

20081300/A

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

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20年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 中島 八十一

平成21(2009)年4月

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

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20年度 総括・分担研究報告書

主任研究者 中島 八十一

平成21(2009)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	29

III. 研究成果の刊行に関する一覧表	33
---------------------	----

IV. 研究成果の刊行物・印刷	37
-----------------	----

I. 総括研究報告

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）

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

主任研究者 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) を開発し、四肢麻痺の障害者による操作に成功した。また、運動イメージ時の脳波信号を用いて、YES、NO の符号化信号を取り出すことにも成功した。それぞれの効率化に向け、背景脳内情報処理を最大限利用するためのシステム脳科学に基づいた研究開発を行っている。また、脳波計開発及び BMI システム (ソフトウェア) の開発、さらには運動補助のためのパワーアシストスーツ開発を行っている。また、ニーズ調査も行い対象となる疾患・障害を検討した。さらに、ロボットスーツ HAL を改良・活用し、基礎試験用の HAL の部材の設計と部材の試作を行い、従来装置を改良した試験モデルを準備し、基礎実験を行った。

分担研究者

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 により障害者自立支援機器の開発を行っている。初年度は、BMI による生活環境制御に関する基礎および応用研究を重点的に行

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

った。本研究を進めていくにあたって、工学的なアプローチのみならず、システム脳科学の視点から脳からの信号を効率よく抽出することを重視した。BMI の手法としては、特定の視覚刺激を注視した際に生じる P300 様脳波に着目し、これを生活環境制御のための装置 (BMI-ECS) へと効率よく実践的に用いるための研究を行った。また運動イメージ時の脳波を応用し、YES、NO などの符号化信号を外部装置へと繋げることを考える。これらを行うにあたり、システム脳科学の視点から、脳磁図 (MEG) などを用いて、背景脳内情報処理の評価する研究も行った。

また機器開発としては、上記を実現化するために、国産の脳波測定装置の開発及びさらには上記 BMI のシステム開発を行った。さらに、運動補助を行うために、BMI 型パワーアシストスーツの開発を行った。また、対象となる疾患・障害群をより明らかとすべくために、ニーズ調査を行った。

また、ロボットスーツ HAL を改良・活用し、基礎試験用の HAL の部材の設計と部材の試作を行い、従来装置を改良した試験モデルを準備し、基礎実験を行った。

C. 研究結果

脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェイス (BMI) により障害者の生活環境制御を行う基礎技術開発を行った。特定の視覚刺激を注視した際に生じる P300 様脳波を応用し、生活環境を制御する装置 (BMI-ECS) を開発し、四肢麻痺の障害者がこれを特段のトレーニングを行わず効率に制御できることを確認した。視覚刺激としては、これまでは主に輝度変化を用いるものであったが、これに色変化を加えることで、

操作感のみならず正解率をも向上させることのできるものを準備することに成功した。運動イメージ時の脳波を利用する研究では、YES、NO などの符号化信号を、高率に取り出すことにも成功した。ただしこれには、これまで報告されてきて通り、数週間を超えるトレーニングが必要であった。さらに脳磁図 (MEG) を用いて、脳から生じる運動イメージ時と他者の運動を知覚する際の信号の特性を比較検討し、頭頂葉が両者で大きく異なることを見出した。

上記の開発中の BMI-ECS を国産の装置上で実現化するために、脳波計測装置を開発し、4ch、24bit のデータ取得を可能とした。この脳波計でも、BMI-ECS が稼働することを確認した。また、上記を実現するために BMI システム・ソフトウェア開発を行い、視覚刺激提示モジュール、制御コマンドを受けて動作する VR 生活環境、脳波計デバイスドライバ用ラッパーDLL を実装した。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行い、手指による把持動作、脳波信号によるスイッチング動作、VR による被験者評価環境を実現した。

また、分担研究者の山海は、研究開発方針に従って、従来から研究開発を進めてきた上肢型 HAL を基に改良を加えた上肢用 HAL の試作モデルを製作し、基礎実験を行った。また、下肢バージョンについても、当該研究推進で活用できるように、機構的/電子的/制御論的機能を拡充した。更に、BMI に関しても可能な範囲で試行を行った。人間の上肢の可動域を検討し、これをもとに、可能な限り対応できるよう設計変更を加え、実際の試験を通して検証を行った。

