

201224011A

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24年度 総括・分担研究報告書

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24年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 中島 八十一

平成25(2013)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	----- 41

III. 研究成果の刊行に関する一覧表

----- 47

IV. 研究成果の刊行物・別刷

----- 49

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、視覚刺激の最適化や機器の機能拡充を行うなど、BMI技術の実用化に向けた開発を進めた。また、昨年度に引き続き機器操作の簡略化やマニュアルの改善を進め、筋電位や視線等複数の生体由来信号へ対応した機器の試用を行った。脳波電極についてはディスプレイ電極を試作するとともに市販化に向けた検討も始めた。脳波信号を用いて運動補助を行うためのBMI型上肢アシストスーツについては、より随意性を高めるための開発を継続するとともに、それと並行して日常使用を可能とするためのアシストスーツの小型軽量化等を進めた。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、研究開発を進めている。

B. 研究方法

本研究では、BMI 技術を利用した障害者自立支援機器の研究開発を行っている。これまで、BMI による障害者の活動領域拡張のため、主に視覚刺激による脳波信号を用いた生活環境制御装置(BMI-ECS)を研究開発し、従来手法より使用感と精度を向上させる視覚刺激を考案し、また頸髄損傷者が開発したシステムを安定使用可能なことを確認した。さらに ALS を中心とした患者を対象とした実証評価を行い、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、加えて筋電位や視線等複数の生体由来信号への機器対応を行うなどの研究開発を進めた。さらに、運動の補助に向け、BMI 型上肢アシストスーツの開発も行った。

本年度はこれまでの成果を元に、患者を対象とした実験、中長期での実証試験に向けた機器の改良と機能の検討、システムの公開に向けたプログラムの改変、軽量な BMI 型上肢アシストスーツの開発等、実用化へ向けた機器の研究開発を進めた。

さらに、運動機能障害者の自立支援機器として、これまで筑波大学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。

C. 研究結果

患者・障害者を対象とした実証研究を進めた(計 55 名)。本年度の実証研究では、頸髄損傷者や ALS 患者に加えて脊髄小脳変性症者への対象の拡大や、BMI 機器の潜在的なユーザー数についての検討等を行った。また、実証評価により得られたデータをフィードバックし、視覚刺激の最適化を継続するとともに、機器の機能拡充を行うなど、実用的な BMI 機器としての開発を進めた。

さらに、中長期試験の実施に向けて、機器操作の簡略化やマニュアルの改善を進めた。また、筋電位や視線等複数の生体由来信号への対応した統一ユーザーインターフェイスを用いた実験も進めた。その他、より多くの人が使用可能なシステムを目指し、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。

脳波電極についてはディスプレイ電極を試作するとともに市販化に向けた検討も始めた。また、これらと並行して脳信号のより効率的な利用に向けた基礎的な研究も進めた。

BMI 型上肢アシストスーツについては、より随意性を高めるための開発を継続するとともに、それと並行して日常使用を可能とするためのアシストスーツの小型軽量化等を進めた。

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。

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¹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・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. 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

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

川瀬利弘、小池康晴、神作憲司. 筋骨格モデルを使用した表面筋電位による手先位置推定. *信学技法*, Vol.112 No.297, MBE. 2012-49: 21-24, 2012.

武富 卓三, 山海 嘉之, ロボットスーツ HAL による脳性麻痺患者の歩行支援に関する研究, *生体医工学*,50(1), 105-110, 2012

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 (2012) No. 1, 117-123

佐邊綾太郎, 林知広, 山海嘉之, “視覚情報提示による手すりへの依存荷重フィードバックシステムの開発”, *日本機械学会論文集(C編)*, Vol. 78, No. 792, 3000-3012, 2012

山海嘉之, 桜井尊, “福祉ロボットにおけるテレロボティクス”, *日本ロボット学会誌*, Vol.30, No.6, 595-598, July 2012

山海嘉之, 桜井尊, “サイバニクスを駆使した HAL(Hybrid Assistive Limbs)最前線”, *分子脳血管病*, Vol.11, No.3, 25-34, July 2012

Alexsandr Igorevitch Ianov, Hiroaki Kawamoto, Yoshiyuki Sankai, “Development of Hybrid Resistive-Capacitive Electrodes for Electroencephalogram and Electrooculogram”, *IEEJ Transactions of Sensors and Micromachines*, Vol. 133, No. 3, 2012(in press)

鍋島厚太, 河本浩明, 山海嘉之, “装着型歩行補助ロボットのリスク分析と安全性試験法”, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.7-8, 2012.

