

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K20392

研究課題名（和文）VR空間と完全に時刻同期可能な脳波計測システムの研究開発

研究課題名（英文）Research of time-synchronized system for recording of brain activity in virtual reality environment

研究代表者

横田 悠右（Yokota, Yusuke）

国立研究開発法人情報通信研究機構・未来ICT研究所脳情報通信融合研究センター・研究員

研究者番号：10710593

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）：本研究では、VR(仮想現実)空間において発生するイベントとその時の脳活動データを完全に同期させるためのシステム開発を行い、様々なVR体験を行っているときの脳波を計測した。VR空間と脳波計のデータの時刻は、情報通信研究機構が保有するワイヤレス同期システムを応用した。このシステムによりVRデバイスと脳波デバイスから取得できるデータをミリ秒以上の精度で同期することに成功した。そして、研究課題として、VR空間におけるシューティングゲームを用いたエラーに関する脳活動、VRホラーゲームを用いた恐怖に関する脳活動等のVRの特性を生かした実験テーマから脳活動に関する新たな知見を得ることに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

VR空間は、プログラム製作者が自由に世界を構築することが可能であり、往々にしてユーザを実世界では体験することができない非現実的な世界へと誘う。このようなVR空間では、ユーザは高いモチベーションをもって様々な体験を積極的に行う。そのため、ヒトが高いモチベーションで積極的に課題に接しているときの脳活動を明らかにするため、VR空間を用いた脳波計測システムの開発を行った。これまでの主に実験室で計測された非現実的な環境における脳活動ではなく、高いモチベーションをもって課題に取り組んでいるリアルな脳活動を計測できたことは非常に学術的にも社会的にも意義がある。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a system to synchronize brain activity data with virtual reality (VR) device, and measured electroencephalogram (EEG) data during various VR experiences. NICT's(National Institute of Information and Communications Technology) wireless synchronization technology was used for time synchronization between the VR device and the EEG data. This system successfully synchronized the data acquired from a VR device and an EEG device with an accuracy of more than millisecond order. We obtained new findings related to brain activities with this synchronization system such as a brain activity related to errors using a shooting game in a VR and a brain activity related to emotional fear using a VR horror game.

研究分野：実環境下における脳波計測

キーワード：仮想空間 脳波 事象関連電位

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

ヒトの脳活動を解読し、ヒトがどのように物事を知覚・認知しているかを解き明かす研究が盛んに行われている。一般的に、基礎神経科学の研究では、ヒトに対して最低限の情報量をもつ刺激を使用したシンプルな実験系を使用することが多い。これは、刺激の物理的な特徴量(色や形など)の変化による脳活動の変化を最低限に留めたうえで、ヒトがどのような知覚・認知を行ったかを判断するためである。こうした実験系の制限は、ヒトの脳活動を明らかにするうえで重要な要素ではあるが、我々が日常的に生活している、「リアル」な環境下における脳活動とは著しく異なる。実験参加者の立場から見ると、基礎研究で行われる実験には、ボランティアで参加するか、あるいは実験参加で得られる金銭的な報酬を目的として参加している。また、参加者が実験コンテンツそのものに対して、面白さや楽しさといった感情を抱くことは稀である。それでは、どのようなコンテンツであれば、ヒトは自ら積極的に実験に参加するであろうか。その答えの1つが、近年流行しているメタバースの1つである VR(Virtual Reality)である。VR は高い没入度でフィクションや映画、ファンタジーのような仮想現実空間を体験できる。VR を体験するためにはヘッドマウントセットが必要ではあるが、高額なお金を払ってでも VR を体験したいユーザは数多くおり、VR コンテンツに対する注目度は非常に高い。基礎神経科学実験で得られる知見は重要ではあるが、ヒトの現実環境における脳活動をより深く解明するためには十分とはいえない。実験課題に対して楽しいと思え、自ら積極的に参加したくなるような状況において観測される脳活動こそが、より「リアル」な脳活動である。このような脳活動を、ヒトの脳を深く知るために計測、解析していく必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、VR 空間と完全に時刻同期可能な脳波計測システムを研究開発し、ユーザが高いモチベーションで VR コンテンツを体験中の注意やエラー、恐怖喚起といったヒトのリアルな脳活動に関する事象関連電位を解析することであった。ヒトの脳活動を計測する方法として、本研究では脳波を使用した。昨今の情報処理・通信技術の発達により、脳波計測インタフェースは、従来の大型・有線接続から、小型化・無線接続デバイスへと進化している。小型、無線接続デバイスの使用は、VR ヘッドセットを装着しつつ、ユーザに大きな身体的負担を与えることなく、脳活動を計測可能にする。VR コンテンツを体験中に発生したイベントに応じて発生する脳波成分が参加者のプレイ状況や実際の VR コンテンツに対するモチベーションの大小などを考慮し、どのように変化するかを解析した。具体的な脳波成分として、イベントに対する注意を表す P300 やヒトがエラーを認識したときに表れるフィードバック陰性電位等の事象関連電位を解析対象とした。

