

平成 22 年 6 月 8 日現在

研究種目：若手研究（スタートアップ）
 研究期間：2008 ～ 2009
 課題番号：20800016
 研究課題名（和文）
 車体型ブレイン・マシン・インターフェースへの持続的な接続の影響に関する基礎的研究
 研究課題名（英文）
 Basic research on continuous connection of a vehicular brain-machine interface
 研究代表者
 深山 理（OSAMU FUKAYAMA）
 東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
 研究者番号：30508205

研究成果の概要（和文）：

本研究では、ラットを搭載して動作するブレイン・マシン・インターフェース(BMI)「ラットカー」を基盤に、BMI に接続された脳が時間経過につれて示す変化を可視化し、解析を可能とする実験プラットフォームを確立した。ラットの神経信号と歩行動作の軌跡を同時計測し、両者の相関を適応的モデルにより記述することで、想定と矛盾なく相関関係の時間変化を記述できることが確認された。

研究成果の概要（英文）：

An experimental system has been developed to visualize time-varying neural activities in rat's brain while connected to a brain-machine interface (BMI) based on a vehicular neuro-robotic platform which we call "RatCar". An adaptive model correlated neural signals and locomotion patterns of a rat which were simultaneously recorded. Those results suggested that our system were capable of analyzing functional variation in the central nervous system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
平成 20 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
平成 21 年度	1,120,000	336,000	1,456,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,320,000	696,000	3,016,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学、リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：神経インターフェース、神経科学、知能ロボティクス、生物・生態工学

1. 研究開始当初の背景

近年、生体と人工デバイスとを直接的に接続する新たなインターフェースとして、brain-machine interface(BMI) が注目され

ている。これは、生体において情報伝送の主要な役割を担う神経系に着目し、コンピュータとの直接接続および情報の相互伝送を試み

るものである。特に、中枢神経系に神経電極を刺入し、神経細胞の活動を電氣的に計測する手法では、脳電位図 (EEG)、脳磁図 (MEG) のような非侵襲的方法に比べ、はるかに高い時間空間分解能が得られ、多くの時間当たり情報量を得られることが知られている。このようなインターフェースとしては、既にラットの大脳皮質一次運動野からの信号計測に基づくロボットアーム制御、同様にサルを対象とした腕部の軌道推定などが提案されている。さらに、既に米国ではヒトを対象とした臨床実験も行われつつあり、神経信号に基づく外部機器制御は十分に現実的な研究課題となりつつある。これらの技術は、身体障害者や高齢者に対してコントローラ操作等を伴わない移動や意思表示といった外界への働きかけの手段を提供する可能性がある。

本研究代表者は、このようなBMI の一つとして、図 1 に示すラットカーと呼ぶシステムの開発を行ってきた。これは、ラットの運動中枢から侵襲的手法によって計測された神経発火活動を基に、車体型デバイスの移動を制御するものである。これまでに、ラットの神経信号からその歩行様態の概略（歩行速度および方向変化）を推定し、これに追従するような車体駆動が実現された。（ただし、ラットを車体上に搭載した状態での歩行推定や車体制御は未だ十分に成功していない。）

ところで、先行研究では当初ラットのレバー押し動作と神経信号の対応関係を抽出し、これに基づいて神経信号によるロボットアーム制御を行っていたものの、時間経過につれて両者の対応関係が変化する現象が報告されていた。最終的にはラットが当初から引き続いてロボットアームを操作できているにも関わらず、レバー押しの実動作が消失したとされる。この要因としては、脳の非定常性、可塑的な機能変化、あるいは計測条件の変異な

どが考えられるものの、その機序や程度は未だ不明である。

2. 研究の目的

本研究では、我々がこれまでに開発してきたラットカーシステムを用い、生体が長期間BMI に接続された際に生じる脳および身体運動変化について解明の一助とする。ラットカーの車体上にラットを搭載するとき、brain たるラットとmachine たる車体とは一体となって移動する。このとき、ラットにとって車体は単に操作すべき外部デバイスではなく、あたかも身体の一部であるかのように存在する。ラットは、移動に伴う視覚的変化、加減速感、床反力等を通常通り感覚として得ることが出来る一方、運動系に関しては車体との接続によって劇的な改変を受けることになる。このような状況においては、運動中枢から得られる神経信号にも何らかの変化が生じることが予想されるが、その変化の過程と程度を定量的に明らかとすることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

