

機関番号：25403

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008 ～ 2010

課題番号：20760269

研究課題名 (和文) 脳の視覚運動変換メカニズムを応用した BMI 基礎技術の開発

研究課題名 (英文) Development of basic technology for brain-machine interface applying brain mechanism in visuo-motor transformation

研究代表者

福田 浩士 (FUKUDA HIROSHI)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20335102

研究成果の概要 (和文)：本研究では脳の視覚運動変換メカニズムを応用したブレイン-マシン・インタフェース(BMI)の基礎技術を開発することを目的とし、脳電図(EEG)と脳磁図(MEG)を用いた運動時の脳活動計測・解析システムの開発した。そのシステムを用いて運動時における脳活動の計測・解析を行った。その結果、両手の人差し指を速く交互に運動させるために重要な脳活動を検出した。さらに、運動開始後にその運動を停止させるための視覚刺激に応じて運動を停止させたときの脳活動を計測し、停止動作に特有の脳活動を検出した。

研究成果の概要 (英文)：The purpose of this study is to develop a basic technology for brain-machine interface applying brain mechanism in visuo-motor transformation. First, I developed a measurement system for brain activity in motor control employing EEG and MEG. Using the system, brain activities related an alternate tapping task and signal stop task were observed.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2008年度 | 1,400,000 | 420,000 | 1,820,000 |
| 2009年度 | 1,100,000 | 330,000 | 1,430,000 |
| 2010年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,200,000 | 960,000 | 4,160,000 |

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：計測システム、ブレイン-マシン・インタフェース(BMI)、生体情報・計測

1. 研究開始当初の背景

現在、BMIの研究開発は特に米国を中心に進んでいる。その中でもリハビリテーションなどの医療に直接結びつく運動制御に関する研究開発が活発である。非侵襲型 BMI は脳電図(EEG)を用いた方法が主流であり、主に皮質電位 P300 や運動関連脳電位(MRCP)などが用いられている。多くの研究者が P300 を使用するのには、検出しやすく、その

振幅や潜時が外界からの刺激や運動課題によって大きく変化するという性質を持っているため、ロボット等に行わせるタスクのスイッチングに使用できるからである。理想はヒトが自分の腕を動かすのと同じ意識レベルでロボット等の機械を操作できることである。このような BMI を実現するには、意図的に操作する P300 だけではなく意識には上らない脳情報処理メカニズムを考慮した

技術が必要になる。

2. 研究の目的

ヒトが自分の腕を動かすのと同じレベルでロボット等の機械を操作できるようなBMIを実現するためには運動制御における脳活動の発現メカニズムや脳内情報の意味が解明されなければならない。そこで本研究では

- (1) 脳活動および計測・解析システムの開発
 - (2) (1)を用いた視覚運動変換における脳の情報処理メカニズムの解明
 - (3) 神経計算モデルを用いたBMI基礎技術の開発
- を目的とした。

3. 研究の方法

(1)脳活動および運動計測・解析システムの開発

視覚運動変換過程を計測するために、被験者に様々な視覚情報を呈示でき、手指の運動の運動学、動力学的な要素（関節角度、関節角速度、関節トルク、指力等）を計測するシステムを開発する。具体的にはまず、指の運動開始を赤外線センサで検出できるシステムを構築する。次に、指力生成タスクでは3軸の力覚センサを用いて、画面に呈示される目標とする指力に実際の指力を合わせる視覚フィードバック制御を行うシステムを構築する。さらに、運動計測デバイスを用いて、指先の位置と速度を計測できるシステムを構築する。また、それらのシステムを後述する脳活動計測システムと組み合わせるためにトリガ信号を出力できるようにする。

256チャンネルの高密度脳電図(EEG)、160チャンネル高密度(MEG)または経頭蓋磁気刺激(TMS)と前述の運動計測システムを統合して運動時の脳活動を計測・解析するシステムを開発する。TMSの使用は当初の計画にはなかったが研究を進めていく上で必要になったため追加した。

(2) (1)を用いた視覚運動変換における脳の情報処理メカニズムの解明

EEGを用いた脳活動および運動計測・解析システムを用いて両手指の交互タッピングを維持している場合と無意識的な両手指の同時タッピングが起きた場合の脳活動を比較することで交互タッピングが持続され