また、ニーズ調査も行った。これまでのア

ンケート調査の結果でも、パーキンソン病のオフ時間に使用してはどうかなど、新たな使用法が示唆されてきており、来年度に向けてこうした情報を整理してまとめ、さらに実用化評価へとつなげていく。

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

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. (in revision)

Kadota, H., Nakajima, Y., Miyazaki, M., Sekiguchi, H., Kohno, Y., Kansaku, K. Anterior prefrontal cortex activities during the inhibition of stereotyped responses in a neuropsychological rock-paper-scissors task. *Neuroscience Letters*, (in press)

Iidaka, T., Nogawa, J., Kansaku, K., Sadato, N. Neural correlates involved in processing happy affect on same race faces. *Journal of Psychophysiology*, 2(2): 91-99, 2008.

中島八十一 高次脳機能障害支援の現状と問題点. *国リハ研紀* 28 : 1-8, 2008.

K.Suzuki, G.Mito, H.Kawamoto, Y.Hasegawa, Y.Sankai: Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patients with Robot Suit HAL, *Advanced Robotics*, Vol.21, pp. 1441 - 1469, No.13, 2007

Yamane, T., Nonaka, K., Miyoshi, H., Maruyama, O., Nishida, M., Kosaka, R., Sankai, Y., Tsutsui, T. Pivot wear of a centrifugal blood pump developed for circulatory assist. *Journal of Artificial Organs*, 11(4): 232-237, 2008.

Yamane, T., Maruyama, O., Nishida, M., Kosaka, R., Chida, T., Kawamura, H., Kuwana, Katsuyuki, Ishihara, K., Sankai, Y., Matsudaki, M., Shigeta, O., Enomoto, Y., Tsutui, T. Antithrombogenic Properties of a Monopivot Magnetic Suspension Centrifugal Pump for Circulatory Assit. *Journal of Artificial Organs*, 32(6):484-489.2008.

論文：総説

神作憲司. 福祉機器のブレイン-マシン・インターフェイス. *日本機械学会誌*.111(1080): 924-926, 2008.

神作憲司. 脳からの信号で機器を操作. *福祉介護機器テクノプラス* 02: 38-41, 2008.

神作憲司. 超の世界：ブレイン-マシン・インターフェイスを用いた生活環境制御. *自動車技術*. 62(12): 105-106, 2008.

論文：その他

筑紫新, 神作憲司. テクノロマン・インタビュー：頭で念じて機器を操作、障害者のための BMI 技術. *商工ジャーナル*. 34(10): 52-55, 2008.

論文：抄録・プロシーディング

外山滋, 沖野浩二, 神作憲司, 長谷川有貴, 南戸秀仁, 三好扶, 畠直輝, 小島洋一郎. 福祉とセンシング. *平成 21 年電気学会全国大会論文集* (in press)

畠直輝, 小松知章, 神作憲司. インテリジェントハウスを目指した BMI 環境制御システム. *精密工学会知能メカトロニクスワ*

ークショップ講演論文集. 49-52, 2008.

Komatsu, T., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. A non-training EEG-based BMI system for environmental control. *Neurosci Res*, 61: S251, Suppl .1, 2008.

Gjini, K., Sakihara, K., Ueno, S., Ando, J., Kansaku, K. Functional connectivity between parietal and frontal areas of the human brain during silent counting assessed by coherence measures: an MEG study. Program No. 869.18. *2008 Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Washington DC: *Society for Neuroscience*, 2008. Online.

Shimotomai, T., Kansaku, K. A connectionist model of the neural system for counting in the human brain. Program No. 869.14. *2008 Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Washington DC: *Society for Neuroscience*, 2008. Online.

Takano, K., Komatsu, T., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. A non-training BMI system for environmental control: a comparison between white/gray and green/blue flicker matrices. Program No. 863.9. *2008 Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Washington DC: *Society for Neuroscience*, 2008. Online.

Komatsu, T., Sakihara, K., Gjini, K., Nakajima, Y., Kansaku, K. Synchronization changes during action execution and observation: a whole-head MEG study. Program No. 385.1. *2008 Abstract Viewer/Itinerary*

Planner. Washington DC: *Society for Neuroscience*, 2008. Online.

