

# NIRS を用いた Brain Computer Interface に関する研究

## - 新しい脳活動判定方法の提案 -

日大生産工 (院) ○柳沢 一機 日大生産工 (院) 浅賀 恭平 日大生産工 綱島 均  
日大医学 永岡 右章 日大医学 辻井 岳雄 日大医学 酒谷 薫

### 1. 緒論

現在、体を動かさない身体障害者の生活支援やリハビリテーションのための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<sup>1)</sup>。BCI 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リハビリテーションシステムとして医療分野での活躍が期待されている。

BCI に用いる脳活動の非侵襲的計測法としては、脳波や近赤外分光法 NIRS (Near-Infrared Spectroscopy) がある。脳波を用いた BCI リハビリテーションシステムとしては、高橋ら<sup>2)</sup>の研究が挙げられる。しかし、脳波による計測は空間分解能が低く、特定の部位に注目した計測を行うことが難しい。また、電気的なノイズに弱いという欠点がある。

NIRS は近赤外光を用いて、酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb) と脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) 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。脳波と比較して、空間分解能が高く、近赤外光を用いているため、電気的なノイズに強いという特徴がある。

NIRS を用いた BCI の先行研究としては、図 1 に示す筋刺激装置で血流増加の伴い筋刺激を与える NIRS-BCI リハビリテーションシステムがある<sup>3)</sup>。この研究ではタスク中の oxy-Hb 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、oxy-Hb に単純な閾値を設定した ON/OFF 判定のため、ノイズによる影響などを受けやすく、安定した動作が難しい。そこで、より識別率の高い ON/OFF 判定ができる方法が必要となる。

本研究では、NIRS-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を判定する oxy-Hb 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。NIRS-BCI リハビリテーションシステムを使用して、実際にグラッピングを行っているときとグラッピング想起時の脳活動を計測し、提案の判定方法の有効性を示す。

### 2. NIRS-BCI リハビリテーションシステム

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 oxy-Hb, deoxy-Hb の濃度変化を計測することが可能である。

NIRS-BCI リハビリテーションシステムでは、NIRS で計測した信号を解析用ワークステーションにリアルタイムで転送する。転送された oxy-Hb 信号に閾値を設定し、閾値を超えた場合、経皮的電気刺激装置より上腕二頭筋に電気刺激を加え、肘関節屈折運動を誘発する。そのため、実際に腕を動かすことができない人でも、リハビリテーションを行うことができる。

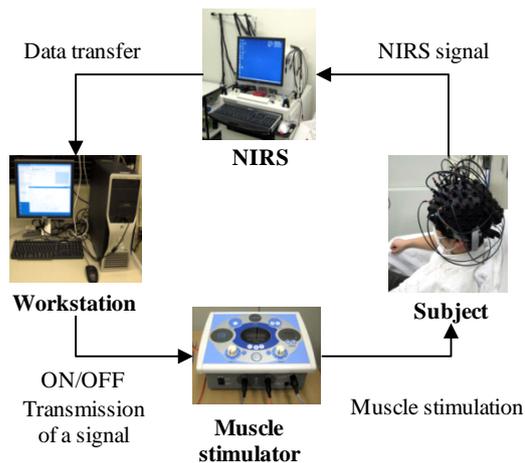


Fig.1 NIRS-BCI rehabilitation system

Study on Brain-Computer Interface using Near-Infrared Spectroscopy  
- Proposal of New Method for Detecting Brain Activity Level -  
Kazuki YANAGISAWA, Kyouhei ASAKA, Hitoshi TSUNASHIMA, Takafumi NAGAOKA,  
Takeo TSUJII and Kaoru SAKATANI

### 3. oxy-Hb 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 NIRS-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 oxy-Hb が閾値を越えると筋刺激を与える。

タスクは、グラッピングを行う課題とグラッピングの想起を行う課題の 2 種類設定した。グラッピング課題では、右手でグラッピングを行うように教示し、グラッピング想起課題では、実際には手を動かさずにグラッピングの想起を行うように教示した。筋刺激は、左腕の上腕二頭筋に与えた。どちらの課題でもレスト間は安静にするよう教示した。

片マヒ患者に対するリハビリテーションへの応用を考えると実際の運動時の脳活動ではなく、運動想起時の脳活動を検出して、筋刺激を与える必要がある。しかし、運動想起時の脳活動は、個人差が大きいという問題点が挙げられる<sup>2)</sup>。そのため、本研究では、脳活動が顕著に表れるグラッピング課題を行い、提案の判定方法の有効性を確認する。さらに、提案の判定方法をグラッピング想起時の脳活動に適用する。

