

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：13701

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2013～2016

課題番号：25702035

研究課題名(和文)体内埋込型ワイヤレス皮質脳波計測装置を前提としたBMI外部機器制御システムの研究

研究課題名(英文)Development of Semi-Autonomous Device Control System for Brain Machine Interface

研究代表者

松下 光次郎(MATSUSHITA, Kojiro)

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：30531793

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,800,000円

研究成果の概要(和文)：近年のブレイン・マシン・インターフェース技術は、ヒト脳表面に留置した電極から皮質脳波を計測、それら脳波から機械学習による動作識別を行い、リアルタイムなロボットアーム制御を実現している。そのような状況であるから実用化が期待されているが、現状の識別性能は5種類動作で正解率60～90%と不安定であり、システム信頼性の向上が急務な課題となっている。そこで本研究は、対象となる外部機器の制御システムに自律制御機能を組込むことで、信頼性のある機器動作を実現するシステムの構築を目指した。結果、提案法の有効を示すため、脳波・眼電を対象としたロボット制御性能検証を行った。

研究成果の概要(英文)：Recent brain machine interface (BMI) technology achieved real-time robot arm control based on the brain wave “ECoG (Electro-Corti-Gram)”：(1) To measure ECoG with the electrodes on the human cortex; (2) to discriminate movements from ECoG with machine learning; (3) to operate a robot arm based on the discrimination results. Thus, BMI application is expected for medical use and it becomes an urgent and important issue to improve the discrimination rate. Therefore in this research, autonomous control algorithm is proposed for compensating such discrimination errors. Then, the performance of the proposed system is investigated with not only brain wave but also other major bio-signals for welfare device control.

研究分野：福祉ロボティクス

キーワード：福祉ロボティクス ブレイン・マシン・インターフェース 生体信号解析

1. 研究開始当初の背景

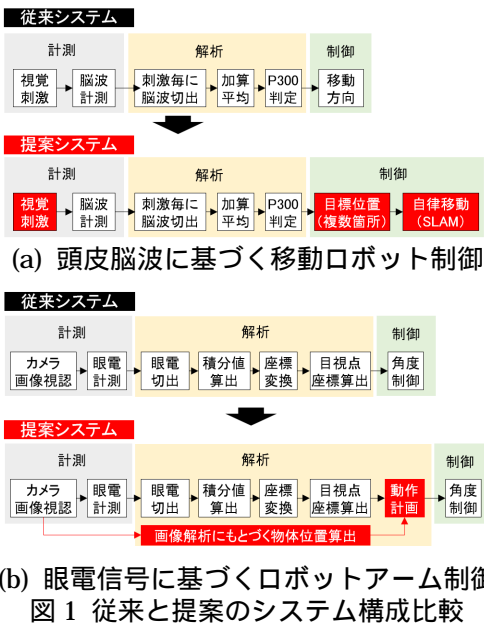
近年、福祉ロボット技術が注目されており、人工知能技術（特に、機械学習）の発展に伴い、生体信号解析にもとづく福祉機器制御の実用化研究が活性化している。例えば、脳表面で計測される皮質脳波に基づくロボットアーム制御、頭皮脳波・事象関連電位 P300 に基づく PC キーボード入力、表面筋電に基づく電動義手制御などが挙げられる。これら福祉機器制御システムは、生体信号を計測し、それら生体信号からヒトが意図する動作を推定し、その推定結果にもとづき機器を操作する流れである。しかし現状、生体信号からのヒト動作意図推定の性能は 60~90%と不安定であり、実用化のためには、その改善が急務な課題となっている。そのため従来研究では、機械学習を基盤としてアルゴリズムの改善または増強が主流となっている。

2. 研究の目的

我々グループは、皮膚または脳表面で計測される生体信号は体組織を流れるとき、その抵抗特性・コンデンサ特性により信号の劣化が生じ、本質的に動作情報が一部欠損するとの仮説を立てている。そのため、福祉機器への制御入力是不完全な動作推定情報であることを前提とし、福祉機器制御システムに自律制御機能を導入することで、タスク達成の性能向上を目的とする。

3. 研究の方法

生体信号に基づく福祉機器制御研究における代表的な福祉機器は、ロボットアームと移動ロボットである。そこで本研究では、即応性が証明されている皮質脳波・筋電よりも、動作識別が困難な生体信号を対象として福祉機器制御システム（頭皮脳波に基づく移動ロボット制御、眼電信号に基づくロボットアーム制御）を構築、動作意図推定と自律制御機能の組合せの有効性検証を行う。



