

で対応が可能になる。開発環境としてラピッドプロトotypingには Borland 社製の、本実装には Microsoft 社製の統合開発環境 (RAD) を導入した。システムの実行環境には現状最も一般的である WindowsXP を選定した (ただし動作試験は Vista 環境でも並行して行っている)。

昨年度すでに実装されたものとしては、ハードウェアとして脳波を計測する『脳波計』、以下ソフトウェアとして、計測された脳機能信号を処理、判別を行ない ECS 用符号にエンコードする『BCI 論理エンジン』、それらを受けて外部機器や他の一般アプリケーションを制御する『BMI アプリケーション』がある。そしてそれらを結ぶインタフェースについても基本的には実装済みであり、昨年度の段階でも技術実証機 (デモンストレータ) として一通りの動作は可能であった。

詳細は以下、結果の項にて触れる。ただし脳波計については他稿を参照されたい。

C. 結果

昨年度に引き続き、開発の一部は企業への委託として行った。

一連の BMI-ECS 開発のうち、本分担課題として昨年度に実装が完了したのは

-
- [1] 脳波計デバイスドライバ DLL (dynamic Link library) のラッパークラス
- [2] 視覚応答型 BCI 用論理エンジン
- [3] 視覚刺激用の画面描画モジュール
- [4] VR 技術を利用した模擬的な生活環境
-

であった。本年度のソフトウェア開発はこれを継承し拡張するものであるため、基本的な方向性に変化はない。

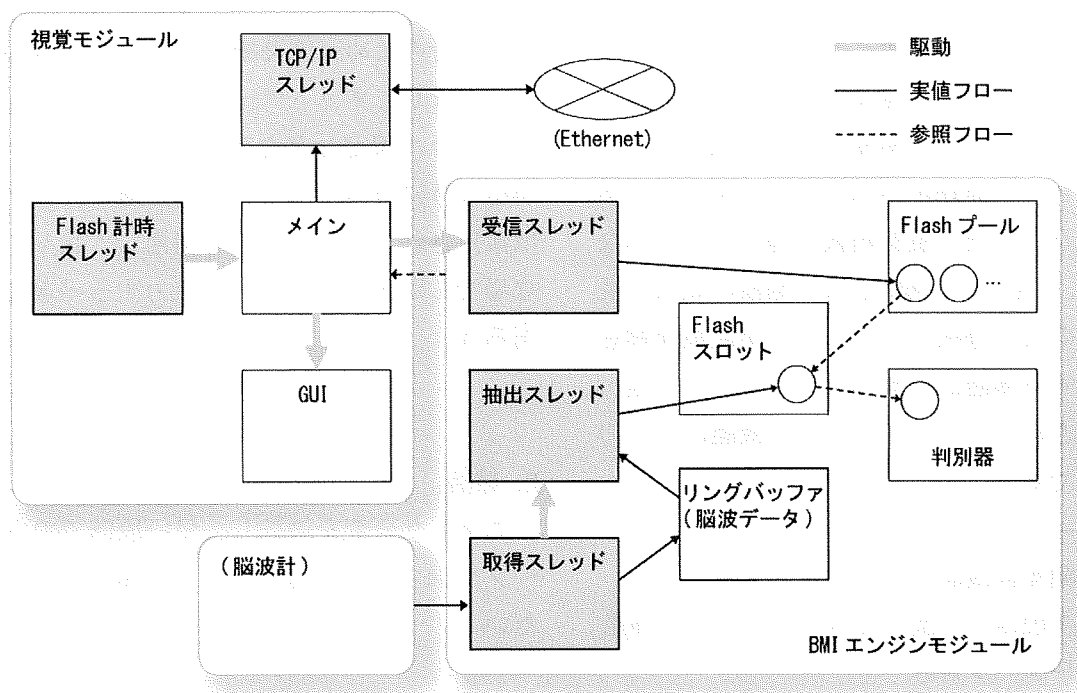


図 1 データ取得から判別までの流れ

本年度、本研究チームは、性能向上、小型化された脳波計の開発も行った。そのため、PC 接続用のデバイスドライバもそれに対応したものへとアップデートされた。具体的にはチャンネル拡張や、データ欠損を検出しやすい転送プロトコルの導入が主である。よって同ドライバ用のラッパークラス [1] も更新を行った。

BMI-ECS のコアともいえる [2] は、引き続いてソフトウェアの拡充が行われた。本年度は特に BMI-ECS クライアント用の PC が、ベッドサイドへの設置や将来的には電動車椅子への車載を見越し、徹底して小型化がはかられたため、論理エンジンの利用可能な処理リソースはむしろ昨年度より限られている（特に CPU および GPU の能力において）。よってその環境でも動作が問題なく行えるよう、さらなるモジュール化の徹底や、負荷を考慮し低負荷時に集中して脳波の判別を行えるアルゴリズムなどの追加がなされている。

もっともユーザサイドの技術要素である [3] については、視覚刺激それ自体の描画に加え、それにより駆動される各種アプリケーションの描画が追加された。例えば文字入力パネルなら視覚刺激を提供するのみならず、[2] により判別された脳波の結果を受けての文字選択と並行し、予測変換候補を提示する機能が追加されている。その他、追加されたアプリケーション機能は以下の通りである。