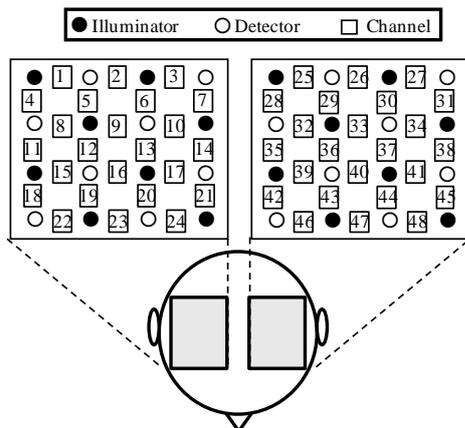


Fig.2 Position of optical fibers and channel

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-2001 を用いた。プローブ配置は左右 4x4 とし、計 48ch で計測した (図 2)。被験者は健康な 20 代男性 7 名とし、実験実施前には実験の趣旨説明とあわせてインフォームドコンセントを行った。

#### 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 oxy-Hb の最大値の 20% とし、判定は 3 試行目以降を対象にし、oxy-Hb が閾値を越えた場合を ON 判定とした。

グラッピング課題時の oxy-Hb 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 oxy-Hb の濃度変化はある程度確認できるものの、ON 判定されていないことが確認できる。

### 4. oxy-Hb とその微分値を用いた判定方法

#### 4.1. oxy-Hb と神経活動の関係

NIRS は oxy-Hb と deoxy-Hb の濃度変化とその 2 つの値の合計値である total-Hb の信号を計測できる。本研究では、oxy-Hb 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<sup>4)</sup>、rCBF の増加は神経活動の増加を反映していること<sup>5)</sup>から、oxy-Hb 信号に注目する。また、oxy-Hb の微分値はタスクのワークロードとの相関があること<sup>6)</sup>から、oxy-Hb とその微分値の 2 つの指標を用いて脳活動の判定を行う。oxy-Hb とそ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、oxy-Hb を横軸、oxy-Hb 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。図 4 (b) の灰色で示した領域通過する場合は脳活動があると考えられる。

また、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る

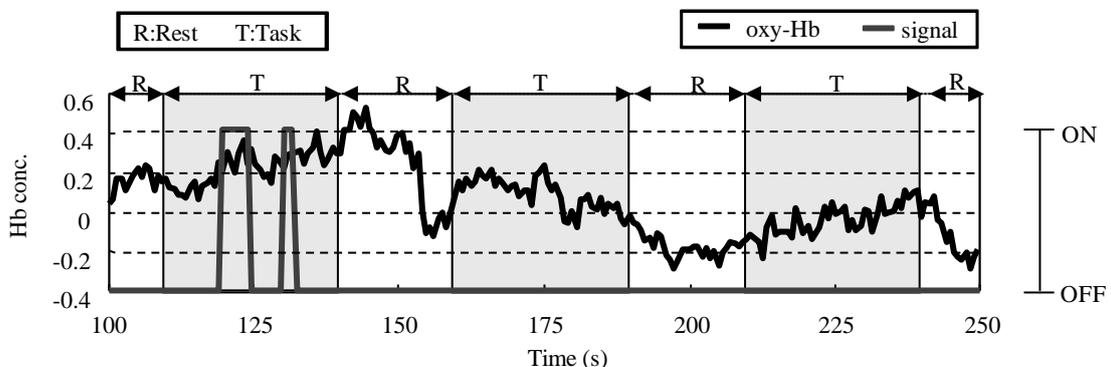
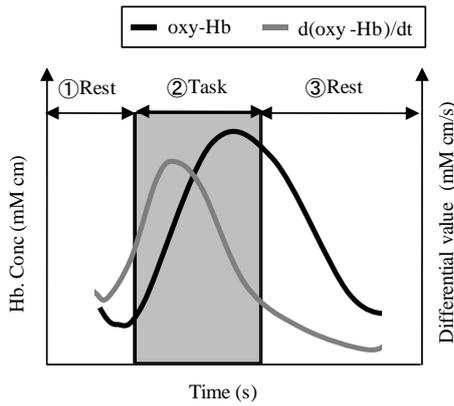
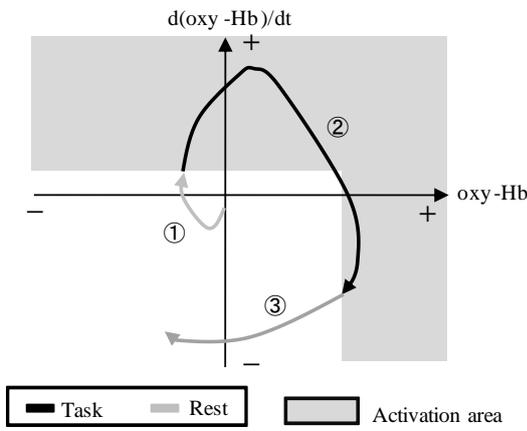


