

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 8 日現在

機関番号：14401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22700435

研究課題名（和文）大脳皮質入出力型ブレインマシンインターフェイスによる上肢運動機能再建技術の開発

研究課題名（英文）Development of bidirectional brain-machine interface using electrocorticogram to restore motor functions of arms for paralyzed patients

研究代表者

柳澤 琢史（YANAGISAWA TAKUFUMI）

大阪大学・医学系研究科・特任研究員

研究者番号：90533802

研究成果の概要（和文）：

本研究では、感覚運動野に留置した硬膜下電極から計測した皮質脳波を用いて、患者の思った通りに動き、かつ感覚フィードバックを持つ電動義手を開発した。また、脳卒中や外傷による重度運動機能障害患者の皮質脳波でも、患者が想起した運動内容を推定し義手を制御できる事を示した。更に、麻痺患者が皮質脳波だけで義手を制御し物の把握など操作を行える事を実証した。また、脳磁計でも制御可能な義手を開発した。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we have developed a bidirectional brain-machine interface to operate a prosthetic arm with tactile sensor using the electrocorticogram (ECoG) recorded by the electrodes implanted on human sensorimotor cortices. Some severely paralyzed patients due to stroke or trauma were shown to be able to operate the prosthetic arm only using their ECoG signals by imaging some movements of their paralyzed limbs. The patients operated the prosthetic arm to manipulate some objects by grasping and releasing. Furthermore, we have developed a prosthetic arm to be controlled by signals of magnetoencephalogram (MEG).

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2011年度	200,000	60,000	260,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：統合領域

科研費の分科・細目：脳神経科学・融合脳計測科学

キーワード：ブレインマシンインターフェイス

1. 研究開始当初の背景

脳信号だけから個人の意図や考えを読み取って、人が念じるだけでコンピュータやロボットを制御する Brain-machine interface

(BMI)技術は、脊髄損傷や筋萎縮性側索硬化症などにより重度の運動機能障害がある患者の運動機能再建や意思伝達技術として注目されている。米国では既に、脊髄損傷患者

の一次運動野へ針電極を留置し、考えるだけで PC や義手を制御する臨床研究が行われている。しかし、針電極は信号が不安定で、脳への侵襲も大きく臨床応用の障壁となっている。我々は信号安定性が高く、得られる情報も多い皮質脳波を用いることで、臨床応用可能な BMI の開発を目指している。実際、患者が運動を行っている際の皮質脳波を用いると、施行された運動種類を皮質脳波だけで推定できる。皮質脳波を用いた運動機能再建の可能性は指摘されていた。

しかし、これまでの研究の多くはてんかん患者など運動機能障害のない患者から計測した皮質脳波を用いていた。実際に運動機能障害がある患者の皮質脳波でも BMI が可能であるかは明らかでない。特に (1) 運動機能障害に伴って感覚運動野の活動がどのように変化するか (大脳皮質再構築)。(2) BMI により皮質活動がどのように変化するか。特に感覚フィードバックがあり、思い通りに動く義手を皮質活動で制御した場合に、どのような変化が脳に生じるか、は明らかでない。運動障害による皮質脳波への影響だけでなく、BMI 使用により起こりえる変化についての知見は、BMI を臨床応用していく際に、患者に起こりえる変化を予測するために重要である。

2. 研究の目的

本研究では、頭蓋内の感覚運動野に硬膜下電極を留置した患者ボランティアから皮質脳波を計測し、患者の思った通りに動き、かつ感覚フィードバックを持つ電動義手の開発と検証を行う。特に以下の3点について検討する。(1) 皮質脳波だけで義手を思い通りに制御できるか。(2) 運動機能障害に伴い皮質脳波はどう変化するか。(3) 感覚フィードバックのある義手制御により皮質活動はどのように変化するか。

3. 研究の方法

本研究では初年度において、感覚入力を持つ電動義手制御を開発した。感覚入力のシステムは既に筋電義手用に東京大学横井研にて開発されたものを用いた。大阪大学医学部附属病院にて硬膜下電極を留置された患者の協力を得て、皮質脳波によるリアルタイムな電動義手制御および感覚フィードバックを行った (大阪大学病院倫理委員会承認済み)。感覚フィードバックは義手に取り付けられた圧及び曲がりセンサーの測定値に応じて、皮膚電気刺激を行った。また、皮質脳波だけでなく、脳磁界信号を用いても同様に義手制御を試み、脳磁図による検討も行った。

4. 研究成果

運動機能障害に伴う皮質脳波の変化を検討した。その結果、運動機能障害が悪化する程、皮質脳波は運動種類に寄らず類似する傾向を示し、運動推定も困難になる事が示された。ただし、麻痺肢に関する運動イメージが保たれている患者では、運動イメージ時の皮質脳波だけで運動種類を推定する事が可能であり、電動義手を皮質脳波だけで制御できる事を明らかにした。これらの結果を臨床神経科学で権威ある専門誌の *Annals of Neurology* 誌に掲載した (2011年8月)。本研究は世界で初めて麻痺患者の皮質脳波を用いて電動義手を制御し、皮質脳波BMIの臨床応用の可能性を示した点と、運動機能障害に伴う皮質脳波の変化を定量的に示した点で臨床及び基礎神経科学の両方で重要な成果である。

