

め、SSVEP を生起する上限周波数のおおよそ 10 倍、1,024Hz の時間解像度を脳波計に与える機能拡張を行った。それにともない、脳波計のデバイスドライバおよびラッパークラスが更新された。

128 サンプルずつ脳波データを PC へ取り込むため、サンプリング周波数 512Hz の旧脳波計では平均 4 回毎秒の転送処理を行っていたが、本年度の仕様では 8 回のそれを行うよう改められた。対応するよう、BCI コアも更新を行った。



図 2 : SSVEP 用光刺激提示キューブ

またこの案件に付随して、来年度以降の SSVEP 型 BCI の研究開発に向け、光刺激提示用キューブ（約 30mm 立方。内部構造は図 2 参照）およびその母機を開発した。母機は LAN に接続され、COM ポートリダイレクタ経由で制御コマンドを受け付けることによって操作される。通常は BMI クライアントから脳波に基づいてコマンドを発行するが、任意の端末より手動でコマンド入力することも可能である。母機はキューブを無線（2.4GHz 帯）により複数台制御することが出来、それぞれに異なる発光周期を設定可能である。設定済みのキューブをバッテリーと接続することで、見かけ上は単能でスタンドアロンの SSVEP 用光刺激装

置として機能する。

既に一昨年度より、P300 型 BCI 用のパネルは階層構造（例えば、4×4 に格子配置された ECS パネルで TV アイコンを脳波により選択すると、チャンネルや音量調節などが並ぶ TV 操作専用パネルへと表示が切り替わる）化が可能となっている。それらのデザインは、実行ファイルへ手を加えることなく XML で記述された設定ファイルにより、パネルサイズを 3×3 から 4×4 へと変更する、新たに Skype 用のアイコンを追加する、TV 操作パネルに含まれるチャンネルアイコンを変更する、といったユーザの環境や要求にあわせたカスタマイズが可能である。

しかしその変更を行うためには、多少とも専門的な XML の知識および BMI システムのアーキテクチャに関する理解を要し、本 BMI システムが一時的にせよ研究開発スタッフの手を離れてフィールドテストへ投入される際には障害となることが予測されていた。

そこで今年度は、オペレータが XML の存在をまったく意識せず、P300 型 BCI 用パネルのデザインを変更することが出来る『BMI フラッシャー編集用ソフトウェア』を開発した（図 3）。本アプリはアイコンやパネルのデザインを目視しながら、その配置や機能あるいは表示サイズといった諸パラメータの変更を可能ならしめるものである。



で医療・福祉スタッフなどが、特殊な知識なしに P300 型 BCI パネルのデザインを環境や要求にあわせてカスタマイズ可能となった。

#### D. 考察

今年度までに開発された一連の BMI システムのうち、BMI クライアントはこれまでのところ Windows 環境に縛られているが、特定のプラットフォームへの依存は望ましい事ではない。これは現状、脳波計用のデバイスドライバが Windows 用しかないこと（画面表示まわりは OpenGL で実装されているため、比較的移植性が保たれている）に因る。よって脳波計デバイスドライバの移植を目下検討中である。

#### E. 結論

これまで P300 型、運動イメージ型と 2 つのアルゴリズムにより動作してきた BCI コアへ、新たな脳機能信号として SSVEP を追加するアーキテクチャ拡張が行われた。また BMI システムの一環として、LAN 経由で制御可能な SSVEP 用光刺激装置が開発され、接続された。それにより来年度から、SSVEP 型 BCI の研究開発などが行われる目処がついた。

また、医療施設および在宅といった現場

### 分担研究課題 (小課題) : BMI 用脳波電極の開発

#### A. 背景と目的

BMI に用いる電極は、従来の脳波測定に比べてより日常的に、かつ長時間にわたって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、電極交換の手間がかからないように数日乃至数週間の長期にわたって連続的に装着可能であること、頭皮への負担が少ないことなどの諸条件を満たすものでなくてはならない。

しかし、これまでに用いられている脳波測定用電極は、頭皮と電極との間のインピーダンスを下げるために、使用前に電極の上に導電性ペーストを充填するものが多く使われている。ペーストを使用する場合、頭髪が電極と頭皮との間に挟まっても、ペーストが頭髪の裏に回り込むため電極と頭皮との間の導通が確保される。しかし、ペースト式電極の場合、装着の度に電極にペーストを充填するので手間がかかる他、電極を取り外した後に頭髪や頭皮に残るペーストを除去しなければならない。このため、ペーストを使用しないペーストレス型電極が求められている。

そこで、本研究では BMI に使用可能な電極の開発を行うことを目的とした。理想的には、目的とするペーストレス電極は以下の性質を満たすべきである。

- ①十分な柔軟性を有することで、頭皮上で加圧すると髪の毛の間を容易に通り抜けて頭皮に達すること。
- ②使用後に頭皮や髪の毛に残留しにくいこと。
- ③高い導電率を有するとともに使用中に成分の乾燥などにより導電率の低下が起こ

