

## 意思伝達装置の販売事業とサポートの実態に関する調査

### 調査へのご協力をお願い

#### ◆調査の趣旨

この調査は厚生労働科学研究費補助金障害者対策総合研究事業「在宅重度障害者に対する効果的な支援技術適用に関する研究」(代表研究者森浩一)の一環として全国の意思伝達装置販売事業者様にお願いしているものです。私どもは重度身体障害者が意思伝達を補助する機器や技術を継続的に使用するために、どのような支援ならびに人材が必要とされ、その費用をどのように賄うべきかを把握することを目的とした研究を実施しております。この調査では、意思伝達装置販売事業者の皆様の意思伝達装置の販売と提供されているサポートの実態を教えてくださいたくことを目的としております。

調査の結果は統計的に処理して、学会、学術誌、厚生労働省への報告書などに発表しますが、皆様を個別に特定できる情報は公表いたしません。また、調査に協力いただかなくても皆様に不利益は一切ございません。調査にご同意いただける方のみご協力くださるようお願いいたします。支店様や事業所様はその支店や事業所についてご記入ください。ご回答いただける場合は、できるだけすべての項目に回答いただけるとありがたいですが、該当しない項目や回答することが貴団体として不都合な項目は未記入としていただいても構いません。

#### ◆回収について

ご記入いただいた調査票は、同封した返信用封筒に入れ 1月10日までに投函してください。

#### ◆調査や苦情の問い合わせ先

##### ・研究責任者

森浩一 (国立障害者リハビリテーションセンター研究所感覚機能系障害研究部 部長)

##### ・連絡先

丸岡稔典 (国立障害者リハビリテーションセンター研究所感覚機能系障害研究部)

〒359-8555 埼玉県所沢市並木4丁目1番地

TEL:04-2995-3100 FAX: 04-2995-3132 E-mail maruoka-toshinori@rehab.go.jp

### 1. 貴団体の概要について

1) 法人格と設立年についてお聞かせください。

- 法人格: 1.株式会社 2.有限会社 3.社会福祉法人 4.NPO法人 5.その他 ( )
- 設立年: 年

2) 意思伝達装置以外に貴団体で取り扱っている補装具すべてに○をつけてください

- |             |          |          |       |         |           |
|-------------|----------|----------|-------|---------|-----------|
| 1.義肢(義手・義足) | 2.装具     | 3.座位保持装置 | 4.車いす | 5.電動車いす | 6.歩行器     |
| 7.歩行補助つえ    | 8.盲人安全つえ | 9.義眼     | 10.眼鏡 | 11.補聴器  | 13.座位保持いす |
| 14.起立保持具    | 15.頭部保持具 | 16.排便補助具 | 12.なし |         |           |

3) 従業員数をご記入ください: 従業員 人 (内 意思伝達装置担当 人 同専従 人)

4) 事業対象地域についてお聞かせください (例えば〇〇県全域、〇〇市など)

5) 差支えなければ、2010年度(もしくは直近の会計年度)の営業収入と営業支出の総額をご記入ください

● 収入 \_\_\_\_\_ 円 支出 \_\_\_\_\_ 円 ( \_\_\_\_\_ 年 月 ~ \_\_\_\_\_ 年 月まで)

## 2. 意思伝達装置に関わるサポートについて

1) 貴団体は意思伝達装置の購入者や購入予定者に下記のようなサポートを実施していますか。貴団体が実施しているサポートに○をつけてください。また、貴団体以外に下記サポートを実施している団体をご存知でしたらその団体を教えてください。併せて貴団体とその団体の間におけるそのサポートについて連携関係（例えば、共同実施、委託、引継ぎなど）の有無と連携の内容についても教えてください。

サポート内容	貴団体の実施有無	貴団体以外のサポート実施機関	貴団体との連携関係の有無
導入前説明	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )
適合・スイッチの選定	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )
デモ機の貸し出し	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )
納入前の操作指導	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )
機器の初期設定	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )
納入後の操作指導	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )
本体の故障時の対応	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )
スイッチの適合フォロー	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )
その他 (具体的に )	有・無	・更生相談所・訪問リハ・保健所・ヘルパー ・パソコンボランティア ・その他 ( )	無 有( )

2) 意思伝達装置の購入者や購入予定者にサポートを実施されている団体にお尋ねします。2010年度の購入者や購入予定者のもとへの訪問を伴うサポートの実績をお教えてください。

●延べ訪問回数 回 ●訪問先実人数 人 (内 ALS 患者 人)

3) 意思伝達装置の購入者や購入予定者にサポートを実施されている団体にお尋ねします。訪問に当たって利用者より料金を徴収していますか。徴収している場合はその料金のシステムと1回当たりの平均金額を具体的に教えてください(例: 1回 3000円、1時間 3000円+交通費など、材料費のみ)。

1. 徴収していない
2. 徴収している

●徴収している金額の詳細

--

●1回当たりの平均金額 円

4) 意思伝達装置の購入者や購入予定者にサポートを実施されている団体にお尋ねします。1回の訪問に平均してかかるおおよその費用を、その内訳を含めてご記入ください。

意思伝達装置の購入者や購入予定者にサポートを実施されていない団体は、仮にサポートを実施するとした場合、どの程度の費用がかかるかの見積もりを、その内訳も含めてご記入ください。

1回当たりサポートにかかる費用の平均		円
内訳	人件費	円
	移動にかかる旅費(交通費)	円
	材料費	円
	その他	円
具体的に:		

### 3. 貴団体の意思伝達装置に関わる事業実績について

1) 下記の意思伝達装置のうち、**2010年度（もしくは直近の会計年度）**に販売した品目とその機器の仕入れ価格ならび販売価格について教えてください。（補装具として販売されたものと、その他で販売されたものに分けてお答えください）回答することが貴団体として不都合な項目は未記入としていただいても構いません。

	品目	販売台数（台）		販売価格（円）		平均的な仕入れ価格 または材料費（円）
意思伝達装置本体	伝の心	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	レッツチャット	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	オペレートナビ	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	心語り	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	マクトス	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	その他意思伝達装置本体(販売台数の最も多い機器を具体的に)	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	本体修理	補装具	台	補装具	円	
		その他	台	その他	円	
付属品	入力装置固定具	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	呼び鈴	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	呼び鈴分岐装置	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	接点式入力装置	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	帯電式入力装置	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	帯電式入力装置タッチ式加算	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	帯電式入力装置ピンタッチ式先端加算	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	光電式入力装置	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
	圧電素子式入力装置	補装具	台	補装具	円	円
		その他	台	その他	円	
その他の装置（具体的に）	補装具	台	補装具	円	円	
	その他	台	その他	円		

4. 意思伝達装置に関わる事業で困っている点や提案について（欄が足りなければ別紙を追加して下さい）。

1) 行政機関への手続きについて困っていることがありましたらお聞かせ下さい。

2) アフターサービスについて困っていることや提案がありましたらお聞かせください。

2) この他意思伝達装置販売事業全体についてご意見がございましたらお聞かせください。

質問は以上です。長い間ご協力ありがとうございました。

研究成果の刊行に関する一覧表

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
岡さち子, 森浩一, 丸岡稔典, 伊藤和幸	重度身体障害者の在宅脳インターフェイス (BCI) 試験	電子情報通信学会技術研究報告 (福祉情報工学)	109(467)	27-30	2010
森浩一, 岡田美苗, 岡さち子, 丸岡稔典	脳インターフェイスは誰が使うのか	電子情報通信学会技術研究報告 (福祉情報工学)	110(164)	25-30	2010
井上剛伸	ブレイン・コンピュータ・インターフェイスについて	福祉介護機器テクノプラス	3(11)	9-14	2010
Inoue, T., Otowa, Y., Nihei, M., Shino, M., Tanaka, H., Kamata, M.	EEG response to auditory stimuli with Japanese letters of an ALS-TLS patient	RESNA	RP5-6956 3	1-3	2011
丸岡稔典, 森浩一, 井上剛伸	重度障害者用意思伝達装置の利用支援体制に関する研究 - 支援団体に焦点を当てて-	電子情報通信学会技術研究報告 (福祉情報工学)	111(472)	45-50	2012
丸岡稔典	重度障害者用意思伝達装置の販売とサポートの実態に関する研究	日本社会福祉学会2011年度関東部会研究集会抄録集		51	2012

以下は主にこの研究に先行する厚生労働科学研究事業「重度身体障害を補完する福祉機器の開発需要と実現可能性に関する研究（H19-障害一般-010）」（研究者：森浩一、井上剛伸）による成果であるが、出版が遅れたために当該報告書に掲載できなかったものである。本研究期間中にも本研究の内容に鑑みて修正・校正を行い、また、本研究と密接に関連しているため、ここに関連する研究成果として掲載する。

