

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2011

課題番号：22700581

研究課題名（和文） 非知覚な高周波サブリミナル点滅光と確率共鳴を併用した視覚誘発電位型BMIの開発

研究課題名（英文） Development of Visual Evoked Potential Based Brain-Computer Interface Using Unconscious High Frequency Subliminal Flickering Light and Stochastic Resonance Phenomenon

研究代表者

牛場 潤一（USHIBA JUNICHI）

慶應義塾大学・理工学部・講師

研究者番号：00383985

研究成果の概要（和文）：

「閉じ込め症候群」の患者さんのために、頭皮脳波を利用してコミュニケーションエイドを操作するためのブレイン・マシン・インターフェース（BMI）を開発した。具体的には、点滅しているようには見えない、高周波数で連続して点滅するサブリミナル光（臨界融合周波数である約34Hzよりも高い点滅）を提示し、視覚誘発電位を後頭部（第一次視覚野近傍）から計測。視野周辺に非知覚なノイズ点滅光を与えることで視覚神経群に確率共鳴現象を起こし、信号雑音比を2倍程度まで向上させることに成功した。これによって、ユーザの目前に提示されている複数のアイコンのうち、選択したいものをユーザが注視するだけで、そのアイコンに対応づけられた機器制御コマンドが呼び出されるシステムを実験的に検証することができた。

研究成果の概要（英文）：

Brain-Computer Interface (BCI) employing scalp electroencephalogram to control communication aids was developed for persons with locked-in syndrome. The system utilized subliminal flickering visual stimuli with higher frequency than the subject's critical fusion frequency, which were unable to be recognized as flickering light, and visual evoked potential was recorded over the primary visual cortex at the occipital area. Additionally, nosily flickering visual stimuli was applied to the subject's surrounding visual field in order to induce stochastic resonance of the neurons. This proposed approach succeeded to enhance visual evoked potential two times larger than ordinarily evoked potentials without noise light. In online BCI system, eighty percent in average accuracy was also confirmed in both healthy participants and the participant with spinal cord injury.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：ブレイン・マシン・インターフェース、頭皮脳波、視覚誘発電位、確率共鳴、コミュニケーションエイド、リハビリテーション、閉じ込め症候群、コヒーレンス解析

1. 研究開始当初の背景

脳卒中、脊髄損傷、筋ジストロフィなどが原因で重度な運動障害を呈した方に対して、脳活動の分析結果に基づいて外部機器を操作するブレイン・マシン・インターフェースが国内外で研究されている。種々のBMIのうち、視覚への光刺激を用いて誘発電位を記録し、注意を傾けていることによる振幅増加を検出する視覚誘発電位型BMIは、運動障害の程度に無関係で、被験者の訓練が不必要であるため、汎用なインターフェースとして有望視されている。しかし本BMIは、十分に知覚できる強度と周波数のフラッシュ刺激光を頻繁に繰り返し提示しなくてはならないため、ユーザにとって煩わしく、視覚疲労が起きやすく、てんかん発作のリスクが高い。すなわち、現状の受動型BMIはユーザーアンフレンドリな設計思想に基づいており、技術原理に本質的な問題を抱えている。これらの問題点を解決し、受動型BMIが真に想定受益者の福音となるためには、視覚刺激が提示されたことをユーザが気づかない、サブリミナル点滅光を用いたBMIの確立が必要であった。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、「視覚像の受容」と「受容した視覚像の認識」は別の脳領域が担当している、という神経科学的特性に着目し、認識できないほど高い周波数でアイコンを点滅させた視覚誘発電位型BMIを構築し、視覚野に非知覚下で受容された点滅刺激周波数を頭皮脳波から同定するBMIの構築を目指すこととした。

(2) 本研究では更に、神経細胞の特徴的な性質である確率共鳴現象を活用した、視覚誘発電位の増幅方法を研究することとした。確率共鳴現象とは、神経細胞に対して微弱な信号が入力されている状態で、別の神経経路からノイズを加えると、信号強度が増幅されて出力される特異な現象のことである。本研究では、知覚できない高周波でゆらぐノイズ光を周辺視野に提示して、高周波サブリミナル光によって誘発する視覚誘発電位を増幅する方法を考案した。