- 予測変換機能つきテキスト入力
- 音声読み上げ及び音声ファイル再生機能
- 電子メール対応
- Skype 対応

D. 考察

来年度分の作業としては主に機能面つまりアプリケーションによる対応となる。一例として、論理エンジンと VR 生活環境およびアシストスーツとを結ぶプロトコルは、それぞれ暫定的なものが個別に実装されている。暫定とは機能面に不備不足があるという意味ではなく、いわゆる実運用を考慮されたレベルではなく、当座必要な機能のみをカバーした実装ということである。ただしこれを完成させることは、来年度の本分担として考慮すべきではない。

その理由としてはいわゆる黒物家電が一足先に DLNA 規格などでネットワーク化され、残る白物家電などもダイワハウスによるスマートホーム実験に代表されるようにネットワーク下に組み込んでの制御という機運が盛り上がりつつあるという現状がある。我々は組織の立ち位置として、家電メーカーなどへ強くコミットするところには居ない。そのため家電実機の改造による BMI 対応、ましてネットワーク家電向けの BMI プロトコル策定などを手掛けるのは、我々が行なうに最適であるとは言い難い。我々は策定されたプロトコルを利用して我々の立場でしか出来ないことに注力すべきであろう。

E. 結論

こうした研究を継続し、早い段階でのトータルシステムの運用データ収集へと向きたい。

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

ブレイン-マシン・インターフェイス (Brain-Machine Interface: BMI) は、脳からの信号を計測し、それを利用して機器操作を行うことで、運動やコミュニケーションの補助、生活環境の制御等を可能とする技術である。この BMI を用いることで、脊髄損傷や筋萎縮性側索硬化症 (ALS)、脳卒中といった主に運動機能に障害のある患者・障害者が、手足を動かさずに脳からの信号だけで機器を操作することが可能となる。

これまで我々は、視覚刺激にて誘発される脳波信号および運動イメージを反映する脳波信号をもとに家電操作等を可能とした環境制御システム (BMI-ECS) を開発してきた (Komatsu, et al., 2007, Neurosci Res Suppl; Komatsu, et al., 2009, Soci Neurosci Abstr)。障害者による実用データの収集もすすめ、まず C3/4 レベルの頸髄損傷の方 1 名での実験に成功し (Komatsu, et al., 2007, Neurosci Res Suppl)、引き続き頸髄損傷者 (9 名) による BMI-ECS の操作精度を調査し、特に慢性期頸髄損傷者での実用レベルの操作精度を報告した (Ikegami, et al., 2009, Soci Neurosci Abstr)。

この課題では、これまで開発してきた BMI システムを応用し、BMI 型上肢アシストスーツを研究開発することで、上肢に麻痺のある患者・障害者の意図する運動の補助を可能とすることを目的とする。

B. 研究方法

昨年度においては、BMI により駆動され、

手指による把持動作を行うアシストスーツを開発し、また、その練習に用いるためのバーチャルリアリティシステムの作成を行った。上肢アシストスーツ試作 1 号機は手指を親指、人差し指と中指、薬指と小指の 3 つに分け、それらを別に駆動する機構となっていた (図 1)。

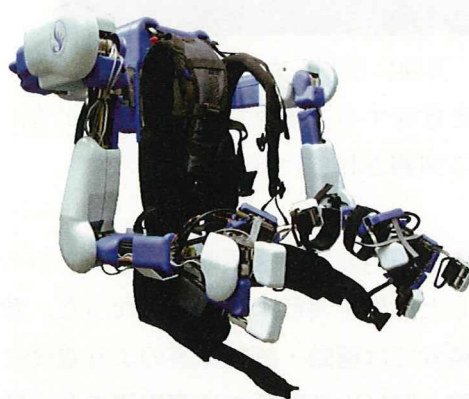


図 1 上肢アシストスーツ試作 1 号機

本年度は、まずこれらを実際の障害者の方に適用し実用データを収集し、装着感などの意見とも合わせてアシストスーツの改良のための材料とした。

被験者は 2 名で、内訳としては頸髄損傷による四肢麻痺者 1 名、脳卒中による片麻痺者 1 名であった。運動内容は、「握る」といった手指運動とし、それぞれの動作は予め実験者によりアシストスーツに教示した。操作パネルには再現する運動内容を意味する 5 種類のアイコンと動作中止を意味するアイコンを 2x3 のマトリクスに配置した

(図 2)。視覚刺激としては色変化 (青から緑) を用い (Takano, et al., 2009, Clin

Neurophysiol)、脳波は頭皮上に装着した 8 個の脳波電極から計測した。判別は線形判別分析により行い、注視したアイコンを特定してコマンドをアシストスーツに送信した。

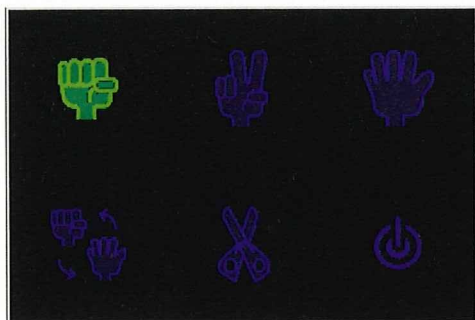


図 2：実験に使用した操作パネル：「握る」動作を意味するアイコン（左上端）が青から緑に強調されている

動作については 6 種類の中からこちらの指定した動作を実行する形で行なった。頸髄損傷者では運動・感覚障害のより重度な右上肢、脳卒中被験者では麻痺側の左上肢にアシストスーツを装着した。装着に際しては関節の拘縮や可動域等を事前に確認し、被験者の無理のない状態にセッティングしてから装着した。