書籍（国際会議プロシーディングス）

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
Inoue, T., Kamimura, T., Sasaki, K., Mori, K., Sakai, N., Fujita, Y., Nihei, M., Tsukada, A.	Standardization of J-PIADS (Psychosocial Impact of Assistive Devices Scale).	Ohnabe, H., Kubo, M., Collins, D.M., Cooper, R.A.	Proceedings of the 23rd Japanese Conference on the Advancement of Assistive and Rehabilitation Technology	IOS Press	Amsterdam	2011	49-54
Maruoka, T., Inoue, T., Mori, K.	24-Hour Records of Daily Activity for Persons with Severe Physical Disabilities and Demands of Assistive Devices.	Ohnabe, H., Kubo, M., Collins, D.M., Cooper, R.A.	Proceedings of the 23rd Japanese Conference on the Advancement of Assistive and Rehabilitation Technology.	IOS Press	Amsterdam	2011	120-126

## 重度身体障害者の在宅脳インターフェイス (BCI) 試験

岡 さち子<sup>†‡</sup> 森 浩一<sup>†</sup> 丸岡 稔典<sup>†</sup> 伊藤 和幸<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 総合研究大学院大学生命科学研究科生理科学専攻 〒240-0193 神奈川県三浦郡葉山町

<sup>‡</sup> 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 〒359-8555 埼玉県所沢市並木 4-1

E-mail: † {oka-sachiko, kmori, maruoka-toshinori, itoh-kazuyuki-0923}@rehab.go.jp

あらまし 脳インターフェイス (BCI) は筋肉による運動ができない重度身体障害者のためにコミュニケーション等の手段を提供する技術であるが、日本ではまだ在宅障害者には使用されていない。私たちは人工呼吸器を使用する ALS 患者の家庭で BCI をテストし、オンライン分析で 43.75%、オフライン分析で 91% の正答率を得た。電源雑音は実験室とほとんど同じであった。なお改良の余地があるが、普通の家庭で人工呼吸器使用者でも BCI を使用できることが分かった。

キーワード BCI, BMI, 脳インターフェイス, ALS, 脳波, P300, コミュニケーションエイド

### The first trial use of BCI2000 at home in Japan

Sachiko OKA<sup>†‡</sup> Koichi MORI<sup>†</sup> Toshinori MARUOKA<sup>†</sup> and Kazuyuki ITOH<sup>†</sup>

<sup>†</sup> The Graduate University for Advanced Studies, School of Life Science, Department of Physiological Sciences  
Hayama-cho, Miura-gun, Kanagawa, 240-0193 Japan

<sup>‡</sup> National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities 4-1, Namiki, Tokorozawa-shi, Saitama, 359-8555 Japan  
E-mail: † {oka-sachiko, kmori, maruoka-toshinori, itoh-kazuyuki-0923}@rehab.go.jp

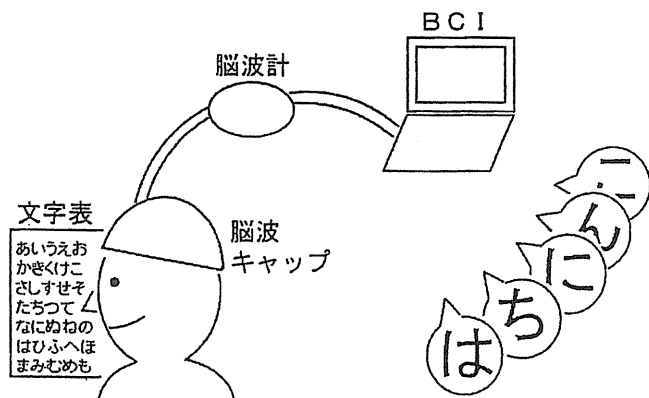
**Abstract** BCI (Brain Computer Interface) is a system which gives communication for people who have severe disabilities. However, it does not use for disabilities in Japan yet. We tested BCI for ALS patient home use. Spelling answer rate was 43.75% at online analysis and 91% at offline analysis. Power noise was almost the same as at the laboratory. Patient who use respirator at ordinary home can use BCI, however improvement is needed for better correct answer rate.

**Keyword** BCI, BMI, ALS, EEG, P300, Communication aide

### 1. 背景

#### 1.1. BCI とは何か？

BCI (Brain Computer Interface ブレインコンピュータインターフェイス) とは、脳活動から情報を取り出し (デコーディング)、その情報を元にコンピュータや機械を動作させるというシステムである。



コミュニケーションをとるとき我々は、言葉を話したり文字を書いたりする。つまり体を動かす必要があるのだが、それが出来ない者もいる。発話や筆記が困難な障害者はキーボードによる入力や文字表を使うが、それも出来ない重度身体障害者は伝の心 (Hitachi KE Systems) やレッツチャット (Funcom) などの意思伝達装置を使用する。わずかな体の動きや呼気をセンサーで読み取り、スイッチを押す代わりにするのだ。しかし ALS (筋委縮性側索硬化症) や筋ジストロフィーなど進行性の神経筋疾患の患者は次第にそれらも使用できなくなってしまう。それではどうやって周囲とコミュニケーションをとればよいのだろうか？

患者はスイッチを物理的に動かすことは出来ないが、動かすのに必要な意思と周囲の環境からの刺激を受け取る感覚器・大脳感覚野での活動は残っている。健常者がスイッチを動かす時の情報伝達経路の概略を 脳→運動神経→筋肉→身体→運動→スイッチ



とするなら、重度身体障害者の伝達経路は

脳→運動神経→筋肉→身体→運動→スイッチ

となる。経路の途中は断たれているが最初の部分は残っている状態である。もし運動神経→筋肉→身体→運動の部分コンピューターや機械で補えば、上記のような患者でもスイッチを押すことが出来るようになるだろう。脳活動から情報を取り出し(デコーディング)その情報をもとにコンピューターや機械を動作させればよい。これがBCI(Brain Computer Interface)の基本概念である。

他にもBMI(Brain Machine Interfaceブレインマシンインターフェース)という語があるが、こちらはコミュニケーションではなく、電動義肢の操作に使われることが多い。

### 1.2. デコーディング

脳活動から情報を取り出すには、論理的には脳の様々な活動(電位変化、磁場変化、血流変化、ヘモグロビンの増減等)を測定できる装置ならすべて可能であるが、実用の点から脳の電位変化を測定する脳波計がよく使用される。脳波計なら他の測定装置に比べ小さく、測定が簡便で、後述する様な研究例の多い特徴的な脳活動を測定することが出来る。

### 1.3. P300 スペラー

P300は規則的な刺激の中に新規の刺激が加わると発生する脳波である。ピ、ピ、ピ、ピ、ピ、ブ、ピ、ピ、ピ…という様な聴覚刺激に対して、ブ音の約300ms後に、頭頂部のプラスの電位が増加する[1]というものである。新規の刺激の頻度が低いほど、脳波は大きくなる。FarwellとDonchin[2]はこのP300を利用し文字入力をするBCIを開発した。まず被験者に文字表(fig.2)を見せ、表現したい1文字に注目させる。そして不規則に文字を光らせると、注目している文字が光ったことに対してP300が発生するという仕組みである。文字が光った時の脳波を測定、分析し被験者が表現したい文字を特定する。それを繰り返すことにより、脳波だけで単語や文章を作成することができる。これがP300スペラーである。

A	B	C	D	E	F
G	H	I	J	K	L
M	N	O	P	Q	R
S	T	U	V	W	X
Y	Z	1	2	3	4
5	6	7	8	9	-

fig.2 アルファベット文字表

## 1.4. ALS患者によるBCI使用

アメリカでは、ALS患者によるBCIの長期使用試験がすでに行われている[3]のだが、日本では未だ行われていない。本研究では特に、将来患者が日常的に利用することを想定して患者の普段過ごしている環境、患者宅での使用試験を行った。

## 2. 実験準備

### 2.1. 被験者

被験者はALS患者59才男性1名、眼球運動および額の物理センサーによる意思表示が可能であるが、それ以外の箇所は運動できない。ALS発症から12年、診断から9年経過しており、気管切開から8年、コミュニケーションエイド伝の心の使用は7年である。50日の間隔をあけて1日2~3時間、計2日間実験を行った。

