

201224011B

厚生労働科学研究費補助金  
障害者対策総合研究事業（身体・知的等障害分野）

ブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)による  
障害者自立支援機器の開発

(H22-身体・知的-指定-011)

平成22～24年度 総合研究報告書

研究代表者 中島 八十一

平成25(2013)年3月

厚生労働科学研究費補助金  
障害者対策総合研究事業（身体・知的等障害分野）

ブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)による  
障害者自立支援機器の開発

(H22-身体・知的-指定-011)

平成22～24年度 総合研究報告書

研究代表者 中島 八十一

平成25(2013)年3月

## 目 次

### 総合研究報告

#### I. 総合研究報告（平成 22~24 年度）

----- 1

#### 平成 22 年度

##### II. 総括研究報告（平成 22 年度）

ブレイン-マシン・インターフェイス（BMI）による障害者自立支援機器の開発  
----- 11

中島 八十一

##### III. 分担研究報告（平成 22 年度）

###### 1. システム脳神経科学に基づいた BMI による障害者自立支援機器の開発

----- 21

神作 憲司

###### 2. ロボットスーツ HAL の障害者自立支援機器への展開に関する研究

----- 49

山海 嘉之

#### 平成 23 年度

##### IV. 総括研究報告（平成 23 年度）

ブレイン-マシン・インターフェイス（BMI）による障害者自立支援機器の開発  
----- 55

中島 八十一

##### V. 分担研究報告（平成 23 年度）

###### 1. システム脳神経科学に基づいた BMI による障害者自立支援機器の開発

----- 63

神作 憲司

2. ロボットスーツ HAL の障害者自立支援機器への展開に関する研究	93
山海 嘉之	
平成 24 年度	
VI. 総括研究報告（平成 24 年度）	
ブレイン・マシン・インターフェイス（BMI）による障害者自立支援機器の開発	99
中島 八十一	
VII. 分担研究報告（平成 24 年度）	
1. システム脳神経科学に基づいた BMI による障害者自立支援機器の開発	109
神作 憲司	
2. ロボットスーツ HAL の障害者自立支援機器への展開に関する研究	139
山海 嘉之	
VIII. 研究成果の刊行に関する一覧表	145
IX. 研究成果の刊行物・別刷	149

# 総合研究報告

厚生労働科学研究費補助金(障害者対策総合研究事業(身体・知的等分野))

総合研究報告書

ブレイン-マシン・インターフェイス(BMI)による障害者自立支援機器の開発

研究代表者 中島 八十一 国立障害者リハビリテーションセンター研究所

脳機能系障害研究部長

#### 研究要旨

障害者が脳からの信号で環境制御及びコミュニケーション補助等を行うためのブレイン-マシン・インターフェイス(BMI)技術を研究開発しつつ実証評価を推進した。対象は、筋萎縮性側索硬化症(ALS)、脊髄小脳変性症、頸髄損傷などの患者・障害者を対象とした。視覚誘発性BMIを用いた評価では、視覚刺激の工夫等により、実用に充分とされる操作精度を確保することが出来た。また、現場からの意見をフィードバックさせ、内製のシステム(ソフトウェア部)、脳波計・電極(ハードウェア部)を開発した。ソフトウェア部の開発では、実用化に向けた簡易化を行い、医療従事者等のみでのBMI機器の操作に成功した。多様な生体由来信号に対応するための統一ユーザーインターフェイスの開発も行い、筋電スイッチ入力、視線による入力での動作を確認し、これにより多様な病態への対応を可能とした。ハードウェア部としては、脳波計、BMI用電極および脳波計測用キャップの開発を行い、特に導電性ゲル電極についてはディスポ電極を試作すると共に、市販化に向けた検討も開始した。また、これらと並行して脳からの信号のより効率的な利用のための基礎的な研究も進めた。さらに、脳からの信号で運動補助を行うためのBMI型アシストスーツについては、動作性の向上と、SSVEP方式への対応を行い、それらをもとに日常的に使用可能な軽量アシストスーツの試作を行った。ロボットスーツHALでは、従来装置を改良し下肢用試験システムの開発を推進するとともに、上肢用HALの研究開発を進めた。

#### 研究分担者

神作憲司

国立障害者リハビリテーションセンター  
脳機能系障害研究部脳神経科学研究室長

山海嘉之

筑波大学大学院システム情報工学研究科  
教授

#### A. 研究目的

脳からの信号を計測し、それを利用して機器操作を行い、運動やコミュニケーションの補助、生活環境の制御などを行おうとする、「ブレイン-マシン・インターフェイス(Brain-Machine Interface: BMI)」もしくは「ブレイン-コンピューター・インターフェイス(Brain-Computer Interface: BCI)」と呼ばれる技術が注目されている。本研究では、このBMI技術を障害者が実際に使うべく開発し、障害者が失った機能を取り戻し、活動領域を拡張することを目的とし、研究を進める。

## B. 研究方法

障害者が脳からの信号で環境制御及びコミュニケーション補助を行うための技術を研究開発しつつ実証評価を推進した。そのために内製のシステム（ソフトウェア部）、脳波計・電極（ハードウェア部）を開発した（国リハ）。また脳からの信号で運動補助を行うために上肢アシストスーツも開発した（国リハ、筑波大）。以下に各々について記す。

