

論 文 要 旨

2025 年 3 月 10 日

※報告番号	甲第 367 号	氏 名	小島 宰門
主論文題名			
聴空間を利用したブレイン・コンピュータ・インタフェースとその応用に関する研究			
内容の要旨			
Brain-computer interface(BCI)は、脳活動によって生じる脳波などの信号を測定し、それからリアルタイムにユーザの意図を推定するシステムであり、筋萎縮性軸索硬化症(ALS)などの患者にとっての有効なコミュニケーション手段として期待されている。BCI には様々な種類があるが、提示される感覚刺激に対する典型的な応答を検出する感覚駆動型 BCI は、使用においてトレーニング等を必要とせず、多くのユーザによって利用可能であるという利点がある。特に、聴覚刺激を用いたシステムはユーザが日常的に利用する頻度の高い視覚を専有せず、視覚障害者や視線制御が困難となる ALS 後期患者でも利用可能である。 これまでにいくつかの聴覚 BCI が提案されているが、視覚刺激を用いたものと比較してその検出精度や情報伝達速度が低かった。これらの研究では、左右から提示される音刺激に注意を向ける、あるいは短い時間間隔で断続的に提示される聴覚刺激から任意のものに注意を向け、その注意の対象を検出するなどの手法が多かった。しかしながらヒトの聴覚機能は、カクテルパーティ効果に代表されるように、音場、周波数、時間などの情報を手がかりに高度に聴空間内の音源を聞き分け、選択的注意を向けることが可能であることが知られている。 本論文は、ヒトの聴空間内に提示される複数の音源を高度に聞き分け、選択的注意を向ける機能をより活用した聴覚 BCI の実現を目指した研究についてまとめられている。 第 3 章「音脈分凝を用いた聴覚 BCI のマルチクラス化手法の開発と評価」では、交互に提示される複数の音刺激が異なる複数の音脈に分かれて知覚される音脈分凝と呼ばれる聴覚の錯覚現象を応用した聴覚 BCI (ASME BCI) について、2 種類の異なるマルチクラス化手法 (1. 選択可能クラス数だけ音脈を提示, 2. 単一の音脈に複数のターゲット刺激を挿入) の開発と評価を行った結果について述べられている。評価には、ITR (information transfer rate) や精度などの BCI パフォーマンスと、NASA-TLX を用いて計測した主観的メンタルワークロードを用い、2 種類のマルチクラス化手法を比較した。その結果、いずれの手法でも高いパフォーマンスを実現できるが、単一の音脈に複数のターゲット刺激を挿入する手法の方が主観的メンタルワークロードが低いことが示された。			

※印欄記入不要

論 文 要 旨

2025 年 1 月 9 日

※ 報告番号	第	号	氏 名	小島 宰門
内容の要旨 第 4 章「音脈分凝を用いた聴覚 BCI スペラーの提案と実現可能性の評価」では、ASME BCI を応用した、15 種類の文字が入力可能である BCI スペラー (ASME-speller) の開発と評価を行った結果について述べられている。音脈分凝を用いて、アルファベットの音声刺激を QWERTY キーボード配列様に提示し、被験者の選択的注意によって誘発される事象関連電位を検出した。脳波計測実験は、系列について分凝知覚が可能であった条件と分凝知覚が不可能であった条件を行った。その結果、分凝知覚が可能な場合は被験者が注意を向けたターゲット文字を高い精度で検出可能であったのに対し、分凝知覚が不可能な条件では検出精度が低かった。そのため、ASME-speller は実現可能であり、その実現には音脈分凝知覚が可能であることが必須であることが示された。加えて、BCI がコマンドを出力するまでの時間である試行時間を最適化する手法である dynamic stopping を適用した場合には、これまでに提案されてきた聴覚 BCI スペラーと比較し、高い ITR を実現可能であることが示された。 第 5 章「30 文字 ASME スペラーの開発と評価」では、30 種類の文字が入力可能である ASME-speller の開発と評価を行った結果について述べられている。30 種類の文字には、26 種類のアルファベット全種類と、その他記号 4 種類が含まれていた。オンライン実験を含む脳波計測実験の結果、高い精度で被験者が注意を向けたターゲット文字をリアルタイムに検出可能で、実用的なスペラーとして利用可能であることが示された。 第 6 章「聴覚 BCI を用いた言語リハビリテーションシステムの開発と評価」では、脳卒中後失語症患者の言語リハビリテーションを目的とした聴覚 BCI システムの開発と評価を行った結果について述べられている。これまでに検討されていなかったオランダ語刺激の評価と、音源の前後判別を易化する目的で付加されたピッチ情報が事象関連電位応答と BCI パフォーマンスに与える影響について評価した。その結果、オランダ語刺激においても従来と同様の事象関連電位応答と BCI パフォーマンスが実現可能であり、オランダ語でのトレーニングが実施可能であることが示唆された。加えて、ピッチ情報を付加した場合でも、事象関連電位や BCI パフォーマンスへの影響は少なく、同様のトレーニングが実現可能であることが示唆された。 本論文の研究で得られた成果により、時間、周波数、空間などの聴空間の情報を最大限に活用した聴覚 BCI の実現が可能になると考えられる。本研究の成果は特に、重度な神経疾患患者への新しい外部機器制御、コミュニケーション手段の提供、失語症患者へのリハビリテーション手段の提供、健常者のための新しい HMI (human-machine interface) の提供、より多くのユーザが日常的に利用できる聴覚 BCI システムの実現に貢献するものである。				

※印欄記入不要