### 2.2. BCI2000

BCI2000[4]はニューヨーク州衛生局のWadsworth Centerで開発されたソフトウェア[5]で、"非営利の研究と教育目的ならば無料で利用可能"[6]である。データ収集、分析、刺激の提示を行うことができる。本研究ではOperat.exeに加えvAmpSource.exe、P3SignalProcessing.exe、P3Speller.exeを使用した。

BCI2000(がインストールされたPC)と脳波計があればBCIは動作する。

### 2.3. パラメーター

Stimulus Duration: 100ms, ISI Duration: 75ms, Number Of Sequences: 15, Interpret Mode: copy modeとした。

### 2.4. 脳波測定

脳波キャップと電極Fast'nEasy Cap(Brain products)を用い、脳波計Vamp 16ch(Brain products)で脳波を測定した。電極位置はFz, Cz, Pz, Oz, P3, P4, PO7, PO8であった。2日目にはF3, F4, C3, C4, T7, T8, Fpzも使用した。

### 2.5. 被験者個人データ収集

被験者はベッド上で仰臥位、ベッドサイドテーブルからモニターアームで固定した刺激提示用モニター(HP LP1965)に6x6のアルファベット文字表(fig.2)を提示した。被験者に16文字の入力を行ってもらい、そのデータからBCI2000付属の分析プログラムP300 Classifier GUI[7]を用いて被験者の個人用データを作成した。個人用データは以降の実験において.prmファイルとしてloadしlinear classifierのデータとして利用した。

### 2.6. フリースペル

文字表を7x10のひらがな(fig.3)に変更し、被験者に自由に入力をしてもらった。入力前には何文字入力す

るつもりか、入力後には思い通りに入力されたかを確認した。

あ	い	う	え	お	1	2
か	き	く	け	こ	3	4
さ	し	ず	せ	そ	5	6
た	ち	つ	て	と	7	8
な	に	ぬ	ね	の	9	0
は	ひ	ふ	へ	ほ	?	!
ま	み	む	め	も	空	ー
や	ゆ	よ	ゃ	ゅ	ょ	っ
ら	り	る	れ	ろ	改	刑
わ	を	ん	ゝ	ゞ	ゎ	ゑ

Fig.3 ひらがな文字表

### 3. 実験結果

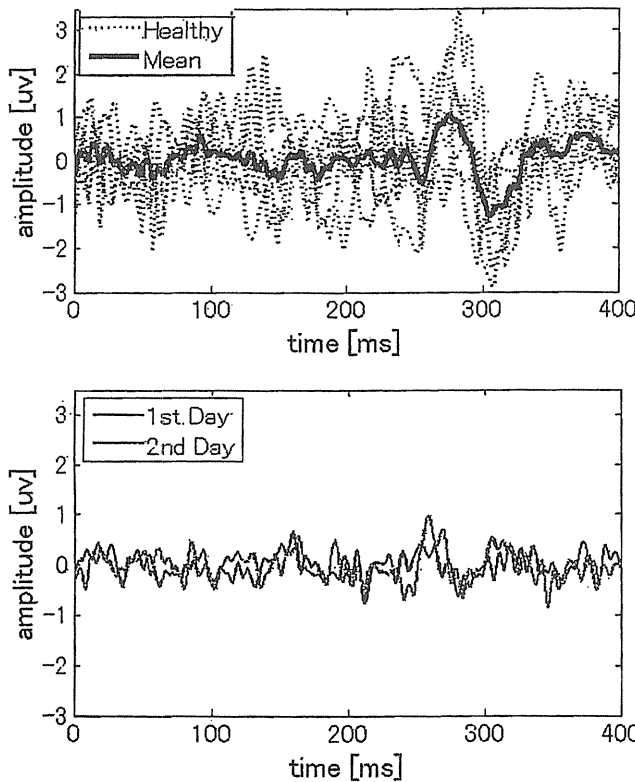


fig.4 脳波グラフ

#### 3.1. 1日目

レファレンスは Fpz を使用した。個人用データを使って 16 文字入力した結果（オンライン入力）は正答 1/16 文字で正答率 6.25%であった。オフライン解析結果は正答率 18%であった。2 回目のオフライン解析結果は正答 0/16 文字で正答率 0%であった。被験者の疲労により実験を終了した。

脳波の振幅が健常被験者の平均の 41.8%と小さかった。

#### 3.2. 2日目

1 日目とは次の点を変更した。部屋の電気を消した。ヘルパーや家族等、ベッド周囲の人の動きを制限した。伝の心の音、点滅を止めた。文字表の文字間隔を広げた。レファレンスは left earlobe を使用した。個人用データを使って 16 文字入力した結果（オンライン入力）は正答 7/16 文字で正答率 43.75%であった。オフライン解析結果は正答率 91%であった。フリースペルの結果は 2/4 文字正解で正答率 50%であった。

1 日目より脳波の振幅は頂点において 2.2643 倍に増大し、健常被験者の平均の 94.65%になった。

加算回数を 7 回にしているの、入力速度は 7 回 × (10 行 + 7 列) × SOA175ms = 20825ms となり、約 21 秒に 1 文字であった。これは 1 分間に 2.9 文字に相当する。

#### 3.3. 電源ノイズ

50Hz でのパワーを電源ノイズとし、電極間の平均をとり分析した。被験者宅の電源ノイズは、1 日目は 39.4213[uv<sup>2</sup>/Hz]で、2 日目は 38.1953[uv<sup>2</sup>/Hz]であった。これは実験室の電源ノイズの範囲(31.4081-48.3362 [uv<sup>2</sup>/Hz])内で、その平均にほとんど等しい。

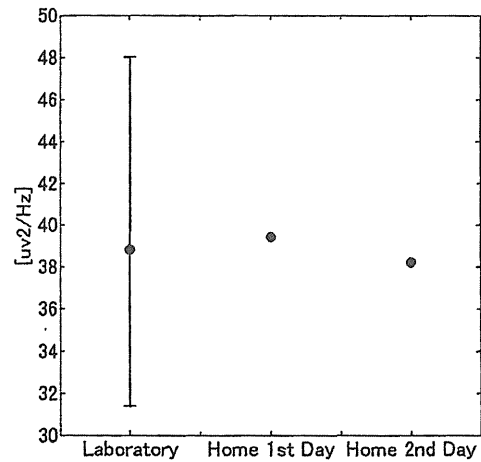


fig.5 電源ノイズ

### 4. 考察

#### 4.1. 正答率

正答率は低い選択された文字はチャンスレベルを大きく上回った。1 日目より 2 日目の方が正答率が高く、脳波の振幅も大きかったことから被験者の「慣れ」も必要なのかもしれない。一般に P300 スペラーには習熟は必要ないとされているがその点についても更なる検討が必要である。

#### 4.2. 入力速度

被験者は伝の心のスキャン速度を 0.7 秒にしているの、BCI の入力速度はそれに劣る。しかし、"特に閉じ込め症候群の使用者にとっては、コミュニケーションのスピードはさほど重要ではなく、コミュニケーション

ョンの信頼性とそれそのものの存在が重要である”[8]  
また ALS は進行性疾患であるので今後、伝の心が使え  
なくなったときに BCI が必要になるだろう。

#### 4.3. 電源ノイズについて

被験者宅の電源ノイズは実験室の電源ノイズの平  
均とほぼ等しかった。ベッドの周囲は人工呼吸器、テ  
レビ、伝の心(ノート PC)など電化製品に囲まれていた  
が、特に電源ノイズ対策をする必要はないようである。

#### 4.4. 今後の改良点

被験者個人ごとに P300 が大きく測定される電極は  
異なる。実験を重ね、使用電極を絞ることにより、脳  
波キャップの装着が簡便になるだろう。これは家族や  
ヘルパーによる装着を想定した場合、必要なことであ  
る。

また、日本語文字表も被験者ごとに(縦書きか横書  
きか右からか左からか)馴染みのあるものが異なる。  
被験者への聞き取りを元に BCI 使用者にとって使い易  
い文字表の作成をするべきである。

日常 ALS 患者を介助しているヘルパーから、正答率  
が低いのならば文字入力ではなく、定形文の選択にす  
るのはどうか?という意見を聞くことができた。定形  
文の文字表も開発していくと良いだろう。

#### 4.5. 今後の展望

数ヶ月にわたって、在宅もしくは病室で、家族やヘ  
ルパーの介助によって脳波キャップを装着し BCI を週  
に数回使用するという長期使用試験を計画している。  
またその際、介助者向けに使用マニュアルの作成や講  
習会の開催も必要である。