### B-a. BMI 機器の実証評価

環境制御機器の実証評価は本研究課題で開発した BMI 機器を使用して行い、対象は筋萎縮性側索硬化症（ALS）、脊髄小脳変性症、頸髄損傷などの患者・障害者とした。ALS および脊髄小脳変性症の患者については公立八鹿病院および都立神経病院に入院もしくは通院中の患者とし、病院施設もしくは在宅環境にて実験を行った。

課題には、操作パネルに提示される視覚刺激に対して誘発された脳波信号を頭皮上の脳波電極から計測、解析することで、注目している記号や文字を判別し、外部機器にコマンド送信する P300 方式、もしくは一定の周期での視覚刺激を提示しそれに集中した際の脳活動を計測、解析する定常視覚誘発電位（SSVEP）方式を用いた。

### B-b. BMI の最適化

BMI は開発の余地を残す先端技術であり、実用化に向けては最適化のための研究が必要となる。これまでの研究で、P300-BMI に用いる視覚刺激を輝度の変化（白/灰）から輝度と色（緑/青）の変化とすることで、操作精度と使用感が向上することを見出した

（Takano ら,2009）。そこで本研究では、磁気共鳴画像法と脳波の同時計測（fMRI-EEG）および脳磁図（MEG）を用い、白/灰条件と緑/青条件とを比較することで効率的な BMI の背景にある脳機能を明らかとし、さらなる最適化を目指した。

### B-c. BMI システム(ソフトウェア部)の開発

これまでに構築した BMI システムでは、P300 方式と運動イメージ方式を用いた機器の操作を実現した。本研究では、実用に向けた遠隔地サポート環境や様々な入力方式に対応するための統一ユーザーインターフェイス、さらに医療従事者等による機器運用のためのマニュアルや簡易操作用のボタンなどを作成した。

他にも多機能化として、ワープロ機能の高度化や SSVEP 方式の追加等を行った。また、機器の使用範囲の拡張に向け、拡張現実（AR）を組み合わせた AR-BMI の開発を行った。

さらに、より多くの人が使用可能なシステムをめざし、オープン化に向けたプログラムの再構築や簡易型の BMI システムの開発を進めた。

### B-d. 脳波計・電極(ハードウェア部)の開発

BMI 使用に適した脳波計の開発を行った。これまでに開発した小型脳波計について、サンプリング周波数を 512Hz から 1024Hz に向上させた。これは、これまでに実装を行っていた P300 方式、運動イメージ方式の BMI に加えて、一定周期での視覚刺激を提示する SSVEP 方式を導入するためである。また、BMI 機器の取り回しの向上、および外部からの電氣的雑音の低減を目的として脳波計の無線化も行った。

さらに、BMI 使用に適した電極の開発を行った。BMI に用いる電極は、従来の脳波測定と比較して、より日常的に、かつ長時間にわたり連続的に使用されることが予想される。そのため、装着や取り外しが容易であること、長時間にわたり連続的に使用可能であること、頭皮への負担が少ないことなどの条件を満たす必要がある。しかし従来脳波計測には導電性ペーストが用いられることが主であり、これは髪の間に入り込み使用後に洗髪が必要になるという問題があった。このような問題から BMI 向けの電極の開発を行った。開発した電極は導電性ゲル電極、金属ピンを用いた電極と導電性ゴムを用いた電極の 3 種類であり、金属ピンを用いた電極と導電性ゲルを用いた電極については、従来使用されていた導電性ペーストとの比較と BMI 機器での使用について評価を行った。また、これらの電極とともに脳波計測用キャップの開発も行った。導電性ゲル電極については市販化に向けた検討も始めた。

#### B-e. BMI 型上肢アシストスーツの開発

これまでに、上肢に麻痺を伴う患者・障害者を対象とし、BMI により制御され合目的的動作を行えるアシストスーツ (BOTAS) の開発、BMI による制御訓練に用いるためのバーチャルリアリティシステムの開発、頸髄損傷者および脳卒中患者による BMI 機器としての動作実験等を行った。本研究では、従来から可能であった教示動作の再現に加えて、教示動作の運動速度の調整を可能とするためのソフトウェア開発を行った。また、より容易に動作登録を行うため、二次元空間上における手先の運動開始ならびに終了位置を設定し、躍度最小規範等に基づき各関節

の時系列データを算出する軌道生成アプリケーションを開発した。また、装着者の運動意図を脳波より検出しアシストスーツに反映する際、その随意性を高めるために SSVEP 方式を利用したシステムの実装を行った。

これらに加え、日常生活での使用が可能な軽量な上肢アシストスーツ (BRENDA) の仕様の検討と試作を行った。

#### B-f. 上肢用 HAL の開発

本研究では、BMI による障害者自立支援機器の開発に関して、研究を推進することを目的とし、従来装置を改良することによって、下肢用試験システムの開発推進、ならびに、上肢用試験システム、把持動作支援用のハンド・フィンガー部を準備し、基礎的実験を行う。

現状の BMI 技術による分解能を検討すると、侵襲型であっても非侵襲型であっても高い分解能を期待する事は現時点では困難であるため、検討の結果、本研究では非侵襲型の適用が当面は妥当であると判断し、これを想定して研究を進めた。また、運動機能障害者の自立支援機器として、これまで研究開発を進めてきたロボットスーツ HAL を改良・活用することで研究推進の効率化をはかり、改良型試験装置の製作と基礎実験を行った。