その際の装着感等の意見を踏まえ、本年度は装着時の調整可能部分を追加した。さらに、より多種類の合目的動作を可能とするための動作部分の拡充を行なった。

また、将来的な、脳波以外の生体信号での駆動、動作の細かい調整、さらには機器使用による使用者状態観察等への展開に向けて、筋電計の開発も行った。

（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。実験中は無用な苦痛を与えないように配慮した。

本研究で実施したすべての実験について、被験者の個人情報などに係るプライバシーの保護に配慮し、被験者が如何なる不利益を受けないように配慮した。結果の公表に関しては検査・実験の受諾と同様に被験者及び保護者・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、承諾を得た。また、個人が特定されないように格別の注意を払った。

C. 研究結果

C-a. 障害者による試用と評価

頸髄損傷による四肢麻痺者 1 名、脳卒中による片麻痺者 1 名ともに安全に BMI 型上肢アシストスーツを駆動することが出来た。

頸髄損傷者は右肘関節・手根関節 MMT2 レベルで手指に関しては拇指・示指が僅かに動く MMT1 程度で屈曲位、感覚は完全脱失であった。脳卒中患者は左片麻痺で左肘関節 MMT4 レベルであったが、手根関節以遠は MMT1 レベルで屈曲位、感覚は 5/10 程度に低下していた。両被験者ともに肘関

節以遠の関節に固縮を認め、指節間関節の拘縮は僅かであった。



図 3：四肢麻痺者による動作試験
(上) 手を開いた状態
(下) 手を閉じた状態

頚髄損傷者、片麻痺者の両者ともに BMI-ECS の操作が可能なことを確認した後、アシストスーツの駆動を行った。両被験者ともに高効率にて操作をおこなうことが出来た (10/10 試行) (図 3)。

両被験者ともに上肢アシストスーツ装着時に拇指外側が一部装置と接触する部分があり調整を要した。また、実験終了時には手指の固定に用いたゴムバンドの跡が残っていたが、時間の経過にて改善した。両被験者ともに拇指対立運動は不能であったことと指節間関節の拘縮による影響と考えられた。

被験者からの意見としては、まだ駆動可能な動作が少ないので多くしたい、装着時

の快適性を高めたい、といったことが挙げられた。

C-b. 機器の改良

装着時の手根部への干渉を避ける機構や手指の固定具の改良を行った。さらに、駆動部分を増やすことで補助が可能な合目的動作を増やしていくことを目的として機器開発を行なった。

実装された機能の概要について表 1 に示す。機能的な面としては動力による可動部分を肩肘と腕のひねり (回内・回外) の 3 箇所拡充し、片腕につき 6 箇所の可動部分を搭載した。これにより昨年度開発のものと比較してより多くの合目的動作が可能になった。また、全体の取り回しを容易とするため、将来的な実装も想定される車いすに搭載する形での開発を行った (図 4)。

さらに今回はアシストスーツを駆動するために脳波以外の信号を使用することを考慮に入れ、筋電計についても開発を行なった (図 5)。機能概要については表 2 に示す。この筋電計については、今後、アシストスーツ駆動の微調整やアシストスーツを使用したことによる運動改善の評価等に使用することを想定している。

D. 考察

昨年度開発した機器を、実際の障害を持つ方に適用して実用データを収集した。さらに、これらに基づいて、アシストスーツ装着時の干渉部の改善、手指の固定具の改良、動作の拡充に重点を置いた開発を行なった。その結果、肩肘と腕のひねり (回内・回外) の 3 種類の可動部分を駆動させ、よ

り多種の合目的動作を補助できるようになった。装着に関しては、対応可能な指の角度等の拡充を行なったが、これについては必要とされる動作との兼ね合いにより今後も拡張と調整が必要となることが推測される。



図 4：開発中の新型機写真



図 5：開発した筋電計の写真

E. 結論

開発した BMI 型アシストスーツのシステムにより、患者・障害者の意図により「握る」等の運動内容を選択させ、それを補助することが可能となる。このアシストスーツは現在のところ、片腕あたり、数 10kg の駆動用のボックスを必要とし、持ち運びは困難である。そのため、現状では据置き専

用となる。将来的には身に付ける形で使用可能な小型・軽量化を行ない、リハビリテーションや運動機能補助としての実用化を目指したい。

表 1. アシストスーツ仕様詳細の比較

	従来	本年度開発
手指動作	動作可	動作可
回内回外	動作不可	動作可
肘の屈伸	動作不可	動作可
肩	動作不可	動作可
使用時固定	使用者装着	使用者装着、車椅子搭載

表 2. 筋電計の仕様

チャンネル数	16ch
センサ部分	アクティブ電極
サンプリング 周波数	512Hz
分解能	16bit
通信	USB2.0

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。このような電極は、頭皮との接触インピーダンスを下げる必要があり、導電性ゲルを使用毎に充填して用いる方式の電極が良いものと思われる。

ここで、開発する導電性ゲルは以下の諸性質を有するものでなくてはならない。すなわち、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返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、などの諸性質が実用上要求される。

以上の諸条件を満たす導電性ゲルで、市販品を含めて既知のものが見られないため、新たにゲルから開発することとした。数種のゲルの開発を試みたが、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が良いと判断されたので、以下に報告する。

