

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26350496

研究課題名(和文) 機械的触覚刺激による事象関連電位を用いた意図情報の抽出

研究課題名(英文) Extraction of Intention using Event-Related Potential for Mechanical Tactile Stimuli

研究代表者

堀 潤一 (Hori, Junichi)

新潟大学・自然科学系・教授

研究者番号：80209262

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、視聴覚刺激に代わる方法として触覚刺激による事象関連電位を用いたブレインコンピュータインタフェース(BCI)を開発することを目的とした。点字ディスプレイとして使用されている機械的触覚刺激装置で指先に触覚刺激を提示し、ユーザの意図情報を抽出する方法を検討した。具体的には、触覚刺激によるオドボール課題を課し、事象関連電位を検出することで、触覚の認知、識別に関する諸特性を調査した。触覚刺激を用いたBCIの精度は、被験者のタスクに対する集中度やタスクの難易度が大きく影響することを確認した。チャンスレベルよりも高い確度が得られ、実用化の可能性があることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：A Brain-computer interface (BCI) using an event-related potential (ERP) induced by a tactile stimulus was investigated in this study. We focused on tactile sensations instead of visual and auditory sensations. Several patterns of mechanical tactile stimuli were applied to the fingers of both hands using two piezo actuators that were used as a braille display. Human experiments based on the oddball paradigm were carried out to investigate the property of recognition and discrimination for tactile stimuli. Subjects were instructed to pay attention to unusual target stimuli while avoiding other frequent non-target stimuli. We confirmed that the accuracy of the proposed method is influenced from subject's concentration to the task and the difficulty of the task. The proposed method would be applicable to practical use from the experimental results.

研究分野：人間医工学

キーワード：ブレインコンピュータインタフェース 事象関連電位 触覚刺激 オドボール課題 点字ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

コミュニケーションは、人間が生活する上で必要不可欠である。しかし、ALS(筋萎縮性側索硬化症)や筋ジストロフィー、脊髄損傷などの肢体不自由者は、健常者のコミュニケーション手段が使用できなくなる場合がある。そこで動作を伴わないコミュニケーション手段として、ブレインコンピュータインタフェース(BCI)が注目されている。

現在、脳波を用いた代表的なBCIとして、定常状態視覚誘発電位を用いた方法、アルファ波、ベータ波などの定常脳波を用いた方法、運動関連電位を用いた方法、事象関連電位を用いた方法[1]などがある。これらの方法の中で、事象関連電位を用いた方法は、訓練が要らずユーザへの負担が少ないという点から、病態進行が早いALS患者に対して有効である。また、刺激後約300msに出現する正電位P300は、他の事象関連電位と比べ振幅が大きく、検出しやすい。

P300は、オドボール課題によって誘発される。これは、被験者に対して識別可能な2種類の感覚刺激をランダムに提示し、提示頻度の低い方の刺激に対して所定の反応課題を行う方法である。このときの脳波を計測すると、低頻度刺激を提示した後にのみP300が誘発される。

このオドボール課題を応用してBCIを構築できる。識別可能な複数の刺激をランダムな順序で使用者に提示し、使用者はその中の1つの刺激に注目する。使用者は注目した刺激が提示された回数を数える。このとき被験者が注目した刺激を注目刺激、それ以外の刺激を全て非注目刺激みなすとオドボール課題と考えることができる。計測した脳波からP300を検出することにより、どの刺激に注目したかを判別できる。P300を用いたBCIとして、Farwellらが提案した多選択メニュー型の文字入力インタフェースP300 Spellerがある[1]。P300 Spellerでは、6行6列マトリックスのスクリーンキーボードを用い、全ての行と列はランダムに点滅する。この際に出現するP300を捉えることにより、インタフェースを構築している。これらのBCIの研究は、いずれも視覚刺激による事象関連電位を対象としている。しかし、ALS患者においては、病状が進行すると自力で開眼できなくなるため、視覚の利用も困難となる。さらに、視覚機能に異常がある場合や、重要な情報源である視覚機能を温存したい場合もあり、視覚刺激に代わる方法が期待されている。聴覚刺激を用いたBCIについても報告されている[2]。しかし、この方法も使用中は聴覚機能をふさいでしまう。

そこで、本研究では他の感覚器として触覚刺激に注目した。運動機能に重篤な障害ある場合でも、その部分の体性感覚が残存していれば、触覚刺激を与えることによってヒトの機能を妨げることがないと考えられる。体性

