

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 9 月 4 日現在

機関番号：34412

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350293

研究課題名(和文) 複数の生理指標を用いた高度インタラクティブ教育コンテンツの評価・分析手法の開発

研究課題名(英文) Development of evaluation and analysis method for highly interactive educational contents using plural physiological indices

研究代表者

植野 雅之 (UENO, Masayuki)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：50300348

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：(1)対話的タスクを用いた実験の結果、心拍間隔の標準偏差やポアンカレプロット等の指標では安定した結果が得られるが、LFHFに対しては、ばらつきが大きくなる結果が得られた。
(2)タスクの種別によって脳波成分の偏りが見られることがわかった。また、暗算などの内省的なタスクで負荷を変えると、脳波成分はほとんど変化しないが、対話的なタスクでは、負荷が大きくなると、 δ 波成分が小さくなり、他の成分は増大する傾向があるという結果を得た。さらにゲーム状況でも同様の傾向が見られるが、負荷過大状況では、 β ・ γ 波成分が著しく増大するなどの傾向が見られるということがわかった。

研究成果の概要(英文)：(1)As an index for estimating the degree of tension from the heart rate variability have been proposed various indicators. Interactive tasks the results of experiments with, but stable results in indicators such as standard deviation and Poincar plot of the heartbeat interval, for LFHF, result variation is large is obtained.
(2)Analysis of the EEG of a subject in various tasks circumstances, it was found that the deviation of the brain wave component seen by the type of task. Further, when changing the load introspective tasks such as mental arithmetic, EEG component hardly changes. However, the interactive tasks, the load increases, delta wave component is reduced, to obtain a result that other components tends to increase. A similar trend is seen further in the game situation, the load in an excessive situations, trends such as beta & gamma wave component remarkably increases were found to be seen.

研究分野：教育工学

キーワード：生理指標 脳波成分 心拍変動 緊張度 対話的タスク ゲーム状況

1. 研究開始当初の背景

教育システム研究において、教育システム・コンテンツの評価をどのようにおこなうかは、一つの課題となってきた。従来の教育システム研究においては、評価はもっぱら被験学習者に対するアンケートや、事前テスト・事後テストの比較によっておこなわれることが多い。しかし、アンケートは、学習中の学習者よりリアルタイムに得られる情報でないため、結果が正確でなく、アンケート実施時の雰囲気や気分などにその結果が左右されるという問題がある。事前テスト・事後テストによる方法においても、オーバーオールに見た場合での教育効果の測定には有用であるが、学習者のリアルタイムの反応やその過程を観察することはできないため、自ずとその分析能力や精度には限界がある。特に近年のシリアスゲームなどの高度にインタラクティブな教育システムを対象とする場合、これらの評価方法では改善のための情報を得ることが難しく、開発にはほとんど役立たない。また、その情報を元にフィードバックを与えるといったこともできない。

一方で、近年の様々なセンサーの高度化と低価格化、情報処理能力の向上により、人間の様々な生理指標を収録・利用することができるようになりつつある。このようなヒューマンデータは、うまく収集することができれば、これまでのアンケート等の評価方法とは比べものにならない精度で学習者の行動、応答の時間的な変動を得ることができ、かつ、学習過程に関わる情報を収集することができるので、その分析方法・評価方法が明らかとなれば、教育システム研究や教育コンテンツ開発にとって、大きな進歩となりうる。教育的トレーニングゲームやシリアスゲームにおいては、これらの環境への没入度や集中度がトレーニング効果に重要な影響を与えるという仮説が得られており、これを検証することが現在の我々の一つの研究課題となっている。

没入度、集中度に関しては、古典的であるが、興味深い研究として Mihaly Csikszentmihalyi が 1975 年に提唱した「Flow」の概念がある。「Flow」は、人間がスポーツ、登山、チェスといった活動に高度に集中した状態と定義される。また、この状

