nudged Long-term Health Management in Home	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of LifeTech 2022 - 2022 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LifeTech53646.2022.9754945	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 Ogawa, M., Yang, Y.	4. 巻 -
2. 論文標題 Residual-network-based deep learning for Parkinson's disease classification using vocal datasets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of LifeTech 2021 - 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies	6. 最初と最後の頁 275-277
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LifeTech52111.2021.9391925	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 孫延君, 小川充洋	4. 巻 vol. 119, no. 452, MBE2019-89
2. 論文標題 PPG imagingによる光電脈波抽出における動画画像圧縮の影響に関する検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 45-49
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 Yanjun Sun, Mitsuhiro Ogawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Evaluation of Video Compression for Facial Image Photoplethysmography in Time Series Space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE 2nd Global Conference of Life Sciences and Technologies (IEEE LifeTech 2020)	6. 最初と最後の頁 -
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 Ogawa Mitsuhiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Digital Game Devices with Physiological Measurement; For Games as Future Healthcare Bases	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of 2019 IEEE 7th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SeGAH.2019.8882449	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13件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 小川充洋
2. 発表標題 VR ゲームプレイ中の連続血圧計測と脈波計測によるストレス計測の試み
3. 学会等名 日本デジタルゲーム学会第13回年次大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mitsuhiro Ogawa
2. 発表標題 A Proposal of Nudge Theory Based Physiological Measurements Using Game Devices
3. 学会等名 World Congress on Medical Physics & Biomedical Engineering 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mitsuhiro Ogawa
2. 発表標題 An attempt of real time PPG imaging by using a SoC with FPGA
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土屋雄大、Dervin Tee Hao Xian、小川充洋
2. 発表標題 ゲームコントローラー用ログインシステムの開発
3. 学会等名 日本デジタルゲーム学会2021夏季研究発表大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川充洋、土屋雄大
2. 発表標題 ゲームコントローラー用ログインシステムの開発(第2報)
3. 学会等名 日本デジタルゲーム学会第12回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ogawa, M., Yang, Y.
2. 発表標題 Residual-network-based deep learning for Parkinson's disease classification using vocal datasets
3. 学会等名 LifeTech 2021 - 2021 IEEE 3rd Global Conference on Life Sciences and Technologies (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小川充洋
2. 発表標題 ミーム生物としてのデジタルゲームとその生態系に関する試論
3. 学会等名 日本デジタルゲーム学会第11回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Mitsuhiro Ogawa
2. 発表標題 Nudge-Oriented Physiological Measurements Using Game Devices
3. 学会等名 u-helathcare 2019; Engineering in Circadian Rhythm and Ubiquitous Healthcare (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川充洋, 孫延君
2. 発表標題 動画像圧縮がPPG imaging による光電脈波抽出に与える影響に関する検討
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 Mitsuhiro Ogawa
2. 発表標題 Physiological measurement in living spaces combining with digital games
3. 学会等名 2018 International Conference for Top and Emerging Computer Scientists (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 蔡曉然, 兼松祥央, 鶴田直也, 近藤邦雄, 三上浩司
2. 発表標題 身体動揺とSSQを利用した前進色と後退色がVR酔いに与える影響に関する研究
3. 学会等名 日本デジタルゲーム学会 第9回年次大会
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 大塚誠也, 孫延君, 小川充洋
2. 発表標題 デジタルゲームデバイス融合型生体計測の開発とその未来型健康管理への応用の提案
3. 学会等名 日本デジタルゲーム学会 第9回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 広瀬達也, 大塚誠也, 孫延君, 小川充洋
2. 発表標題 デジタルゲームプレイ中に使用可能な生体計測装置設計および製造技術の公開に関する検討
3. 学会等名 日本デジタルゲーム学会 第9回年次大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 伊藤毅志, 小川充洋ら	4. 発行年 2023年
2. 出版社 オーム社	5. 総ページ数 325
3. 書名 ゲームAI研究の新展開	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>(1) 小川充洋研究室  <a href="https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/science_tech/labo/human_info_sys_ogawa">https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/science_tech/labo/human_info_sys_ogawa</a>  (2) 人間を進化させるデジタル生命体 目覚める新たな感性  <a href="https://www.nikkei.com/article/DGXMZ066672990W0A121C2BC8000/">https://www.nikkei.com/article/DGXMZ066672990W0A121C2BC8000/</a>  小川充洋研究室  <a href="https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/science_tech/labo/human_info_sys_ogawa">https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/science_tech/labo/human_info_sys_ogawa</a>  ゲームをしている時、人の体には何が起きているのか？  <a href="https://yumenavi.info/lecture.aspx?GNKCD=g008626">https://yumenavi.info/lecture.aspx?GNKCD=g008626</a>  医学&amp;工学&amp;芸術の連携研究を推進！ 帝京大学 理工学部 情報電子工学科 小川充洋研究室  <a href="https://torajijr.cqpub.co.jp/labo001/">https://torajijr.cqpub.co.jp/labo001/</a>  小川充洋研究室  <a href="https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/undergraduate/science_tech/human_info_sys_ogawa.html">https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/undergraduate/science_tech/human_info_sys_ogawa.html</a>  デジタルゲームの「面白さ」に科学で迫る  <a href="https://talk.yumenavi.info/archives/2150?site=d">https://talk.yumenavi.info/archives/2150?site=d</a>  とちぎテックブランングランプリ2019  <a href="https://techplanter.com/2020/02/09/tochigipt2019_result/">https://techplanter.com/2020/02/09/tochigipt2019_result/</a>  小川充洋研究室  <a href="https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/undergraduate/science_tech/human_info_sys_ogawa.html">https://www.teikyo-u.ac.jp/faculties/undergraduate/science_tech/human_info_sys_ogawa.html</a></p>
---

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	三上 浩司  (Mikami Kohji)  (10386782)	東京工科大学・メディア学部・教授    (32692)	
研究分担者	前田 祐佳  (Maeda Yuka)  (20650542)	筑波大学・システム情報系・助教    (12102)	

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