

表3 各団体の支援内容

ID	支援実績	支援内容
A	訪問人数 38 人 (ALS21 人) ※2008 年度実績	スイッチの改良が中心 重度障害者向け IT 講習 (講師派遣) を 8 回まで無料で実施。
B	訪問回数 98 回 (ALS25 回) 訪問人数※2009 年度実績	操作スイッチの相談・適合・支援機器の貸し出し(ナースコールとして)、支援機器の活用 (インターネット・メールの設定)
C	訪問回数 58 回 訪問人数 17 名 (ALS10 名) ※2009 年度実績	更生相談所からの依頼では、初期導入からの支援。導入後の患者からの依頼では、テレビを操作する等の環境制御関連の設定等。
D	相談件数 227 件 (ほとんどが ALS) ※2009 年度実績	県の 2009 年度の意思伝達装置の給付のすべてを担当。フォローアップも実施。機器の貸し出しと相談が多い。
E	訪問回数 4 回、訪問人数 4 人 (ALS2 人)	機器の導入設定、基本操作の練習、障害時の対応。

表4 関係機関とのつながり

ID	支援依頼元	専門職との連携	ボランティアとの連携
A	保健師、病院、OT、PT	適合は OT ないし PT に要請	ボランティアとの連携 適合終了後、学生ボランティアが訪問講習。重度向けは週 1 回で 8 回まで。
B	販売店、患者団体、病院、行政機関、特別支援学校	各分野の専門職と責任範囲を明確にして支援。初回は専門職に同行して訪問し、その後は調整をメールで実施する。日常的なメンテナンスは PT が行う。	
C	主に更生相談所。時に介護研修センター、病院	訪問リハで OT と協同実施することがある。OT からの依頼も多い。	フリーの支援ソフトはパソコンボランティアに依頼。
D	主に保健師 時に病院 (リハビリテーション科)、在宅患者	ST, PT, OT、訪問看護師、保健師などと連携。OT、ST が訪問の際に交互に支援も。スイッチ入力の初期適合後の操作方法などの指導は、難病相談支援センター職員に依頼することも	パソコンボランティアへの協力依頼あり。
E	病院、在宅患者	意思伝達装置の適合は障害福祉センター (更生相談所) が担当。	

表5 意思伝達装置支援団体が抱える課題

事業運営	自治体からの委託費のみ、あるいは、意思伝達装置とスイッチの販売益のみで必要な支援を行うことは困難。
	販売後も多様なサポート要望があるが、利用者が意思伝達装置導入後の有料サポートを承知しない。
	地域内にサポートする民間会社がないため、公的機関で支援している自治体もあった。
専門機関との連携	医療関係者・支援団体共に意思伝達装置に関連する情報が十分に届いていない。
	病院 (医療) との連携が不足しがち。
ボランティア	ボランティアが定着しない。育成が課題。
	パソコンボランティアでは支援が難しい。
	専門的な要望に対応できる人材が不足しがち。
	医療者とのコミュニケーションやスイッチの適合技能が必要。
	活動拠点や活動費用 (出張旅費、練習用の機器購入等) が不足し、活動に量的・質的制限。

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
森浩一, 岡田美苗, 岡さち子, 丸岡稔典	脳インターフェースは誰が使うのか	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・インターフェースについて	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	in press		2011

[招待講演] 脳インターフェースは誰が使うのか

森 浩一[†] 岡田 美苗[†] 岡 さち子^{†‡} 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 〒359-8555 埼玉県所沢市並木 4-1

[‡] 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: [†] {mori-koichi, okada-minae, maruoka-toshinori}@rehab.go.jp, [‡] 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[†] Minae OKADA[†] Sachiko OKADA^{†‡} and Toshinori MARUOKA[†]

[†] National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities 4-1 Namiki, Tokorozawa, Saitama, 359-8555 Japan

[‡] The Graduate University for Advanced Studies, School of Life Science, Department of Physiological Sciences

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

E-mail: [†] {mori-koichi, okada-minae, maruoka-toshinori}@rehab.go.jp, [‡] 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生じることもある。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ので、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ようである (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、感覚入力の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思われる。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全に行え、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は、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際には、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。音声が使えない場合は音声入力で 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 文字か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、それらが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を意味する。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。

文字入力の手が遅くても、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ないでも使えることと、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.

