

令和 5 年 6 月 5 日現在

機関番号：24506
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2019～2022
課題番号：19K04298
研究課題名(和文) ヒトの視交叉を利用した視覚刺激型ブレイン・コンピュータ・インタフェースの構築

研究課題名(英文) A novel steady-state visual evoked potential based brain-computer interface using characteristics of optic-chiasm

研究代表者
荒木 望 (Araki, Nozomu)
兵庫県立大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10453151
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、一定周期の点滅刺激を注視した際に現れる脳波を用いたブレイン・コンピュータ・インタフェースを高度化するため、ヒトの視交叉の構造により現れる脳波の強度分布を利用した新しい手法について検討を行った。その結果、視点に対して点滅刺激を行う位置を変化させることで後頭部の視覚野における脳波の強度分布が変化することを確認し、この分布を利用した新たなインタフェースを提案した。このインタフェースでは点滅周期の異なる2つのパターンを画面上に配置することで、水平軸上に配置した7つの注視点のうち、どこに注目しているかを90%程度の精度で分類することが可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では視覚刺激型のブレイン・コンピュータ・インタフェースについて研究を行い、ヒトの視神経の特性である視交叉によって生じる脳波の強度分布を利用することで、少ない刺激パターン数で多くの注視点を分類できる可能性を示した。このような脳波利用インタフェースはメニュー選択や機器操作を非接触で行えるデバイスとして、福祉関連やゲームなどのエンターテインメント分野でも利用が期待されているものである。今回の結果は今後の脳波利用機器の実用化に資するものであると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Steady-state visual evoked potential (SSVEP) is an imperative phenomenon for command selective brain-computer interface (BCI) realization. However, the limited number of selectable commands is an issue for practical use. To improve SSVEP-based BCI, we considered a new method using the intensity distribution of the electroencephalogram caused by optic chiasm. We proposed a new method that uses SSVEP intensities measured at multiple electrodes to classify the horizontal gazing position with only two frequency patterns for stimulation. The results of the verification experiment with ten participants confirmed that the proposed interface has an information transfer rate of over 90 bits/min. This concept could be useful for the practical application of SSVEP-based BCI.

研究分野：計測制御工学

キーワード：ブレイン・コンピュータ・インタフェース 視覚誘発電位 視交叉

1. 研究開始当初の背景

外部刺激や思考、運動などで生じる脳活動の変化を特徴量として用いることで機器の操作や意思表示を行うブレイン・コンピュータ・インタフェース (Brain-Computer Interface: BCI) は、健康な人のみならず、体の不自由な高齢者、あるいは事故や病気などで運動機能を麻痺した患者さんにも利用可能であることから、近年盛んに研究が行われている。特に、頭皮上に貼り付けた電極から取得される脳波を利用した手法は、非侵襲性や簡便性の面からその応用が期待されている。頭皮上脳波を用いた非侵襲型の BCI で利用される脳波の特徴量としては、動作やイメージに関連して発現する事象関連電位 (Event-Related Potential)、動作やイメージなどの事象に応じて特定の周波数帯域の強度が増加/現象する事象関連同期/脱同期 (Event-Related Synchronization/Desynchronization)、一定周期の視覚刺激に応じて発現する定常状態視覚誘発電位 (Steady-State Visual Evoked Potential: SSVEP) などがあり、これらの特徴量を用いて情報伝達を行う BCI の手法が提案されている。このような BCI の実用化には使用環境の変化に対する頑健性と情報伝達効率の向上が不可欠であるが、前述の特徴量にはそれぞれ一長一短があり、BCI が社会で幅広く利用されるためには決め手に欠ける状況となっており、これを克服するために様々な研究が行われている。

その中でも視覚刺激を利用する SSVEP を用いた視覚刺激型 BCI は、使用環境や使用者の差異に対する頑健性が高いという他の特徴量では得がたいメリットを有しており、このメリットを生かすことが実用的な BCI を構築する一つの解となると考えられる。この視覚刺激型 BCI は、ディスプレイなどにより一定周期で点滅する視覚刺激パターンを提示した際に、注視しているパターンと同周期の変動が脳波で観察されることを利用し、パターンの注視により情報伝達を行う手法である (図 1-1)。一方で、この視覚刺激型 BCI には、ディスプレイのハードウェア上の制約や視覚刺激に対する光過敏性発作誘発の危険性から利用できる刺激周波数が限られており、情報伝達効率が悪いという実用上の欠点がある。本研究課題では、この欠点を克服する手法について研究を行う。