るために必要な脳活動を解析する。

また、手指の二点間到達運動中に視覚的に停止課題を教示された時の運動の特徴と脳活動を関連付けるための計測・解析を行う。

(3) 神経計算モデルの開発

大脳皮質の第1次運動野を磁気刺激したときに誘発される運動誘発筋電位(MEP)を計測し、MEPから刺激部位に関する情報を抽出する神経回路モデルを開発する。さらに、第1次運動野を時期刺激したときに生じる制御メカニズムを説明するための制御モデルを開発する。

4. 研究成果

(1) EEG, MEG, 赤外線センサを用いた運動計測実験

EEGを用いた脳活動解析システムの開発では運動における関連脳領域間の神経結合度を解析するシステムを開発した(図1)。

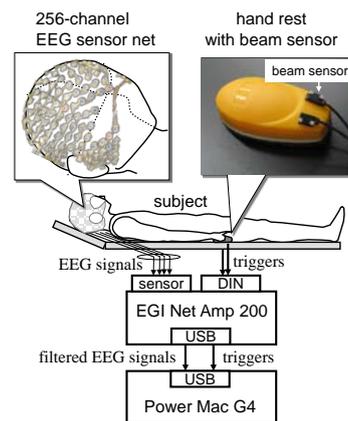


図1 赤外線センサを用いた運動計測システム

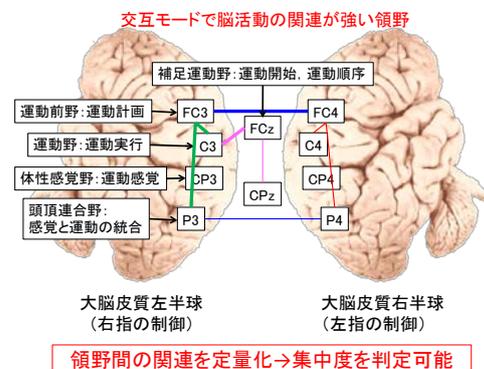


図2 交互タッピング課題における考察

このシステムを用いて、両手指の交互タッピングを維持している場合と無意識的な両手指の同時タッピングが起きた場合の脳活動を比較した。その結果は、交互タッピングを維持するためには、EEGの β 波領域において補足運動野と第1次運動野間の情報伝達と運動前野と頭頂連合野の情報伝達が重要であることを示した(図2)。また、MEGを用いた解析でも同様の結果が得られた。これらの結果は脳活動の β 波領域における成分を使うことで、ヒトが行っている運動の情報をデコードできる可能性を示唆している。

(2) EEGと運動計測デバイスを用いた運動計測実験

図3に構築した運動計測実験システムを示す。このシステムを用いて、まず、手指の到達運動がトルク変化最小モデルで再現できることをコンピュータシミュレーションにより示した。

次に到達運動の開始後に運動を停止するための視覚刺激をし、運動を停止させたときのEEGを計測した。その結果、停止動作に特有のEEGの成分を検出することができた。詳細な結果については現在論文投稿中のため省略する。

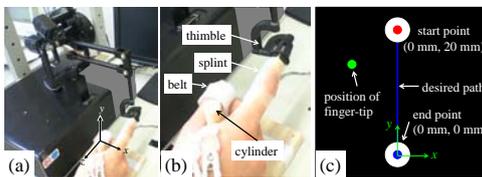


図3 運動計測デバイスを用いたシステム

(3) TMSを用いた運動野への刺激実験と神経回路モデルの開発

図4にTMSを用いた運動野への刺激実験システムを示す。そのシステムを用いて大脳皮質を磁気刺激した時の刺激部位推定結果とそれに伴って誘発された運動誘発筋電位(MEP)を図5に示す。刺激部位に応じたMEPが出力されたため、両者の関係を図6の神経回路モデルを用いて表した。その結果、約90%の正答率でMEPの情報から刺激コイルの位置を推定できた。今後、このモデルを改良することで、外部装置から脳への入力信号を脳内情報表現に変換し、運動を抑制するBMI基礎技術の創出が期待できる。