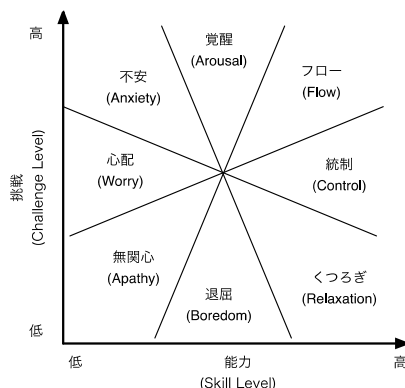


図1. 能力と挑戦のバランスとFlow

態は図4のように自分の能力と与えられる課題が高いレベルでバランスしたときに生じるとされる(図1)。これはいわゆるシリアスゲームやトレーニングゲームを研究・開発する観点からは非常に興味深い。「Flow」の状態では、学習者は教育・トレーニングの視点でも効率の高い状態にあると考えられるため、学習者のこの状態を検出することができれば、教育をおこなうシステムを評価する一つの指標となりうる。

2. 研究の目的

本研究では、人間より様々な生理指標を計測するシステムを構築し、その生理指標を活用して、教育コンテンツなどの対話的コンテンツを科学的に評価・分析する手法を確立することを目指す。

対話的コンテンツにおいては、目の前にことに集中できているか、すなわち、「集中度・没入度」は重要な因子であると考えられる。一方で「集中度」は、「緊張度」「興奮度」「疲労度」など、いくつかの因子により、影響を受けると考えることができる。まず、これら様々な因子と複数の生理指標の関係を明らかにした上で「集中度」と因子の関係性を求める。

すなわち、いくつかの生理指標を様々な対話状況において、どの程度の確度で利用できるか、その特性を評価し、集中度に関連した因子と生理指標の関係性を見極める。

3. 研究の方法

(1) ヒューマンアクティビティ計測システムの構築

被験者となる人間の様々な生理指標の同時計測がおこなえるヒューマンアクティビティ計測システムを構築する。このシステムでは、評価対象となるコンテンツやシステムはコンテンツ提示 PC で実行され、被験者に提示・実行されるが、その際の被験者の生理指標である視線行動、心拍、体温、呼吸、動静等を同時に収録するためのセンサーとして、アイカメラ、心電計、サーモグラフィカメラ、モーションセンサ、Web カメラなどを用意し、収録用フロントエンド PC に接続する(図2)。このフロントエンドは、センサー

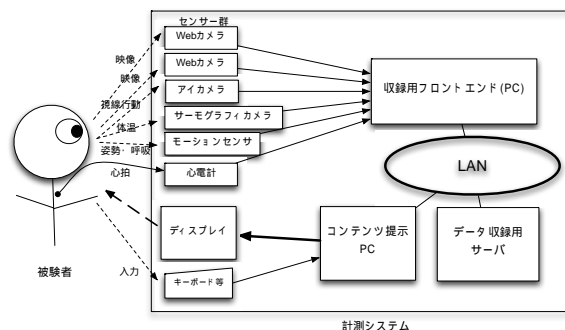


図2. ヒューマンアクティビティ計測システム

情報とコンテンツ提示 PC での操作履歴や実行ログを受け取り，一定の前処理を施すことによりセンサー情報を統合化した被験者行動データを得る．フロントエンドに収集された元のセンサー情報や前処理により抽出された行動データは，LAN を介してデータ収録用サーバに送られ，分析のために記録される．これらの情報処理によって，生理指標を高精度で収録できるシステムを構築する．このうち，前処理をおこなう収録用フロントエンドでは，視線行動やモーションセンサと実際の入力データをつきあわせ，被験者の注意がどこにあり，何をしているかを推定・分析する行動認識をおこなう．また，サーモグラフィカメラの映像データより被験者顔面の温度データを得るため，Web カメラの画像から顔の位置を推定するために画像認識ライブラリ OpenCV 等を用いた顔認識をおこなうなど，センサー情報の統合化を図り，効率的な事後の分析・評価がおこなえるようなシステムを開発する．さらに事後の分析についても，時系列に沿って，効率的な分析・評価がおこなえるような分析システムを開発する．

