

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：82636

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H03049

研究課題名(和文) 超多点BMI環境におけるニューロフィードバックによる神経系の可塑的变化の研究

研究課題名(英文) Research on cortical adaptation by neural feedback in multi-channel BMI environment

研究代表者

鈴木 隆文 (Suzuki, Takafumi)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・室長

研究者番号：50302659

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,000,000円

研究成果の概要(和文)：BMI接続による神経系の変化が注目されている。本研究は申請者が開発中の超多点BMIシステム等の技術を統合させた実験システムを構築して、神経系の可塑的变化の特性や限界を解明し、その制御・誘導を図ることを目的として行った。なお本研究における動物実験は、大阪大学生命科学研究科の承認のもと、大阪大学にて実施された。まず、(1)実験用統合システムの構築と評価として高密度柔軟電極を試作し、BMIデコーディングなどの用途における高密度電極の設計指針を得た。次に(2)多点柔軟神経電極を利用した可塑特性解明実験を動物モデルにより行い、BMI接続によりハイガンマ帯域の信号などに変化がみられることが観察された。

研究成果の概要(英文)：In the research field of Brain-Machine Interface (BMI), it has been known that the nervous system is able to adapt to the new body environment when it is connected to external devices through a brain-machine interface system. The purpose of this research is to develop an experimental system by integrating a super multi-channel BMI technologies and to study the property of the cortical adaptation. In this research, (1) we developed an experimental BMI system including evaluation of high density flexible surface electrode array, and then (2) we studied the property of cortical adaptation using animal models which control an external device by BMI using high gamma band power of electrocorticogram signal.

研究分野：神経工学

キーワード：ブレインマシンインタフェース 神経電極

1. 研究開始当初の背景

近年、リハビリテーション研究分野においては、リハビリテーションを成年脳における可塑性の促進あるいは制御と捉えて、適切な体性感覚フィードバック等を検討したり、リハビリテーション実施中の脳の神経活動の変化を近赤外分光法等によってモニタするといったニューロリハビリテーションと呼ばれる研究が始まっている。一方で、近年、ブレインマシンインタフェース(BMI)と呼ばれる技術が急速な進歩を遂げ、生体の神経系と人工機器とを直接接続することにより、運動野神経情報による義肢制御や、感覚神経への信号入力による人工感覚生成などを目指した研究が国内外の研究グループで行われるようになった。ラットやサルなどを用いた動物実験だけでなく、米国ではヒトを対象とした評価実験も行われている。こうした BMI システムにおいて、実際に生体の神経系と外部機器を接続すると、脳は新しい身体環境に非常に柔軟に急速に適應することが示されつつあるが、これはまさに上述のリハビリテーション分野での課題に密接に関わるものである。本研究は、この点に着目して、動物を対象として神経系の可塑的变化の特性や限界を解明し、さらにこうした可塑的变化の制御・誘導を図ることを目的として研究を行うものである。

Jackson ら は、サルの運動野で計測した神経発火に同期した電気刺激を別の神経細胞に行うことにより、計測側の細胞の筋支配特性を変化させることを、また、Shibata ら は、fMRI データからデコードした指標をフィードバックすることによって被験者に明確な学習意図がない場合でも知覚能力向上のような学習を進めることが可能であることを、其々報告している。どちらもニューロフィードバックによる神経系の可塑的变化の誘導と捉えることが可能であるが、本研究は規模的にこれらの 2 報告の間をつなぐものであり、多チャンネル BMI による身体環境制御などの多様な手段によってこうした可塑特性の機序に迫るものである。

2. 研究の目的

研究においては、生体(成体)の脳の可塑特性を明らかにするために、下記の課題を実施する。

(1) 研究用システムの構築。具体的には多点神経電極等を慢性的に使用可能とするための改良と統合を行うとともに、多点高密度柔軟電極の有効性等の評価を行う。また BMI 接続によって神経情報によって制御する外部機器としては、報酬水の制御ポンプ等を使用する。

