

200929019A

厚生労働科学研究費補助金  
障害保健福祉総合研究事業

# 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

(H20-拡張-一般-001)

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中島 八十一

平成22(2010)年4月

厚生労働科学研究費補助金  
障害保健福祉総合研究事業

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

(H20-拡張-一般-001)

平成21年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中島 八十一

平成22(2010)年4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	----- 35

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	----- 39
---------------------	----------

IV. 研究成果の刊行物・別刷	----- 41
-----------------	----------

# I. 総括研究報告

厚生労働科学研究費補助金（障害保健福祉総合研究事業）

総括研究報告書

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

感覚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）を開発する。まず、この視覚刺激を工夫して、使用感を向上させることに成功した。そして、このシステムが頸髄損傷者にて安定して使用できることを確認した。さらに、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に向けた研究を行った。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続け、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継続して行い、肘肩の多関節運動の補助に成功した。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部を準備し、基礎実験を行った。

研究者分担

神作憲司

国立障害者リハビリテーションセンター  
感覚機能系障害研究部感覚認知障害研究室長

山海嘉之

筑波大学大学院システム情報工学研究科  
教授

（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。

本年度は、脳波を用いた BMI による障害

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

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た。まず、この視覚刺激を工夫することで、システムの効率化を目指した。そして、障害者にてシステムの臨床評価を行った。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続け、本年度は特にシステム開発 (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継続して行った。

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部を準備し、基礎実験を行った。

### 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。この視覚刺激として、これまでの輝度変化に加えて色変化を用いることで、使用感を向上させることに成功した。そして、このシステムを、頸髄損傷にて四肢麻痺のある障害者が、安定して使用可能なことを確認した。さらに、脳性麻痺にて不随意運動を伴う障害者や筋萎縮性側索硬化症 (ALS) 患者等からの実用データ収集も行い、得られた情報を開発にフ

ードバックした。

さらに、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に向けた研究開発を行った。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を行っている。

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続け、本年度は特にシステム開発 (ソフトウェア) を重点的に行い、脳波計デバイスドライバ DLL のラッパークラス、視覚応答型 BCI 用論理エンジン、視覚刺激用の画面描画モジュール、VR 技術を利用した模擬的な生活環境各々について、機能を拡張した。特にコミュニケーション機能としては、日本語入力、電子メール、インターネット電話、ウェブブラウジング環境を実装した。また、着脱容易な脳波電極の開発を行い、特許申請した。

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継続して行った。頸髄損傷者、片麻痺者を対象とする臨床研究を開始し、手指による把持運動を BMI 型上肢パワーアシストスーツにて補助することに成功した。さらに、肘肩の多関節運動の補助も成功した。また、筋電とのハイブリッド制御に向けて筋電計を作成した。

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。また、BMI についても、従来型の単関節下肢用 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、さらには簡単なシステムを構成し、脳波と脳血流により計測された脳活動パターン of 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、それらすべてを統括するとともに、臨床神経生理学の視点からニーズ調査を行っている。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

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.

Atsushi Tsukahara, Ryota Kawanishi, Yasuhisa Hasegawa and Yoshiyuki Sankai. Sit-To-Standard Stand-To-Sit Transfer Support for Complete Paraplegic Patients with Robot Suit HAL. *Advanced Robotics*, (in press)

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(762):227-236, 2010.

論文：総説

中島八十一. 高次脳機能障害者の実態と自立支援. *公衆衛生*, 73(6):417-421, 2009.

中島八十一. オーバービュー：社会的行

動障害と高次脳機能障害支援, *Clinical Rehabilitation*, 18 (12): 1066-1071, 2009.

中島八十一. 入門 リハビリテーション科学研究② 《実践的リハビリテーション科学研究の展開の仕方-1》高次脳機能障害における各種リハビリテーション研究の場合. *リハビリテーション研究*, 140: 38-42, 2009.

中島八十一. 高次脳機能障害の現状と課題. *日本リハビリテーション病院・施設協会誌* 121:10-15, 2009.

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.

Eguchi, K., Kawamoto, H., Hayashi, T., Sankai, Y., Yoshida, T., Shimizu, T., Ochiai, N. Use of a wearable robot — the hybrid assistive Limb — to assist walking in a stroke patient: a case report. *Proceedings of the 5th world congress of the ISPRM*, 27-29, 2009.

