

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 9 月 13 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04563

研究課題名(和文)聴覚刺激音の選択的注意による脳波応用生活支援システム構築に向けた研究

研究課題名(英文) Study on construction of P300 based brain-computer interface (BCI) by selective attention of auditory stimulus sound

研究代表者

千島 亮 (CHISHIMA, Makoto)

名古屋大学・医学系研究科(保健)・教授

研究者番号：80252112

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 6,700,000円

研究成果の概要(和文)：重度神経筋疾患患者(児)の新たな生活支援技術として、ヒトの受聴特性に着目した事象関連電位P300によりPCアクセスを可能とする独自のシステム構築と刺激条件に関わる基礎的研究を進めた。従来の「Brain-Computer Interface (BCI)」研究では応用されていない「聴覚刺激」を用い、音刺激の選択的注意により得られる目的成分を制御コマンドとするP300型BCI構築の可能性を検討した。種々の骨伝導・気導音の選択的注意による目的成分の安定導出条件を健常被験者にて検証した。利用者の刺激負担の軽減と利便性を担保し、短音や複合音の周波数、音圧、音色をパラメータとした基礎的実験により検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

筋萎縮性側索硬化症(ALS)などの進行性神経筋疾患においては、現在においても根治的治療の確立や病態進行阻止は実現できていない。意思伝達困難へのリスク因子となる眼球運動障害の出現など、身近な家族や医療支援者との意思疎通が完全に制限されるCLIS(complete locked-in state)に至る対象者も極めて多い。生活支援に向けた研究成果は毎年開催される国内の日本作業療法学会、日本リハビリテーション医学会、電子情報通信学会、生体医工学会等の学会に、国外では、各国で開催されるニューロ・リハビリテーション関連国際学会をはじめとするBCI研究に特化したシンポジウムや国際学会において成果報告する。

研究成果の概要(英文)：As a new assistive technology for people with severe neurological disorders, we have conducted basic research on the construction of an original system that enables PC access using the P300 component of event-related potentials, focusing on human hearing characteristics, and on the conditions for stimulus presentation. Using auditory stimuli, which have not been applied in conventional "Brain-Computer Interface (BCI)" research, we investigated the possibility of constructing a P300-type BCI that uses P300 components obtained by selective attention to sound stimuli as control commands. The possibility of stable derivation of the target component by selective attention to bone-conducted and air-conducted sounds in combination with pure and compound sounds was verified in healthy subjects. We conducted basic experiments using the frequency, sound pressure, and timbre of articulated short tones and compound tones as parameters to reduce the user's stimulus burden and to ensure convenience.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：身体障害系作業療法学 非侵襲性脳波応用支援技術 ヒューマン・インタフェース 重度神経筋疾患患者(児) 生活支援技術 事象関連電位P300成分 Brain-Computer Interface 聴覚刺激音

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 1. 研究開始当初の背景

作業療法実践での支援技術提供は、重度神経難病者（児）の発症型や病態の進行が極めて個別であり、様々な生体信号応用においても、病態進行に合わせた即時的で詳細な個別の支援が極めて重要となる。また、病態進行に伴う球麻痺症状や医学的処置での人工呼吸器装着による発声の困難は自立的な生活を著しく制限し、医療提供の自己選択はもとより、家族や社会との意思疎通すら瞬時に困難とする現状にある<sup>1)</sup>。また、気管切開・人工呼吸器（TPPV）下にある筋萎縮側索硬化症（ALS）をはじめとする進行性疾患患者では、病態進行に伴い意思伝達困難へのリスク因子とされる眼球運動障害の出現など、CLIS（complete locked-in state）に至る在宅療養生活者も多い。

今日の先進的リハビリテーション医療実践にあっても、TPPV 下にある ALS 者をはじめとする重度進行性疾患患者への具体的な生活支援方策は極めて限られる状況にある。脳波応用による支援技術は 1973 年に Vidal らの研究チームにより、身体運動によらない新たなコンピュータ・アクセス技術提案により注目されるに至った。この報告の中で彼らは、健常者を対象に閃光刺激による定常状態の視覚誘発電位（S-SVEP）を用いたヒューマン・インタフェース（HI）を「Brain-Computer Interface: BCI」とし、脳波応用による生活支援技術分野の新たな可能性を示すこととなった。こうした新しい取り組みと研究領域は、現在のニューラル・ネットワークや AI に関心を寄せていた情報理論領域の研究者らの脳科学への参入を加速させ、コンピュータ科学からの臨床応用技術の一つとして国際的に注目された<sup>2)</sup>。また同時に、リハビリテーション医療においても、これまでの支援技術では極めて困難であった、重度神経難病者や高位頸髄損傷者の生活支援の可能性を拡大する新たな支援技術として注目されることとなった。