(倫理面への配慮)

ヒトを対象とする本研究は、全てヘルシンキ宣言に基づき、また、申請者の所属研究機関の倫理委員会の承認のもと行った。さらに、本研究の非侵襲脳機能計測法を用いた実験は、日本神経科学学会研究倫理委員会「ヒト脳機能の非侵襲的研究」に関する倫理小委員



会による「ヒト脳機能の非侵襲的研究」の倫理問題などに関する指針等に基づき実施した。被験者及び保護者・関係者から、口頭ならびに文書にてのインフォームドコンセントを徹底し、自発的な同意を得た上で実験を行った。

### C. 研究結果及び考察

環境制御およびコミュニケーションの補助では、開発した機器を用いて患者・障害者を対象とした実証研究を進め（これまで計 55 名）、その結果から、ALS 患者の半数程度が適応になり得ること等を見出した。その他の疾病・障害も合わせ、BMI によるコミュニケーション支援機器のユーザーとして、約 1 万人が見込まれた。

#### C-a. 実証評価

##### C-a-1 ALS 患者による BMI 機器の試用

対象は厚生労働省筋萎縮性側索硬化症の重症度分類 4-5 度に相当する ALS 患者 8 名（女性 3 名、男性 5 名）とし、実験を行った。課題には P300 方式を用いた。ALS Functional Rating Scale (ALSFRS-R) は 0-13 で、発症後 2.2-16.2 年（平均 6.6 年）の経過で、全員が胃瘻処置を受け、1 名を除いて気管切開術を施行されていた。2 名は意思伝達装置（AAC）が使用できず実験者との疎通が不確定であったため、本検討からは除外した。他の 6 名は、発語不能ではあったが文字盤や口の動き、表情で簡単な応答は可能で、担当医師や理学療法士と共に反応を確認しながら実験を行った。ALS 患者 (n=6) 平均では、アイコンが 1 つずつ強調される視覚刺激提示によるデスクライトの操作では平均 67%

の正答率と先行研究と同程度であったが、行と列による視覚刺激提示による文字入力では平均 39% の入力精度であった。ALSFRS-R 低値の患者で正答率が低い傾向を認めた。また、文字が小さくて見難いといった訴えもあった。

##### C-a-2 改変視覚刺激を用いた実証評価

上記の結果を受けて、視覚刺激を改変し実験を行った。ALS 患者 12 名（女性 5 名、男性 7 名、平均 67.0 歳）を対象とし、課題には P300 方式を用い、文字入力のパネルは 2 段階で 1 文字を入力する方式を開発し用いた。入力の選択肢数は 54 とした。第一段階では 6 つの領域（9 文字の背景に円形の視覚刺激を重ねたもの）から、第二段階では 9 つの領域（1 文字ごと背景に円形の視覚刺激を重ねたもの）から選択を行い、文字を入力した。

文字入力の正答率としては、5 割（12 名中 6 名、男性 4 名、女性 2 名、平均年齢 62.0 歳、ALSFRS-R = 0-38、平均 11.3）が先行研究において実用的とされる 70% を越え、平均正答率は 88.9% であった。また、年齢を 65 歳未満（4 名、男女各 2 名、平均年齢 60.0 歳、ALSFRS-R = 0-38、平均 16.8）とした場合、100%（4 名中 4 名）が実用的とされる正答率を越え、その平均正答率は 91.7% となった。ALS 患者数は全国で約 8500 人とされ、その約半数が本機器を実用的な正答率で使用可能であることが示唆された。海外の ALS 患者を対象とした BMI の先行研究 (Nijboer ら, 2008) では 49 択でかつ ALSFRS-R = 0 の患者を除いた条件において、33.3%（6 名中 2 名）が 70% を越える正答率での入力が可能であることが示されている。本システムは、

先行研究では研究の対象から外されていた ALSFRS-R = 0 の患者においても実用可能であり、より優れたシステムであると言える。

### C-a-3 BMI 機器の対象者の拡張

脊髄小脳変性症患者を対象とし実験を行った。課題には P300 方式および SSVEP 方式を用い、P300 方式の実験では、文字入力と環境制御としてのデスクライト操作を、SSVEP 方式では、特定の周波数で明滅する内製の視覚刺激装置を用いデスクライトの点灯を行った。患者 3 名による実験を行ったが、被験者のうち 2 名では視覚の確保等に困難があったため検討から除外した。1 名については P300 方式を用いて試験を行い、その使用が可能であることを確認した。SSVEP 方式によるデスクライトの操作についても、偽陽性なく 100%の精度での動作が可能であった。

さらに、頸髄損傷者による BMI 機器の使用評価を行った。対象は受傷後 12 ヶ月以上の慢性期頸髄損傷者 10 名 (26-53 歳、平均 41.9 歳、男性) および対照健全被験者 10 名 (27-52 歳、平均 42.1 歳、男性) であった。実験には 8×10 マスの文字盤を用い、2 種類の視覚刺激 (輝度、輝度+色) による文字入力を行った。オンライン実行時の頸髄損傷群の平均正答率は輝度条件で 88.0%、輝度+色条件で 90.7%、健全対照群では 77.3%、86.0% であった。頸髄損傷群で正答率が高い傾向が見られたが有意差はなく、輝度条件に対する輝度+色条件での正答率の向上には有意差が認められた。いずれの条件においても正答率が実用の指標とされる 70%を越えており、頸髄損傷においても BMI 機器が使用可能であることが示された (Ikegami ら,2011)。