(2)生理指標の評価

(1)により構築した計測環境を利用して，実際の被験者に様々な状況下での生理指標の評価をおこなう．この状況としては，被験者による自律的な状況としては，安静閉眼状態，一定の作業の繰り返しなどがある．また，簡易的な対話的タスク状況として，AddTwo（2つの数字の加算），TargetClick（出現する円形標的をクリック），TargetTracking（マウスカーソルが一定速度で移動する円形標的に追従する）などを用意した．また，ゲーム的な状況としては，BreakOut（いわゆるブロック崩しゲーム）Tetris（ペンタミノパズルのピースを隙間無く並べるアクションパズルゲーム），Flipper（格子状に分割された画面を揃えるゲーム）などを用意した．

用意した対話的タスクは Adobe Animation 上で記述したオリジナルの対話プログラム

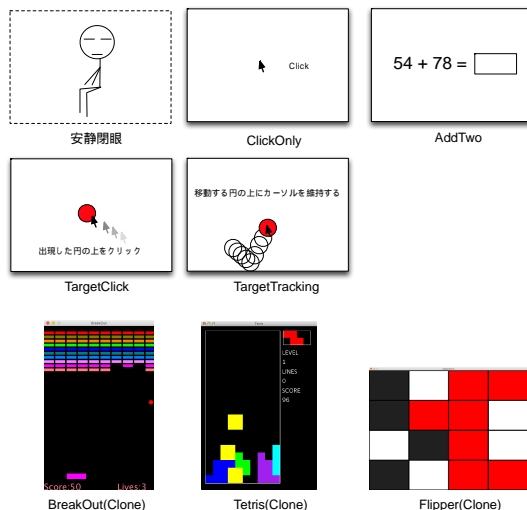


図3．用意した対話的タスク，ゲーム状況

である．ゲームについては，Processing にて作成されたゲームである．いずれも，全ての挙動がミリ秒単位で記録されるように開発・改変しており，センサーでとらえた生理指標データとのつきあわせがおこなえるようになっている．また，対話的タスクなどの速度や回数，計算の桁数などは調整して負荷を変えることができるようになっている．

生理指標の評価においては，その安定度や成分比などがその対象となる．また，タスクの種別などによって，各生理指標の変化を調べる．また，タスクにおける標的の速度や計算の桁数といった負荷を変化させることによって，生理指標がどのように変化するかを調べることで，生理指標がどのような抽象的指標に連動しているかを調べることができる．

4．研究成果

(1)心拍緊張度指標の安定度について

「心拍」は計測の容易な生理指標として知られ，腕時計型の心拍計も販売されている．心拍は運動ストレスで心拍が早くなる応答を示すことが十分に認知されているが，精神的ストレスによっても変動することが知られている．特に精神的ストレスが加わると，心臓の鼓動間隔(RR 間隔)の変動が小さくなる傾向があるということが知られている．この心拍変動を抽出するための指標としては，表1に示すような様々なものがこれまでに提案されている．時間領域で分析する指標としては，(a)RR 間隔の絶対値（平均）以外にも RR 間隔の標準偏差を求めた(b)SDNN や RR 間隔の変動幅が 50ms より大きくなる確率を求める(b)pRR50 なども知られている．

また，力学系の挙動などを調べる場合に用いられるポアンカレプロット（ローレンツプロットと呼ばれることもある．以後 PP と略記する）を用いてその分布を幾何学的に調べる方法も提案されている．PP は，心拍間隔の前後関係(RRI_n, RRI_{n+1})を 2 次元的にプロットしたものである．この分布を楕円として捉え，この面積(d)もしくは長軸/短軸の比(e)で緊張度を評価する方法が提案されている．

