



メンタルヘルスケアを目的とした 小型ニューロフィードバックシステムの評価

奥村 壮太^{*1} 柳澤 一機^{*2} 綱島 均^{*2}

Evaluation of portable neuro-feedback system for mental health care

Souta Okumura^{*1}, Kazuki Yanagisawa^{*2} and Hitoshi Tsunashima^{*2}

Abstract – Brain computer interface (BCI) extracts thoughts in a human brain as cranial nerve information and used for controlling machines. We use a method called "neuro feedback (NFB)" to feedback one's brain activity state to oneself. The NFB are expected to be an application for mental health care. In this paper, we evaluated the effectiveness of the developed NIRS-NFB system for mental health care by conducting NFB training for 5 days. We confirmed that changes in the POMS, that evaluate the brain activity, by NFB training. This result showed that the developed NIRS-NFB system is applicable to mental health care.

Keywords : BCI(Brain computer interface),Neurofeedback,NIRS(Near Infrared Spectroscopy)

1. はじめに

近年、非侵襲的な脳機能計測技術の発展に伴い、使用者の脳活動から意思を読み取り、体を動かすことなく機械を制御するブレイン・コンピュータ・インターフェース (BCI: Brain computer interface) 技術が医療介護・福祉分野への貢献に期待されている。特に、BCI 使用者が現在の脳活動状態を視覚・聴覚刺激などを用いて脳活動状態を把握し、トレーニングを通じて脳活動を随意制御する技法であるニューロフィードバック (NFB: Neuro-Feedback) トレーニングが注目されている。人間のストレス反応は前頭前野の左右活動バランスが制御していること^[1] やうつ病などの精神疾患患者は前頭前野機能が低下すること^[2] が報告されている。そのため、NFB トレーニングにより前頭前野の活動を随意制御することが可能となれば精神疾患の治療などメンタルヘルスケアへの応用につながる可能性がある。

非侵襲的な脳機能計測装置を用いた NFB をメンタルヘルスケアに応用した先行研究として、脳波を用いた方法が提案されている^[3]。しかし、特定の脳活動部位に注目して脳活動を計測することは、脳波より空間分解能が高い近赤外分光法 (NIRS: Near-infrared spectroscopy) を使用することが有効であり効率的な NFB トレーニングシステムを実現できる可能性がある^[4]。柳澤ら^[5] は NIRS を用いた NFB システムとして使用

者の脳活動を色の変化で呈示するシステムを開発し、NFB トレーニングを行うことで、前頭前野の脳活動に変化が生じることを確認した。

しかし、このシステムは視覚呈示する内容が単調であり、使用者のトレーニングに対する意欲が欠如し持続性が見込まれないことなどの問題がある。そのため著者ら^[6] は、システムを小型化し使用者のトレーニングに対する意欲を維持するためにゲーム要素を NFB システムに加えたシステムの開発した。

本研究は、著者ら^[6] が開発した NFB システムを用いた NFB トレーニングを行い、メンタルヘルスケアへの応用の有効性を検証する。そのために、NFB トレーニング前後における前頭前野における活動左右差の変化と主観評価の変化を確認する。

2. NIRS を用いた NFB システム

2.1 NIRS の原理

NIRS は、近赤外光を用いて脳血流内のヘモグロビン濃度変化量を測定することで、間接的に脳活動を非侵襲的に計測する装置である。脳の神経活動にともない血流量が局所的に変化することで、血液中のヘモグロビンの濃度が変化する。生体へ透過性が高い近赤外光 (700~900nm) を照射し、その透過光・拡散光から酸素化ヘモグロビン (oxy-Hb)、脱酸素化ヘモグロビン (deoxy-Hb) の濃度変化から計測することが可能である。しかし、NIRS による計測値は絶対値ではなく基準値からの濃度変化量という相対値であることに注意する必要がある。

*1: 日本大学大学院 生産工学研究科

*2: 日本大学 生産工学部

*1: Graduate School of Industrial Technology, Nihon University

*2: Nihon University, College of Industrial Technology.