### 文 献

- [1] J. Polich and J. R. Criado, “Neuropsychology and neuropharmacology of P3a and P3b”, *Int J Psychophysiol.* vol.60, no.2, pp.172-185, May 2006.
- [2] L. A. Farwell and E. Donchin, “Talking off the top of your head: Toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials”, *Electroenceph Clin Neurophysiol.* vol.70, no.6, pp.510-523, Dec 1988.
- [3] Vaughan TM, McFarland DJ, Schalk G, Sarnacki WA, Krusienski DJ, Sellers EW and Wolpaw JR, The Wadsworth BCI Research and Development Program: at home with BCI. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 14, 2, pp.229-233, Jun 2006
- [4] Gerwin Schalk, Member, IEEE, Dennis J. McFarland, Thilo Hinterberger, Niels Birbaumer, and Jonathan R. Wolpaw, BCI2000: A General-Purpose Brain-Computer Interface (BCI) System, *IEEE TRANSACTIONS ON BIOMEDICAL ENGINEERING*, vol.51, no.6, pp.1034-1043, June 2004.
- [5] Shalk, Mellinger, Wilson and Milsap, BCI2000. Version November 2009 Build, 2009-11-10. <http://www.bci2000.org/>, (accessed 2009-11-10).
- [6] “The BCI2000 system is available for free for non-profit research and educational purposes”,

<http://www.bci2000.org/BCI2000/Home.html>,  
(accessed 2010-02-01)

- [7] Cristhian Mauricio Potes, P300 Classifier GUI, version May 15 2009, 2009-5-15. <http://www.bci2000.org/>
- [8] Sellers, Kubler and Donchin, “Brain-Computer Interface Reserch at the University of South Florida Cognitive Psychophysiology Laboratory: The P300 Speller”, *IEETransactionn on neural systems and rehabilitation engineering*, pp221-224, Mar 2006

## [招待講演] 脳インターフェースは誰が使うのか

森 浩一<sup>†</sup> 岡田 美苗<sup>†</sup> 岡 さち子<sup>†‡</sup> 丸岡 稔典<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 〒359-8555 埼玉県所沢市並木 4-1

<sup>‡</sup> 総合研究大学院大学生命科学研究科生理科学専攻 〒240-0193 神奈川県三浦郡葉山町

E-mail: <sup>†</sup> {mori-koichi, okada-minae, maruoka-toshinori}@rehab.go.jp, <sup>‡</sup> okasachi@nips.ac.jp

あらまし 医学の進歩によって、重度身体障害者が人工呼吸をしながら在宅での生活を選択することが増えている。このような状態での生活の質 (QOL) の向上のためには、コミュニケーション支援が重要である。近年の脳生理学の進歩と、計算機パワーの向上・小型化によって、脳計測から意図にかかわる情報を実時間で抽出することが可能になってきた。これを使うと、文字入力 (計算機の操作;BCI) や環境制御、義手等の各種機械装置の操作 (BMI) を、筋肉の活動を介さずに行うことが可能になるので (脳インターフェース)、重度障害者のための福祉機器としての期待が高まっている。本稿では、脳インターフェースの現況を紹介し、その適応条件と、日常的に脳インターフェースを使えるようにするためには何が開発要件になるのか考察する。

キーワード 脳インターフェース, Brain-computer interface (BCI), Brain-machine interface (BMI), 重症身体障害者, 脳波 (EEG), コミュニケーションエイド

## Who are the users of brain-computer interface?

Koichi MORI<sup>†</sup> Minae OKADA<sup>†</sup> Sachiko OKADA<sup>†‡</sup> and Toshinori MARUOKA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities 4-1 Namiki, Tokorozawa, Saitama, 359-8555 Japan

<sup>‡</sup> The Graduate University for Advanced Studies, School of Life Science, Department of Physiological Sciences

Hayama-cho, Miura-gun, Kanagawa, 240-0193 Japan

E-mail: <sup>†</sup> {mori-koichi, okada-minae, maruoka-toshinori}@rehab.go.jp, <sup>‡</sup> okasachi@nips.ac.jp

**Abstract** Owing to the progress in medicine, more and more people with severe disabilities choose to live in their own home even with artificial ventilation. It is known that assistive communication is important in order to improve their quality of life. Recent advances in neuroscience and rapid growth of computational power have enabled the extraction of brain signals related to free will in real time. This technique is referred to as “brain interface” here and includes character input (communication, brain-computer interface; BCI), environmental control, and machine manipulation (brain-machine interface; BMI). Brain interface has been expected to enable those with the severest disability to communicate with others. In this report, current status of the brain interface is reviewed, and its possible target population and the social system to be implemented are discussed so that this new technology can be used effectively.

**Keyword** Brain-Computer Interface (BCI), BMI, disability, electroencephalography (EEG), Communication aid

### 1. 背景

#### 1.1. 重度身体障害をめぐる状況

医療技術の進歩によって、感染症が激減し、人工呼吸が在宅でもできるようになり、栄養補給が胃瘻等によって十分に行えるようになったため、重度身体障害者の生命予後が格段に改善している。そのため、在宅で療養・生活することを選ぶ障害者が増えている。重度の障害がある場合、生活の質 (QOL) の改善のためにはコミュニケーションの確保と、可能ならそれが自立して行えることが重要である [1]。

重度身体障害のために発話が困難になると、残存した運動機能を探し、それによって諾否応答をしたり、

意思伝達装置等の操作を行えるようにする。単純な方法としては、動かせる部位を使って諾否応答の代わりにすることである。動きの検出方法としては、観察者 (介助者) の目視による場合と、何らかのスイッチを使う場合がある。スイッチが使えれば、「意思伝達装置」に接続して、スイッチを操作するタイミングで任意の文字列を選択したり、文章を作成することができる。同様なことは、介助者が文字を順に読み上げて、伝達したい文字のタイミングで合図を送ることも行うことが可能である。また、眼球運動が障害されていない場合は、視線による文字入力装置を使うことで、コミュニケーションが可能になる。同様に、透明文字盤を介して、障害者が見ている文字を介助者が読み取るこ

とでも文字伝達が可能である。いずれも、意思伝達装置を介して文字情報を伝達する場合は、介助者なしにコミュニケーションが可能になり、文章を作成・保存することもでき、コミュニケーションの自立が可能になる。

進行性の神経・筋疾患の場合、症状とその進行に合わせて使える筋肉を探し、動作の検出についても、筋力低下に従って、単純な機械式のスイッチから、張力や圧力のセンサーを使用したものや、光で動きを検出するものに変更する必要があることもある。目視による検出も、筋力が低下すると困難になる。さらに、筋力は日々の変動もあるため、スイッチの適合は容易ではない。

福祉制度上からは、意思伝達装置は補装具の分類になり、都道府県が支給とサポートを担っているが、自治体によっては義肢と同程度にはサポート体制が整っていない所もあるようである。現状は、入院して適合を行っても日常の適合が制度として確立しておらず、訪問看護、自立支援法、ITサポートのNPO、家族、ボランティアに頼っているのが現状であり、地域格差が大きい。

一部の患者は全身の筋肉が使えなくなる、いわゆる完全閉じ込め状態 (total locked-in state) になることが知られている。こうなる割合は、筋萎縮性側索硬化症 (ALS) では、15%程度である[2]。筋肉の随意運動ができなくなると、上述のような手段が使えなくなり、脳活動を直接記録して、意図に関連した信号を抽出する以外に、意思を伝達することができない。この方法が脳インターフェースであり、近年、研究が盛んになっていることから、進行性の神経筋疾患を患っている患者と家族からの期待が大きい。

すでに市販品で脳活動を検出して諾否応答とする装置があるが、これらの機器の調整には技術が必要とされ、使いこなしている人の割合は他の意思伝達装置 (スイッチを使うもの) に比べて、低いのではないかと推測される。ただし、使用者の疾患の重症度が異なるため、単純な比較は意味がない。しかし、適切な技術サポートが不足している可能性も示唆している。

## 2. 脳インターフェースとは何か？

脳インターフェースは、脳の生理的活動に伴う信号を記録し、その中から意図に関連する信号を抽出し、計算機を制御したり (brain-computer interface; BCI) 外部機器 (種々のスイッチ、義肢等) を操作したりする (brain-machine interface; BMI) 技術である[3]。脳信号を直接記録することで、身体の制御性の違いを無視することができ、スイッチの適合技術の代わりに、個人個人の脳信号への適合を行うことになる。