Ikeda Takahiro, Matsushita Akira, Saotome Kosaku, Hasegawa Yasuhisa and Sankai Yoshiyuki, “Pilot study of floor-reactive-force generator mounted on MRI-compatible lower-extremity motion simulator-”, The 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2012), pp.311-316, 2012

Kanako Yamawaki, Ryohei Ariyasu, Shigeki Kubota, Hiroaki Kawamoto, Yoshio Nakata, Kiyotaka Kamibayashi, Yoshiyuki Sankai, Kiyoshi Eguchi, and Naoyuki Ochiai, Application of Robot Suit HAL to Gait Rehabilitation of Stroke Patients: A Case Study, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Volume 7383, pp. 184-187, 2012

総説

神作憲司. ブレイン・マシン・インターフェイス (BMI) による環境制御. 医学のあゆみ. 2013. (印刷中)

神作憲司. 脳波による実用的な BMI 研究開発. 認知神経科学. 2012. (印刷中)

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.

抄録・プロシーディング

Ora, H., Wada, M., Salat, D.H., Kansaku, K. Arm crossing updates the functional connectivity of the left posterior parietal cortex. Program No.565.09. 2012 Abstract Viewer/Itinerary Planner. New Orleans: Society for Neuroscience, 2012. Online.

Ikegami, S., Takano, K., Kondo, K., Saeki, N., Kansaku, K. Effect of visual stimuli in P300-based brain-computer interface for ALS patients. Program No.792.01. 2012 Abstract Viewer/Itinerary Planner. New Orleans: Society for Neuroscience, 2012. Online.

Komatsu, T., Takano, K., Nakajima, Y., Kansaku, K. Development of a unified user interface ready for EEG and other signals for ALS patients. Program No.792.18. 2012 Abstract Viewer/Itinerary Planner. New Orleans: Society for Neuroscience, 2012. Online.

Sakurada, T., Kawase, T., Kansaku, K. A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities: asynchronous control based on high frequency SSVEP. Program No.682.11. 2012 Abstract Viewer/Itinerary Planner. New Orleans: Society for Neuroscience, 2012. Online.

Kawase, T., Sakurada, T., Kansaku, K. A BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities: A combination of EEG and EMG. Program No.682.06. 2012 Abstract Viewer/Itinerary Planner. New Orleans: Society for Neuroscience, 2012. Online.

Ora, H., Wada, M., Salat, D.H., Kansaku, K. Arm crossing updates the functional connectivity of the left posterior parietal cortex. Society for Neuroscience HOT TOPICS: 106, 2012.

Takano, K., Komatsu, T., Kondo, K., Nakajima, Y., Kansaku, K.. Development of an easy-to-use BMI system for ALS patients. Program No. P1-k02. 2012 JNS Meeting Planner. Nagoya, Japan: The Japan Neuroscience Society, 2012. Online.

高野弘二、関原謙介、岩木直、神作憲司. P300-BCI 遂行時の機能的結合解析. 日本生体磁気学会誌・特別号, 25(1): 38-39, 2012.

Ora, H., Wada, M., Salat, D.H., Kansaku, K. Functional connectivity of the left posterior parietal cortex during arm crossing. The Journal

of Physiological Sciences, 62: Suppl .1, S233(3PJ-162), 2012

Modar Hassan, Hideki Kadone, Kenji Suzuki, and Yoshiyuki Sankai, "Exoskeleton Robot Control based on Cane and Body Joint Synergies" Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems , pp.1609-1614, 2012.

Kousuke Hiramatsu, Yoshiyuki Sankai, "Development of 3D Visual Feedback System for Cybernic Master System", Proceedings of the 2012 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 25-30, 2012

Takumi Taketomi, Yoshiyuki Sankai, "Stair Ascent Assistance for Cerebral Palsy with Robot Suit HAL", proceedings of the International Symposium on System Integration (SI International 2012, SII2012), pp. 336-331, 2012

Ryotaro Sabe, Tomohiro Hayashi, Yoshiyuki Sankai, "Visual Feedback System Showing Loads on Handrails for Gait Training", proceedings of the International Symposium on System Integration (SI International 2012, SII2012), pp. 337-342, 2012

Hayato Koba, Kinichi Nakata, Yoshiyuki Sankai, "Noise-Resistant Vascular Parameter Identification for Artery Testing", proceedings of the International Symposium on System Integration (SI International 2012, SII2012), pp. 498-503, 2012

