

近赤外分光法を用いたブレインコンピュータインターフェースに関する研究

- 新しい脳活動レベル判定方法の提案 -

生産工学部 (院) ○浅賀 恭平 生産工学部 (院) 柳沢 一機
生産工学部 綱島 均

1. 緒言

現在、体を動かさない身体障害者の生活支援のため、ブレインコンピュータインターフェース BCI (Brain-Computer Interface) の研究が盛んに行われている。BCI とは、人間の脳活動を神経情報として取り出し、機械に入力することにより機器を制御するシステムである¹⁾。BCI は、リハビリテーションの分野では機能的電気刺激 FES (Functional Electrical Stimulation) と組み合わせることで、実際に腕などが動かさない人に対しても、脳が直接動かそうと考えた信号から直接腕などを動かす部位に筋刺激として加えることでバイオフィードバックの一種のリハビリテーションシステムなどとして医療分野での活躍が期待されている。

脳活動の非侵襲的計測法の計測器として、近赤外線分光法 NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) が注目されている。NIRS は近赤外光を用いて、酸素化ヘモグロビン (oxyHb) と脱酸素化ヘモグロビン (deoxyHb) の変化量を測定する装置であり、体動の制限が少なく、被験者に対して自然な状態で実験が行える。また、NIRS は脳波 EEG (Electro Encephalo Gram) と比較し、空間分解能が高く、電気的ノイズに強いという長所がある。

NIRS を計測器とした BCI の先行研究として、図 1 に示す筋刺激リハビリテーションシステム筋刺激装置で血流増加の伴い筋刺激を与えるリハビリテーションシステムがある²⁾。この研究ではタスク中の oxyHb の濃度変化に対応して、上腕二頭筋に経皮的電気刺激装置より電気刺激を加え、肘関節屈折運動を誘発する。しかし、oxyHb に単純な閾値による ON/OFF 判定のため、ノイズによる影響を受けやすく安定した動作が難しい。他の識別方法としては、総ヘモグロビン (totalHb) に注目する方法³⁾もある

が、高い識別率を得ることが難しい。そこで、より識別率の高い ON/OFF 判定ができるシステムが必要となる。

本研究では、BCI リハビリテーションシステムへの応用のため、NIRS を用いて計測したデータから脳活動レベルを判定する、oxyHb 変化量およびその微分値を指標とした新しい判別方法を提案する。提案する判定方法の有効性を示すため、BCI リハビリテーションシステムを使用したデータに適用し、脳活動レベルの判定を行う。

2. 近赤外分光法 (NIRS) の原理

NIRS は、近赤外光を用いて脳血流の変化を計測することによって、間接的に脳活動を捉える非侵襲的計測法である。神経活動が生じる部位では、局所的に血流が増加し、血中のヘモグロビンの濃度が変化する。近赤外分光法は、生体への透過性が良好な 700~900nm の波長の近赤外光を照射し、その透過光・拡散光から oxyHb, deoxyHb の濃度変化を計測

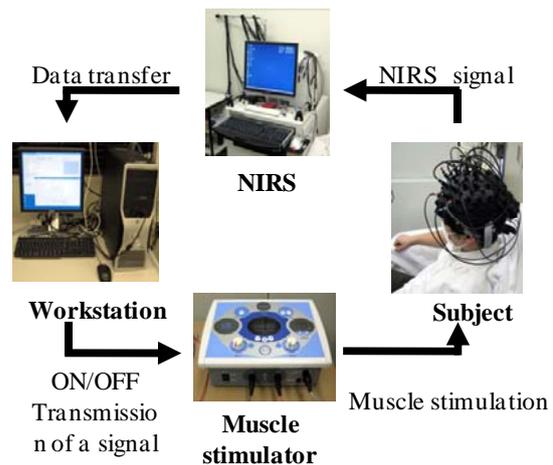


Fig.1 NIRS-BCI rehabilitation system

Study on Brain-Computer Interface by Using Near-Infrared Spectroscopy
- (New method for detecting brain activity level) -

