

2015年度

脳情報総合研究室

「脳情報計測に関する基礎研究」

ミッション最終報告書

代表 礒塚 龍望

1. 概要

近年, 疾患由来の運動麻痺や脳障がい, 加齢による身体機能の低下などを原因とする身障者支援などを目的として, 脳と外部機器の間で情報伝達を行う技術であるブレイン・マシン・インタフェース (Brain Machine Interface: 以下 BMI) に関する研究が広く行われつつある。

世界中の先進諸国で顕在化しつつある少子高齢化とも相俟って, BMI へ向けられる社会のニーズは益々増大してゆくものと考えられる。

しかし, 現時点で研究の進められている高性能 BMI は大規模かつ高価なものがほとんどである。そこで, 脳情報総合研究室プロジェクトでは, 可能な限り安全かつ安価で, 利便性の高い BMI 技術の開発を目的として, 研究を行っている。

2. 活動内容

<プロジェクト全体への研究支援>

本ミッションは目標の一つに「プロジェクト全体への継続的な研究支援」を掲げている。そこで今年度は定期的にプロジェクト全体で定例集会の機会を設け, 勉強会や意見交換会を実施し, 積極的な知見の獲得や共有を行い, それに基づいた基礎的研究や実験環境の構築を行った。

<プロジェクトで使用している研究機器の紹介>

BMIの研究は数多くの機関で行われているが, 現段階では高性能を誇る反面, 大規模かつ高価な設備を必要とするものが多く, 侵襲リスクを伴うものも存在する。その点, 本ミッションでは, 安価かつ安全で手軽に同様のシステムの再現を試みるという点に, 創造性があると考えている。

本ミッションでは脳波計として市販価格約 15 万円の (Emotiv EPOC : Emotiv Systems) (図 1) を使用した。Emotiv EPOC は一般的なレベルの脳波計と比較して性能の面で劣るが, 低コスト・低拘束・安全などの利点を兼ね備えている。



図 1 Emotiv EPOC

<視覚刺激提示実験環境の構築>

内外的刺激により誘発される脳波である誘発電位(evoked potential:以下 EP)や事象関連電位(event-related potential:以下 ERP)を測定する際、ノイズ逓減の為に加算平均処理を行うのが一般的である。

当プロジェクトにおいても、今年度は同様の脳波を扱う機会が数多くあったため(例:SSVEP,P300等)、必須の解析手法であった。

しかし、加算平均処理に必要な、刺激の同期信号を入力するための外部入力端子が Emotiv EPOC には搭載されていなかった。

そこで、各実験において解析の対象外である後頭部電極を代替入力端子として、ディスプレイの画面端に設置したフォトランジスタより同期信号を検出・入力を行う実験環境を構築した(図 2)。これにより、視覚刺激提示を扱う実験に関しては、加算平均処理法を利用することが可能になった。

<矢印記号提示時における特徴的脳活動の検出>

BMI の実用化を前提として研究開発を行う際、利用者の需要を考慮する必要があるが、その中でも優先的に求められるのは「操作の簡便性」であると考えられる。いくら低コストで安全性の高い BMI システムであっても、利用者にとって制御が困難であるのなら実用的とは言いがたい。利用者を身障者と仮定するなら尚更である。

そこで、本研究では先行研究[1]に着目し、将来的に「矢印記号を視認しただけで外部機器の操作が可能な BMI システム」の開発を行うことを想定した上で「矢印記号の視認により誘発される特徴的な脳波」の検出を試みた。

先行研究では約 600 万円の脳波計(Synafit EE2500 : 日本 GE マルケット) (図 3)を用いて矢印記号視認時に生ずる有意な脳波の検出を確認している。本研究では脳波計の差異以外の実験条件は同じくすることで対照実験としての形を取り、どの程度信頼性あるデータが得られるかを確認した。



図 2 刺激同期信号検出装置



図 3 Synafit EE2500

・実験内容

実験は暗室で行い、被験者に提示する視覚刺激としては、上下左右の方向を示す 4 種類の矢印記号(↑・↓・←・→)を使用し、それらを表示する出力機器にはブラウン管ディスプレイを用いた。

被験者に対し、矢印記号を視覚刺激としてディスプレイの画面中央に 3 秒間表示し、その後 3 秒間非表示にする。(図 4). 以上の試行を 1 サイクルとして、合計 120 サイクルの刺激提示を連続して行った。

提示される矢印記号の種類は 1 サイクル毎にランダムなものとしたが、4 種類の矢印記号(↑・↓・←・→)について、それぞれの提示回数が 30 回ずつとなるように調整した。