Alexsandr Igorevitch Ianov, Hiroaki Kawamoto, Yoshiyuki Sankai, "Wearable Parallel Processing Based High-Resolution High-Speed Electroencephalogram Monitoring Integrated System", proceedings of the International Symposium on System Integration (SI International 2012, SII2012), pp. 186-191, 2012

Alexsandr Igorevitch Ianov, Hiroaki Kawamoto, Yoshiyuki Sankai, "Development of a Capacitive Coupling Electrode for Bioelectrical Signal Measurements and Assistive Device Use", Proceedings of the 2012 ICME

International Conference on Complex Engineering, pp. 593-598 (2012)

書籍

神作憲司. 脳波で操作する環境制御システムの開発. 次世代ヒューマンインタフェース開発の最前線, エヌ・ティー・エス (印刷中)

神作憲司. 脳神経科学と法 Comment1 ブレイン・リーディング. 「Jurist」増刊: ケース・スタディ 生命倫理と法 第2版. 樋口範雄 (編著), 有斐閣, pp. 319-322, 2012.

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.

2. 学会発表

講演等

神作憲司. 脳からの信号による環境制御とコミュニケーションの補助. 平成24年度「自立支援機器」に関する研修会・川崎市障害者更生相談所. 2013年1月; 川崎. (講師)

神作憲司. 脳からの信号で機械を動かす: ブレイン-マシン・インターフェイス. 日本筋ジストロフィー協会・創立50周年記念座談会. 2012年12月; 東京.

神作憲司. ブレイン-マシン・インターフェイス (BMI) と神経難病リハ. 第2回神経難病リハビリテーション研究会. 2012年11月; 北九州.

Kansaku, K. Development of a BMI based environmental control system. 71st Annual Meeting of the Japan Neurosurgical Society: International Symposium on the Clinical Application of Brain-Machine Interfaces (BMI). October 2012; Osaka, Japan.

神作憲司. ブレイン-マシン・インターフェイス(BMI)の医療福祉への展開. 第34回

関東機能的脳外科カンファレンス. 2012年9月; 東京. (特別講演)

神作憲司. 脳波による実用的な BMI 研究開発. 第 17 回認知神経科学会学術集会・シンポジウム「機能画像と BMI」. 2012年9月; 東京.

神作憲司. 非侵襲型 BMI による障害者自立支援. 脳科学研究戦略推進プログラム BMI 臨床系ワークショップ「ブレイン・マシン・インターフェースの実用化に向けての期待—利用者・市民の立場から」. 2012年9月; 東京.

サイバニクス技術を駆使した未来開拓最前線～ロボットスーツ HAL、そしてサイバニックリムの応用展開～, 山海嘉之, 第 28 回日本義肢装具学会学術大会, 名古屋国際会議場, 2012.11.11

Cybernetics: fusion of Human, Machine and Information ~Robot Suit for the Future~, Yoshiyuki Sankai, The 3rd International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots (SIMPACT2012), 産業技術総合研究所つくば研究センター, 2012.11.7

サイバニクスを駆使したロボットスーツ HAL ~医療機器としての展開~, 山海嘉之, 第 3 回関東臨床工学会, つくば国際会議場, 2012.11.4

ロボットスーツ HAL の脊髄損傷患者への適用 Robot Suit HAL and Application for SCI patients, 山海嘉之, 第 47 回日本脊髄障害医学会, 静岡県コンベンションアーツセンター, 2012.10.25

サイバニクスを駆使した未来開拓最前線～ロボットスーツ HAL,そして、バイタルセンシング～, 第 104 回日本医学物理学会学術大会, つくば国際会議場, 2012.9.14

ロボットスーツ HAL と臨床応用の展開, 山海嘉之, 第 5 回アジア義肢装具学術大会 (APOS2012), 神戸国際会議場, 2012.8.4

Leading Edge of HAL (Hybrid Assistive

Limb) and Clinical Applications, Yoshiyuki Sankai, Med Tech Pharma 2012, Nuernberg Germany, 2011.7.5

夢を実現する ~世界初 ロボットスーツ『HAL』誕生までの軌跡~, 自動車技術会 2012 春季大会, パシフィコ横浜, 2012.5.24

ロボットスーツ HAL の現状と小児神経への展開, 山海嘉之, 第 54 回日本小児神経学会総会, ロイトン札幌, 2012.5.19

Recent Advances of HAL (Hybrid Assistive Limb) and clinical applications, Yoshiyuki Sankai, Symposium World Congress Orthopaedic+Reha-technik 2012, Leipzig Germany, 2012.5.16

鍋島厚太, 新宮正弘, 河本浩明, 山海嘉之, CYBERDYNE のリスク管理方法と安全規格への貢献, 第 30 回日本ロボット学会学術講演会, 2012年9月20日, 札幌コンベンションホール, 北海道

シンポジウム等

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)

高野弘二, 関原謙介, 岩木直, 神作憲司. P300-BCI 遂行時の機能的結合解析. 第 27 回日本生体磁気学会. 2012年6月; 東京.

