

機関番号：31303

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500483

研究課題名(和文) 運動想起型BCIへのユーザ適応を促すニューロフィードバック手法の開発

研究課題名(英文) Neurofeedback training for user adaptation to motor-imagery based BCI

研究代表者

加納 慎一郎 (Kano, Shin'ichiro)

東北工業大学・工学部・准教授

研究者番号：00282103

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの感覚運動野の脳活動から運動の想起の有無やその種類を検出するBCI (brain-computer interface) における適用性や検出成績を向上させるために、脳波やNIRS (近赤外分光法による脳血流計測) によって得られたヒトの運動想起に伴う脳活動信号から生成された情報をユーザにフィードバックするニューロフィードバック(NF)を用いるための方法論について検討を行った。本実験の結果、計測信号からの情報抽出法、NF実験の実施方法などの知見が得られた。

研究成果の概要(英文)：The BCI (brain-computer interface) based on motor imagery is to detect the intensity of subjects from their brain activities from sensorimotor cortex during imagining to move their own limbs. This study aimed to investigate the methodology to use neurofeedback training (NF), on which the processed EEG or NIRS (brain blood flow measured by near-infrared spectroscopy) data is presented to subject in real time, for improving the applicability and accuracy on motor-imagery based BCI. It was found that the motor related EEG on mu, beta and gamma band could be extracted by applying local and sparse spatial filters designed by ICA (independent component analysis) to measured EEG data, and such components could be used for neurofeedback training to improve the performance of motor-imagery based BCI.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学・融合脳計測科学

キーワード：BCI ニューロフィードバック 脳波 NIRS 大脳運動野

### 1. 研究開始当初の背景

BCI (Brain-Computer Interface) は、計測される脳活動から患者の意図を検出することで外部機器を制御する、いわば「思っただけで機器操作」を可能とするシステムである。

ヒトの運動のイメージ(想像)の有無やその種類を検出する BCI (運動想起型 BCI) では、感覚運動野に由来する脳活動に着目する。しかしこの脳活動に由来する計測信号の S/N 比や空間分解能は低く、またユーザの個体差が大きく、結果の再現性に乏しいことが多い。これらの理由により、運動イメージを用いたこれらの BCI システムは適性のあるユーザにしか適用できない場合が多く、誰にでも利用できるものとは言い難いのが現状である。

運動想起型 BCI では、脳活動信号をユーザにリアルタイムで提示しながら課題の遂行を求めるニューロフィードバック(NF)訓練を行うことが精度向上のために有効であることが予想される。しかし、この NF 訓練の過程を詳細に調べた研究はなかった。そこで申請者は、脳波および NIRS 信号を用いた運動想起型 BCI システムにおいて、NF 訓練実験の精度向上におよぼす効果を検証してきた。その結果、脳波を用いた NF 訓練により、脳波を帯域強度の増加(event-related synchronization: ERS)が顕著になることが示された。また、NIRS を用いた NF 訓練によって、一次運動野や補足運動野の酸化ヘモグロビン濃度が運動イメージに伴って高くなり、またその活動が局所的になるという効果が示された。これらの結果は、NF によって運動想起型 BCI のための計測信号の品質や再現性が向上し、これにより、これまで BCI への適性のない被験者へも適用が可能になる可能性を示している。

しかし、申請者らの NF 訓練は経験的手法に基づいて行われたもので、ある方法論に基づいたものではなかった。そこで、NF を用い

て運動想起型 BCI の適用性を向上させるには BCI のために実施する NF の統一的な方法論を提示する必要があると考えた。

### 2. 研究の目的

ヒトの運動のイメージ(想像)に伴う脳活動を脳波(脳波)や NIRS (近赤外分光法による脳血流計測)で非侵襲計測した信号を用いる BCI (brain-computer interface) において、計測によって得られた脳活動信号から生成された情報をユーザにフィードバックする NF を積極的に利用することで、これまでユーザが限定されていた運動想起型 BCI を誰にでも適用可能なものにするための方法論を確立する。

