

論文内容の要旨

博士論文題目

Real-Time Neuroprosthetic Control: Invasive and Non-Invasive
Brain-Machine Interfaces for Paralyzed Patients

(神経義手の実時間制御—麻痺患者を対象とした侵襲および非侵襲
ブレイン-マシン・インターフェース—)

氏名 福間 良平

Advancements in invasive brain machine interface (BMI) research have enabled patients with motor dysfunction to control external devices. However, to bring BMIs out of the laboratory and into the real world to improve the quality of life for patients, the invasiveness and clinical risks associated with contemporary BMIs need to be improved. Electrocorticogram (ECoG) is a technology that measures the activity of populations of neurons via electrodes placed on the cortical surface, providing a promising way to measure brain activity with relatively low invasiveness. To study preserved motor representation and motor information in paralyzed patients, which is essential to realize ECoG-based BMIs for clinical application, ECoG signals were recorded during a hand movement task of patients with differing severities of motor dysfunction. The results of spatiotemporal and decoding analyses showed that motor representation and motor information were deteriorated due to paralysis, although one of the paralyzed patients could still control a real-time ECoG-based neuroprosthetic arm and keep it under control after several days, without re-tuning the BMI parameters (chapter 2). To further examine the relationship between neurological symptoms and the preservation of motor information among patients with severe motor dysfunction, magnetoencephalogram (MEG) signals from severely paralyzed patients during a hand movement task were analyzed. The results of cortical current estimation and decoding analysis revealed that the subjective movability of phantom limbs was correlated with the amount of preserved motor information, and that paralysis altered the distribution of motor information in the bilateral sensorimotor cortices, depending on the properties of motor information (chapter 3). In addition, some of the patients could control a real-time MEG-based BMI successfully, and online performance was shown to correlate with the amount of preserved motor information in the contralateral sensorimotor cortex (chapter 4). These findings suggest the efficacy of ECoG-based BMI to reconstruct the motor function of paralyzed patients, as well as the importance of non-invasive BMI for multiple purposes, such as a training method for invasive BMI and an evaluation tool to test the potential of individual patients to control invasive BMI, before implantation surgeries.

氏名	福間 良平
----	-------

(論文審査結果の要旨)

近年のブレインマシンインターフェース (BMI) 技術の発展は、運動機能障害を持つ患者に対し、思い通りに操作できる義手を提供する有望な手段となっている。本研究は脳活動の中でも侵襲性と臨床的リスクにおいてバランスのとれた皮質脳波 (ECoG) に着目し、実際の麻痺患者を対象として運動が脳内でどのように表現されているかを明らかにしたものである。

本研究ではまず、健常者と麻痺等がある患者を対象として、上腕および手の運動タスク中の ECoG を計測した。このデータを元にオフラインで運動のデコーダを作成し、その性能を比較した。その結果、患者群ではパフォーマンスの低下は見られるものの、運動情報が ECoG に含まれることが確認された。

次に、病状と運動情報の関係をより詳細に調べるため、非侵襲である脳磁図 (MEG) を測定し、電流源を推定してデコーダを作成した。その結果、麻痺と脳内情報の関係を明らかにした。また、MEG によるデコーダと ECoG によるデコーダの性能の関係も明らかにした。これは、非侵襲の MEG によって、侵襲的である ECoG による義手操作手術の可否を判断できることを意味している。

以上をまとめると、本論文は運動機能障害を持つ患者に対して BMI による義手開発の可能性を明らかにした研究であり、今後の臨床研究に大いに資すると考えられる。よって、博士 (理学) の学位に値するものと認められる。