感覚誘発電位は、電気刺激や機械刺激などで誘発される[3],[4]。触覚刺激を用いたBCIについても研究されているが、視覚刺激や聴覚刺激と比較すると少数で、いまだ実用化されていない[5]。

2. 研究の目的

本研究では、触覚刺激を用いたBCI実現に向けて、選択項目が2クラスのBCIを開発し、評価を行うことを目的とした。片手の場合と両手の場合、提示頻度が異なる場合等を比較することにより、触覚刺激を用いたBCIの向上を目指した。触覚刺激型BCIに適した刺激提示方法を検討することにより、精度、操作性の向上が期待できる。

3. 研究の方法

(1) BCIシステム概要

本論文で構成するBCIシステムの概要を図1に示す。被験者に触覚刺激を提示し、特定の刺激にのみ注意を傾けることによって意思の出力を決定するシステムを構築した。被験者は、国際10-20法に基づく電極キャップ(日本光電 Electro Cap)を装着した。脳波データは、多チャンネルデジタル脳波計(日本光電 EEG-1100)で記録した。計測した脳波からP300を検出することによって出力を決定した。

(2) 触覚刺激装置

本研究ではピエゾ式触覚刺激装置(ケーゲーエス社製)を使用した。刺激部の拡大図と装置本体を図1上部に示す。この装置は視覚障害者用の点字ディスプレイとして用いられている。直径1.3mmの球状ピン8本で構成され、各ピンは2.4mm間隔で配置されている。各ピンは0.7mm上下に動く。この上下の動作によって機械的な刺激を提示する。刺激の強度は装置本体でプログラムより制御できる。被験者へ提示した刺激の強さは11gfとした。なお、装置の駆動音を遮断するため、被験者は実験中ヘッドフォンを装着し、ピンクノイズを提示した。

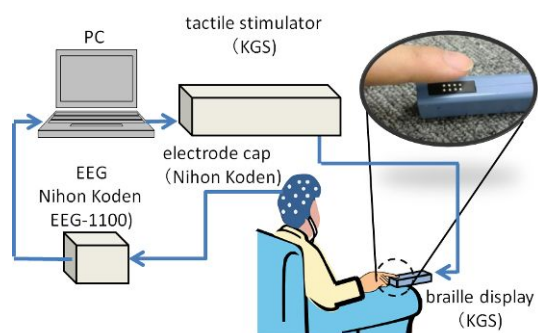


図1 BCIシステム概要

(3) 実験タスク

本報告では 2 選択 BCI について説明する。触覚刺激の提示部位が片手人差し指の場合と両手人差し指の比較実験を行った。さらに、注目刺激と非注目刺激の提示頻度が 1:4 の場合と、1:3 の場合の比較実験を行った。図 2 に 1:4 の場合の視覚刺激を示す。片手 2 選択は右手の人差し指に刺激 A,B,C を刺激頻度が 1:1:3 となるように提示した。両手 2 選択も同様に刺激を提示した。被験者には、低頻度の刺激 A または B の刺激の回数を数える課題を課した。例えば、刺激 A に注目することによって、注目刺激と非注目刺激の提示頻度が 1:4 となり、オドボール課題が成立する。

2 選択 BCI の実験タイムチャートを図 3 に示す。まず、被験者に A か B の注目刺激を音声で指示し、その後刺激が提示される。刺激間隔を 0.5s、刺激提示時間を 0.25s とした。提示頻度が 1:4 の場合 5 刺激で 1 試行とし、5 試行で 1 セットとした。1 セット後に休憩を入れ、次に新たな注目刺激を指示した。これを 10 セットで 1 回分とし、片手と両手をランダムに実施した。提示頻度が 1:3 の場合の触覚刺激、並びに実験タイムチャートも、刺激頻度が 1:1:2 になる他は同様である。機械学習のためのトレーニングデータとテストデータは同じ日に測定を行った。提示頻度 1:4 と 1:3 は別日に実施した。

(4) 実験

被験者は健康男性 3 名、健康女性 2 名 (21-23 歳) が実験に参加した。本実験は、新潟大学工学部倫理審査委員会の承認を得て実施した (15074)。被験者には、実験の目的と手順を説明し、同意を得た。実験は図 1 のシステムで実施した。記録した脳波は、0.53-120Hz のバンドパスフィルタを通したのち、サンプリング周波数 500Hz で PC に取り込んだ。