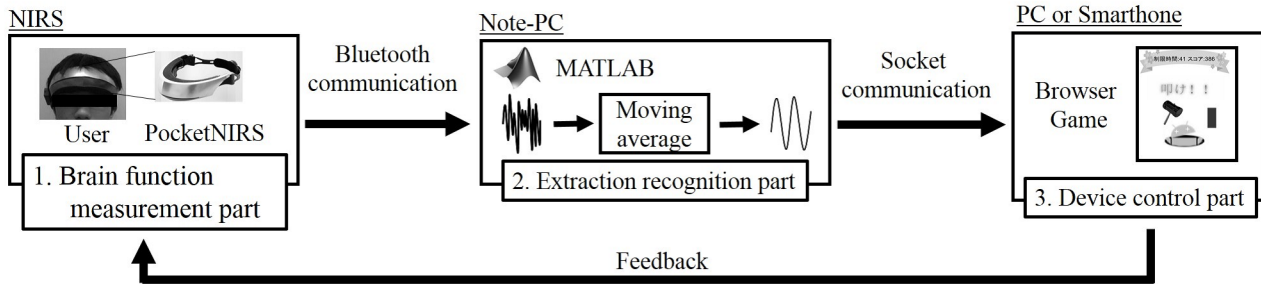


図1 NIRS-NFB システム
Fig.1 NIRS-NFB system

2.2 ストレスと前頭前野機能

酒谷ら^[1]は、前頭前野の左右活動バランスが、ストレス反応を制御している可能性があることに着目してNIRSを用いて暗算課題を行った際の脳活動変化を測定した。その結果、心身にストレスを感じた人は右側の前頭前野が左側よりも活動が大きく、逆にストレスを感じていない人は左側の前頭前野が右側より活動が大きいことを報告している。このことから認知課題における脳活動の左右差を評価するラテラルインデックス (RLS : Right laterality ratio score) を求めている。RLS が正の値の場合、右前頭前野の活動が優位な傾向を示しストレスに弱い状態だと考えられる。逆にRLS が負の値の場合、左前頭前野の活動が優位な傾向を示しストレスに強い状態だと考えられる。(1) 式にRLS の計算式を示す。

$$RLS = \frac{(Right\Delta oxyHb - Left\Delta oxyHb)}{(Right\Delta oxyHb + Left\Delta oxyHb)} \quad (1)$$

また、同様の方法により暗算課題により右前頭前野が優位に活動する女性はストレスによるにきびがでやすい可能性があり^[7]、このような日常レベルの心身ストレスをリラクゼーション効果のある香りを長期使用することでストレスに強い左前頭前野優位の脳に改善できる可能性も報告している^[8]。

2.3 従来のNFBシステムの開発事例

NFBにおける脳活動情報の提示方法は視覚刺激によるものが中心であり、先行研究として、柳澤ら^[4]の脳活動変化を色の变化で表すシステムなどがある。しかし、これらのシステムは視覚呈示する内容が単調でありNFBトレーニングへのモチベーションの維持が困難な可能性がある。そのため、著者ら^[5]はゲーム性を持たせたNFBシステムの開発した。

3. NIRS-NFB システムの構成

3.1 NFB システムの概要

本研究で開発したNIRS-NFB システムを図1に示す。本システムは、脳機能計測部、特徴抽出・認識部、

機器制御部の3構成で構成される。脳機能計測部にて、NIRSを用いて計測した信号をリアルタイムに特徴抽出・認識部へ送り、信号に含まれるノイズの除去などの解析を行い脳活動情報を抽出して、機器制御を行うための脳活動レベルの判定を行う。そして、機器制御部にて判定した結果に応じてゲームキャラクターを操作する。