BMI の基盤となるラットカーについては、従前のシステムを継承・発展する形で用いた。すなわち、神経信号は大脳皮質運動野から計測され、増幅・フィルタリング処理を経てコンピュータへ送った。コンピュータ上では、神経信号と歩行パターンの対応付けを行うモデルおよび行動判別アルゴリズムに基づき、ラットの歩行に関しての意図が推定する。その結果、ラットを搭載した車体はこの意図に応じて駆動される。ただし、車体下部はラットの四肢が地面に触れられる構造とし、体性感覚・皮膚感覚を介した車体動作のフィードバックを可能とする。一方、ラットが存在する実際の位置・速度は、ラット頭部に搭載されたLEDを光学的にトラッキングすることによ

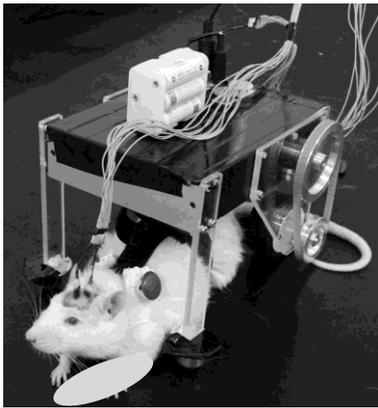


図 1. 懸架型ラットカー。

って計測され、モデルの同定、キャリブレーションに用いる。

その上でラットを車体上に搭載し、運動中中枢神経活動の変化を観察する。ここでは、ラットカーの車体構造を改良し、長時間の計測と神経活動解析の実験系として耐えうるものとする必要がある。そこで、図 1 に示すように、ラットを車体下部に緩やかに懸架する構造の車体を提案する。この車体では、ラット胴体を支えるワイヤの張力に応じて、ラットを床面に接地した状態から完全に四肢を浮遊させる状態まで変化させることができるものとする。また、車体駆動系のパラメータを調整することによって、ラットの行動に干渉しない／支援する／妨害するといった状態の変化を加えることができる。これらの条件、あるいは条件変化に応じた運動中枢の神経活動を観察することによって、それらの特性を検討する。この特性には神経活動の変化に由来するもの、神経電極自体の状態変化に由来するものが混在していることが予想され、その切り分けについても検討を試みる。

4. 研究成果

平成 20 年度においては、最初に神経信号計測に用いられる電極を改良し、脳のより広域からの信号を一括して計測可能とした。また、神経発火の検出方法に改良を加え、ラッ

トの体動アーチファクトに対する頑健性を

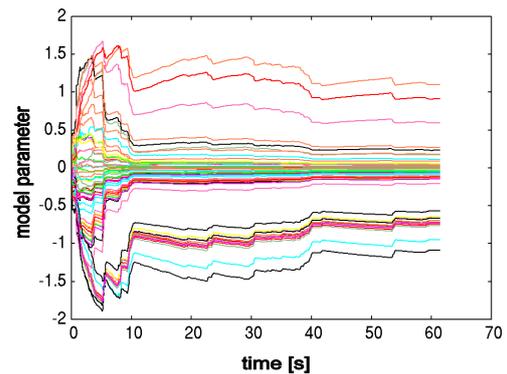


図 2. 神経活動と歩行動作の相関を示すパラメータの時間変動例。

向上した。これらは、後段の解析に耐えうる信号の安定した計測に必要な技術改良であった。

次に、神経信号によるラット歩行速度推定について、カルマンフィルタ型の適応的アルゴリズムの導入により、①歩行推定、②モデルパラメータ更新、③モデルパラメータのモニタリングを同時に進行可能なシステムを構築した。モデルパラメータは、脳内の状態と実際の身体動作（歩行）とを対応付けるものであるため、これが適応的アルゴリズムによって更新されるとき、脳内の情報表現変化の一端を表現可能であると考えられる。実験においては、実験開始後 30 秒程度の間モデルパラメータは収束し、その後数分間にわたって比較的狭い変動範囲に留まる傾向があった（図 2）。その一方で複数のパラメータの突発的な変動や一部のパラメータのみが緩やかに変動する様子等も見られた。