EEG RESPONSE TO AUDITORY STIMULI WITH JAPANESE LETTERS OF AN ALS-TLS PATIENT

Takenobu INOUE¹, Yuya OTOWA², Misato NIHEI², Motoki SHINO²,
Hisaya TANAKA³, Minoru KAMATA²

1 The National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities,

2 The University of Tokyo, 3 Kogakuin University

INTRODUCTION

ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis) is progressive disease. The physical impairment begins with muscular weakness of upper or lower extremities. Then, it progresses to respiratory insufficiency and facial muscle paralysis. Finally, eye movement is impaired and in TLS (Total Locked-in State). Even though such a severe situation, they are still alive. It is important to improve their QOL.

Brain computer interface (BCI) technology has high potential to make communication for TLS patients. However, most of BCI research and development projects are based on technical interests and very few BCI technologies are available for ALS-TLS patients in practical situation. There are two BCI systems commercially available for TLS patients in Japan; one system uses EEG and another system uses near infrared sensor. One of the problems of their systems is that they only allow the users to select "yes" or "no". It is difficult for the users to express their thoughts actively.

Inoue¹⁾ pointed out a significant problem of current BCI systems and built a new concept of a BCI system for the ALS-TLS patients based on need investigations with the users. Most of the systems need visual function that the ALS-TLS patients are lost. He proposed the BCI system with auditory stimulation of Japanese letters and acquisition of P300.

The purpose of this study is to confirm if the auditory stimulation BCI system can detect P300 signal from the ALS-TLS patient. In order to do it, we first make sure appropriate stimulus method and analysis method with able bodied subjects. And then, we conducted experiments with the ALS-TLS patients.

AUDITORY STIMULUS BCI SYSTEM

Figure 1 shows the concept of the auditory stimulus BCI system that we built. It randomly outputs sounds of Japanese letters; "あ(A)", "い(I)", "う(U)", "え(E)", "お(O)"; from a speaker or head set. Simultaneously, EEG is measured from the user, and then, these data are analyzed in order to detect P300. This system recognizes the letter with the most P300 as the target letter that the user wants to select.

METHODS

Experimental condition

There are three points to make sure with this experiment as follows,

- 1) Analysis method : Maximum analysis, frequency analysis or regression model analysis.
- 2) Stimulation voice : Male or female voice.
- 3) Stimulation rate : 1, 2, or 4 time(s)/sec.

The maximum analysis detects maximum amplitude within certain window and then calculates significant difference¹⁾. The frequency analysis detects frequency power of

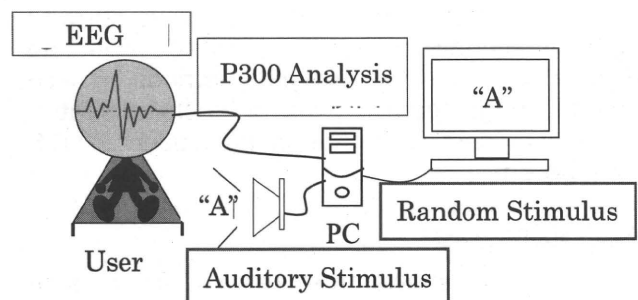


Figure 1: Concept of auditory stimulus BCI system

P300²⁾. The regression model analysis estimates wave model from the data³⁾, and detects the maximum amplitude, then calculates significant difference.

Subject

A subject who cooperates with this experiment was a 59 year old male. He had an onset of ALS 20 years ago and has been in TLS for 10 years. He sometimes uses Mactos system (Technos Japan Co.Ltd) in daily life, that is one of the EEG-base brain communication system.

