

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2016

課題番号：25540081

研究課題名(和文) 不可視フリッカーに対する定常的視覚誘発電位を利用した非侵襲的BCI

研究課題名(英文) Non-invasive brain-computer interface using steady-state visual potentials evoked by invisible high-frequency flicker

研究代表者

竹本 篤史 (Takemoto, Atsushi)

京都大学・霊長類研究所・特定研究員

研究者番号：20263056

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：定常的視覚誘発電位を用いた脳-コンピューター・インターフェース(SSVEP-BCI)は、不快なちらつきを感じる刺激を見続けなければならないのが欠点である。本研究の目的は、刺激を臨界融合周波数なみの高時間周波数でフリッカーさせ、ちらつきの不快を軽減するために必要な刺激要因、観察要因を明らかにすることである。同一被験者を用いた組織的な測定から、下視野の優位性、刺激パタンの空間要因(空間周波数成分とサイズ)の効果、複数電極の空間パタンの重要性などが明らかになり、一般のSSVEP-BCIとは異なる高時間周波数SSVEP-BCIが満たすべき要件が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The major drawback of the brain-computer interface using steady-state visual evoked potentials (SSVEP-BCI) is to make users discomfort due to their flicker perception. By using high-frequency visual stimuli, the drawback is expected to be overcome. However, adequate stimulus parameters and observational conditions are not known for such new types of SSVEP-BCI. In this study, we measured high-frequency SSVEPs under various conditions for the same observers. We found several considerable properties including the predominance of the lower visual field at high frequency, the dependencies of SSVEPs on spatial characteristics of visual pattern (spatial frequencies and sizes), and the significance of the spatial pattern of SSVEPs over multi electrodes.

研究分野：認知神経科学

キーワード：BCI SSVEP 脳波 フリッカー

1. 研究開始当初の背景

(1) 点滅する視覚刺激を見ると、刺激のオン・オフに対応して脳活動に強弱が生じる。ある一定の周波数で刺激の点滅を繰り返せば、その周波数に対応する周期的な誘発電位が発生する。これが定常的視覚誘発電位 (Steady State Visual Evoked Potential, SSVEP) である。SSVEP は、脳-コンピュータ・インターフェース (BCI) に利用することができる。例えば、複数の視覚刺激を同時に呈示し、それぞれを異なる周波数で点滅させれば、観察者がどちらの視覚刺激を見ているかを SSVEP によって判断することができる。こうした SSVEP-BCI は、非侵襲的であり、また安価に作るができるため、医療分野などで実用化が試みられてきている。

(2) しかし、現在の SSVEP-BCI には、本質的な欠点がある。それは、利用者が点滅光を見続けなければならないことである。通常、できるだけ大きな誘発電位を得るために、5 ~ 20Hz で点滅する高コントラストの刺激が用いられるが、これはかなり不快である。点滅の周波数を高くすれば、不快感は減るが、SSVEP は減弱する。特に、臨界融合周波数を超えるような高い周波数であれば、ちらつき感はなく、快適な SSVEP-BCI を実現することができる。しかし、BCI に利用できるように SSVEP を発生させることができるかどうかは不明であった。

(3) 一方、神経科学の分野では、動物実験や人間の視覚の基礎研究から、フリッカーが知覚できないほどの高周波数でも、脳活動が生じていることが示されてきた (e.g. Williams et al., 2004)。脳活動があるなら、そうした高周波数の点滅刺激を SSVEP-BCI に利用することは原理的には可能はずである。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的は、SSVEP-BCI の欠点である、点滅の感覚による不快感を軽減するため、ちらつきを感じないほどの高周波数のフリッカー刺激を利用する SSVEP-BCI を実現することは可能なのか、もし可能だとすれば、どのような刺激条件、観察条件を用いるのが有効なのかを明らかにすることである。

(2) SSVEP-BCI に関する脳波の先行研究の大半は、実験変数を絞り込んで、多くの被験者を対象にしている。しかし、本研究の場合、多くの実験変数を組織的に操作することが極めて重要である。そのため、ごく少数の被験者 (2 名) に繰り返し実験に参加してもらい、同一被験者で体系的で精緻なデータを取得することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 実験装置：簡易シールドを施した防音室内に、CRT (Sony GDM-F520) を設置し、被験者は観察距離 70cm を保つよう顎台に頭をのせて実験を行った。