### C-b. BMI の最適化

P300-BMI に用いる視覚刺激の白/灰条件および緑/青条件において、使用者の脳活動の計測、解析を行った。fMRI では、各条件において両側後頭-頭頂領域の有意な活動を認めた ( $P<0.001$ )。緑/青条件と白/灰条件を比較すると、両側後頭領域が緑/青条件でより強く活動していた ( $P<0.001$ ) (Ikegami ら,2012)。また、MEG を用いて 8-12Hz での Mean Imaginary Coherence を計算し三次元空間での部位に投射したところ、頭頂後頭部を中心に高いコヒーレンスを認めた。特に右頭頂後頭部が顕著であり、この領域に着目した電極配置が有効であることが示唆された。

### C-c. BMI システム(ソフトウェア部)の開発

#### C-c-1 遠隔地サポート環境の構築

システムの実用化に向けて、遠隔地サポート環境を構築した。従来の BMI 実験では研究者が機器の設置、運用を行っていたが、今後の中長期試験に向けて医療従事者等が機器を使用可能とすることや、使用者の増加に伴い従来のオンサイトでのサポートやメンテナンスが困難になる可能性を考慮した。メンテナンス用のネットワークとしては、PC がインターネット等に接続するのは別系統のネットワークとして 3G 接続のポケット通信機器を導入した。この遠隔地サポート環境を使用し、埼玉県所沢市の国立障害者リハビリテーションセンター研究所から兵庫県養父市の公立八鹿病院に設置した機器に対し、システムの起動・終了、脳波計の波形チェック、各種ファイル送信、閲覧および文字によるメッセージ交換を行い、いずれも可能であることを確認した。

また、機器設置マニュアルと電極設置マニュアルおよび簡易操作用のボタンを用いて、2名の被験者(男性、61-68才、ALSFRS-R:0-1)を対象とした試用を行い、機器設置、電極設置、および実験の遂行と実験後の電極除去までを作業療法士等のみで問題無く行うことが出来た。さらに非常に高い正答率での操作が可能であることも確認された。

#### C-c-2 多様な生体由来信号への対応

多様な生体由来信号へ統一的に対応可能なBMIシステムの開発も行った。ALSなどの進行性の疾患においては、機器使用時の残存機能に合わせた入力方法を用いることが多いが、現状では入力方法を変更するのに伴いユーザーインターフェイスも変更する必要があり、使用者の負担が大きくなっていった。そこで、本システムをBMIのみでなく、多様な生体由来信号に対応させることで、病態の変化に伴う使用者の負担を軽減することを目的として検討を行った。追加する入力方式としては、筋電スイッチを代表とするスイッチ入力、視線による入力とし、それらによる入力が可能なユーザーインターフェイスを開発し、その動作を確認した。

#### C-c-3 BMIシステムの多機能化と普及に向けた検討

本システムにおいて日常的に使用される機能の拡充として、予測変換などを含めたワープロ機能の高度化や、登録した音声をもとに本人の音声で文章を再生する機能の実装などを進めた。

また、システムにSSVEP方式を追加した。そのためにSSVEP用の刺激提示手法の開発も行った。これにより、SSVEPや運動イメ

ージによってシステムを起動し、P300により選択を行うシステムの構成が可能となった。さらに、使用可能な範囲の拡張のため、拡張現実(AR)を組み合わせたAR-BMI技術を開発し、実用に十分な精度で動作することを確認した(Kansakuら,2010;Takanoら,2011)。

これらのシステムについて、より多くの患者・障害者が使用可能とするために、システムの公開に向けたオープンソース化の準備を進めている。さらに、SSVEPを用いた簡易型BMIシステムの開発を行っている。

#### C-d.脳波計・電極(ハードウェア部)の開発

##### C-d-1 小型脳波計の改良

新たなBMIの方式に対応するため、これまでに開発した小型脳波計のサンプリング周波数を512Hzから1024Hzに向上させた。それに伴いデータの伝送周期を4Hzから8Hzとした。システムのデータ取得の頻度も向上させた。

##### C-d-2 無線脳波計の開発

取り回しの向上と電氣的雑音軽減のため無線脳波計の開発を行った。計測チャンネル数は8ch+GND+REF、デジタルI/Oは8ch、サンプリング周波数は1024Hz、通信方式は無線LANとした。無線LANは、ローミングによりどれか一つのアクセスポイントに問題が発生した際でも自動的な切り替えに対応し、頑健性が向上し、かつ広範囲での機器の使用が可能となった。

##### C-d-3 乾式、半乾式電極の開発

金属ピン電極と導電性ゴム電極、導電性ゲル電極の3種類の電極を開発した。金属ピン

電極には7本の突起が設けられており、これらの突起内部にはバネが内蔵されていて、頭皮に突起の先端が当たると内側に押し込まれる構造とした。突起は髪の間を抜けて頭皮に接触するように設計した。突起の先端部はサンドブラストにより凹凸に富んだ形状とし、電極の実効面積を増加させることで測定電位の安定を期待した。導電性ゴム電極は、カーボン粒子をシリコンに含有させた導電性ゴムを用いて作成した。導電性ゲル電極については、カルボキシメチルセルロースを支持体としたゲルを作成し十分な導電性を持つことを確認した。