時間領域指標		緊張度上昇に対する理論的応答	
(a)	RRI	心拍間隔の絶対値（平均）	減少
(b)	SDNN	心拍間隔の標準偏差	減少
(c)	pNN50	心拍の変動幅が 50msec より大きくなる確率	減少
時間領域指標（幾何学的）			
(d)	PP(面積)	PP における楕円分布の面積	減少
(e)	PP(LT)	PP における長軸/短軸比	減少
周波数領域指標			
(f)	LF	周波数分布における LF 成分の量	増大
(g)	HF	周波数分布における HF 成分の量	減少
(h)	LFHF	LF/HF 比	増大

表1．様々な心拍による緊張度指標

さらに心拍変動は周波数領域で分析する方法も最初の段階から検討されている。心拍変動に対してパワースペクトラム解析をおこなうと、0~0.05Hz の低周波(LF)数成分、0.05~0.20Hz の中間周波数(MF)成分、0.20~0.35Hz の高周波数(HF)成分の3つに分けることが可能である。これらの心拍変動の周波数成分のうち、LF成分、HF成分は、それぞれ、交感神経系の活動、副交感神経系の活動により影響を受けるという関係性が確認されている。すなわち、リラックスしている状態ではHF成分が見られるが、精神的ストレスの加わる状況では、HF成分は減少し、LF成分が増大することから、このLF成分とHF成分の比(LF/HF)によって、ストレスを評価することができる⁽²⁾。

一方でHF成分に相当する成分は、呼吸周期に一致しており、呼吸性不整脈(RSA)として、呼吸の影響を大きく受ける可能性があり、信頼して利用することができないことを指摘する主張もある。このように多くの指標が提案されているが、その確度や安定性は明らかでなく、利用には比較評価が必要である。異質なタスクを被験者に与えた場合の心拍変動による各指標の変動を調べた。

この結果として、特定区間での各指標が得られる。ラフに比較するため、同一のタスクにおいて、タスク中とタスク前の比率、及び、タスク中とタスク後の比率を各指標毎に比較した。図4のよう、SDNNとPP(LT),PP(面積)の指標では安定的なデータが得られることが確認できた。すなわち、これらの指標では心拍による緊張度指標として安定した結果を得ることができると考えられる。

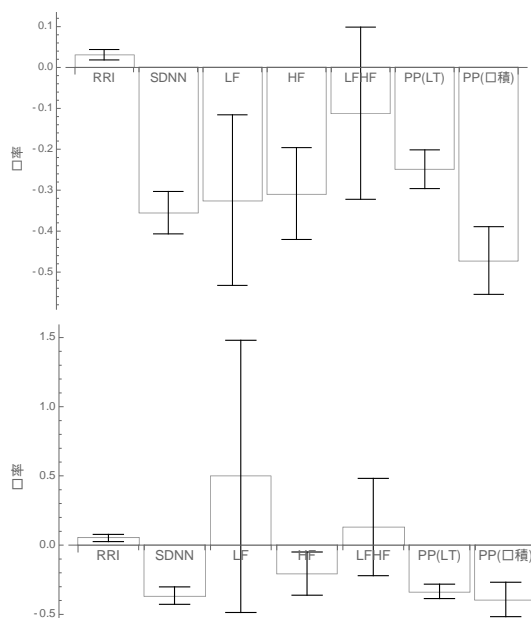


図4. 各心拍緊張度指標によるタスク中 / タスク前の比率 (上) 及びタスク中 / タスク後の比率 (下)

(2)対話状況下での脳波によるタスク間比較及び負荷変化時の比較

中枢神経系そのものから得られる信号である脳波は、集中度に直接的に反応する指標が得やすいと考え、様々な対話のタスクに対する脳波計測をおこなった。脳波は一般的に表2のような帯域で分析されることが多い。