Kawabata, T., Satoh, H., Sankai, Y. Working Posture Control of Robot Suit HAL for Reducing Structural Stress. *Proceeding of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2009)*, 2013-2018, 2009.

Sakurai, T., Sankai, Y. Development of Motion Instruction System with Interactive

Robot Suit HAL. *Proceeding of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, 1141-1147, 2009. (Finalist for Best Student Paper Award 受賞)

Shingu, M., Eguchi, K., Sankai, Y. Substitution of motor function of polio survivors who have Permanent Paralysis of Limbs by using Cybernic Voluntary Control. *Proceeding of the 2009 IEEE Int'l Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2009)*, 504-509, 2009.

Satoh, H., Kawabata, T., Sankai, Y. Bathing care assistance with Robot Suit HAL. *Proceeding of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO 2009)*, 498-503, 2009.

Shingu, M., Sankai, Y. Development of Foot Pressure Feedback System with Functional Electrical Stimulation for Robot Suit HAL. *Proceeding of 14th Annual Conference of the International FES Society*, 76-77, 2009.

Kawamoto, H., Hayashi, T., Sakurai, T., Eguchi, K., Sankai, Y. Development of Single Leg Version of HAL for Hemiplegia. *Proceeding of 31st Annual International Conference of the IEEE EMBS: Minneapolis, Minnesota, USA*, 5038-504, 2009.

Tsukahara, A., Hasegawa, Y., Sankai, Y. Standing-Up Motion Support for Paraplegic Patient with Robot Suit HAL. *Proceeding of the 2009 IEEE 11th Int'l Conf. on Rehabilitation Robotics (ICORR 2009)*. 211-217, 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

中島八十一. 高次脳機能障害者の地域支援. 第57回日本職業・災害医学会学術大会. 2009年11月;高槻.

竹内成生、中島八十一、門田宏、望月芳子、関口浩文. 空間認知記憶課題における予測と遂行評価. 日本臨床神経生理学会 第39回学術大会. 2009年11月; 於北九州国際会議場.

関口浩文、竹内成生、門田宏、河野豊、中島八十一. 脳波電極リード線の再配置によるTMS-EEGの効果的なアーチファクト減弱法. 日本臨床神経生理学会 第39回学術大会. 2009年11月;於北九州国際会議場.

河野豊、関口浩文、門田宏、竹内成生、上野友之、永田博司、中島八十一. 経頭蓋磁気刺激を用いたMirror therapyにおける皮質脊髄路の興奮性に関する研究. 日本臨床神経生理学会 第39回学術大会. 2009年11月; 於北九州国際会議場.

中島八十一. 高次脳機能障害者の地域生活支援推進に係わる今後の展開について. 徳島県高次脳機能障害講演会. 2009年11月; 徳島.

中島八十一. 高次脳機能障害者の支援. リハビリテーション看護研修. 2009年10月;所沢.

中島八十一. 次脳機能障害者の地域生活支援推進に係わる今後の展開について. 高次脳機能障害支援普及事業関東甲信越ブロック・東京ブロック合同会議. 2009年10月;東京.

河野 豊、中島八十一. 経頭蓋磁気刺激による短潜時誘発脳波と高次脳機能障害. 日本高次脳機能障害学会. 2009年10月;札幌.

中島八十一. 高次脳機能障害支援普及事業. 全国都道府県・政令市・中核市担当職員会議. 2009年9月; 厚生労働省 東京

中島八十一. 高次脳機能障害の支援. 2009年9月; 別府重度障害者支援センター 別府.

中島八十一. 高次脳機能障害支援普及事業の現況. 高次脳機能障害支援普及事業

九州・沖縄ブロック会議. 2009年7月;福岡.

中島八十一. 高次脳機能障害支援普及事業. 高次脳機能障害支援事業関係職員研修会.2009年7月;所沢.

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)

山海嘉之. 保健医療福祉分野におけるサイバニクスの最前線とその展開. 第48回全国自治体病院学会. 2009年11月;川崎.

山海嘉之. ロボットスーツの基礎研究と臨床応用. 日本整形外科学会 基礎学術集会. 2009年11月;横浜.