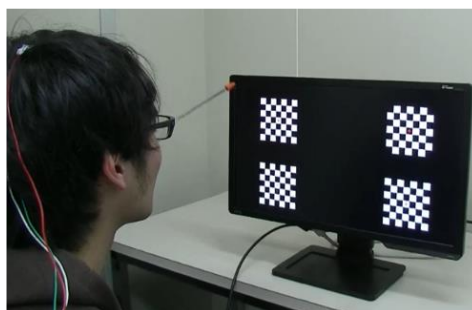


図 1-1 一般的な視覚刺激型 BCI 実験の様子

2. 研究の目的

本研究課題の主たる目的は

「ヒトの視交叉の積極的な利用によって視覚刺激型ブレイン・コンピュータ・インタフェースの情報伝達効率の向上」である。

図 1-2 のようにヒトの視神経は、網膜の右側にあるものは右脳側に、網膜の左側にあるものが左脳側につながっている視交叉と呼ばれる特徴をもつ。また、視野で捉えた画像は眼球でレンズ反転することから、右視野のパターンは左脳側で、左視野のパターンは右脳側で処理されることとなる。この生理学的な特徴を積極的に利用することができれば、右視野に提示した視覚刺激パターンの情報は左脳側の視視野に、左視野に提示した視覚刺激パターンの情報は右脳側の視視野に強く表れることとなる。

この特性を利用して視覚刺激型 BCI の情報伝達効率を向上させるため、本研究課題では当初、以下の項目を実施することで、新たな視覚刺激型 BCI 手法を確立することを目的として研究を行った。

- (1) 視交叉の特性を意識した右視野・左視野に対する視覚刺激と SSVEP の発現部位・発現特性の調査
- (2) 上記の調査結果を踏まえた新規視覚刺激型 BCI の提案
- (3) VR ヘッドセットを利用した、さらなる識別パターン数増加へのチャレンジ

3. 研究の方法

はじめに、(1) の視交叉の特性を意識した右視野・左視野に対する視覚刺激と SSVEP の発現部位・発現特性の調査については、注視点に対する視覚刺激位置を一定間隔で変化させたときの視視野の反応部位の変化を調査した。具体的には図 1-3 のように実験参加者の頭部を顎台で

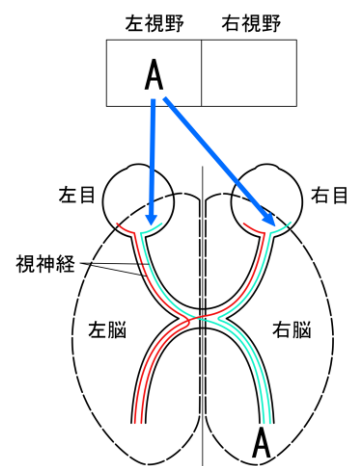


図 1-2 視交叉を利用した視覚刺激の概念図

固定し、モニタ中央の注視点を見つめるように指示した。この状態で刺激パターンの表示位置を一定間隔で左右に変化させ、その際の脳波を視覚野周辺である後頭部の7箇所測定し、視覚野での強度分布の変化を調査した（詳細は文献④参照）。

また、(2)の新規視覚刺激型BCIの提案については、上記の調査結果を踏まえて、図3-2に示すような新しい視覚刺激型非接触メニュー選択インタフェースの検討を行った。このインタフェースは異なる2つの周波数で点滅する刺激パターンを画面の左右に配置し、この画面の中央水平線上に複数の注視点あるいは選択メニューを設けるものである。この画面に表示されるメニューを注視することで、メニューにより刺激パターンからの位置がそれぞれ異なることから、視覚野でのSSVEP強度分布を評価することでユーザが注視しているメニューを推定するものである（詳細は文献⑦、⑧参照）。このインタフェースについては分類性能に関する調査の他、分類手法についても検討を行った。