Kyohei ASAKA, Kazuki YANAGISAWA, Hitoshi TSUNASHIMA

することが可能である。しかし、計測された値は、絶対量ではなく、相対量であることから、その扱いには注意しなければならない。

脳が活動するときの oxyHb, deoxyHb の変動の様子を模式的に図 2 に示す。一般的には、課題が始まると oxyHb が上昇し、少し遅れて deoxyHb が減少することが知られている。

3. oxyHb の閾値処理による判定方法

3.1. 判定に用いる実験データ

図 1 に示した BCI リハビリテーションシステムを用いて実験を行った。

実験は 1 試行を前レスト 10 秒、タスクを 30 秒、後レスト 10 秒とし、5 試行繰り返す。始めの 2 試行で閾値を設定し 3 試行以降に oxyHb が閾値を越えると筋刺激を与える。タスクは片手でのグラッピング課題を行った。また、筋刺激はグラッピングを行う腕とは逆の腕に行った。レスト間は安静にするよう教示した。

脳活動の測定には、NIRS を用いて、運動野の脳活動を計測した。測定装置は島津製作所製、近赤外光イメージング装置 OMM-2000 を用いた。プローブ配置は左右 4x4 とし、計 48ch で計測した。

3.2. 従来の ON/OFF 判定方法とその結果

従来の判定方法では、NIRS で計測された信号の始めの 2 試行の平均と標準偏差から標準得点化を行い、移動平均を求めた。閾値は最初の 2 試行での oxyHb の最大値の 20% とし、判定は 3 試行目以降を対象にし、oxyHb が閾値を越えた場合 ON 判定とした。

oxyHb の濃度変化と判定結果を図 3 に示す。一度目のタスクで ON 判定が見られたが、以後のタスクでは oxyHb の濃度変化はある程度確認できるものの、ON 判定は行われなかった。

4. oxyHb とその微分値を用いた判定方法

4.1. oxyHb と神経活動の関係

NIRS は oxyHb と deoxyHb の濃度変化の 2 つの信号を計測できるが、oxyHb の濃度変化は局所脳血流 rCBF (regional Cerebral Blood Flow) の変化と相関が高いこと⁴⁾、rCBF の増加は神経活動の増加を反映していること⁵⁾から、oxyHb 信号に注目する。また、oxyHb の微分値はタスクのワークロードとの相関があること⁶⁾から、oxyHb とその微分値の 2 つの指標を用いて脳活動レベルの判定を行う。oxyHb の微分値の一般的な変動を図 4 (a) に示す。

判定方法として、oxyHb を横軸、oxyHb の微分値を縦軸にとり、その軌跡の領域から判定する方法を提案する。図 4 (a) の活動の軌跡を図 4 (b) に示す。軌跡が oxyHb の傾きが正となる領域(第 1・第 2 象限)を通過する場合は脳活動があると考えられる。