Fig.3 Result of ON/OFF decision by using conventional method



(a) Change of oxy-Hb and differential value



(b) Trajectory of oxy-Hb and  $d(\text{oxy-Hb})/dt$

Fig.4 Relations between oxy-Hb and differential value

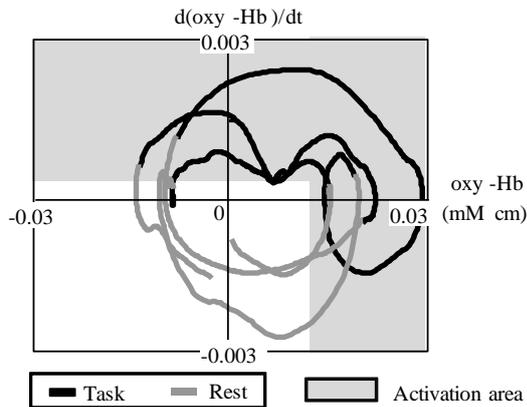


Fig.5 Trajectory of oxy-Hb and differential value (grasping task)

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 S/N 比のよい、タスクに関連した変動が顕著なチャンネル、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<sup>7)</sup>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

グラッピング課題時の再構成後の信号を用い、oxy-Hb を横軸、oxy-Hb 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、タスク中に図中の灰色の脳活動があると考えられる領域を通過していることがわかる。

oxy-Hb と oxy-Hb 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、oxy-Hb の値が小さい場合においても oxy-Hb 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、oxy-Hb の微分値に一定の閾値を設定する。一方、活動がある場合にも oxy-Hb の微分値は常に上昇し続けるわけではないため、oxy-Hb の値がある一定値以上をとる場合も活動があると考えられる。また、一定時間 (2.5s) 以上領域内に留まらない場合には、アーチファクトによる影響と考え、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判定結果を図 6 に示す。図 3 に示した従来の判定方法の結果と比較して、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。また、従来の判定方法では、oxy-Hb のみに閾値を設定しているため、oxy-Hb の値が小さいタスクの前半に ON 判定をすることができず、関連した脳活動が確認できる場合でも判定結果に遅れがあった。しかし、提案の判定方法では、oxy-Hb の微分値を用いることで、遅れが少なくなっていることがわかる。

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 oxy-Hb の微分値が減少することでタスク中に OFF 判定がされているなどの問題点があるが、多くの被験者の結果で、従来の判定方法と比較して、精度の高い判定を行うことができた。

#### 4.4. グラッピング想起課題判定結果

提案の判定方法を用いて、グラッピング想起課題時の脳活動を判定した結果を図 7 に示す。グラッピング想起課題時においても、図 6 の実際にグラッピング時同様に、すべてのタスクにおいて ON 判定が確認できる。また、oxy-Hb の微分値を用いることで、時間的な遅れが少なく、正しい判定が行えていることがわかる。このことから提案の判定方法が運動想起課題に対しても、有効であることが確認できる。

#### 5. 結言

本研究では、NIRS-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、oxy-Hb およびその微分値を指標とした新しい脳活動の判別方法を提案した。