(3)については、当初、ディスプレイで実施する実験をVRヘッドセット（ヘッドマウントディスプレイHMD）で実施することにより、左右眼の独立刺激が可能となるため、さらなる性能向上が見込めると期待していた。このため、図3-3のような実験システムの準備までは進めていたが、研究機関中のコロナ禍の影響などもあり、VRヘッドセットによる性能向上に関する実験は十分に行うことができなかった。

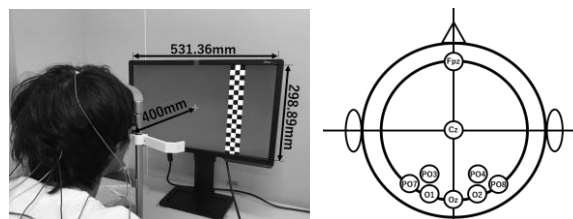


図 3-1 視覚刺激位置に対する SSVEP 発現強度分布調査実験（左）と脳波計測位置（右）

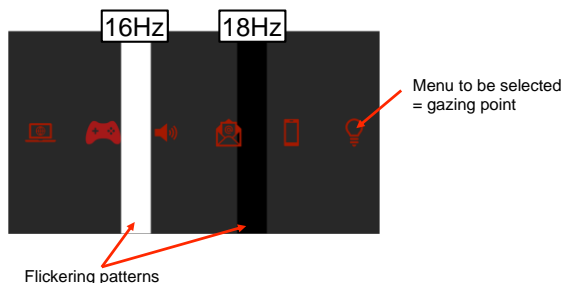


図 3-2 提案する視覚刺激型非接触メニュー選択インタフェースの画面



図 3-3 HMD による視覚刺激・インタフェース実験システム

4. 研究成果

まず、(1)の視交叉の特性を意識した右視野・左視野に対する視覚刺激とSSVEPの発現部位・発現特性の調査については、図3-1に示した実験系で16Hzの視覚刺激パターンを用いた実験により得られた刺激位置（視野角）と右脳側、左脳側それぞれでのSSVEP強度をまとめたグラフを図4-1に示す。この図より、視点に対して左側刺激となる -4.6° では左側のSSVEP強度が、右側刺激となる 4.6° では右側のSSVEP強度が優位に大きくなる、刺激位置と同側の脳波強度が大きくなる傾向を確認した。また、視覚刺激位置が注視点から遠ざかるほどSSVEP強度とその左右差が低下し、その範囲が視野角で $\pm 4.6^\circ$ 程度であることも確認した。12名の参加者で実験を行ったところ、図4-1と同様の傾向が12名中6名で確認された。一方で、図4-1とは異なり、刺激位置と対側の脳波強度が大きくなる傾向を示すものと、刺激位置に関わらず一方の脳波強度のみが大きくなる傾向を示すものの3つの傾向が存在することが確認された（本成果の詳細は④、⑦、⑧で報告）。視交叉や視覚野の位置などから、生理学的には刺激位置と同側の脳波強度が大きくなる傾向を示すと考えられるため、このような事象が生じる原因については科学研究費助成事業（基盤研究C、課題番号：22K04014）で継続して調査・検討を行うものとする。

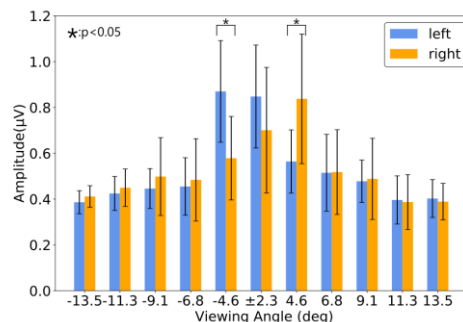


図 4-1 視覚刺激位置に対する SSVEP 強度分布の傾向

次に(2)の新規視覚刺激型BCIの構築については、(1)の調査結果からは刺激位置に対する脳波の強度分布についての共通の傾向は見られなかったものの、視野角が $\pm 4.6^\circ$ 以内の範囲で左脳側、右脳側で強度差があることは確認した。このため、図3-2に示した16Hzおよび18Hzの2つの周波数の視覚刺激パターンを利用するインタフェースを構築し、左側パターンの両端および中央の3点、画面中央、右側パターンの両端および中央の3点の計7点の注視点を設定し、計測した7箇所での脳波から注視している点を推定する実験を実施した。このインタフェ