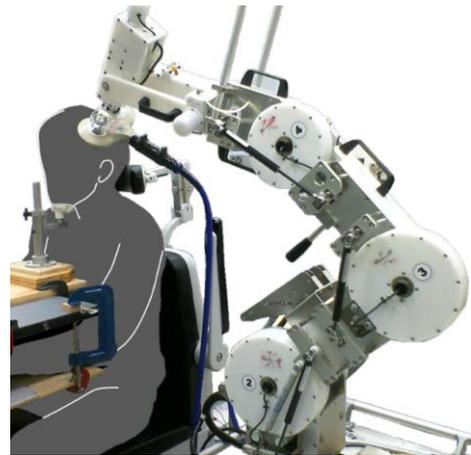
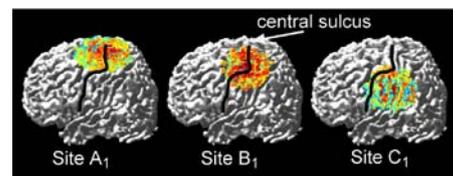
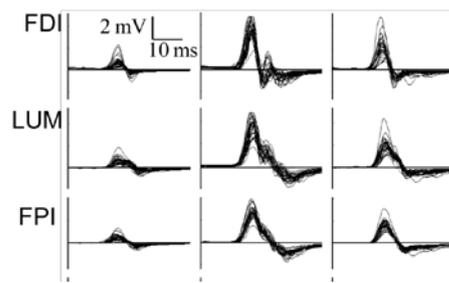


図4 TMSを用いた実験システム



TMSの刺激部位推定結果



刺激部位に対応したMEP

図5 推定された刺激部位とそれに対応する運動誘発電位(MEP)

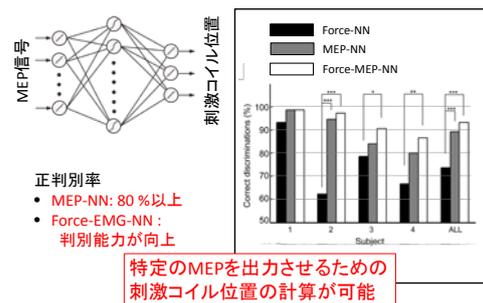


図6 MEPからコイル位置を推定する神経回路モデル

さらに、TMS を用いて、大脳皮質の第 1 次運動野への磁気刺激によって一時的に運動制御が抑性された状態から回復するときの、視覚フィードバック制御による運動軌道の修正を解析した。さらにその現象を説明するために脊髄反射ループと大脳皮質を介したトランスコーティカルループを考慮したフィードバック制御モデルを構築した。その結果、提案したフィードバック制御モデルで TMS の影響を説明できることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

- ① 福田浩土, 小田垣雅人, 樋脇治, 両手指の連打タッピング運動における高密度脳電位計測, 生体医工学, 査読有, vol. 46, 2008, pp. 684-689
- ② Hiroshi Fukuda, Masato Odagaki, Osamu Hiwaki, Atsushi Kodabashi, Toshiro Fujimoto, Brain activity during bilateral rapid alternate finger tapping measured with magnetoencephalography, Journal of Applied Physics, 査読有, vol. 105, 2009, pp. 07B313-1-07B313-3
- ③ 福田浩土, 小田垣雅人, 樋脇治, 手指の到達運動における外部力場の安定性の差異に対する運動適応, 生体医工学, 査読有, vol. 49, 2011, 100-107

[学会発表] (計 8 件)

- ① 福田浩土, 小田垣雅人, 樋脇治, 両手指の連打タッピング運動における高密度脳電位計測, 生体医工学シンポジウム 2008, 2008 年 9 月 20 日
- ② Hiroshi Fukuda, Masato Odagaki, Osamu Hiwaki, Atsushi Kodabashi, Toshiro Fujimoto, Brain activity during bilateral rapid alternate finger tapping measured with magnetoencephalography, 53rd International Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Nov. 11, 2008
- ③ 福田浩土, 小田垣雅人, 樋脇治, トルク変化最小モデルを用いた拇指の随意運動における軌道生成, Neuro 2010, 2010 年 9 月 2 日

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

福田 浩土(FUKUDA HIROSHI)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20335102