3.2 脳機能計測部

脳機能計測部では、使用者の脳活動をNIRS装置により計測する。計測に用いるNIRS装置は、前額部を測定するための2本のプローブをヘッドマウントホルダーに搭載した携帯型近赤外組織酸素モニタ装置PocketNIRS HM(DynaSense社製)を用いて計測した。

計測したNIRS信号(サンプリング周波数4Hz)は、Bluetoothにてデータ解析用PCの専用計測ソフトに転送され、仮想ポートを利用して作成した特徴抽出・認識部へと転送される。

3.3 特徴抽出・認識部

特徴抽出・認識部では、NIRSにより計測されたNIRS信号に含まれる脳活動と無関係な変動のノイズを除去するために脳活動に関係した情報を抽出する。本研究では、数値計算ソフトであるMATLABを用いて計測したNIRS信号に移動平均によるノイズ除去を行い脳活動情報とした。さらに、解析した脳活動情報の平均値から閾値を設定し、現在の計測値と比較することで脳活動レベルの判定を行った。移動平均点数を11点、閾値のための平均値を求める区間の点数は50点として設定した。

3.4 機器制御部

機器制御部では、脳活動レベルの判定結果をもとにゲームの制御を行う。ゲーム内容は、ゲーム上の金槌を制御して、ゲーム内のキャラクターを叩くもぐらたたきとした。金槌の制御は脳活動レベルの判定結果から動作可能であり、使用者のoxy-Hbが高いほど脳活動レベルが高いと判定し金槌を振り、キャラクター出現時に叩くとスコアが加点され、キャラクター出現

しない時に叩くとスコアが減点される。oxy-Hb が低い値ほど脳活動レベルが低いと判定し金槌を振らないように設定した。

また、現在の脳活動状態を分かりやすくするためにゲーム内に使用者の脳活動状態により変化するカラーバーを画面上に設置した。

4. NIRS-NFB システム検証実験

4.1 NFB トレーニング実験

本研究では、開発した NIRS-NFB システムを用いて 20 代の男性 2 名を対象に週 3 日の頻度で 5 日間の NFB トレーニングを行った。Pocket-NIRS を実験参加者の前頭前野両外側部に取り付け、左外側部 (2ch) にて計測した oxy-Hb 信号をフィードバック情報としてゲームに送信し操作した。NFB トレーニング時間は 200s とし、レスト 20s、タスク 20s を 1 試行として 5 試行繰り返し、1 日に 2 回トレーニングを行った。タスク中は意識を集中してキャラクターを叩いてもらい、レスト中は、リラックスしてキャラクターを叩かないようにして、5 日間のトレーニングを通して高得点を目指してもらうように教示した。課題開始 1 試行目は練習試行としたためゲームスコアの加点は 2 試行目からとした。また、ゲーム操作の感覚をつかむために実験前に練習を行った。

本実験は、日本大学生産工学部倫理委員会 (承認番号: S2014-016) の承認を得て実験を行った。

4.2 認知記憶課題を用いた実験

NFB トレーニングの効果の検討を行うためにワーキングメモリ (WM: Working Memory) 課題とノンワーキングメモリ (NWM: Non Working Memory) 課題の 2 種類の課題を行った。WM 課題では、異なる色と形の図形を 3 秒おきに連続してコンピュータ画面に表示して記憶させ、その後 8 個の図形を表示した画面から、呈示された順番どおりに図形を指で選択してもらうように教示した。NWM 課題では、8 個の図形を表示した画面上から、同じ画面の上部枠内に示した配置の順番どおり図形を指で選択してもらうように教示した。

WM 課題は記憶する図形の数を 4 個、記憶する図形を呈示する時間が 18s、画面から記憶した図形を探索し指で示す時間を 15s とし、NWM 課題は 15s した。WM 課題と NWM 課題を合わせたものを 1 試行として、これを 6 回繰り返し行った^[9]。

4.3 実験結果

4.3.1 評価方法

NFB トレーニング前後における脳活動状態を NIRS 信号から評価し、同時にトレーニング前後におけるゲームスコア、WM の正答率の変化を確認する。ストレス状態の変化を評価する方法としては、脳の活動左