NF 訓練実験を実施し、訓練に伴う脳活動の変化を定量的に調べる。また、運動想起時の脳活動を時間分解能に優れる脳波と空間分解能に優れる NIRS で同時計測し、解析を行うことで、詳細な情報検出や NF の効果の評価を行うための方法を検討する。

### 3. 研究の方法

本研究では、課題を遂行することを求められた健常被験者に対して脳波、NIRS 計測実験を行った。また、実験に先立ち、計測した脳波、NIRS 信号をリアルタイムに処理して、その結果を被験者に提示する NF システムの開発を行った。

本研究では以下の実験を行った。その方法は以下のとおりとした。

#### (1) 運動実行・想起に伴う脳活動計測実験

右手、左手、両足の運動の実行や想起を行った際に被験者から得られる脳波および NIRS の計測信号を詳細に観察した。

脳波計測では、大脳皮質の感覚運動野を中心に、64 チャンネルの脳波を単極誘導によって計測した。計測された脳波の特定周波数帯域における周期律動( $\mu$ 波: 7~13Hz 程度、波: 13~25 Hz 程度)に着目して、運動のイメージに関連して生じる成分の変化に着目

した。

NIRS 計測では、大脳皮質の感覚運動野をカバーする領域に発光・受光プローブをアレイ状(3×11)に設置し、52チャンネルの酸化ヘモグロビン(Oxy-Hb)、還元ヘモグロビン(deOxy-Hb)、総ヘモグロビン(Total-Hb)濃度の変化量を計測した。

#### (2) 運動想起型 BCI における NF 実験

被験者が運動の想起を行う際の脳波や NIRS の計測信号に信号解析を施し、その結果得られた情報(フィードバック情報)を被験者にオンラインでフィードバックする NF 実験を行い、その過程での脳活動の変化を詳細に観察した。

計測方法は(1)と同様とした。

#### (3) 事象関連電位計測実験

運動想起型 BCI システムの操作や NF の効果の増進のための補助的手段を得ることを意図して、視覚刺激に対する事象関連電位計測実験を行った。

被験者に視覚刺激を提示し、その変化に伴う事象関連電位を計測された脳波から同期加算平均により抽出して解析を行った。脳波の計測方法は(1)と同様とした。

### 4. 研究成果

本研究で行われた実験内容と、それにより得られた結果を以下にまとめる。

#### (1) 運動イメージ課題中の脳活動計測手法の検討

運動をイメージすることを被験者に求め、その際の脳活動を脳波で計測し、同時に計測信号を解析してその結果をリアルタイムに被験者にフィードバックする、脳波 NF システムを構築した。

#### (2) 多チャンネル脳波から情報抽出を行うための局所的な空間フィルタの発見

脳波による NF システムにおけるフィードバック情報の質を向上させるために、被験者

に運動イメージ課題を課した際に多チャンネル計測した脳波データに空間フィルタを適用する方法について検討を行った。

計測信号に ICA(独立成分分析)を適用し、運動イメージ課題の遂行に伴う特定周波数帯域における周期律動( $\mu$ 波,  $\beta$ 波)を検出する方法を検討した。ICA を計測信号に適用して得られた分離行列を空間フィルタとして用いることで抽出される独立成分と、課題である運動イメージとの関連を検討した。

解析の結果、運動イメージに伴う感覚運動野由来の脳波成分を抽出する局所的な分布を有する空間フィルタが ICA により得られること、それらの独立成分に、運動イメージ課題の遂行に伴う特定周波数帯域における周期律動( $\mu$ 波,  $\beta$ 波)が認められることが分かった。

本結果は、脳波 NF システムにおいて、少ない電極数で質の高いフィードバック情報を得るための電極配置を発見する手法として有望だと思われる。

#### (3) NF の情報源としての運動関連高域 $\beta$ 波の検出法についての検討

脳波の背景雑音による影響を低減し、また BCI としての応答潜時を向上させるために、運動イメージを検出する BCI における信号源として運動関連高域  $\beta$  波(HG 波)を活用する可能性を検討した。