一般口演・ポスター

櫻田武, 神作憲司. 能動的注意の空間分布に応じて変化する両手運動の協調性. ヒューマンパフォーマンス研究会. 2013年2月; 大阪.

川瀬利弘, 櫻田武, 神作憲司. 脳波と表面筋電位を用いた BMI 型上肢アシストスーツ. 第 29 回 国立障害者リハビリテーションセンター業績発表会. 2011年12月; 所沢.

川瀬利弘, 小池康晴, 神作憲司. 筋骨格モデルを使用した表面筋電位による手先位

置推定. 電子情報通信学会・ニューロコンピューティング研究会・ME とバイオサイバネティクス研究会 (MBE). 2012 年 11 月; 仙台.

Ora, H., Wada, M., Salat, D.H., Kansaku, K. Arm crossing updates the functional connectivity of the left posterior parietal cortex. The 42nd Annual Meeting of the Society for Neuroscience. Oct 2012; New Orleans, USA.

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.

Ikegami, S., Takano, K., Kondo, K., Saeki, N., Kansaku, K. A modification of visual stimuli in P300-based BMI for ALS patients. 71st Annual Meeting of the Japan Neurosurgical Society: International Symposium on the Clinical Application of Brain-Machine Interfaces (BMI). October 2012; Osaka, Japan.

Takano, K., Komatsu, T., Kondo, K., Nakajima, Y., Kansaku, K. Development of a practical BMI system for paralysis. 71st Annual Meeting of the Japan Neurosurgical Society:

International Symposium on the Clinical Application of Brain-Machine Interfaces (BMI). October 2012; Osaka, Japan.

Takano, K., Komatsu, T., Kondo, K., Nakajima, Y., Kansaku, K. Development of an easy-to-use BMI system for ALS patients. The 35th Annual Meeting of Japan Neuroscience Society. September 2012; Nagoya, Japan.

Kamibayashi K, Kawamoto H, Sankai Y. Aftereffects of robotic-assisted treadmill walking on the locomotor pattern in humans. 34th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2012), 2012.8.30, San Diego, USA.

Kanako Yamawaki, Ryohei Ariyasu, Shigeki Kubota, Hiroaki Kawamoto, Yoshio Nakata, Yoshiyuki Sankai, Kiyoshi Eguchi, and Naoyuki Ochiai. Application of Robot Suit HAL to Gait Rehabilitation of Stroke Patients: A Case Study. 13th International Conference on Computers Helping People with Special Needs. Linz, Austria, July 11-13, 2012

Alexsandr Igorevitch Ianov, Hiroaki Kawamoto, Sankai Yoshiyuki, "Development of a Capacitive Coupling Electrode for Bioelectrical Signal Measurements and Assistive Device Use", 2012 ICME International Conference on Complex Medical Engineering, 2012 July 1-4

Modar Hassan, Hideki Kadone, Kenji Suzuki, and Yoshiyuki Sankai : Gait Analysis with Cane for Robot Assisted Locomotion, Proceedings of ISPGR / Gait and Mental Function 1st Joint World Congress, O.14.2, pp.65, Trondheim, June 24-28, 2012.

Kousaku Saotome, Akira Matsushita, Tomonori Isobe, Eisuke Satou, Satoru Osuka, Shinoda Kazuya, Jun Ookubo, Yoshiyuki Ishimori, Akira Matsumura, and Yoshiyuki Sankai, Comparison of Diffusion Tensor Imaging-Derived Fractional Anisotropy in Multiple Vendors, 20th Annual Meeting & Exhibition, Melbourne, Melbourne, 5/6 2012.

大良宏樹、和田真、デイビッドサラット、神作憲司. 腕交差による左後部頭頂皮質の機能的結合の更新. 第4回マルチモーダル脳情報研究会. 2012年7月; 所沢.

高野弘二、関原謙介、岩木直、神作憲司. 脳磁図を用いた P300-BCI 遂行時の機能的結合の解析. 第4回マルチモーダル脳情報研究会. 2012年7月; 所沢.

