

平成 22 年 3 月 31 日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19560414
 研究課題名（和文） 脳波を用いたユーザ適応型ヒューマンインターフェース（BCI）のシステム化
 研究課題名（英文） Development of EEG-based brain-computer interfaces with user adaptation capabilities
 研究代表者
 加納 慎一郎（KANOH SHIN'ICHIRO）
 東北大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：00282103

研究成果の概要（和文）：

従来の非侵襲計測による BCI (brain-computer interface) で問題になっていたユーザへの適応性を改善する方法論を提案し、ユーザ適応性の高い BCI を実現するための手法を検討した。運動のイメージによって生じる脳活動を検出する BCI のための特徴抽出、パターン分類、ユーザ訓練の手法を脳波、近赤外分光法 (NIRS)、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) により検討した。また、事象関連電位を用いた BCI を開発し、そのユーザへの適用性の向上のための検討を行った。

研究成果の概要（英文）：

The methods to improve user-applicability of BCI (brain-computer interface) using non-invasive measurements of brain activity were proposed and investigated. The methodologies of feature extraction, pattern classification and online neurofeedback were studied by EEG, NIRS (near-infrared spectroscopy) and fMRI measurements. And the BCIs based on event-related potentials (ERPs) with higher usability were proposed and evaluated.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008 年度	600,000	180,000	780,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・計測工学

キーワード：BCI (brain-computer interface), 脳波, NIRS, fMRI, ニューロフィードバック, パターン分類

1. 研究開始当初の背景

脳波などの非侵襲計測手法を用いる BCI (brain-computer interface) では、被験者

によっては非常に高い情報検出成績を達成することが可能であることが分かっている。しかし一般的には計測された脳活動の S/N

比や再現性が低く、また被験者ごとの個体差が大きいために、適用可能な被験者は必ずしも多いとはいえなかった。信号の S/N 比の低さをカバーするために、実際に適用をする際には多くのセンサ（脳波電極など）を頭部に設置することが多く、これが臨床応用の困難さの原因の一つとなっていた。また、脳活動の S/N 比や再現性を向上させるためには被験者にあらかじめ多くの訓練を行う必要があったが、訓練手法は試行錯誤的に行われており、これまでには有効な方法論は存在しなかった。

2. 研究の目的

本研究では、従来の脳波ベースの BCI (brain-computer interface) で問題になっていたユーザへの親和性、適応性を改善する新たな方法論を提案し、ユーザ適応性の高い BCI を実現することを目指す。まず、各ユーザから計測された脳波から「運動のイメージによって生じる脳活動」を高い分解能で検出する BCI (MI-BCI: BCI based on motor imagery) のための特徴抽出アルゴリズムを検討する。この際に、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) や近赤外分光法 (NIRS) により別途計測した脳血流分布データを援用して、MI-BCI において脳波の計測に適した電極の位置や、注目すべき脳波の周波数成分を特定することを目指す。

次に、脳波や NIRS を用いたオンラインフィードバック訓練の手法をプロトコル化する。訓練の効果を fMRI, NIRS の計測結果を活用して定量的に把握して、訓練時に必要なユーザへの情報提示の方法を最適化することで、ユーザに実施してきた訓練の方法論を確立する。

また、事象関連電位を用いた BCI を開発し、そのユーザへの適用性の向上のための検討を行う。

3. 研究の方法

本研究では、ヒト被験者に対して脳波、NIRS, fMRI 計測実験を行い、その結果を解析した。また、実験実施のために、実験制御用のソフトウェア（汎用プラットフォーム）を合わせて開発し、実験の一部に用いた。（方法の詳細は 4. で述べる）

本研究において健常被験者に対して行う脳波、fMRI, NIRS 計測実験は、「東北大学大学院工学研究科ヒトを対象とする研究に関する倫理委員会」の認可を受け、その規定に則って行う。事前に被験者に十分なインフォームド・コンセントを実施し、被験者の安全と人権保護に十分配慮する。なお、これらの実験は、研究分担者である川島医師、半田医師の監督のもと、倫理上、安全上の助言を受けて行う。