脳信号としては、電気、磁気、血液反応、代謝、その他が利用可能である。これらの信号は意図をそのまま表現するものではないため、複雑な信号処理をして意図に関連する情報を抽出する操作が必要になる (意図の復号)。この部分を多量のデータを複雑な統計解析によって実時間に実行可能にしたのが、現在の脳インターフェースである。脳信号は個人差が大きいため、復号装置としては個人差に対応できることが必要となる。また、個人の信号も固有のものではなく、短期的・長期的に変動することもあるため、適応的に調整できる必要がある。

しかし、現在の脳機能計測技術では、本来の意図 (例：公園まで散歩に行きたい、鼻を搔いて欲しい) をそのまま検出・復号することが困難なため、脳インターフェースの使用者が、何らかの心的課題の遂行 (暗算・しりとり等)・仮想的動作 (歩行を想像する、指の想像運動、等)・感覚刺激への注意をすること等を、目標とする意思伝達のシンボルとする課程 (意図の符号化) を必要とする。この課程は、多少の違いはあるが、利用者の理解と訓練が必要な部分であり、健常被験者と重度身体障害者で必ずしも同じ結果が出ない部分でもある。実際には、利用者は自分の意図の通りの結果を出せるように、(主に試行錯誤を通じて) 自己の精神状態を制御することで、意思伝達の効率を上げることができる。一方、計算機の方も前段落に書いたように適応的に動作を修正できるため、相乗的に効率を上げられる可能性があると言える。逆に言えば、このような複雑なシステムなので、実用的に使えるようになるには周囲のサポートが必須である。

脳信号を取得する方法としては、頭蓋内から直接記録する侵襲的方法と、頭皮上ないし頭皮から離れて記録する非侵襲的方法があり、両者が研究されている。

### 2.1. 脳インターフェースとは何でないか？

末梢神経活動を利用するもの、筋活動を利用するもの、脳活動以外の活動を利用するものは脳インターフェースに含めない。筋電図や眼電図は、筋肉の動きが検出できない場合でも電氣的に検出できることがあるが、これは末梢運動神経が活動した結果を見ているので、脳インターフェースには分類しない。ただし、これらが意図に応じて変化するのであれば、通常は脳インターフェースよりずっと正確に速く意図を伝達することができるので、脳インターフェースより優先してその可能性を探るべきである。最近、脳波を使用してゲームを行う装置が安価に市販されているが、脳波の選択性が低く、健常者が使用した場合、筋電図や眼電図の方が脳波より大きく、容易に変化させられるため、これらの信号を使っていることがほとんどのである (脳波では制御できないということではない)。

脳インターフェースは、原則として末梢運動神経からの記録を利用する場合は含めないが、運動神経のみが障害される疾患ないし病態では、自律神経を介した活動（血圧、脈拍、唾液分泌、発汗、皮膚血流等）を利用する試みもあり、意図が直接表現できないという観点では脳インターフェース技術に共通するため、脳インターフェースと同じ文脈で研究されることがある[4].

脳インターフェースに似た技術で、感覚刺激の種類等を脳機能計測から推測するという技術が知られ、*mild-reading* とも称されている[5]ため、意思を伝達する脳インターフェースと混同される恐れがある。しかし、これは特定の刺激セット（例えば、傾きが異なる縞模様）の内、どの刺激（例えば、特定の角度の縞模様）が呈示されていたかを脳活動から推測するものであり、その技術は脳インターフェースに応用可能としても、脳信号（とその復号されたもの）には刺激の観察者の意図を含まないため（例では、見ていた縞模様の傾きが判るだけ）、脳インターフェースとは言えない。現状の脳機能計測技術では、被験者の不特定の試行や意図を復号することはできない。そのため、脳インターフェースの利用者は、特定の課題をその伝達したい意図に対応して実行することを要求される（符号化）。脳インターフェースはその符号化された信号を復号することのみ行うもので、利用者のそれ以外の思考や意図を検出することはできない。

動物の脳に電気刺激電極を埋め込んで、動物を思うように行動させるという技術がある[6]。これは動物の快中枢の刺激と感覚刺激を組合せて条件行動を誘発するもので、動物は快感を得るための行動を起こしているのではあるが、本来の意図・意思を無視して行動させることが可能な技術であり、脳インターフェースとは異なるものである。脳インターフェースでは、その利用者の本来の意図を、符号化と複合化を介して知ることができるシステムである。

脳インターフェースの利用者は、感覚入力処理はおおむね正常であるという前提を設けているので、一般には脳に直接電気刺激を行うことはない。しかし、脳インターフェースの判定（復号）結果を効率よく利用者に知らせる（フィードバックする）目的で、侵襲的な脳インターフェースでは、義肢の関節角度等、皮膚表面の刺激では伝達できないような情報を、脳内電気刺激で伝える研究も行われている[7].

## 2.2. 侵襲的脳インターフェース

神経活動を頭蓋内に入れた電極で記録しようとするもので、脳の局所的な活動が記録でき、絶縁性が高い頭蓋骨によって脳活動の場所の情報が損なわれる脳波と比べて、情報量が多い。非侵襲的な脳インターフェ

ースがある程度実用的になりつつある時に、侵襲的な脳インターフェースを使いたい者は少ないと思われるが、潜在的には格段に性能が良いはずであり、理論的には健常者と同じ速度と正確さで運動することが可能になる。そのことが実際に証明され、安全性と安定性の問題が解決されれば、侵襲的な方法も普及する可能性がある[7].

同様な先行例としては、人工内耳と補聴器の関係がある。人工内耳は手術を要することと初期の性能には問題があったため、補聴器を選択する人が多かったが、最近の人工内耳は高度難聴者においては補聴器に比べて圧倒的と言える程に言語音の聴取性能に差があるため、広く普及するに至っている。

### 2.2.1. 脳内に集合微小電極を埋め込む方法

この方式は脳内の神経細胞の活動を直接記録する。運動野の神経細胞の活動を記録すると、身体を動かすのに使われるものと全く同じ質の信号が得られるはずなので、潜在的には筋肉を使った動作と同等かそれよりも速く、楽に外部世界を操作できる可能性がある。

動物実験では、多数の電極を運動野に埋め込み、手（前足）の操作を代行する装置を操作させる実験が行われた。脳の信号でも飲水が可能になったラットは、やがて同じ効果を起こすレバー押しをしなくなった[8]。サルではロボット・アームを操作させ、餌を取って食べることができるようになった。

しかし、ヒトで行われた実験[9]では、反応が素早いという利点は確認されたが、現状では動きが拙劣であり、そのままでは実用性が低い。現在5人の重度障害者の運動野に電極が埋め込まれ、数年間の長期安定性は確認されている。

### 2.2.2. 脳表面に記録電極を配置する方法

電極は脳に刺入せず、脳表面ないし硬膜外に配置する。この方法では局所電場電位が記録でき、個々の神経細胞ほどではないが、多くの情報を頭蓋外の雑音に邪魔されずに得ることができる。運動野に設置した電極からの記録では、80%以上の正確さで運動の種類を判定できた[10]。てんかん手術前の硬膜下埋込電極による知見では、運動野を含む脳表面に配置した1 cm 間隔の電極で、5本の指の運動を区別することが可能である[11]。また、非侵襲脳インターフェースと同じ方法で意図にかかわる信号を抽出する課題では、文字入力にかかる時間が非侵襲的な方法（頭皮表面に設置した脳波によるもの）に比べて、半分程度である。この方法では、微小電極によるものよりややおおまかな信号を使うため、若干の時間遅れが生じるとされる。一方で利点として、脳表の広い範囲に電極を配置することも比較的安に行え、刺入電極より早期に実用化される可能性が高い。実用化する際には硬膜下より硬

膜外の方がより安定で安全であるが、硬膜外電極はまだヒトではほとんど試されていない。

### 2.3. 非侵襲的脳インターフェース

ヒトの脳活動を非侵襲的に記録する方法は多数あるが、陽電子断層法 (PET) や単一光子断層法 (SPECT) は実時間計測ができないために除外される。機能的 MRI (fMRI) や脳磁図は比較的実時間に近い計測が可能であるが、大型の装置であるために移動させることができず、脳インターフェースとしては実用的ではない。しかし、理論的・基礎的研究のために使われる。

容易に運搬可能な脳活動の測定装置 (方法) としては、超音波ドップラー法による脳動脈の血流測定、近赤外光による脳局所血液量変化の計測、頭皮表面電極による脳波計測の3種類がある。この内、超音波ドップラー法は、得られる情報量が限られるため、これを脳インターフェースに使う研究は行われていない。

