

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25350689

研究課題名(和文)脳血流計測に基づくロボットハンドの制御方法及び装置

研究課題名(英文)Robot hand and its control using the data from the near infrared brain spectroscopy

研究代表者

筒井 博司(Tsutsui, Hiroshi)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：00351453

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、近赤外非侵襲脳計測装置(NIRS)を用いて、軟らかな触覚センサを有するロボットハンドの把持に利用することである。

1. やわらかな触覚センサによるロボットハンドの把持：4個の空気圧センサと柔らかなシリコン樹脂からなるキャップから構成される触覚センサを開発した。ロボットハンドに取り付けて物体を把持した時の出力を分析することにより、物体とのすべりおよび摩擦力を検知することができた。
2. NIRSを用いたロボットハンドの制御：脳の前頭前野と側頭葉を賦活するための数種類のタスクによる脳計測を行った。脳の側頭葉の計測が難しいが、前頭前野の計測から2,3のタスクをスイッチ信号とすることができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this research was to control a robot hand having flexible tactile sensors by using signals from a Near Infrared Spectroscopy (NIRS).

(1) Gripping control of a robot hand using a flexible tactile sensor: The tactile sensor was consisted of four pneumatic sensors and a flexible silicone cap with a finger print structure. The tactile sensor was evaluated the slipping characteristics and was able to detect the friction level between the tactile sensor and the object. The tactile sensor was applied to a robot hand and the same data was obtained. (2) Robot hand control using NIRS signal: Several kinds of tasks were prepared for activation of the frontal and temporal lobes of the brain. Results shows that it was very difficult to measure the temporal lobes but 2 or 3 tasks were able to use as the switching signals to control the robot hand.

研究分野：センサ・センシング技術, MEMS技術, 生体計測

キーワード：触覚センサ ロボットハンド 脳機能計測 NIRS BMI

### 1. 研究開始当初の背景

近年、ロボットの研究は物の生産からヒトの生活に役立つ方向に移行し、その中でロボットハンドの研究はヒトの手の機能を取り入れた研究が多くなされてきた。中でもロボットハンドの駆動やロボットハンドに触覚機能を持たせる研究、これらを融合させた電動義手が研究開発されている。

また近年は脳科学分野において脳機能測定の研究が進み、脳からの信号を入力とした、脳と機器またはコンピュータを直結するブレイン・マシン・インタフェース (BMI) 技術の研究がなされてきた。

この両者を融合した新しい電動義手を創出するために、まず電動義手には人の手の指のように柔らかな触覚機能を有するロボットハンドおよび把持コントロールの開発が重要と考えた。さらに脳からの信号によるロボットハンドの把持コントロールのための BMI 技術として、従来から多くの研究が行われている脳波 (EGG) の検出と、近赤外線を用いた脳血流計測 (NIRS) を比較し、脳の活性化部位の検出に優れた NIRS 技術に注目し、NIRS 技術を BMI として用いたロボットハンドの実現を試みた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は近赤外非侵襲脳計測装置 (NIRS) による脳機能計測を BMI 技術として用いて、柔らかな触覚を有するロボットハンドの制御に利用することである。具体的には以下の 2 つの内容を有する。

(1) 人の手の指のような柔らかな触覚をロボットハンドに装着し、把持する対象物の形状、重量や柔らかさにあわせて把持力のコントロールが可能な電動義手を実現する。

(2) NIRS による脳機能計測を用いて脳に負荷する複数のタスクによる脳活動の位置情報を計測し、タスクの種類による異なる脳活動パターンを解析し、脳活動パターンの違いを複数のスイッチとして使用する。

以上の (1)(2) を組み合わせることにより、脳の中で複数のタスクを試行し、NIRS からの信号をスイッチとして電動義手の繊細な制御を実現することが可能となる。

### 3. 研究の方法

(1) 柔らかな触覚センサによるロボットハンドの把持制御：触覚センサは 4 個の空気圧センサとシリコン樹脂からなる柔らかなキャップから構成される。キャップは同素材からなるパーティションにより 4 つの空間に分割されている。触覚センサの物体に押しつける力を  $F$ 、物体の重力を  $W$ 、物体との静止摩擦係数を  $\mu$  とすると、物体との最大静止摩擦力  $F_s$  は  $F_s = \mu F$  となり、物体を滑らないように把持するためには  $F_s > W$  なる関係が必要である。一定の  $F$  に対し、 $W$  を物体が滑り始めるまで増加させた時の触覚センサの 4 個の空気圧センサからの出力を測定し、物体

の把持に最適な  $F_s$  を推定する。

評価の結果、 $W$  が増加すると、キャップの変形により重力方向に対して上方の空気圧センサの出力が増大し、下方の空気圧センサの出力が減少する。この上方と下方センサ間の差分が摩擦力と比例し、この差分量を測定して力  $F$  (把持力) を調節することにより滑りの抑制が可能となる。