B. 材料と実験方法

導電性ゲル材料には、市販のポリマー等を用いた。このうち、カルボキシメチルセルロース・ナトリウム塩(CMC・Na)は平均分子量700kDa、重合度3200のものを用いた。また、ポリビニルアルコール(PVA、重合度2,000)は、あらかじめ純水中にて膨潤、洗浄後、濾過回収、減圧加熱乾燥することで精製したものを用いた。

作製した導電性材料の体積抵抗率は、一対の対向電極間を備えた自作ガラスセルを用いて測定した。測定時には、このガラスセルに材料を詰め、5~10kHz、 $\pm 100\text{mV(p-p)}$ の正弦波を加え、そのときの電流と印加電圧の関係から体積抵抗率を評価した。

また、導電性材料のBMIへの適合性は、市販BMIシステム(g.USB Amp; Guger Technologies, オーストリア)に自作電極を組み合わせ、実際に頭部に取り付けたときの

2 電極間のインピーダンスから判断した (15k Ω なら使用可能)。ここでは、この操作をインピーダンスチェックと呼ぶことにする。

C. 結果および考察

まず、水分を含有していても、その水分が蒸発しにくい状態であれば良いと考え、潮解性のある CaCl₂ を利用することとした。常識的には KCl を用いるところであるが、脳波測定のために限れば絶対電位の測定が必要なのではなく、脳波のパターンが計測できれば良いので、実質的に測定上の問題は無いものと考えた。そこで、ポリビニルアルコールと CaCl₂ 溶液とを混合し、加熱溶解したものの作製を試みた。しかし、攪拌中に粘度が高まり、十分な混合の前に攪拌が困難になった。スクリュー式攪拌器を用いても攪拌が不可能なほど高粘度であった。また、その状態で冷却しても完全には固化せず、ネバネバした状態であった。

そこで、ポリマーを変えてカルボキシメチルセルロース (CMC) を利用することとした。純水、CaCl₂·2H₂O を重量比でそれぞれ 71%、29% で常温にて混合した後、フリーザー (-20 $^{\circ}$ C、凝固点降下のために液体) にて冷却し、予め -20 $^{\circ}$ C にて冷却しておいた CMC 粉体と室温下 (約 25 $^{\circ}$ C) で混合攪拌した (CMC の最終重量比は全溶液中の 11%)。このとき、攪拌に用いた容器や攪拌子もあらかじめフリーザー内で冷却しておいた。攪拌時間の経過に伴い、溶液の温度は上昇しおよそ 30 分後には室温に達したが、分散された CMC 粉体が徐々に膨潤し、溶液は均一に固化した。このときの固形ゲルは手でちぎれる

程度の固さであった。また、体積抵抗率は 9.4 Ω ·cm であった。しかし、このゲルは室内に放置したところ、24 時間後には表面がやや乾燥していた。実際の測定の際には、頭皮と接触している部分が急速に乾燥することはないため、実用上の問題はあまりないものと思われるが、保湿性を保障するために、さらなる条件検討を行った。CMC の濃度をさらに上げて最終重量比が固化前の溶液の 15% の場合は、固化ゲルがより固くなったことを除き、結果は同様であった。一方、CaCl₂ 濃度を上げたり、グリセリンを添加することで保水量はさらに改善された。

また保存安定性も良好で、例えば CMC、CaCl₂·2H₂O、グリセリン、純水の含有率がおよそ 11, 37, 11, 42wt% の場合は、室温にて 4 ヶ月以上にわたる長期保存 (密閉保存) が可能であった。この導電性ゲルを頭部に取り付けたときのインピーダンスチェックの結果を図 1 に示す。電極によってバラツキはあるものの、取り付け 2 時間後には 15k Ω を下回っており、脳波測定が可能なレベルに達した。

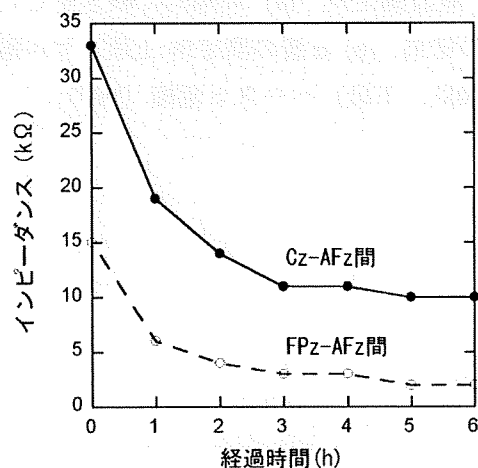
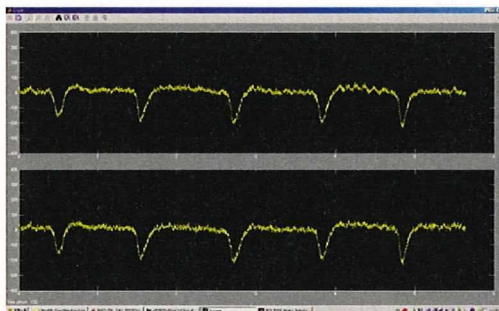


図 1 導電性ゲル電極を頭部に取り付けたときのインピーダンスチェックの結果

次に、図2にこの導電性ゲルを用いて実際に測定した脳波の波形の一部を示す。図に見られる様に、市販の導電性ペーストを用いて測定結果と同等程度に α 波などの測定が可能であることから、実用可能であることが示唆された。

a)



b)