Ide, H., Kato, J., Kabashima, I., Kadota, H., Kansaku, K. Social decision making while viewing political and economic advertisements: fMRI experiment using 1992 US presidential campaign videos. Program No. 716.8. 2008 *Abstract Viewer/Itinerary Planner*. Washington DC: *Society for Neuroscience*, 2008. Online.

Sekiguchi H, Takeuchi S, Kadota H, Kohno Y, Nakajima Y. Evoked brain potentials were changed by coil orientation of transcranial magnetic stimulation, *Clinical Neurophysiology*, 119(6): e77, 2008.

Voon, V., Gallea, C., Ekanayake, V., Hattori, N., Bruno, M., Kansaku, K., Hallett, M. Loss of motor-limbic functional connectivity in convention disorder. *Biological Psychiatry*. 63(7), 118S, 356, Suppl. S, 2008.

Tsujimura, S., Shiraishi, N., Saito, A., Koba, H., Oshima, S., Sato, T., Ichihashi, F. Sankai, Y. Design and Implementation of Web-Based Healthcare Management System for Home Healthcare. *The 13th International Conference on Biomedical Engineering*.

Tsujimura, S., Koguchi, H., Yamane, T., Tsutsui, T., Sankai, Y. Development of Noninvasive Thrombus Detection System with Near-Infrared Laser and Photomultiplier for Artificial Hearts. *The 13th International Conference on Biomedical Engineering*.

丸山修, 西田正浩, 小阪亮, 桑名克之, 平井収作, 山海嘉之, 筒井達夫, 山家智之, 井街宏, 山根隆志. モノピボット型および動圧軸受型遠心血液ポンプの開発. *日本定常流ポンプ研究会 2008 プログラム・抄録集*.7-8, 2008.

Oshima, S., Sankai, Y. Analysis of Spatial Optical Propagation in Whole Blood focusing on Mean Optical Path Length: Where is the best detecting point to acquire blood information? *16th Congress of the International Society for Rotary Bolld Pumps (ISRBP) 2008*.

Tsujimura, S., Nabekura, Y., Sankai, Y. Design and Construction of Training Management System with Rich Internet Application for Running in Physical Education. *2008 IEEE International Symposium on IT in Medicine & Education*. 2008.

Tsujimura, S., Kawamura, T., Koguchi, H., Yamane, T., Tsutsui, T., Sankai, Y. Development of Failure Detection System Based on Vibration Signal for Smart Artificial Heart: in Vitro Study. *30th Annual International IEEE EMBS Conference Vancouver*. 2008.

Yamane, T., Nishida, M., Maruyama O., Kosaka R., Kogure, H., Kawamura, H., Yamamoto, Y. Kuwana, K., Sankai, Y., Tsutsui, T. Durability and Antithrombogenicity of MERA monopivot centrifugal pump. *15th Congress of the International Society for Rotary Bolld Pumps 2007*.

書籍

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. (印刷中)

Gjini, K., Sakihara, K., Ueno, S., Ando, J., Kansaku, K. Coherence estimates of the cortical functional connectivity during silent counting and solfege notes naming: an MEG study. *Biomagnetism: Interdisciplinary Research and Exploration*. (Eds) Kakigi, R., Yokosawa, K., Kuriki, S., Sapporo, Hokkaido University Press, pp. 218-220, 2008.

Nakajima, Y. Rehabilitation Manual 19. *Guide to Support for Persons with Higher Brain Dysfunction I*, (Ed) T. Ushiyama, National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities. Japan, December, (in press).

餅田亜希子, 中島八十一. 失語症と高次脳機能障害に対する社会支援体制. 鹿島晴雄, 大東祥孝, 種村純編. *よくわかる失語症セラピーと認知リハビリテーション*. 永井書店, 大阪, 615-621, 2008.

中島八十一. 中枢神経 (脳の解剖) 岩谷力他編. *運動器リハビリテーションクルズ*. 南江堂, 東京, 20-21, 2008.

中島八十一. 麻痺—中枢神経麻痺, 末梢神経麻痺. 岩谷力他編. *運動器リハビリテーションクルズ*. 南江堂, 東京, 124-127,

2008.