近赤外光による脳機能測定は、諾否応答のみであれば意思伝達装置として市販されている [12]。ただし、1件の応答の確認に72秒を要し、平均7~8割程度の確度である。原理的には神経活動が脳内血液動態に反映することを測定するものであり、そのために数秒の潜時を伴う。光計測による高い分解能 [13] を生かせば、今後の技術開発によって10秒以下で意図が検出できるようになる可能性がある。

脳波による脳インターフェースは、現在最速の方式では1文字当り7秒程度で入力することが可能になっており (ただし、日本語の50音は選択肢が多いので8~9秒かかる)、使用者の訓練がほとんどいらぬことも利点の一つである。しかし、スイッチによる選択式の文字入力、習熟すればこの半分程度の時間で入力ができる。ALS患者として世界的に有名な天文学者のホーキング博士が最初に使用したスイッチによる意思伝達装置の入力速度は、1分に4単語程度であり (1文字ずつ入力するのではなく、単語を選択する方式)、文字数に換算すると1分に約20文字である (1文字当り3秒)。

速度以外に関しては、脳波は電極を装着するだけで安全性の問題がないため、他にコミュニケーション手段がない人にとっては十分に実用的な方法であり、米国ではこれによって3年間以上就労を続けているALS患者がいる [14]。

この脳インターフェースの具体的な方法としては、コンピュータ画面に多数の文字が格子状に表示され、不規則に明るくなる刺激を与えられ、入力したい文字に注目しているとその文字が明るくなったことに対応して脳反応が出るので、それを検出して逆にどの文字に注意をしていたかを推測する [15]。ここで使われる脳反応は P300 と呼ばれる信号で、視覚誘発反応である。健常被験者の8割程度の人で使用可能であり、ALSの患者では63%である [16]。

視覚が使えない重度身体障害者向けに、聴覚刺激による脳インターフェースが開発中であり [17]、実現可能ではあるものの、現状では遅いためにあまり実用的ではなく、更なる開発が必要である。

運動ないし運動をイメージすることで変化する脳波成分を使う方式は、直感的な操作が可能になるため盛んに研究され、文字入力やコンピュータ画面のカーソル位置の制御に使われている [18]。しかし、ある程度は使用者の訓練が必要になるため、在宅身体障害者による長期使用の実績はない。脳のゆっくりした電位を制御する方法は古くから試され、実用化もされているが、これも訓練が必要であり、視覚機能が保たれている場合は視覚性 P300 による方が時間当りの情報伝達率が高い。

## 3. 脳インターフェースの適応

脳インターフェースを実用化するには、どのような患者が使えるのか、またふさわしいのかも検討しなければならない。以下は、比較的普及が早いと考えられる非侵襲脳インターフェースについて考察する。

### 3.1. 文字入力 (伝達) 速度から

朗読音声では1分に200~300文字、キーボードからの文字入力は、速い人では1分に200字以上に達するが、障害があつて指が1本のみ使えるという状況では2秒に1回くらいに遅くなる人もいる。音声が使えれば音声入力でも1秒間に1文字以上の入力ができることが多い。透明文字盤は介助者がよく慣れた人であれば、2秒に1文字がそれ以上の速度で伝達が可能である。スイッチを一つ使ってスキャン式の文字伝達装置を使用しても、速い人は数秒間で1文字の入力が可能である。このように、残存機能によって使える手段が変わるが、入力速度という尺度で1線に並べて比べることで、現在どの方法が最適であるのか知ることができる。これから判ることは、筋肉の運動が安定して行える場合は、現状で最も進んだ非侵襲式脳インターフェースよりも速く意思伝達ができることである。運動が安定しなくても、慣れた介助者が読み取る (あるいは聞き取る) ことが可能であれば、脳インターフェースより速く文字入力ができることが多い。非侵襲脳インターフェースは現状では他のほとんどの方法より入力速度 (情報伝達速度) が遅いため、それらを使用できる者には原則として適応にならない。つまり、身体障害の原因が進行性であるかないかにかかわらず、現在身体のどこかに安定して随意に制御できる筋肉が1つでも残存している場合は、それを利用してスイッチを操作し、従来のスキャン式意思伝達装置を使用した方が良いということの意味する。例外として、スイッチ操作に極めて長時間かかり、あるいは安定した操作ができない場合で、かつ脳インターフェースの方が速く文字入力できる、あるいは機器の操作が速く

できる場合である。

文字入力が遅くても、スイッチが使えない障害者にとっては、介助者がその場にいらなくても使えること、透明文字盤などのように、読み取りに一定の技術がある介助者を常時は必要としない利点がある。しかし、自立やプライバシーの確保の要因は、意思伝達速度の重要さに比べると小さい。速度差が2倍以上あると、介助者を使わずに文字入力したいと思うことは少ないと考えられる。一方、脳インターフェースでは、装置の立ち上げと脳波電極の取り付けには熟練した介助者が必要である。この点については、技術開発によってある程度の解決が可能である。

脳波電極については、導電性のペーストを使わない、乾燥電極が検討されつつある。ソフトウェアは現状では研究用のものをそのまま流用しているが、普及させるにはさらに使いやすいものにする必要がある。文字入力速度の限界は、将来的には脳内埋込型の進歩によって解決される可能性がある。

### 3.2. 疾患特性から

脳インターフェース技術は ALS 患者にのみ適応となるのではなく、原理的には他の神経・筋疾患にも幅広く使えるはずであるので、潜在的な需要は大きい。現在 ALS の患者が研究対象の中心になっているのは、小児期から症状が出る変性疾患（進行性筋萎縮症等）に比べ、成人してから発症するまでは健常の生活を長く経験していることで、意思伝達技術への期待と開発希望が高いためである。さらに、最終的に完全な閉じ込め症候群になる患者もおり、そのような患者でも脳インターフェースが使えることが実証されれば、それより軽い障害では確実に脳インターフェースが使えることになる。ALS 自体は全国で数千人の罹患者がいるが、その内でコミュニケーション手段が全くない者は比較的少数であり、これらの人たちのみを対象として技術開発を行う場合は、オーファン・テクノロジーに分類されることになり、世界中での脳インターフェース関連の開発投資は過剰であるとも見える。しかし、ALS は脳インターフェース開発の典型的な障害モデルとして有用であるとすれば、極めて有用な対象設定であると考えられる。ただし、ALS 以外で脳インターフェースがどの程度有用かは不明である。脳性麻痺に使用されたという報告や、頸髄損傷者に使われた報告があるが、それらの被験者が日常使用している他のコミュニケーション手段に対してどの程度優位であるかという観点の研究が抜けていることが多く、有用性の評価が十分にはなされていない。頸髄損傷は典型症例では顔面・眼球の運動が正常なので、現状の非侵襲脳インターフェースでは速度が実用には十分ではない。しかし入力ないし操作したいものを見ているだ

けで使えるという容易さからすると、環境制御などの速度を要しない操作には使用希望があるかも知れない。

これら以外にも有用性がありえる疾患としては、脊髄小脳変性症、パーキンソン病、進行性筋萎縮症、脳卒中の一部などがある。脳卒中については、脳インターフェースによってロボットスーツを介して麻痺した手を動かすことで、リハビリテーションの効率を改善することができるかどうか、という観点で脳インターフェースの応用試験が進んでいる。

ALS に対して、脳インターフェースが有効であるとの報告が多い[19]。しかし、我が国では透明文字盤によるコミュニケーションが普及しており、この方式は眼球運動がかなり制限されても実用的に使用できる。ALS 患者で適応となるのは、他の伝達方法が安定して使えない、つまり眼球運動も制限され、諾否応答程度しかできなくなった段階の患者という限定をつけると、透明文字盤が使えない状態では、眼球運動がかなり制限されており、現在広く使われている視覚性 P300 を使用した文字入力システムがうまく使えるかどうかという疑問がある[16]。また、ALS 患者では視覚性の誘発脳波の波形の安定性が悪い例もあることが認められ[20]、これに自動的に適合する技術は未開発である。つまり、脳インターフェースの技術が最も必要となる（他のコミュニケーション手段がない）ALS 患者に対して有効な種類の脳インターフェース（音声を介するもの、眼球運動が障害されても正答率が高いもの、等）が、未開発である。

### 4. 脳インターフェースのサポート体制

脳波による脳インターフェースは米国では長期在宅試験が行われているが、まだ実用化されているということではない。脳波の測定器と高度なデータ処理を行うプログラムを家庭に持ち込み、神経生理学の経験がない介助者が脳波電極を装着してソフトウェアを立ち上げて、コミュニケーション手段に乏しい障害者が利用するのであるから、トラブルはしばしば生じ、研究者が自ら対応しなければならない。すなわち、故障対応やメンテナンスのための体制と要員の確保と訓練、そのための費用の手当が必要で、米国では現在は研究費ですべてまかなわれている。そのようなトラブルが起きにくいシステムの開発も必要である。また、我が国での普及のためには、福祉機器として補助金制度に組み入れられることが重要で、特に脳波計（脳波計測用増幅器）の低価格化も必要である。しかし装置のみですでに市販されている脳インターフェース（諾否応答）のように、使われずに終わることも多いと考えられ、専門的知識を有する者による適切なサポートの提供が必須である。他の福祉機器と異なり、購入時の