(2) (1)により神経系の可塑的变化特性を解明し、さらに変化の制御や誘導の可能性を探る。具体的には、多点計測した神経信号

から推定(デコード)した運動意図情報に応じて外部機器を制御するだけでなく、実験者側の指定した活動パターンとの類似度による制御を行い、神経系の適応的变化を観測し解析を行う。多点計測した信号を全チャンネル用いる通常の BMI の方法だけでなく、あえて一部の信号だけを用いることで、デコードに使用しなかった信号の変化を追うことも目指す。

3. 研究の方法

(1)実験用統合システムの構築(下記の技術を慢性的に動物で使用可能とするための改良と統合、評価)。超多点 BMI システムの基盤技術として、高密度柔軟脳表電極を試作するとともに、高密度電極自体の有効性等の評価も併せて行う。

(2)前項のシステムを利用した可塑特性解明実験(ラットモデル)を行う。より具体的には 32 チャンネルの高密度多点柔軟表面電極をラット用に開発し、それを用いて計測した皮質脳波のハイガンマ帯域のパワーを利用して外部機器(報酬水ポンプ)の制御を行うトレーニングを行い、トレーニング前後における各チャンネルの皮質脳波の変化を観察し解析を行う。

4. 研究成果

(1)高密度表面電極の試作と評価

高密度表面電極を図1のプロセスによって作成した。電極(窓)サイズは 0.05mm から 1mm 程度まで、電極間距離は最小 0.2mm のものが作成可能であることを確認した。

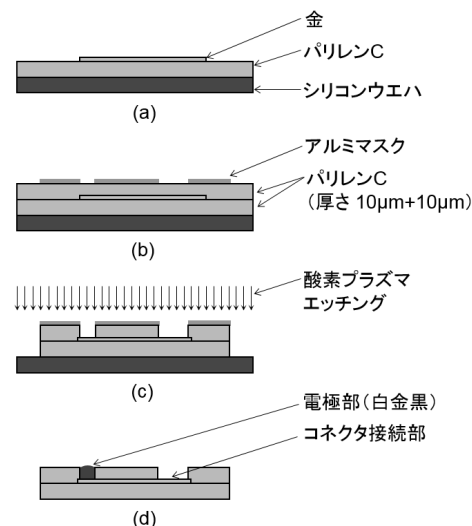


図1: 柔軟電極作成プロセス

次に、高密度表面電極のその皮質脳波計測における有効性の評価を指電気刺激に対する体性感覚誘発電位を利用することによって実施し、電極間隔 0.7mm 程度の高密度表面電極の皮質脳波計測における有効性の評価

実験を実施した。0.35mm 四方の電極を中心間距離 0.7mm でアレイ状に並べた 32ch の柔軟表面プローブを試作し、これを 3 個(合計 96ch)、麻酔下の体性感覚野に設置した。対応する 5 指にリング型電極を設置し、電気刺激を行い、体性感覚誘発電位(SEP)計測を行った。解析の結果、図 2 のように、0.7mm 間隔の表面電極であっても、隣接したチャンネルで異なる皮質脳波信号波形が計測されることが示された。これにより、この電極密度(電極間隔 0.7mm)でマッピングが十分に可能であることが示唆された。

さらに、生体情報のデコーディング性能という観点からも、高密度神経電極の有用性の評価を行った。この課題では、各指に対して個別に刺激を加え、計測された脳信号から「どの指が刺激されたか」を L1 正則化ロジスティック回帰によって推定した。その結果、電流刺激(4mA)では 推定精度は 90%に達した。また振動刺激(約 100Hz)という、生理的状況下で起こり得る刺激に対しても 64%の精度で推定を行うことができた(いずれもチャンネルレベルは 20%)。これらの結果からデコーディングという観点からもこの電極密度が有用であることが示された。

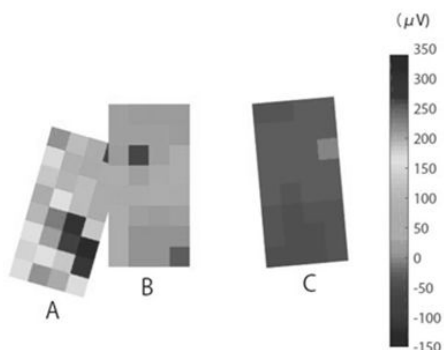


図 2 : 高密度表面電極の評価実験

高密度電極により体性感覚誘発電位を測定し、そのデコーディング精度等の観点から電極の有効性の評価を実施した。

(2) 可塑性特性解明実験 :