この触覚センサをロボットハンドに取り付けて把持実験を行う。

(2) NIRS 装置を用いた脳の前頭葉、側頭葉賦活状態の計測：測定装置は日立ハイテクノロジーズ製 WOT-220 を用いて行った。この装置は近赤外光を利用して脳血流の増減を検出する装置であり、当初前頭前野を 16ch の部位を測定する装置であったが、チャンネル数を 22ch に拡張し、測定範囲を前頭前野のみならず側頭葉近辺に拡張した。脳の異なる部位の賦活をするための複数のタスクを用意し、各タスクによる脳機能測定を行い、各タスク間の有意差を測定した。

タスクの種類として、ストループテストのほか数学計算、文章作成、メロディー想起などの脳の異なる部位を使用するタスクを用意した。

### 4. 研究成果

(1) 柔らかな触覚センサによるロボットハンドの把持制御：触覚センサは 4 個の空気圧センサとシリコン樹脂からなる柔らかなキャップから構成される。キャップは同素材からなるパーティションにより 4 つの空間に分割されている。Fig.1 に触覚センサの概念図、Fig.2 に作製した触覚センサの外観写真と内包する空気圧センサの配置を示す。

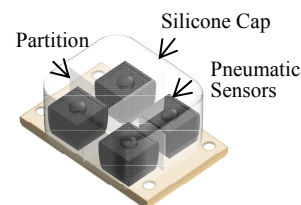


Figure 1. Multiple tactile sensor

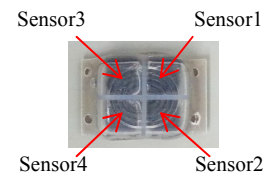


Figure 2. Layout of pneumatic sensors

Fig.3 に触覚センサの把持実験方法を示す。重力方向に自由に動く試験プレートに触覚センサを  $F$  の力で垂直に押しつけ、試験プレートの重量  $W$  を試験プレートが滑り落ちるまで段階的に増加させた時の触覚センサを構成する 4 個の空気圧センサからの出力を測定した。

触覚センサの物体に押しつける力を  $F$ 、試験プレートの重力を  $W$ 、物体との摩擦係数を  $\mu$  とすると、物体との最大静止摩擦力  $F_s$  は

$F_s = \mu F$  となり、物体を滑らないように把持するためには  $F_s > W$  なる関係が必要である。

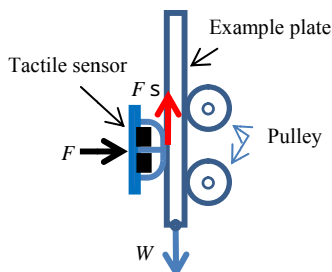


Figure 3. Schematic diagram of slip measurement tool

Fig.4 に、物体に押しつける力  $F=0.4N$  において、物体の重量  $W$  を 50g ずつ増加させた結果を示す。初期値は  $F=0.4N$  において  $W=0g$  における各センサの出力値を示す。 $W$  を徐々に増加した結果、赤の矢印の時点は滑りはじめを示す。実験の結果、 $W$  が増加すると、触覚センサのキャップが変形し、重力方向に対して上方の空気圧センサ sensor 1,3 の出力が増加し、下方の空気圧センサ sensor 2,4 の出力が減少した。sensor 1,3 の出力と sensor 2,4 の出力の差分は、Fig.3 に示す触覚センサと物体との静止摩擦力  $F_s$  に対応することがわかった。この静止摩擦力  $F_s$  が重量  $W$  より大きくなるように  $F$  の値すなわち把持力を強くすれば、物体が滑らない最適な把持をコントロールすることが可能となる。

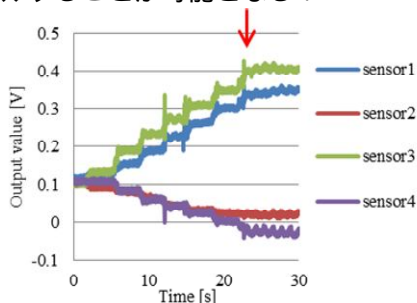


Figure 4. Experimental results obtained under the condition  $F=0.4N$

Fig.5 に 2 本指ロボットハンドの指先に触覚センサを装着して物体把持実験を行った様子を示す。把持する物体は木製の円筒を用い、円筒内に重りを徐々に増加し、触覚センサからの出力を測定した。ロボットハンド実験においても触覚センサ単体での測定結果と同様の結果が得られた。

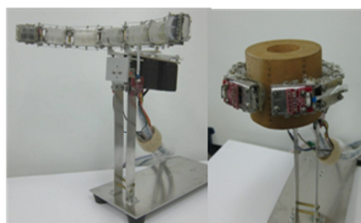


Figure 5. Robot hand installed with tactile sensors

(2) NIRS 装置を用いた脳の前頭葉、側頭葉賦活状態の計測: Fig.6 に測定に用いた NIRS 装置 (日立ハイテクノロジーズ製 WOT-220) を装着して実験を行っている様子の写真を示す。



