

[Original article]

(2009年2月27日 Accepted)

黙読を用いた Brain-Computer Interface の開発

雑賀 広記¹, 三浦 直樹¹, 王 碩玉¹

1) 高知工科大学大学院 基盤工学専攻 知能機械システム工学コース

要約: 本研究では, 脳活動を入力信号とする Brain-Computer Interface(BCI)の開発を行っている. 本論文では黙読を入力信号に利用した簡易な言語活動 BCI システムの構築を目指し, 近赤外線分光法(NIRS)を用いて文章黙読時の脳機能計測および脳血流量動態データのリアルタイム処理を行った. 実験結果より, 文章黙読時における脳血流量動態変化より簡易な ON/OFF スイッチ操作が可能となったことから, 言語活動 BCI の実用可能性が示された.

キーワード: Brain-Computer Interface(BCI), 黙読, 内的発話, 言語野, 近赤外線分光法(NIRS)

Development of a Brain-Computer Interface using silent reading

Hiroki SAIKA¹, Naoki MIURA¹, Shuoyu WANG¹

1) *Intelligent mechanical systems engineering course, Graduate school of engineering, Kochi University of Technology.*

Abstract: *Brain-Computer Interface (BCI), which provides a direct connection between the neural activity of human brain and machine, is being investigated in our study. In this paper, we examined the feasibility of using silent reading as a fundamental BCI trigger by measuring the real-time hemodynamic response during silent reading with Near Infrared Spectroscopy (NIRS). The results showed that hemodynamic response could be used as an ON/OFF switch during silent reading. This finding indicated that BCI control signals using Internal Speech Production can be put to practical use.*

Keywords: *Brain-Computer Interface (BCI), Internal Speech, Language area, Near Infrared Spectroscopy (NIRS)*

Hiroki SAIKA

Kochi University of Technology, Tosayamada-cho, Kochi, 782-8502, Japan

Phone: 088-757-2013, Fax: 088-757-2013, E-mail: 125038w@gs.kochi-tech.ac.jp

1. はじめに

近年、高齢化が進展し脳梗塞・脳卒中や身体障害による肢体不自由者などの被介護者数の増加が進む中、被介護者に対して介護福祉士等の生活行動をサポートする介護者数の不足が問題視されている[1][2]。介護者が不足すれば、被介護者に十分な介護が行き届かず被介護者、介護者ともに身体的・精神的負担を伴う。対応策の1つとして被介護者が電動車いす、歩行補助機など[3]を用いて自主的な生活を行うことが挙げられ、これまでに様々な福祉機器の研究・開発が行われてきたが、これらの機器は直接操作を要するものが多く肢体不自由者などが器具を使用する際に操作が困難であり、自主的な生活を補助するには十分であるとは言えない。

その問題の解決策として、脳内の神経活動を測定しその測定された信号によって機械を操作する Brain Machine Interface (BMI), または Brain Computer Interface (BCI)技術が注目されている。BMI, BCI は侵襲又は非侵襲的に脳活動を測定しその信号によって機械を操作するインターフェイスを指し、これらを用いることにより身体動作を用いた直接的な操作に代わって機器を操作できることから、被介護者が自身で機器を使い自主的な生活を行うことが可能となると予測される。

しかし、現状の BMI, BCI においては、計測デバイスの小型化や入力信号となる脳機能の解析、認識率の向上などの課題が指摘されている。特に脳の活動は個人差が大きいと、多くの被介護者に適応するにはより汎用性を持つ BMI/BCI の開発が求められている。これまでに運動イメージ[4]、聴覚刺激に対する選択的注意[5]、視覚誘発電位[6]などの認知活動を入力信号として提案されているが、本研究では寝た切りの方や筋委縮性側索硬化症(ALS)患者等の使用を視野に入れ、身体的な運動を必要としない内的発話を用いた BCI を提案する。内的発話を用いた BCI 実現の第一歩として、黙読における認知活動を入力信号とする BCI の開発を行った。

また、脳活動の計測には脳波(Electroencephalogram : EEG)を用いた研究が主流であったが[7][8]、ノイズ源となりうる電子機器が生活に浸透した今日では脳活動計測機器は電磁波に影響されない物が好ましい。そこで本論文では脳波計に比べ電磁波に影響されず、高空間分解能、少拘束性で計測可能な近赤外線分光法

