

論文の内容の要旨

論文題目 ラットカー：中枢神経信号を用いた車体型
 ブレイン・マシン・インターフェースの研究

氏名 深山 理

本研究は、ラットを対象とした車体型のブレイン・マシン・インターフェース(BMI)を開発し、ラットが意図するままに車体を制御することを目指したものである。筆者らはこのシステムを「ラットカー」(RatCar)と名付け、以下に述べる複数の要素技術を開発し、これらの組み合わせによって脳・神経系と機械系との直接的な接続を実現してきた。一方、将来的にラットカーを用いた様々な脳科学あるいは生理学的実験を実現するため、簡便かつ標準性の高い手法を用い、BMIを特殊な条件下の限られた実験系に留めないよう注力している。本論文は、システムの概要と各要素技術について詳述するとともに、ラットカーによって得られる知見や実現される実験系について展望を述べたものである。

第1章は序論にあたり、初めに生体の感覚器および運動効果器を、外界との情報入出力系として定義し、通常はそこに身体の構造的制約が課されていることを指摘する。そこで、脳・神経系への直接接続によって、この制約を越えた生体と外界との情報通信が実現される可能性を示し、BMIの意義を述べた。次に、近年行われてきた先駆的なBMIの研究を紹介し、これらを踏まえ本研究で扱うラットカーシステムの特徴と意義を挙げている。すなわち、ラットカーにおいてはラットが車体上に直接搭載されることにより、BMIのbrainに当たるラットとmachineにあたる車体とが一体となって移動する。これにより、ラットは自身の意図が車体によって実現されたことを体感し、車体への速やかな適応あるいは大規模な脳の可塑的变化が生じる可能性があることを示唆するものである。

第2章では、ブレイン・マシン・インターフェース開発の背景技術として必要な中枢神経系計測について述べる。ここでは、実験動物(ラット)、計測領野、神経電極、計測信号の予備的処理について、それぞれ背景と開発指針、条件またはアルゴリズムの詳細を示す。実験動物としてはWistar系ラットが用いられ、大脳機能局在マップおよび微小電気刺激によって計測領野が同定された。また、神経電極はタングステンワイヤを用いて自作し、計測信号に対しては発火波形強調によるノイズ軽減および発火ユニットの弁別が行われた。

第3章では、前章までに得られた神経発火情報をもとに、ラットの歩行状態を推定し、ラットカー車体の制御を実現している。ここでは、歩行推定モデルとして推定値の二乗誤差最小化によって得られる線形モデル、またこれを発展したKalman filterに基づく適応的

推定モデルを提案する。上述のモデルに対して、歩行の速度および方向の実測値を与え、パラメータ同定および推定値との比較を行うため、それぞれ車輪状の運動器具および Y 字状経路が用いられた。さらに、これらを統合してラットの移動を一括して捉えるために、光学計測系を有するトレッドミル装置を用いた実験が行われた。その結果、ラット歩行動作の概要が推定され、推定値に応じた車体駆動が実現された。なお今後の課題として、ラットを車体上に搭載した場合の妥当性評価を行うため、より長期にわたる多数例の計測が必要である。

第 4 章では、ラットカーの制御を通じて得られた知見、および今後実現されうる実験系の展望を示す。ここでは、運動前野など大脳内での計測範囲の拡大、歩行推定モデルの時間的拡張と条件に応じた推定精度の改善が主な対象とした。また今後の展開として、長期間連続計測によるラット意図の明確化、モデルパラメータの変化の経過を観察することによる大脳可塑性の定量化などへの指針を示した。今後、長期間にわたる安定した計測を実現するため、計測系の無線化やオンボード化、電極材質・構造の改良などの課題が挙げられている。

第 5 章は本論文のまとめとして、提案した手法と結果、および今後の展望との関係を整理した。

この他、付録として慢性電極埋込手術、神経発火弁別および歩行推定のアルゴリズム詳細、またラットカーシステムの具体的な構成図を添付した。