4. 研究成果

(1) 頭皮脳波に基づく移動ロボット制御

頭皮脳波制御インターフェースとして、事象関連電位 P300 が主流となっている。P300 は、低頻度の刺激を選択的に注意させることにより発生する脳波・事象関連電位であり、2 種類以上の感覚刺激をランダムに呈示し、その感覚刺激と P300 発生のタイミングを確認することで操作入力として利用されている。ただし、一回の操作入力を得るためには数十秒の時間が必要となるため、動的に状態が変化する移動ロボットの操作には不適といえる。そこで本研究では、操作入力（動作意図推定結果）待機中の動作安定性・安全性を確保するために、ナビゲーション技術にて注目される SLAM ( Simultaneous Localization and Mapping ) 技術を自律制御機能として導入し、信頼性の高い生体信号に基づく移動ロボット制御システムの実現を試みた。



(a) 移動ロボット・ハードウェア



(b) 頭皮計測 & P300 解析

図 2 システム構成

提案する移動ロボットの構成を図 1a に示す。移動ロボットとして Yujin Robot 社 Kobuki を用いた。左右車輪の回転計と測域センサを実装させ、計測制御ソフトウェア MATLAB を用いて SLAM アルゴリズム（環境地図作成→自己位置推定→指定経路追従）を実現した。また提案する P300 インターフェースは、図 1b に示すように、5 種類の視覚刺激をディスプレイに提示するタイプであり、各刺激を 80 回ランダムに 400 ミリ間隔にて点灯させた。解析は刺激ごとに脳波データを切り出し、基線が異なる脳波データ群を作成し、各加算平均を行った。脳波計は（株）ミュキ技研製 Polymate Mini AP108 を使用。視覚刺激は主に後頭葉に出現するので、国際

10-20 法に従い，対象電極は P3・P4，基準電極は両耳 A1・A2 とした．また，サンプリング周波数：500Hz，ローパスフィルタ：30Hz，ハイパスフィルタ：0.15Hz とした．

図 3(a)(b)(c)に検証実験結果を示す．オフィス環境で行った環境地図作成・自己位置推定・指定経路追従の状態地図である．現状最大 500mm の誤差を生じたが，基本性能である自律移動を実現可能であることを確認した．また図 3(d)は，P300 インターフェースと SLAM 技術を組合せた実験の様子である．従来の P300 インターフェースに基づく移動ロボット制御では，移動方向操作入力が 40 秒周期かつ誤推定もあるため，室内の目標位置に到達するのに 20 回以上の入力を必要とした．それに対し，提案システムは，(5 カ所の候補位置の中から) 1 目標位置を指定においても，誤認識が生じたとしても 3 回の操作入力にて補正することができ，自律移動制御による信頼性の高い目標位置到達性能を確認し，その有効性を証明した．

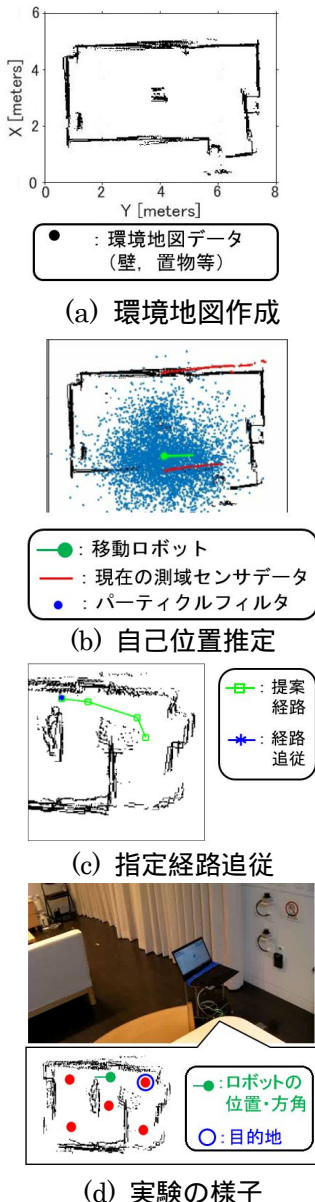
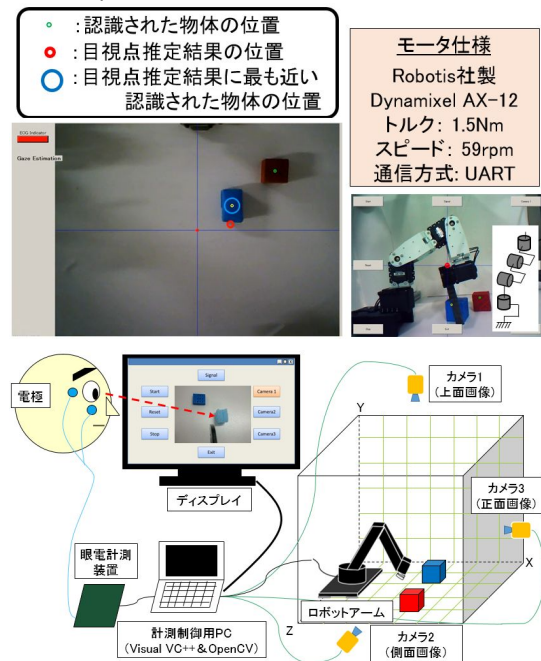