(Near-Infrared Spectroscopy : NIRS) [9]による脳機能測定を行った。

2. 黙読とは

本論文では、新たな BCI 入力信号として黙読に着目した。黙読は内的発話の一種で、頭の中の音読と呼ばれる具体的発声を伴わない言語的な活動である。文章を黙読した際に、頭の中で復唱及び意味の理解が行われる。これは日常的に特に意識することもなく行われている認知活動であることから使用者がイメージしやすく、また黙読する語句の制御が可能であることから高齢者でも利用可能であると考え入力信号として用いた。

また黙読は言語的な認知活動であり、大脳皮質のブローカ野(運動性言語野)に関係する事が報告されている[10]。ここでは測定領域に言語野を含む左側前頭前野に設定した。

3. 実験方法

黙読が BCI システムの入力信号として利用可能か検証するために、黙読時における言語野の脳機能計測を行った。被験者は健常な右利きの大学生男子3名であった。

3.1 NIRS 測定装置

実験で使用した機能的近赤外線分光測定装置光トボグラフィ ETG-7100 (日立メディコ(株)) [11]を図1に示す。近赤外線分光法は、吸光物質を含む液体に光を照射したときの光の減衰と吸光物質の濃度変化を示した Beer-Lambert の法則[12]に基づき、2 波長(695[nm], 830[nm])の近赤外光を用いて酸化型ヘモグロビン(Oxy-Hb)、還元型ヘモグロビン(Deoxy-Hb)、総ヘモグロビン(Total-Hb)を計測し、脳表面の測定領域における局所脳血流を計測する方法である。脳の神経活動に伴い脳血流が変化する BOLD 効果(Blood Oxygenation Level Dependent)から、近赤外線分光法によって脳活動が行われた部位の脳血流量変化を知ることが可能となる。実験時には、被験者の頭部に測定用プローブを装着し、その上から送信用と受信用の光ファイバを取り付ける(図2)。計測前にはキャリブレーションを行い、キャリブレーション時の状態を基準とした相対 Hb 濃度変化を測定する。

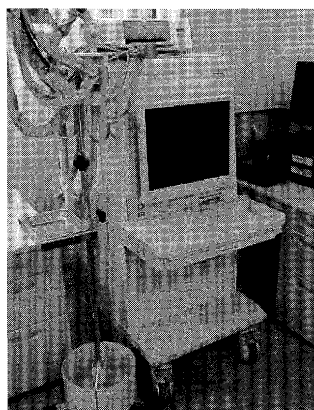


図1 光トポグラフィ ETG-7100

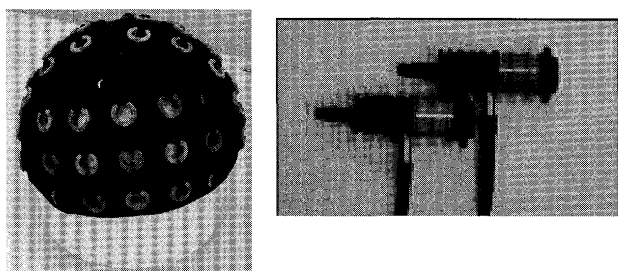


図2 測定用プローブとファイバソケット

3.2 測定位置

測定部位は頭頂部中心を通る両耳殻ライン上の Cz を基準とした頭部形状から脳波電極の位置の決定に用いられる国際 10-20 法[13]を用いて、左側前頭前のブローカ野成分を含む F7 周辺に測定用プローブが位置するように装着し、測定を行った。入力信号を抽出する位置は事前に予備実験として数人の被験者に行った文章を音読した際の NIRS 計測で計測信号の上昇が見られた CH11 と CH16 が適切であると判断し、この 2 チャンネルの計測データを入力信号として用いることとした。