視覚刺激は PsychToolbox-3 を用いた自作

プログラムで発生させ、多譜調表示・ガンマ補正を行うビデオサブシステム (VPixx DATAPixx) を介して CRT (解像度 800x600 ピクセル) に呈示した。頭表電位は、国際 10% 法の 73 電極 (Ag/AgCl) を配置したキャップ (EasyCap M80, 研磨剤入ペーストを使用) と NeuroScan アンプ (サンプリング周波数 1000Hz、1 ~ 200Hz バンドパス) を用いて測定した。基準電極は鼻尖につけ、測定後平均基準に再基準化した。全電極インピーダンスは 5k 未満であった。

(2) 被験者：目的に対してナイーブな男性 2 名 (22 歳、32 歳)、および実験者 (男性、51 歳)。普段用いるコンタクトレンズで、視力は矯正した。

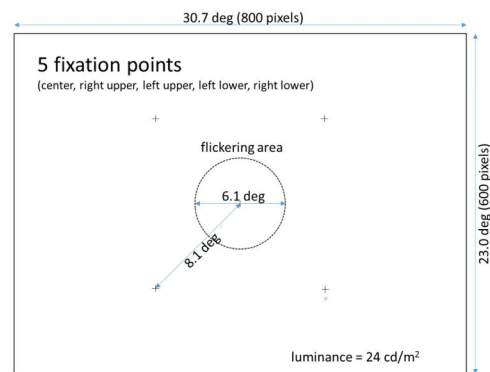


図1 刺激布置

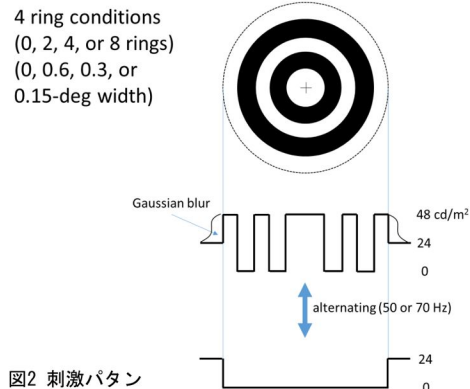


図2 刺激パターン

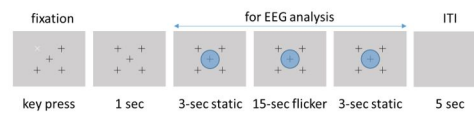


図3 1 試行の流れ

(3) 実験 1 「注視位置と刺激パタンの効果・周波数 70Hz」: この実験では、注視位置と刺激パタンの細かさ (空間周波数成分) が 70Hz の SSVEP に及ぼす効果を調べる。被験者は、24cd/m<sup>2</sup> の白色背景の中央に呈示される直径 6.1 度の同心円形の視覚刺激を、その中央 (CN)、8.1 度右上 (RU)、左上 (LU)、左下 (LL)、右下 (RL) の 5 か所のいずれかの十字形の注視点を固視して観察する (図 1、図 2)。1 回の試行では、注視位置の教示 (注視点の