NIRS 信号には、測定装置のノイズ、呼吸による影響、血圧変動などの脳活動に無関係な信号も含まれ

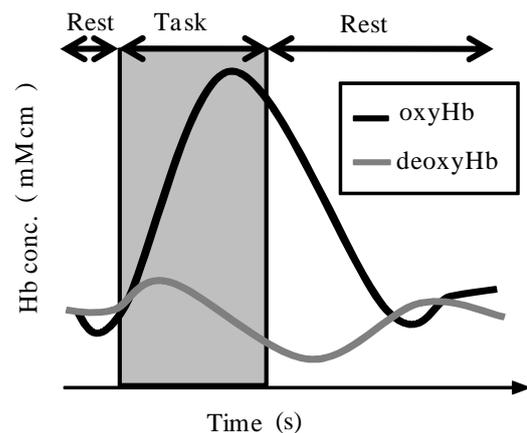


Fig.2 Schematic Hb concentration change due to neural activity

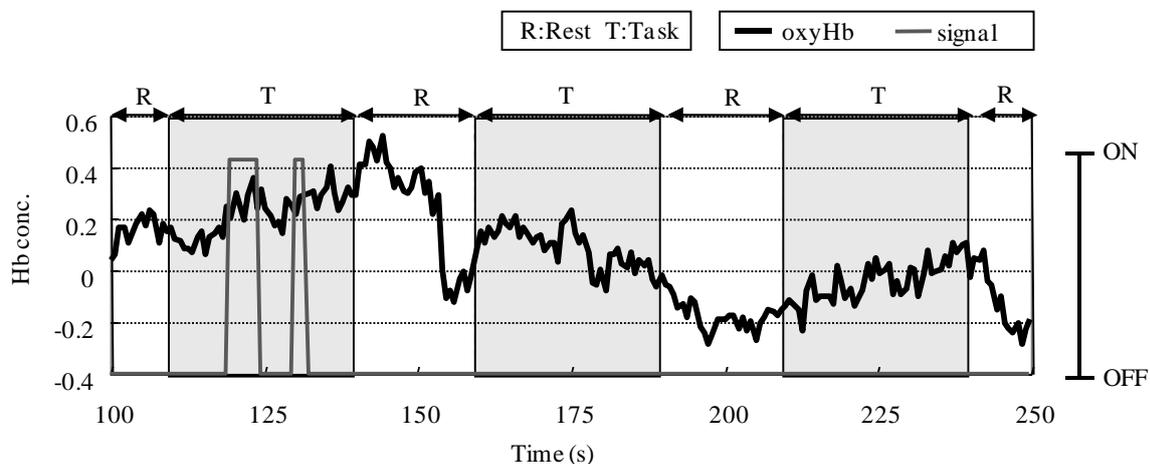
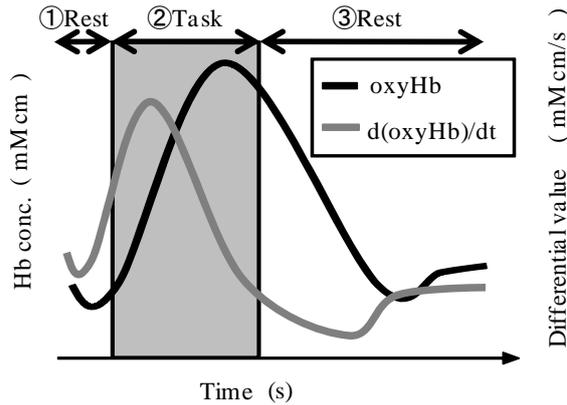
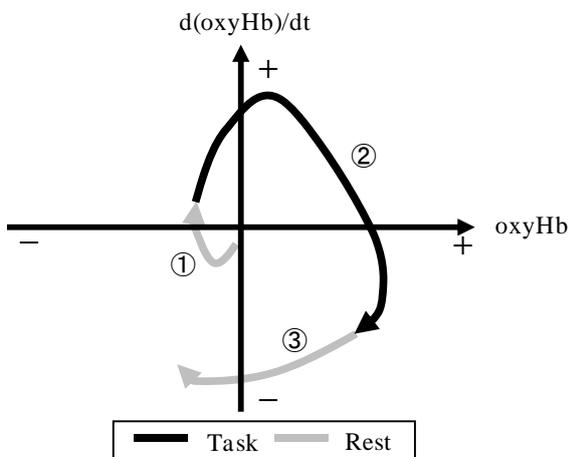


Fig.3 Result of ON/OFF decision by using conventional method



(a) Change of oxyHb and differential value



(b) Trajectory of oxyHb and $d(\text{oxyHb})/dt$

Fig.4 Relations between oxyHb and differential value

るため、詳細な脳活動の評価を行うためには、これらの無関係な信号を取り除く必要がある。そこで、測定した NIRS 信号のうちの強度のよいチャンネル、ここでは 44ch (対側運動野) を選択し、そこから得た NIRS 信号を離散ウェーブレット変換による多重解像度解析⁷⁾を行い、信号を分解、再構成した。