らないこと。

- ④頭皮に接触しても危険性がないこと。
- ⑤長期保存が可能であること。

我々は、昨年度までにこれらの条件を満たすものとして、導電性ゲル型電極を開発した。これは、カルボキシメチルセルロースをゲルの支持体とし、電解質として塩化カルシウムを用いたものである。開発の結果、ほぼ上記の条件は満たされ、実際にこのゲルを使用したところ、従来のペースト電極と比べて遜色の無い脳波測定が可能であった。このことから、ひとまずは BMI 用途に向けた新しい電極が開発されたと言える。しかし、この電極は、使用毎に交換するため、やや手間がかかるという課題が残された。そこで、本年度は非交換式(繰り返し使用型)の電極の開発を目指した。ただし、その実現には様々な方式の電極が考えられ、実際に金属製の電極や導電性ゴム電極を検討した。以下、その開発状況や結果について報告する。

#### B. 脳波キャップの開発

これは実際には昨年度から継続して開発されていたものであるが、今回あらためて報告する。ここで説明する脳波キャップとは、複数の電極の挿入口を有し、頭に被ることで電極を頭部に固定するものである(図 1)。脳波キャップ自体は従来より外国製で同様のものがあるが、必ずしも日本人の頭部形状に適合したものではない。そこで、本研究ではより使いやすいものとするために自主的な開発を目指した。



脳波キャップは数種のものを開発、改良してきた。現在の物は電極を固定する部分には伸縮性の少ない素材を、その他の部分は伸縮性のある素材を用いている。また、顎の部分でマジックテープによりキャップを固定することも出来る構造となっている。これにより、多様な形状の頭部に対応しつつ、位置が大きくずれることなく電極をしっかりと頭部に固定できる様になった。

特に電極を取り付ける部分は、内径 15mm、厚さ 10mm の孔のあいたシリコンでできており、電極がしっかりと固定される様に、約 1mm のピッチの溝がらせん状に刻まれている。使い方としては、まずキャップを頭に被って固定し、次にキャップ上の複数の孔に電極を取り付けるという手順である。

導電性ゲル電極の場合は、あらかじめチップ化して準備されたゲルをこの孔に順点したのち、ケーブルの付いた蓋(ゲルとの接触面は Ag) で孔を押さえて用いる。蓋の側面には上記のシリコン製取付部と同じピッチの螺旋が刻まれている。また、金属製電極の場合は、電極にケーブルが直接接続されており、これを孔に挿入する(図 2)。導電性ゴムの場合は、ゲルの場合と同様、チップ状の導電性ゴムを孔に入れて、上からケーブル付き蓋で押さえて用いる。



図 1 開発した脳波キャップの一例

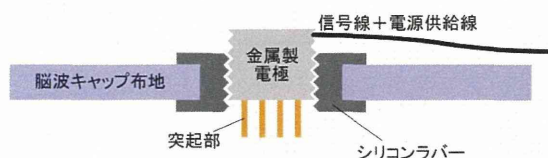


図 2 脳波キャップの電極取付部  
(断面構造)

### C. 伸縮型金属製電極

図 3 に開発した電極の写真を示す。この電極の構造は何度も改良を加えたが、結論から言えば、最終的に図 4 の様な構造になっている。電極には計 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おり、頭皮に突起の先端が突き当たると内部に押し込まれる様になっている。突起の反対側にはケーブルが接続されており、ここから脳波の測定信号が、電極内蔵のバッファ回路に送り込まれる。信号はバッファ回路で増幅はされないが、これにより電極から脳波計測器までの経路上でノイズを受けにくくなる(いわゆるアクティブ電極)。また、バッファ回路には 0.5Hz のハイパスフィルタ回路も同時に組み込まれており、測定信号のドリフトがこの段階で除去される。