#### C-d-4 開発した電極の評価

3種類のうち人体との十分な導電性が確認された金属ピン電極と導電性ゲル電極について従来の導電性ペーストとの比較を行った。頭皮-電極間のインピーダンスの経時変化の計測と、P300方式のBMIでの試用を行った。電極インピーダンスについては、計測開始時には導電性ゲル電極とペースト電極とではほぼ同等だったが、数時間後、導電性ペーストでは乾燥によりインピーダンスが増加したのに対し、導電性ゲル電極についてはそうしたことはなかった。金属ピン電極については、導電性ペースト、導電性ゲル電極と比較して高いインピーダンスを示した。P300方式での試用については、導電性ゲル電極ならびに金属ピン電極のどちらも問題なくBMI機器の操作精度が確保できた(Toyamaら,2012)。

これらを受けて、導電性ゲル電極についてディスプレイ電極の試作を行うと共に、市販化に向けた検討を始めた。また、開発した電極に関わる技術については、TLOを通して特許

出願を行った。

#### C-e. BMI型上肢アシストスーツの開発

合目的的動作を可能とするアシストスーツ(BOTAS)の開発を行った。制御コマンドの改良および軌道生成プログラムの開発によって、装着者ごとの柔軟な運動課題の設定が可能となった。頸髄損傷者1名、健常被験者2名が、P300方式によりアシストスーツを動作させることに成功した。また別の健常被験者1名により、右上肢の運動イメージにより生起する脳波の1ch制御符号化にも成功した。

さらにSSVEPを利用したアシストスーツ駆動実験において、健常者9名による検証では、平均して3~5秒程度でSSVEPを検出しアシストスーツを駆動させることに成功した。さらに、頸髄損傷者3名による検証においても、SSVEPによるアシストスーツ駆動が可能であり、健常者とほぼ同等のパフォーマンスを示すことが確認された。

これらの結果を踏まえ、日常生活において使用可能な軽量上肢アシストスーツ

(BRENDA)の仕様検討と試作品の開発を行った。

#### C-f. 上肢用HALの開発

研究開発方針に従って、従来から研究開発を進めてきた下肢用試験システムの開発推進、ならびに、上肢用試験システム、把持動作支援用のハンド・フィンガー部を当該研究開発推進のために改良を行い(機構的/電子的/制御論的機能の拡充)、動作試験等の実験を継続している。

従来より開発を進めてきた装着型サイバニックハンド・フィンガーに改良を加え、ま

た、従来より開発を進めてきた上肢用 HAL についても改良を加え、動作検証を実施した。さらに、単関節下肢用 HAL のインタフェース部に対して、BMI との連動が可能となるよう、機構的/電子的/制御論的機能の改良を行っている。更に、BMI に関しても可能な範囲で試行を実施した。システム全体を組み上げてゆく過程で、要素技術が機能していることを確認するために、簡単なシステムを構成し、脳活動パターンの信号を用いて基礎実験を試みた。

#### D. 結論

BMI の研究開発をすすめていくためには、基礎医学・臨床医学と工学などの、分野間の連携を推進していく必要がある。本研究では、分担研究者の神作が、システム脳神経科学に基づき、脳から効率的に有益な情報を抽出するための研究を行うとともに実用的 BMI システムの提案・開発を行った。また分担研究者の山海は、システム情報工学の立場から研究を進めた。そして主任研究者の中島が、それらの統括を行った。こうした取り組みをさらにすすめ、BMI の応用・実用化へとつなげたい。

#### E. 健康危険情報

なし

#### F. 研究発表

##### 国内

- ・口頭発表 83 件
- ・原著論文による発表 13 件
- ・それ以外(レビュー等)の発表 18 件

##### 国外

- ・口頭発表 35 件
- ・原著論文による発表 31 件
- ・それ以外(レビュー等)の発表 3 件

##### 1. 論文発表

###### 原著論文

Toyama, S., Takano, K., Kansaku, K. A nonadhesive solid-gel electrode for a non-invasive brain-machine interface. *Frontiers in Neurology*, 3:114, 2012.

Ikegami, S., Takano, K., Wada, M., Saeki, N., Kansaku, K. Effect of the green/blue flicker matrix for P300-based brain-computer interface: an EEG-fMRI study. *Frontiers in Neurology*, 3:113, 2012

Takano, K., Hata, N., Kansaku, K. Towards intelligent environments: an augmented reality-brain-machine interface operated with a see-through head-mount display. *Frontiers in Neuroscience*, 5:60, 2011.

Ikegami, S., Takano, K., Saeki, N., Kansaku, K. Operation of a P300-based brain-computer interface by individuals with cervical spinal cord injury. *Clinical Neurophysiology*, 122: 991-996, 2011.

Taal, SR and Sankai, Y. "Exoskeletal Spine and Shoulders for Full Body Exoskeletons in Health Care," *Advances in Applied Science Research*, Vol.2 (6), pp. 270-286, 2011

Yamawaki K., Kawamoto H., Eguchi K., Nakata Y., Sankai Y. and Ochiai N., Gait training for a spinal Canal Stenosis Patient using Robot Suit HAL -A Case Report-, *Proceedings of the 5th world congress of the International Society of Physical and Rehabilitation Medicine*, pp.66-68, 2011 .