4.2. 軌跡と活動領域の検討

再構成後の信号を用い、oxyHb を横軸、oxyHb の微分値を縦軸とした軌跡を図 5 に示す。図 4 (b) で示した軌跡と同様に、タスク中に oxyHb の傾きが正となる領域を通過する傾向がみられた。

oxyHb と oxyHb の微分値が共に上昇する領域 (第 1 象限) は脳活動のある領域と考えられる。また、oxyHb の値が小さい場合においても oxyHb の微分値が大きい場合には、活動があると考えられる。レスト中など活動が低い場合には軌跡は活動の領域として設定した原点周辺で円形を描く傾向がある。その原点付近を通過する信号の軌跡を活動ありと判定しないために、oxyHb の微分値に一定の閾値を設定する。

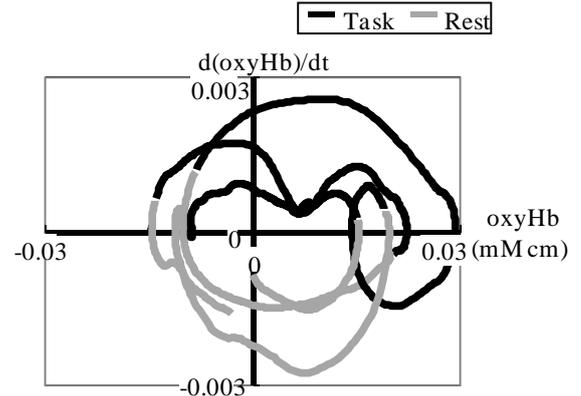


Fig.5 Trajectory of oxyHb and differential value

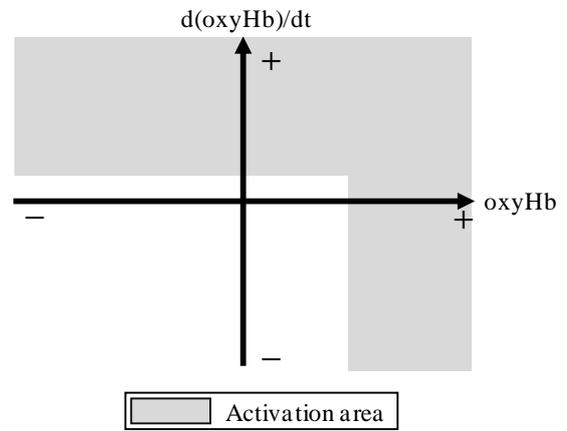


Fig.6 Activation area set-up

一方、活動がある場合にも oxyHb の微分値は常に上昇し続けるわけではないため、oxyHb の値が一定以上な値をとる場合も活動があると考えられる。以上を考慮し、設定した領域を図 6 に示す。また、一定時間 (2.5sec) 以上領域内に留まらない場合には、活動がないと判定した。

4.3. 判定結果

提案した判定方法を適用した場合の結果を図 7 に示す。3 章で用いた従来の oxyHb の最大値の 20% を越えた場合に ON 判定を行う判定方法と比較し、1 回目のタスクだけでなく、すべてのタスクにおいて ON 判定が確認できた。しかし、1 回目のタスクの前のレスト中では微分値が上昇することでタスク開始前に ON 判定がされたことや、2 回目のタスク間で oxyHb の微分値が減少することでタスク中に OFF 判定がされた。今後はさらにアルゴリズムの改善をする必要がある。