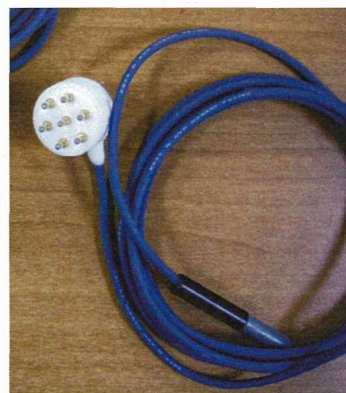


図 3 開発した伸縮型金属製電極

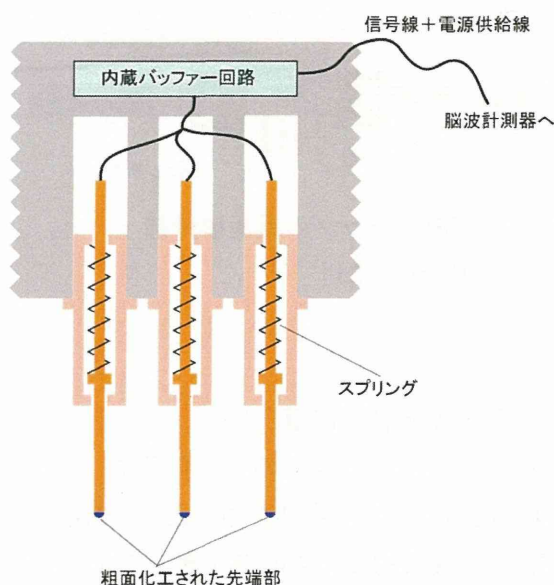


図 4 伸縮型金属製電極の内部構造

電極の先端に突起を設けたのは、電極を頭部に押し当てる際に、髪の毛の間を通り抜けて頭皮に接触しやすくするためである。さらに細部の工夫として、突起と鞘との摺動によるノイズを避けるために、突起からバッファ回路へと配線した(当初は鞘に信号線を接続していた)。

また、突起の先端部は、サンドブラスト法により、凹凸に富んだ形状になっている(図 5)。これは、電極の実効面積を増加することで、皮膚と電極との間に介在する電解質(頭皮から滲出したものなど)と、電極との接触面積が増加して測定電位の安定性が増すことを期待したものである(図 6)。

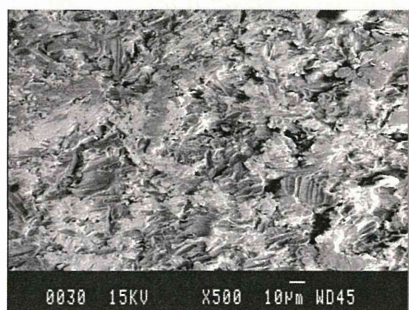


図 5 粗面加工された突起先端部

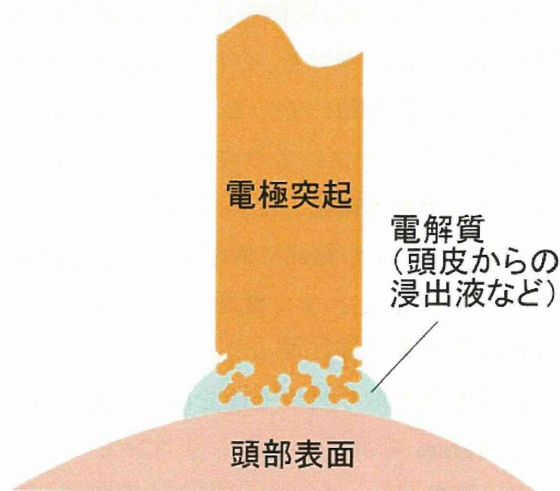


図 6 突起先端部と頭皮との接触部分の想像図

#### D. 導電性ゴム電極

金属製電極は、上記の様に容易に取付が可能でかつ優れた導電性を示し、脳波の測定が可能であるものの、先端部が硬質であるため、取付方によっては頭皮を傷つける恐れがある。頭皮に接触する際にはより柔らかい素材が求められる。そのためカーボン含有したゴム電極の開発を試みた。

最初にグラファイト含有シリコンゴムによる電極を外注により作製したが、十分な導電性が得られなかった。

そこで、同じ金型を用い、別途入手したカーボン粒子をシリコンに含有させ、独自に電極を作製した。カーボン粒子含有率 10%では、テスターで測っても数十  $\Omega$  程度と優れた導電性が得られた。しかし、含有率 10%では、カーボン粒子とシリコンとの均一な混練が困難であり加工性が悪かった。一方、含有率 5%では、混練は極めて容易であるものの導電性に問題があった。そこで、含有率



7.5%のものを作製したところ、加工性も良く、かつ優れた導電性を持つ物が得られた(図 7)。

しかし、作製した電極を用いて脳波測定を試みたところ、実際には測定は困難であった。その理由は良くわからないが、導電性ゴムの先端にわずかに導電性ペーストを付けてから用いたところ、脳波が良好に測定できた。恐らく、ゴムの最表面と頭皮との間には何らかの理由で接触抵抗が生じるものと考えられる。



図 7 カーボン粒子含有導電性シリコンゴム電極

#### E. まとめ

本研究では、BMI のための様々なタイプの脳波電極の開発を試みた。その結果、昨年度は使い捨て型電極として、導電性ゲル電極

を開発した。そして、本年度は繰り返し使用型電極として、伸縮型金属製電極、及びカーボン粒子を利用した導電性ゴム電極を開発した。また、それらの電極を共通して用いることのできる脳波キャップを開発した。

本研究により開発した複数のタイプの電極には一長一短があり、使用状況に応じて使い分けることでその長所を引き出せるものと考えられる。

導電性ゲル電極の様に使い捨て型の場合は、使用毎に交換するので衛生上優れている。一方、伸縮型金属製電極や導電性ゴム電極の場合は、交換不要なため、直ぐに装着して用いることができる、ランニングコストが安いなどのメリットがある。