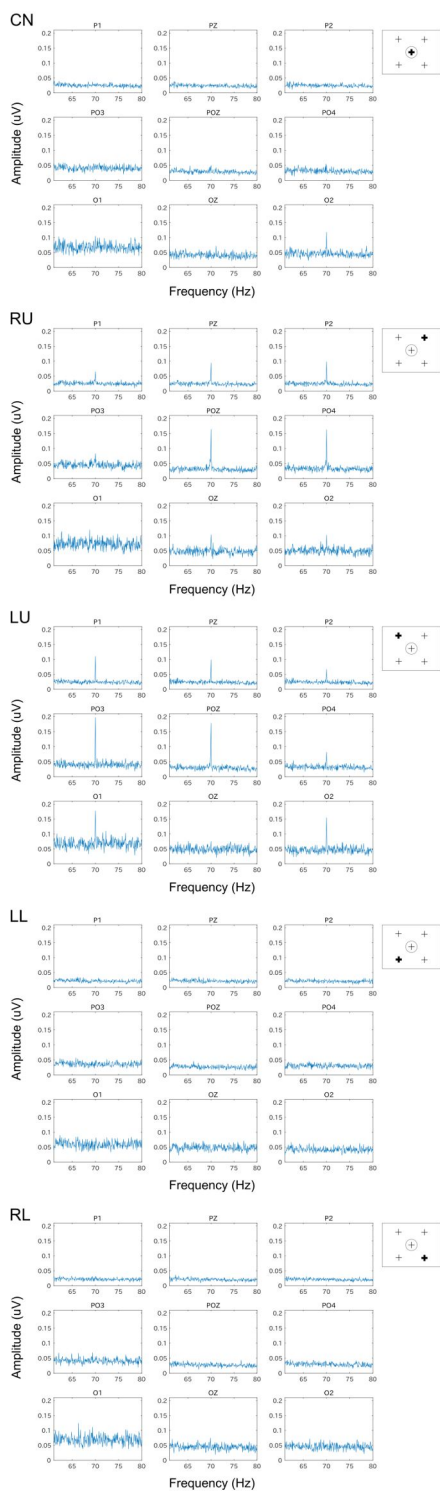


図4 実験1 リング無刺激 被験者1の結果

白色化) 被験者のキー押しにより、注視点が黒になり1秒後から、SSVEPの解析に用いる呈示期間、3秒の静止刺激 15秒の70Hzフリッカー 3秒の静止、となり、その後、試行間の5秒の一様画面となる(図3)。実験の1ブロックは、5か所の注視位置条件×4種類のパタン条件(リングなし、2本、4本、8本のリング、パタンのサイズは同じなのでリングの幅が狭くなる)(図2)。刺激パターンは、黒色のリング以外の部分が輝度0-48cd/m<sup>2</sup>で交替する。各被験者8ブロック

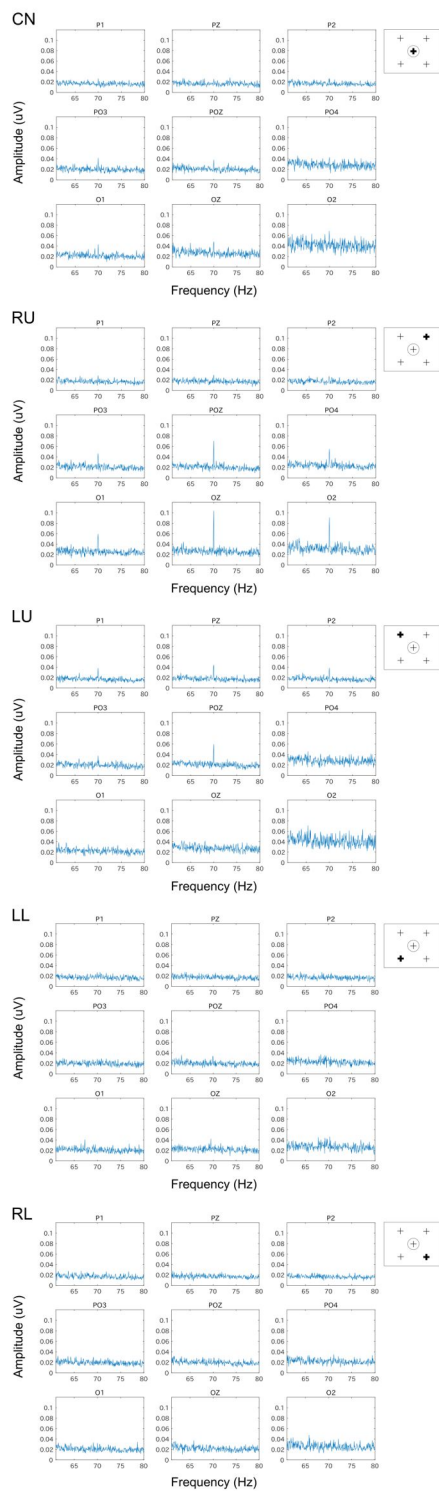


図5 実験1 リング無刺激 被験者2の結果

を休憩を挟みながら実施した。

(4) 実験2「注視位置と刺激パタンの効果・周波数50Hz」: 刺激パタンのフリッカー周波数が50Hzであること以外は実験1と同様。

(5) 実験3「刺激パタンのサイズの効果・周波数70Hz」: 刺激パタンのサイズを直径(ガウスぼかしの内側部分)1.8、3.1、5.5、10.4度の4条件について、リングの有無2条件(リング有りの場合は、幅0.3度でリング本数を