4. 研究成果

(1) MI-BCI における脳波データからの特徴抽出法とパターン分類法の検討

多チャンネル脳波データに対して時間一周波数解析を行うことにより、被験者が行った運動イメージの身体部位を検出するのに適した信号源（設置した電極の位置）、および特徴周波数成分を抽出するための方法論を検討した。

健常被験者が右手、左手、足、舌の動作、およびそのイメージを行う際の脳波を多チャンネルで単極誘導計測し、計測された脳波の時間一周波数特性を詳細に調べた。計測した信号を直接、あるいは双極誘導モンタージュ、ラブラシアン型などの空間フィルタを適用した後に、時間一周波数解析を行い、課題に関連する脳波の周波数成分を抽出するための空間フィルタの形状との関係を統計的に解析した。

次に、計測した多チャンネル脳波データに対して独立成分分析 (ICA) を適用し、被験者が行った運動イメージの身体部位を検出するのに適した電極位置、および特徴周波数成分を抽出した。ICA を適用した結果、上述の計算を行うことで得られた特徴抽出のための空間フィルタの形状が、ICA の独立成分から得られることが分かった。これは、これまで悉皆的な計算を行うことで得られた脳波の特徴抽出を、ICA を援用することで効率よく行うことができることを示している。また、ICA を脳波に適用することによって、信号源が近接している μ 波と β 波の成分を分離できる場合があることが示された。これは信号源が近接している複数の脳活動を分離できる可能性を示すもので、BCI の高性能化につながる可能性がある。計算結果の再現性および ICA 計算過程での収束性の改善が今後の課題である。

計測した多チャンネル脳波データから、運動イメージの有無や種類を検出するためのパターン分類法、およびその前段階で実施する必要のある前処理法について比較検討を行った。周波数成分を抽出する前処理法として AR 法、短時間 FFT、フィルタバンク、パターン分類法として線形判別分析 (LDA) とサポートベクターマシン (SVM) を考え、これらの組み合わせで性能を比較した。その結果、AR 法によって推定した脳波の短時間スペクトルに対して LDA を行った場合が、他の手法を用いた場合に比べて成績が良好であった。SVM を用いた場合もほぼ同等であったが、計算量を考えると LDA で十分な成績が得られることが分かった。

(2) 脳波を用いた MI-BCI のためのオンラインフィードバック訓練

健常被験者が右手、左手あるいは足の動作、

およびそのイメージを行う際に計測した脳波に含まれる β 波の脳波帯域強度を信号源として被験者にフィードバックする訓練を行い、脳波成分のS/N比や再現性に及ぼす訓練の効果を検討した。

健常被験者に対して、Brain Switchシステムで検出の対象とする周波数帯域の信号強度をフィードバック情報としたフィードバック実験を行った。着目する周波数帯域の脳波の強度に比例して長さが増える白いバーを、被験者の正面に設置した液晶ディスプレイ上にオンラインで常時表示した。被験者には、運動のイメージを行っている間にバーの長さをできる限り長く、かつその状態を長時間維持し、またイメージを行っていない時は短くするように教示を行った。

訓練の実施の結果、足動作のイメージ中(0~6秒)に35 Hz付近でERSが観測されるようになったことがわかる。また、被験者から訓練中に得られたデータに対してオフラインでコマンド検出を行った結果、訓練の実施に従い正答率(TP)の検出回数が増加した。一方、誤検出率(FP)の回数にはフィードバック訓練を通して大きな変化が認められなかった。これらの結果から、フィードバック訓練によって被験者が対象周波数帯域の脳波成分を随意的に増強させる機能を獲得できる可能性が示された。

本実験から、検出の対象となる周波数帯域の脳波の強度をユーザにフィードバックしながら訓練を行うことで、信号品質や再現性が向上することが示された。しかし、フィードバック信号のパラメータ(周波数帯域、脳波信号の誘導方法や電極位置など)を慎重かつ適切に選択しないと、フィードバック訓練は逆効果となることも実験的に示された。

(3) NIRSを用いたMI-BCIのためのオンラインフィードバック訓練

NIRSを用いて局所的脳血流に関する情報を被験者にフィードバックし、その効果の定量化を行った。

運動イメージを行っている被験者の運動野近傍の脳血流量を計測し、そのうちの酸化ヘモグロビン濃度値を、LCDディスプレイ上に常時表示される白いバーの長さとして被験者に視覚的にフィードバックした。被験者は、運動のイメージを行っている間にバーの長さをできる限り長く、かつその状態を長時間維持し、またイメージを行っていない時は短くすることを求められた。