松下明, 長谷部浩二, 河本浩明, 上林清孝, 山海嘉之, 松村明. 医工連携による機器開発のための実験プロトコルの策定法 -ロボットによる人支援技術を中心に-. 社団法人日本脳神経外科学会 第68回学術総会. 2009年10月;東京.

山海嘉之. ロボットスーツ「HAL」によるリハビリテーション. 社団法人日本脳神経外科学会 第68回学術総会. 2009年10月;東京.

長谷部浩二, 河本浩明, 松下明, 上林清孝, 山海嘉之. 治験のプロセスを基にした人

支援技術開発のための実験プロトコルの策定法. 第7回生活支援工学系学会連合大会. 2009年9月;高知.

筑波大学. 動作補助装置、及び該動作補助装置を管理する情報管理装置.(特願2009-115295).

山海嘉之. 夢を現実にーロボットスーツ HAL の開発とこれからの医療介護への展開. 第4回岩手県立中央病院 総合学会. 2009年9月;岩手.

筑波大学. 装着補助具.(特願2009-123733).

山海嘉之. Cybernics : その現状と未来. 第23回人工知能学会 全国大会.2009年.6月;高松.

## 2. 実用新案登録

なし

## 3. その他

なし

## 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、脳波測定用電極付きキャップ及び脳波測定装置. (特願2009-257366).

筑波大学. 装着式動作補助装置.(PCT/JP2008/072081).

筑波大学. 重心位置検出装置及び重心位置検出装置を備えた装着式動作補助装置. (PCT/JP2008/072344).

筑波大学. 生体信号計測装着具及び装着式動作補助装置.(PCT/JP2009/65825).

筑波大学. 装着式動作補助装置のフレーム構造.(PCT/JP2009/66364).

筑波大学. 装着式動作補助装置.(2009-094695).

## II. 分担研究報告

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  
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 感覚機能系障害研究部感覚認知障害研究室長
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 感覚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 感覚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 感覚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 感覚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 障害工学部主任研究官

研究要旨

システム脳神経科学の視点から、障害者の活動領域を拡張させるためのブレイン-マシン・インターフェイス（BMI）研究開発を行った。脳波を用いた BMI による障害者の生活環境の制御に向けて、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、この視覚刺激として、これまでの輝度変化に加えて色変化を用いることで、使用感を向上させることに成功した。そして、このシステムが頸髄損傷者にて安定して使用できることを確認した。さらに、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を行っている。また、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開発を継続した。特に今年度はシステム開発（ソフトウェア）を重点的に行い、これまでの各種機能を拡張した。コミュニケーション機能としては、日本語入力、電子メール、インターネット電話、ウェブブラウジング環境を実装した。また、着脱容易な脳波電極の開発も行った。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継続して行い、肘肩の多関節運動への機能拡張にも成功した。手指による把持動作を用いた頸髄損傷者、片麻痺者を対象とする臨床研究も行った。さらに、筋電とのハイブリッド制御に向けた筋電計を作成した。

## 分担研究課題（小課題）：BMIによる生活環境制御

### 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もと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

昨年度は、BMI 型生活環境制御システム (BMI-ECS) に用いる視覚刺激について、従来用いられていた輝度の変化によるもの

から、それに色の変化を加えたものを提案し、操作精度が向上することを示した (Takano, et al., 2008, Soci Neurosci Abstr; Takano, et al., 2009, Clin Neurophysiol)。しかしながら、色については、例えば赤/青の組み合わせではてんかん発作波を誘発しやすいといったことも知られており、本研究では特に、視覚刺激に対する使用感について調査を行った。

さらに、BMI 機器が使用可能なエリアを広げ、ひいてはそれを利用する障害者の活動領域拡張させるための新たな手法として、拡張現実 (Augmented Reality: AR) 技術を利用した AR-BMI を提案し実装した。

#### 実験手法

##### B-a. 使用感評価に関する実験

##### 実験条件

3x3 の照明制御と、8x10 の平仮名入力パネルの 2 種類を使用し、それぞれについて輝度 (Luminance) 条件と色 (Chromatic) 条件での比較を行なった。

