



光学透過型 HMD を用いた AR-SSVEP における 背景と奥行きの影響の検討

坪地 航己¹⁾, 小林 明美²⁾¹⁾, 正井 克俊²⁾¹⁾, 杉本 麻樹¹⁾, 木村 聡貴²⁾¹⁾

Koki Tsuboji, Akemi Kobayashi, Katsutosi Masai, Maki Sugimoto and Toshitaka Kimura

1) 慶應義塾大学 (〒 223-8522 神奈川県横浜市港北区日吉 3-14-1)

2) NTT コミュニケーション科学基礎研究所 (〒 243-0198 神奈川県厚木市森の里宮富 3-1)

概要: 定常状態視覚誘発電位 (SSVEP) を計測することで, 人間の注視の他に注意を解析することが行なわれている. AR 環境の点滅刺激を注視することによって, 注視領域の刺激に対応した SSVEP を計測することが可能である. 光学透過型の HMD を用いた点滅刺激を通して, 現実世界で提示される映像を注視した場合の SSVEP について背景と奥行きの影響について解析を行う.

キーワード: 視覚刺激, 拡張・複合現実, HMD, SSVEP, 脳波



図 1: 実験環境

1. はじめに

人間の視線を解析することで, 人間の心理的な特性や注視の対象の解析を行い, 心理学や人間工学, 医療, スポーツなど様々な分野に応用されている. しかし, アイトラッカー単体では注視方向は計測可能であるが, 人がどこに注意を向け, どのくらいの配分であるかは分からない. そこで本研究では, 常状態視覚誘発電位 (Steady State Visual evoked potentials: SSVEP) に着目した. SSVEP はブレイン・コンピューター・インターフェース (BCI) に用いられることが多く, 視線を用いたコンピューター操作の方法として活用されている. 一方で SSVEP は, 人間の単純な注視だけではなく, 潜在的な注意を向けていることを検出することが可能である.

SSVEP は一般的にモニターに点滅刺激を提示するため, 応用可能な範囲が限定的になる. そこで AR 技術を用いて点滅刺激を作成し, 現実世界の注視対象と重畳することで様々な対象に応用することが可能になる. 例えば, Esports ではプレイヤーの視線を記録し, その特徴や上級者と初心者の違いなどを解析することが行われている [1]. その中で

上級者の大きな特徴として, 周辺視を多く使うことがあげられる. SSVEP を用いることによって視線と注意を計測できれば, プレイヤーの注意を詳細に解析することが可能になると考えられる.

このようなことから, 光学透過型の HMD を用いた点滅刺激と現実世界の背景を重畳した場合の SSVEP の誘発について調査を行う.

2. 関連研究

2.1 SSVEP

SSVEP は誘発脳波のうち, 視覚を刺激した場合に誘発される脳波である. 点滅刺激が 300ms よりも短い間隔で与えられた場合に, 注視していた刺激に対応する周波数のピークが増大する. また, ある周波数の整数倍の周波数のことを高調波と呼び, SSVEP は刺激周波数に加えこの高調波も誘発される. さらに, また, 移動する点滅刺激を注視することでも SSVEP の誘発が可能である [2].

2.2 HMD を用いた SSVEP

SSVEP を誘発するための点滅刺激は PC モニターに提示する方法が一般的である. 一方で, VR・AR 環境内の点滅させたオブジェクトを注視することによって SSVEP を誘発する方法がある. ビデオシースルー型の HMD を想定して現実世界の画像の一部をコントラスト変調した点滅刺激を注視した場合でも SSVEP が検出可能である [3]. 高いコントラストの点滅刺激は検出精度は上がるが, 視認性や煩わしさのトレードオフが生じることが分かっている.

光学透過型の HMD を用いてホログラフィックな点滅刺激を表示し, 注視することでも SSVEP を誘発することが可能である [4]. 点滅刺激のレイアウトによる SSVEP への影響や, モニターを使用した PC-SSVEP との比較を行った結果, AR-SSVEP は PC-SSVEP に比べて, 刺激を注視す