中島八十一. 筋緊張異常, 異常姿勢反射, 不随意運動. 岩谷力他編. *運動器リハビリテーションクルズ*. 南江堂, 東京, 131-133, 2008.

山海嘉之. 第4章 検査・診断機器/ヘマトクリット, 酸素飽和度. *日本機械学会・機械工学便覧 応用システム編 y9 医療・福祉・バイオ機器* 丸善, 49-51, 2008.

2. 学会発表

一般口演・ポスター

Kansaku, K. Representation of exact abstract concepts in the human brain. *The 3rd Japanese-French Frontiers of Science Symposium*. Jan 2009; Shonan, Japan

神作憲司, 高野弘二, 小松知章, 畠直輝, 中島八十一. ブレイン-マシン・インターフェイス (BMI) による環境制御. *第25回国立障害者リハビリテーションセンター業績発表会*. 2008年12月; 所沢.

高野弘二, 小松知章, 畠直輝, 中島八十一, 神作憲司. 効率的なブレイン-マシン・インターフェイスのための視覚刺激法. *第25回国立障害者リハビリテーションセンター業績発表会*. 2008年12月; 所沢.

Gjini, K., Sakihara, K., Ueno, S., Ando, J., Kansaku, K. Functional connectivity between parietal and frontal areas of the human brain

during silent counting assessed by coherence measures: an MEG study. *The 38th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Nov 2008; Washington DC, USA.

Shimotomai, T., Kansaku, K. A connectionist model of the neural system for counting in the human brain. *The 38th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Nov 2008; Washington DC, USA.

Takano, K., Komatsu, T., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. A non-training BMI system for environmental control: a comparison between white/gray and green/blue flicker matrices. *The 38th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Nov 2008; Washington DC, USA.

Komatsu, T., Sakihara, K., Gjini, K., Nakajima, Y., Kansaku, K. Synchronization changes during action execution and observation: a whole-head MEG study. *The 38th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Nov 2008; Washington DC, USA.

Ide, H., Kato, J., Kabashima, I., Kadota, H., Kansaku, K. Social decision making while viewing political and economic advertisements: fMRI experiment using 1992 US presidential campaign videos. *The 38th Annual Meeting of the Society for Neuroscience*. Nov 2008; Washington DC, USA.

神作憲司. 時間と数・時間と空間の情報を離散化する脳内表現. 第1回「脳における

時間表現の研究」ワークショップ. 2008年10月; 箱根.

島直輝, 小松知章, 神作憲司. インテリジェントハウスを目指した BMI 環境制御システム. 精密工学会知能メカトロニクスワークショップ. 2008年9月; 香川

Gjini, K., Sakihara, K., Ueno, S., Ando, J., Kansaku, K. Coherence estimates of the cortical functional connectivity during silent counting and solfege notes naming: a MEG study. *International Conference on Biomagnetism (Biomag) 2008*. Aug 2008; Sapporo, Japan.

Ide, H., Kato, J., Kadota, H., Kansaku, K., Kabashima, I. How does the electoral campaign affect the choice of voters?: fMRI experiment using the 1992 US presidential campaign video. *2008 Annual Meeting of the American Political Science Association*. Aug 2008; Boston, USA.

Komatsu, T., Hata, N., Nakajima, Y., Kansaku, K. A non-training EEG-based BMI system for environmental control. *The 31st Annual Meeting of Japan Neuroscience Society*. July 2008; Tokyo, Japan.

Voon, V., Gallea, C., Ekanayake, V., Hattori, N., Bruno, M., Kansaku, K., Hallett, M. Loss of motor-limbic functional connectivity in convention disorder. *63rd Annual Meeting of the Society of Biological Psychiatry*. May 2008; Washington DC, USA.

講演等

Kansaku, K. Neuroimaging: from systems-neuroscience to rehabilitation. *Neurology Seminar. The Neurological Institute of Columbia University*. Nov 2008; New York, NY, USA.

神作憲司. 国立障害者リハビリテーションセンターでの BMI 開発研究. シンポジウム: 脳インターフェース(BCI/BMI)が拓く重度障害者の未来の生活. 2008年11月; 所沢.

竹内成生 中島八十一 門田宏 河野豊 関口浩文. 前頭部磁気刺激時の短潜時誘発脳波に関する検討. *臨床神経生理学* 38 回大会. 2008年11月; 神戸.