### 3. 研究の方法

はじめに、VR 空間と脳波計をハードウェアレベルで完全に時刻同期させるシステムを開発した。VR 空間と脳波計の間で共通の時刻を刻むクロックを採用することで、両者の間での時刻ずれの発生を防止するとともに、VR 空間上で発生したあらゆるイベントに対して詳細な時間解像度で脳波解析が実行できた。具体的な手法としては、情報通信研究機構(NICT)が開発したワイヤレス時刻同期システムの技術を転用することで解決した。本技術は、脳波計測における時間解像度であるミリ秒以上の精度で複数のデバイスの間の時刻を同期可能であるため、VR 空間と脳波データの間の時刻同期として十分な精度を発揮した。

システム開発後、行った研究内容の詳細に関しては、「4. 研究成果」で述べる。

本研究に関するすべての実験は国立研究開発法人情報通信研究機構の倫理委員会の承認を受け、すべての参加者に対して実験内容について事前に十分な説明を行った後、参加の同意を得て行われた。すべての実験は、ヘルシンキ宣言に記載された倫理基準に従って実施された。

具体的には、

(1) 研究参加者には事前にインフォームドコンセントを得た上で、いつでも研究参加者の希望で実験を中止できることを保証した。

(2) 実験は、被験者の身体的・肉体的疲労を軽減するために十分な休憩時間を考慮した計画で行った。

(3) 契約に従い報酬を支払った。

(4) 測定の過程におけるデータの保存および研究の成果の発表に当たっては、研究参加者の方のプライバシーを尊重し、他者に個人を特定できないように匿名化した。

すべての研究は、実験参加者の個人情報(パーソナルデータ)を取り扱うが、パーソナルデータの取扱いに関して、情報通信研究機構のパーソナルデータ取扱研究開発業務審議委員会の審査を受けた。

#### 4. 研究成果

##### VRシューティングゲームにおけるエラー関連処理とムードの関係

我々は、日常的に自らが行う行動がどのような結果をもたらすかを予測しながら生活している。その中で、自らが期待した結果と異なる結果が発生した結果を、誤り、すなわちエラーと認識する。結果がエラーであるか否かは、その内容次第で大きく変わるが、我々は往々にして、ある程度の予測を立てている。自らの予測は、常に一定ではなく、ある程度の主観的な曖昧さによっても変動する。例えば、ゲームを行っているとき、連続した報酬が得られている場合は、次の結果もうまくいくと楽観的な予測をするが、逆に期待していない結果が連続していた場合は、悲観的な予測をする。これは一般的に、「運」や「流れ」など様々な言葉があるが、ここでは、一時的に発生したイベント結果に起因する一時的な感情を「ムード」として定義する。このムードの影響が次に発生するイベント結果にどのような影響を与えるかをVR空間上で行ったシューティングゲーム(図1左)から明らかにした。このVRシューティングゲームではプレイヤーに対して飛来する砲弾を撃ち落とすゲームである。その難易度はステージをクリアするごとに徐々に難しくなる。このゲームを行っているときの一時的な迎撃成功率、失敗率、すなわち、ムードの影響がイベント結果に与える影響とフィードバック関連陰性電位(Feedback-Related Negativity: FRN)および、報酬陽性電位(Reward positivity: RewP)と呼ばれる脳波成分の関係を調査した。