増やすことによって直径が増す) 注視位置は中央(CN)と8.1度右上の2条件。刺激パタンのフリッカー周波数は70Hzのみ。各条件8回の繰り返しになるよう、各被験者8ブロックを実施した。

(6) 実験4「刺激パタンのサイズの効果・周波数50Hz」: 刺激パタンのフリッカー周波数が50Hzである以外は実験3と同じ。

(7) 実験5「フリッカー周波数の効果」: 刺激パタンのフリッカー周波数を40Hzから75Hzまで5Hz刻みで変化させる(電源周波数の60Hzを除く)。そのほかの条件は、実験3、4の直径5.5度リング有り条件、注視位置2条件に等しい。

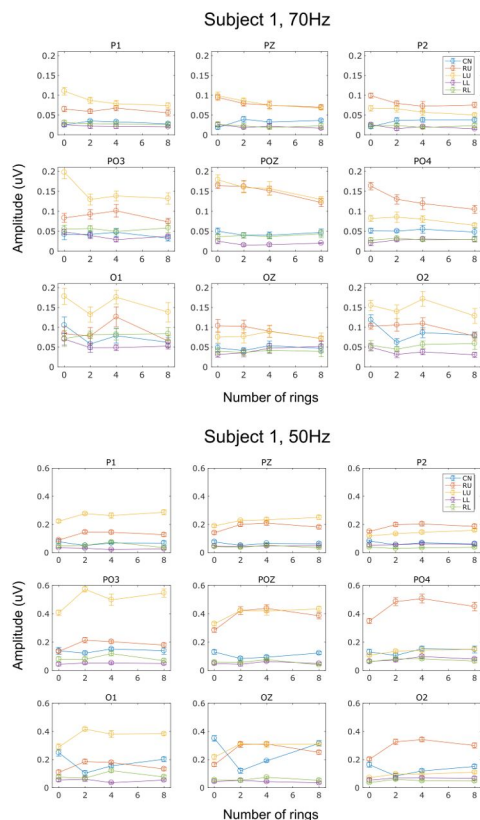


図6 パタンの粗さの効果 被験者1

#### 4. 研究成果

以下、ナীব被験者2名の実験結果に基づいて述べる。

(1) 高周波数フリッカーに対するSSVEP(実験1): リング無しの刺激呈示の15秒間のデータにFFTをかけ、刺激パタンのフリッカー周波数70Hz前後の成分の平均振幅を、後頭-頭頂の9電極についてプロットしたのが、図4(被験者1)図5(被験者2)である。両被験者ともに、いくつかの条件で刺激と同じ70HzのSSVEP成分がはっきりと現れている。共通している特徴は、注視位置が刺激の上側(RU, LU)のときに比較的大きな70Hz成分が生じていること、刺激中心を注視した場合(CN)の70Hzの応答はかなり弱いこと、刺激

の下側(LL, RL)を注視した場合には、70Hz成分は見られないこと、刺激位置の左右に応じて左右半球に配置された複数の電極での応答に違いが表れること、である。一般的な10Hz前後のフリッカーを利用するSSVEP-BCIでは、刺激パターンを注視しているときに最大の応答が得られることが前提にされていることが多い。しかし、今回のような70Hzという高い周波数のフリッカー刺激では、この常識があてはまらないことが明らかになった。これは、視覚的注意の異方性と関係があるのかもしれない。