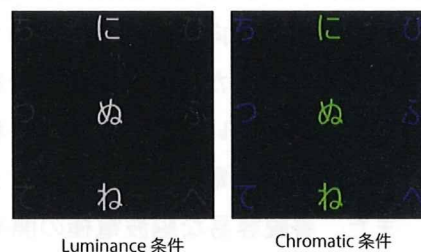


図 1 条件による刺激の違い





図2 ARによる照明操作パネルの表示例(左)とAR マーカー(右)

#### 実験課題

被験者には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10周の刺激提示毎に判別を行ない1回のコマンド入力を行なう。各パネル、各条件においてそれぞれ15回のコマンド入力を行なった。

#### 評価方法

使用感と精度に関する評価を行なった。使用感については課題終了後、視覚アナログスケール (VAS) を用いて評価を行ない、精度に関しては指定した対象と結果の一致率によって計算した。

#### 被験者

健常な右利き被験者8名(25-47才、男女各4名)にて実験を行なった。

#### B-b. ARによる刺激提示を用いたBMI 実験条件

4つのアイコンを持つ照明操作パネルを用いて機器の操作を行なった。

#### 刺激提示手法について

この実験では刺激の提示手法として拡張現実 (AR) 技術を利用したので、ここで説明を加える。

拡張現実とは、現実の映像にCGなどにより情報を部分的に上書きする技術である。どの場所にどのように上書きをするかについては様々な手法があるが、今回は特に、照明操作を行うためのシステムを実装した。このシステムでは、ARマーカーとよばれるマークをカメラにて認識し、そのカメラ映像の上にBMIで使用する照明操作様のパネルを表示する。図2の場合、照明の脇に置いたマーカー(図2右)をカメラが認識して、実際の映像の上に照明操作用のパネルが表示されている(図2左)。

#### 実験課題

被験者には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周の刺激提示毎に判別を行ない1回のコマンド入力を行なう。コマンド入力は15回行なった。