なお、導電性ゲルを用いた電極の電極構造に関する特許の申請を昨年度に TLO を介して行っているが、本年度は伸縮性金属電極をも包含する内容で同特許の修正申告を行った(特願 2009-257366; 特願 2010-119930)。

### 分担研究課題（小課題）：BMI 型上肢アシストスーツの開発

#### A. 研究目的

上肢に麻痺のある患者を対象としたこの課題では、BMI により制御され、使用者の目的通りの動作およびその補助を可能とする、動力付き外骨格を開発した。これを『BMI 型上肢アシストスーツ』と呼称する。

一昨年度においては、BMI により制御され手指による把持動作を行えるアシストスーツ、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、それら二者の作成を行った。そして、頸髄損傷による四肢麻痺の方および脳卒中による左半身片麻痺の方による BMI 機器としての動作実験を行ない、脳波のみによる高い精度での操作が実現可能であることを確認し、コメントを頂いた。昨年はそれらを踏まえて装着時の調整可能部分の追加、合目的動作を可能とするための自由度や駆動系の拡充、筋電計の開発等も行った。

これらを踏まえて本年度は、従来から可能であった教示動作（オペレータが機体を実際に動かして記憶させた動作）の再現に加えて、各関節を任意に動作可能とするシステムソフトウェアのアップデートを行った。以下その詳細について記載する。

#### B. 研究方法

昨年度までの開発機について

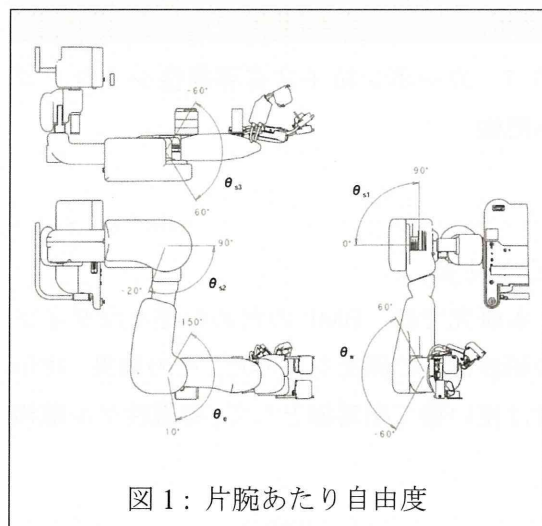
本開発機は、主に脳からの信号により、上肢の合目的動作およびその補助を行うものとして開発をすすめている。ここではまず、昨年度までの開発機に関して、ハー

ドウェアの設計思想と仕様、安全性、制御用システムソフトウェアについて概略を述べる。

ハードウェアの設計思想と仕様

本開発機は上肢の動作および補助を目的として開発されている。また、使用者に触覚フィードバックを残せるように、手の平など身体の内側を可能な限り覆わない構造を採用している。

アシストスーツ一式は、背負い式の体幹フレーム、開リンク構造をもつ二対のアーム（腕状で屈伸可能な構造）およびエンドエフェクタ（手指状で開閉可能な構造）、それらへの駆動力供給ボックスから成り、商用 100V 電源により動作する。



動作の自由度は片腕あたり 5+3 を有する（図 1）。そのうち 6 自由度（手指 3、回内外、肘、肩 各 1）について、アクチュエータによる動作が可能となっている。それにより、装着者のリーチング（ある座標への、腕による到達運動）やグラスピング（把持

運動)を可能とする。出力バランスの要求水準は、成人男性の 97.5 パーセントイルが 500ml ペットボトルを把持可能であることとした。

#### 安全性について

安全性についてはソフトウェア、ハードウェア両面からの対策を行っている。ソフトウェアとしては力覚センサを利用し、使用者に一定以上の負荷がかからないようにする機能、および、角度センサを利用し、事前に設定した可動域以上の角度での動作を防ぐ機能を搭載した。ハードウェアとしては緊急停止スイッチを設置、アシストスーツと人体との固定部分に面ファスナーを使用し、緊急時の装着解除を容易とした。他に各部位に極度の負荷がかかった際、ワイヤの破断等をもって装着者の保護を行うよう強度設計を行った。これによりアクチュエータが制御不能な状態に陥った場合でも機器が破損することで、人体が保護される。

#### 制御用システムソフトウェアについて

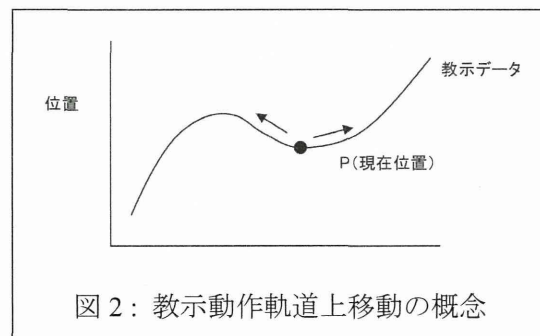
先ず、昨年度までのシステムソフトウェアについて示し、その後に本年度の改良部分について示す。