Figure 6. NIRS measurement

脳の機能として、前頭前野は高次認知機能、前頭前野の左脳右脳側及び側頭葉近辺は言語及び聴覚中枢機能といわれていることから、脳に負荷をかけるタスクの種類として、前頭前野の左右側から側頭葉に負荷のかかり易いタスクを用意し、側頭葉付近までの NIRS 測定を計画した。しかし、本実験に用いた装置の左右の側頭葉側は頭部の毛髪が赤外線を吸収し、正しい信号が得られず、予定していた測定結果が得られず、前頭前野に限った測定結果を得るに止まった。種々のタスクによる測定結果より、いずれのタスクも脳の前頭前野の賦活反応を示したが、タスク間の有意差は顕著ではなかった。その中で、顕著な有意差ではないが、前頭前野のデータで得られた代表的な結果を Fig.7 に示す。横軸は各チャンネルに対応し、縦軸は出力信号を示す。結果は 4 回測定の平均を示す。同種のタスクの反復は学習効果による慣れを生じ、信号強度の低下傾向を示した。上段のタスクは 100 マス計算 (単純な和算の繰り返し) であり、前頭前野がバランスよく賦活されている。中断はストループテスト視覚データと文字認識と発声発語を組み合わせたタスクであり、前頭前野全体が強く賦活された。下段は文章を読むタスクで、前頭前野中央部と周辺部が賦活されている。これらに結果から、前頭前野に限れば、各タスクによる脳の賦活は局所的ではなく全体に広がりを見せるが、特徴的パターンを有していることが確認できた。

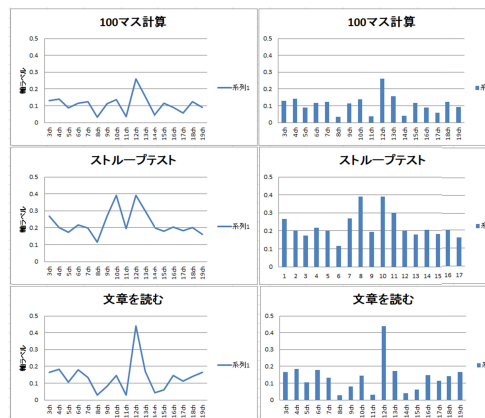


Figure 7. Experimental results.

別の NIRS 装置の試行として、被験者が上下左右に移動するイメージを描くことをタスクとしたときの脳の賦活状態による識別実験を行った。測定結果を NIRS 信号から読み取り、サポートベクターマシン (SVM) を用いてパターンマッチングによるタスクの識別実験を試みた。ディスプレイの中心に十字印を表示するパターン (レスト状態) と矢印を表示するパターン (タスク状態) を繰り返し表示し、タスク状態では表示された矢印方向に強く移動するイメージを思い浮かべる思考を行った。矢印 (移動) 方向により識別率に差があるものの、その正答率は平均約 60% であった。初歩的実験結果ではあるが、今後検討を継続するに値する結果を得た。

以上の結果を用いて、特定のタスクによる NIRS 装置からの信号を利用してロボットハンドの制御スイッチとして動作させることは可能であった。しかし初期目標であった複数の制御スイッチとして使用する事に関しては、前頭前野に限定したタスクの種類の設定を見直し、認識率の高いタスクを用いてさらなる研究継続が必要である。

#### 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)

[学会発表](計 4 件)

##### 国際学会発表

・ H. Tsutsui and H. Kobayashi, Slipping Characteristics of Multichannel Flexible Tactile Sensor applicable for a Robot Finger, The 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE EMBC2015), SaBPoT5.30, 25-29 August, 2015, Milan, Italy

・ H. Tsutsui, Y. Murashima, N. Honma and K. Kobayashi, Development of Multichannel Soft Tactile Sensors having Fingerprint Structure, The 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE EMBC2014), 26-30 August, 2014, Chicago, Illinois, USA

・ H. tsutsui, Y. Murashima, N. Honma, K. Akazawa, Robot hand with soft tactile sensors and underactuated control, The 35th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (IEEE EMBC2013), pp4148-4151, 3 - 7 July, 2013, Osaka, Japan

##### 国内学会発表

・ 松永卓郎, 小林裕之, 近赤外分光法を用いた 4 方向入力 of BCI に関する研究, 電気学会産業応用部門次世代産業システム研究会, 人と調和する支援技術の実現化研究委員会, 2016 年春期研究報告会, pp.2-3, 2016 年 3 月 5 日, 龍谷大学大阪梅田キャンパス, 大阪

府, 大阪市

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

筒井 博司 (TSUTSUI, HIROSHI)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号: 00351453

##### (2)研究分担者

小林 裕之 (KOBAYASHI, HIROYUKI)

大阪工業大学・工学部・准教授

研究者番号: 80338219