費用補助のみでは使い続けることが困難である。現在市販されている意思伝達装置のサポートも、自治体によっては不十分な地域があり、その改善を含め、脳インターフェースのサポートの素地を構築していく必要がある。

将来、電極を頭蓋内に埋込む装置が開発されると、脳波電極を取り付ける手間と技術的困難さがなくなり、長期間の安定使用が可能になると期待される。類似の技術ですでに人工内耳と脳深部刺激装置が普及している。手術時の費用は高いが、メンテナンスの手間と費用まで考慮すると、特に非進行性の疾患では、非侵襲的な方法より優位になる可能性が高く、潜在的開発需要が存在すると考えられる。

脳インターフェースは以上のようにまだまだ開発が必要な部分があるが、ある程度は家庭環境で使われていることも事実であり、段階的な開発努力により、比較的近い将来に、さらに多くの最重度身体障害者が使えるものになっていくと期待される。

## 文 献

- [1] 森浩一, 井上剛伸, 丸岡稔典. "重度身体障害を補完する福祉機器の開発需要と実現可能性に関する研究 (H19-障害一般-010)" 平成 19~20 年度厚生労働科学研究費補助金 (障害保健福祉総合研究事業) 総合研究報告書. 国立障害者リハビリテーションセンター, 所沢, Mar. 2009.
- [2] 川田明広, 溝口功一, 林秀明. "Tracheostomy positive pressure ventilation (TPPV) を導入した ALS 患者の totally locked-in state (TLS) の全国実態調査." 臨床神経. Vol.48, no.7, pp.476-480, 2008.
- [3] Birbaumer, N. "Brain-computer-interface research: Coming of age." *Clinical Neurophysiology*. Vol. 117, no. 3, pp. 479-483, 2006.
- [4] Pfurtscheller G, Allison BZ, Brunner C, Bauernfeind G, Solis-Escalante T, Scherer R, Zander TO, Mueller-Putz G, Neuper C, Birbaumer N, "The Hybrid BCI." *Front Neurosci* vol.2 art.3, pp.1-11, 2010 (10.3389/fnpro.2010.00003).
- [5] Norman, K.A., Polyn, S.M., Detre, G.J., Haxby, J.V. "Beyond mind-reading: multi-voxel pattern analysis of fMRI data." *Trends Cogn Sci*. vol.10, no.9, pp.424-430, 2006.
- [6] Talwar, S.K., Xu, S., Hawley, E.S., Weiss, S.A., Moxon, K.A., Chapin, J.K. "Rat navigation guided by remote control." *Nature*. vol. 417, no. 6884, pp.37-38, 2002.
- [7] Lebedev, M.A., Nicolelis, M.A., "Brain-machine interfaces: past, present and future," *Trends Neurosci* vol.29, no. 9 pp.536-546, 2006.
- [8] Chapin, J.K., Moxon, K.A., Markowitz, R.S., Nicolelis, M.A., Real-time control of a robot arm using simultaneously recorded neurons in the motor cortex, *Nat Neurosci* vol. 2, no. 7, pp.664-670, 1999.
- [9] Hochberg, L.R., Serruya, M.D., Friehs, G.M., Mukand, J.A., Saleh, M., Caplan, A.H., Branner, A., Chen, D., Penn, R.D., Donoghue, J.P., "Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia." *Nature* vol 442, no. 7099, pp.164-171, 2006.
- [10] Yanagisawa, T., Hirata, M., Saitoh, Y., Kato, A., Shibuya, D., Kamitani, Y., Yoshimine, T., "Neural decoding using gyral and intrasulcal electrocorticograms," *Neuroimage* vol. 45, no. 4, pp. 1099-1106, 2009.
- [11] Kubanek, J., Miller, K.J., Ojemann, J.G., Wolpaw, J.R., Schalk, G., "Decoding flexion of individual fingers using electrocorticographic signals in humans," *J Neural Eng* vol. 6, no. 6, 066001, 2009 (doi: 10.1088/1741-2560/6/6/066001).
- [12] Naito, M., Michioka, Y., Ozawa, K., Ito, Y., Kiguchi, M., Kanazawa, T., "A communication means for totally locked-in ALS patients based on changes in cerebral blood volume measured with near-infrared light," *IEICE Transactions on Information and Systems* vol E90-D, no. 7, pp.1028-1037, 2007.
- [13] Kamatani, D., Masuda, S., Okazaki, S., Mori, K., "High-resolution functional brain mapping with near infrared spectroscopy (NIRS)," *J. Physiol. Sci.* vol. 58 no. Suppl., p.S98, 2008.
- [14] Vaughan, T.M., McFarland, D.J., Schalk, G., Sarnacki, W.A., Krusienski, D.J., Sellers, E.W., Wolpaw, J.R., "The Wadsworth BCI Research and Development Program: at home with BCI," *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* vol. 14, no. 2, pp. 229-233, 2006.
- [15] Donchin, E., Spencer, K.M., Wijesinghe, R., "The mental prosthesis: Assessing the speed of a P300-based brain-computer interface," *IEEE Trans Rehab Eng* vol. 8, pp.174-179, 2000.
- [16] Vaughan, T.M. "The impact of EEG-based brain-computer communication on the quality of life of individuals with late-stage ALS (外国への研究委託事業報告書)" 平成 20 年度厚生労働省科学研究費補助金障害保健福祉総合研究推進事業報告書, 厚生労働省 (実施機関: 日本障害者リハビリテーション協会), 東京, pp.11-25, 2009.
- [17] Madarame, T., Tanaka, H., Inoue, T., Kamata, M., Shino, M., "The development of a brain computer interface device for amyotrophic lateral sclerosis patients," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC2008)* 2401-2406, 2008.
- [18] Wolpaw, J.R., Birbaumer, N., McFarland, D.J., Pfurtscheller, G., Vaughan, T.M., "Brain-computer interfaces for communication and control," *Clin Neurophysiol* vol.113, no. 6, pp.767-791, 2002.
- [19] Nijboer, F., Sellers, E.W., Mellinger, J., Jordan, M.A., Matuz, T., Furdea, A., Halder, S., Mochty, U., Krusienski, D.J., Vaughan, T.M., Wolpaw, J.R., Birbaumer, N., Kubler, A., "A P300-based brain-computer interface for people with amyotrophic lateral sclerosis," *Clin Neurophysiol* vol. 119, no.8, pp.1909-1916, 2008.
- [20] Sellers, E.W., Donchin, E., A "P300-based brain-computer interface: Initial tests by ALS patients," *Clin Neurophysiol* vol. 117, no.3, pp. 538-548, 2006.

特集 新しいインタフェース

# ブレイン・コンピュータ・インタフェースについて

■ 国立障害者リハビリテーションセンター研究所 井上 剛伸

## 1 はじめに

数年前に、市販されているブレイン・コンピュータ・インタフェース・システムの一つであるMC TOS（テクノスジャパン社）を使用しているALS患者宅を訪問したことがある。筋肉がすべて麻痺し、完全な閉じ込め状態（トータル・ロックイン・ステート…T L S）になって、10年以上という方である。お部屋にお邪魔すると、人工呼吸器の音に混じって、「ピー」という機械音が聞こえている。脳波に反応すると「ピー」と音がするのであるが、何となくひっきりなしにその音が鳴っている印象があった。奥様にいろいろお話しを伺い、最後に、奥様が「あ」「い」「う」「え」「お」と言

うことにより、文字を選択して単語や文章を作るところを見せてもらうことになった。「ピー」という反応音により、選択された文字には「か」と「は」と「つ」があったと記憶している。単語にもならず、奥様がそれらの文字を組み合わせて思いつく単語を聞くもの、うまく言葉にならなかった。やはり、まぐれか？と思つた瞬間に、先ほど奥様との話の中で、MC TOSとパソコンをつなげて文字が自動的に選べるようなソフトウェアが開発できますよ」といった時に「ピー」と鳴つたことを思い出した。もしかして、「かいはつ」ですか？とたずねた瞬間に「ピー」。MC TOSとコンピュータをつなげて、奥