装着場所外観および測定点を図3に示す。

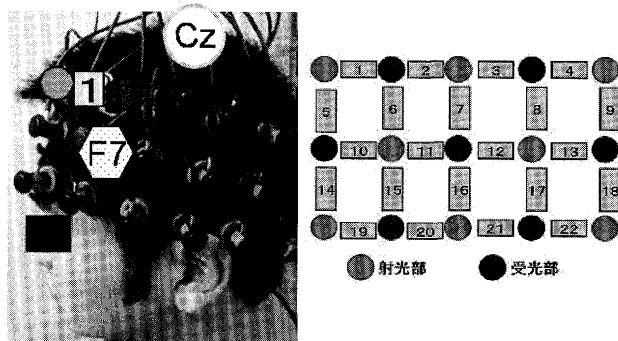


図3 プローブ装着図および測定点

3.3 実験内容

実験では、安静状態(REST)を 60 秒、本の黙読を行う課題(TASK)を 30 秒と設定しそれぞれ 3 回繰り返している間の脳活動を計測した。それぞれ順番に REST1~3, TASK1~3 とする。REST の条件について、視覚情報統制のため眼前に提示した固視点を注視しながら何も考えないよう教示を行った。TASK の条件については、被験者に文字のみで内容が構成されている本を手渡し、TASK 毎に被験者がランダムに開いたページの始めの文章から黙読を行う様、教示を行った。本実験では脳血流量変化を詳細な計測を行うため、サンプリングレートを 0.1 秒とした。

3.4 解析手順

NIRS では計測信号がキャリブレーション時を基準とした相対値として計測されるため、その信号変化の大きさには個人差が存在する。異なるスケールの計測結果が予測されることから、共通した BCI 入力信号とするためには信号の正規化が必要となる。そこで本研究では、式1に示す標準得点によって信号の正規化を行った。安静時の計測信号状態を基準として課題時における計測信号変化がどれ程優位であるかを判断するため、式1における平均値及び標準偏差は最初の課題(TASK1)が始まる前 30 秒間の素得点を用いて算出した(図4)。そして正規化を行った CH11 と CH16 の信号を平均し、BCI 制御信号として利用することとした。

$$\text{標準得点}(z) = \frac{\text{測定信号} - \text{平均値}}{\text{標準偏差}} \quad (\text{式1})$$

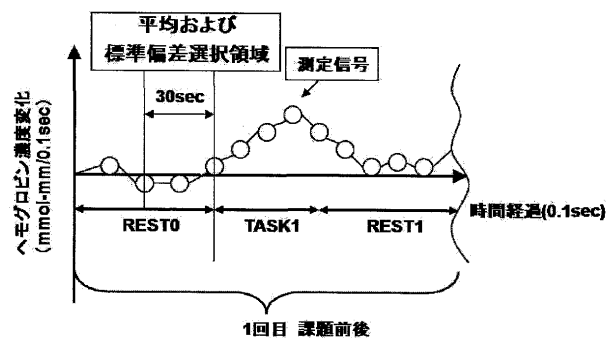


図4 正規化における平均及び標準偏差選択領域

3.4 識別率評価

計測された信号を用いた ON・OFF 判断を行うために、本システムにおいては閾値処理によって信号識別を行うと事とした。閾値は標準偏差単位である標準得点の値を用いて、REST 群から十分な区別が可能である標準得点 5 を基準とし、信号処理で得られた制御信号値が 5 以上となる場合スイッチを ON、5 未満の場合スイッチを OFF とした。本論文で提案した BCI システムの信号識別精度を評価するために、計測データから式 2・3 に示す条件毎の認識精度を算出した。

$$\text{TASK認識精度} = \frac{\text{閾値以上の標準得点時間}}{\text{TASK時間}} \quad (\text{式2})$$

$$\text{REST認識精度} = \frac{\text{閾値未満の標準得点時間}}{\text{REST時間}} \quad (\text{式3})$$

4. 実験結果

本論文で得た実験結果を示す。実験結果は正規化を行った領域である TASK1 の 30 秒前から表示してある。時系列データでは横軸を sec、縦軸に標準得点 z を表記する。