計測信号の前処理として ICA を用い、運動課題に関連して HG 帯域で強度が変化する独立成分を抽出した。その結果、課題に関連する HG 帯域の独立成分が抽出可能であることが示された。またこれらは計測信号全体の線形変換によって算出されるのではなく、信号源近傍の少数の電極が主成分となっていることが分かった。これらの結果は、 $\mu$ ,  $\beta$  帯域に加えて、HG 帯域の周期律動も、運動想起に基づく BCI における NF の信号源として利用可能であることを示すものである。

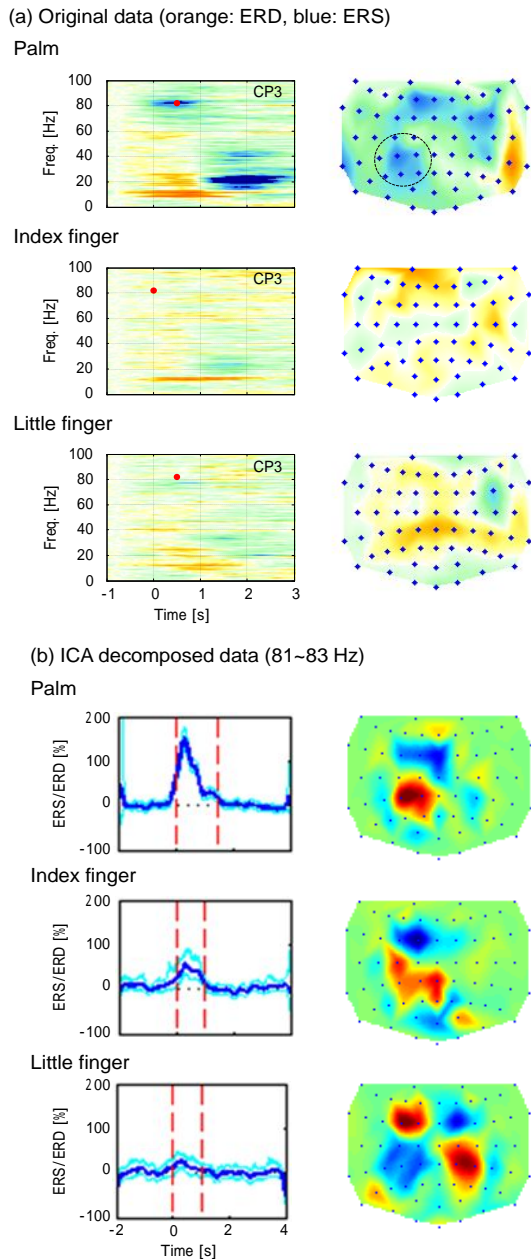


図1 手および指の動作に関連する脳波HG帯域成分を抽出するためのICAによる空間フィルタ設計の例

#### (4) 脳波, NIRS を用いた NF 実験

運動イメージを行うBCIにおけるNFの方法を検討するために、脳波, NIRSのそれぞれを用いたNF実験を実施した。右手の運動の実行および想起を行うことを被験者に求め、課題遂行中にNF情報を被験者にリアルタイムに提示した。NFの信号源として、脳波実験では $\mu$ 波, HG波の帯域強度成分, NIRS実験では、大脳運動皮質における右手の支配野(国際10-20法のC3近傍)周辺の5チャネ

ルの信号の総和を用いた。本実験の結果, NF情報を提示した場合の方が提示しない場合に比べて訓練効果が高いこと, 脳波においては, $\mu$ 波に比べてHG波のNFの効果は少ないが, ある程度の効果は認められることが示された。

本実験は現在も継続して実施している。

#### (5) NFの情報源としての事象関連電位の利用法に関する検討

脳波NFシステムにおける, 被験者への情報提示の付加的な手段として, 事象関連電位の検出に関する検討を行った。コンピュータカーソルの移動に関する認知課題を遂行する被験者から事象関連電位により, 被験者の選択的注意や, 被験者の意図と実際の状況との相違を検出できることが示された。本手法は, 脳波NFシステムにおけるフィードバック情報源として有益であると考えられる。

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計11件)

Kanoh S., Miyamoto K., Yoshinobu T., Kawashima R., The effect of neurofeedback training on cortical activity during motor imagery revealed by NIRS and fMRI, International Journal of Bioelectromagnetism, 13, 2, (2011), 82-83.