名称	帯域(Hz)	状態
波	1~4	深い睡眠
波	4~8	瞑想・まどろみ
波	8~13	覚醒(安静)
波	13~33	一般的な活動状態
波	33以上	興奮状態

表2. 脳波の周波数帯域とその状態

脳波関連の集中度に関連する指標としては、まず、表2の各成分の分布を用いることが考えられる。波成分が観測されるほど、思考また、集中状態で観測されるとされる脳波成分として、Fm-波(前頭正中線上で観測される波成分)などもよく知られている。

いくつかのタスク状況での脳波を計測し、各脳波成分の比率を求めると図5のような結果を得た。波成分は安静閉眼状況が突出している。

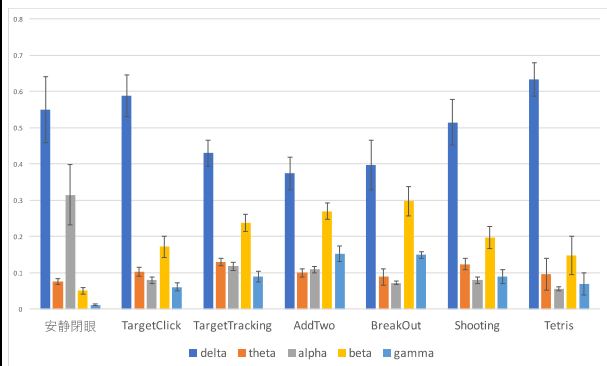


図5. 各タスクにおける脳波成分比率

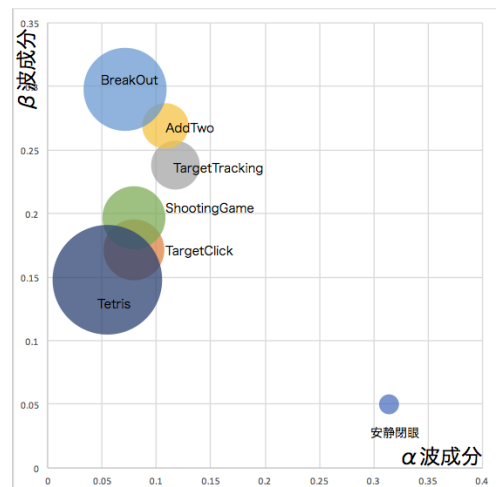


図6. α成分対β成分マップ
円の大きさはβ成分の標準誤差

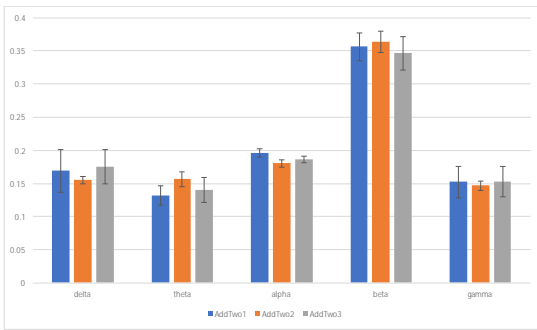


図 7. AddTwo での計算桁数への脳波成分の応答

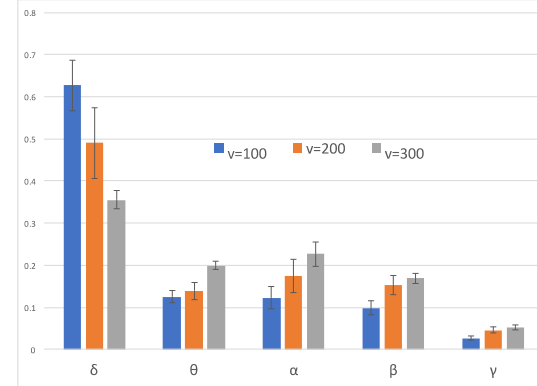


図 8. TargetTracking の速度に対する脳波成分

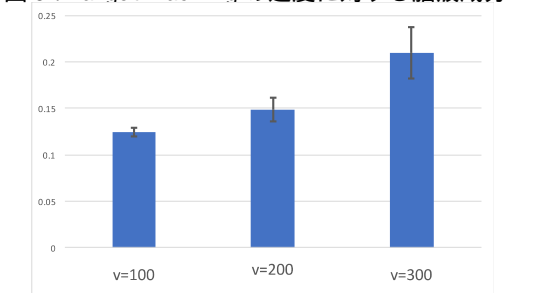


図 9. TargetTracking の速度に対する Fm- 成分

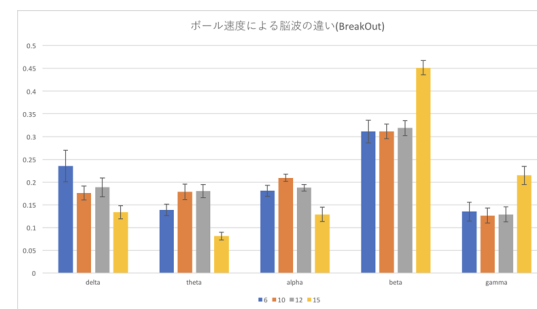


図 10. BreakOut の速度に対する脳波成分の応答

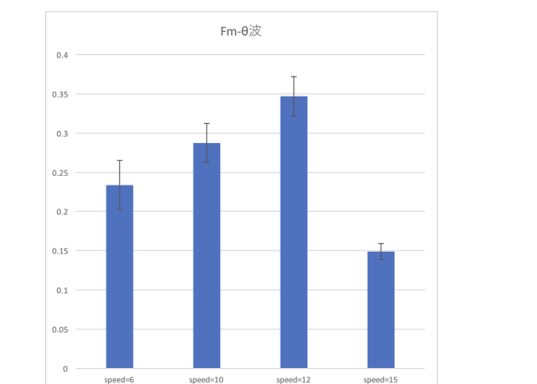


図 11 BreakOut の速度に対する Fm- θ 波成分の応答

波成分，成分は暗算とブロック崩しのタスクが最も大きくなっているが，ゲームと対話タスクとの差はあまり見られなかった。