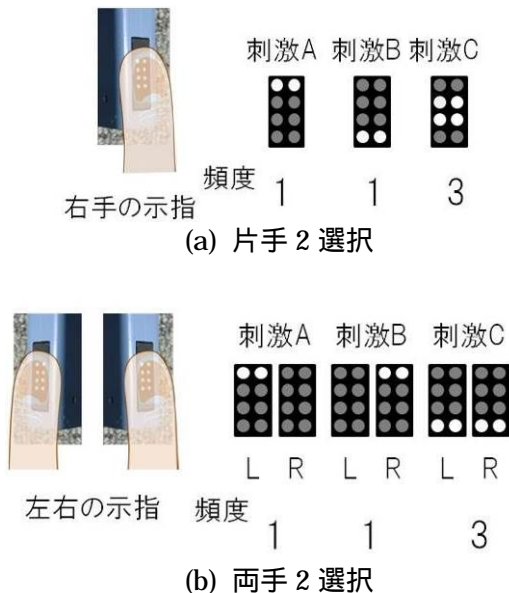


図 2 触覚刺激 (提示頻度 1:4 の場合)

(5) 脳波解析手法

図 4 に脳波計測から確度産出に至るまでの流れを示す。まず、取得した脳波から、特徴抽出を行った。波形の切り出し、ダウンサンプリング、正規化を行った。波形の切り出しは、触覚刺激装置から出力されるトリガ信号を基準として、刺激後 800ms までの区間とした。切り出した波形に対して 20Hz にダウンサンプリングを行い、特徴量の次元を削減した後、最大振幅値で正規化した[6]。

次に、特徴量を用いて、機械学習を行った。本研究ではステップワイズ線形判別器 (SWLDA) を用いた[6]。SWLDA はフィッシャー線形判別器を拡張した判別器で、判別に適した特徴量を選択して特徴量の次元を減少できる。

(6) 評価

システムの評価には、次式で定義する確度を用いた。

$$\text{確度} = \text{正出力数} / \text{全出力数} \times 100 [\%]$$

ここで、全選択数とは Yes/No の選択を行った回数で、正出力数とは得られた出力が実際に行った選択と一致した回数である。

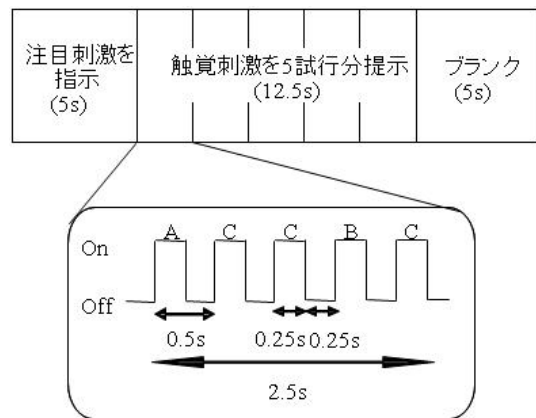


図 3 タイムチャート (提示頻度 1:4 の場合)

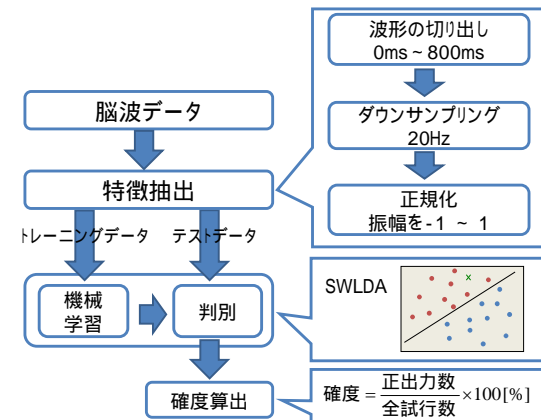


図 4 特徴抽出, 判別の流れ

4. 研究成果

代表例として、被験者 E の加算平均波形を図 5 に示す。計測部位は Pz 電極で、赤は注目刺激の波形、青は非注目刺激の波形を示す。片手、両手、提示頻度 1:4、1:3 のどのタスクでも注目刺激において、刺激提示後約 300 ~ 500ms で P300 が誘発されており、注目刺激と非注目刺激の振幅差が大きいことが確認できる。一方、被験者 D では、被験者 E と比較して振幅差が小さかった（紙面の都合上結果は省略）。5名の被験者のうち2名の振幅差が小さかった。

