HOKUGA 北海学園学術情報リポジトリ
学校法人北海学園
北海学園大学
北海商科大学

タイトル	右上前頭回からの脳波出力を用いたブレイン・マシン・インターフェイスの基礎研究II
著者	山ノ井，高洋；森高，篤司；高柳，浩；大西，真一；山崎，敏正；菅野，道夫；野中，秀俊；NONAKA, Hidetoshi
引用	工学研究 ： 北海学園大学大学院工学研究科紀要，9: 21-26
発行日	2009-09-30

Hokkai-Gakuen Organization of Knowledge Ubiquitous through Gaining Archives.

研究論文

右上前頭回からの脳波出力を用いた ブレイン・マシン・インターフェイスの基礎研究II

山ノ井　髙　洋*・森　高　篤　司**・高　柳　　浩***・大　西　真　一*
山　﨑　敏　正[$]・菅　野　道　夫[$$]・野　中　秀　俊**

Fundamental research for brain machine interface by use of EEG from right upper frontal gyrus II

Takahiro YAMANOI*, Atsushi MORITAKA**, Hiroshi TAKAYANAGI***, Shin-ichi OHNISHI*
Toshimasa YAMAZAKI[$], Michio SUGENO[$$] and Hidetoshi NONAKA**

Abstract

To develop a brain computer interface the authors have investigated the brain activity during human recognition of characters and symbols representing directional meaning. The authors have recorded electroencephalograms (EEGs) from subjects in reading silently four types of arrows presented on CRT. Each of arrows has directions of upward, downward, leftward or rightward. The canonical discriminant analysis is applied to the single trial EEGs. Four channels of EEGs at the right frontal and temporal had been used to discriminate the four types of symbols. They are 4, 6, 12 and 14 channels according to the international 10-20 system. Sampling EEGs were taken from 400ms to 900ms at 25ms intervals. So the numbers of variates are twenty-one by four, i.e. eighty four. Results of the discriminant rates by use of the present system were more than 90%. These results are improved from the precedent our research. By four type code of infrared rays according to the discrimination results from a PC, the authors have controlled a micro robot the e-puck.

1．はじめに

ヒト脳機能に関する様々な研究によれば，視覚刺激に関する処理は後頭葉でなされ，高次処理の機能は左脳と右脳とで分化されていると言われる[1][2]．著者らは先行研究[3][4][5]において言語および空間認知に関する脳活動部位の推定を行い，詳細な時空間的脳活動のモデルを得た．さらに先行研究において逆の向きに直線移動する視覚刺激に対する脳活動の比較を行った結果，事象関連電位（event-related potential：ERP）のピーク時の極性反転(Fig.1)，および高次脳活動での前頭葉での脳活動を確認した[4]．

また，山ノ井らは先行研究において，向きを示す単語と記号に関する脳内処理部位の推定および比較を行うため，被験者が視覚刺激として提示された向きを示す単語（漢字：上，下，左，右）と記号（矢印：↑，↓，←，→）とを観察する際の

* 北海学園大学工学研究科
Graduate School of Engineering, Hokkai-Gakuen University,
** 北海道大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University
*** 情報科学センター
Information Science Research Center
$ 九州工業大学情報工学部
Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyusyu Institute of Technology
$$ 同志社大学文化情報学部
Faculty of Culture and Information Science, Doshisha University

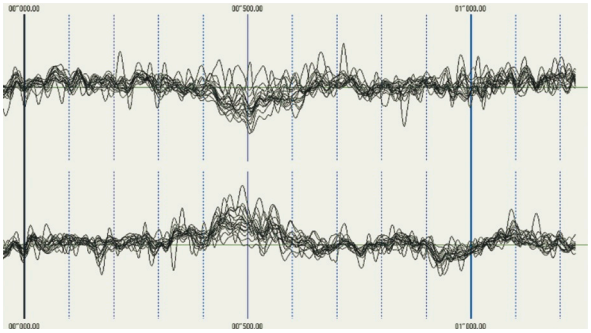

Fig.1　Comparison between ERPs in imaging Rightward (Upper) and Leftward (Lower) in case of Kanji.