櫻田武、神作憲司. 両手協調運動における能動的注意の影響. 第6回 Motor Control 研究会. 2012年6月; 岡崎.

Hiroaki Kawamoto, Kanako Yamawaki, Kiyoshi Eguchi, Yoshiyuki Sankai, Gait Training with Robot Suit HAL, for Stroke Patients: A Case Report, The 30th annual conference of the robotics society of Japan, September 18, 2012, Hokkaido, JAPAN

五月女康作, 松下明, 門根秀樹, 池田貴公, 長谷川泰久, 山海嘉之, 下肢屈伸運動時 f-MRI における頭部固定法の検証, 日本磁気共鳴医学会, pp.184, 京都, 9/6 2012.

河本浩明, 桜井尊, 山脇香奈子, 山海嘉之, 片麻痺疾患のための健側歩容を活用したロボットスーツ HAL の歩行支援, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2012年5月29日, 浜松

長谷川泰久, 副島英明, 山海嘉之, 上林清孝, 装着型ピアノ演奏教示装置の研究・開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2012年5月28日, 浜松

江口清, 有安諒平, 山脇香奈子, 久保田茂希, 河本浩明, 上林清孝, 中田由夫, 山海嘉之, 落合直之. 下肢機能障害に対するロボットスーツ HAL の動作支援効果. 第49回日本リハビリテーション医学会学術集会. 福岡, 2012.5.31

五十嵐直人, 門根秀樹, 鈴木健嗣, 山海嘉之: 着用型発光センサスーツによる運動状態の体表上提示と認知支援, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集, 2A2-B03, 浜松, 5月27-29日, 2012.

大場隆宏, 門根秀樹, 鈴木健嗣: MR 流体を用いた可変剛性リンクの開発と上肢動作支援への応用, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会予稿集, 2A1-E05, 浜松, 5月27-29日, 2012.

Ora, H., Wada, M., Salat, D.H., Kansaku, K. Functional connectivity of the left posterior parietal cortex during arm crossing. The 89th Annual Meeting of the Physiological Society of Japan. March 2012; Matsumoto, Japan.

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, 国際出願番号: PCT/JP2012/080707). 出願日 2011.11.30. 国際出願日 2012.11.28.

山海嘉之
発明の名称 装着式動作補助装置
出願人 筑波大学
出願番号 2012-037595

発明者 山海嘉之
発明の名称 表示装置型リハビリテーション支援装置及びリハビリテーション支援装置の制御方法
出願人 筑波大学
出願番号 2012-040049

発明者 山海嘉之
発明の名称 多自由度補助装置
出願人 筑波大学
出願番号 2012-041567

発明者 山海嘉之
発明の名称 生体信号計測システム、および生体信号計測方法
出願人 筑波大学
出願番号 2012-043859

発明者 山海嘉之、林知広
発明の名称 歩行訓練装置及び歩行訓練システム

出願人 筑波大学、CYBERDYNE 株式会社
出願番号 PCT/JP2012/055223

発明者 山海嘉之
発明の名称 マニピュレーションシステム
出願人 筑波大学
出願番号 2012-142014

発明者 山海嘉之
発明の名称 マニピュレーションシステム
出願人 筑波大学
出願番号 2012-142024

発明者 山海嘉之、脇田 英知、新宮 正弘
発明の名称 発光装置及び装着式動作補助装置
出願人 筑波大学、CYBERDYNE 株式会社
出願番号 2012-144224

発明者 山海嘉之、新宮正弘
発明の名称 駆動ユニット及びその駆動ユニット
を備えた装着式動作補助装置
出願人 筑波大学
出願番号 2012-199111

発明者 山海嘉之
発明の名称 インターフェース装置及びその制御方法
出願人 筑波大学
出願番号 2012-257387

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

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	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研究員
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客員研究員
研究協力者	大良 宏樹	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	櫻田 武	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	川瀬 利弘	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研究協力者
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

これまでの研究で分担研究者らは、視覚刺激による脳波を用いた環境制御装置等を開発した。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ともに、拡張現実（AR）技術を組み合わせるなど機能拡張のための基盤技術開発を行った。システムのソフトウェア部（日本語入力、電子メール等）の実装や、ハードウェア部としての小型 BMI 用脳波計（有線、無線）、着脱容易な脳波電極の開発を行い、これらを用いて筋萎縮性側索硬化症（ALS）等を対象とした実証評価を進めた。本年度は、これまでの開発の成果を受けて、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さらなる機器開発を行った。視覚刺激の最適化を継続するとともに、機器の機能拡充を行うなど、実用的な BMI 機器としての開発を進めた。また、昨年度に引き続き機器操作の簡略化やマニュアルの改善を進め、筋電位や視線等複数の生体由来信号へ対応した機器の試用を行った。脳波電極についてはディスプレイ電極を試作するとともに市販化に向けた検討も始めた。BMI 型アシストスーツについては、より随意性を高めるための開発を継続するとともに、それと並行して日常使用を可能とするためのアシストスーツの小型軽量化等を進めた。また、これらと並行して脳信号のより効率的な利用に向けた基礎的な研究も進めた。

