

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

奥村壮太^{*1} 下瀬あかり^{*1} 柳澤一機^{*2} 綱島 均^{*2}

Development of portable neurofeedback system using smartphones

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

Abstract – Brain Computer interface (BCI) extracts thoughts in the human brain as cranial nerve information and is a system for controlling the machines. We are using a method called "neuro feedback (NFB)" to the feedback using visual and auditory stimuli brain activity state of the user. In this paper, we develop the NIRS-NFB system intended for the treatment of developmental disabilities using the smartphone. It is first mentioned the problems of the conventional NFB system, and then the whole picture for a description of the NFB system of the present study was to improve the problems. Then, it shows the operation results performs an operation verification of NFB system developed in this study by using a smartphone.

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

1. 緒言

近年、発達障害・精神疾患の診断方法の一つとして脳活動計測による研究が盛んに行われている。特に、脳機能計測法として非侵襲的脳機能計測装置である近赤外分光法 (NIRS : Near-infrared spectroscopy) が障害・疾患の有効な生理学指標として利用されている。NIRS を用いた先行研究として、成田ら^[1] は発達障害の一つである自閉症スペクトラム (ASD: Autistic Spectrum Disorder) 者の前頭前野背外側部における脳活動を計測した結果、健常者と ASD 者では異なる脳活動を示すことを確認した。

NIRS による脳活動計測は発達障害・精神疾患者の診断だけでなく、治療への応用としても使用されている。その方法として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) 技術の一つ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。NFB とは、BCI 使用者が自身の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。そのため、発達障害者が NFB トレーニングを行うことで健常者と同様の脳活動パターンへ随意制御することが可能となれば、症状の改善が可能となると

期待できる。

発達障害の治療を目的とした NFB トレーニングに関する先行研究としては脳波を用いた方法があげられる^[2]。しかし、成田ら^[1]の報告から特定の脳部位での脳活動の違いを計測するために、脳波より空間分解能が高い NIRS を使用することが効率的な NFB トレーニングシステムを実現可能である。

先行研究として、柳澤ら^[4] はメンタルヘルスケアを目的とした使用者の脳活動を色の変化で表示する NIRS-NFB システムや福長ら^[5]の脳活動の変化を車速度計のようなメータで表示する NIRS-NFB システムが開発されている。しかし、これらのシステムは脳活動情報を表示する内容が単調であり、使用者が NFB トレーニングに対する倦怠感を覚え、トレーニングへの持続性が見込まれないことやシステムが大型であるため気軽にトレーニングを行うことが困難であることが問題として挙げられる。

そこで本研究では、NFB 使用者のトレーニングに対する意欲を維持し、気軽に NFB トレーニングを行える発達障害者の治療を対象とした NIRS-NFB システムを開発する。そのために、医療・教育などの社会的問題の解決に用いられているシリアスゲームを NFB システムに組み込んだ小型 NIRS とスマートフォンを用いた NIRS-NFB システムを開発する。

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

^{*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

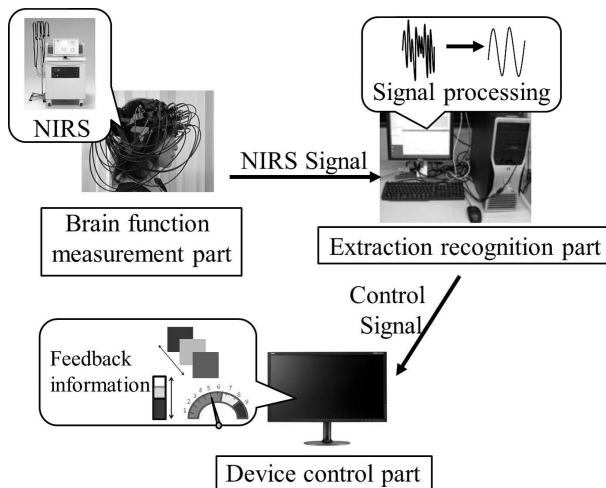


図1 従来のNIRS-NFBシステム
Fig.1 Conventional NIRS-NFB system

侵襲的に計測する装置である。脳の神経活動に伴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。生体への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。