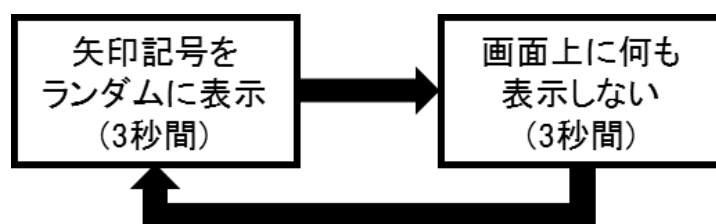


図 3 視覚刺激提示実験の 1 サイクルの流れ図

・実験結果

先行研究[1]より、提示された矢印記号の向きを視認して認知する際、右中前頭回(MFG)において有意な脳活動が発生することが確認されている。また、ERP については、総じて潜時 500 ミリ秒前後で振幅に大きな変化が生じるが、その極性は視認する矢印の種類に依存することなどが確認されている。

そこで、本研究においても、矢印記号表示中に測定された EEG(脳波)を各刺激の種類(矢印記号の種類)ごとに加算平均し、得られた ERP(図 4, 図 5, 図 6, 図 7)について検討した。また、解析に使用する頭皮電極には右 MFG の位置 に対応する AF4 電極を選択し、視覚刺激の同期信号を入力する電極には O1 電極を選択した。

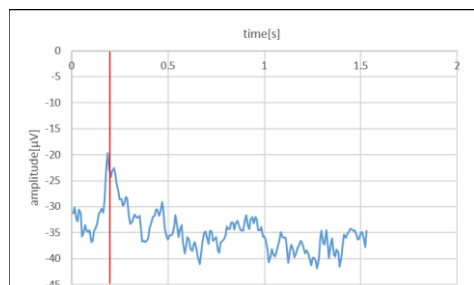


図 4 「↑」視認時の ERP

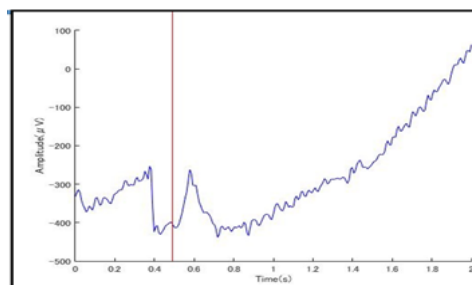


図 5 「↓」視認時の ERP

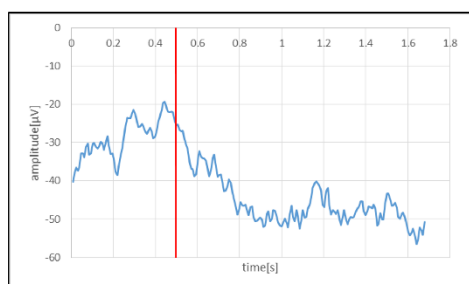


図6 「←」視認時のERP

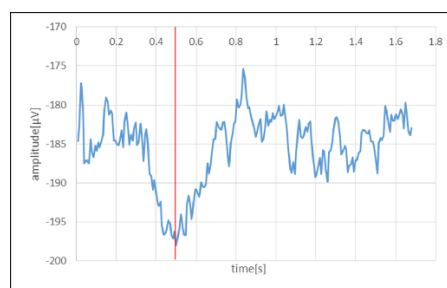


図7 「→」視認時のERP

以上に示した実験結果から, Emotiv EPOC を用いて矢印記号を視認した際に得られた ERP に注目すると, 上下左右を表す矢印記号(↑・↓・←・→)を表す矢印記号をそれぞれ視認した際, どの場合においても潜時 500 ミリ秒前後(赤線部)で振幅に大きな変化が生じており, その極性は逆となっていることが確認できる. この結果は前述した先行研究[1]における結果と一致しており, Emotiv EPOC の BMI への応用可能性を示すことができたと考えている.

<ASSR を利用した精神疲労度の定量化>

一般に, 疲労度を定量化する手法としては LT (lactate threshold, 乳酸閾値) がある. これは客観的に「身体的な疲労度」を評価するうえで有効ではあるものの, 煩雑な作業, 集中を要する作業では「精神的な疲労度」が重要となる.

そこで, 本研究では聴性定常反応 (Auditory Steady-State evoked Responses, 以下 ASSR) を利用することで, 「精神的な疲労度」の定量化を試みた.