Procedure

A PC (Dell Precision M65, Microsoft Windows XP), an A/D board (National Instruments, DAQCard-6024E), a 4-chanel amplifier (Digitecs Institute, BA1104-E), 3 electrodes (Fz, Cz, Pz) and a bone conduction hearing aid (Temco Japan, Kiku-chan) constituted measurement system.

After setting the measurement system, we conducted odd-ball trials with 20% higher beep sound and 80% lower beep sound twice.

Then, a letter selection experiment was conducted. In this experiment, 5 auditory stimuli; "あ(A)", "い(I)", "う(U)", "え(E)", "お(O)"; with 20% appearance ratio each was randomly output from the hearing aid until 100 stimulations occurred. We asked the subject to select each letter twice. So, 10 sessions made 1 set for 1 condition. Totally, 6 sets were conducted; 2 voices by 3 rates.

RESULTS

Odd-ball trials

The results of the 2 odd-ball trials showed 100% recognition rate. There was no deference among the analysis methods. These results suggested that the subjects activated brain activities even though he's been in TLS for long time.

Analysis methods

Figure 2 shows the results from each analysis method. The frequency analysis indicated lower recognition rate with every electrode position. Although there is no

significant deference between the maximum analysis and the regression model analysis, the result of regression model analysis from Cz data showed the largest average recognition rate.

Stimulation methods

Figure 3 shows the results with the regression model analysis from each stimulation method. In terms of the voice, the female voice indicated the tendency of higher recognition rate than the male voice in every stimulation appearance ratio.

In terms of the stimulation appearance ratio, the 2 stimuli/sec with female voice indicated the highest recognition rate; 67%, and the 4 stimuli/sec with female voice indicated the secondly highest recognition rate; 60%.

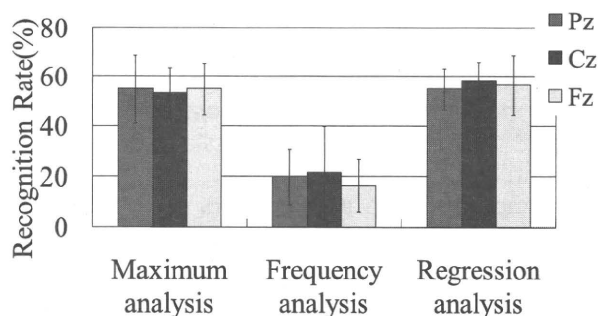


Figure 2 : Results from each analysis method.

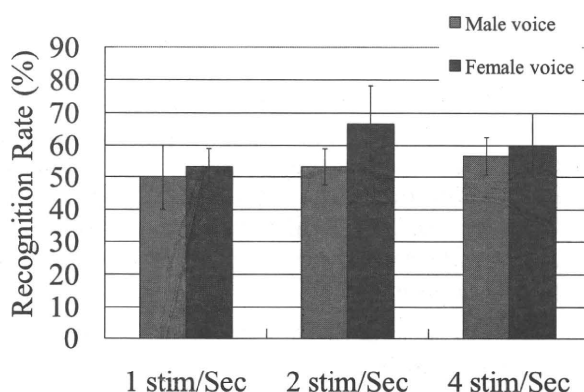


Figure 3 : Results from each stimulation method with regression model analysis.

DISCUSSIONS

Brain activities of the ALS-TLS patient

The results, that we acquired from these experiments, are incredible data, because they suggested that the brain of the subject, who had been in TLS for over 10 years, was activated according to the auditory stimuli. The data from the odd-ball trials shows some sorts of evidence. In addition, the results of experiments with auditory stimuli of Japanese letters also suggested the brain activities of this subject. This trial was one letter selection from 5 letters. Random recognition rate must be 20%, however, the results showed over 60%. It indicated that the subjects responded to intended letter other than the rarely appeared high tone sounds.

These are only pilot data. However, these results showed important possibility of QOL improvement of ALS-TLS patients.

Data analysis method and stimulation method

As the results of this study, the regression model analysis was an effective analysis method on the auditory stimulation BCI system. The results also revealed that the 2 stimuli/sec with the female voice was an effective stimulation method. The appearance ratio is related to selection time. The results of 4 stimuli/sec with female voice indicated secondly high recognition rate. It means that 25 seconds are needed for one letter selection. This seems to be enough fast for communication. We need to take more data in order to make sure the possibility of the 4 stimuli/sec.