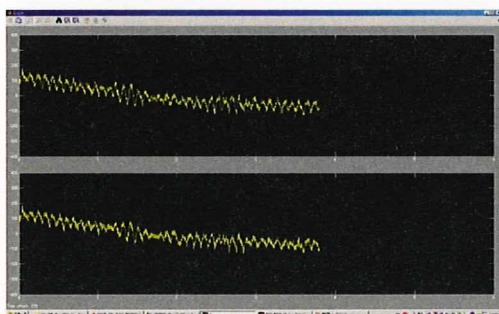


図2 脳波測定例 (a) 周期的に瞬きをしたときの結果、(b) α 波の測定例:上段) ゲル電極 (P08)、下段) ペースト電極 (P07)。

D. 結論

本研究では、導電性高分子ゲル充填方式脳波電極の開発を試みた。その結果、CMCをベースとする導電性高分子ゲルがBMI用途で使用可能であるものと考えられる。本ゲルを用いればこれまで導電性ペーストを用いていた電極の固定と取り外しの操作が単純化される。今後、障害者の家庭へのBMIの導入を促進させるため、一層の電極の改良を図っていきたい。

なお、導電性ゲルを用いた電極の電極構造に関する特許一件の申請をTLOを介して行った(特願2009-257366)。

分担研究課題（小課題）：BMI 型生活環境制御システムの臨床評価

A. 研究目的

「ブレイン-マシン・インターフェイス (Brain-Machine Interface: BMI) / ブレイン-コンピュータ・インターフェイス (Brain-Computer Interface: BCI)」とは、脳からの信号により機器操作を行い、運動やコミュニケーションの補助、生活環境の制御等を行おうとする新技術である。近年、BMI の実現化が現実味を帯び、注目されている。

意思決定が出来てもそれを表出することが出来ない患者や障害者がこういった BMI 技術を利用することで、外傷や疾病により失われた機能を補填し、より自立した生活を行う手段として発展させることが出来る。

我々の先行研究では、非侵襲的な脳機能計測手段である脳波を用い、視覚刺激にて誘発される脳由来信号に着目した BMI 型生活環境制御システム (BMI-ECS) を開発した。健康者での試験に引き続き、C3/4 レベルの頸髄損傷の方にて、近年 Kubler や Nijboer らが提唱している実用的な水準 (70%以上の精度) での入力が可能であることを示した (Komatsu, et al., 2007, Neurosci Res Suppl)。

さらに、従来の白と灰の輝度変化 (白/灰) による視覚刺激に変えて、緑と青の色変化 (緑/青) の視覚刺激を採用すると、操作精度および使用感が有意に向上することを、健康者を被験者として示し報告した (Takano et al, 2009, Clin Neurophysiol)。

本研究では、BMI-ECS の脳神経損傷者による実生活での使用に向け、頸髄損傷者、脳性麻痺者を中心に、その操作精度や視覚刺激の色変化による操作精度の違いを検討した。

B. 研究方法

本研究で用いる BMI 型生活環境制御システムでは、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抽出、解析することで、注目している記号や文字を判別し、特定された指令を外部機器に送信する。本研究では、操作対象の外部機器としてデスクライトを用意した。

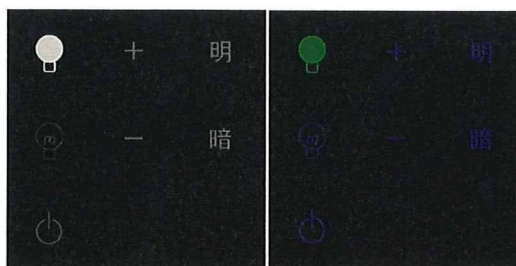


図 1：デスクライト操作パネル
(左：白/灰、右：緑/青)

被験者は今回初めて BMI の実験に参加した頸髄損傷者 9 名および脳性麻痺者 3 名の合計 12 名であった。

B-a. 頸髄損傷者による BMI 使用評価

頸髄損傷者 4 名は国立障害者リハビリテーションセンター病院入院中の受傷後 12 カ月未満の亜急性期頸髄損傷者 (受傷後平均 5.5 か月) で、5 名は受傷後 12 カ月以上の慢性期頸髄損傷者 (受傷後平均 261.8 か月) であった。

実験には 3x3 マスのマトリックスにデスクライトを操作するための 7 個のアイコンを配置した操作パネルを用い (図 1)、これ

らを緑/青と白/灰にて強調表示する条件で比較した。アイコンは1つずつ強調され、全てのアイコンがランダムに1回ずつ強調されるのを1周として、10周するとコマンドが入力されるよう設定し、それぞれの刺激条件で15回のコマンド入力を行った。8か所の脳波電極(図2)から記録された脳波を解析することで(線形判別分析)、被験者がどの記号に注目していたかをオンラインで判定し、緑/青と白/灰の操作パネルによる正答率を評価した。得られた平均正答率Pから機器の処理速度の指標として $\text{bit rate} = \log_2 N + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 [(1 - P)/(N - 1)] \times 60 / (0.175 \times RC \times S)$ を算出した(Nはマトリックスのマス数、RCはアイコン数、Sはアイコンの強調回数)。また、緑/青と白/灰の操作パネルによる使用感の差を視覚的アナログスケール(VAS、図3)により比較した。