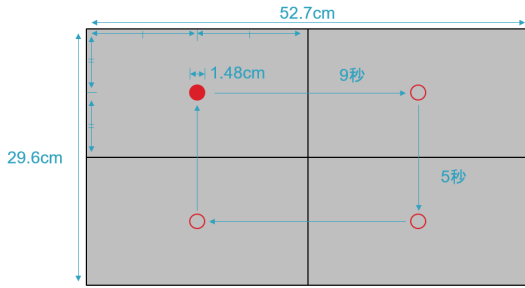


図 2: 実験 1, 2 モニター表面に提示した点滅刺激レイアウト

る時間が長く必要であり、2秒未満だとより精度が落ちることが分かっている。

3. 実験

3.1 概要

本実験では、光学透過型 HMD を用いた点滅刺激を現実世界の注視対象と重畳することで、SSVEP を検出することが可能であるかを調査する。また、奥行き方向のずれや、注視対象の影響を条件として設定し調査を行う。これを達成するために本実験は、光学透過型 HMD を用いた点滅刺激を注視する実験 1、注視点の移動に対応した SSVEP の誘発を確認する実験 2、注視点と点滅刺激の奥行きをずらした際の SSVEP への影響を調査する実験 3、現実世界の背景要素と点滅刺激を重畳した際の SSVEP への影響を調査する実験 4 で構成されている。実験参加者は大学生・大学院生 8 名（男性 8 名）で、実験中にできるだけ瞬きをしないように指示された。また、刺激の注視の開始と同時にトリガーのボタンを押して時刻を記録した。

3.2 装置

使用機材としては、光学シースルー HMD である HoloLens 2¹、脳波装置である eego sports² と専用ソフトがインストールされた付属のタブレット型 PC、ボタンとイベントトリガー装置、モニターは ASUS 社のゲーミングモニター VG249Q1A-J(23.8 インチ, IPS, MPRT 1ms, リフレッシュレート 165Hz) を用いた。本研究では図 1 のように、モニター前に脳波 (Electroencephalogram : EEG) 計測装置と HoloLens 2 を被った実験参加者が座って実験を行った。

3.3 実験 1: 光学透過型 HMD による点滅刺激の注視

3.3.1 方法

点滅刺激を現実世界の PC モニター前面に配置し、実験参加者はモニターから 60cm 離れて、モニターを 4 分割する点滅刺激のいずれかに視線を向けた。点滅刺激は図 2 のように刺激領域の中心に赤い注視点が 10 秒間表示された。この作業を 4 種類の周波数で、周波数の高い順に 5 回ずつ行った。

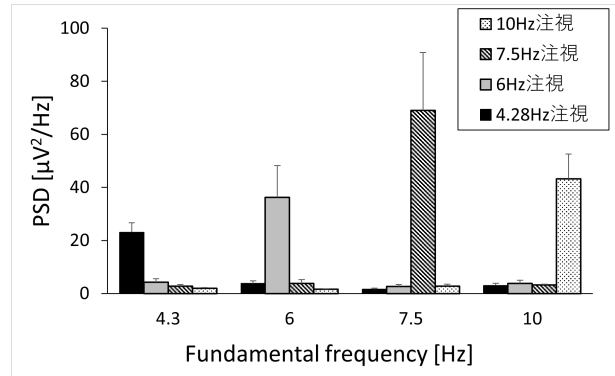


図 3: 実験 1 注視領域別 SSVEP パワースペクトル

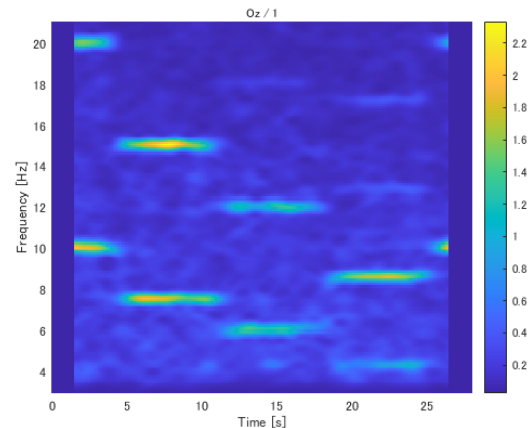


図 4: 実験 2 移動する注視点に対応した SSVEP パワースペクトルの変化

3.3.2 結果

実験参加者 6 名が刺激を注視していた 10 秒間に対して高速フーリエ変換を行い、加算平均を行った。それぞれの基本周波数と第二高調波の平均のパワースペクトルを求め、各刺激周波数の単体注視条件におけるパワースペクトルの変化を表したものを図 3 に示す。図 3 において、エラーバーは標準誤差を表している。分散分析結果から、注視条件・刺激周波数のいずれも主効果はなかったが、交互作用 ($F=1.9991$, $p < 0.001$) を確認した。