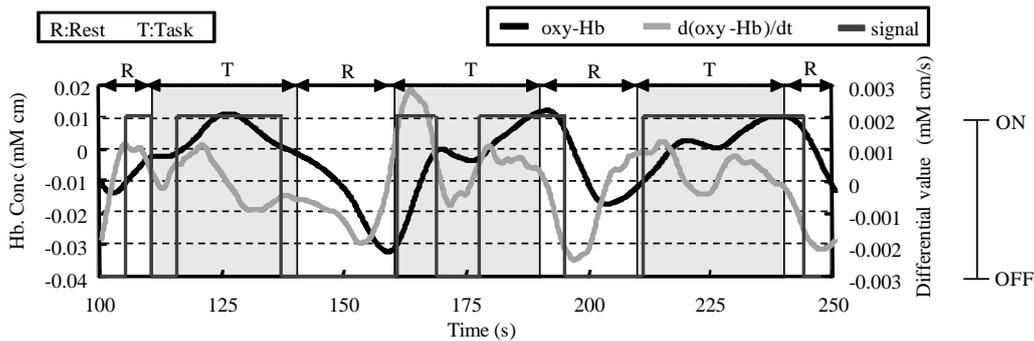


Fig.6 Result of ON/OFF decision by using proposed method (grasping task)

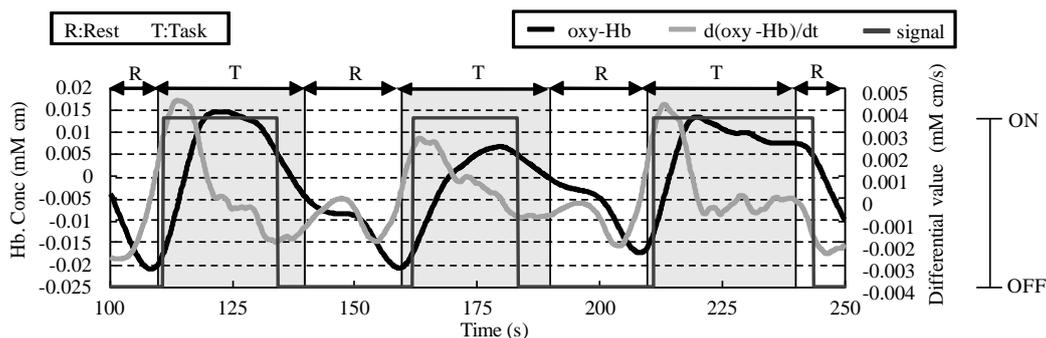


Fig.7 Result of ON/OFF decision by using proposed method (imagery task)

提案した判定方法の有効性を示すため、NIRS-BCI リハビリテーションシステムを使用して、グラッピング課題時とその想起を行う課題を設定し、脳活動の判定を行った。

従来の判定方法を脳活動が顕著に確認できるグラッピング課題時の脳活動に適用した結果、タスク 3 回中 1 回の ON 判定が見られたが、その後のタスクでは oxy-Hb の濃度変化はある程度確認できたものの、ON 判定をすることができなかった。

本研究では、oxy-Hb の値を横軸、oxy-Hb 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て、グラッピング課題、グラッピング想起課題のどちらの課題においても、時間的な遅れが少なく、精度の高い判定を行えることを確認した。このことから提案した判別方法が NIRS-BCI リハビリテーションシステムの判定方法として有効であることを示した。

今後の課題としては、今回は健常者を対象にした実験データの判定を行ったが、今後は片マヒ患者を対象に、NIRS-BCI リハビリテーションシステムの臨床応用を目指す。

#### 「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, pp.958-963
- 2) 高橋光, 郷古学, 伊藤宏司, 運動想起フィードバック訓練による事象関連脱同期 (ERD) 出現の検証,

システム制御情報学会論文誌, Vol.22, No.5, 2009 pp.199-205

- 3) T. Nagaoka, K. Sakatani, T. Awano, N. Yokose, T. Hoshino, Y. Murata, Y. Katayama, A. Ishikawa, H. Eda, Development of a new rehabilitation system based on brain-computer interface using near infrared spectroscopy. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, Vol.662, 2010, pp.497-503
- 4) K. Sakatani, Y. Murata, N. Fujiwara, T. Hoshino, S. nakamura, T. kano, Y. katayama, Comparison of blood-oxygen-level-dependent functional magnetic resonance imaging and near-infrared spectroscopy recording during functional brain activation in patients with stroke and brain tumors, *Journal of Biomedical Optics*, Vol.12(6), 2007, p. 062110
- 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) 清水俊行, 南部起可, 機能的近赤外分光法による実車運転時の脳活動の計測, 自動車技術会技術講演会前刷集, No.65-10, 2010, pp.19-24
- 7) H. Tsunashima., K. Yanagisawa, Measurement of Brain Function of Car Driver Using Functional Near-Infrared Spectroscopy (fNIRS), *Computational Intelligence and Neuroscience*, Vol.2009, 2009