ースの評価では、計測した 7 箇所脳波でそれぞれ 16 Hz および 18 Hz の強度を離散フーリエ変換により計算し、得られた値からサポートベクターマシン (SVM) を用いて注視した点を分類・推定する割合を計算した。なお、本評価では測定したテストデータを 3 分割し、交差検定を行うことで分類性能の評価を行った。図 4-2 に 10 名の参加者のデータから得られた離散フーリエ変換の窓幅と識別率との関係を示す。図より窓幅を 2000 ms にするとどの実験参加者も識別率が 80% を越えていることが分かり、10 名の実験参加者の平均値では識別率は 90% 以上であることが確認された。このインタフェースでは 2 種類の刺激パターンから 7 点の注視点を推定できるため、少ない刺激パターンから識別パターン数を増やすという意味で SSVEP を利用した BCI の性能向上に寄与できるものであると考えられる (本成果の詳細は⑦, ⑧で報告)。

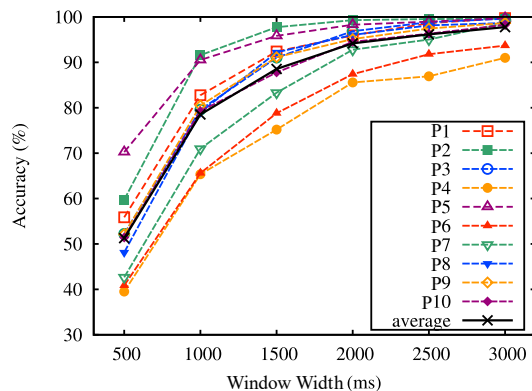


図 4-2 新規視覚刺激型 BCI によるデータ長 (窓幅) と注視点推定率との関係

また、本研究課題の中では本研究の先行課題 (若手研究 B, 課題番号: 16K21290) で行っていた視覚刺激型インタフェースのリハビリテーションシステムへの応用 (詳細は②, ③, ⑥で報告) や、パターン分類に使用する機械学習法の検討 (詳細は①で報告)、脳波を簡易的に計測するための乾式電極の検討 (詳細は⑤で報告) などとも合わせて行った。

特に本研究課題で提案した視覚刺激型インタフェースについては、図 4-1 で示した SSVEP の強度分布に 3 つの傾向がある理由が分かればより高度化することが可能であると考えられるため、今後も継続して調査・実験を進めていく予定である。

<引用文献>

- ① N. Araki, H. Takatani, T. Sato and Y. Konishi: "Proportional-Derivative Controller Based Gradient Descent Method for Parameter Optimization of Machine Learning", SICE Annual Conference 2019, (2019), 1715-1716.
- ② 志水啓悟, 荒木望, 中谷真太郎, 小西康夫: "仮想空間上での運動状態の提示と事象関連脱同期の発現に関する検討", 2019 年度日本人間工学会関西支部大会, (2019), 43-44.
- ③ 岸和輝, 荒木望, 中谷真太郎, 小西康夫: "簡易脳波計を用いた BCI 型下肢リハビリテーションシステムの開発", 2019 年度日本人間工学会関西支部大会, (2019), 57-58.
- ④ 菅野将輝, 荒木望, 中谷真太郎, 小西康夫, 満洲邦彦: "視点に対する視覚刺激位置と視覚誘発電位の発生部位に関する検討", 2019 年度日本人間工学会関西支部大会, (2019), 75-76.
- ⑤ M. Kimura, S. Nakatani, S. Nishida, D. Taketoshi and N. Araki: "3D Printable Dry EEG Electrodes with Coiled-Spring Prongs", Sensors, 20(17):4733, (2020), 14 pages.
- ⑥ S. Nakatani, N. Araki, T. Hoshino, O. Fukayama and K. Mabuchi: "Brain-controlled cycling system for rehabilitation following paraplegia with delay-time prediction", Journal of Neural Engineering, 18, 016022, (2021), 13 pages.
- ⑦ 宮崎康佑, 荒木望, 中谷真太郎, 小西康夫: "左右視野独立刺激による視覚誘発電位利用インタフェースの検討", 日本人間工学会第 62 回大会, (2021), 110-111.
- ⑧ K. Miyazaki, S. Nakatani and N. Araki, "Brain-Computer Interface for Horizontal Gaze Position Estimation Based on Steady-State Visual Evoked Potential Topographic Maps", Proc. of the SICE Annual Conference 2022, FrA08.3, (2022), 1024-1027.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 2件）