Auditory stimulation BCI system with Japanese letters

Japanese letters are very unique because all of the letters have one speech sound. It is a good advantage for the auditory stimulation BCI system. One stimulus corresponds to one letter.

However, it is difficult to select a letter from 46 Japanese letters using P300 signal detection. So, hierarchy structure with 3 levels must be needed. For instance, first we select first part or second part of the letter table, next select a

row from 5 rows, and then select a letter from 5 letters in the row. It assumes that higher recognition rate than 67% is needed. We'll try to confirm the possibility to take higher recognition rate. In addition to it, searching better application for the ALS-TLS patients with such a low rate system is also important. Any expression from the ALS-TLS patients is very significant and impressive for the users, family members and care givers.

CONCLUSIONS

This study tried to confirm if the auditory stimulation BCI system can detect P300 signal from the ALS-TLS patient. As the results, we confirmed the brain activity of the ALS patient who has been in TLS for over 10 years. The results suggested that the regression model analysis and the stimulation condition with 2 stimuli/sec with female voice are effective methods on this system.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by Japanese Ministry of Health Labour and Welfare. We also thank the subject and their family for giving us very kind cooperation.

REFERENCES

- [1] T. Inoue, H. Tanaka, A. Toyohara, M. Shino and M. Kamata, "Development of ERP based-brain-computer interface using audible stimulation with Japanese letters," *Biomechanisms*, vol. 19, pp. 197-209, 2008. (in Japanese)
- [2] N. Murayama, "Brain computer communication system," *J. Clinical EEG*, vol. 50, no. 2, pp. 101-109, 2008. (in Japanese)
- [3] E. W. Sellers, E. Donchin, "A P300-based brain-computer interface: Initial tests by ALS patients," *Clinical Neurophysiology*, vol. 117, 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）になつて、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。もしもかして、「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つきりと覚えてる。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くところに、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⁽¹⁾。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

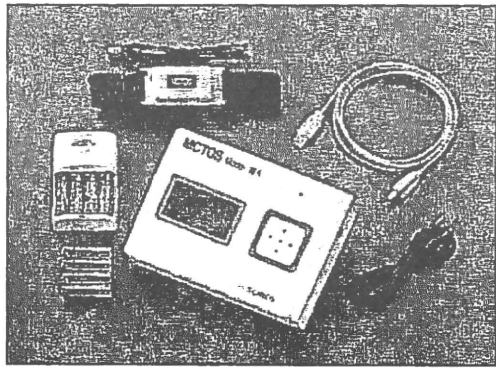


写真1 MCTOS⁽¹⁾

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⁽²⁾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。

MCTOSは、額部分に貼り付けた電極で脳波および眼電位を

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⁽³⁾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

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

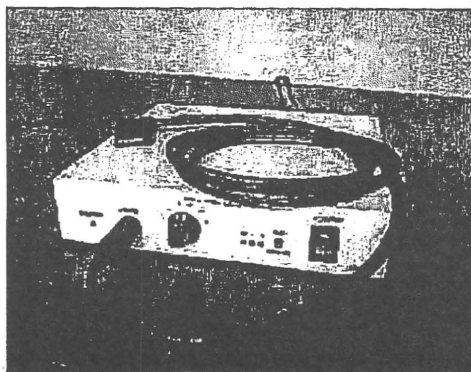


写真2 心語り⁽⁴⁾

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」の二者択一課題に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）
(4) 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