脳波（electro- encephalograms：EEGs）を計測し，等価電流双極子推定（equivalent current dipole source localization：ECDL）法[7][8] を試み，脳活動の時空間的な比較を行った[6]．この結果，潜時 400 ミリ秒前後で漢字と矢印とで共通した脳活動が前頭葉で観察された．さらに，これらの潜時で逆の向きを示す視覚刺激に対して得られた ERP を比較した結果，ERP のピーク極性の反転を確認した(Fig.1)．この事実に着目し，山ノ井らは，ピーク極性の反転により，被験者がイメージした矢印の種類を判別できると考え，ブレイン・コンピュータ・インタフェース（brain computer interface：BCI）への利用を試みた[7][8]．その結果，全被験者で 80%を超える判別率を得た．

特に本研究の目的は Brain Computer Interface（BCI）であるため，先行研究の知見を基に，さらなる判別率向上を目指し，上前頭回に対応する 4， 6，12 ch に加え，14 ch を追加し 4 チャンネル分の信号を利用した．サンプリング潜時と間隔は先行研究と同様とし，400 ミリ秒から 900 ミリ秒までの EEG を 25 ミリ秒間隔でサンプリングし，合計 84 次元のベクトル空間の多変量データとした．なお，本研究では矢印黙読時の EEG のみを判別に使用した．このデータに対し，先行研究と同様に，多変量統計的データ解析の一手法である 4 群に対するマハラノビス距離を最小とする規準を採用した判別分析を試みた．この結果，全ての被験者に対して 90%以上の判別率を得た．その判別結果を利用して小型移動ロボット e-puck の制御を試みた．

2．先行研究の EEG 判別方法

2.1　判別データの抽出とそのデータ構成

先行研究[7][8] で山ノ井らは，向きを表す記号(矢印：↑，↓，←，→）黙読時のシングルトライアル EEG をもとに，4 種類の EEG が判別可能であり，BCI へ応用可能と考えた．しかしながら，BCI に EEG のシングル・トライアルデータを応用するためには，シングル・トライアルごとに判別係数を求めるのは不都合である．そこで， 4 種類の刺激に対して得られた各 30 個（合計 120 個）のシングル・トライアル・データを束ね，判別分析を試みることとした．

山ノ井らは，一連の研究において，国際 10－20 法に基づいた 19 ch で EEG 計測を行ない，等価電流双極子推定（ECDL）法を試み，脳内の活動の時空間的解析を行っている．しかしながら，BCI の目的のためには 19 ch のデータ全てを判別に使用することは効率的でない．先行研究においては，ERP のピーク極性反転と右前頭葉の活動の関連性が ECDL 法により示された（Fig.2）．この知見に着目し，判別に用いる EEG のチャンネルはこれらの部位である上前頭回に対応する 4， 6，12 ch の 3 チャンネル分とした．

山ノ井らは，上述のチャンネル選択に基づき，シングル・トライアル EEG データの 400 ミリ秒から 900 ミリ秒の間を 25 ミリ秒間隔でサンプリングし，各チャンネルから 21 個の要素を抽出し

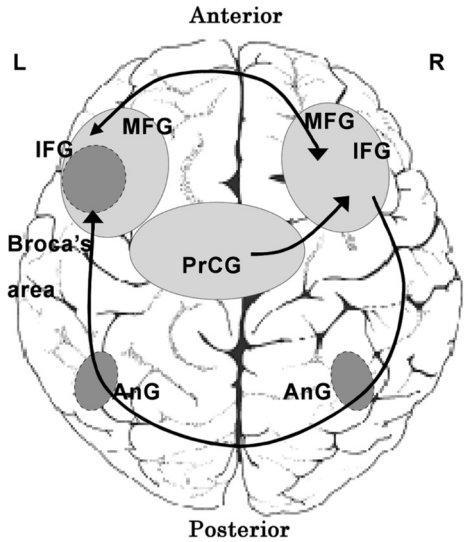

Fig.2　Spatiotemporal pathways of ECDs after PrCG in case of silent reading.