P300 の振幅差を図 7 に、判別確度を図 8 に示す。振幅差大の被験者の平均を示す。振幅差が小さいと確度は低く、振幅差が大きいと確度は高いことを確認した。振幅差が小さい場合、振幅差と確度が同様な傾向を示したが、振幅差が大きい場合、振幅差と確度の傾向が異なった。この結果から、振幅差がある程度以上大きくなると、確度は振幅差に依存しなくなると考えられる。

刺激部位間の確度について比較すると、片手と両手に差は見られなかった。これは、個人差の影響により、片手に集中しやすい場合と両手に集中しやすい場合に分かれたのではないかと考えられる。

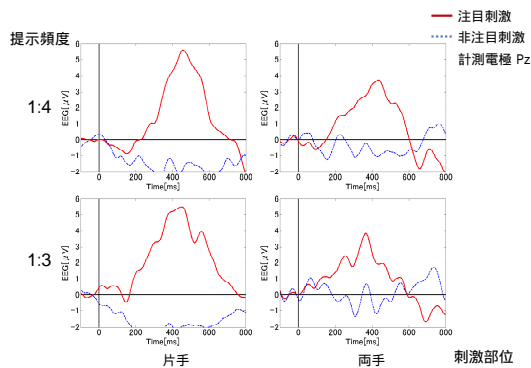


図 5 事象関連電位の加算平均波形

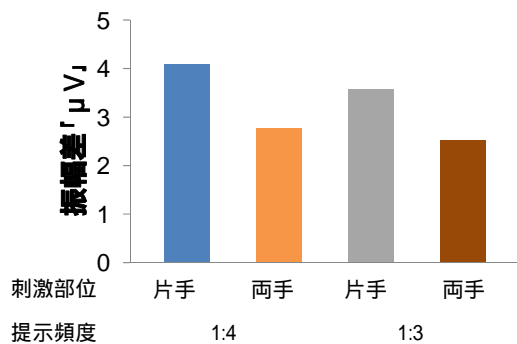


図 6 振幅差

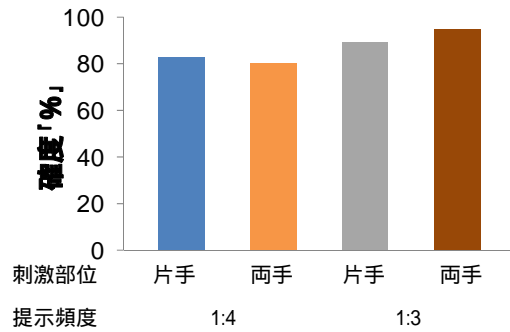


図 7 確度

提示頻度間の確度について比較すると、提示頻度 1:4 と比べて 1:3 で高い傾向が見られた。一般的に視聴覚を用いた BCI システムは、低頻度の刺激であるほど高い確度を得られるが、触覚では確認できなかった。低頻度の場合タスク時間が長くなるため、被験者の集中力が低下したと考えられる。

以上をまとめると、触覚刺激を用いたオドボール課題によって発生する事象関連電位を利用した 2 選択 BCI システムについて検討した結果、P300 の振幅は片手が大きいが、確度は比率 1:3 が高かったことが確認でき、実用化の可能性を示した。今後の課題として、被験者数の増加、集中力の持続方法の検討、BCI の選択数の増加などが挙げられる。