## 2. 研究の目的

本研究は脳波応用による支援技術「BCI: Brain-Computer Interface」に注目し、極めて重症な対象者のコンピュータ（PC）を介した新たな生活支援技術に関する基礎的研究を進める。特に聴覚刺激を用いた独自の事象関連電位 P300 型 BCI システム構築の可能性について検討してきた。本研究提案では、在宅活用を視野に入れた利用者の利便性向上や活用負担の軽減に重点をおき、外耳道を閉塞することなく音刺激を呈示できる骨伝導聴覚刺激と、気導受聴による音像定位聴覚刺激音による P300 型 BCI 構築に向けた基礎的研究を計画した。骨伝導音の伝音機構と受聴特性から、本システム構築のために最適な刺激方法について骨導端子での加振位置、刺激周波数、刺激音圧、刺激音色の条件から検討する。

## 3. 研究の方法

### 3-1. 平成 31 年度 研究計画と方法

初年度研究計画は次の目標項目に従って骨伝導聴覚刺激による基本実験システムの整備・開発を主眼に実施する。

- 1) 骨伝導刺激条件による P300 成分の安定導出条件を検証するために、オンラインでの P300 型 BCI 実験システムを構築する (Fig 1.)。

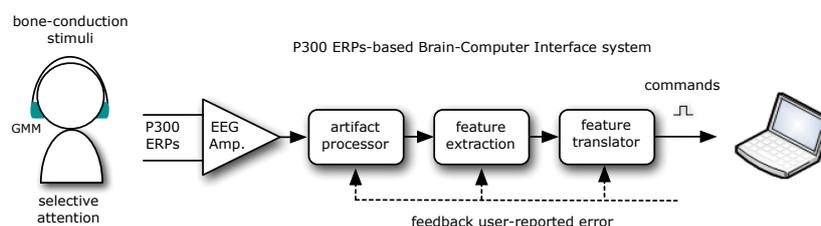


Fig 1. 骨伝導聴覚刺激を用いた P300 型 BCI システム構成と骨導プローブ(GMM)の両耳側配置

### 3-2. 平成 32 年度 研究計画と方法

平成 31 年度は、以下の 5 項目の聴覚刺激音による実験システムの整備・開発を主眼に実施する。また、音像定位させた刺激音による P300 成分導出実験システムを構築する。

- 1) 音像定位刺激を用いた P300 型 BCI システムを構築する (Fig 2.)。
- 2) オンライン解析システムを構築し、音像定位刺激システムによる健常被験者からのデータ収集と分析・解析を進めて最適条件を検討する。
- 3) オフライン・データ分析システムの設計と抽出アルゴリズムの開発・構築する。
- 4) 音像定位刺激による P300 成分導出実験システムの構築と選択刺激条件の明確化する。

- 5) 仮想音源とする聴覚刺激の種類（垂直及び水平での仮想音源配置・音圧・純音・複合音左右側相互への異種選択刺激など）ごとの選択受聴精度を検討する。

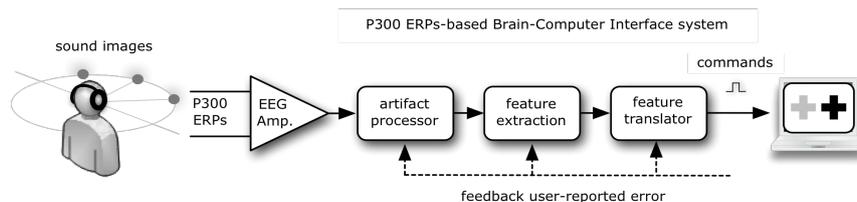


Fig 2. 方位情報を付加した音像定位聴覚刺激を用いた P300 型 BCI システム構成図

### 3-3. 最終年度 平成 33 年度 研究計画と方法

平成 30・平成 31 年度までに構築した「骨伝導音による P300 型 BCI 実験用システム」と「音像定位音による P300 型 BCI 実験用システム」両プロトタイプを用い、フィードバック実験を実施する。従来の視覚刺激による P300 型 BCI システムではなく、聴覚刺激による P300 型 BCI を臨床活用で課題となる病態進行に即応した個別的な支援、活用に伴う利用者負担の軽減、家族・介助者による機器調整の簡便さなど、想定される本システムを新たな支援技術導入する上での課題を検討し、聴覚刺激による新たな P300 型 BCI の実用性を考察する。