3.4 実験 2: 注視の移動

3.4.1 方法

図 2 のようにモニター上の注視点を一定速度で移動させ、実験参加者は注視点を視線追跡した。モニターから 60cm 離れ、計 28 秒の作業を 5 回行った。

3.4.2 結果

実験参加者 6 名が注視点を視線追跡していた 28 秒間に対して短時間フーリエ変換を行った。ここで、全ての試行に対して加算平均を行い、時間窓 2 秒のハニング窓をかけている。

3.5 実験 3: 奥行き方向のずれ

3.5.1 方法

実験参加者から 100cm 離れた場所に現実世界の物体である注視点を配置し、実験参加者は 50, 100, 150cm 離れた位

¹<https://www.microsoft.com/ja-jp/hololens/hardware>

²https://www.ant-neuro.com/products/eego_sports

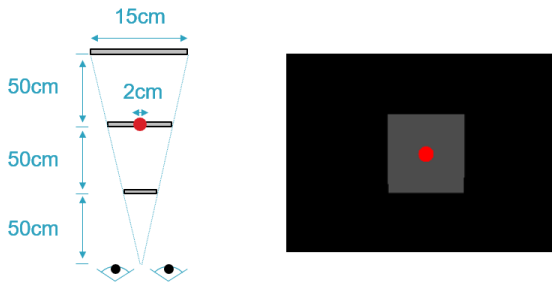


図 5: 実験 3 奥行き方向をずらした注視点と点滅刺激レイアウト

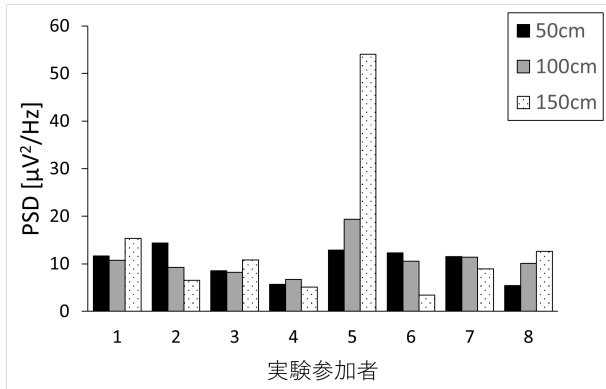


図 6: 実験 3 実験参加者別 SSVEP パワースペクトル

置にある点滅刺激を通して注視点に視線を向けた。刺激周波数は 7.5Hz を選択し、3 条件で注視点に 10 秒間注視する作業を 5 回ずつ行った。

3.5.2 結果

実験参加者 6 名が刺激を注視していた 10 秒間に対して高速フーリエ変換を行い、加算平均を行った時の 7.5Hz と 15Hz の平均のパワースペクトル密度を図 6 に示す。また、7.5Hz と 15Hz の平均パワースペクトルを表したものを図 7 に示す。図 7 より、奥行き 3 条件に対してそれぞれ対応のある t 検定 (両側) を行い、Holm 法による多重比較検定を行ったが、全ての条件間において有意な差は得られなかった。

3.6 実験 4: 現実世界の背景要素

3.6.1 方法

図 8 のように「ぷよぷよ e スポーツ」³のプレイ画像をモニターに表示した状態で、ブロックの表示領域に点滅刺激を配置した。実験参加者はモニターから 60cm 離れて、点滅刺激が提示された領域を 10 秒間注視した。点滅刺激の輝度を 0.2, 0.3, 0.4, 0.6 と設定し、それぞれ 5 回ずつ計測を行った。

3.6.2 結果

実験参加者 6 名が刺激を注視していた 10 秒間に対して高速フーリエ変換を行い、加算平均を行った時の 7.5Hz のパワースペクトルを図 10 に示す。エラーバーは標準誤差を