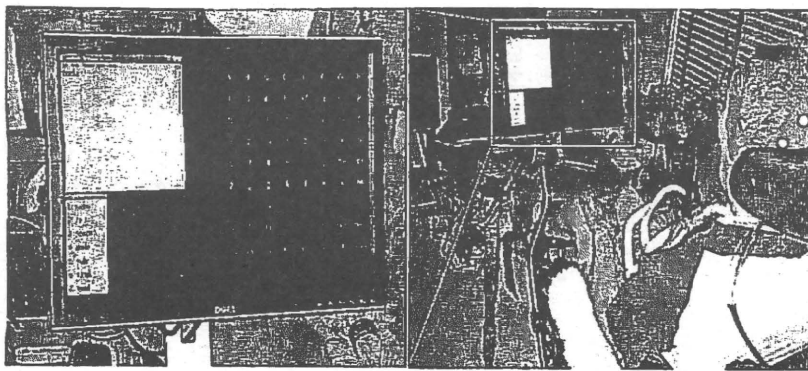


写真3 画面表示を用いたBMIシステム

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つている。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つている。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となつ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⁽⁶⁾

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ー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はしていた。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

さる場合は、顔の動きをつかった

コミュニケーション法やスイッチ

を用いて、速く確実な意思伝達が

可能である。また、コミュニケーション

の内容も豊富であり、インター

ネットを通じたやりとりも行

っている。運動機能が低下するに

つれて、コミュニケーションの量・

内容が制限されていく。b氏、c

氏の場合、眼球のわずかな動きを

用いて、対話者の質問にYes/

Noで答えるのみであった。その

部位も常に動かせるわけではな

く、既存の機器「心語り」などを

が伴わないもの

⑥ 能動的に信号を発すること

ができる機器

⑦ 手術などを必要としないこ

と

a氏は現在スイッチ入力による

正確かつ早い意思伝達を行って

おり、それと同等、もしくはそれ

以上の速度と正確性を希望してい

た。b氏、c氏は、眼球をかるう

じて動かして意思伝達を行って

おり、正確性、速度ともに十分と

言い難い。BCIの機能に対する

要求は控えめであり、既存の機器

性が得られない場合、介助者の経

験的な知識を活用して、介助者

が判断することで、正確性を向上

させることも有効である。文字盤

などによるコミュニケーションで

は、濁音はなくても、想像により

単語を理解できるとの意見が得ら

れた。また、「心語り」では、計

測データがリアルタイムで表示さ

れ、その変化の様子を読み取るこ

とで、介助者が独自に判断する場

合があることであった。

使用するには、訓練や練習が必

要でないことが求められた。例え

したいという要求があった。問い

かけや外部刺激による反応の必要

なく、必要ときに確実に信号を

送ることが求められる。実際、a

氏の場合、介助者への聞き取り中

にも、ナースコールで会話に割り

込む場面が多く見られた。

a氏から、手術などはしたくな

い、との意見が得られた。手術の

負担は、身体的にも精神的にも

大きいものがあり、当事者として

はさけたいとのことであった。

(4) 装置開発において

注意すべき点・問題点

ニーズは、大きく分けて以下の

7点にまとめることができた。

① 速くて正確な意思判定

② 文章による意思表現

③ 介助者による判断を可能と

する機器

④ 訓練が必要でなく、使

用が簡便であること

⑤ 使用に際して、痛みや苦痛

意思伝達装置に100%の正確

es/Noではなく、「文章と

して表現できる」意思伝達装置

である。現状の対話者が「眠たい

か？」などを質問してYes/N

oで答える意思伝達装置を用い

て、文章を作成することは不可能

ではない。しかし、文章作成を目

的とした装置ではないため、実際

に応用するには時間がかかりすぎ

ることが問題となる。

また、使用に際して苦痛を感じ

るものであってはいけない。意思