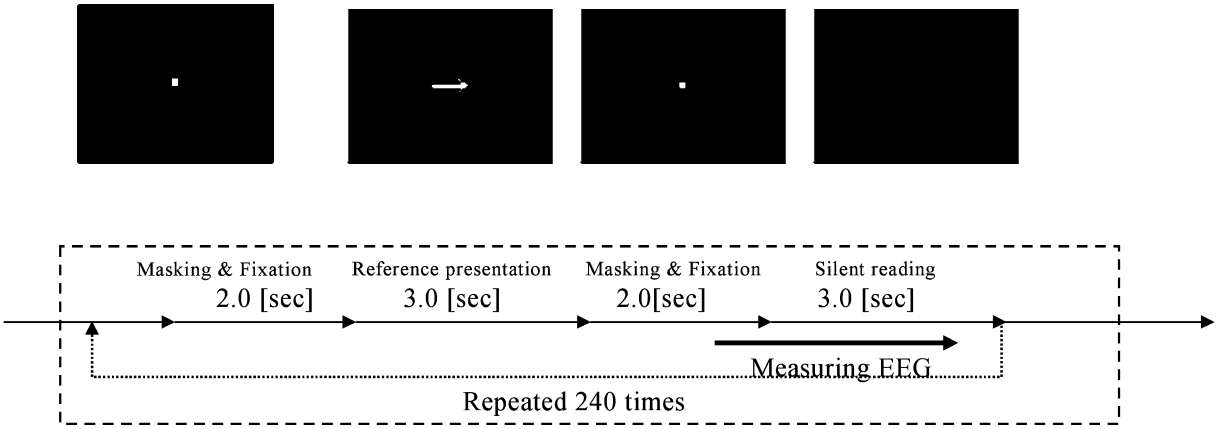

Fig.3　Timing chart of the present experiment.

た．さらに，これらを1トライアルごとに横1列のデータとし，63次元のベクトルデータとした．EEG本来は時系列データであるが，この解析ではチャンネルごとに21点のデータが順不同で対応しているとみなした．したがって，1つのシングル・トライアルEEGを63次元データに対応させている．

2.2　正準判別分析法による判別結果

以降の判別で使用したEEGデータは，矢印黙読実験において，正常な視覚を有する21～22歳の被験者5名（男子1名，女子4名）から計測したものである．なお，全員の利き手は右であった．また，そのうち2名はデータの整合性を確認する目的から，日を改めて合計2回実験を行っている．

黙読対象とした向きを表す記号（矢印：↑，↓，←，→）のそれぞれ4種類の外的基準に対し，63個の説明変量を持つ120個のデータとして，4群の正準判別分析を試みた．この結果，いずれの被験者に対しても判別率がほぼ80%となる結果を得た．平均判別率は85.35%であった．判別率最良の場合は95.83%であり，最悪の場合は80.83%であった（Table 1，Table 2）．

Table 1　Example of result of the discriminant analysis by three channels data for symbol imaging (The best case: Discriminant ratio 95.83%, Subject HY).

Obs./Pred.	↑	↓	←	→	Total
↑	29	0	1	0	30
↓	0	29	0	1	30
←	0	0	29	1	30
→	1	1	0	28	30
Total	30	30	30	30	120

Table 2　Example of result of the discriminant analysis by three channels data for symbol imaging (The worst case: Discriminant ratio 80.83%, Subject SI1).

Obs./Pred.	↑	↓	←	→	Total
↑	25	1	1	3	30
↓	4	22	2	2	30
←	1	3	24	2	30
→	2	2	0	26	30
Total	32	28	27	33	120

3．本研究における判別方法の改善

3.1　判別データのチャンネル追加

第2章で示したように，山ノ井らは80%程度の判別率を得ることに成功した．しかしながら，BCIへの応用を考えた場合，判別率の向上は必須の課題である．本研究で著者らは，さらなる判別率の向上を目指し，判別に使用するデータの追加を試みた．なお，判別のもととなるEEGデータは，用いたチャンネルを追加したのみが異なるが，先行研究と同じデータを用いた．したがって，判別率の改善は方法の変更によるものである．

潜時400ミリ秒以降の部分で矢印の4タイプの判別に有効なチャンネルを改めて探り，4，6，12，14 chの4チャンネル分を使用した．追加したチャンネルも上前頭回の位置に対応する．その他のデータ部分は前述のデータ構造を踏襲し，4チャンネル用に拡張した．したがって，シングル・

トライアル EEG データの 400 ミリ秒から 900 ミリ秒の間を 25 ミリ秒間隔でサンプリングし，各チャンネルから 21 個の要素を抽出した．さらに，1 トライアルごとに横 1 列のデータとし，84 次元のベクトルデータとした．

3.2　チャンネル追加後の判別結果

チャンネル数を追加したデータに対して 4 群の判別分析を試みた．その結果，全ての被験者のデータに対して，90%以上の判別率を得ることに成功した．全被験者における平均判別率は 95.36%であった．判別率最良の場合は 99.17%，最悪の場合は 90.00%であった（Table 3，Table 4）．