³ぷよぷよ e スポーツ/株式会社セガ/2019

https://puyo.sega.jp/PuyoPuyo_eSports/agreement/index.html

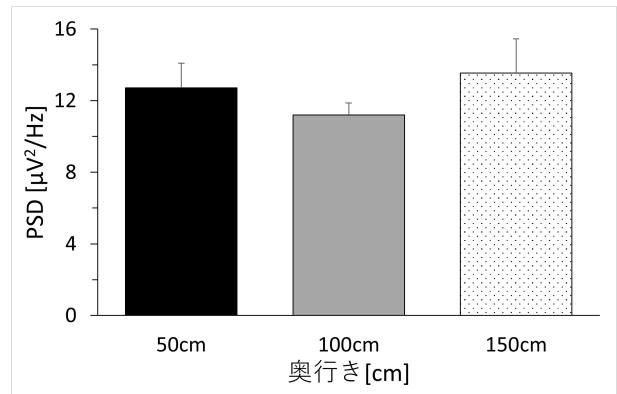


図 7: 実験 3 奥行き条件別 SSVEP パワースペクトル

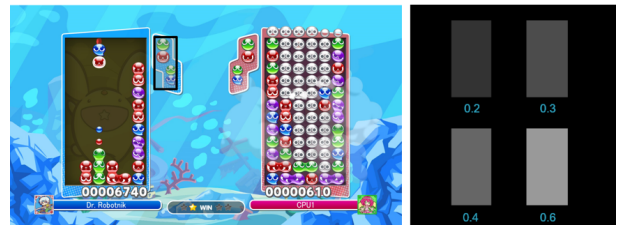


図 8: 実験 4 使用した「ぷよぷよ e スポーツ」³の画像と重畳した点滅刺激

表している。次に、輝度 0.6, 0.4, 0.3, 0.2, 安静時 (base) の 5 群に対してそれぞれ対応のある t 検定 (片側) を行い、Holm 法による多重比較検定を行った。その結果、輝度 0.4 と輝度 0.3 の間、輝度 0.2 と安静時の間以外の組み合わせで、5%で有意であった。

4. 考察

4.1 光学透過型 HMD を用いた点滅刺激による SSVEP

実験 1 の結果から、HoloLens2 を用いた点滅刺激を通して現実世界の物体を注視することによって、SSVEP が誘発されどの注視領域を見ていたかという判定が可能であることが分かった。また、刺激周波数別では、7.5Hz や 10Hz のようなアルファ帯域に近い周波数の方が SSVEP パワースペクトル密度は大きくなり、SSVEP の特徴と一致していることを確認した。

次に、実験 2 の結果から、点滅刺激の境目を注視点が通過した場合も、対応した SSVEP に遷移していることが分かった。図 4 のように、境目に近づく時間帯では直前まで見ていた領域の SSVEP パワースペクトルが減少していき、境目を見ている時間帯では二つの SSVEP が検出されていることも確認した。また実験 1 のように点滅刺激の中心を見ている場合は、他の点滅刺激の影響を受けないことが分かった。しかしモニターからの距離が近いと、HoloLens2 の視野角が狭いことにより刺激全体が映らないことに注意が必要である。

4.2 奥行き方向のずれによる SSVEP への影響

実験 3 の結果から、奥行きのみを変更した場合の SSVEP への影響はみられなかった。ただし、実験参加者 5 に関して、奥行き 150cm での点滅刺激の場合のみ、SSVEP パワース

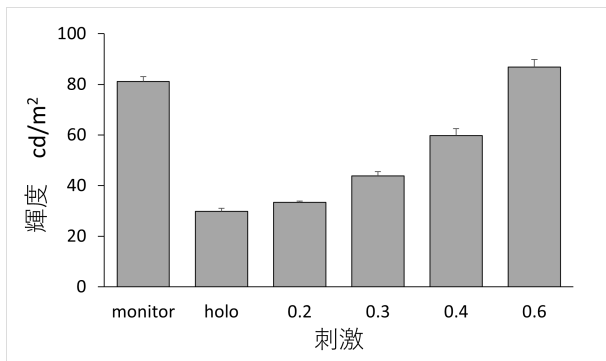


図 9: 実験 4 における点滅刺激の輝度: monitor) モニターを直接注視した際の輝度, holo) HoloLens2 を通してモニターを注視した際の輝度

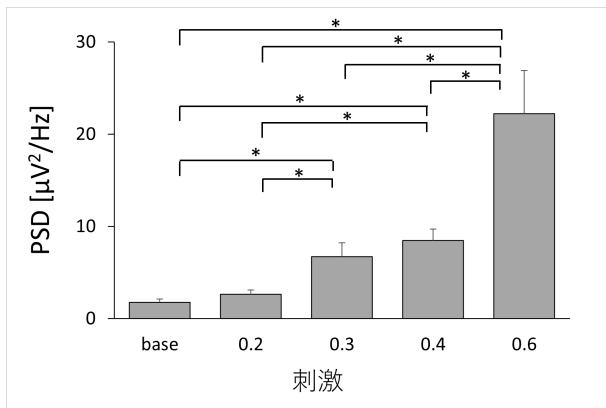


図 10: 実験 4 輝度別パワースペクトル

パワースペクトルが他に比べて 5 倍程度大きくなったことが確認された。このことから、注視する場所よりも刺激が奥にある場合に SSVEP パワースペクトルが上昇する可能性が示唆された。本実験では、刺激の視野角は維持されたまま奥行き距離のみを変更した。この結果に加えて、刺激の大きさを変えずに奥行きをずらした場合、更には奥行き距離を変えずに刺激の大きさを変えた場合に、SSVEP にどのような影響があるかを調査する必要がある。