本研究は、34人の参加者が実験に参加した。実験の結果、砲弾の迎撃に失敗したとき、そのイベントの観測からおよそ250ミリ秒後にFRNが観測された(図1右)。一方、砲弾の迎撃に成功したとき、同様の時間帯においてRewPが観測された(図1右)。この結果は、まずVR空間のデータと脳波計測のデータが非常に高い精度で時刻同期できており、学術的な神経科学の分野で明らかにされた知見と合致していることを意味する。そして、過去10回の迎撃の成功率をムードとして定義したとき、FRNとムードの間に相関関係が認められた。具体的には、一時的な成功率が高い時に発生したエラーに対して、より大きなFRNが観測された。これは、我々が物事に対する結果に対して主観的な予測を行っており、その予測結果が脳波成分であるFRNに反映され、その影響が脳波計測で客観的に評価できることを世界で初めて示したことを意味する。本研究は、学術雑誌であるfrontiers in Human Neuroscienceに学術論文として採択された。

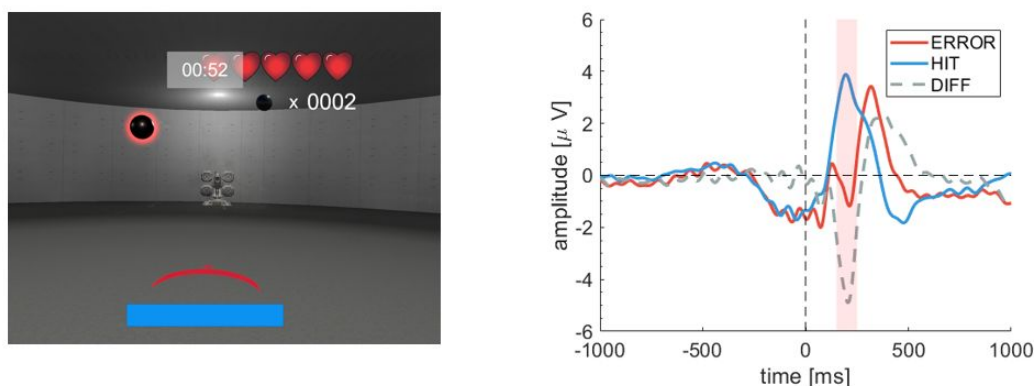


図1 左: VRシューティングゲームの画面 右: ゲームイベントの失敗と成功時の脳波波形

##### VRホラーゲームにおける恐怖の感じ方と心拍関連電位の関係

人間の感情を評価する方法としては、一般的にアンケートが使用されている。しかしながら、アンケートはその評価が評価者の主観に基づくため、感情を客観的かつ定量的に符号化することは困難である。そこで本研究では、感情に焦点を当て、客観的かつ定量的に評価するための指標として、ヒトの脳波に注目し、感情の一つである恐怖を符号化できるかどうかを検討した。恐怖は人間が一般的に避けようとする感情であるが、アミューズメント施設ではジェットコースターやお化け屋敷など、恐怖を感じさせるように工夫されたアトラクションが存在する。恐怖という感情を正確に評価できれば、マーケティングなど感情の評価を必要とする産業への応用が可能になる。本研究では、恐怖を評価する指標として、心電図活動に反応して頭皮で測定される脳波成分であるHeartbeat evoke potential (HEP)を用いた。HEPは注意、認知、感情を反映することが報告されているが、恐怖との関連は報告されていない。

本研究は、33名の参加者が実験に参加した。本研究では、恐怖感情を誘発させるために、VRホラーゲーム(図2)を用いて、参加者が恐怖を感じる環境下での脳波を測定した。ゲームには32個の恐怖イベントがあり、実験終了後、参加者はすべての恐怖イベントを主観的アンケートで報告した。アンケートにおいて恐怖を感じたと報告した数の多い上位3分の1の参加者(11名)を「sensitive」、下位3分の1の参加者(11名)を「insensitive」として分類した。VRホラーゲーム中の心電と脳波(HEP)を計測した結果、insensitiveのHEPはsensitiveよりも大きな正

の電位として観測されたが（図3右），心電では両者の間で統計的な有意な違いが認められなかった（図3左）. この結果は，HEPの変調が恐怖イベントに対する心電の電気的活動からではなく，脳内の神経活動の変調から生じていることを示唆しており，HEPが恐怖感情を客観的かつ定量的に評価する指標として有用である可能性を示した．