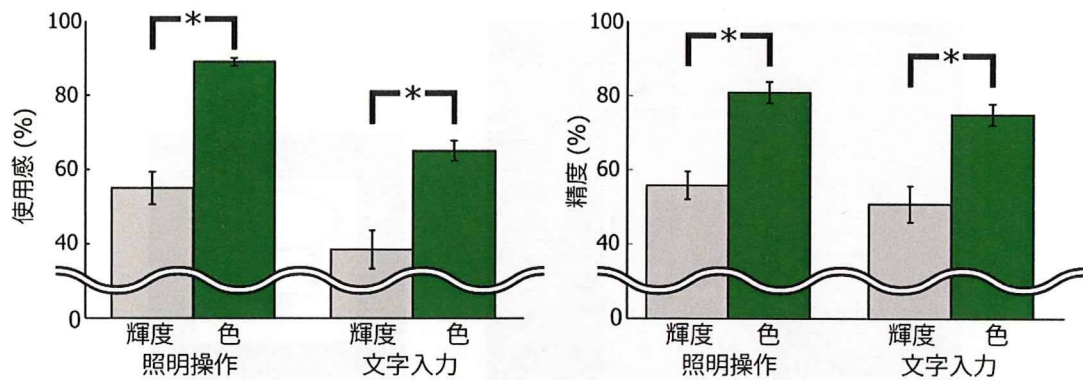


図 3 条件による使用感の評価と精度の違い

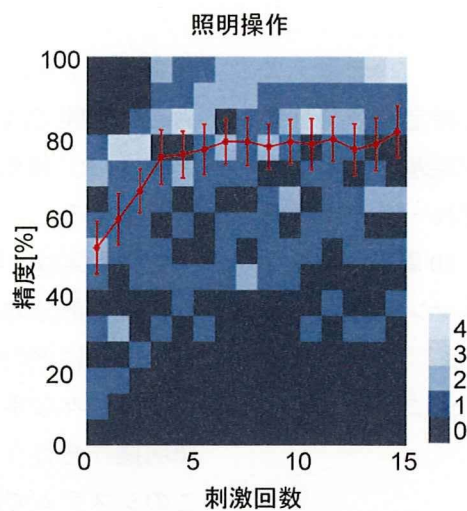


図 4 AR を用いた視覚刺激提示時の精度

#### 評価方法

精度に関しては指定した対象と結果の一致率によって計算した。

#### 被験者

健常な右利き被験者 10 名（19-39 才、女性 2 名）にて実験を行なった。

#### （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. 結果

### C-a. 使用感評価に関する実験

使用感については、Luminance 条件での照明操作と文字入力に関してそれぞれ 55.0%,38.7%の評価であったのに対して Chromatic 条件では 89.0%,65.1%であり、各々 Chromatic 条件において有意に高い評価を得た (図 3 左)。次に精度に関しては、Luminance 条件での照明操作と文字入力が 55.8%,50.8%であったのに対して、Chromatic 条件では 80.8%,75.0%であり (図 3 右)、各々 Chromatic 条件が使用感と精度の向上に寄与することが見出された (Takano, et al., 2009, Neurosci Res Suppl)。

### C-b. AR による刺激提示を用いた BMI

AR-BMI システムを用いた照明操作にて、その操作精度は 80.7%の精度であった (図 4)。この結果から AR を利用した形で視覚刺激を提示した場合でも、実用に足る精度が確保できることが示唆された (Kansaku, et al., 2010, Neurosci Res)。

## D. 考察および今後の予定

一連の実験により、従来の輝度刺激と比較して色の刺激を用いることで BMI の使用感と精度が向上することが示された。これ

については、さらに MEG も使用し、背景脳活動の調査も進めている (Takano, et al., 2009, Soci Neurosci Abstr)。こうした研究を基として、システムをさらに最適化させていきたい。

こうした研究開発を行っていくことで、BMI によるインテリジェントハウスやインテリジェントホスピタルを実現させていきたい (Kansaku, in press, Springer Verlag)。

## 分担研究課題（小課題）：BMI システムの開発

### A. 研究目的

入力された脳機能信号が符号化され何らかのアプリケーションを制御する段階までを通した「システムとしての非侵襲 BMI」を見た場合、2008 年段階で先陣をきっているのはニューヨーク州立大発の『BCI2000』およびオーストリア企業グーガー・テクノロジーの商品である一連の『g.tec』パッケージである。前者はソースコードが公開されているため研究プラットフォームに適している一方、商業利用には制限が科せられている。後者はそもそも商業パッケージであるため、システム開発が進むほどブラックボックス部分、そして海外企業であることが足枷となり、また今後の医療現場などでの応用展開を見据えた場合、使用に足るシステムを構築するためには価格も問題となる。

本研究は基礎的データ収集のため g.tec パッケージを導入するかたちで開始されたが、アプリケーションを強く念頭においた BMI システムを今後に渡って構築してゆく際に、例えば公開されている BCI2000 のソースを換骨奪胎することなどは適切ではない。

こうした観点からして既存の BCI/BMI アルゴリズムや論文を参考にしつつコードレベルから開発、内製化してしまうのが、最も望ましいと考えられる。よって本稿では、その戦略に従って行われた BMI システム開発の成果について述べる。

### B. 研究方法

これまでの様々な研究の成果により参考となる既知の BCI/BMI アルゴリズムが存在する。そのため本開発で新たに行うべきことは、研究・開発両面の要求に従った新規ソフトウェア群となる。その内訳としては脳機能信号を取得し、信号処理および判別アルゴリズムを経て符号化し、制御機器へ向けたコマンドに変換するものを設計し、適切な（ユーザのニーズを満たし得るかたちでの）実装を行うことである。

生活環境制御というアプリケーションの最終段階を考慮して上記から要求される機能を纏めると、自分の意思で希望する選択を行なう、ということになる。これを満たすために、機能的には自発的な駆動と多数の選択肢からの選択が必要となる、前者に関しては「視覚提示を待たず任意のタイミングでコマンド発行できる」という利点を持つ自発イメージ型、後者に関しては「視覚提示された多数の選択肢からの択一を行える」という利点をもつため入力効率に優れた視覚応答型（P300 スペラー等の名称で知られる）が適しており、開発されるシステムには両者の適切な組み合わせが望まれる。そこで本システムは、両者に対応できるよう基礎設計が行なわれた。また前者については、上肢の運動をイメージした場合の脳波変化を利用することとした (Komatsu, et al., 2009, Soci Neurosci Abstr)。

コーディング言語は C++を採用し、徹底的なモジュール化を目指した。これにより、研究や機器の進歩に対して、最小限の改訂