神作憲司. A non-training EEG-based BMI system for environmental control. 第31回日本神経科学大会 パネル2(システム神経科学) プレス・コンファレンス: -ブレイン・マシン・インターフェースの最前線-. 2008年7月; 東京.

竹内成生 中島八十一 門田宏 関口浩文. 空間認知記憶課題における予期と評価の検討. *生理心理学会* 第26回大会. 2008年7月; 琉球.

Kansaku, K. Limits and possibilities of neuroimaging approach to behavior in society: the case of sex differences in language function in the human brain. *Today - Yale Initiative Symposium on Mind, Brain, and Society: Neurocognitive Approaches to the Social Sciences*. April 2008; New Haven, CT, USA.

山海嘉之. HAL(Hybrid Assistive Limb)based on Cybernics, *日本小児神経学会 50 回記念国際シンポジウム*, ホテル日航東京, 2008.5.28

山海嘉之. 失われた機能をどう補うか ロボットスーツの開発, *日本小児外科学会*, つくば国際会議場, 2008.5.29

山海嘉之. 神経内科治療と工学の接点- ロボットスーツの医療への応用-, 第26回日本神経治療学会総会, 新横浜プリンスホテル, 2008.6.27

山海嘉之. サイバニクス: 人・機械・情報系の融合複合, *日本神経回路学会 第18回全国大会*, 産業技術総合研究所, 2008.9.24

山海嘉之. サイバニクスと神経難病分野への展開, 第12回新潟神経内科シンポジウム, 東北大学有任記念会館, 2008.9.27

山海嘉之. 次世代の動作補助ロボット・HAL, *リハビリテーションケア合同研究大会*, フェニックスプラザ福井, 2008.11.7

Sankai, Y., Leading Edge of Cybernics and Future Robotics, *IEEE-RAS International Conference on Humanoids 2008*, 韓国, 2008.12.13

山海嘉之. ロボットスーツの医療や介護への応用, 第5回広島脳卒中シンポジウム, 広島国際会議場, 2008.12.14

Sankai, Y., Leading Edge of Cybernics and
BMI/BCI, 有楽町朝日ホールスクエア,
2009.2.12

山海嘉之. 装着式動作補助装置のフレ
ーム構造. 出願人 筑波大学. 出願番号
2008-248774

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

神作憲司, 小松知章, 畠直輝. 制御シス
テム及び制御方法. (特願 2008-174402)

山海嘉之. 装着式動作補助装置、基準パ
ラメータデータベース構築装置、装着式動作
補助装置における駆動制御方法、基準パラメ
ータデータベース構築方法及びそのプログ
ラム. 出願人 筑波大学. 出願番号
2008-181472

山海嘉之. 装着式動作補助装置、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 2008-200028

山海嘉之. 装着式動作補助装置の動作
補助システム及び装着式動作補助装置及び
装着式動作補助装置の動作補助システム.
出願人 筑波大学. 出願番号 2008-208027

山海嘉之. 装着式動作補助装置の同示
唆補助システム及び装着式動作補助装置及
び装着式動作補助装置の動作補助方法. 出
願人 筑波大学. 出願番号
PCT/JP2008/064700

山海嘉之. 生体信号計測装着具及び装
着式動作補助装置. 出願人 筑波大学. 出願
番号 2008-232091

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（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
分担研究課題：システム脳科学に基づいた BMI による障害者自立支援機器の開発

分担研究者 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 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 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流動研究員
研究協力者 畠 直輝 国立障害者リハビリテーションセンター研究所
障害工学研究部流動研究員
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 により障害者の生活環境制御を行うために、特定の視覚刺激を注視した際に生じる P300 様脳波信号により環境制御システム（BMI-ECS）を開発した。また、これを四肢麻痺の障害者が特段のトレーニングを行わず高効率に制御できることを確認した。また、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、正解率を向上させることに成功した。運動イメージ時の脳波信号を利用する研究では、YES、NO の符号化信号を、数週間を超えるトレーニングが必要であるものの高効率に取り出すことにも成功した。さらに脳磁図（MEG）を用いて、運動イメージ時と他者の運動知覚時の脳からの信号の特性を比較検討し、高次視覚野における同期の様子が両者で大きく異なることを見出した。

