

201027107A

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年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中島 八十一

平成23(2011)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年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中島 八十一

平成23(2011)年3月

目 次

I. 総括研究報告

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 中島 八十一	1
---	---

II. 分担研究報告

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 神作 憲司	11
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 山海 嘉之	39

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	45
---------------------	----

IV. 研究成果の刊行物・別刷	47
-----------------	----

I. 総括研究報告

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・知的等障害分野））

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、脳活動パターンの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., Sacki, 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)

- Ikegami, S., Takano, K., Saeiki, 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.
- Sankai, Y., HAL: Hybrid Assistive Limb Based on Cybernetics, Robotics Research, *The 13th International Symposium ISRR*, pp.25-34, 2010.
- Otsuka, T. and Sankai, Y., 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
- Saito, A. and Sankai, Y., 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.
- Hiramatsu, K. and Sankai, Y., 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
- Hara, H. and Sankai, Y., 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
- Kawamoto, H., Taal, S., Niniss, H., Hayashi, T., Kamibayashi, K., Eguchi, K., and Sankai, Y., • 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
- 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
- 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
- Koba, H., Nakata, K., Sankai, Y., 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

Tsujimura, S., Yamagishi, H., Sankai, Y., 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

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)

山海嘉之. 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

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 16th Annual Meeting of the Human Brain Mapping*, Jun 2010; Barcelona, Spain.

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).

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.

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.

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.

Oshima, S., Sankai, Y., Prediction of Thrombus Formation with Non-invasive Optical

Monitoring System, *18th Congress of the International Society for Rotary Blood Pumps*, October 2010, Berlin, Germany.

Oshima, S., Motomura, T., Sankai, Y., and Nose', Y., 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.

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.

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.

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.

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.

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.

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.

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

講演等

神作憲司. 脳情報の医療福祉応用. ヘルステク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.

2. 実用新案登録
なし

3. その他
なし

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

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、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

発明の名称: 診断装置. 出願人: 筑波大学. 出願番号: 特願 2010-198554

II. 分担研究報告

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・知的等障害分野））
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
分担研究課題：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

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研究所 脳機能系障害研究部脳神経科学研究室長
研究協力者	和田 真	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研究員
研究協力者	高野 弘二	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流動研究員
研究協力者	池上 史郎	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流動研究員
研究協力者	小松 知章	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客員研究員
研究協力者	外山 滋	国立障害者リハビリテーションセンター研究所 障害工学部生体工学研究室長

研究要旨

これまでの研究で、研究分担者らは、視覚刺激による脳波信号を用いた生活環境制御装置を開発した。さらに、従来手法より使用感と精度を向上させる視覚刺激を開発すると共に、頸髄損傷者がシステムを安定使用可能なことを確認した。また、拡張現実（AR）技術を組み合わせ、インテリジェントハウスやホスピタルの開発へと向けた機能拡張を行ない、BMI 用脳波計を開発すると共にシステムのソフトウェア部（日本語入力、電子メール等）を実装した。他に運動補助に向けて手指肘肩が動作する BMI 型上肢アシストスーツ、脳波筋電ハイブリッド制御に向け筋電計、着脱容易な脳波電極の開発も開始した。これらをもとに平成 22 年度は、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、公立八鹿病院等の協力により、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。

分担研究課題（小課題）：BMIによる環境制御

A. 研究目的

脳からの信号を計測し、それを利用して機械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 (BMI)」もしくは「ブレイン-コンピュータ・インターフェイス (BCI)」と呼ばれる新技術が注目されている。

人工内耳や脳深部刺激といったこれまでのBMI関連技術に加えて、近年注目されているBMIではより積極的に脳からの信号を利用して、運動やコミュニケーションの補助、生活環境の制御などへの応用を行おうとする。こうしたアイデアは以前よりあったが、昨今の脳信号を計測解析する技術の進歩やシステム脳神経科学等の基礎医学の発展等を元として研究が広く展開し始めた。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する。

特に本分担研究ではシステム脳神経科学の視点から脳波を用いたBMIにより障害者の生活環境制御を行うための基礎技術開発を中心に行った。

B. 研究方法

昨年度までの研究で、BMI型生活環境制御システム (BMI-ECS) が使用可能なエリアを拡げ、ひいてはそれを利用する障害者の活動領域を拡張することを目的として、BMIに拡張現実 (AR) 技術を組み合わせた、AR-BMIを提案し、その実装に成功した