< 引用文献 >

- [1] L. A. Farwell, E. Donchin, "Talking off the top of your head: Toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials." *Electroen. Clin. Neuro.*, vol. 70, no. 6, pp.510-523, Dec. 1988.
- [2] S. Halder, M. Rea, R. Androni, F. Nijboer, E.M. Hammer, S.C. Kleih, N. Birbaumer, A. Kubler, "An auditory oddball brain-computer interface for binary choices", *Clinical Neurophysiology*, vol. 121, Issue 4, pp. 516-523, Apr. 2010.
- [3] J. Hori, T. Kishi, R. Kon, "Analysis of somatosensory evoked Potential for mechanical stimuli mapped on realistic-shaped cortical surface," *電気学会論文誌 C*, vol. 133, no. 1, pp. 169-176, Jan. 2013.
- [4] 吉田優子, 西平賀昭, 八田有洋, 麓正樹, "体性感覚刺激で誘発された P300 と刺激—反応適合性", *体力科学*, vol. 50, no. 2, pp. 219-228, Apr. 2001.
- [5] A.-M. Brouwer, Jan B.F. van Erp, "A tactile P300 brain-computer interface", *Frontiers Neuroscience*, vol. 4, no. 19, May 2010.
- [6] D.J. Krusienski, E.W. Sellers, F. Cabestain, S. Bayouth, D.J. McFarland, T.M. Vaughan, J.R. Wolpaw, "A comparison of classification techniques for the P300 speller", *Neural Eng.*, vol. 3, no. 4, pp. 299-305, Jun. 2006.

5 . 主な発表論文等
〔雑誌論文〕(計2件)

J. Hori, N. Okada, "Classification of tactile event-related potential elicited by braille display for brain-computer interface," *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, vol. 37, pp. 135-142, 2017. DOI: 10.1155/2016/8404565, 査読有

J. Hori, S. Takasawa, "High-resolution cortical dipole imaging using spatial inverse filter based on filtering property," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2016, article ID. 8404565, pp. 1-10, 2016. DOI: 10.1016/j. bbe. 2016.10.007, 査読有

〔学会発表〕(計8件)

赤川 怜, 堀潤一: 触覚刺激を用いた2選択ブレインコンピュータインタフェースの検討, N-Hybrid Conference, 朱鷺メッセ(新潟), 2017年1月21日.

Hori, J., Takasawa S.: "Cortical dipole Imaging of visual evoked potential using sigmoid function-based filtering property," Proc. of 8th Int. Workshop on Biosignal Interpretation, Int. House Osaka (Osaka), Nov. 1-3, 2016.

Otsuka, S., Hori, J.: "Wireless brain-computer interface based on steady-state visual evoked potential considering user's gaze," Proc. of 8th Int. Workshop on Biosignal Interpretation, Int. House Osaka (Osaka), Nov. 1-3, 2016.

赤川 怜, 堀潤一: 触覚刺激を用いた2選択ブレインコンピュータインタフェースの検討, 生体医工学シンポジウム, 大雪クリスタルホール(北海道・旭川), 2016年9月17-18日.

Hori, J., Takasawa S.: "High-resolution cortical dipole imaging by means of spatial inverse filter considering filtering property," Proc. of 38th Annual Int. Conf. of IEEE EMBS, Orlando (USA), Aug. 16-20, 2016.

大塚真吾, 堀潤一: Emotiv EPOCを用いたブレインコンピュータインタフェースの注視・非注視判別, 生体医工学シンポジウム, 岡山国際交流センター(岡山), 2015年9月25-26日.

谷本勝啓, 堀潤一: 視聴覚刺激同時刺激時のオドボール課題における事象関連電位の解析, 生体医工学シンポジウム, 岡山国際交流センター(岡山), 2015年9月25-26日.

谷本勝啓, 堀潤一: 視聴覚刺激が事象関連電位 P300 に与える影響について, 日本生体医工学会大会, 名古屋国際会議場(愛知・名古屋), 2015年5月7-9日.

J. Hori, N. Okada, "Brain-computer interface based on somatosensory evoked potential using braille display," Proc. 37th Annual Int. Conf. IEEE EMBS, Milano (Italy), Aug. 25-29, 2015.

T. Tsunashima, J. Hori, "Examination on motor imagery task for brain computer interface," 7th Biomed. Eng. Int. Conf., Kyushu Univ.

(Fukuoka), Nov. 26-28, 2014.

S. Takasawa, J. Hori, "Improvement of cortical dipole imaging based on filtering property," 7th Biomed. Eng. Int. Conf., Kyushu Univ. (Fukuoka), Nov. 26-28, 2014.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

堀 潤一 (HORI Junichi)
新潟大学・自然科学系・教授
研究者番号: 80209262

(2)研究協力者

加藤 康憲 (KATO Yasunori)
ケージーエス株式会社

岡田 奈雄登 (OKADA Naoto)
新潟大学・大学院自然科学研究科・
博士前期課程

赤川 怜 (AKAGAWA Rei)
新潟大学・大学院自然科学研究科・
博士前期課程