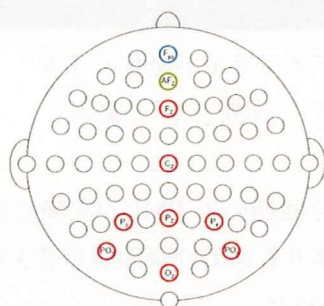


図2：脳波電極配置図

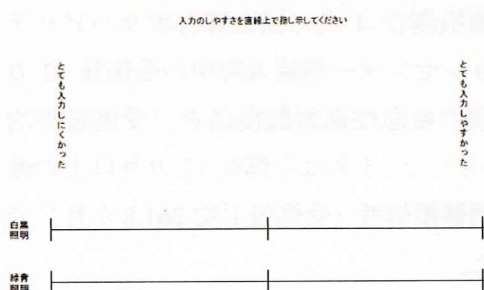


図3：視覚的アナログスケール

B-b. 脳性麻痺者によるBMI使用評価

脳性麻痺者の内1名は不随意運動や筋緊張を認めるが日常生活は自立しており、この方には1ヶ月の間を空けて2回の実験を行った。2名は頸椎症を合併し、四肢麻痺状態で日常生活に介助を要していた。

実験の条件はB-a.と同様に設定し、デスクライトの操作、ワープロによるひらがな入力を行ったが、今回の解析にはデスクライトの操作のオンラインでの正答率、bit rate および使用感を比較した。

(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。実験中は無用な苦痛を与えないように配慮した。

本研究で実施したすべての実験について、被験者の個人情報などに係るプライバシーの保護に配慮し、被験者が如何なる不利益を受けないように配慮した。結果の公表に関しては検査・実験の受諾と同様に被験者及び保護者・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、承諾を得た。また、個人が特定されないように格別の注意を払った。

C. 研究結果

頸髄損傷者9名および脳性麻痺者3名の合計12名に本システムを用いた実験を行い、これに成功した。

C-a. 頸髄損傷者による操作精度・使用感

オンラインでのコマンド入力の正答率は、全頸髄損傷者平均で白/灰条件：56.1%、緑/青条件：67.2%だった。オフラインの解析では、反復測定二元配置分散分析を用いて色変化条件による有意差を認めた ($F(1,8)=16.96$, $p<0.01$, ANOVA)。全被験者平均の bit rate は白/灰条件：5.1 bit/min、緑/青条件：7.2 bit/min であった。

亜急性期頸髄損傷者の平均正答率、bit rate は白/灰条件：40.0%、2.3 bit/min、緑/青条件：51.3%、3.9 bit/min で、慢性期頸髄損傷者では白/灰条件：69.0%、7.3bit/mi、緑/青条件：81.3%、9.8 bit/min であり、慢性期頸髄損傷者で正答率、bit rate 共に高い傾向を認めた (Ikegami, et al., 2009, Soci Neurosci Abstr)。

VAS による使用感の評価は白/灰条件：60.2%、緑/青条件：53.7%で有意差は認めなかった。

C-b. 脳性麻痺者による操作精度・使用感

オンラインでのコマンド入力の正答率、bit rate は、全脳性麻痺者平均で白/灰条件：66.7%、5.1 bit/min、緑/青条件：73.3%、7.2 bit/min だった。頸髄症合併2名の平均正答率、bit rate は白/灰条件：93.3%、13.2 bit/min、緑/青条件：96.7%、14.2 bit/min であった。2回実験を行った頸椎症合併の無い方の平均正答率は白/灰条件：40.0%、2.6 bit/min、緑/青条件：50.0%、3.7 bit/min で頸椎症合併者の正答率が高かった。

頸椎症合併の無い方の初回の実験の際に

は平均26.5%の精度であったが、2回目の実験では椅子の調整や頸部の固定を行うことで平均63.3%の正答率を達成できた。

D. 考察

BMI 技術の進歩に伴い、実用化を視野に入れた患者・障害者を被験者とした研究も散見されるようになってきた。これまでは、ALS 患者を中心とした臨床研究が多く報告されているが、本研究では特に、頸髄損傷者、脳性麻痺者を中心に実用データを収集し、検証を行った。

BMI 技術の実用を考えていく場合、正答率が高く、操作感も良いシステムの開発が望まれる。正答率に関しては、先述の通り Kubler や Nijboer らは実用可能の目安として70%以上の操作精度を提唱しているが、本研究の結果からは、我々のシステムを用いることで、条件、病態によるものの実用可能な正答率が得られることが明らかとなった。さらに、視覚刺激の工夫として緑/青の色変化を加えることで、頸髄損傷者においても、その操作精度が向上することが確認された。

本研究の結果では、亜急性期頸髄損傷者において正答率が低い傾向を認め、頸髄損傷者による実用を考慮する場合、その導入時期も考慮する必要があることが示唆された。頸髄損傷急性期から亜急性期にかけては、機能回復のためのリハビリテーションを継続している時期にあり、BMI 技術をリハビリテーション自体に活用するといった工夫も考えられる。慢性期頸髄損傷者は実ユーザーとなると考えられ、こうした慢性期頸髄損傷者を対象としたさらなる検討も課題となる。