図 3 SLAM 実装結果

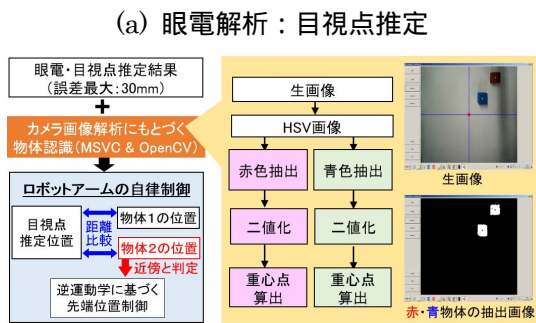
## (2) 眼電信号に基づくロボットアーム制御

眼球は長時間動作させても労力が少なく，身体麻痺が進行した場合も，比較的最後まで残存する随意運動とされているため，福祉インターフェースとして用いられる．その一つに眼電インターフェースを挙げることができ，眼球動作にて生じる生体信号「眼電信号」を解析することで眼球動作を推定し，福祉機器の操作入力につなげている．そこで我々グループの先行研究において，眼電信号に基づく目視点推定器を構築，ロボットアーム先端の位置制御に連動させ，物体把持実験を試みた．結果，目標物体位置 30mm 周辺まで到達することは容易であったが，把持可能な数ミリ単位の距離まで詰めることは困難であり，非常に時間を要した．そのため本研究では，先行研究のシステムにカメラ画像解析（物体認識）を導入することで，物体把持可能な性能を有する眼電信号に基づくロボットアーム制御システムの実現を目指す．

提案システムを図 4 示す．ロボットアーム（4 自由度）は，カメラから得られる画像と通して眼電・目視点推定結果に応じて操作される方式となる．図 5 に 2 種類の解析アルゴリズムを示す．眼電目視点推定(図 5(a))は，目周辺に取り付けられる 5 個の電極から計測される 2ch の眼電信号により算出される．すなわち，



| ① 眼球動作方向の判定 |   |   |   |   | ② 目視点推定                          |  |
|-------------|---|---|---|---|----------------------------------|--|
| 眼球動作        | 上 | 下 | 右 | 左 | 積分値座標(X, Y) = (Ch1積分値, Ch2積分値)   |  |
| 眼電波形        |   |   |   |   | 眼球動作: 左15度<br>(X, Y) = (10, -10) |  |
| Ch1のピーク向き   | - | + | - | + | 眼球動作: 左30度<br>(X, Y) = (20, -20) |  |
| Ch2のピーク向き   | - | + | + | - | 眼球動作: 左45度<br>(X, Y) = (30, -30) |  |



(b) 画像解析：物体認識

図 5 二種類の解析法

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Minoru Sasaki, Muhammad Syaiful Amri Bin Suhaimi, Kojiro Matsushita, Satoshi Ito, Muhammad Ilhamdi Rusydi, “Robot Control System Based on Electrooculography and Electromyogram”, Journal of Computer and Communications, Vol.3, pp.114-120, 2015. (査読有)

Haisong Dong, Kojiro Matsushita, Tomoyuki Yamamoto, Hiroshi Ishiguro, “On the Well-Timed Assistance in Power-Assisted Sit-to-Stand Movement”, SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol.8, No.5 pp.312-320, 2015. (査読有)

〔学会発表〕(計 5 件)

松下光次郎, 佐々木実, “測域センサを用いた歩幅計測システムの開発 (第一報)”, 第 17 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2016 年.

松下光次郎, 武藤一樹, 伊藤聡, 佐々木実, “頭皮脳波・事象関連電位 P300 にもとづく作業評価システムの提案”, 第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2015 年.

Kojiro Matsushita, Satoshi, Ito, Minoru Sasaki, “Development of a 9-Axis Motion Sensor Ball for Analyzing Throwing Motion”, the 2015 JSME/RMD International Conference on Advanced Mechatronics (ICAM2015), 2015.

松下光次郎, 近藤美咲, 伊藤聡, 佐々木実, “目視点推定をめざした頭部動作時の眼電信号解析”, 日本ロボット学会学術講演会, 2015 年.

松下光次郎, 成岡健一, 西川鋭, 築地原里樹, 安部祐一, Qi An, 大脇大, “若手研究者によるブレインストーミングと実践から垣間見る表面筋電信号計測・解析システムの応用可能性”, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 2013 年.

〔その他〕  
ホームページ等

<http://www.eng.gifu-u.ac.jp/chinoukikai/staff/matsushita.html>

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

松下 光次郎 (MATSUSHITA Kojiro)

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：30531793