オンラインフィードバック実験を5日間実施し、その過程での運動イメージに対する応答の変化を検討した。その結果、トレーニングの実施によって、5人中3名の被験者で運動イメージの遂行中に生じる酸化ヘモグロビン濃度の最大値が大きくなり、またその

S/N比が向上したことが示された。このことは、運動イメージに対する応答の規模と再現性がトレーニングの実施によって向上したことを意味すると考える。

また、フィードバックトレーニング開始前と終了後において、右手の動作イメージ時の酸化ヘモグロビン濃度の空間分布の比較を行った結果、トレーニング開始前の酸化ヘモグロビン濃度は空間的に広く分布しているのに対し、トレーニング終了後の分布では対側(C3の後部)に大きな局在的活動が、また比較的小さな局在的活動が同側(C4の後部)および頭頂部周辺(CZの周辺)に観測された。これはオンラインフィードバックトレーニングの実施によって、運動野や補足運動野などの賦活規模が大きくなり、脳活動分布の体部位局在性が顕著になったことを示唆する結果である。フィードバック情報のための特徴選択法を改善することで、ニューロフィードバックの能力を向上させる方法を検討することが今後の課題である。

(4) NIRSによるMI-BCIフィードバック訓練の効果のfMRIによる評価

(3)で述べたNIRSを用いたMI-BCIのためのオンラインフィードバック訓練実験による脳活動の変化を詳細に評価するため、フィードバック訓練実施前後にfMRIによる撮像を行い、脳活動の空間分布の訓練による変化を評価した。

右手の運動イメージを行っている際は全被験者で一次運動野、運動準備や計画に関係するSMA(前補足運動野、補足運動野)で賦活がみられた。一次運動野の賦活は、1名の被験者では両側で、残りの被験者では対側で認められた。また、4名の被験者で小脳が賦活された。その他、中心後回、上頭頂小葉、一次視覚野、中前頭回、被殻や楔前部でも賦活がみられる被験者がいた。

(3)のフィードバック訓練で脳活動が最も顕著に増加した被験者の脳の賦活領域を観察すると、訓練後は一次運動野、SMAおよび小脳で賦活が限局的になった。同様な結果は5名中3名の被験者でみられた。また、あらかじめ設定した関心領域(VOI)におけるBOLD信号の時間変化を評価したところ、2名の被験者で訓練前に比べて訓練後には脳活動が小さくなった。

運動イメージ時は主に運動野、SMA、小脳で賦活がみられ、訓練後には賦活領域が限局的になった。一方、NIRSを用いた訓練結果では運動イメージ中の酸化ヘモグロビン量の積分値が増加したことが示され、NIRSとfMRIを用いた計測の結果に負の相関があることがわかった。本実験では、ニューロフィードバックによって運動イメージ時の脳活動が変化することが示された。今後は、訓練手法

などの検討が課題となる。

(5) 事象関連電位を利用したユーザ適応型
ヒューマンインターフェースの開発

聴覚刺激に対する選択的注意により生じる事象関連電位を検出するBCIシステムを提案した。本システムでは音脈分凝とよばれる一種の錯覚現象によって知覚される2種類の音脈の一方に注目をすることにより、事象関連電位から注意対象を推定するものである。実験の結果、このシステムの実現可能性が示された。

また、視覚刺激に伴い生じる事象関連電位を用いたBCIを提案し、そのユーザ適応性を向上させるための基礎的な検討を行った。LCDディスプレイ上に表示されるカーソルの移動に伴う事象関連電位をパターン分類することで実現できるBCIを提案し、パターン分類におけるユーザ適用性の向上と、課題遂行時のユーザへの教示の方法を提案した。

(6) BCI構築のための汎用プラットフォームの開発

BCI脳活動信号のリアルタイム計測・解析処理を可能とするための汎用プラットフォームxBCIを開発した。本システムはPC上のソフトウェアであり、PCに接続したADコンバータなどの入出力デバイスの制御、計測信号の収録とリアルタイム解析処理、解析結果の被験者へのオンライン提示などの機能を有する。被験者に対する実験により、その有効性が示された。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計10件)

1. Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, A Brain-Computer Interface (BCI) System Based on Auditory Stream Segregation, Journal of Biomechanical Science and Engineering, 5, 1, 査読有, 2010年, 32-40
2. I Putu Susila, Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, "xBCI: A Generic Platform for Development of an Online BCI System", IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 5, 4, 査読有, 2010年, in press
3. I Putu Susila, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 脳波を用いたBCIにおける運動イメージの有無の識別のための特徴抽出手法の検討, 電気学会論文誌, 129-C, 査読有, 2009年, 1828-1833
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, 査読無, 2009年, 127-133

5. Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, Development of Brain-Computer Interface (BCI) System for Bridging Brain and Computer, Proceedings of the 13th International Conference on Biomedical Engineering (ICBME 2008), 査読有, 2009年, 2264-2267
6. Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, A Brain-Computer Interface (BCI) System Using Selective Attention to Auditory Streams, Proceedings of Forth Asian Pacific Conference on Biomechanics (APAB2009), 査読有, 2009年, 110-111
7. Shin'ichiro Kanoh, Yu-mi Murayama, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, Ryuta Kawashima, A NIRS-based brain-computer interface system during motor imagery: System development and online feedback training, Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC) 2009, 査読有, 2009年, 594-597
8. Shin'ichiro Kanoh, Reinhold Scherer, Tatsuo Yoshinobu, Nozomu Hoshimiya, Gert Pfurtscheller, Effects of long-term feedback training on oscillatory EEG components modulated by motor imagery, Proceedings of the 4th International Brain-Computer Interface Workshop and Training Course 2008, 査読有, 2008年, 150-155
9. Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, A brain-computer interface (BCI) system based on auditory stream segregation, Proceedings of IEEE Engineering in Medicine and Biology Conference (EMBC) 2008, 査読有, 2008年, 642-645
10. I Putu Susila, Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, The "xBCI" Platform: Development and Application to Online BCI System, Proceedings of Joint 4th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th International Symposium on advanced Intelligent Systems (SCIS & ISIS 2008), 査読有, 2008年, 460-465

[学会発表] (計27件)

1. Kei Iizuka, Shin'ichiro Kanoh,

- Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, Ryuta Kawashima, The effect of feedback training on brain activation during motor imagery: a NIRS study, The Fifth International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, 2010年2月24日, 仙台
2. Shin'ichiro Kanoh, I Putu Susila, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, xBCI: A Generic Platform for Developing Online BCI Systems, TOBI Workshop 2010, 2010年2月3日, Graz (Austria)
 3. 飯塚 慶, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 川島 隆太, 運動イメージ時の脳活動におけるNIRS信号を用いたニューロフィードバックの効果: NIRSによる評価, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2009年11月12日, 仙台
 4. I Putu Susila, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 川島 隆太, 運動イメージ時の脳活動におけるNIRS信号を用いたニューロフィードバックの効果: fMRIによる評価, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2009年11月12日, 仙台
 5. 藤巻 頼太, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 事象関連電位を用いてカーソル移動を行うBCIシステムの基礎的研究, 平成21年度電気関係学会東北支部連合大会, 2009年8月21日, 仙台
 6. 安部 隼史, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 異種モダリティの脳活動の併用によるBCIシステムの基礎的研究, 平成21年度電気関係学会東北支部連合大会, 2009年8月21日, 仙台
 7. Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, A Brain-Computer Interface (BCI) System Based on Auditory Stream Segregation, IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics Workshops & Lab Sessions, 2009年6月23日, 京都
 8. 加納 慎一郎, 村山 結美, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 川島 隆太, NIRSによる運動イメージ時の脳血流分布計測を用いたBCIシステム ~システム開発とオンラインフィードバックトレーニング~, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2009年3月12日, 町田
 9. I Putu Susila, Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, Extraction methods of motor imagery-related features for EEG-based BCI system, The Fourth International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, 2009年3月5日, 仙台
 10. Yu-mi Murayama, Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, Ryuta Kawashima, A brain-computer interface (BCI) system to detect motor imagery by NIRS, The Fourth International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, 2009年3月5日, 仙台
 11. Itsuki Asanuma, Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, ICA-based feature extraction from multi-channel EEG signal for brain-computer interface (BCI), The Fourth International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, 2009年3月5日, 仙台
 12. Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, Measurement of Brain Activities and its Application to Brain-Computer Interface (BCI), The International Symposium on Nano-Biomedical Engineering, 2008年10月16日, 台南(台湾)
 13. 村山 結美, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 川島 隆太, 主成分分析を用いた運動動作のイメージに対する脳血流応答の解析, 平成20年度電気関係学会東北支部連合大会, 2008年8月21日, 郡山
 14. 加納 慎一郎, 高橋 昌史, Reinhold Scherer, 吉信 達夫, 星宮 望, Gert Pfurtscheller, 動作イメージ時の脳波を用いたBCIにおけるフィードバック訓練の効果, 第47回日本生体医工学会大会, 2008年5月9日, 神戸
 15. I Putu Susila, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 脳波ベースのオンラインBCIシステム構築のための汎用プラットフォームの高性能化, 第47回日本生体医工学会大会, 2008年5月8日, 神戸
 16. 加納 慎一郎, 山岸 智久, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 音脈への選択的注意によって生じる事象関連電位を用いたBCIシステム, 第47回日本生体医工学会大会, 2008年5月8日, 神戸
 17. 加納 慎一郎, 山岸 智久, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 聴覚刺激の音脈分凝を利用したBCIシステムの開発, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2008年3月14日, 町田
 18. Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, Brain-Computer Interface: Bridging Brain and