本研究ではこのように、非知覚な高周波サブリミナル光を使ったこれら2つのアプローチを併用することで、ユーザにとって心地よ

く、視覚疲労とてんかん発作が起きにくいBMIを開発することとした。

3. 研究の方法

(1) サブリミナル点滅光提示下でのssVEPの特性評価（平成22年度前半）

30 Hzの点滅光によって生じる微弱なssVEPにつき、ssVEPの時間的な定常性（10秒間）、周波数依存性（30-100 Hz）、光量による差異（1,000-5,000 lm）の検討。年齢差および性差の検討。

(2) サブリミナル効果を増強させる確率共鳴法の確立（平成22年度後半）

ssVEPの信号強度を高めるために、周辺視野へ非知覚なノイズ光源を設置。確率共鳴現象の有効性を検討。アイコンとノイズの光量比（0.5-2.0）、アイコンとノイズの寸法比（0.5-2.0）を各5段階で評価、信号の増幅率を算出して最適値を推定する。

(3) リアルタイムな家電制御を実現するBMI環境制御装置の検証実験（平成23年度前半）

「非知覚な高周波サブリミナル点滅光」と「ノイズ光による確率共鳴現象」の2つを併用して、4つのLEDを識別するオンラインBMIを構築。健常成人を対象とし、BMIの原理証明、安全性、実験所要時間を見極める。

(4) ALS、脊髄損傷でのBMI環境制御装置の検証実験（平成23年度後半）

同じオンラインBMIを用いて、ALSおよび脊髄損傷患者さんでの検証実験。Age-matchした群で性能評価し、運動障害の程度によらず本手法が一律に有用であることを証明。

4. 研究成果

(1) 平成22年度前半では、点滅しているようには見えない、高周波点滅光を被験者が見つめている際の頭皮脳波を分析した。具体的には、被験者の90cm前方に設置した4つのLED光に対し、それぞれ任意の周波数（35-100Hz）を割り当てて点滅させた。このとき、視覚野近傍の後頭部に銀塩化銀電極（直径10mm）を貼付して頭皮脳波を計測し、実験者が指定した1つのLED光を10秒間している際の信号を分析した。その結果、視認できない点滅光では、頭皮脳波のパワースペ

クトルに特徴的なピークが認められず、その結果だけから「どのLEDを見つめていたか」を識別することはできなかった。一方、本研究で提案するコヒーレンス関数を用いて、4つのLED駆動信号それぞれと頭皮脳波の相関計数を算出したところ、被験者が注意を向けているLEDの点滅周波数に一致した周波数において著明なピークが認められた。視覚誘発電位の時間的な定常性(10秒間)は良好で、消失する時間帯は特に認めなかった。周波数依存性(30-100 Hz)に関しては、被験者平均50Hzまで視覚誘発電位を確認することができた。点滅していることを知覚できない限界域は約34Hz程度といわれていることから、サブミナル点滅光による視覚誘発電位の存在を、本手法によって確認することができた。性差の検討については、特段の違いを認めなかったが、光量が低下したり、年齢が高くなったりすると、視覚誘発電位の振幅は低下する傾向にあった。以上の検討結果から、提案手法によって、被験者が注視している高周波点滅光を同定することは一般的に可能であることがわかった。

(2)平成22年度後半では、頭皮脳波に含まれるLED点滅情報を増強させるため、視覚神経系の非線形応答性に着目し、確率共鳴現象を活用する手法の検討をおこなった。具体的には、LED点滅光源の周辺にノイズ光を提示することで異なる視神経細胞を別パターンで活動させ、視覚野および外側膝状体で神経活動電位の非線形和を誘導し、信号増幅することを意図した。その結果、ノイズ光無し、あるいは直流光提示の場合と比較して、頭皮脳波のパワーが約2倍程度まで増加することが明らかになった(図1)。ノイズ光強度に対して至適な反応性が認められる等の特徴から、当初計画のとおり確率共鳴現象が信号増幅に寄与していると判断された。