| | |
|--|---------------------------|
| 1. 著者名 Kimura Masaya, Nakatani Shintaro, Nishida Shin-Ichiro, Taketoshi Daiju, Araki Nozomu | 4. 巻 20 |
| 2. 論文標題 3D Printable Dry EEG Electrodes with Coiled-Spring Prongs | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Sensors | 6. 最初と最後の頁 4733 ~ 4733 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20174733 | 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 - |

| | |
|---|-------------------------------|
| 1. 著者名 Nakatani Shintaro, Araki Nozomu, Hoshino Takayuki, Fukayama Osamu, Mabuchi Kunihiko | 4. 巻 18 |
| 2. 論文標題 Brain-controlled cycling system for rehabilitation following paraplegia with delay-time prediction | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Neural Engineering | 6. 最初と最後の頁 016022 ~ 016022 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1741-2552/abd1bf | 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6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 宮崎康佑, 荒木望, 中谷真太郎, 小西康夫 |
| 2. 発表標題 視覚誘発電位に基づく空間情報利用型インタフェースの検討 |
| 3. 学会等名 2021年度日本人間工学会関西支部大会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 N. Araki, H. Takatani, T. Sato and Y. Konishi |
| 2. 発表標題 Proportional-Derivative Controller Based Gradient Descent Method for Parameter Optimization of Machine Learning |
| 3. 学会等名 SICE Annual Conference 2019 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 志水啓悟, 荒木望, 中谷真太郎, 小西康夫 |
| 2. 発表標題 仮想空間上での運動状態の提示と事象関連脱同期の発現に関する検討 |
| 3. 学会等名 2019年度日本人間工学会関西支部大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 岸和輝, 荒木望, 中谷真太郎, 小西康夫 |
| 2. 発表標題 簡易脳波計を用いたBCI型下肢リハビリテーションシステムの開発 |
| 3. 学会等名 2019年度日本人間工学会関西支部大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 菅野将輝, 荒木望, 中谷真太郎, 小西康夫, 満淵邦彦 |
| 2. 発表標題 視点に対する視覚刺激位置と視覚誘発電位の発生部位に関する検討 |
| 3. 学会等名 2019年度日本人間工学会関西支部大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 K. Miyazaki, S. Nakatani and N. Araki |
| 2. 発表標題 Brain-Computer Interface for Horizontal Gaze Position Estimation Based on Steady-State Visual Evoked Potential Topographic Maps |
| 3. 学会等名 SICE Annual Conference 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

2022/03/29 2021年度日本人間工学会関西支部大会 優秀発表賞受賞（宮崎康佑）
<https://www.ergonomics.jp/local-branch/kansai/>

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 | 中谷 真太郎 (Nakatani Shintaro) (10781700) | 鳥取大学・工学研究科・講師 (15101) | |

| | 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 |
|-------|---------------------------------|-----------------------|---|
| 研究協力者 | 菅野 将輝 (Sugano Masaki) | 兵庫県立大学・工学研究科 | 視覚刺激位置と脳波の視覚野における強度分布調査 担当 2020年3月修了 |
| 研究協力者 | 宮崎 康佑 (Miyazaki Kousuke) | 兵庫県立大学・工学研究科 | 視覚刺激位置と脳波の視覚野における強度分布調査, 新規BCI構築・評価担当 2022年3月修了 |
| 研究協力者 | 岸 和輝 (Kishi Kazuki) | 兵庫県立大学・工学研究科 | BCI応用システム構築担当 2020年3月修了 |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|------------------------------|-----------------------|---|
| 研究協力者 | 志水 啓悟 (Shimizu Keigo) | 兵庫県立大学・工学研究科 | BCI応用システム（主にVRヘッドセットを利用したシステム）構築担当 2020年3月修了 |

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 |
|---------|---------|
| | |