(Kansaku et al., 2010, Neurosci Res)。昨年度までに開発したシステムでは、視覚刺激の提示のために一般的な液晶モニターを使用していたが、将来的に室内の移動や外出などを想定した場合、より持ち運びが簡単な視覚提示装置の利用が想定される。

このため、本年度はウェアラブルな機器としてヘッドマウントディスプレイ (HMD) を利用したAR-BMIの運用について検証を行なった (項目 a)。

また、一般的なディスプレイを必要とせず小型化が容易なBMIの手法として、LEDを用いて定常的な光刺激を使用するSSVEP-BMIについても、その装置の開発を行なった (項目 b)。

さらに、BMI機器の精度向上に向けた基礎研究として、BMI機器使用時と同様の課題を遂行中の脳機能について、機能的磁気共鳴画像 (fMRI) と脳波 (EEG) の同時計測 (項目 c) および、脳磁図 (MEG) (項目 d) を用いて評価した。

実験手法

a) ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を利用したAR-BMI

a-1) 実験課題

視覚刺激としては、これまで同様、P300スペラー (Farwell and Donchin, 1988, Electroencephalogr Clin Neurophysiol) を改変したもの (Takano, et al., 2009, Clin Neurophysiol) を用いた。被験者には視覚刺激提示中に指定したターゲットへ注意を向けることを課題として与えた。各アイコン

がそれぞれ一度ずつ強調表示されるのを 1 周として 15 週の刺激提示毎に判別を行ない、1 回のコマンド入力を各パネル、各条件においてそれぞれ 5 回ずつ行った。パネルと条件の詳細については次の項目で説明する。

a-2) 実験条件

被験者は健常右利きの 15 名(男性 12 名、女性 3 名)とした。

実験には、これまでに開発した AR-BMI システムを用い(図 1、Kansaku, et al., 2010, Neurosci Res)、視覚刺激の提示には 2 種類の機器(液晶モニタ、HMD)を使用し、脳波を記録した。操作パネルは照明操作パネルとテレビ操作のパネルの 2 種類を使用した。

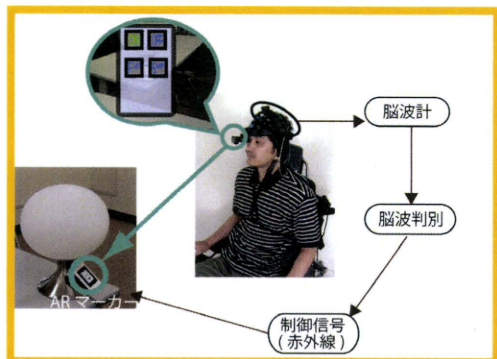


図 1. AR-BMI 概念図

a-3) 実験装置

視覚刺激の提示には一般的なコンピュータの利用に使われている液晶モニタ (DELL E207WFPc) と半透過式の片眼ヘッドマウントディスプレイ (HMD) (Liteye Systems Inc., LE750A) とを使用した。

HMD には、視界を完全に覆う没入型と、本研究で用いたような半透過型があるが、

将来的に外で使用することを考えた場合に映像処理による遅延や視界を塞いだことによる事故を避けるために極力視界を遮らないものとして、片眼半透過型のヘッドマウントディスプレイを使用することとした。

a-4) 評価方法

実験時に記録した脳波を元に判別を行い、2 種類の視覚刺激提示機器(液晶モニタ、HMD)、2 種類の操作パネルでの操作精度を計算し、その比較を行った。

b) SSVEP 用視覚刺激提示機器の開発

視覚誘発型 BMI として、本研究課題では P300 様脳波を利用する手法を主に用いて研究開発を進めてきた。しかしながら、この手法の難点としては、視覚刺激の提示にモニタが必要であることや、自発的な操作開始が困難であるという点があげられるだろう。このため、擬似的にはあるが自発的な機器操作が可能である SSVEP 方式を導入することを検討し、刺激提示機器の開発を行った。

c) fMRI を用いた BMI 機器使用時の脳機能計測

c-1) 実験課題

視覚刺激としては、いわゆる P300 スペラーを改変したもの (Takano, et al., 2009, Clin Neurophysiol) を用いた。被験者にはパネル上の指定された文字を注視する課題が与えられた。注視の間それぞれの行・列はランダムに 175ms 毎に 100ms 強調表示された。全ての行・列が 1 回ずつ強調されるのを 1