ASSR とは, 40~100Hz の音声刺激に対し聴覚野で誘発される EP の一種である. 一般的に 400~1000Hz の正弦波を 40Hz あるいは 80Hz の正弦波で振幅変調したものをを用いることが多く, 搬送波を 1000Hz 以上にすると同じ音圧でも ASSR の強度は減衰することが知られている[2]. ASSR は乳幼児への聴覚検査に利用されることが多いが, ワークロードが誘発される強度に影響することも知られている[3].

そこで本研究では安価な脳波計 Emotiv EPOC を用いて ASSR を検出し, ワークロードから疲労度による ASSR の強度の差について検証を試みた.

・実験内容

音声刺激として 400Hz 正弦波を 40Hz 正弦波で振幅変調したものを, 安静開眼状態の被験者に 6 分間聞かせ, 得られた EEG の初め 1 分間を切り捨てた 5 分間を 1 分ごとに分割し, 計 5 つの EEG を用いて加算平均処理を行った.

・実験結果

加算平均処理によって得られた波形にフーリエ解析を施した結果を図8に示す。

図8より49Hz付近に強勢が見られるが、ASSR惹起の判断材料としては信頼性に欠ける。

そこで、離散ウェーブレット変換による多重解像度分析（以下:DWT）を用いて低周波帯域を除去すると図9のようになる。40Hz帯に強勢が確認できるが、34Hz付近にも強勢が存在し、ASSRが惹起してくると断言するのは困難である。

現段階では統計的分析を行うほどのデータが集まっていないため、有意差検定などの統計解析は行っていないが、得られたデータがどれだけ有意なものであるかの検討は、急務であると考えている。

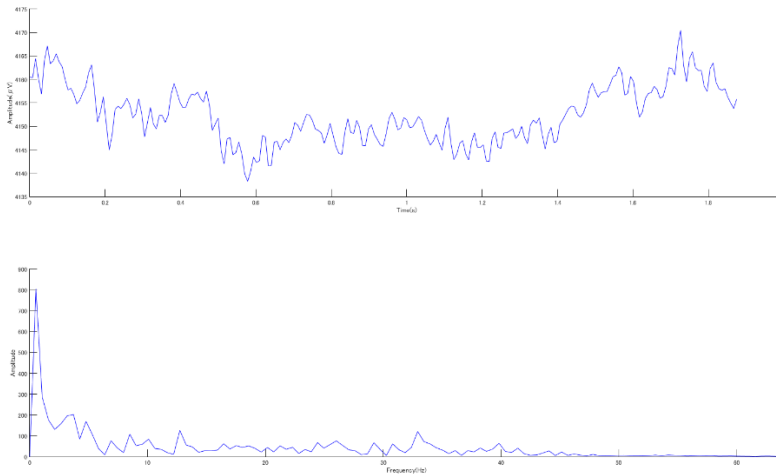


図8 ASSR 惹起実験の解析結果

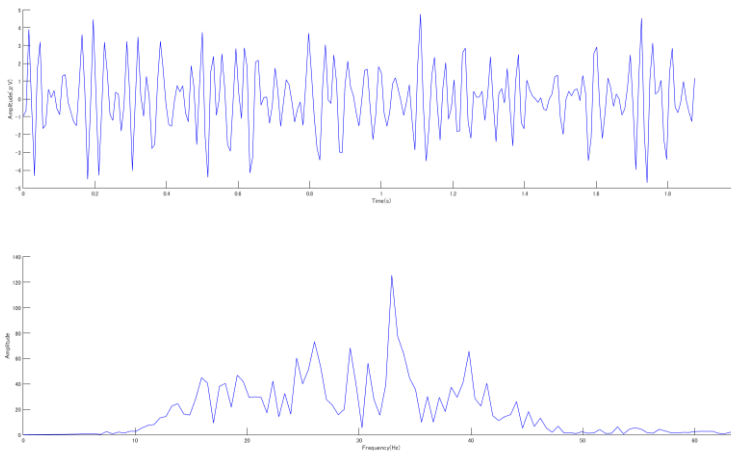


図9 図8にDWT処理を行った結果

[1] 豊島ほか：向きを表す単語と記号に対する時空間的脳活動の比較，知能と情報(日本知能情報ファジィ学会)Vol.18, No.3, pp.425-433, 2006.

[2] 工藤文美恵ほか：聴覚定常応答の搬送周波数依存性とアニメーション提示効果：電気情報通信学会 信学技報 MBE2012-71

[3] 鶴原亜紀ほか：フライトシミュレータによる飛行課題遂行時のワークロード評価：人間工学 51,S342-S343,2015