伝達は日常的に行うものであるか

ら、計測機の取り付けは簡便でか

つ安全なものが要求されている。

a氏からは、自発的に信号を発

したいという要求があった。問い

かけや外部刺激による反応の必要

なく、必要ときに確実に信号を

送ることが求められる。実際、a

氏の場合、介助者への聞き取り中

にも、ナースコールで会話に割り

込む場面が多く見られた。

a氏から、手術などはしたくな

い、との意見が得られた。手術の

負担は、身体的にも精神的にも

大きいものがあり、当事者として

はさけたいとのことであった。

(4) 装置開発において

注意すべき点・問題点

TLS・MCSの患者は、視覚

機能が制限されている。仮に眼球

運動が可能であっても、焦点が合

わせられているか分からない。開

眼を続けるとドライアイとなり負

担が生じるなどの問題があり、モ

ニターを使用するなど、見えてい

ることが前提とした装置は使用困

難である。また、視覚機能を使い

すぎることは、現在動いている目

の動きを悪くするのではないかと

の不安感も語られた。

次に、ベッドや周辺機器の状況

から、大掛かりな装置の設置は難

しい。また、外出することがある場合も含めて、小型、可能であるならば持ち運びが可能な装置が望ましい。装置の操作に当たっては、電極などの取り付けを含めて簡易なものとする必要がある。

3.3 意思伝達装置への要求機能

ALS患者に対する調査結果を受けて、次のように要求機能を抽出した。

- ① 既存の機器よりも速い意思伝達速度
- ② 日本語の50音を選択できる
- ③ 意思判定の可視化により介助者が判断可能とする
- ④ 訓練などが必要でなく、使用が簡便である
- ⑤ 痛みや苦痛が伴わない
- ⑥ 能動的に信号を発することができる
- ⑦ 運動機能および視覚機能を必要としない
- ⑧ 装置として小さい
- ⑨ 非侵襲である

3.4 開発する装置のコンセプト

以上の検討を基に、次のようにコンセプトを決定した。

- ① 表面電極による脳波計測

- ② 事象関連電位P300の利用

- ③ 聴覚刺激によるP300の誘発

- ④ 日本語5音の提示による五者択一課題の採用

まず、手術などの身体的・精神的負荷を避けるために、非侵襲を条件とし、表面電極による脳波の計測を利用することとした。

脳活動の抽出方法は、前述の通りP300を検出することとした。ここで、対象となる重度のALS患者では、視覚機能を必要としないことが要求機能としてあがったため、P300誘発のための刺激には聴覚刺激を用いることとした。

また、自ら文章を作成して意思表示を行うことを目指し、日本語の一字を刺激として使用することとした。さらに、五十音表から一字を選択するために、図1に示す方法を採用することとした。まず、選択したい文字がア行からナ行（前半）にあるか、ハ行からワ行（後半）にあるかを選択する。次に、母音を選択し、最後

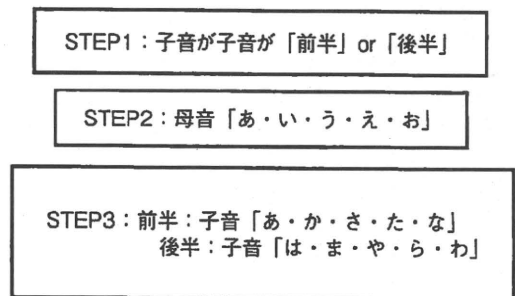


図1 文字選択の流れ

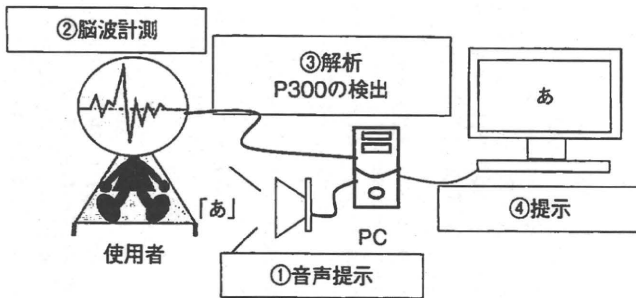


図2 聴覚刺激を用いたBCIシステム

に子音を選択する。この方法では、STEP1では二者択一課題、STEP2および3では五者択一課題を実現する必要がある。システムの概念図を図2に示す。

3.5 検証実験

図2に示すBCIシステムを構築し、これまでに健常者による検証実験を行った⁽⁷⁾⁽⁸⁾。その結果、健常者では「た」「く」「や」の3文字を選択する課題に対して、「た」「こ」「や」と選択され、五者択一課題の認識率は8/9であった。これにかかった時間は15分であり、情報伝達速度を計算すると、10・8 bit/minとなった。視覚刺激型のBCI⁽⁹⁾の23・75 bit/minにはおよばないもの、「心語り」の0・5 bit/minを上回る値となった。