本開発機の目標の一つとして、作業療法様の合目的的動作を可能とすることがあり、そのためシステムソフトウェアについても、既に教示された合目的的動作の再現を中心として機能を提供する。機能としては動作の教示、記録、外部機器間との動作データの読み書き、他に安全性の項目で触れた力覚センサや角度センサによる動作制限機能を提供する。

#### 昨年度の開発機における問題点

昨年度までの開発により実装された教示動作の再現は、そのみで合目的的動作を行わせることが困難である。例えば“パンを自分の手で食べる”という動作において、パンの場所が指の把持可能範囲から外れた場合の修正を教示動作に基づいて行うならば、任意の手先位置から別の位置への軌道をあらかじめ全て教示しておかねばならず、非現実的な運用となる。また、動作再現を中断し、他の動作へうつることなども困難であった。

そこで本年の開発では、システムソフトウェアの改良によって、昨年度に今後の予定としてあげた現在位置からの関節角度の微調整(新規機能[1])や、教示した動作軌道上を任意に移動する機能(新規機能[2])を実装し、より広汎な使用を可能とした。



#### 新規機能について

##### [1] 現在位置からの関節角度の微調整

本機能が実装されたことにより、従来は事前に教示された動作のみが実行可能であったのに対して、状況に合わせて動作の微調整を可能とする。機能としては各可動関節の角度を指定することで動作、その角度を実現する。この際動作の軌道生成は行わず手指 3 関節以外の動作は個別に行うこと



で不意の事故を防ぐ仕様になっている。

## [2] 教示動作軌道上移動

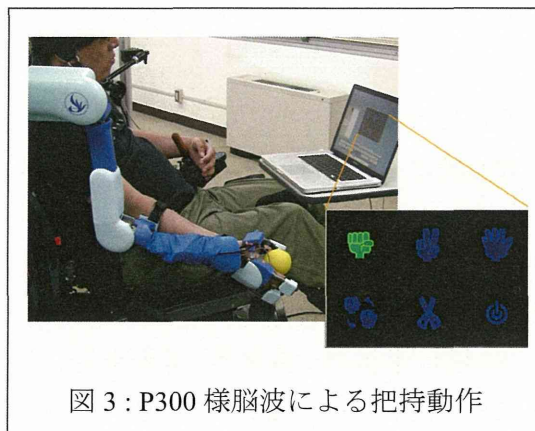
既に教示された動作軌道上の点を指定し、その場所までの動作を再現、および逆再生を可能とする(図2)。機能としては複数の教示した動作から一つを選択し、動作中の再現部分を指定することで動作し、長い動作の一部再現や、動かしづらい場所の集中的なリハビリテーションなどを実現する。この際、軌道途中での再現停止も可能となっているため、その部分から、前述した関節角度の微調整の機能を組み合わせることで、動作のバリエーションを増やすことが可能となっている。

## C. 研究結果

昨年度までの開発に引き続き、合目的的動作を可能とするアシストスーツの開発を行った。新規機能を追加することで、安全性を保持しつつ、より広汎な状況に対応可能となった。

これまで、脊髄損傷被験者1名、健常被験者2名が、P300様脳波由来の制御符号によりアシストスーツを動作させることに成功した(図3)。また別の健常被験者1名が、右上肢の運動イメージにより生起する脳波

の1ch制御符号化に成功した(Komatsu, et al., 2010, Soc Neurosci Abstr)。



## D. 考察

このアシストスーツは現在のところ、片腕あたり数10kgの駆動力供給ボックスを必要とし、再配置可能ではあるが持ち運びは困難である。体幹フレームも、背負い式ではあるが実運用上は車椅子の背面に接続して装着者の負担軽減をはかっている。

現状においても、作業療法様のリハビリテーション動作を行う装置(神作、松田、特許第4618795号、特願2005-206468)としてはその使用が可能であるが、将来的には身につける形で使用可能な軽量化を行ない、日常的に仕様可能なBMI機器を目指して開発を進めていきたい。

A. 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.

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., Ikagami, 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)

Ikegami, S., Takano, K., Saeki, N., Kansaku, K. Operation of the P300 brain-machine interface in individuals with chronic cervical spinal cord injury. *Neurosci Res, Suppl.* (in press)

Iwaki, S., Takano, K., Kansaku, K. Parieto-temporal activity is correlated with the sense of agency during visual target tracking. *NeuroImage, Suppl.*, 141MT-AM, 2010.