右差を示す RLS 指標を用いる。

また、トレーニング前後における気分・感情状態の変化を確認するために、メンタルヘルスケアに使用される質問紙である POMS (Profile of Mood States) を用いる。POMS は「緊張-不安」、「抑うつ」、「怒り」、「活気」、「疲労」、「混乱」の 6 つの因子を同時に計測することで総合的な気分状態の指標となる TMD (Total-Mood-Disturbance) 得点が求められる。TMD 得点は得点が高いほど不安定な気分・感情状態を表す。今回は TMD 得点を用いて NFB トレーニング前後による気分・感情状態を計測を行う。

4.3.2 評価結果

実験参加者 2 名の内トレーニング効果が顕著であった 1 名の NFB トレーニング前後における左前頭前野の NIRS 信号の波形を図 2 に示す。

図 2(a) より、トレーニング前はレスト時とタスク時において oxy-Hb の変動が少なく、ゲームの操作が困難であった。しかし図 2 (b) より、トレーニング後ではトレーニング前と比べて oxy-Hb の変動が激しく、レスト時は oxy-Hb が減少する傾向が見られ、タスク時は oxy-Hb が上昇する傾向が見られた。そして、ゲームを意思通りに操作する傾向があり、ゲームスコアもトレーニング前は 665 点であったがトレーニング後は 861 点と向上することを確認した。

また、NFB トレーニング前後における WM の正答率においてはトレーニング前は正答率 64.5% (48 問中 31 問正答) であったがトレーニング後は正答率が 75% (48 問中 36 問正答) となり、約 10% 向上を確認した。

図 3 に NFB トレーニング前後における WM 課題の RLS を示す。その結果、トレーニング前は右前頭前野が優位な傾向を示しているが、トレーニング後では左脳優位の傾向に向かうことを確認した。このことから、NFB トレーニングを行うことで左前頭前野優位の脳活動に変化して、ストレスに強い脳へと変化していく可能性を示した。

また、図 4 に NFB トレーニング前後における TMD 得点の結果を示す。図 4 より、NFB トレーニングを行うことで TMD 得点がトレーニング前よりも低下しており、気分の改善が確認できた。これら結果は、実験参加者 2 名共に同様の傾向が確認した。

以上の結果から、NFB トレーニングを行うことで左前頭前野優位の傾向に向かいストレスに強い脳に変えることや気分・感情状態を改善することができることを確認した。このことから、開発した NFB システムがメンタルヘルスケアへの応用が可能であることを確認した。

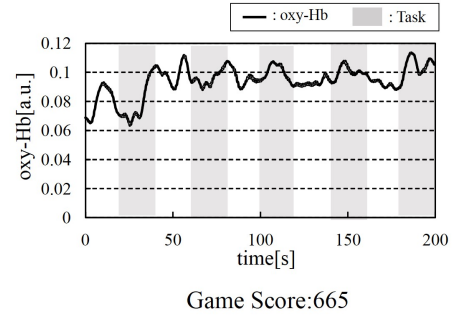
5. 結言

本研究は、健常者2名を対象に開発したNFBシステムを用いたNFBトレーニングを行い、トレーニング前後における前頭前野における活動左右差の変化と主観評価から変化を確認した。

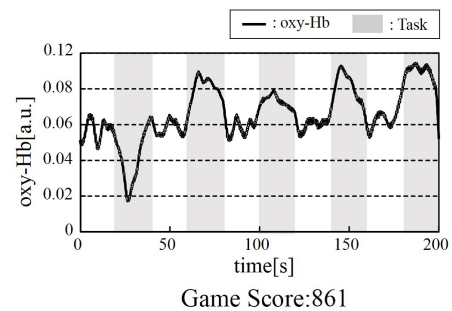
その結果、RLSを用いてトレーニング前後における脳活動変化を比較したところ、トレーニングを行うことで脳活動が左前頭前野優位の傾向に近づくことからストレスに強い脳へと変わる可能性を確認した。また、POMSを用いた主観評価においてもトレーニングを行ったことで気分・感情状態が改善する傾向を確認した。このことから、NFBトレーニングを行うことでストレス耐性の強い脳活動へ変える可能性を示唆した。しかし、結果は健常者であり実験参加者も2名であるため、今後は実験参加者を増やしてさらに開発したシステムの検証を行っていく。