また、脳磁界信号による運動推定精度の検討を行った。皮質脳波と同じ運動課題を行った際の脳磁計測を行い、正常被験者もしくは運動機能障害患者が運動を施行もしくは想起した際の活動を記録した。得られた脳磁界信号から運動を推定すると、正常被験者では

約6-7割の精度で3種の運動を推定できた。また、運動機能障害患者でも、やや精度は劣るが同等の推定精度を得ることができた。これらの結果の一部を NeuroReport 誌に掲載した (2012/1)。



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5件)

- ① Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, Kishima H, Matsushita K, Goto T, Fukuma R, Yokoi H, Kamitani Y, Yoshimine T, Electrographic control of a prosthetic arm in paralyzed patients, *Annals of Neurology*. 2012; 71(3): 353-61
- ② Hirata M, Matsushita K, Yanagisawa T, Goto T, Morris S, Yokoi H, Suzuki T, Yoshida T, Sato F, Sakura O, Kamitani Y, Yoshimine T., Motor restoration based on the brain machine interface using brain surface electrodes: real time robot control and a fully-implantable wireless system., *Advanced robotics*. (in press)
- ③ Sugata H, Goto T, Hirata M, Yanagisawa T, Shayne M, Matsushita K, Yoshimine T, Yorifuji S., Movement-related neuromagnetic fields and performances of single trial classifications., *Neuroreport*, 2012; 23(1):16-20
- ④ Hirata M, Matsushita K, Suzuki T, Yoshida T, Sato F, Morris S, Yanagisawa T, Goto T, Kawato M, Yoshimine T. A fully-implantable wireless system for

human brain-machine interfaces using brain surface electrodes: W-HERBS. *IEICE Trans Commun*. 2011; E94-B(9):2448-2453

- ⑤ Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, Goto T, Kishima H, Fukuma R, Yokoi H, Kamitani Y, Yoshimine T., Real-time control of a prosthetic hand using human electrocorticography signals., *J Neurosurg*. 2011; 114(6):1715-22

[学会発表] (計9件)

- ① Takufumi Yanagisawa, Gamma amplitude coupled with alpha phase represents motor, Society for neuroscience, 2011.11.12, Washington DC convention center, USA
- ② 柳澤琢史, BMIによるロボットアーム制御と脳損傷後皮質脳波変化の定量的解析、認知神経科学会学術集会、2011.10.23、産業医科大学、福岡
- ③ 柳澤琢史, 脳損傷後の皮質脳波変化の定量的解析とBMIへの応用、日本脳神経外科学会総会、2011.10.14、パシフィコ横浜
- ④ 柳澤琢史, Gamma amplitude coupled with alpha phase represents motor, 日本神経科学学会、2011.9.17、パシフィコ横浜
- ⑤ 柳澤琢史, 麻痺患者における感覚運動野皮質脳波の変化とBMIへの応用、第50回日本定位・機能神経外科学会、2011.1.22、広島
- ⑥ Takufumi Yanagisawa, Prosthetic arm control by paralyzed patients using neural decoding of their electrocorticograms, Society for neuroscience, 2010.11.13, San Diego, USA
- ⑦ 柳澤琢史, 皮質脳波BMIを用いた麻痺患者の運動機能再建、日本脳神経外科学会、2010.10.29、福岡国際会議場
- ⑧ Takufumi Yanagisawa, Real-time and training-free control of a prosthetic arm using human, 29th ICCN, 2010.10.28, Kobe
- ⑨ Takufumi Yanagisawa, Prosthetic arm control by paralyzed patients using EGoG signals, Neuro2010, 2010.9.3, Kobe

〔図書〕（計 1 件）

- ① 柳澤琢史 平田雅之 吉峰俊樹、‘皮質脳波を用いたBMIによる運動機能再建’、先端医療シリーズ40 ‘リハ医とコメディカルのための最新リハビリテーション医学’、2010年4月6日；79-83

〔産業財産権〕

○出願状況（計2件）

①

名称：体内埋込装置のケーシングと体内埋込装置、および体内埋込装置のケーシングの製造方法、および体内埋込装置を用いた治療支援方法

発明者：平田雅之、吉峰俊樹、松下光次郎、後藤哲、柳澤琢史、鈴木隆文、吉村眞一

権利者：平田雅之、吉峰俊樹、松下光次郎、後藤哲、柳澤琢史、鈴木隆文、吉村眞一

種類：PCT 国際特許

番号：PCT/JP/2011/001402

出願年月日：2011/3/10

国内外の別：国外

②

名称：MACHINE CONTROL DEVICE, MACHINE SYSTEM, MACHINE CONTROL METHOD, AND RECORDING MEDIUM STORING MACHINE CONTROL PROGRAM

発明者：Hirata M, Yanagisawa T, Kamitani Y, Yokoi H, Yoshimine T, Goto T, Fukuma R, Kato R

権利者：Hirata M, Yanagisawa T, Kamitani Y, Yokoi H, Yoshimine T, Goto T, Fukuma R, Kato R

種類：米国特許

番号：12/799,840

出願年月日：May/3/2010

国内外の別：国外

〔その他〕

ホームページ

<http://www.n surg. med. osaka-u. ac. jp/school/research/research. html#c16>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柳澤 琢史 (YANAGISAWA TAKUFUMI)

大阪大学・医学系研究科・特任研究員

研究者番号：90533802