#### 書籍

Kansaku, K. Brain-Machine Interfaces for environmental control and communication. *Systems Neuroscience and Rehabilitation.* (Eds) Kansaku, K., Cohen, L.G., Tokyo, Springer Verlag, (in press)

Kansaku, K. The Intelligent Environment: Brain-Machine Interfaces for Environmental Control. *Smart Houses: Advanced Technology for Living Independently.* (Eds) Ferguson-Pell, M., Stefanov, D., Berlin, Springer Verlag, (in press)

## 2. 学会発表

### 一般口演・ポスター

Wada, M., Takano, K., Ikegami, S., Kansaku, K. fMRI activities in the left temporoparietal junction during arm crossing. *Conference on Systems Neuroscience and*

*Rehabilitation (SNR2011).* March 2011; Tokorozawa, Japan.

Takano, K., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. AR-BMI operated with a see-through HMD: effects of channel selection. *Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation (SNR2011).* March 2011; Tokorozawa, Japan.

Ikegami, S., Takano, K., Saeki, N., Kansaku, K. P300 BMI performance in individuals with chronic cervical spinal cord injury. *Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation (SNR2011).* March 2011; Tokorozawa, Japan.

Komatsu, T., Takano, K., Ikegami, S., Kansaku, K. A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities. *Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation (SNR2011).* March 2011; Tokorozawa, Japan.

池上史郎、高野弘二、小松知章、和田真、神作憲司、佐伯直勝. 頸髄損傷者を対象としたブレイン-マシン・インターフェイス (BMI) . 第 40 回 千葉大学脳神経外科医会研究会. 2010 年 11 月; 千葉.

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., Ikegami, 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.

Wada, M., Takano, K., Ikegami, S., Kansaku, K. Role of the left temporoparietal junction for arm crossing. *The 33rd Annual Meeting of Japan Neuroscience Society*. September 2010; Kobe, Japan.

Takano, K., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. Augmented reality-brain-machine interface operated with a see-through head mount display. *The 33rd Annual Meeting of Japan Neuroscience Society*. September 2010; Kobe, Japan.

Ikegami, S., Takano, K., Saeki, N., Kansaku, K. Operation of the P300 brain-machine interface in individuals with chronic cervical spinal cord injury. *The 33rd Annual Meeting of Japan Neuroscience Society*. September 2010; Kobe, Japan.

池上史郎、高野弘二、佐伯直勝、神作憲司. ブレイン-マシン・インターフェイス (BMI) による上肢運動補助の試み. 第 12 回 日本ヒト脳機能マッピング学会. 2010 年 6 月; 東京.

Iwaki, S., Takano, K., Kansaku, K. Parieto-temporal activity is correlated with the sense of agency during visual target tracking. *The 16<sup>th</sup> Annual Meeting of the Human Brain Mapping*, Jun 2010; Barcelona, Spain.

#### 講演等

神作憲司. 脳情報の医療福祉応用. ヘルスクエア脳情報クラウド研究会. 2011 年 3 月; 東京.

神作憲司. 医療福祉分野における実用的なブレイン-マシン・インターフェイス (BMI). 知的障害者・児と IT 勉強会. 2011 年 1 月; 東京.

神作憲司. 脳からの信号を利用する:ブレイン-マシン・インターフェイス. 第 40 回千葉大学脳神経外科医会研究会. 2010 年 11 月; 千葉. (ランチョンセミナー講師)

神作憲司. ブレイン-マシン・インターフェイス(BMI)技術の医療福祉応用. 第 2 回神経難病リハビリテーション・ワークショップ. 2010 年 6 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)の実用化に向けて. 第 6 回 Hyogo Neuroscience Seminar. 2010 年 4 月; 神戸. (特別講演)

Kansaku, K. NRCD researches I: Brain-Machine Interfaces for persons with disabilities. *Conference on Systems Neuroscience and Rehabilitation (SNR2011)*. March 2011; Tokorozawa, Japan.

神作憲司. BMI 技術を利用した障害者自立支援. 第 26 回日本義肢装具学会学術大会. 2010 年 10 月; 川越.

神作憲司. 非侵襲型 BMI による生活環境制御. 第 12 回日本ヒト脳機能マッピング学会. 2010 年 6 月; 東京.

神作憲司. 発達と脳内機構. 第 103 回日本小児精神神経学会研究大会. 2010 年 6 月; 東京

## B. 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、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.

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

厚生労働科学研究費補助金 (活動領域拡張医療機器開発研究事業)

分担研究報告書

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に関する研究

分担研究課題名 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

研究分担者 山海 嘉之 筑波大学大学院システム情報工学研究科教授

研究要旨

本研究は、活動領域拡張医療機器開発事業として、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に関して、研究を推進するものである。BMI に関しては、非侵襲型のインタフェースを用いることとし、また、障害者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。本年度は、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、実験を行った。

A. 研究目的

本研究では、活動領域拡張医療機器開発事業として、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に関して、研究を推進することを目的としている。

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。

B. 研究方法

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ている。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う。

(倫理面への配慮)

人支援技術の研究開発の推進には、被験者に対する適切な対応が求められるため、当該研究では、厚生労働省の臨床研究に関する倫理指針を遵守した。

C. 研究結果

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 (図 1)、さらなる小型軽量化や制御精度向上を目指し、現在改良試作および動作検証を進めている。準備を進めている上肢と接合すべく改良を加えている。