参考文献

- [1] 酒谷 薫: NIRS-基礎と臨床-; 新興医学出版社, (2012)
- [2] Ryu Takizawa, Masato Fukuda, Shingo Kawasaki: Neuroimaging-aided differential diagnosis of the depressive state; NeuroImage, **Vol.85**, pp.498-507, (2014).
- [3] Mirjam E.j. Kouijer, Jan M.N. de Moor, et al.: Neurofeedback improves executive functioning in children with autism spectrum disorders; Research in Autism Spectrum Disorders, **Vol.3**, Issue 1, pp.145-162, (2009).
- [4] 加納 慎一郎: Brain-Computer Interface (BCI) におけるバイオフィードバック; バイオフィードバック研究, 36(2), pp.127-133, (2009)
- [5] 柳澤 一機, 綱島 均, 酒谷 薫: 前頭前野を対象にしたニューロフィードバックトレーニングにおけるNIRS信号手法の提案; 人間工学会, **Vol.51**, pp.42-51, (2015).
- [6] 奥村 壮太, 下瀬 あかり, 柳澤 一機 他: スマートフォンを利用した小型ニューロフィードバックシステムの開発; ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015 論文集, pp.335-338, (2015).
- [7] Masahiro Tanida, Masako Katsuyama, Kaoru Sakatani: Relation between mental stress-induced prefrontal cortex activity and skin conditions: A near-infrared spectroscopy study; Cog Brain Research, **Vol.1184**, pp.210-216, (2007).
- [8] Masahiro Tanida, Masako Katsuyama, Kaoru Sakatani: Effects of fragrance administration on stress-induced prefrontal cortex activity and sebum secretion in the facial skin; Neuroscience Letters, **Vol.432**, pp.157-161, (2008).
- [9] Naoko Narita, Akiyuki Saotome, et al.: "Impaired prefrontal cortical response by switching stimuli in autism spectrum disorders"; Journal of Pediatric Neurology, **Vol.10**, No.2. p.87-94, (2012).



(a)NFB トレーニング前の NIRS 信号 (前頭前野左外側部)
(a)NIRS signal before NFB training(left lateral portion of prefrontal area)



(b)NFB トレーニング後の NIRS 信号 (前頭前野左外側部)
(b)NIRS signal after NFB training(left lateral portion of prefrontal area)

図 2 NFB トレーニングによる脳活動の変化
Fig.2 Changes of brain activity by NFB training

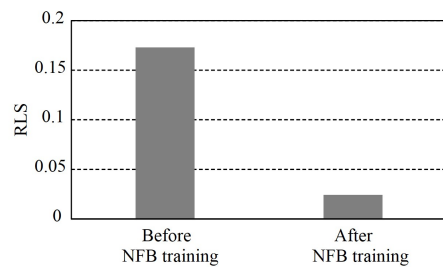


図 3 NFB トレーニングにおける RLS の結果
Fig.3 Result of RLS in NFB training

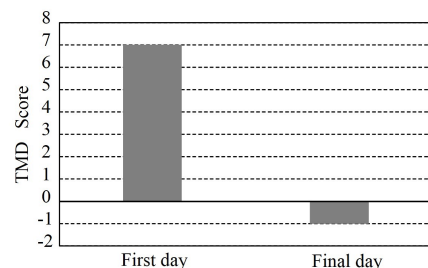


図 4 NFB トレーニングにおける POMS データ
Fig.4 POMS data in NFB training