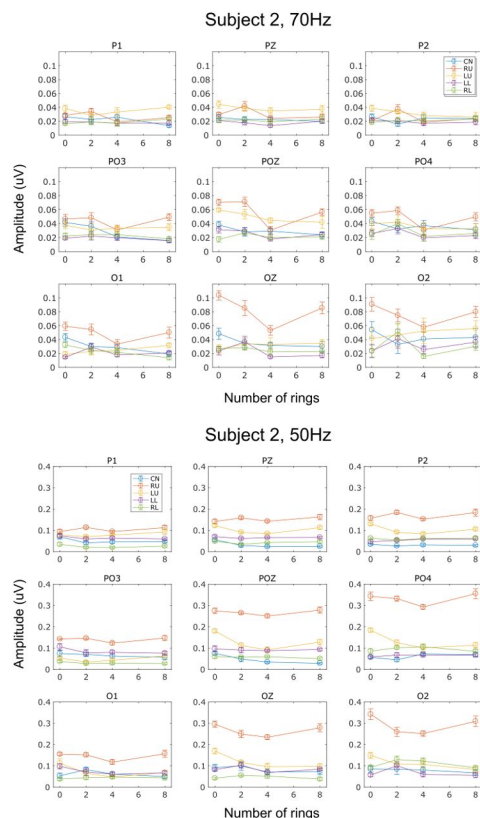


図7 パタンの粗さの効果 被験者2

(2) パタンの粗さ(空間周波数成分)の効果(実験1・2): 図6、図7は、刺激のフリッカー周波数に対応するSSVEPの成分の平均振幅を刺激のリング数(多いほど細かいパターン)の関数としてプロットしたものである。両被験者ともに70Hzではパターンが細くなるほど振幅が若干小さくなる傾向がある。

(3) パタンの大きさの効果(実験3・4): 図8、9は、実験3の被験者1、2の結果である。被験者1では、周波数70Hzで、刺激サイズが大きいほどSSVEPの振幅が大きくなっている。その効果は、中央よりも右下に刺激が呈示される場合の方が、またリング有りよりも無しの方が大きい。