ラット専用に開発した高密度柔軟表面電極を用いて、32ch の皮質脳波計測を行い、ハイガンマ帯域 (50 ~ 120Hz) のバンドパワーを利用して、トレッドミル上を歩行中に外部機器 (報酬水ポンプ) の制御を行うトレーニングを行った。32 個のチャンネルの中から予めターゲットとする電極を定め、そのハイガンマ帯域のバンドパワーが閾値を超えると報酬の水が出るようなシステムとした。バンドパワーの大きさはスピーカからの高周波音の周波数として聴覚的にフィードバックすることとした(図 3)。トレーニング前後における各チャンネルの皮質脳波の変化を観察し

解析を行った結果、制御に用いた電極においてハイガンマパワーが増大することが示された。周囲の電極の信号との関係などについてさらに解析を進めている。

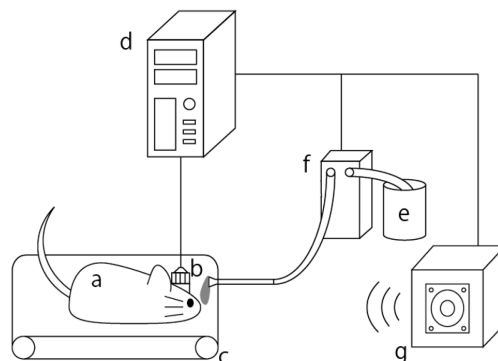


図 3: 計測システム(歩行中に外部機器を BMI 制御する。)

< 引用文献 >

A. Jackson, et al, Long-term motor cortex plasticity induced by an electronic neural implant, Nature, Vol. 444, pp. 56-60 (2006)

K. Shibata, et al, Perceptual Learning Incepted by Decoded fMRI Neurofeedback Without Stimulus Presentation, Science, Vol. 334(6061), pp. 1413-1415 (2011)

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 1 件)

Kaiju Taro, Doi Keiichi, Yokota Masashi, Watanabe Kei, Inoue Masato, Ando Hiroshi, Takahashi Kazutaka, Yoshida Fumiaki, Hirata Masayuki, Suzuki Takafumi, High Spatiotemporal Resolution ECoG Recording of Somatosensory Evoked Potentials with Flexible Micro-Electrode Arrays, Frontiers in Neural Circuits, Vol. 11, pp. 1-13, 2017, DOI 10.3389/fncir.2017.00020, 査読有り

[学会発表] (計 4 件)

Takafumi Suzuki, Brain-machine interface using electrocortigraphy, Yamada Symposium, 2017

鈴木隆文, 皮質脳波ブレインマシンインタフェース - システム開発と神経科学的課題 -, 電子情報通信学会 CSS 研究会 (招待講演), 2017

Kaiju Taro, Yokota Masashi, Inoue Masato, Masayuki Hirata, Suzuki Takafumi, Cortical plasticity observed in an electrocortigraphy-based motor brain-machine interface task, The 47th annual meeting of Society for

Neuroscience(Neuroscience 2017), 2017

Kaiju Taro, Yokota Masashi, Inoue Masato, Masayuki Hirata, Suzuki Takafumi, Induction of electrocorticography patterns via operant conditioning using a BMI self-feeding task, Real-Time Functional Imaging and Neurofeedback 2017, 2017

〔図書〕計0件

〔産業財産権〕計0件

〔その他〕なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 隆文 (SUZUKI, Takafumi)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・室長

研究者番号: 50302659

(2) 研究分担者

田村 弘 (TAMURA, Hiroshi)

国立大学法人大阪大学・生命機能研究科・准教授

研究者番号: 80304038

(3) 連携研究者

安藤 博士 (ANDO, Hiroshi)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員

研究者番号: 00638794