注視点より手前 50cm に点滅刺激がある場合、両眼視差によって点滅刺激にずれが生じる。また、実験参加者からの意見では、手前にある状態では点滅刺激を認識しにくく、奥にある状態では点滅刺激を認識しやすいという意見があった。もし、本研究のように奥行き方向のずれによる SSVEP への影響が少ないのであれば、背景の視認性がより良くなる刺激の配置を実現できると考えられる。

4.3 現実世界の背景要素による SSVEP への影響

実験 4 の結果から、光学透過型 HMD による点滅刺激を通して背景要素を注視した場合、点滅刺激が十分なコントラストを持っていれば SSVEP を誘発可能であることが分かった。また、図 10 より点滅刺激の輝度の上昇に対応した SSVEP パワースペクトルを検出した。本実験では静止した画像を選択したが、映像や実際にプレイする場合でも引き続き調査を行う予定である。但し実際にゲームをプレイする際、刺激の視認性の悪さからブロックの色を認識できな

い懸念がある。実験参加者からの意見では、輝度 0.6 の点滅刺激を通して見た場合においてブロックの色が視認しにくくなるが、輝度 0.2, 0.3 のようなコントラストの低いものは刺激をほとんど感じなくなるというものがあった。このことから、実際に点滅刺激を通してプレイするためには、詳細なコントラスト設定が必要になると予想される。また、本実験では注視による SSVEP の誘発のみを対象に調査を行ったが、潜在的な注意による SSVEP の誘発方法も存在する。この潜在的な注意の解析は、Esports におけるプレイヤーの注意の解析に役立つと考えられる。さらにアイトラッキングによる視線の解析と併用することで、アイトラッキング上で注視している領域と SSVEP パワースペクトルを比較して解析を行うことが可能になる。これにより、注視している領域とは違う SSVEP パワースペクトルが得られた場合に、潜在的な注意を向けていたことを解析することが可能になる。

5. 結論

本研究では、光学透過型 HMD を用いた点滅刺激を通して現実世界の背景を注視した場合の SSVEP への影響を調査した。モニター全体を 4 分割する点滅刺激を通して SSVEP を用いた注視領域の解析を行った。また、移動する注視点視線を追跡することによって、注視領域に対応した SSVEP を検出した。これにより、光学透過型 HMD を用いた点滅刺激を通して現実世界の背景を注視した場合でも SSVEP が検出可能であることが分かった。次に、注視と点滅刺激の奥行きをずらした場合の SSVEP の影響を調査したが、有意な差は得られなかった。最後に、点滅刺激を通して背景画像に注視を行った場合も SSVEP を検出した。これによって、点滅刺激の煩わしさと SSVEP の検出精度を調整することで、現実世界の注視対象に応用できることが分かった。

参考文献

- [1] Khromov Nikita, Korotin Alexander, Lange Andrey, Stepanov Anton, Burnaev Evgeny and Somov Andrey: Esports Athletes and Players: A Comparative Study, IEEE pervasive computing, Vol. 18, pp. 31-39, 2019.
- [2] Peter de Lissa, Roberto Caldara, Victoria Nicholls and Sebastien Mielle: In pursuit of visual attention: SSVEP frequency-tagging moving targets, PLoS ONE, Vol. 15, 2020.
- [3] 鎌谷裕貴, 中内茂樹, 北崎充晃: AR-SSVEP の基礎検討: 実写画像のコントラスト変調による定常視覚誘発電位, The Virtual Reality Society of Japan, Vol. 18, No. 1 pp. 55-62, 2013.
- [4] Xincan Zhao, Chenyang Liu, Zongxin Xu, Lipeng Zhang and Rui Zhang: SSVEP Stimulus Layout Effect on Accuracy of Brain-Computer Interfaces in Augmented Reality Glasses, IEEE access, Vol. 8, pp. 5990-5998, 2020.