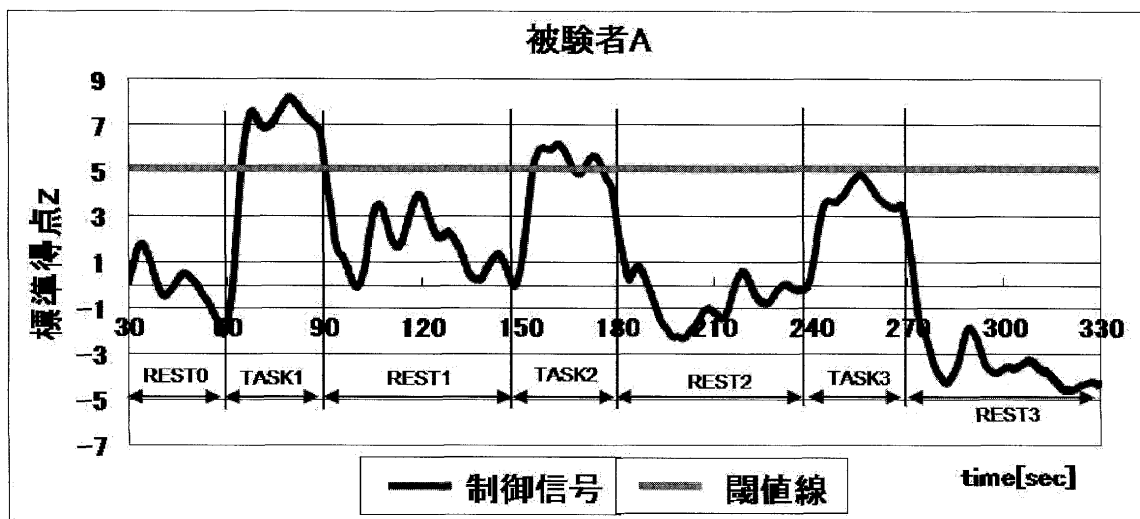


図5 被験者 A 実験結果

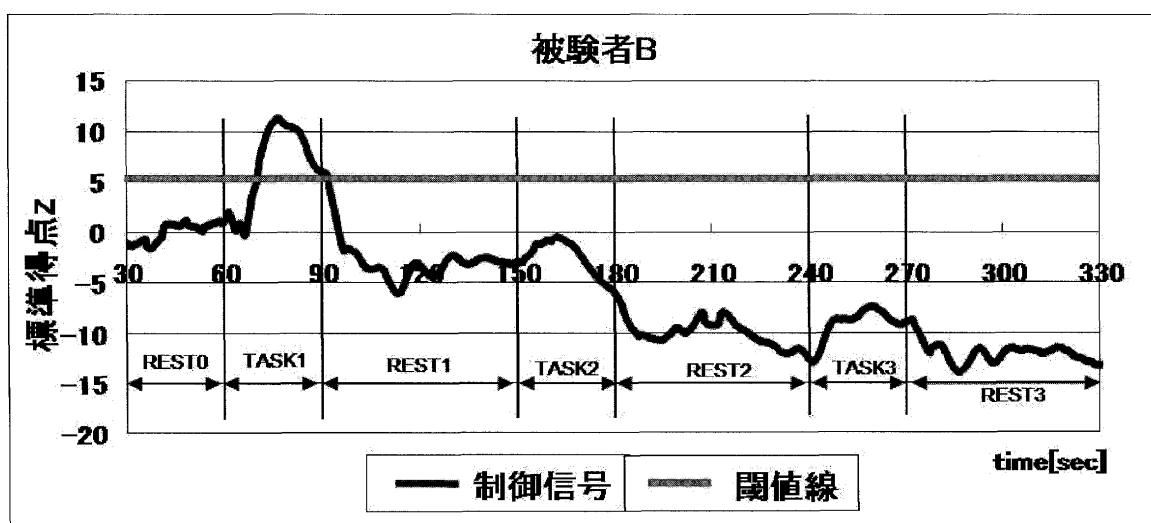


図6 被験者 B 実験結果

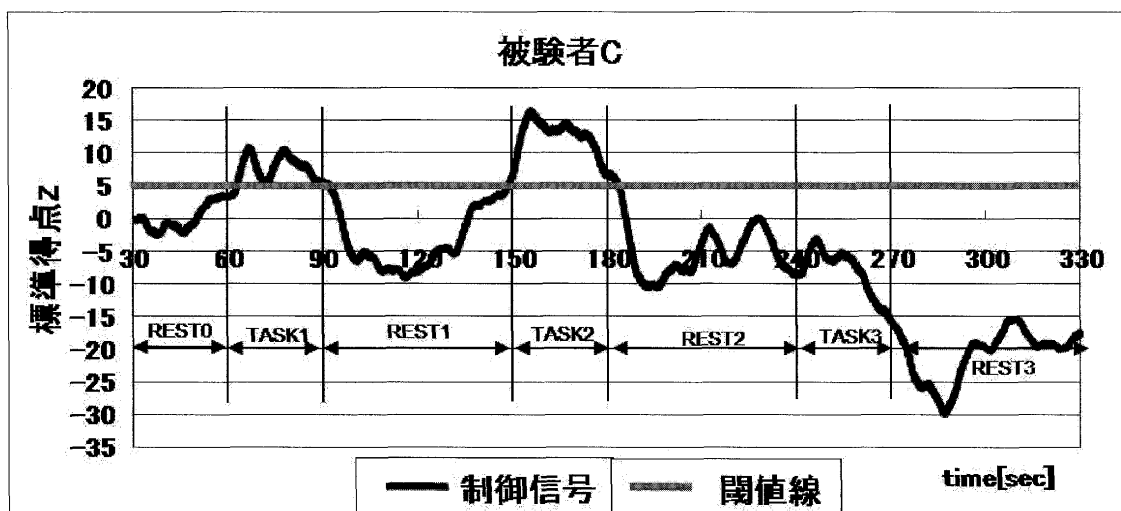


図7 被験者C 実験結果

4.1 識別精度結果

実験結果よりそれぞれ算出・評価した認識精度表を示す(表1~3).

表1 被験者A 認識率表

被験者A	識別率		
	TASK1	TASK2	TASK3
	0.843	0.630	0.000
REST1	REST2	REST3	
	1.000	0.990	1.000

表2 被験者B 認識率表

被験者B	識別率		
	TASK1	TASK2	TASK3
	0.667	0.000	0.000
REST1	REST2	REST3	
	1.000	1.000	1.000

表3 被験者C 認識率表

被験者C	識別率		
	TASK1	TASK2	TASK3
	0.903	1.000	0.000
REST1	REST2	REST3	
	1.000	0.947	1.000

5. 考察