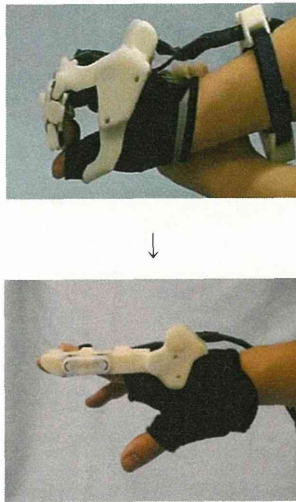


図1 装着型サイバニックハンド・フィンガー(改良版)

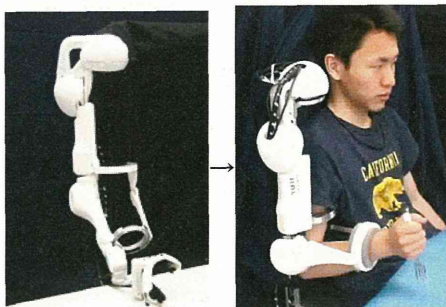


図2 上肢用 HAL

また、従来より開発を進めてきた上肢用 HAL についても図 2 に示すような改良を加え、動作検証を実施中である。

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。図 4 に示すような試作品を制作した。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ている。

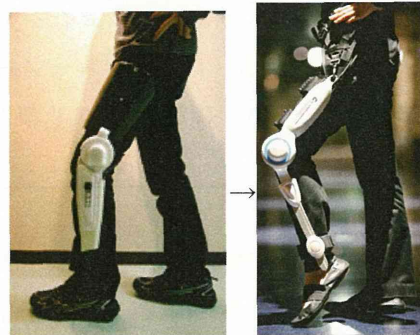


図3 単関節下肢用 HAL(インタフェース改良版)

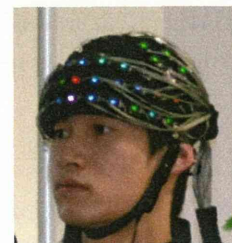


図4 新開発 BMI ヘッドセット

#### D. 考察

各要素の技術的な改良を行なうことができた。システム全体については、現在、全体の動作検証を進めている。別途インタフェースユニットを構成することも検討する。

#### E. 結論

当該研究推進のため、機構的／電子的／制御論的機能を自律システムとして適用できるように要素技術の研究開発を進めることができた。

F. 健康危険情報

該当なし

G. 研究発表

(これまでの関連研究の成果を含む)

1. 関連する論文発表
- 1) Yoshiyuki Sankai, "HAL: Hybrid Assistive Limb Based on Cybernetics", Robotics Research, The 13th International Symposium ISRR, pp.25-34, 2010.
- 2) Tasuku Otsuka and Yoshiyuki Sankai, "Development of Exo-Finger for Grasp-Assistance", Proc. of Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, pp. 410-415, 2010
- 3) Atsushi Saito and Yoshiyuki Sankai, "Hybrid Sensor for Measurement of Brain Activity", Proc. of Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems(SCIS&ISIS2010), pp. 428-433, 2010
- 4) Kousuke Hiramatsu and Yoshiyuki Sankai, "Development of Manipulation System with Cybernetic Master Arm based on BES", Proc. of Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems(SCIS&ISIS2010), pp. 422-427, 2010
- 5) Hiromasa Hara and Yoshiyuki Sankai, "Development of HAL for Lumber Support", Proc. of Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems(SCIS&ISIS2010), pp. 416-421, 2010
- 6) Hiroaki Kawamoto, Stefan Taal, Hafid Niniss, Tomohiro Hayashi, Kiyotaka Kamibayashi, Kiyoshi Eguchi, and Yoshiyuki Sankai, "Voluntary Motion Support Control of Robot Suit HAL Triggered by Bioelectrical Signal for Hemiplegia", Proc. of 31st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, pp.462-466, 2010
- 7) 木村 和正, 青沼 和隆, 山海 嘉之, "心房細動における Complex Fractionated Atrial Electrograms の自動判定に関する研究", 生体医工学会, 49 巻 1 号, 2011 年
- 8) 古場 隼人, 中田 金一, 秋山 謙次, 折目 由紀彦, 高森 達也, 山海 嘉之, "血管系の数理モデルによる動脈抵抗の評価:動物実験による検証", 生体医工学会, 49 巻 1 号, 2011 年
- 9) 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
- 10) Shiori Oshima, Yoshiyuki Sankai, "Development of Optical Sensing System for Noninvasive and Dynamic Monitoring of Thrombogenic Process", ASAI0 Journal 56(5):460-7, 2010
- 11) 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
- 12) Hayato Koba, Kin-ichi Nakata, Yoshiyuki Sankai, "Assessment of Coronary Artery Bypass Grafting based on the Dynamics Characteristics of the Vascular System: Verification by Computer Simulation", Joint 5th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 11th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (SCIS&ISIS 2010), Okayama, Japan, 8-12, Dec., 2010
- 13) S. Tsujimura, H. Yamagishi, Y. Sankai, "Development of a Bidirectional Data Communication System Using Ultra High Frequency Radio Wave for Implantable Artificial Hearts", Proc. of IEEE Tencon 2010, Fukuoka, Japan, 21-24, Nov., 2010, pp. 1746-1751
- 14) Kenta Suzuki, Gouji Mito, Hiroaki Kawamoto, Yasuhisa Hasegawa, Yoshiyuki Sankai, "Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patient with Robot