(3)平成23年度前半では、リアルタイムな家電制御を実現するBMI環境制御装置を開発し、4つのLEDを識別するオンラインBMIを構築した。健常成人を対象とし、BMIの原理証明のために、テレビのチャンネル操作操作を実施し、リアルタイム処理がおこなえることを確認した。正動率は約80%で、点滅周波数に対する依存性は認められなかった。そのほか、医師の立ち会いの下で実験を実施し、てんかん発作などに対する安全性と疲労感を確認したところ、頭皮脳波上の所見からは、特段の異常波形は認められなかった。また、通常の点滅光を凝視する場合と比べて、疲労感は低いことがVisual Analog Scaleを用いた主観評価から明らかになった。

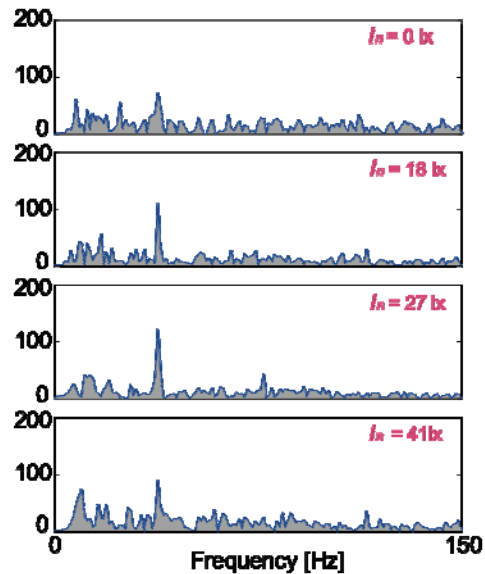


図1 38Hzのサブミナル点滅光を注視している際の視覚誘発電位

各パネルは、周辺視野に与えているノイズ光の強度を変更した際の結果を示している。視覚誘発電位の増幅効果に関する至適なノイズ光強度が認められることから、本現象は確率共鳴によるものと考えられる。

(4)平成23年度後半では、脊髄損傷患者の方にご協力頂き、視覚誘発電位特性評価およびオンラインBMI検証実験をおこなった。その結果、健常者同様、いずれの点滅周波数においても正動率は約80%であり、本手法が障害の程度に規定されない、汎用なインターフェースであることを示すことができた。

研究終了時点で国内外の類似研究を調査したが、その範囲でもなお、知覚できないほど高周波数で点滅する光を用い、かつ、確率共鳴現象という生体特有の非線形現象を活用したBMIの提案は見当たらず、本研究で検証したアプローチは独創性が高いものであると言える。視覚誘発電位型BMIは、アジア圏での研究開発が盛んであるが、もっぱら信号取得後の信号処理に関するものであり、それよりもプロセスの上流(生体側)での特性に着目して信号雑音比を高める考え方は進んでいない。一方、米国や欧州においては、既に開発された視覚誘発電位型BMIが臨床現場でどのように展開できるか、という臨床応用研究に注力している印象があり、これらの取り組みにおいては、既存手法が有する原理的問題点を解決する試みをおこなうに至って居ない。

このような国内外における位置づけを鑑み、今後はシステム実装を専業とするメーカーとの共同研究等により、実用性の高いプロトタイプ機の試作等を進め、実用化に向けた取り組みを推進したいと考えている。ただし、産業化の観点から考えると、福祉産業の持つ構造的特性上、メーカー単独での研究開発が困難であることが課題として挙げられる。医療福祉用途に限らない民生応用の可能性を検討したり、産学連携を推進する助成金を導入したりすることによって、このような問題を解決する道筋を定めたいと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 1 件)

① Hatakeyama A, Ushiba J, Tomita Y. Enhancement of steady-state visual evoked potentials by stochastic resonance. The 40th Annusl Meeting of Society for Neuroscience, 2010年11月16日, 米国サンディエゴカンファレンスセンター

6. 研究組織

(1) 研究代表者

牛場 潤一 (USHIBA JUNICHI)
慶應義塾大学・理工学部・講師
研究者番号：00383985

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

該当なし