黙読実験では、入力信号に個人差が現れたものの、被験者 A, B, C 共に TASK 1 に対して閾値判別が可能入力信号が得られたことから、BCI 入力信号への利用可能性が示された。被験者 A は、単純な閾値設定により TASK2, 3 でも十分信号識別が可能だと思われるが、被験者 B, C では時間の経過につれて脳活動が小さくなる傾向が見られる。これは実験に対する注意力・集中力の散漫、刺激に対する慣れなどの生理現象や認知状態の特性であると思われる、この問題に対応するためには閾値判断を個人ごとに最適化するアルゴリズムや必要な信号だけを抽出するフィルタリングが必要である。

また脳波を利用した BCI では、視覚的フィードバックを用いた繰り返し課題を行う訓練により信号の増幅および認識率が上昇することが報告されている[14]。これらの報告を考慮に入れ、今回の実験では検証されていない訓練効果および自身の脳血流量変化を視覚的にフィードバックすることによる脳活動の変化を検討し、より実用的な BCI の開発を行う。

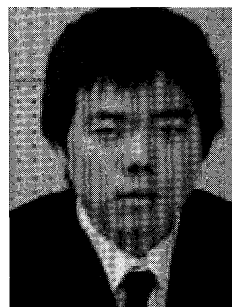
6. まとめ

本研究では少ない動作で使用可能な BCI の開発を目指し、NIRS を用いた黙読時の脳血流量変化が BCI 入力信号に応用可能か検討した。黙読実験では、一部の被験者には実用可能な結果が得られたが、時間経過による脳活動の低下から、閾値処理に加えて信号処理の改善などアルゴリズムの構築を検討する必要がある。