2.2 先行研究におけるNFBシステムと問題点

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る。先行研究として、柳澤ら^[4]は脳活動の変化を色の变化で表し、福長ら^[5]は脳活動の変化を車速度計のようなメータに変化させて、ディスプレイに表示し使用者にフィードバックしたシステムを開発した。先行研究で開発されたNIRS-NFBシステムの概要図を図1に示す。NFBシステムは、現在の自身の脳活動をディスプレイに呈示していることから、脳活動を随意制御することが可能となることを特徴としていた。

しかし、これらのシステムは2つの問題点がある。1つ目は、使用者にフィードバックする内容が単調でNFBトレーニングに対する持続性の維持が困難であるため、トレーニング効果が希薄になる可能性である。2つ目は、これらのNFBシステムはマルチチャンネルのNIRSを使用しており、fMRIなどと比較すると小型ではあるが場所にとらわれず脳活動を計測するには大型のシステムとなる。

NFBトレーニングシステムでは、長期間のトレーニングにより脳活動を変化させるためこれらの問題を解決する必要があり、特に発達障害者を対象としたNFBトレーニングでは、使用者がトレーニングに対する意

欲を向上させることが重要である。

3. NIRSによるNFBシステムの構成

3.1 NFBシステムの概要

本研究では、ゲーム要素をフィードバック内容として取り入れる。そして、手軽にトレーニングを行うことを可能するためスマートフォンを用いたNFBシステムの開発を行った。

また、トレーニングに使用するゲームはプログラム上の独立性を高め、様々な種類のゲームを使用してトレーニングできるように開発する。そのため、脳活動の解析はデータ解析ソフトであるMATLAB、ゲームはWebプログラミングに用いられるHTML5とJavaScriptでプログラミングを行い、お互いをリアルタイムにデータ送信を可能としたシステムを実現した。

本研究で開発したNIRS-NFBシステムの構成図を図2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構成となる。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を行い脳活動情報を抽出する。そして、機器制御を行うために脳活動レベルの判定を行う。その後、Socket.ioによるデータ通信を行い機器制御部にて脳活動レベルの判定結果をもとにゲームを操作する。

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装置を用いて計測する。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 Duo(DynaSense社製)を用いて計測した。

これは、計測チャンネルは2chと少ないが、マルチチャンネルのNIRSに比べて長時間の計測にも使用者に負担をかけることなく計測でき、携帯性も優れている。また、ヘッドマウントホルダーより外来光を遮断し、被るだけでプローブの固定が可能である。

PocketNIRSを用いて計測した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・認識部へと送信される。

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処理して使用者の脳活動情報を抽出する。また、機器制御を行うために抽出した脳活動情報から脳活動レベルの判定を行うため、機械学習による識別を行う。特徴抽出・認識部で開発した解析アプリケーションを図3に示す。

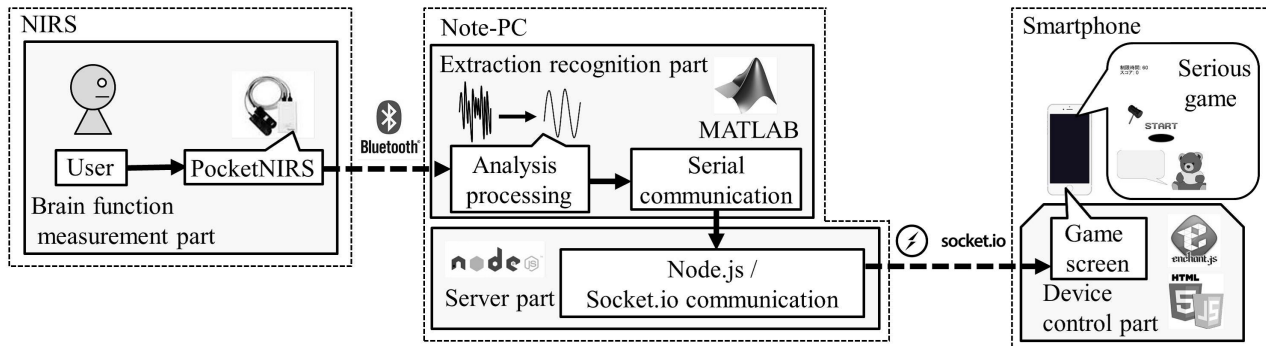


図2 開発した NIRS-NFB システムの構成図
Fig. 2 System configuration of the developed NIRS-NFB system