Kansaku, K., Hata, N., Takano, K. My thoughts through a robot's eyes: an augmented reality - brain - machine interface.

Neuroscience Research, 66: 219-222, 2010.

Suzuki, K., Mito, G., Kawamoto, H., Hasegawa, Y, Sankai, Y., Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patient with Robot Suit HAL, Climbing and Walking Robots, pp.383-408, 2010

林 知広, 岩月 幸一, 長谷川 真人, 田上 未来, 山海 嘉之, “自力運動困難な麻痺患者に対するロボットスーツを用いた新しい随意運動訓練—重度脊髄損傷患者への臨床適用—”, 生体医工学. Vol. 50 No. 1, pp. 117-123 2012

長谷部浩二, 河本浩明, 上林清孝, 松下明, 山海嘉之. 段階的な臨床試験プロセスによる人支援型ロボット開発の提案, 日本ロボット学会誌. vol.29 (3), 14-18, 2011.

#### 総説

神作憲司. BMI による障害者自立支援. リハビリテーション医学. 49(10): 704-709, 2012.

神作憲司. BMI による環境制御とコミュニケーションの補助. ヒューマンインタフェース学会誌. 13(3): 15-18, 2011.

#### 抄録・プロシーディング

Ikegami, S., Takano, K., Kondo, K., Saeki, N., Kansaku, K. Effect of visual stimuli in P300-based brain-computer interface for ALS patients. The 42nd Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Oct 2012; New Orleans, USA.

Komatsu, T., Takano, K., Nakajima, Y., Kansaku, K. Development of a unified user interface ready for EEG and other signals for ALS patients. The 42nd Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Oct 2012; New Orleans, USA.

Sakurada, T., Kawase, T., Kansaku, K. A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities: asynchronous control based on high frequency SSVEP. The 42nd Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Oct 2012; New Orleans, USA.

Kawase, T., Sakurada, T., Kansaku, K. A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities: A combination of EEG and EMG. The 42nd Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Oct 2012; New Orleans, USA.

Takano, K., Sekihara, K., Iwaki, S., Kansaku, K. Mapping functional connectivity during P300-BCI: an MEG study. The 41st Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Nov 2011; Washington, DC, USA.

Sakurada, T., Takano, K., Kansaku, K. A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities: a combination of sensorimotor rhythm, P300 and SSVEP. The 41st Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Nov 2011; Washington, DC, USA.

Ora, H., Komatsu, T., Nakajima, Y., Kansaku, K. A BMI based environmental control system: a combination of sensorimotor rhythm, P300 and SSVEP. The 41st Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Nov 2011; Washington, DC, USA.

Kansaku, K., Takano, K. AR-BMI for operating home electronics in a robot's environment. The 40th Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Nov 2010; San Diego, USA.

Takano, K., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. AR-BMI operated with a HMD: effects of channel selection. The 40th Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Nov 2010; San Diego, USA.

Ikegami, S., Takano, K., Wada, M., Saeki,

N., Kansaku, K. FMRI activities during P300-BCI: a comparison of white/gray and green/blue flicker matrices. The 40th Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Nov 2010; San Diego, USA.

Komatsu, T., Takano, K., Ikagami, S., Kansaku, K. A development of a BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities. The 40th Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Nov 2010; San Diego, USA.

Taal, S. and Sankai, Y., Practical Design of Full Body Exoskeletons, International Conference on Biomedical Electronics and Devices (BIODEVICES 2010) January 20-23, 2010, Valencia, Spain

#### 書籍

神作憲司. 神経難病の生活を支援する BMI. 「CLINICAL REHABILITATION」別冊: 神経難病疾患のリハビリテーション-ケーススタディーを通して学ぶ. 江藤文夫, 中馬孝容, 葛原茂樹 (監修). 医歯薬出版, pp. 31-37, 2012.

Kansaku, K. Brain-Machine Interfaces for persons with disabilities. Systems Neuroscience and Rehabilitation. (Eds) Kansaku, K., Cohen, L.G., Tokyo, Springer, pp. 19-33, 2011.

#### 2. 学会発表

##### 講演等

Kansaku, K. Intelligence house based on brain-machine interfaces. Symposium on Brain-Machine Interfaces: from laboratory to society. The 35th Annual Meeting of Japan Neuroscience Society. September 2012; Nagoya, Japan. (symposium organizer)

神作憲司. BMI 技術のリハビリテーション分野への応用. 日本神経回路学会/神経科

学・リハビリテーション・ロボット工学のシナジー効果に関する研究会+Brain-IS 研究会. 2011 年 6 月; 北九州. (基調講演)

山海嘉之. サイバニクスを駆使したロボットスーツ HAL の現状と近未来, 第 29 回ロボット学会学術講演会. 2011 年 9 月; 東京. (特別講演)

神作憲司. ブレイン-マシン・インターフェイス(BMI)による障害者自立支援. 第 48 回日本リハビリテーション医学会学術集会・パネルディスカッション. 2011 年 11 月; 千葉.

#### H. 知的財産権の出願・登録状況

##### 1. 特許取得

外山滋, 神作憲司, 高野弘二. 脳波測定用電極、脳波測定用部材、及び、脳波測定装置. (特願 2011-262032, PCT/JP2012/080707). 出願日 2011.11.30.