## 4. 研究成果

複合刺激音の調音については楽器音を用いて事件を進めた。Visual Studio VC++ (<https://visualstudio.microsoft.com/ja/>) に、MIDI の標準規格に準拠してライブラリ配置し、MIDI ファイルを作成した。音の呈示時間は 200 ms となるよう、テンポ 120 BPM (beet per minute) に対し挿入する音符長は 48 とし、すべての強度は 100、キー（音の高さ）は A4 に対応するノートキーナンバー 69 で統一した <MIDITrack\_InsertNote(pMIDITrack, 0, 0, 69, 100, 48)>。楽器は、弦楽器からは Acoustic Guitar (nylon) (24), Violin (40), Acoustic Grand Piano (0), 管楽器からは Clarinet (71), Oboe (68), Flute (73), Trumpet (56), 打楽器からは Taiko (116), Xylophone (13) を指定した（括弧内は楽器指定番号）。生成した MIDI ファイルは Keppy's MIDI Converter 18.2.8 (<https://github.com/KeppySoftware/KMC>) にて WAV ファイルに変換し、Praat 6.1.13 (<https://www.fon.hum.uva.nl/praat/>) を用いてデータファイルを作成し、それぞれの波形特性とそのスペクトル解析、スペクトログラム解析した。

弦楽器、管楽器、打楽器のように同じ分類に属する楽器であっても、奏法の違い等によって波形、スペクトル、スペクトログラムは異なることがわかった。また、わずかな波形振幅の違いや、周波数成分の違いによってヒトは音色を知覚していると考えられた。選択的注意課題に「楽音」を使用する際、音そのものの様々な心理的性質を持つ多次元の性質を理解し、音の物理的性質・ヒトの受聴特性を踏まえた音の弁別方法、音の感じ方を把握したうえで扱う必要があると考えられた。健常成人学生 17 名（平均年齢 22.8 歳±1.30）を対象とし、課題実施時の EEG を測定した。ランダムで呈示される 2 音の聴覚刺激のうち、標的刺激ごとに頭の中で素早くカウントさせた。課題は「高さ弁別課題」、「音色弁別課題」、「混合課題」とし、各課題終了後、快不快の程度、好みの程度、難易度を聞き取った。得られた EEG データより、P300 成分の最大陽性振幅値を同定し、標的刺激と非標的刺激後の最大陽性振幅値の比較検討した。何れの課題も P300 成分が同定可能であり、「高さ弁別課題」では標的刺激後と非標的刺激後の最大陽性振幅値に有意差を認めしたが、一部のデータでは非標的刺激後の振幅値が標的刺激後の振幅値を上回る傾向を示した。

健常者において、聴覚刺激にピアノ音を用いた課題でも、不快感なく P300 導出が可能であることが示唆された。BCI の聴覚刺激としてピアノ音を用いることができる可能性があり、ヒトの受聴特性や負担感、音の周波数特性、課題難易度を考慮した上で刺激音の組み合わせを検討することが必要だと考えられた。ピアノ音は、立ち上がり時間が非常に短く、立ち上がり時より倍音が豊富に含まれている。また、短い呈示時間でもピアノらしさをもって呈示できること、多くのヒトに馴染みのある音であることから、純音と組み合わせた選択的注意課題に適すると予測してピアノ音による選択的注意課題について更に検討することとした<sup>3)</sup>。

### 〈引用文献〉

- 1) U. Chaudhary, B. Xia, S. Silvoni, L. G. Cohen, N. Birbaumer: Brain-Computer Interface-Based communication in the Completely Locked-In State. PLoS Biol 15(1): e1002593. doi:10.1371/journal.pbio.1002593, 2017.
- 2) JR. Wolpaw, N. Birbaumer, DJ. McFarland, G. Pfurtscheller, TM. Vaughan: Brain-computer interfaces for communication and control. Clin Neurophysiol 113(6): 767-791, 2002.
- 3) Sayaka Oda, Makoto Chishima: A Basic study toward the realization of occupational therapy by P300-type BCI systems using piano tones. the 18<sup>th</sup> WFOT International Congress and Exhibition, 28-31 Aug, 2022. <https://wfotcongress2022.org>

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 小田 早耶香 , 千島 亮
2. 発表標題 楽音と純音による選択的注意課題がP300導出に与える影響 ; P300型BCI構築に向けた基礎検討
3. 学会等名 第55回日本作業療法学会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口 紗世 , 久保田 純平 , 黒野 隼 , 千島 亮
2. 発表標題 骨伝導聴覚刺激を用いた事象関連電位P300導出課題の負担軽減に向けた検討
3. 学会等名 第54回日本作業療法学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小田 早耶香 , 黒野 隼 , 千島 亮
2. 発表標題 作業課題の難易度を变化させた条件が運動関連脳電位 (MRCP) に与える影響について
3. 学会等名 第54回日本作業療法学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 黒野 隼 , 小田 早耶香 , 千島 亮
2. 発表標題 聴覚刺激音の選択的注意による事象関連電位P300成分特性の検討
3. 学会等名 第54回日本作業療法学会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Sayaka Oda, Makoto Chishima
2. 発表標題 A Basic study toward the realization of occupational therapy by P300-type BCI systems using piano tones.
3. 学会等名 the 18th World Federation of Occupational Therapists International Congress and Exhibition (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 千島 亮
2. 発表標題 「アシスティブ・テクノロジー」導入による新たな作業療法介入の可能性
3. 学会等名 第59回日本リハビリテーション医学会学術集会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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

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