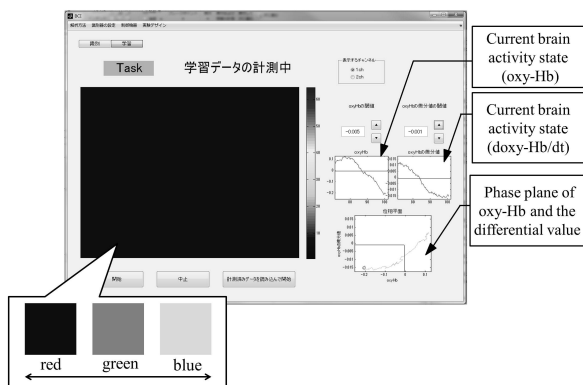


図3 NIRS-BCI 制御ソフトウェア
Fig. 3 NIRS-BCI control software

本研究で開発したアプリケーションは機械学習の識別を行うための学習データが必要である。学習では、使用者の脳活動変化を色の变化でフィードバックし集中とリラックスを交互に行うよう呈示した。前レスト、タスク、後レスト、繰り返し回数の設定を行い、タスクでは脳が活動している状態 (赤色に変化)、レストでは脳が活動していない状態 (青色に変化) の計測をする。そして、移動平均 (移動平均点数: 15 点) を行い、oxy-Hb とその微分値に含まれるノイズを除去したデータをニューラルネットワークに入力し、学習を行う。

機器操作の際は、NIRS 信号をリアルタイムで計測し、得られたデータから使用者の意図に関連した特徴量として 2ch 分の oxy-Hb とその微分値を抽出し、その信号をもとにニューラルネットワークを用いて使用者の脳活動パターンを認識する^[5]。そして認識結果を機器制御部に送信することで機器操作を可能とした。

3.4 機器制御部

3.4.1 解析データ通信方法

特徴抽出・認識部で行った認識結果をもとに機器制御部のゲームを操作する。そのため、認識結果をゲー

ムに反映して操作を可能とするデータ通信方法が必要である。

本システムでは、仮想ポートを利用して認識結果をシリアル通信によりサーバーに転送する。サーバーは、JavaScript により構築することができるサーバーサイド実装の言語である Node.js により作成した。そして、Node.js を利用することでパッケージに含まれるリアルタイムにデータ通信することが可能な Socket.io を使用でき、これにより機器制御部のゲームに判定結果を送信することを可能とした。

3.4.2 スマートフォンとの接続

NFB トレーニングにゲーム要素として医療・教育などの社会的問題の解決に用いられるシリアスゲームを取り入れて開発している研究は多くある^[6,7]。しかし、コンピューターのモニターにゲームを表示させるシステムであるため、手軽なトレーニングを行うことが困難である。

本研究では、より汎用性の高い NFB システムの開発を行うためにスマートフォン上でトレーニングを行えるシステムを開発する。本システムでは、特定の機種にとらわれないマルチプラットフォームに対応したシステムの開発を行うために、アプリケーションに HTML5, CSS, JavaScript により開発する Web アプリを使用することでスマートフォン上での動作を可能とした。

3.4.3 開発したシリアスゲーム内容

人間がゲームを行う目的として空想世界の探求や日常生活では実施できない体験などがあり、使用者が繰り返し実施したいという欲求を満たす工夫 (ゲーム性) をゲームに加えることが重要である^[6]。

また、発達障害者の治療に用いるゲーム開発をする場合、発達障害者は課題間切り替えが苦手ことが確認されているため^[1]、集中とリラックスの切り替えがゲーム要素として加えたゲーム開発が重要である。

本研究では、ゲームを開発するに当たり 2 つの特徴



図4 シリアスゲーム画面
Fig.4 Game screen

を導入する。1つ目は、トレーニングを実施するたびに自身のスコアを表示して自己スコアの向上を目的としたゲームとすることで、使用者のNFBトレーニングへの意欲の向上が期待できトレーニングに対する持続を可能とする。2つ目は、ゲーム内に集中とリラックスを加えたゲームとする。これにより、発達障害者の治療への応用が可能なゲームとする。