外山滋, 神作憲司, 高野弘二, 池上史郎. 脳波測定用電極、脳波測定用電極付きキャップ及び脳波測定装置. (特願 2009-257366). 出願日 2009.11.10. (特願 2010-119930). 出願日 2010.5.25.

発明の名称: 装着式動作補助装置のキャリブレーション装置, 及びキャリブレーション用プログラム. 出願人: 筑波大学. 出願番号: 特願 2010-181601

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし

平成 22 年度



厚生労働科学研究費補助金(障害者対策総合研究事業(身体・知的等分野))

総括研究報告書

ブレイン-マシン・インターフェイス(BMI)による障害者自立支援機器の開発

研究代表者 中島 八十一 国立障害者リハビリテーションセンター研究所

脳機能系障害研究部長

## 研究要旨

ブレイン-マシン・インターフェイス(BMI)による障害者の活動領域拡張のため、視覚刺激による脳波信号を用いて生活環境を制御する装置(BMI-ECS)等障害者自立支援機器を開発する。本年度は、これまでのシーズをもとに、BMI機器のさらなる多機能化に向けた研究開発を進め、より使用範囲を拡張するための積極的なAR技術の利用、定常視覚刺激を用いるSSVEP方式の追加、脳波計の小型化に向けた機能水準検討のための新規プログラム開発、より自由な他動運動を可能とさせるためのBMI型上肢アシストスーツ用新規プログラム開発、より着脱が容易で連続使用可能である電極開発等を行なった。また実証評価として、ALS患者を主対象とし病室と自宅でのBMI機器の使用実験を進め、問題点を抽出し機器開発にフィードバックした。またシステムの最適化に向けて各種神経画像手法を用いて脳信号特性を調査する研究も並行した。さらに、ロボットスーツHALを改良・活用し、下肢用試験システムの開発推進、ならびに上肢用試験システム、把持動作支援用のハンド・フィンガー部を準備し、実験を行った。

## 研究分担者

神作憲司

国立障害者リハビリテーションセンター  
脳機能系障害研究部脳神経科学研究室長

山海嘉之

筑波大学大学院システム情報工学研究科  
教授

## A. 研究目的

脳からの信号を計測し、それを利用して機器操作を行い、運動やコミュニケーションの補助、生活環境の制御などを行おうとする、「ブレイン-マシン・インターフェイス(Brain-Machine Interface: BMI)」もしくは「ブレイン-コンピュータ・インターフェイス(Brain-Computer Interface: BCI)」と呼ばれる新技術が注目されている。

本研究では、このBMI技術を障害者が実際に使うべく開発し、障害者が失った機能を取り戻し、活動領域を拡張することを目的と

し、研究開発を進めている。

## B. 研究方法

BMI 技術を障害者が実際に使うべく開発し、障害者が失った機能を取り戻し、活動領域を拡張させるために、本研究では、BMI による障害者自立支援機器の開発を行っている。

これまで、脳波を用いた BMI による障害者の生活環境制御に向けて、特定の視覚刺激を注視した際に生じる P300 様脳波信号を利用した環境制御システム (BMI-ECS) を中心に研究開発してきた。まず、この視覚刺激を工夫し、システムの効率化を行った。さらに、拡張現実 (AR) 技術を組み合わせ、システムの機能拡張を図った。また、脳磁図 (MEG) を用いて背後の信号特性を調査し、システムのさらなる最適化に向けた研究も行った。上記開発中の BMI-ECS を国産の装置上で実現化するための研究も行い、システム開発 (ソフトウェア) を重点的に行った。また、運動の補助に向け、BMI 型上肢パワーアシストスーツの開発も行った。

本年度は、こうしたこれまでのシーズをもとに、BMI 機器のさらなる多機能化に向けた研究開発を進め、より使用範囲を拡張するための積極的な AR 技術の利用、定常視覚刺激を用いる SSVEP 方式の追加、脳波計の小型化に向けた機能水準検討のための新規プログラム開発、より自由な他動運動を可能とさせるための BMI 型上肢アシストスーツ用新規プログラム開発、より使用を容易とするための着脱が容易で連続使用可能である電極開発等を行なった。また実証評価として、ALS の方を主対象とし病室と自宅での BMI

機器の使用実験を進め、問題点を抽出し機器開発にフィードバックした。またシステムの最適化に向けて各種神経画像手法を用いて脳信号特性を調査する研究も並行した。

さらに、ロボットスーツ HAL を改良・活用し、下肢用試験システムの開発推進、ならびに上肢用試験システム、把持動作支援用のハンド・フィンガー部を準備し、実験を行った。

## C. 研究結果

脳波を用いた BMI による障害者の生活環境制御に向けて、特定の視覚刺激を注視した際に生じる P300 様脳波信号を利用した環境制御システム (BMI-ECS) を研究開発した。これまでのシーズをもとに、この BMI-ECS のさらなる多機能化に向けた研究開発を行った。まず、より使用範囲を拡張するための積極的な AR 技術の利用に向け、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を活用した手法の開発を行い成功した。また、定常視覚刺激を用いる SSVEP 方式の追加に向けた開発を行った。

さらに、上記開発中の BMI-ECS を国産の装置上で実現するための研究開発も継続し、脳波計の小型化に向けた機能水準検討のための新規プログラム開発を行った。また、より着脱が容易で連続使用可能である電極開発を行ない、特許申請を行った。