周として、一文字あたり 10 周の間注視を行った。

c-2) 実験条件

被験者は全員右ききの健常男性 9 名とした。

実験に用いた刺激パネルは、アルファベットを表示した 6x6 マスのマトリックスで、視覚刺激としては緑/青と白/灰の 2 種類の条件で行った (図 2)。各条件で 21 文字分の課題を行い、その間の fMRI 信号を計測した。さらに、EEG 信号についても同時計測した。

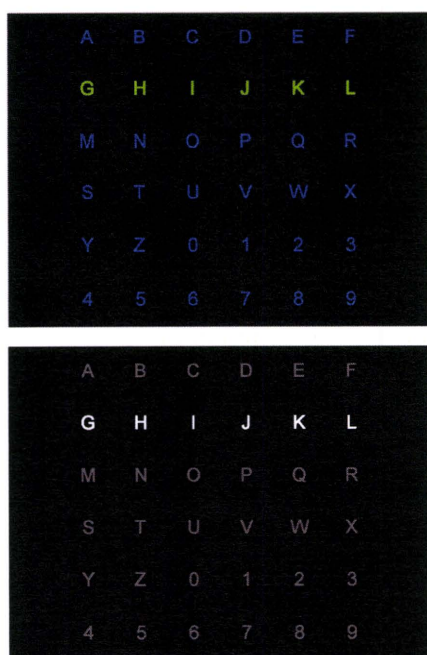


図 2 fMRI および MEG の実験で使用した視覚刺激 (上: 緑/青、下: 白/灰)

c-3) 実験装置

fMRI は東芝製 1.5T の MR 装置にて記録し、同時にニューロコン製 MRI 対応脳波記録システム (図 3) にて脳波の撮像アーチファクトをオンラインで average subtraction

methods を用いて除いた後に記録した (sampling rate 4000Hz)。

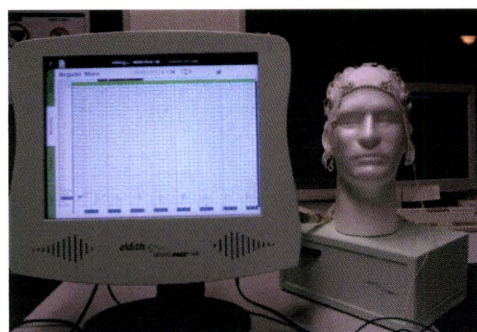


図 3 fMRI 対応脳波計一式

c-4) 評価方法

MRI データについては SPM8 (Wellcome Department of Imaging Neuroscience, Institute of Neurology, University College London, UK) を使い、それぞれの条件および緑/青-白/灰条件を解析、比較を行った。

EEG データについては、64Hz にダウンサンプルした後に誘発電位の解析を行った。

d) MEG を用いた BMI 機器使用時の脳活動の計測

d-1) 実験課題

視覚刺激としては、いわゆる P300 スペラーを改変したもの (Takano, et al., 2009, Clin Neurophys) を用いた。

被験者にはパネル上の指定された文字を注視する課題が与えられた。注視の間それぞれの行・列はランダムに 175ms 毎に 100ms 強調表示された。全ての行・列が 1 回ずつ強調されるのを 1 周として、一文字あたり 10 周の間注視を行った。

d-2) 実験条件および被験者

実験に用いた刺激パネルは、アルファベットを表示した 6x6 マスのマトリックスとし、視覚刺激としては緑/青と白/灰の 2 種類の条件で行った。各条件で 22 文字分の課題を行い、その間の MEG のデータを記録した。

d-3) 実験機器および解析手法

測定には Elekta Neuromag 社 Vectorview を使用した。MEG は固定されたセンサにより計測を行うため、そのままのデータでは実際に脳活動があった場所の計測が困難である。そこで Adaptive spatial filter を導入することで、センサ上のデータを、脳部位の座標上データに変換し、さらに脳内の機能的な繋がりについて、Imaginary coherence を利用して解析する手法を導入し検討した。