続いて平成 21 年度においては、ラットを搭載したまま移動可能な懸架型車体を完成し、各種条件下における神経信号の特性変化を観察した。

ラットと車体を繋ぐベルト長を調整することで、(1)駆動系を停止した車体をラットが引いて歩行する状況、(2)ラット神経信号

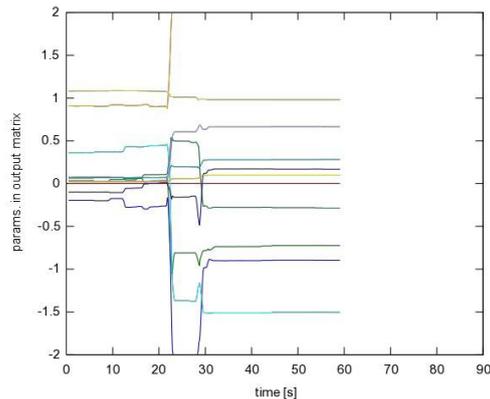


図3. 自由歩行から車体牽引への切り換えに伴うモデルパラメータの変化。

に基づき駆動される車体がラットを運搬する状況を実現し、それぞれ神経信号と歩行動作とを相関付けるパラメータの逐次的な観測を可能とした。本システムを用いた結果、(1)では自由行動ラットの場合に比べて相関値のゲインが高まり、神経活動と動作の対応関係の変化に起因する要素を抽出することが可能であった。(2)ではラットの意図しない車体動作に対してパラメータの急激な変動が生じるなど、想定に矛盾しない特性が得られた(図3)。また、高床構造の車体に対しては駆動音の低減と動特性の改善を図り、長時間にわたってラットを安定して保持することが可能となった。

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 1 件)

- ① 深山 理、満洲、邦彦、ブレイン-マシンインタフェースとしての神経電極の設計、Electrochemistry、査読無し、Vol. 77, No. 9, 2009, pp. 827 - 833.

〔学会発表〕(計 18 件)

- ① 深山 理 ほか、中枢神経信号によるラット搭載車体システム「ラットカー」の開発：広域多点神経信号からの自動発火弁別および選別法、第47回生体医工学会大会、平成20年5月30日(神戸)
- ② Osamu Fukayama et al., RatCar System

for Estimating Locomotion States using Neural Signals with Parameter Monitoring: Vehicle-formed Brain-Machine Interfaces for Rat, 30th Annual Intl. IEEE EMBS Conf., 平成20年8月23日(Vancouver, BC, Canada)

- ③ Osamu Fukayama et al., Automatic Adaptation of Vehicle Controller to Time-Varying Neural Signals Recorded in RatCar System: A Vehicle-formed BMI, Joint 4th Intl. Conf. on Soft Computing and Intelligent Systems and 9th Intl. Symposium on Advanced Intelligent Systems, 平成20年9月18日(名古屋)
- ④ 深山 理 ほか、車体型 BMI「ラットカー」搭載時におけるラット運動中枢神経活動の時間変化に関する基礎的検討、計測自動制御学会 第23回生体・生理工学シンポジウム、平成20年9月28日(名古屋)
- ⑤ 深山 理 ほか、神経系計測における主観的な発火波形判定の尖度に基づく定量化、第48回日本生体医工学会、平成21年4月24日(東京)
- ⑥ 深山 理 ほか、車体型 Brain-Machine Interface ラットカーを用いた脳における情報表現変化の抽出、電気学会 電子・情報システム部門大会、平成21年9月3日(徳島)
- ⑦ Osamu Fukayama et al., Analyzing Transition in Correlation between Neural Signals and Locomotion through Vehicular BMI RatCar, Neuroscience 2009, 平成21年10月16日(Chicago, IL, USA)

6. 研究組織

(1)研究代表者

深山 理 (OSAMU FUKAYAMA)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・助教
研究者番号：20800016

(2)研究分担者

※該当なし

(3)連携研究者

※該当なし