また、実証評価として、ALS の方を主対象とし病室と自宅での BMI 機器の使用実験を進め、問題点を抽出し機器開発にフィードバックした。さらに、システムの最適化に向けて各種神経画像手法を用いて脳信号特性を調査する研究も並行し、特に今年度は、機

能的磁気共鳴画像 (fMRI) と脳波 (EEG) の同時計測手法および脳磁図 (MEG) を利用した研究を行った。

BMI による運動の補助としては、より自由な他動運動を可能とさせるための BMI 型上肢アシストスーツ用新規プログラムを開発した。

また、分担研究者の山海は、従来から研究開発を進めてきた HAL を基に改良を加え、下肢用試験システムの開発推進、ならびに、上肢用試験システム、把持動作支援用のハンド・フィンガー部を当該研究開発推進のために改良を行い(機構的/電子的/制御論的機能の拡充)、動作試験等の実験を継続した。

また、これらシステム全体を組み上げてゆく過程で、要素技術が機能していることを確認するために、簡単なシステムを構成し、脳活動パターン of the 信号を用いて基礎実験を試みた。

#### D. 考察

BMI の研究開発をすすめていくためには、基礎医学・臨床医学と工学などの、分野間の連携を推進していく必要がある。本研究では、分担研究者の神作が、システム脳神経科学に基づき、脳から効率的に有益な情報を抽出するための研究を行うとともに実用的 BMI システムの提案を行っている。また分担研究者の山海は、システム情報工学の立場から研究を進めている。そして主任研究者の中島が、それらの統括を行っている。こうした取り組みをさらにすすめ、BMI の応用・実用化へとつなげたい。

#### E. 結論

BMI を用いた生活環境制御装置による日常生活の補助や、コミュニケーションの補助、アシストスーツによる運動の補助を介して、障害者が失った機能を取り戻し、活動領域を拡張していく可能性が示された。

#### F. 健康危険情報

なし

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

論文：原著

Ikegami, S., Takano, K., Saeki, N., Kansaku, K. Operation of a P300-based brain-computer interface by individuals with cervical spinal cord injury. *Clinical Neurophysiology*, (in press).

Kansaku, K., Hata, N., Takano, K. My thoughts through a robot's eyes: an augmented reality – brain – machine interface. *Neuroscience Research*, 66: 219-222, 2010.

新宮正弘,江口清, 山海嘉之, バイオフィードバックを用いたポリオ経験者の筋神経系制御能力の改善とロボットスーツ HAL による麻痺肢動作支援, *日本機械学会誌(C編)*, 76 巻, 772 号, pp. 3630-3639, 2010

Oshima, S., Sankai, Y., Development of Optical Sensing System for Noninvasive and Dynamic Monitoring of Thrombogenic Process,

*ASAIO Journal* 56(5):460-7, 2010

佐藤帆紡, 川畑共良, 田中文英, 山海嘉之, ロボットスーツ HAL による移乗介助動作の支援, *日本機械学会誌(C 編)*, 76 巻, 762 号, pp.227-235, 2010

Suzuki, K., Mito, G., Kawamoto, H., Hasegawa, Y., Sankai, Y., Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patient with Robot Suit HAL, *Climbing and Walking Robots*, pp.383-408, 2010

論文: 総説

神作憲司. 発達と脳内機構. *小児の精神と神経*. 50(4): 368-371, 2010.

神作憲司. 脳波による家電操作: シリーズ・リハを支えるテクノロジー最前線 *Journal of Clinical Rehabilitation* 19(11): 1012-1016, 2010.

神作憲司. ブレイン・リーディング *Clinical Neuroscience*. 28(9): 1069-1071, 2010.

池上史郎, 神作憲司. ブレイン・マシン・インターフェイス (BMI) の今後の展開 *作業療法ジャーナル*. 44(4): 292-297, 2010

神作憲司. 脳からの信号で家電を操作. *日本肢体不自由児協会報「はげみ」*. 335; 13-18, 2010.

神作憲司. 脳波信号で操作する環境制御装置. *日本 ALS 協会会報*. 80; 36-37, 2010.

論文: 抄録・プロシーディング

Kansaku, K., Takano, K. AR-BMI for operating home electronics in a robot's environment. Program No. 295.22. 2010 *Abstract Viewer/Itinerary Planner*. San Diego: *Society for Neuroscience*, 2010. Online.

Takano, K., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. AR-BMI operated with a HMD: effects of channel selection. Program No. 295.18. 2010 *Abstract Viewer/Itinerary Planner*. San Diego: *Society for Neuroscience*, 2010. Online.

Ikegami, S., Takano, K., Wada, M., Saeki, N., Kansaku, K. FMRI activities during P300-BCI: a comparison of white/gray and green/blue flicker matrices. Program No. 688.13. 2010 *Abstract Viewer/Itinerary Planner*. San Diego: *Society for Neuroscience*, 2010. Online.

Komatsu, T., Takano, K., Ikegami, S., Kansaku, K. A development of a BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities. Program No. 295.9. 2010 *Abstract Viewer/Itinerary Planner*. San Diego: *Society for Neuroscience*, 2010. Online.

Wada, M., Takano, K., Ikegami, S., Kansaku, K. Role of the left temporoparietal junction for arm crossing. *Neurosci Res*, Suppl. (in press)

Takano, K., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. Augmented reality-brain-machine interface operated with a see-through head mount display. *Neurosci Res*, Suppl. (in press)