

スマートフォンを利用した小型 NIRS-NFB システムの開発

日大生産工(院) ○奥村 壮太 日大生産工(院) 下瀬 あかり
日大生産工 柳澤 一機 日大生産工 綱島 均

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 は近赤外光を用いて, 脳血流変化を計測する装置であるため, 自然な状態で脳活動を計測することが可能である.

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. その結果, 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: Neurofeedback)トレーニングが注目されている. NFB とは, 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把握し, トレーニングを行うことで自身の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改善することが可能となれば, 症状の改善が可能になると期待できる.

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

で特定の脳部位への計測を可能とし, 効率的なNFBトレーニングシステムを実現可能である.

NIRSを用いたNFBシステムの先行研究として, 柳澤ら³⁾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呈示するNIRS-NFBシステムや福長ら⁴⁾の脳活動の変化を車速度計のようなメータで呈示するNIRS-NFBシステムが開発されている. しかし, これらのNFBシステムは刺激の呈示内容が単調であり, 使用者がNFBトレーニングに対する倦怠感を覚え, トレーニングへのモチベーションの維持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にあった.

そこで本研究では, NFB使用者のトレーニングに対するモチベーションを維持し, 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システムに組み込み小型NIRSとスマートフォンによる完全ワイヤレス化した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. そのため, 脳に生体への透過性が高い近赤外光(700~900 nm)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.

Development of portable NIRS-NFB system using smartphone

Souta OKUMURA, Akari SHIMOSE,
Kazuki YANAGISAWA and Hitoshi TSUNASHIMA

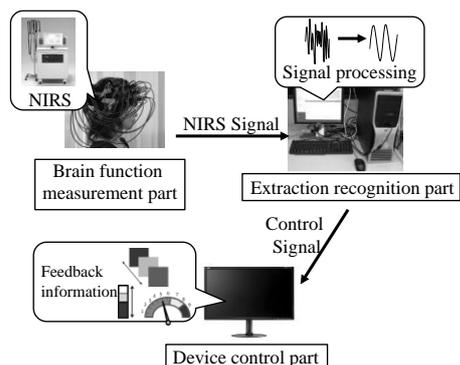


Fig.1 Conventional NIRS-NFB system

2.2 先行研究におけるNIRSシステムの問題点

NFB における脳活動情報の呈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³⁾は脳活動の変化を色の変化で表し、福長ら⁴⁾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フィードバックするシステムを開発した。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、使用者に視覚呈示する内容が単調でNFBトレーニングに対するモチベーション維持が困難となり、トレーニング効果が希薄になる可能性がある。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トレーニングに対するモチベーションを維持し、場所にとらわれなくて気軽にトレーニングを行えるようにする必要がある。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興味を持たせ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ことでNFBトレーニングへのモチベーション維持を図る。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、使用者の脳活動をNIRSを用いて計測し、そのNIRS信号をリアルタイムに特徴抽出・認識部へ送る。そして、NIRS信号に含まれるノイズの除去を行い脳活動情報を抽出し、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 脳機能計測法

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、前頭前野を測定するための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ー装置PocketNIRS HM(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し、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・認識部へとデータを送信する。

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信号に含まれる測定装置のノイズや心拍変動、呼吸による影響などの脳活動と無関係な変動を処理し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。

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。

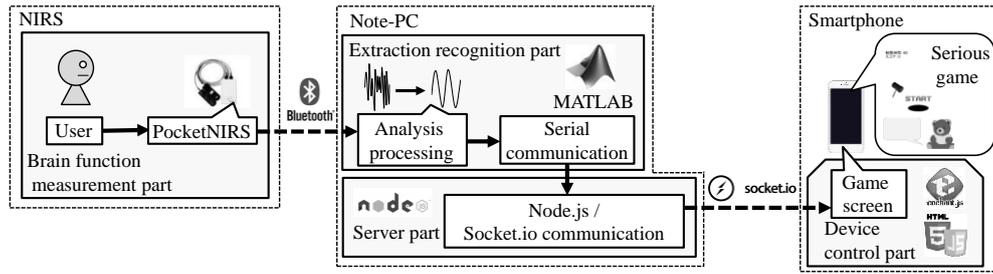


Fig.2 System configuration of the developed NIRS-NFB system

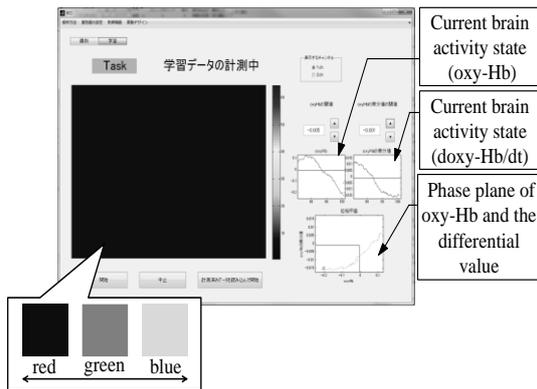


Fig.3 NIRS-BCI control software

学習では、使用者の脳活動変化を色の変化でフィードバックし集中とリラクセ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、学習を行った。

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の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を使用して、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方法

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、手軽にNFB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した。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やタブレット端末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⁷⁾。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なことが確認されているため¹⁾、集中とリラクセスの切り替えをゲーム要素として加えたシステム開発が重要である。

本研究では、NFBシステムを開発するに当たり2つのゲーム要素を導入する。1つ目の要素は、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。これにより、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



Fig.4 Game screen

持続を可能とする。2つ目の要素は、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、使用者が操作感覚を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モチベーションを維持し、手軽にNFBトレーニングを行えるNIRS-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モチベーション維持のためトレーニング内容にシリアスゲームを導入した。

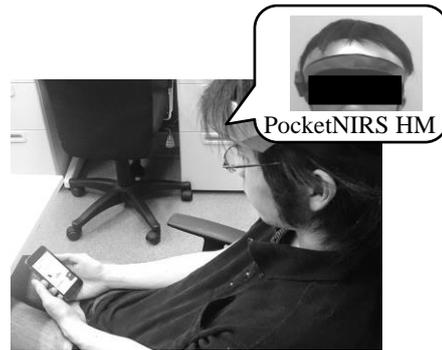


Fig.5 Participant playing the game

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NFBトレーニングを行いシステムの効果検証を行う予定である。

「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, 2012, pp.87-94.
- 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, 2009, pp.145-162.
- 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, 2015, pp.42-51.
- 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, 2011, pp2-11.
- 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*, 2015, pp19.
- 6) Qiang Wang, Olga Sourina, Minh Khoa Nguyen, EEG-based “Serious” Games Design for Medical Application, *Cyberworld (CW), 2010 International Conference on*, 2010, pp.270-276.
- 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*, 2011, pp.127-128.