また、TLSのALS患者への適用も試みており、これまでのところ、「あ」「い」「う」「え」「お」の五者択一課題において、オフラインではあるが、1秒間に2回の女性音声による刺激音をランダムに発生し、刺激回数を100回と

した場合、平均で67%の認識率となることが示された⁽¹⁰⁾。

まだまだ、実用段階に達していないとはいえないが、TISでも使用の可能性が示されており、今後の研究次第では、新たな支援ツールの提供が可能と考えている。

4 おわりに

真のニーズをいかにとらえて、必要とされる福祉機器を開発するか。福祉機器開発研究の基本の「き」である。著者がこの分野の仕事をはじめから20年余りになるが、この認識はだいぶ浸透してきたのではないかと思っている。ただ、本当に真のニーズに合致した福祉機器を作っていくのはそう簡単ではないという認識も同時に持つべきである。作っている人が、しっかりとニーズを把握し、最善の策を講じたとしても、それは長い道のりの一つのステップでしかあり得ない。福祉機器はこれくらいでいいだろう。自分自身も含めての反省であるが、そんな考えで福祉機器開発を行っているないだろうか？真のニーズは

無限であり、それを満たすには、先端的な技術をもっと、もっと福祉機器の分野に投入するべきではないだろうか？それを実現するためにも、福祉機器関係者の役割は大きいはずである。日本の科学技術を良い方向に導くために、日本全体での大きな流れが必要とと思う。

参考文献

- (1) 補装具の種類、購入又は修理に要する費用の額の算定等に関する基準、厚生労働省告示第528号、平成18年9月29日。
- (2) 高機能バイオスイッチMCTOS Model WX、株式会社テクノシステムズ、<http://technosjapan.jp/communicate/mctos.html>
- (3) 「心語り」エクセル・オブ・メカトロニクス株式会社、http://www.excel-robotics.com/pdf/ALS_kokorogatari_1.pdf
- (4) シンボジウム脳インターフェース(BCI/BMI)が拓く重度障害者の未来の生活、<http://www.rehab.go.jp/r1/event/2008Symposium/event/BCISymposium2008.html>
- (5) 森浩一、井上剛伸、丸岡稔典、シンボジウムシンボジウム脳インターフェース(BCI/BMI)が拓く重度障害者の未来の生活、報告書「重度障害者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」班(2009)
- (6) 井上剛伸、田中久弥、豊原昂、小竹元基、鎌田実、聴覚刺激由来事象関連電位を利用した意思伝達装置の開発、バイオメカニズム'19、pp.197-209 (2008)
- (7) Madarame T., Tanaka H., Inoue T., Kamata M., Shino M. The Development

- (8) of a Brain Computer Interface Device for Amyotrophic Lateral Sclerosis Patients, 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Singapore, 2008-10-12/14. Proc. of 2008 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.2401-2406 (2008)
- (9) 田中久弥、井上剛伸、ALS患者を対象としたブレイン・コンピュータ・インターフェースの開発、国立障害者リハビリテーションセンター研究紀要'29、pp.11-23 (2009)
- (10) Serby H., Yorn-Tov E., Inbar G.F., An improved P300-based brain-computer interface. IEEE Transactions on Neural System and Rehabilitation Engineering, 13, 1, pp.89-98 (2005)
- (11) 音羽勇哉、二瓶美里、小竹元基、井上剛伸、田中久弥、鎌田実、BCIへの応用を目指した日本語音声刺激に対する脳活動検出手法、第24回リハ工学カンファレンス講演論文集、p.269-270 (2009)

執筆者

井上 剛伸
国立障害者リハビリテーション研究所
福祉機器開発部 部長
〒306-0042
埼玉県所沢市並木4-1
TEL 04-2995-3100 FAX 04-2995-3132