被験者2は、全体的に被験者1よりも70Hzに対する感度が低い、被験者1と類似した傾向がある。図10、図11は、50Hzでの結果

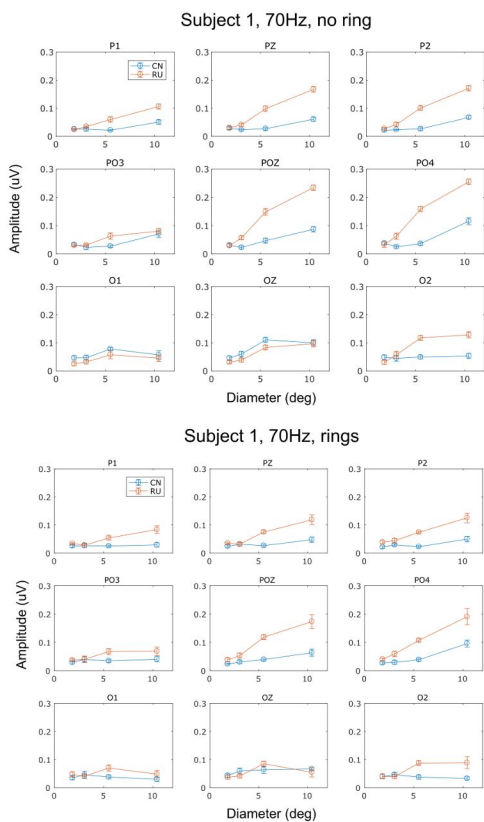


図8 実験3 被験者1の結果

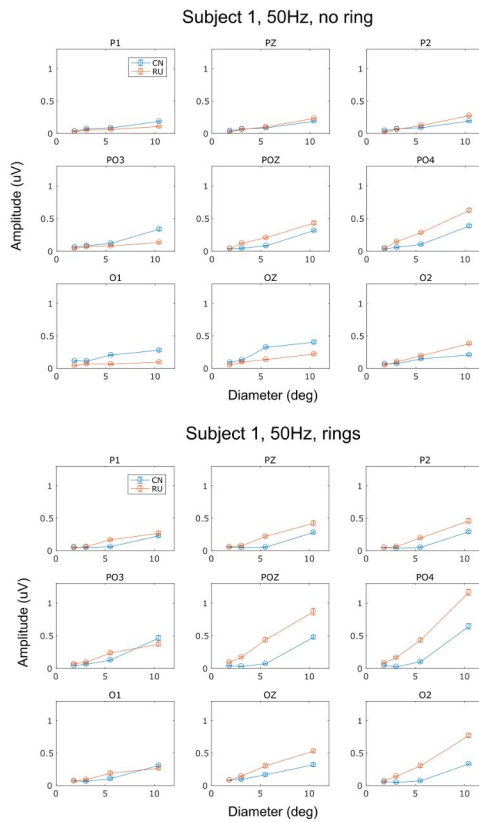


図10 実験4 被験者1の結果

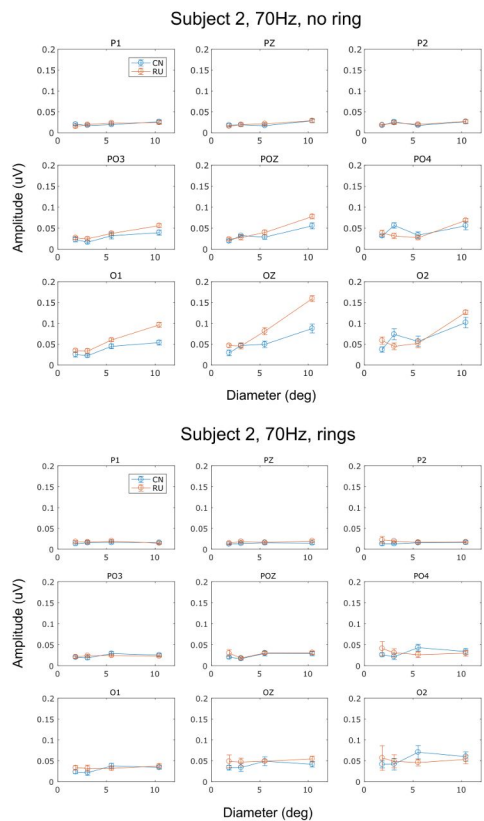


図9 実験3 被験者2の結果

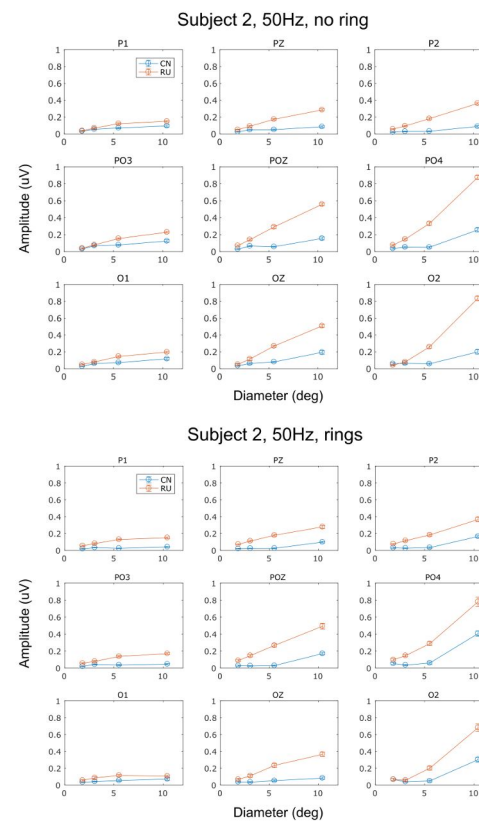


図11 実験4 被験者2の結果

である。やはりサイズに対しSSVEPの振幅が単調増加している。また、70Hzに比べて、リング無しに対するリング有りの応答が大きくなっていることがわかる。多くの電極で中央よりも右下に呈示されたときの応答の方

が大きい傾向は維持されている。

(4) 時間周波数依存性(実験5): 図12はリング有り(幅0.3度、4本)、直径5.5度の刺激のフリッカー周波数に対応するSSVEPの振幅を周波数の関数としてプロットしたもので