BCI の適用例として，左右 2 種類の命令を判別応用した電動車椅子制御がある[9]．このような制御では，当然高い精度が要求される．しかしながら，EEG 計測のみを用いたシステムは，精度の面で他の計測を利用したシステムより劣るとされ，現在では複数の計測技術を組み合わせたシステムを採用する傾向にある．本年 3 月にホンダ・リサーチ・インスティチュート・ジャパンと ATR，島津製作所が発表した BMI のシステムでは，64 チャンネルの EEG と 48 チャンネルの NIRS を用いて，スパース・ロジスティック・リグレッションなる判別手法を用いている．このシステムでは 4 種類の命令に対し 90%以上の判別率を得ているが，多くの場合はコストや可搬性が犠牲になる．一方，本研究では 4 チャンネルの EEG 計測データのみを用いたシステムで 90%以上の高い判別率を得た．このことは，精度はもちろんコストおよび可搬性に関しても本研究で開発したシステムが有用であることを示している．

Table 3　Example of result of the discriminant analysis by four channels data for symbol imaging (The best case: Discriminant ratio 99.17%, Subject HY)

Obs./Pred.	↑	↓	←	→	Total
↑	30	0	0	0	30
↓	0	30	0	0	30
←	0	0	30	0	30
→	0	1	0	29	30
Total	30	31	30	29	120

Table 4　Example of result of the discriminant analysis by four channels data for symbol imaging (The worst case: Discriminant ratio 90.00%, Subject SI)

Obs./Pred.	↑	↓	←	→	Total
↑	27	1	0	2	30
↓	1	25	2	2	30
←	0	0	28	2	30
→	1	1	0	28	30
Total	29	27	30	34	120

4．マイクロロボット e-puck の制御

本システムの概略を Fig.4 に示す．本システムはプロトタイプのため，計測された EEG データは PC にファイルとして保存されている．現在のシステムは，このオフラインの 120 個のデータを

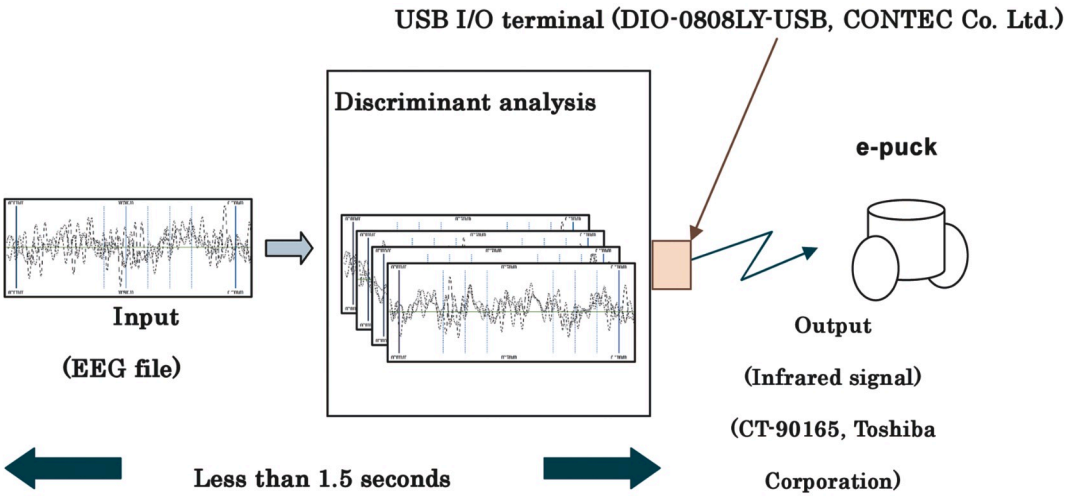

Fig.4　Schematic image of micro robot control by single trial EEGs.

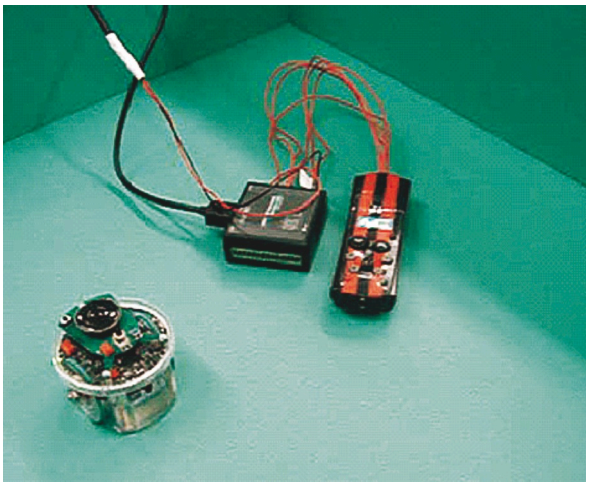

Fig.5　Infrared remote control device and micro robot e-puck.