SuitHAL”, Climbing and Walking Robots, pp.383-408, 2010

2. 関連する学会発表

(これまでの関連研究の成果を含む)

- 1) 塚原 淳, 長谷川 泰久, 山海 嘉之, 意思推定機能を有するHALによる完全脊髄損傷患者のための歩行支援 -マネキンによる歩行実験-, 第11回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会 (SI2010), pp. 291-294, 仙台 (2010).
- 2) 大島 志織, 山海嘉之, 光センサを搭載した無侵襲プレ血栓検出システムの開発, 第13回日本栓子検出と治療学会, 2010.11.20, 福岡.
- 3) 大島 志織, 山海嘉之, 計算機解析と in-vitro 実験による赤血球凝集の光学特性と活性化凝固時間の比較, 第13回日本栓子検出と治療学会, 2010.11.19, 福岡.
- 4) 大島 志織, 山海嘉之, 光学的手法を用いた栓子の無侵襲検出法, 第13回日本栓子検出と治療学会, 2010.11.19, 福岡.
- 5) Shiori Oshima, Yoshiyuki Sankai, “Prediction of Thrombus Formation with Non-invasive Optical Monitoring System”, 18th Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, October 2010, Berlin, Germany.
- 6) Shiori Oshima, Tadashi Motomura, Yoshiyuki Sankai, and Yukihiro Nose’, “In vitro assessment of cardiac recovery supported by rotary blood pump LVAD”, 18th Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps, October 2010, Berlin, Germany.
- 7) 佐藤帆紡, 山海嘉之, ロボットスーツ HALによる移乗介助動作支援時の装着者と介助動作対象者に関する基礎的主観評価, 第28回日本ロボット学会学術講演会, RSJ2010AC2J1-7, 2010.
- 8) 古場隼人, 中田金一, 山海嘉之: 動脈における血管抵抗の評価: 血管系の数理モデルによる血管診断のための手法の提案. 生体医工学シンポジウム2010. 2010.9.10. 札幌.
- 9) 白石直人, 山海嘉之, 無線・小型で取り扱いの容易な脈波伝播速度計測装置, 生体医工学シンポジウム2010, 2010.9.10, 札幌.
- 10) 木村和正, 山海嘉之, 青沼和隆, 心房細動における心房内異常電位検出に関する研究, 生体医工学シンポジウム 2010, 2010.9.10, 札幌.
- 11) 白石直人, 山海嘉之, 在宅健康管理のための健康機器情報自動認識装置の開発, 第9回情報科学技術フォーラム, 2010.9.9, 福岡.
- 12) 古場隼人, 中田金一, 秋山謙次, 折目由紀彦, 高森達也, Drost Cornelis J, 谷口由樹, 山海嘉之: バイパスグラフとの吻合部における血管抵抗の推定. 第15回日本冠動脈外科学会学術大会, p.106, 2010.
- 13) Stefan Taal and Yoshiyuki Sankai, “Practical Design of Full Body Exoskeletons”, International Conference on Biomedical Electronics



and Devices (BIODEVICES 2010)  
January 20-23, 2010, Valencia, Spain

### 3. 著書

1) ロボットスーツ「HAL®」開発・実用化への舞台裏, 中央公論, pp. 78-85, 2011 年 3 月号

### H. 知的財産権の出願・登録状況

(これまでの関連研究の成果を含む)

#### 1. 関連する特許取得(平成 22 年度 出願)

1) 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) 発明の名称: 診断装置

出願人: 筑波大学

出願番号: 特願 2010-198554

#### 2 実用新案登録

該当なし。

平成 23 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、これまでに開発している機器を利用し、筋萎縮性側索硬化症(ALS)等を対象とした実証評価を推進し、患者・障害者や病院スタッフ等からのフィードバックを受けつつ、新たな視覚刺激を考案するなど実用的なBMI機器としてのさらなる機能拡充を進めた。また、機器操作の簡略化を行うとともに遠隔地間サポートシステムを実装し、研究者が同席せず作業療法士等のみによる機器使用を実現した。筋電や視線等複数の生体由来信号への機器対応を可能とする等、実用化に向けた研究開発も行った。さらに、脳波計についても小型化、無線化を進めた。BMI型アシストスーツについては、軌道生成手法を改善する等、より簡易で随意性の高い機器使用を可能とした。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