成分と成分をマップすると図 6 のようになり，各タスクにおいて，ある程度一定の比となる結果が得られている。

また，タスクの負荷を変化させた場合に脳波成分がどのように変化するかについても脳波計測を実施した．暗算（AddTwo）において，数値の桁数を 1 桁～3 桁まで変えた場合には脳波はほとんど変化しない結果となっている（図 7）。

一方で TargetTracking などの対話的タスクにおいて，標的の速度を変えた場合には波が減少するが，波から波成分までは増大する傾向が見られた（図 8）．Fm- 波成分についても同様に増大する傾向がある（図 9）。

さらにゲーム状況の BreakOut においてボールの速度が増大した場合にも同様の傾向が見られる（図 10）．但し，BreakOut において，被験者がほとんど追従できなくなるほど速くなりすぎた状況では，波成分，波成分がより増大する傾向が見られた．また，Fm- 波成分は急激に減少する傾向が見られている（図 11）。

すなわち，AddTwo のような内省的なタスクの負荷を増減した場合には脳波成分の変動はほとんど起こらないが，ターゲットを追跡するような認知操作タスクにおいては，その速度にほぼ比例して，～ 波成分は増大する傾向が見られる．ゲーム状況においても同様の傾向となるが，追従できなくなる状況での脳波成分の変化は特徴的である．これは認知操作タスクが複雑であるためと考えられる。

結論としては，(1)タスクごとに脳波成分の比率はおおむね一定の割合となる(2)内省的なタスクにおいては負荷の変動は脳波成分の応答として表れない．(3)認知操作タスクにおいては，表示物の速度に応じて，脳波成分 成分は減少し，～ は増大する傾向にある．(4)ゲーム状況についても認知操作タスクと同じ傾向となるが，処理不能となるような一定の閾値を越えると，，成分は増大する。

これらの現象はタスクによって脳の情報処理の速度を変化させる場合に脳波成分が変動すると考えられる．すなわち，脳波から被験者の情報処理・タスクへの追従状況を推察することに至る可能性を示している．Fm-