2回の実験を行った脳性麻痺者の結果からは、導入時に低い正答率であっても、装置

に対する慣れや椅子の調整などにより正答率が改善する可能性が示唆された。

我々の研究チームでは、これまでに、筋萎縮性側索硬化症（ALS）2名、低酸素脳症2名による実証研究も行っている（詳細は他稿）。今後、BMIが幅広い疾患・障害に対応していくためには、経時的な評価も行いつつ、種々の疾患・障害に対するさらなる検証を行っていくことが重要と考えられる。

BMI技術を福祉機器として実用化するに当たっては、個々の患者・障害者のニーズに対応できる柔軟なシステムの開発が求められる。

E. 結論

頸髄損傷者、脳性麻痺者に対し BMI-ECSは有用であり、かつ緑/青の組み合わせで正答率が改善することが明らかとなった。

こうした研究開発を行っていくことで、外傷や神経難病などにより四肢の運動麻痺や発話の困難を伴い、日常動作やコミュニケーションに支障をきたしている患者・障害のある方の自立支援へとつなげたい。

A. 研究発表

1. 論文発表

論文：原著

Kansaku, K., Hata, N., Takano, K. My thoughts through a robot's eyes: an augmented reality-brain-machine interface. *Neuroscience Research*, 66(2): 219-222, 2010.

Takano, K., Komatsu, T., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. Visual stimuli for the P300 brain-computer interface: a comparison of white/gray and green/blue flicker matrices. *Clinical Neurophysiology*, 120(8): 1562-1566, 2009.

Kato, J., Ide, H., Kabashima, I., Kadota, H., Takano, K., Kansaku, K. Neural correlates of attitude change following positive and negative advertisements. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 3(6): 1-13, 2009.

論文：総説

神作憲司. ブレイン・リーディング. *Clinical Neuroscience*, 2010. (招待) (印刷中)

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*, 2010. (招待) (印刷中)

論文：抄録・プロシーディング

外山滋、高野弘二、池上史郎、神作憲司. Brain Machine Interface のための脳波測定用ゲル電極の開発. *信学技報 (IEICE Technical Report)*, 109(359): 23-26, 2010.

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

Kansaku, K., Takano, K., Takahashi, T., Kitazawa, S. Reciprocal roles for the right and left hemispheres in reversal of subjective temporal order due to arm crossing. Program No. 94.3. *2009 Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Chicago: *Society for Neuroscience*, 2009. Online.

Takano, K., Kansaku, K. Neuromagnetic activities during the P300-BCI: a comparison of white/gray and green/blue flicker matrices. Program No. 664.21. *2009 Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Chicago: *Society for Neuroscience*, 2009. Online.

Ikegami, S., Takano, K., Komatsu, T., Saeki, N., Kansaku, K. Operation of a BMI based environmental control system by patients with cervical spinal cord injury. Program No. 664.16. *2009 Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Chicago: *Society for Neuroscience*, 2009. Online.

Komatsu, T., Takano, K., Nakajima, Y., Kansaku, K. A BMI based environmental control system: a combination of sensorimotor rhythm, P300, and virtual reality. Program No. 360.14. *2009 Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Chicago: *Society for Neuroscience*, 2009. Online.

Iwaki, S., Takano, K., Kansaku, K. Neural activity in the parieto-temporal area is correlated with the subjective sense of agency during hand movements of visual target tracking Program No. 379.9. *2009 Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Chicago: *Society for Neuroscience*, 2009. Online.

Takano, K., Ikegami, S., Komatsu, T., Kansaku, K. Green/blue flicker matrices for the P300 BCI improve the subjective feeling of comfort. *Neuroscience Research*, 2009. (P2-k16)

Iwaki, S., Takano, K., Kansaku, K. Neural correlates of the sense of agency during hand movements of visual-target tracking. *Neuroscience Research*, 2009. (P2-h16)

Kansaku, K. P300 Brain-Computer interfaces for environmental control. *Workshop on Brain-Computer Interfaces for communication and control. Proceedings of 2009 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation Robotics: Workshops & Lab Session*. LS13-17, 2009.

神作憲司. 非侵襲脳機能計測技術のブレイン-マシン・インターフェイスへの応用. *人間工学 (特別号)*. 45: 124-125, 2009.

書籍

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, 2009. (in press)

神作憲司. 脳のセンシング技術を用いた新しい福祉機器. *心とからだのセンシング: 健康・医療・福祉のためのテクノロジー (ヒューマンサイエンスとセンシング調査研究委員会編)*. 海文堂. pp. 146-154, 2009.

2. 学会発表

一般口演・ポスター

外山滋、高野弘二、池上史郎、神作憲司. BMIに用いる脳波測定用電極の開発. *第49回化学センサ研究発表会 (電気化学会第77回大会)*. 2010年3月; 富山.

Kansaku, K. System-neuroscience may contribute to expand the range of activities in persons with disabilities. *JSPS-DFG 第2回日独ラウンドテーブル. -Cooperative Technology in Future: Cognitive Technical Systems-*. Feb 2010; Tokyo, Japan.

外山滋、高野弘二、池上史郎、神作憲司. Brain-Machine Interface のための脳波測定用ゲル電極の開発. *有機エレクトロニクス研究会 (電子情報通信学会)*. 2010年1月; 東京.

池上史郎、高野弘二、小松知章、中島八十一、神作憲司. 脊髄損傷者による BMI 生活環境制御システムの使用. *第26回国立障害者リハビリテーションセンター業績発表会*. 2009年12月; 所沢.