- Computer, The Third International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, 2008年3月5日, 仙台
19. Tomohisa Yamagishi, Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, A BCI system using event-related potentials with auditory stream segregation, The Third International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, 2008年3月5日, 仙台
20. Masafumi Takahashi, Shin'ichiro Kanoh, Reinhold Scherer, Tatsuo Yoshinobu, Nozomu Hoshimiya, Gert Pfurtscheller, Effect of feedback training on EEG-based BCI system to detect motor imagery, The Third International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, 2008年3月5日, 仙台
21. I Putu Susila, Shin'ichiro Kanoh, Ko-ichiro Miyamoto, Tatsuo Yoshinobu, Rapid prototyping of an EEG-Based online BCI system: development of a generic platform, The Third International Symposium on Bio- and Nano-Electronics, 2008年3月5日, 仙台
22. 山岸 智久, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 音の周波数への選択的注意時に生じる事象関連電位を用いたBCIシステム, 電子情報通信学会MEとバイオサイバネティクス研究会, 2007年11月22日, 仙台
23. 星宮 望, 加納 慎一郎, 吉信 達夫, [招待講演] 機能的電気刺激 (FES) による神経・筋系制御のための随意的生体情報センシングと利用に関する研究, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2007年10月18日, 仙台
24. I Putu Susila, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 星宮 望, 脳波を用いたオンラインBCIシステム構築のための汎用プラットフォーム, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 2007年10月18日, 仙台
25. I Putu Susila, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 脳波を用いたBCIシステムのためのオンラインデータ処理プラットフォームの開発, 第30回日本神経科学大会・第50回日本神経化学学会大会・第17回日本神経回路学会大会合同大会(Neuro2007), 2007年9月10日, 横浜
26. 山岸 智久, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 聴覚刺激によるP300を用い

- たBCIシステムについての基礎的検討, 平成19年度電気関係学会東北支部連合大会, 2007年8月24日, 弘前
27. 高橋 昌史, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫, 四肢動作のイメージの有無を検出するBCIシステムにおけるフィードバック訓練の効果に関する基礎的検討, 平成19年度電気関係学会東北支部連合大会, 2007年8月24日, 弘前

6. 研究組織

(1) 研究代表者

加納 慎一郎 (KANO SHIN'ICHIRO)
東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 00282103

(2) 研究分担者

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

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

星宮 望 (HOSHIMIYA NOZOMU)
東北学院大学・学長
研究者番号: 50005394

半田 康延 (HANDA YASUNOBU)

東北大学・大学院医学系研究科・教授
研究者番号: 00111790