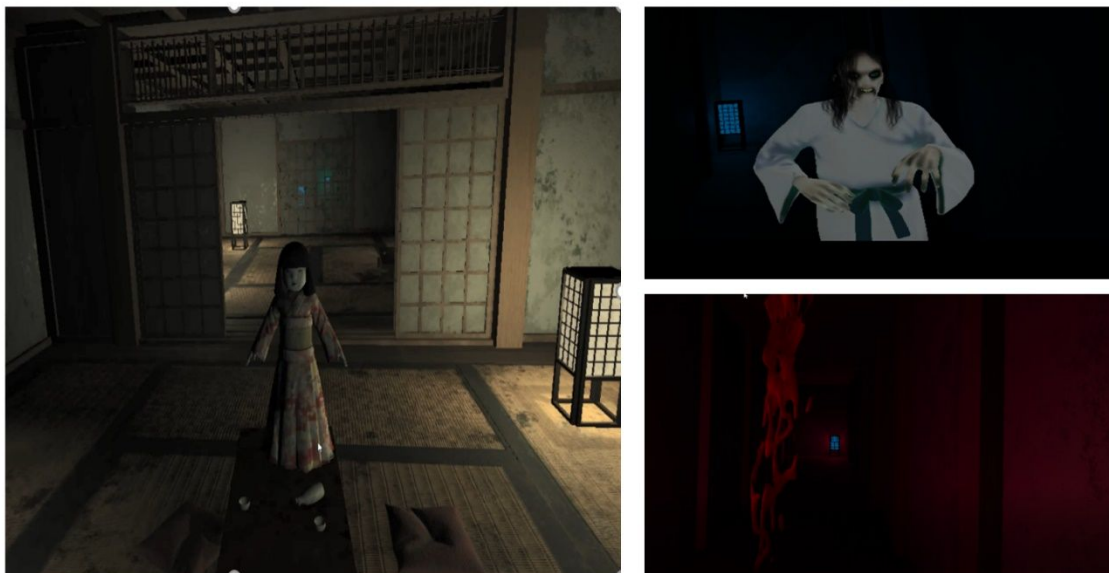


図2：VRホラーゲームにおける恐怖イベント例

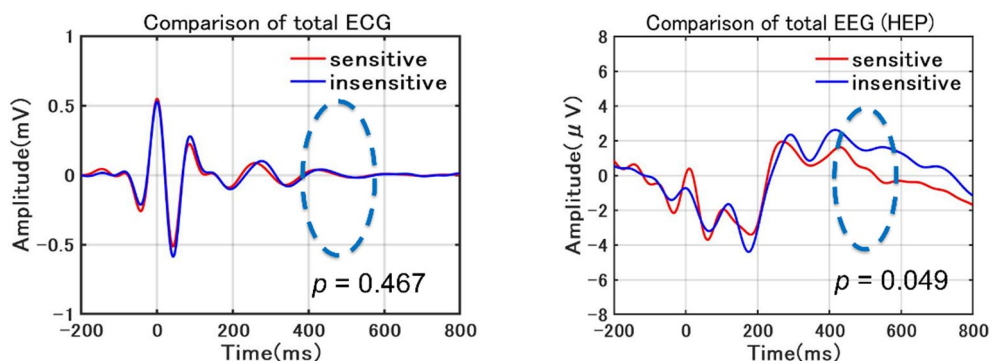


図3 恐怖を多く感じていた参加者とそうでない参加者の結果  
左：心電活動 右：HEP(脳波)活動

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 Yusuke Yokota, Yasushi Naruse	4. 巻 -
2. 論文標題 Temporal fluctuation of mood in gaming task modulates feedback-negativity: EEG study with virtual reality	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	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） 10.3389/fnhum.2021.536288	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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Yusuke Yokota, Yasushi Naruse
2. 発表標題 Modulation of feedback negativity caused by events in virtual reality shooting game
3. 学会等名 41st International Engineering in Medicine and Biology Conference（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 横田悠右、成瀬康
2. 発表標題 線型混合効果モデルを使用したVRシューティングゲームにおける事象関連電位の解析
3. 学会等名 ヒューマンインタフェース2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩崎正紘、横田悠右、渡部宏樹、雨宮智浩、成瀬康
2. 発表標題 Heartbeat evoked potentials are modulated by the sensitivity of an individual to fear
3. 学会等名 第44回日本神経科学大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

国立研究開発法人情報通信研究機構  
未来ICT研究所 脳情報通信融合研究センター  
脳機能解析研究室  
<https://www.nict.go.jp/brain/index.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
---------	---------