ある。周波数が高いところでは、注視位置が刺激の中央ではなく、右上の方が応答が大きいが、周波数が低くなるにつれて、両者の差は小さくなり、40Hz では逆転が生じている。この傾向は、後頭の電極 O1、O2、O2 で特に顕著であり、高周波数では頭頂よりの電極の応答が大きかったのが低周波になるにしたがい、より後頭に活動の重心が移動しているようである。

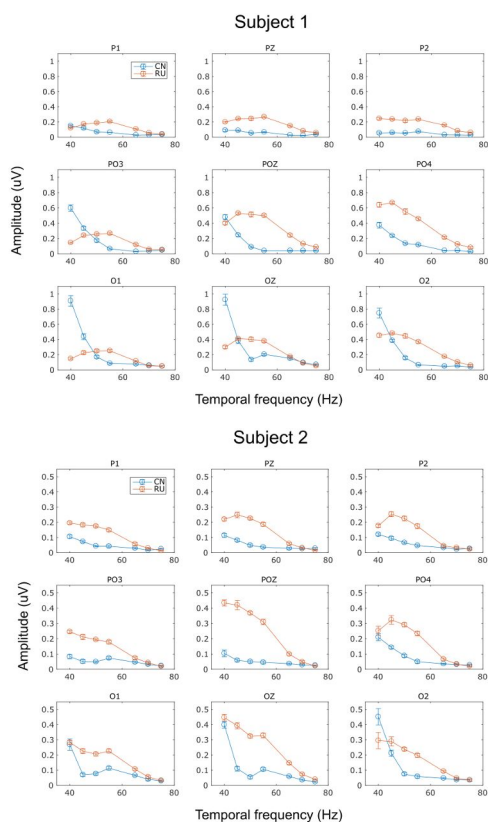


図12 実験5の結果

(5) 本研究の結果から示唆される時間周波数 SSVEP-BCI : 同一被験者を対象に、組織的に実験変数を操作した実験結果から、以下のことが明らかになった。

70Hz という臨界融合周波数相当の高周波数フリッカー刺激でも SSVEP は測定可能であり、刺激呈示位置に応じて、頭表の空間パターンが変化する。

高時間周波数の SSVEP は、強力な異方性がある。すなわち、中心視よりも下視野で極端に大きく、上視野では応答が得られないことがある。

刺激のサイズが大きいほど、大きな SSVEP が得られる。

高時間周波数フリッカーでは、刺激の空間周波数成分は低い方がやや有利である。

これらは、最近発表された高時間周波数に着目した先行研究 (Sakurada et al., 2015) では、全く触れられていない成果である。もちろん、以上の結果は、15 秒というきわめて長い呈示時間の全データを使用して得られたものだが、15 秒中の最初の 2~3 秒でも十

分な SN 比が得られることが明らかになった。

以上の結果から、ちらつきが感じられないほどの高時間周波数の SSVEP-BCI のシステムは、ディスプレイ下部にフリッカー刺激を配置し、電極は複数使用して注視位置によって変化する SSVEP の空間パターンを利用することが望ましいと考えられる。

#### < 引用文献 >

Williams PE, Mechler F, Gordon J, Shapley R, Hawken MJ (2004) Entrainment to video display in primary visual cortex of macaque and humans. *J Neurosci.* 24(38): 8278-8288.

Sakurada T, Kawase T, Komatsu T, Kansaku K (2015) Use of high-frequency visual stimuli above the critical flicker frequency in a SSVEP-based BMI. *Clin Neurophysiol.* 126(10): 1972-1978.

#### 5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 0 件)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

〔その他〕  
ホームページ等

<http://researchmap.jp/read0124789/>

#### 6 . 研究組織

##### (1) 研究代表者

竹本 篤史 (TAKEMOTO, Atsushi)  
京都大学・霊長類研究所・特定研究員  
研究者番号 : 2 0 2 6 3 0 5 6

##### (2) 連携研究者

中村 克樹 (NAKAMURA, Katsuki)  
京都大学・霊長類研究所・教授  
研究者番号 : 7 0 2 4 3 1 1 0