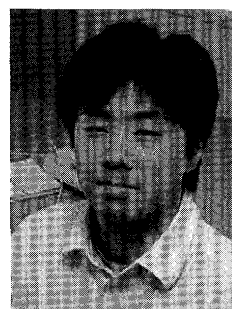
参考文献

- [1] 厚生労働省：傷病年次推移表, 1984-2005
- [2] 独立行政法人福祉医療機構 情報システム部WAMNET事業課 統計調査資料 <http://www.wam.go.jp/>
- [3] 財団法人保健福祉広報協会：国際保健福祉/福祉機器情報, <http://www.hcr.or.jp/>
- [4] 加納 慎一郎, 吉信 達夫, 星野 望：足動作イメージの有無を脳波から検出する BCI システムの基礎的検討, IEICE technical report. ME and bio cybernetics, Vol.106.No.370, pp.9-12, 2006
- [5] 加納 慎一郎, 山岸 智久, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫：聴覚刺激の音脈分凝を利用した BCI システムの開発, IEICE technical report. Neurocomputing, Vol.107.No.542, pp.445-449, 2008
- [6] Chuan Jia, Honglai Xu, Bo Hong, Xiaorong Gao, Zhiguang Zhang, Shangkai Gao: : A Human Computer Interface Using SSVEP-Based BCI Technology. HCI (16), pp.113-119, 2007
- [7] 山崎 敏正, 坂本 麻似子, 本井 美甫：Single-trial EEGs を利用した BCI の実現に向けて-ICA、ECDL、数量化分析 2 類、BNM の適用 (ニューロコンピューティング), IEICE technical report, Vol.108, No.264, pp. 35-38, 2008
- [8] 池西 俊仁, 鎌田 崇義, 永井 正夫：脳波を用いた車両走行時のドライバの操作意図識別, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers. C, Vol.74, No.741, pp. 1347-1354, 2008
- [9] 新興医学出版社：臨床医のための近赤外分光法.
- [10] Horwitz B, Amunts K, Bhattacharyya R, Patkin D, Jeffries K, Zilles K, Braun AR. "Activation of Broca's area during the production of spoken and signed language: a combined cytoarchitectonic mapping and PET analysis, " Neuropsychologia, Vol.41, Issue14, pp.1868-1876, 2003
- [11] 株式会社日立メディコ：光トポグラフィの原理, <http://www.hitachi-medical.co.jp/product/opt/index.html>.
- [12] IUPAC Gold Book - Beer-Lambert law (or Beer Lambert Bouguerlaw):<http://goldbook.iupac.org/B00626.html>
- [13] H.H.Jasper: "The ten twenty electrode system of the international federation", Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, Vol.10, pp.371-375(1958).
- [14] 高橋 昌史, 加納 慎一郎, 宮本 浩一郎, 吉信 達夫：動作イメージ時の脳波を用いた BCI におけるフィードバック訓練の効果, IEICE technical report. ME and bio cybernetics, Vol.107.No.315, pp.33-36, 2007

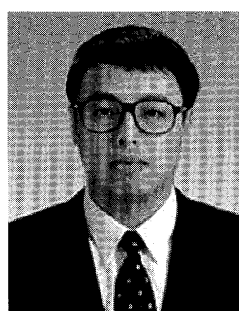
- [15] 松下晋, 中川匡弘：光トポグラフィによる感性情報解析, EICE technical report. Nonlinear problems, Vol.104, No.335, pp.7-12, 2004



雑賀 広記 (さいか ひろき)
高知工科大学大学院基盤工学専攻
知能機械システム工学コース
2007年高知工科大学学部卒業. 現在
高知工科大学大学院修士課程在学中.
学会活動 バイオメディカル・ファジ
ィ・システム学会, 電子情報通信学会,
機械学会
研究テーマ: Brain-Computer Interface
の研究・開発



三浦 直樹 (みうら なおき)
高知工科大学
知能機械システム工学科
2005年東北大学大学院工学研究科
博士後期課程修了. 博士 (工学). 科
学技術振興機構研究員, 東北大学加齢
医学研究所助手を経て2007年より高
知工科大学知能機械システム工学科
講師
学会活動 計測自動制御学会, 日本神
経科学会, Organization for Human Brain
Mapping 各会員



王 碩玉 (おう せきぎょく)
高知工科大学
知能機械システム工学科
1988年中国沈陽工業大学大学院制
御工学専攻修士課程修了. 1993年北海
道大学大学院電気工学専攻博士後期
課程修了. 同年山形大学工学部助手.
1996年同大学助教授. 1997年高知工
科大学助教授. 2002年高知工科大学教
授, 現在に至る. 距離型ファジィ推論
法, 健康増進ロボティクス, 歩行訓練
ロボット, 生活支援ロボットなどの研
究に従事.