5. 結言

本論文では、BCI リハビリテーションシステムへの応用のため、NIRS を用いて計測したデータ、oxyHb

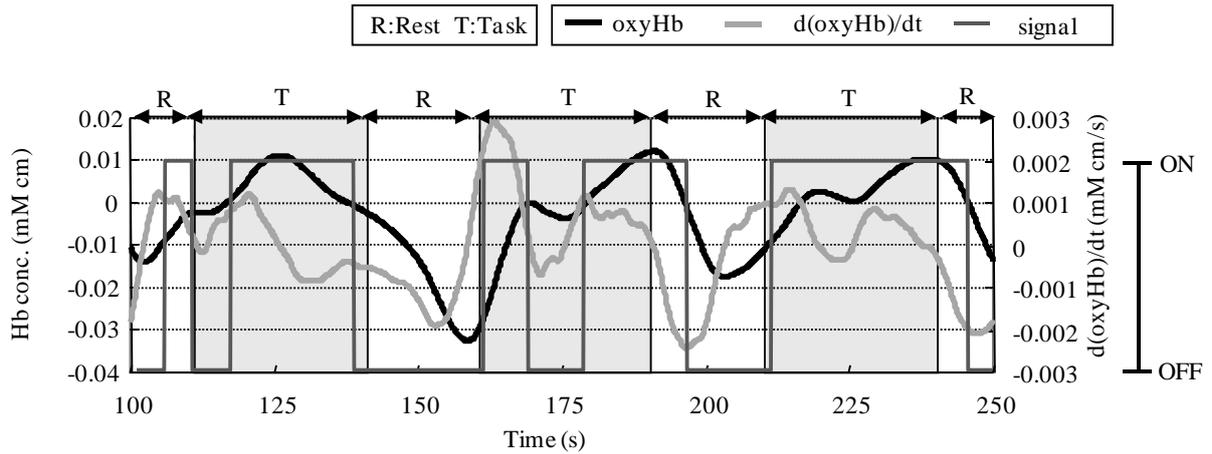


Fig.7 Result of ON/OFF decision by using proposed method

変化量およびその微分値を指標とした新しい脳活動レベルの判別方法を提案した。提案した判定方法の有効性を示すため、BCIリハビリテーションシステムを使用したデータに適用し、脳活動レベルの判定を行った。まず、従来の判定方法を適用した結果、一度目のタスクでのみON判定が見られたが以後のタスクではoxyHbの濃度変化はある程度確認できたものの、ON判定は行われなかった。

これに対して、oxyHbの値を横軸、oxyHbの微分値を縦軸にとり、その軌跡の領域から判定する方法を提案し、適用した。その結果、提案した判定方法は従来の判定方法と比較し、識別率の向上がみられたことから、提案した判別方法をBCIリハビリテーションシステムのON/OFF判定方法として使用できる可能性を示した。

今後の課題としては、判定精度を改善するため、アルゴリズムの改善をする必要がある。また、複数のチャンネルを用いた判定アルゴリズムの検討を行う。

本研究は平成21年度私立大学等経常費補助金特別補助「大学院の基盤整備・拠点重点化支援（研究科特別経費）」（近赤外分光法（NIRS）を中心としたブレイン・コンピュータ・インターフェースに関する研究：研究代表者 日本大学大学院 綱島均）の補助を受けた。

「参考文献」

1) 川人光男, ブレインマシンインターフェースの計測と制御, 計測と制御, 第12号 2007年12月号, (2007), pp.958-963

2) 永岡右章, 江里口隆, 片桐彰久, 横瀬憲明, 栗野貴志, 五十嵐崇浩, 星野達哉, 村田佳宏, 酒谷薫, 片山容一, 光トポグラフィーによる Brain-Machine Interface を応用した筋刺激リハビリテーションシステム第11回日本光脳機能イメージング研究会, (2009), pp.38

3) 宇津野裕二, 大日方五郎, 長谷和徳, NIRSを用いたBMIの研究-筋出力推定の可能性-, 第23回生体・生理工学シンポジウム論文集, (2008), pp.265-268

4) Hosi, Y., Kobayashi, N., Tamura, M., interpretation of near infrared spectroscopy signals, A study with a newly developed perfused rat brain model ;journal of Applied Physiology, Vol.90, No.5 (2001), pp.1657-1662

5) Jueptner, M., Willer, C., Dose measurement of regional cerebral blood flow reflects synaptic activity?- implications for PET and fMRI; neuroimage, Vol.2, (1995), pp.148-156

6) 広瀬悟, 清水俊行, 南部起可, 柳沢一機, 丸茂善高, 綱島均, 土師知己, 泰羅雄登, 機能的近赤外分光法装置(fNIRS)によるドライバーの脳機能計測, 自動車技術会技術講演会前刷集, No.144-08, (2008), pp.5-10

7) 小島崇, 柳沼健, 綱島均, 広瀬悟, 清水俊行, 塩崎友規, 泰羅雄登, 土師知己, 機能的近赤外分光装置(fNIRS)を用いた作業付加時の高次脳機能計測, 自動車技術会学術講演会前刷集, No.60-07, (2007), pp.19-22