本研究で開発したゲームの画面を図4に示す。開発したゲームは、enchant.jsをゲームエンジンとして開発した。ゲーム内容はモグラたたきを題材とし、キャラクターが出現している時に意識を集中するとゲーム上の金槌でキャラクターを叩くことができる。また、キャラクターが出現していない時にはリラックスして金槌を振らないようにする。

ゲーム操作は使用者の脳活動の変化により操作するため、使用者が操作感覚が取りやすいようにキャラクターが出現しているときは「叩け」、出現していない時は「リラックス」するように画面に表示させた。

3.4.4 NIRS-NFB 動作検証

本研究で開発したNIRS-NFBシステムの動作検証を行った。開発したNIRS-NFBシステムを使用している動作風景を図5に示す。NFBシステムはiOS、Androidなどの機種にとらわれることなく動作できることを確認した。また、Webブラウザ上から動作可能なためパソコンやタブレットでもNFBシステムを使用できることを確認した。

ゲームでは、使用者はスマートフォンに映されたシリアスゲームを脳活動の変化によりリアルタイムに操作することが可能であった。そして、ゲーム上の金槌を振ってキャラクターを叩くことでスコアが向上されていくことを確認した。

4. まとめ

本研究では、NFB使用者のトレーニングに対する意欲を維持し、手軽にNFBトレーニングを行えるNIRS-

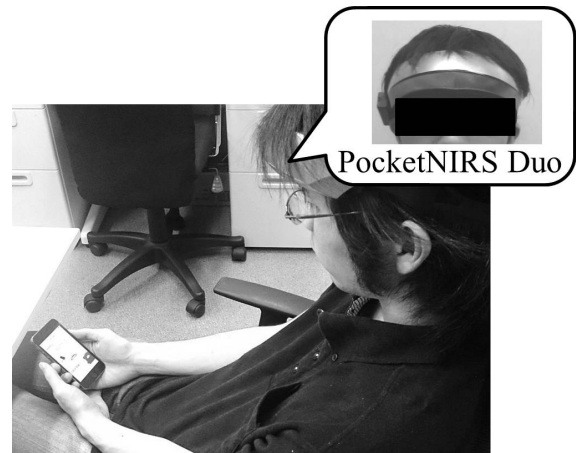


図5 ゲーム使用風景
Fig.5 A participant playing the game

NFBシステムの開発を行った。そして、使用者のトレーニングに対する意欲維持のためトレーニング内容にゲーム性を導入した。

開発したシステムの動作検証を行った結果、スマートフォンを活用した汎用性の高いNIRS-NFBシステムの制御が可能であることを実証した。

今後は、開発したシステムを使用して、発達障害者のニューロフィードバックトレーニングを行う予定である。

参考文献

- [1] Naoko Narita, Akiyuki Saotome et al.: Impaired prefrontal cortical response by switching stimu in autism spectrum disorders; Journal of Pediatric Neurology, **Vol.10**, No.2, pp.87-94, (2012).
- [2] 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).
- [3] 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信号の評価手法の提案; 人間工学会, **Vol.51**, No.1, pp.42-51 (2015).
- [4] 福田 一義, 大貫 雅也, 他: NIRSを用いたニューロフィードバックシステムの開発; 杏林医学雑誌, **Vol.42**, No.1, pp.2-11 (2011).
- [5] 下瀬 あかり, 柳澤 一機, 綱島 均: BPネットワークを用いた小型NIRS-BCIシステムの開発; 第5回NU-Brainシンポジウム, pp.19 (2015).
- [6] Qiang Wang, Olga Sourina, Minh Khoa Nguyen: EEG-based "Serious" Games Design for Medical Application; Cyberworld (CW), 2010 International Conference on, pp. 270-276 (2010).
- [7] 神野 貴之, 古市 昌一, 他: シリアスゲームを利用したBCIの制御能力向上方法の提案; 第2回NU-Brainシンポジウム, pp.127-128 (2011).