もとに判別分析を行い，判別関数を求める．シングルトライアルのデータをマニュアルで入力し，この判別関数の判別係数をもとに，判別を行い，その結果を赤外線にてマイクロロボット e-puck へと出力する．システムは，先行研究と同様であり，PC の USB ポートを介し，USB I/O ターミナル（DIO-0808LY-USB，CONTEC 製）経由で，赤外線リモコン（CT-90165，東芝製）に有線で出力した．リモコンはマイクロロボット e-puck（スイス EPFL，Lami 製）に対して，判別結果に対応した赤外線コードは，それぞれ，「上」を前進，「左」を左旋回，「右」を右旋回，「下」を停止の 4 種類とし，これらに対応した赤外線コードを送り制御した（Fig.5）．

4．まとめと考察

本研究では，矢印黙読時 EEG を利用した正準判別分析に対して，データ抽出の改善を行った．判別に使用するデータを 3 チャンネル分から 4 チャンネル分へ 1 チャンネル増やすことで，全被験者のデータに対して 90%以上の判別率を得た．この結果は，これまでの BCI 研究と比較して非常に高い精度である．また，使用した EEG の電極も近傍の 4 チャンネルであり，システムとしてもコンパクトであることから，本研究の有用性が示された．今後，このシステムが実用化されると，介護福祉の方面等応用範囲は広いと考えられる．

謝　辞

本研究は平成 20 年 3 月に終了した，文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業ハイテク・リサーチ・センター整備事業に伴う北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター研究プロジェクト「視覚・画像・音声・言語情報の高度化と知的計測制御技術への応用」ならびに，平成 21 年度採択された文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業に伴う北海学園大学ハイテク・リサーチ・センター研究プロジェクト「電磁・光センシングを主体とする生体関連情報の先進的計測・処理技術の開発と応用」の一環として行われた．このプロジェクトを推進するにあたり，尽力賜った関係各位に感謝する．

【参考文献】

［1］R. A. McCarthy, E. K. Warrington（相馬芳明，本田仁視　監訳），認知神経心理学，医学書院，1996.

［2］中川敦子，単漢字の処理における左右半球機能の検討―漢字の構造と音訓を通して―，神経心理学，第 18 巻，第 2 号，pp.120-128，2002.

［3］T. Yamanoi, T. Yamazaki, J.-L. Vercher, E. Sanchez, M. Sugeno, “Dominance of recognition of words presented on right or left eye -Comparison of Kanji and Hiragana-”, to appear in Modern Information Processing, From Theory to Applications, B. Bouchon-Meunier, G. Coletti and R.R. Yager Eds., Elsevier Science B.V., pp.407-416, 2006.

［4］Takahiro YAMANOI, Hisashi TOYOSHIMA, Toshimasa YAMAZAKI, Shin-ichi OHNISHI: Localization of brain activity during perception of circle movement by use of equivalent current dipole analysis, 2004 IEEE international Conference on Fuzzy Systems Proceedings VOLUME 1, pp.321-324, 2004.

［5］豊島恒，山ノ井高洋，山崎敏正，大西真一：時空間等価電流双極子推定法による RDS 両眼立体視の脳内処理部位の解析，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），Vol.18，No.1，pp.102-110，2006.

［6］豊島恒，山ノ井高洋，山崎敏正，大西真一，菅野道夫：向きを表す単語と記号に対する時空間的脳活動の比較，知能と情報（日本知能情報ファジィ学会誌），Vol.18，No.3，pp.425-433，2006.

［7］山ノ井高洋，豊島恒，山崎敏正，菅野道夫：向きを表す記号イメージング時 EEG によるマイクロロボット制御，第 24 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，WD2-1，pp.200-203，2008.

［8］Takahiro Yamanoi, Hisahi Toyoshima, Toshimasa Yamazaki, Shin-ichi Ohnishi, Michio Sugeno, and Elie Sanchez: Micro Robot Control by Use of Electroencephalograms from Right Frontal

Area, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Information, vol. 13, No. 2, pp. 68-75, 2009.

［9］田中一男：電動車椅子の脳動制御，日本機械学会誌，vol.111，No.1080，pp.33-35，2008.