様なしに文字選択がしたいのですか？「ピー」。頭から背筋にかけて、雷に打たれたような衝撃が走つたのを今でもはっきりと覚えている。この人は、生きている！！  
ブレイン・コンピュータ・インタフェースは、考えただけで何かを操作することができるという、夢のある技術であり、これまで多くの研究が行われている。サルが、脳の活動でロボットアームを動かしたり、人の脳活動を検出することで、ロボットがその人と同じ動きをしたりと、やればいろいろなことができる」という話しはたくさんある。しかし、なかなか本当にその技術が必要としているところに、十分な技術として提供されていないのが現状である。

本稿では、ブレイン・コンピュータ・インタフェース（BCI）の動向について、概説するとともに、著者らが行ったALS患者に必要なとされるBCIの機能に関する調査およびそれに基づいたコンセプト提案について紹介する。

## 2 BCIの技術動向

日本では、すでにBCIに属するものを厚生労働省の補装具費支給制度において、「意思伝達装置（生体現象方式）」として支給している<sup>(1)</sup>。この点で、日本は障害者へのBCI応用の先進的な国といえる。ただし、ここで認められるBCIは、市販されている製品の機能に合わせて、「はい／いいえ」を判定するものに限られて

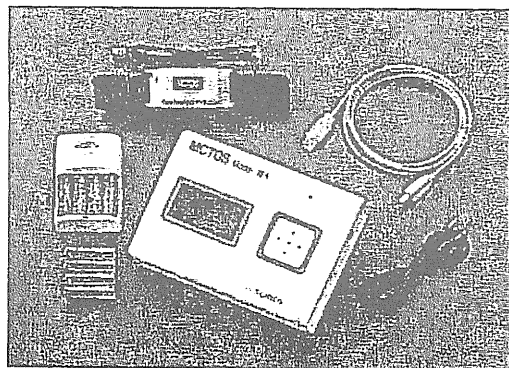


写真1 MCTOS<sup>(3)</sup>

いる。  
 現状では、テクノスジャパン社製の「MCTOS」とエクセル・オブ・メカトロニクス社製の「心語り」の2機種が国内で市販されている。  
**① MCTOS**  
 写真1に示すMCTOS<sup>(2)</sup>は、テクノスジャパン社が開発した意思伝達装置であり、脳波および眼電位といった生体信号を利用して電子機器を操作するバイオスイッチである。

測定する。使用者には信号を発生してもらいたい時に、眉毛など顔の一部分を動かす、眼球を左右または上下に動かす、考え事をするなどの操作をしてもらう。測定された信号の周波数解析を行い、特定の周波数帯域の信号強度がある閾値を上回ると、音を鳴らすなどの信号を発するという仕組みである。  
 対象とされる使用者には、意識と意思がはっきりしていること、聴覚が残っていて言葉が理解できること、不随意運動が少ないことという条件がある。  
 また、誰でもすぐに使えるというわけではなく、使用する前にはいくらかトレーニングを行う必要がある。  
**② 心語り**  
 写真2に示す心語り<sup>(3)</sup>は、エクセル・オブ・メカトロニクス社が開発した意思伝達装置であり、NIRS（近赤外分光法）を用いて問いかけに対する「Yes/No」を判定する。  
 NIRSとは、額に取り付けたセンサから人体を透過しやすい近



写真2 心語り<sup>(4)</sup>



赤外線（波長700nm～1000nm）を照射し、脳の表面付近で散乱され戻ってきた反射光を検出することで、血液中のヘモグロビンの酸素結合状態を計測する方法である。使用者には問いかけに対

して「Yes」ならば、暗算をしたり頭の中で歌を歌ってもらうなどをしたりして、前頭葉の血流量を増やしてもらう。問いかけに対して「No」ならば、呼吸を数えるなどをして、脳活動を落ち着かせてもらう。血流量が増えることで近赤外線の吸収量が増えるため、反射光の検出光量が減るという仕組みである。  
 比較的検出は容易であるが、脳血流量のコントロールにある程度の習熟が必要である。  
 これらは、すでにALS患者にも使用されており、実用的なBCIとして評価できるものである。しかし、「はい」と「いいえ」の二者択一課題のみ対応するものであり、伝達できる情報量がかぎられている点に問題がある。  
 近年、脳波を使って画面に表示される文字の中から一文字を選択する技術が開発され、すでに実用レベルに達している（写真3）<sup>(4)</sup>  
 (5) ユーザーは、脳波を測る電極（8～16個）を頭に取り付け、選  
 びたい文字に注意を集中する。視線検出とは異なるので、眼球を動

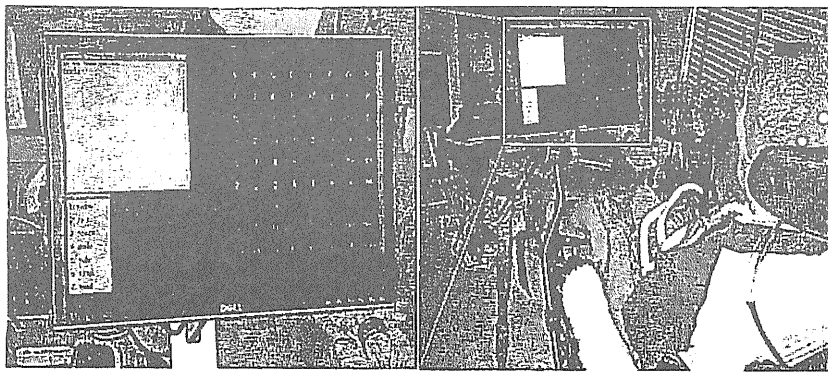


写真3 画面表示を用いたBMIシステム

かすことが難しくても、使用が可能である。画面に表示される文字がランダムに点滅し、そのときに検出されるP300という脳波を検出することで、ユーザーがどの文字を選んでいったかがわかる仕組みとなっている。個人差は有るが、一文字選ぶのに、数秒で済み、

正解率も9割を超える。アメリカのWadsworth Centerでは、ALS患者の方を対象とした臨床評価が始まっている。眼球を左右に動かして動かすことができる方が、評価に参加している。当研究所でも、基本システムはすでに構築されており、臨床評価に向けた準備を進めている。また、同様の技術を使って、テレビのリモコンを操作したり、電気をつけたりといった生活環境を制御するシステムの開発も進めている。

しかし、これらの技術は、ALS等でTLSとなった患者の要求に応えられるものではなく、さらなる技術開発が必要とされる。そこでわれわれは、TLSの患者を対象としたBCIに求められる機能を、主に調査研究から導き出すこととした。

### 3 ALS患者を対象としたBCIに求められる機能<sup>(6)</sup>

#### 3-1 調査の実施

TLS状態のALS患者の使用を想定することとし、その上で、BCIに求められる機能を明確に

するために、ALS患者宅を訪問し、患者本人および介護者から生活状況やコミュニケーション方法などについて、半構造化面接による聞き取り調査を行った。調査時間は2時間程度であった。被検者は3名である。3名とも気管切開による人工呼吸器を使用していた。

1名は足の指先や口の周囲、眼および眼球を動かすことができる状態であった(a氏)。眼、または足の親指を使って、光センサーやピエゾセンサを用いたスイッチが使用可能であった。口の周囲を動かすことで介助者と意思疎通を行っていたほか、意思伝達装置を使用してPC操作を行っていた。

2名は眼球を僅かに動かすことができる状態であった(b氏、c氏)。2名とも以前はスイッチや文字盤を利用してしたが、現在では介護者の問いかけに対して、かろうじて眼球を動かすことによりYes/Noを伝達していた。また、市販の脳血流量計測を利用した意思伝達装置「心語り」の使用を試みていた。

#### 3-2 調査結果

BCIの要求機能の抽出を目指し、調査結果を次の4つの項目に従って整理した。

- (1) 生活環境
- (2) 意思伝達の現状について
- (3) 意思伝達装置開発に向けたニーズ
- (4) 意思伝達装置開発に向けて注意すべき点

以下それぞれの項目ごとに結果を示す。

##### (1) 生活環境

a氏は、非常に活動的であり、外出の頻度も多く、ほぼ毎日外出を行っていた。しかし、b氏、c氏のような重度の患者は、ベッド上での生活がほとんどである。ただし、週に1回程度は外出するようにしていた。また、数十分に一度、痰の吸引などの介助が必要である。介助の体制は24時間体制がしかれていた。ベッド周辺には、人工呼吸器、吸引機、消毒用品などの医療機器が配置されている。

##### (2) 意思伝達の現状

a氏のように運動機能が利用で