分担研究課題（小課題）：BMI 機器を用いた臨床研究

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う「ブレイン-マシン・インターフェイス (Brain-Machine Interface: BMI) / ブレイン-コンピューター・インターフェイス (Brain-Computer Interface: BCI)」の技術を用いることで、筋萎縮性側索硬化症 (ALS)、脊髄損傷、脳卒中などにより運動機能に後遺障害を負った患者や障害者のコミュニケーション補助、生活環境制御や運動機能補助等が可能となる。

我々は、Donchin らにより報告され、アルファベットのワープロ入力に用いられた P300 スペラー方式 (Farwell and Donchin, 1988, *Electroenceph Clin Neurophysiol*) を家電制御に拡張して、視覚刺激により誘発された脳波信号を利用し、デスクライトの点灯やテレビのチャンネル切り替えといった家電操作等が可能な環境制御システムを開発した (Komatsu, et al., 2008, *Neurosci Res Suppl*; Komatsu, et al., 2009, *Soc Neurosci Abstr*)。当初は視覚刺激として輝度変化 (白/灰) を用いていたが、これに色変化 (緑/青) を加えると、健常被験者の使用感および操作精度 (正答率) が有意に向上することを明らかにした (Takano, et al., 2009, *Clin Neurophysiol*; Takano, et al., 2009, *Neurosci Res Suppl*)。さらに、頸髄損傷者による視覚誘発型 BMI の実証評価でも、条件によっては 90%以上の正答率を示すことなど、実用に耐えうる精度 (70%以上) で操作可能なことを報告した (Ikegami, et al., 2011, *Clin Neurophysiol*)。本分担研究では、これまで BMI の実使用者

と考えられる、意思決定が可能でもそれを出ることが困難な進行期の筋萎縮性側索硬化症 (amyotrophic lateral sclerosis: ALS) 患者等を対象として研究を進め、BMI 機器の操作精度や視覚刺激による操作精度の違いを検討した。また、実用化に向けた中長期の機器試用や運用に向けた環境整備として、病院スタッフや介助者によるシステム運用のためのマニュアル作成や、マニュアルでは対応が困難な事態への対処を可能とするシステムの遠隔メンテナンス機能について研究開発を行った。

本年度は、これまでの開発の成果を受けて、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さらなる機器開発を行った。ここでは、本研究で開発を行っている BMI 機器が実用化された場合に推定されるユーザー数について、さらには予定している病院や在宅での本 BMI 機器の中長期試験に向けた研究開発について中心に紹介する。

B. 研究方法

実証評価は本研究課題で開発した BMI 機器及びシステムを使用して行った。開発品に関する詳細は別項にて示す。対象としては、筋萎縮性側索硬化症 (ALS)、さらには脊髄小脳変性症、頸髄損傷等とした。

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、都立神経病院および国立病院機構箱根病院に通院もしくは入院中の患者とし、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抽出、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、判別を行う SSVEP (Steady State Visual Evoked Potential) 方式を用いた。

B-a. ALS 患者等を対象とする BMI 機器を用いた臨床研究

本課題では、患者・障害者を対象とした実証研究を進めてきた(これまで 55 人)。これらのデータから、これまでに開発した BMI 機器についてどの程度のユーザーが見込まれるかについて検討を行った。

対象は公立八鹿病院および都立神経病院に通院もしくは入院中の ALS 患者とし、病院施設もしくは在宅環境にて実験を行った。P300 方式の実験では文字入力を、昨年までの研究で精度の向上に有効性が確認されている輝度変化に緑と青の色変化を加えた視覚刺激を用いて行った。コマンド入力の為の視覚刺激の強調回数は被験者に応じて 6 回から 8 回で設定した。脳波電極は基準電極 2ch、データ用のチャンネル 8ch(図 1)から記録された脳波をオンラインで解析し、正答率を評価した。解析には線形判別分析を用いた。