波成分が本研究において抽出することを一つの目的とする「集中度」と連動するものと考えると，多くの脳波成分はゲーム状況において過負荷となった場合に Fm- 波成分とは異なる挙動を示すため，「集中度」とは異なる因子に連動するものと考えられる．これは非常に興味深い現象と考えられるので，脳の情報処理のアクティビティを示すパラメータとしてより分析を進める必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 2件)

M.Ueno, S.Wada and T.Takami, Development of game player analysis with physiological indexes, Proc. of 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE), 査読有, Vol.4, 2015, 339-340, DOI:10.1109/GCCE.2015.7398653

植野雅之, 和田慎二郎, 高見友幸, 対話的タスクにおける心拍緊張度指標の安定性の評価, ゲーム学会論文誌, 査読有, Vol.10, 2015, 未定

[学会発表](計 12件)

植野雅之, ゲーム・対話タスクにおける脳波の分析, ゲーム学会ゲーム都教育研究部会, 2017年3月2日, 香川大学幸町南キャンパス(香川県高松市)

植野雅之, ゲームに於ける集中状態の脳波による分析, ゲーム学会第15回全国大会, 2016年11月5・6日, 大分市コンパルホール(大分県大分市)

植野雅之, 高度インタラクティブ教育コンテンツにおける集中状態の分析, 教育システム情報学会第41回全国大会, 2016年8月29~31日, 帝京大学宇都宮キャンパス(栃木県宇都宮市)

植野雅之, ゲームプレイ時における集中状態のモデルと生理指標, ゲーム学会第14回合同研究会, 2016年7月10日, 岡山大学津島キャンパス(岡山県岡山市)

植野雅之, ゲームプレイ時の情動・集中状態の分析のための実験計画, ゲーム学会第14回全国大会, 2016年3月18・19日, 香川大学(香川県高松市)

植野雅之, 脳波によるゲームプレイ時の集中状態分析のための実験計画, ゲーム学会ゲーム都教育研究部会, 2015年12月12日, 香川大学(香川県高松市)

植野雅之, Development of game player analysis with physiological indexes, 2015 IEEE 4th Global Conference on Consumer Electronics(GCCE 2015), 2015年10月27日~30日, 大阪コンベンションセンター(大阪府大阪市)

植野雅之, ゲームにおける生理指標による集中状態の分析, ゲーム学会第13回合同研究会, 2015年9月13日, 大阪電気通信大学(大阪府寝屋川市)

植野雅之, 高度インタラクティブ教育コンテンツにおける生理指標による集中状態の分析, 教育システム情報学会第40回全国大会, 2015年9月1日~3日, 徳島大学(徳島県徳島市)

植野雅之, ゲームプレイ時における心拍変動の分析と評価, ゲーム学会全国大会, 2015年3月1日, 大阪大学中之島センター(大阪府大阪市)

植野雅之, 高度インタラクティブ教育コンテンツ分析のための複数の生理指標モニタリングシステムの構築, 教育システム情報学会全国大会, 2014年9月11日, 和歌山大学(和歌山県和歌山市)

植野雅之, ゲームプレイ時における心拍変動の分析, ゲーム学会合同研究会, 2014年8月2日, 大阪電気通信大学(大阪府寝屋川市)

[図書](計 0件)

[産業財産権]

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

[その他]

ホームページ等

<http://mulab.osakac.ac.jp/kaken2014/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

植野 雅之(UENO, Masayuki)

大阪電気通信大学・総合情報学部・准教授
研究者番号: 503000348

(2)研究分担者

高見 友幸(TAKAMI, Tomoyuki)

大阪電気通信大学・総合情報学部・教授
研究者番号: 50300314

(3)研究分担者

和田 慎二郎(WADA, Shinjiro)

プール学院大学短期大学部・秘書科・准教授
研究者番号: 70321114

(4)研究協力者

対馬 勝英(TSUSHIMA, Katsuhide)