Kanoh S., Miyamoto K., Yoshinobu T., A P300-based BCI system for controlling computer cursor movement, Proceedings of the 33rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, (2011), 6405-6408.

Kanoh S., Miyamoto K., Yoshinobu T., Towards an EEG-Based BCI Controlled by Expectation, Proceedings of the 5th International Brain-Computer Interface Conference 2011, (2011),

84-87.

Kanoh S., Neurofeedback training for BCI based on motor imagery using EEG and NIRS, 第 50 回日本生体医工学会大会 プログラム・抄録集, (2011), OS-1-10-3.

Kanoh S., Towards a brain-computer interface controlled by intrinsic brain activations, Proceedings of SICE Annual Conference 2012, (2012), 1363-1364.

Kanoh S., Miyamoto K., Yoshinobu T., Generation of spatial filters by ICA for detecting motor-related oscillatory EEG, Proceedings of the 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2012), (2012), 1703-1706.

Kanoh S., Miyamoto K., Yoshinobu T., Generation of spatial filter by ICA for detecting motor-related oscillatory EEG, 第 51 回日本生体医工学会大会 プログラム・抄録集, 福岡, (2012), 01-08-5.

Kanoh S., Scherer R., Miyamoto K., Yoshinobu T., Extraction of oscillatory EEG during palm and finger movements, Proceedings of the TOBI Workshop IV, (2013), 71-72.

Kanoh S., Scherer R., Miyamoto K., Yoshinobu T., On oscillatory EEG during palm and finger movements, Proceedings of the Fifth International Brain-Computer Interface Meeting 2013, (2013), 117.

Kanoh S., Scherer R., Miyamoto K., Yoshinobu T., Extraction of high gamma band EEG during hand movements, 2013 IEEE EMBC Short Papers, (2013), No. 3303.

Kanoh S., Brain-computer interface based on explicit and implicit mental process, Proceedings of 2013 International Joint Conference on Awareness Science and Technology & Ubi-Media Computing, (2013), 308-309.

〔学会発表〕(計 4 件)

加納 慎一郎, 脳とコンピュータをつなぐ: 非侵襲脳活動計測による BCI の現状と展望, 2011 年度人工知能学会全国大会, 盛岡, (2011.06.01)

加納 慎一郎, 非侵襲脳活動計測による BCI の現状と展望, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2011, 仙台, (2011)

加納 慎一郎, 非侵襲計測による BCI: ユーザに働きかける BCI を目指して (招待講演), 第 2 回 NU-Brain シンポジウム, 東京, (2011)

加納 慎一郎, 脳とコンピュータをつなぐ: BCI のご紹介 (招待講演), 走行環境適応型足こぎ車いすの開発研究会 第 3 回年次学術集会, 仙台, (2013)

〔図書〕(計 1 件)

Brunner C., Andreoni G., Bianchi L., Blankertz B., Breitwieser C., Kanoh S., Kothe C.A., Lécuyer A., Makeig S., Mellinger J., Perego P., Renard Y., Schalk G., Susila I.P., Venthur B., Müller-Putz G.R., BCI Software Platform, in: Towards Practical Brain-Computer Interfaces: Bridging the Gap from Research to Real-World Applications, (2012), 303-331

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

<http://www.eis.tohtech.ac.jp/study/labs/kanoh.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

加納 慎一郎 (KANOH Shin'ichiro)  
東北工業大学・工学部・准教授  
研究者番号：00282103

### (2) 研究分担者

川島 隆太 (KAWASHIMA Ryuta)  
東北大学・加齢医学研究所・教授  
研究者番号：90250828

### (3) 連携研究者

吉信 達夫 (YOSHINOBU Tatsuo)  
東北大学・大学院医工学研究科・教授  
研究者番号：30243265