Kansaku, K., Takano, K., Takahashi, T., Kitazawa, S. Reciprocal roles for the right and left hemispheres in reversal of subjective temporal order due to arm crossing. *The 39th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Oct 2009; Chicago, USA.

Takano, K., Kansaku, K. Neuromagnetic activities during the P300-BCI: a comparison of white/gray and green/blue flicker matrices. *The 39th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Oct 2009; Chicago, USA.

Ikegami, S., Takano, K., Komatsu, T., Saeki, N., Kansaku, K. Operation of a BMI based environmental control system by patients with cervical spinal cord injury. *The 39th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Oct 2009; Chicago, USA.

Komatsu, T., Takano, K., Nakajima, Y., Kansaku, K. A BMI based environmental control system: a combination of sensorimotor rhythm, P300, and virtual reality. *The 39th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Oct 2009; Chicago, USA.

Iwaki, S., Takano, K., Kansaku, K. Neural activity in the parieto-temporal area is correlated with the subjective sense of agency during hand movements of visual target tracking. *The 39th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Oct 2009; Chicago, USA.

Takano, K., Ikegami, S., Komatsu, T., Kansaku, K. Green/blue flicker matrices for the

P300 BCI improve the subjective feeling of comfort. *The 32nd Annual Meeting of Japan Neuroscience Society*. September 2009; Nagoya, Japan.

Iwaki, S., Takano, K., Kansaku, K. Neural correlates of the sense of agency during hand movements of visual-target tracking. *The 32nd Annual Meeting of Japan Neuroscience Society*. September 2009; Nagoya, Japan.

講演等

神作憲司. BMI/BCI 技術による障害者自立支援. 平成 22 年電気学会全国大会・シンポジウム. 2010 年 3 月; 東京.

Kansaku, K. BMI/BCI technologies for persons with disabilities. *Conference on Systems-Neuroscience and Rehabilitation*. March 2010; Tokorozawa, Japan. (conference organizer)

神作憲司. 障害者のための実用的な Brain-Machine Interface. 統計数理研究所・共同研究集会「医学・工学における逆問題とその周辺」. 2009 年 11 月; 東京.(特別講演)

神作憲司. ヒト概念操作の脳内機構. 第 2 回発達臨床と理論研究懇話会. 2009 年 11 月; 東京.

Kansaku, K. P300 Brain-Computer interfaces for environmental control. *Workshop on Brain-Computer Interfaces for communication and control*. *The 2009 IEEE 11th International Conference on Rehabilitation*

Robotics: Lab Session. June 2009; Kyoto, Japan.
(workshop co-organizer)

神作憲司. 非侵襲脳機能計測技術のブレイン-マシン・インターフェイスへの応用. 第50回 日本人間工学会・オーガナイズドセッション. 2009年6月; つくば.

Kansaku, K. Non-invasive Brain-Machine Interfaces for environmental control. *Workshop on Brain Machine Interface: What can we do and how can we use?: RIKEN-BSI*. May 2009; Wako, Saitama, Japan.

神作憲司. 非侵襲型ブレイン-マシン・インターフェイスによる福祉機器. 平成21年電子情報通信学会-ブレインバイオコミュニケーション研究会-神経インタフェース講演会. 2009年4月; 横浜.(招待講演)

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. 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).

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（障害保健福祉総合研究事業）

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

研究者分担 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、障害保健福祉総合研究事業として、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部を準備し、基礎実験を行った。

A. 研究目的

本研究では、障害保健福祉総合研究事業として、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）、準備を進め、動作試験等の基礎実験を行った。



図1 単純な把持動作を想定

図1に示されるような単純な把持動作の支援を対象として従来より開発を進めてきた装着型サイバニックハンドの電子系に改良を加え、ハンド部の準備を行った(図2)。昨年度に準備を進めた上肢と接合すべく改良を加えた(図3)。現在、動作検証を進めているところである。



図2 装着型サイバニックハンド(改良版)



図3 上肢とハンドを接合(上肢用+ハンド用)



図4 単関節下肢用 HAL(インタフェース改良版)

また、従来より開発を進めてきた単関節下肢用 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改良を加えた(図4)。更に、BMI に関しても可能な範囲で試行を行った。脳活動のパターンを変えて脳波と脳血流に対して、顕著に変動するパ

ターンを計測した(図5)。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動を試みた(図6、図7)。

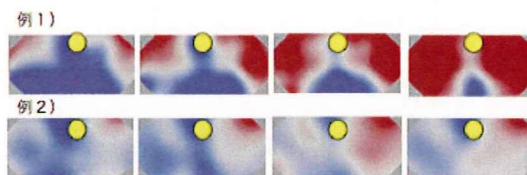


図5 異なる脳活動パターンの計測例



図6 脳血流・EEG系基礎 BMI ヘッドセット

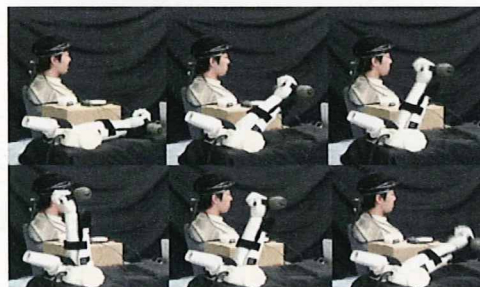


図7 基礎実験

D. 考察

各要素の技術的な検証は行えた。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が、別途インタフェースユニットを構成することも効果的ではないかと考える。

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研究開発を推進することができた。