被験者には ALS の患者 12 名(女性 5 名、男性 7 名、平均年齢 67.0 歳、表 1)を対象とし、実験は BMI 機器を被験者の状況に合わせて適切に設置し進行した。課題には P300 方式を用い文字入力のパネルは 2 段階で 1

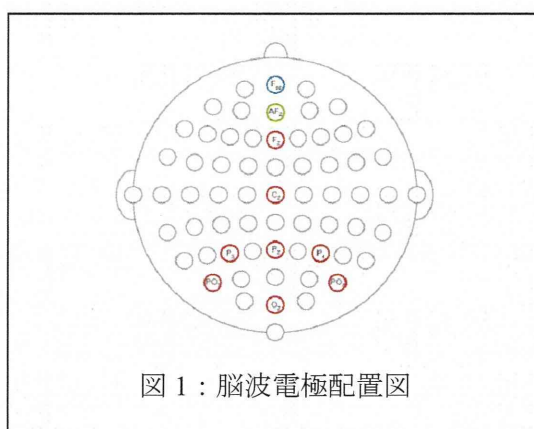


図 1：脳波電極配置図

文字を入力する方式を用いて行った。入力の実験は 54 とした。第一段階では 6 つのアイコンから、第二段階では 9 つのアイコンから選択を行い、文字を入力した。

また、ALS 以外の難治性疾患の患者についても同様の実験を行った。都立神経病院および国立病院機構箱根病院に通院もしくは入院中の患者を対象として実験を行った。

表 1: ALS 患者

	年齢	性別	ALSFRS-R
ALS-1	65	F	0
ALS-2	61	M	0
ALS-3	78	M	0
ALS-4	79	M	0
ALS-5	65	M	0
ALS-6	67	M	1
ALS-7	76	F	2
ALS-8	68	M	6
ALS-9	63	F	8
ALS-10	66	F	13
ALS-11	57	M	21
ALS-12	59	F	38

ALSFRS-R: ALS Functional Rating Scale

B-b BMI 機器の中長期評価に向けた検討

分担研究者らはこれまで、BMI システム (図 2) の研究開発を推進し、多様な病態に対応可能な統一ユーザーインターフェイス (UI) の開発や、遠隔地からのサポート、システムを使用するためのマニュアルの作成を進めてきた。本年度は特に、これらのシステムを用いた中長期評価に向けた検討を行った。具体的には、公立八鹿病院に入院中の患者 2 名 (62 歳男性、76 歳女性、ALSFRS-R = 0) の協力により、統一 UI を用いてスイッチ入力と BMI による入力を複数回にわたって実施し、感想をいただいた。また、これとは別に箱根病院に通院中の脊髄小脳変性症の方にスイッチ入力による試用に協力をいただいた。

(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。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

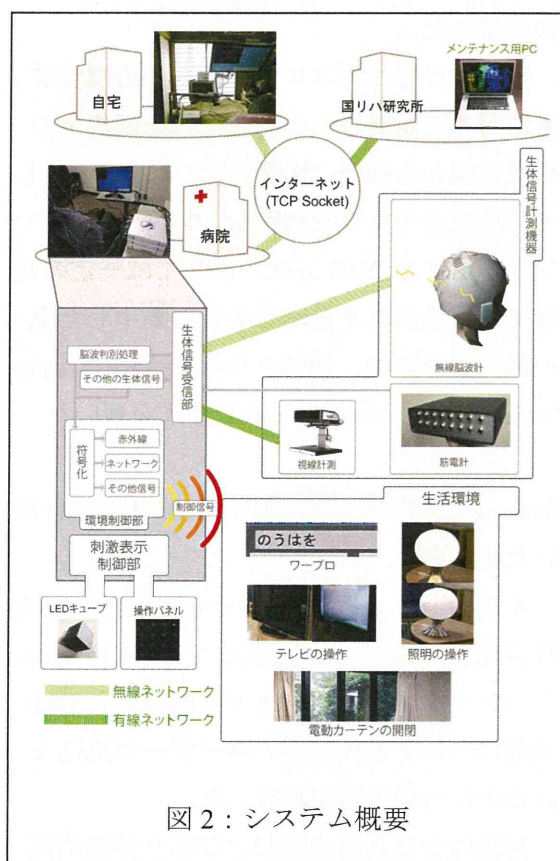


図 2: システム概要

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

本課題は患者・障害者を対象とした実証研究を進めた(これまで計 55 名)。その結果から、開発した BMI 機器について、ALS において 4,000 人強、脊髄小脳変性症等を合わせて 10,000 人程度の潜在的なユーザーが見込まれた。