(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。

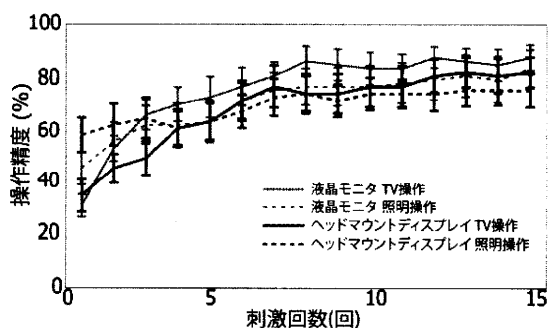


図 4 液晶モニタと HMD 使用時の BMI 機器操作精度

C. 結果

a) ヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いた AR-BMI

操作パネルの種類に関わらず、液晶モニタ使用時と HMD 使用時の操作精度に有意差は観察されなかった。また、どの条件でも平均正答率は 75%を超え、先行研究における実用可能な BMI の条件とされる 70%を超える結果となった (図 4)。

このことから、HMD を利用した場合でも、BMI 機器が液晶モニタと比較し、精度の面において遜色無く使用可能であることが示された (Takano, et al., 2010, Neurosci Res Suppl)。

また、電極の位置による精度の差について検証を行ったところ、側頭後頭部の電極が精度向上に高く寄与していることが明らかとなった (図 5) (Takano, et al., 2010, Soc Neurosci Abstr)。

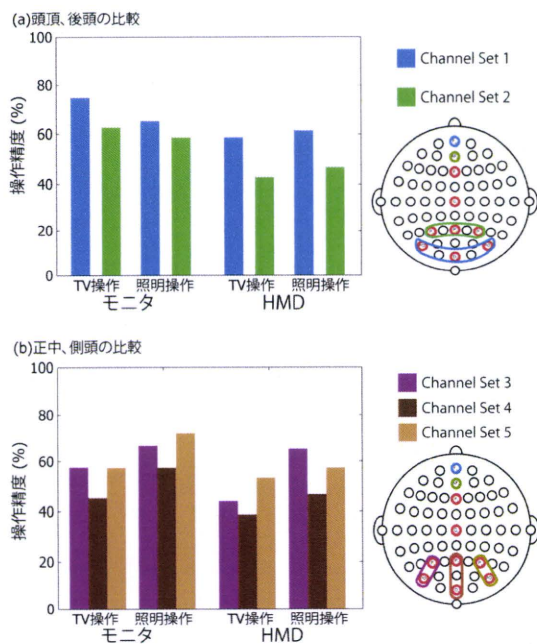


図 5 脳波電極の位置による精度の違い

b) SSVEP 用視覚刺激提示機器の開発

開発した機器の外見について図 6 に示す。機器は、4 つの子機と 1 つの親機からなり、4 つの子機を無線で制御、それぞれ異なる周波数での点滅を行うことが可能である。選択可能な周波数は 1-100Hz とした。

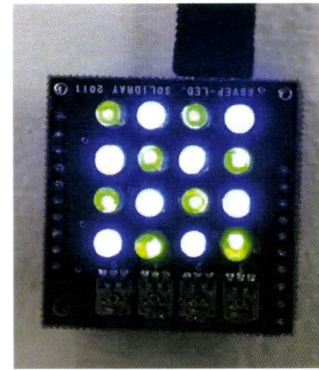


図 6 SSVEP 用刺激提示装置

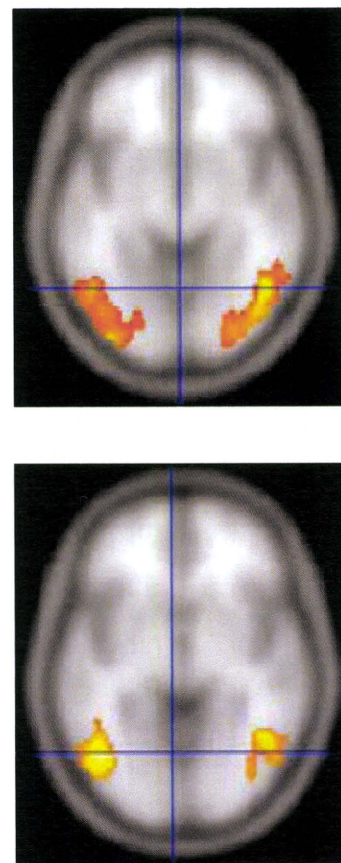


図 7 各条件における fMRI (上; 緑/青 下; 白/灰)

c) fMRI を用いた BMI 機器使用時の脳機能計測