

# 主 論 文 要 旨

報告番号	① 乙 第	号	氏 名	橋本泰成
主 論 文 題 目： Development of Brain-Computer Interface Based on Sensorimotor Function in Humans (ヒト感覚運動機能に基づくブレイン・コンピュータ・インタフェースの開発)				
(内容の要旨)				
<p>脳卒中や脊髄損傷などの神経系疾患により引き起こされる重篤な運動障害は、脳と骨格筋との連絡路を遮断し、外界への意思の表出を困難にさせる。このような身体障害を抱える人々の脳の神経活動から直接意思を抽出して、四肢の運動を介さずにコミュニケーションや移動を可能にする機能代替的なシステムの研究開発が進められており、その技術はブレイン・コンピュータ・インタフェース (BCI) 技術と呼ばれている。</p> <p>しかしながら、脳波の発生機序やその個人差、BCI を繰り返し利用することによる脳活動の可塑的变化などについては不明な点が多く、実用化には至っていない。本研究では (1) BCI 技術で利用されている脳波のひとつであるベータ波の発生機序を運動生理学的な観点から明らかにするとともに、(2) その知見を利用して BCI システムを構築し、運動関連脳波が発生しにくい肢体不自由者においてトレーニング効果を調べることの二点を目的とした。</p> <p>本論文第一章において、脳波変化の概要および BCI における脳波の利用例について解説した。BCI では、運動の遂行あるいは想起にともなって発生する脳波の振幅増減を利用する。例えば、把離握動作のような手の運動イメージでは、体性感覚運動野手部近傍から導出された脳波の 8-13 Hz 成分が減少する (ミュー波 ERD)。また足関節の底背屈動作のような足の運動イメージでは、体性感覚運動野下肢支配領域近傍から導出された脳波の 18-30 Hz 成分が増大する (ベータ波 ERS) ことが知られている。</p> <p>第二章では、ベータ波 ERS の生理学的メカニズムを検証した。運動の遂行時に観察されるベータ波は、収縮している骨格筋活動に対して同期的であることが知られており、運動生成に関わる皮質基底核ループにおける抑制性介在神経細胞の活動量が影響していることが示唆されている。そこで随意運動時の脳波-筋電図コヒーレンスを算出し、その律動的神経活動の程度を定量した。その結果、足関節の背屈運動中において統計学的に有意なベータ波コヒーレンスを示す被験者群はそうでない群と比較して、同様の運動想像時にも有意なベータ波 ERS を認めた。これはひとつの運動生成に関わる神経ネットワークが運動遂行と運動想起の両面において共通に関与していることを強く示唆しており、BCI で利用されるベータ ERS の発生過程において、実際の運動機能に関連した中枢神経系の活動が関与していることを意味している。</p> <p>第二章の結果を神経生理学領域における運動学習研究に則って考察すると、ベータ波 ERS の小さい被験者であっても BCI トレーニングを施すことによりその可塑的变化をうながすことができるはずである。そこで第三章では、ベータ波 ERS およびミュー波 ERD から、手および足の運動イメージを自動で検知する BCI システムを構築し、ほとんど体を動かすことができない重度の筋ジストロフィ患者における BCI トレーニング効果を論じた。半年におよぶ長期間の BCI トレーニングの結果、日数を経るにつれて脳活動が可塑的变化を起こし、微弱なベータ波 ERS が 1.5 倍程度増強することがわかった。これにともなって BCI の制御精度も向上し、被験者はインターネット上の仮想空間内でキャラクタを随意的に移動させることができるようになった。</p> <p>以上のように本研究では、独自に開発した BCI が重度肢体不自由者の運動代替に有効であることを示したほか、BCI の長期使用によって運動関連神経活動を可塑的に変化させることができることを明らかにした。このことは、BCI が機能代替としてのみならず神経リハビリテーションへ応用できることを提示しており、新しい BCI 研究のパラダイムを拓く上で重要な知見であると考えられる。</p>				

# SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Fundamental Science and Technology	Student Identification Number	SURNAME, First name HASHIMOTO, Yasunari
Title  Development of Brain-Computer Interface Based on Sensorimotor Function in Humans		
<p data-bbox="167 528 280 562"><b>Abstract</b></p> <p data-bbox="167 568 1428 748">Severe motor disabilities due to neurological disorders such as stroke or spinal cord injury cause difficulty of expressing patient's intentions for external world. Brain-computer interfaces (BCIs) can provide alternative communication and control solutions to individuals with such severe motor disabilities. The BCIs extract human intentions from electroencephalogram (EEG) independently from the status of physiological output pathways to peripheral nerves and muscles.</p> <p data-bbox="167 754 1428 969">However, it is still difficult to realize practical BCI because a number of inefficiencies arise from the lack of physiological points of view; the generation mechanism of EEG, difference among individuals in EEG, and the plastic change in brain activity after long-term use of BCI. The purposes of the present dissertation are therefore two: (1) to clarify physiological mechanisms for generating beta rhythms in EEG, which is frequently used in BCI technology and (2) to measure the effect of BCI training for brain activity in a subject with severe motor disabilities.</p> <p data-bbox="167 976 1428 1234">In Chapter 1, the neural basis underlying EEG changes and types of EEG used in the previous BCI studies were reviewed. BCI technologies often use changes in the amplitude of EEG signals during motor imagery or motor execution. For examples, hand motor imagery (grasping or pinching imagery) results in amplitude reduction of EEG signals in the 8-13 Hz frequency range, mu rhythms, recorded from hand area in somatic sensorimotor cortex (mu ERD), and foot motor imagery (dorsal or plantar flexion imagery) produces enhancement of EEG signals in the 18-30 Hz frequency range, beta rhythms, recorded from hand area in somatic sensorimotor cortex (beta ERS).</p> <p data-bbox="167 1240 1428 1568">In Chapter 2, we investigated the physiological mechanism of beta ERS. It is known that beta rhythms observed during motor execution shows synchrony with electrical muscle activity (EMG) in contracting skeletal muscles. In our experiment, EEG and EMG in a tibialis anterior muscle, a dorsiflexor in lower limb, were simultaneously recorded during motor imagery and motor execution tasks of right foot dorsal flexion, and coherence function between EEG and EMG signals was calculated to determine the degree of cortico-muscular coherence. As a result, we observed significant correlation between the cortico-muscular coherence and the amount of beta ERS both during motor execution and during motor imagery. This result suggests that the same neural basis is shared in both motor execution and motor imagery, and actual motor related activity in the central nervous system is involved for generating beta ERS in BCI.</p> <p data-bbox="167 1574 1428 1832">Considering the results of Chapter 2 and previous studies in field of motor learning, appropriate BCI training can produce plastic changes in brain activity involved in beta ERS generation even in the subject who have low beta ERS. Therefore, the effect of BCI training in a subject with severe muscular dystrophy was investigated in Chapter 3. The BCI system was originally designed for detecting hand or feet motor imagery. Through long-term BCI training over 5 months, the subject enhanced beta ERS 150% comparing to the one before the training. Following this enhancement, control accuracy of the BCI was improved and the subject successfully controlled his character in virtual world using only his intention.</p> <p data-bbox="167 1839 1428 2009">As mentioned above, this dissertation clarified that the neural activity related to motor functions could be changed in plasticity by long-term use for BCI, and besides, it shows that BCI originally developed was effective for persons with motor disabilities as an alternative operation method for an external device. These findings show the possibility that BCI can be used as not only substitution of motor function but also a tool for neurological rehabilitation.</p>		