C-a. ALS 患者等を対象とする BMI 機器を用いた臨床研究

これまで実験を行ったうち、改良後の機器を用いて実験を行った ALS 患者 12 人について文字入力の正答率を元に評価を行った。全

員の正答率の平均は 56%であった。そのうち、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%を越えた。この 6 名の文字入力 of 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 16.75)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。難病情報センターでの ALS に関する情報 (<http://www.nanbyou.or.jp/entry/52>、平成 23 年 12 月 19 日更新)によると、患者数は全国で約 8500 人であり、その 5 割である約 4250 人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る。

海外の ALS 患者を対象とした BMI の先行研究(Nijboer et al. 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。本研究は先行研究と比較して、患者内の実用可能な比率を単純に比較した場合でもより多くの患者が BMI を実用可能であり、更に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な点において優れたシステムであるといえる。また被験者の精度上の分布を見ると著しく操作が困難な群が存在した。

また、他の難治性疾患での機器の使用可能性を検討するため、6 名の脊髄小脳変性症の患者(61.8 歳、女性 4 名男性 2 名)による実験も行いその動作を確認した。

加えて SSVEP によるデスクライトの操作について、1 名の被験者(男性、61 才、ALSFRS-R:0)で実験を行った。その結果、オ

ンラインでは偽陽性での反応を排除する目的で高めの閾値を設定していたため 60%の精度となったが、オフラインで閾値を適切な値に変更したところ、偽陽性なく 100%の精度での動作が可能であった。

C-b. BMI 機器の中長期評価に向けた検討

将来的な機器の実用化のために、機器の安定性の向上や病態の変化によらず使用可能なインターフェイス、リモートでのサポート環境や介助者が機器を容易に設置できるようにするための周辺機器の開発および改善およびそのためマニュアルの作成などを進めた。

まず、周辺機器として、簡単な操作を行うための外部キーパッドを作成した。ボタンの数は 7 個とし、それぞれのキー表面に機能がアイコンで示されている。また、このキーパッドには外部入力端子の受付があり、この端子に外部入力機器を接続することでボタンや筋電スイッチを利用することが出来る。また、本機器を脳波で使用する際の脳波電極設置のために、簡易なインピーダンスチェッカーを用いた。これはバー型の LED の色を見ることで十分な電極の設置が出来ているか



が一目でわかるように作られている(図3)。また、その際に用いる脳波電極については昨年度開発を進め、本年度も改良を進めている固形ゲル電極を用いた。この電極は設置および使用後の除去が容易かつ、長時間の使用が可能であり、日常的なBMI機器の使用に適している(詳細については電極に関する小課題を参照)。また、これらの機器の更新に伴いマニュアルの更新を行った。

中長期の試験を行うにあたり試験を行う対象となる患者についてより詳細な検討を行った。今回の実験に参加していただいた2名について、1名(被験者A)はこれまでに長期間コンピューターを利用したコミュニケーション支援機器を使用しており、統一インターフェイスを用いた試用においては、その機器と同じ機能の配列を望む傾向があった。もう1名(被験者B)については、コンピューターを用いたコミュニケーション支援機器の導入段階において複数回の試用を行ったが、コンピューターへの忌避感を持っているため、機器の導入自体に否定的であった。

脊髄小脳変性症の被験者においては、スイッチの操作についてはタイミングの制御が困難であることや、ボタンを離すことが困難であることなどがあり、それらの状況に対応可能とするための機器の改善・カスタム化を行った。

D. 考察

BMI機器の潜在ユーザー数としては現在の段階において、ALS患者の半数程度を見込むことが可能である。また、精度上の被験者数の分布には偏りがあるため、精度の低い群において、刺激の提示方法の改良やSSVEPなどの使用者に適した手法を選択することで現状よりも潜在ユーザーを増やすことが可能になると推測され、今後の開発を検討したい。

また、中長期の臨床試験に向けた検討では機能性の拡充や使用の容易化だけでは充分でなく、被験者の嗜好やそれまでに利用してきた機器によって影響を受けることも明らかとなった。今後、実証評価を進めていくにあたり、本人のみならず家族、介助者や病院のスタッフとの綿密な協力体勢を構築する必要があると考えられる。

E. 結論

今後とも、BMI機器を福祉機器として実用化するために、高精度で、操作感も良いシステムの開発を継続し、神経難病や神経外傷などにより、日常生活動作やコミュニケーションに支障をきたしている患者・障害者の自立支援へとつなげたい。