上記開発中の BMI-ECS を国産の装置上で実現化するために、脳波計測装置を開発し、4ch、24bit のデータ取得を可能とした。この脳波計でも、BMI-ECS が稼働することを確認した。また、上記を実現するための BMI システム・ソフトウェア開発を行い、視覚刺激提示モジュール、制御コマンドを受けて動作する VR 生活環境、脳波計デバイスドライバ用ラッパーDLL を実装した。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行い、手指による把持動作、脳波信号によるスイッチング動作、VR による被験者評価環境を実現した。

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（神作, 2007, 臨床リハ; 神作, 2008, 機械学会誌）。

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、義手、電動車いす、コンピュータ、ロボットなどの機器を操作することで、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して研究を行っている。特に本分担研究では、システム脳科学の視点から、手術を必要としない脳波を用いた BMI により、障害者の生活環境制御を行う基礎技術開発を中心に行った。

B. 研究方法

B-a-1. 視覚誘発型脳波の利用

視覚刺激に対して誘発される脳波成分に着目した BMI 研究を行った。このなかで、視覚刺激にて誘発された脳波信号をもとに、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等の操作を行うシステムを開発した。このシステムでは、操作パネル上に配置した文字や記号からなる視覚刺激を提示しながら、頭皮上に装着した脳波電極から信号を計測し、それを解析することで、提示した記号や文字のうちどれを注視しているのかを判別し、その特定されたコマンドを赤外線家電等の機器に送る。こうすることで、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。

操作パネルとしては、Donchin らによって提案された P300 スペラーと呼ばれる方式を変更した。この P300 スペラーでは、6x6 マスのマトリクス上にアルファベットと数字を配置しており、マトリクス上のセルを 1 行または 1 列ずつ同時に強調表示するといった手法を用いることで、被験者が注視しているセルに特徴的な脳波信号を誘発し、これによって行と列をそれぞれ特定する。今回我々はこれを拡張し、3x3 マス、6x4 マス、8x10 マスのマトリクスからなる操作パネルを用意し、それぞれを、デスクライトおよび家庭用ロボットの操作、テレビの操作、ひらがなワープロの入力に用いた。

実験に用いたシステムは、脳波計測装置、脳波解析装置、刺激提示装置、機器制御部からなり、これにより脳波による外部機器の操作および文字の入力等の操作を実現する。脳波の計測には、脳波計測装置 g.USBamp (g.tec 社製) を用いて脳波を取得し、その

データを USB で接続された脳波解析、刺激提示、機器制御を行なうコンピュータに送信する。脳波解析はフィッシャーの線形判別分析を用い、判別式の作成とそれに基づいた評価と解析を行ない、その結果に応じた命令をネットワーク上の他のコンピュータに送信する。これによりネットワークの通じる場所であればどの場所にある機器であれ制御が可能である。この機能は Windows OS 上で動作するソフトウェアとして実装したため機器の変更にも対応が可能である。刺激提示はコンピュータに接続されたモニタを使用して行なわれており、画像と設定のファイルを変更することで容易に拡張が可能である。この機能も Windows OS 上で動作するソフトウェアとして実装したため、機器の変更への対応が容易に可能である。機器制御はコンピュータにより制御可能な学習リモコンを使用して行なっており、赤外線制御する機器であれば操作が可能である。また Windows 上で動作するソフトウェアとして実装した。動作としては脳波解析部より送られた命令を受けとって実現する部分であるため、赤外線から他の機器の追加、置き換えを行なうことで他の方式(電波、IP プロトコル等)による機器の制御も可能となる。

B-a-2. 視覚刺激の工夫

視覚刺激にて誘発される脳波信号を利用する BMI を開発していくにあたり、機器の使用感や安全性、そして効率についても考慮する必要がある。関連研究では、精度の向上および入力にかかる時間の短縮による入力効率の向上を目指したものがあり、例えば時間の短縮のためには被験者に提示する視覚刺激の周期を短くするものも出てきている。そ

のため、被験者に対する刺激の曝露が増加してきている。我々が使用している刺激の周期は約 5.7Hz だが、その場合でも被験者によっては眼精疲労を訴えることがあり、より使用感の良いシステムの開発が望まれる。Parra らは、緑と青の色変化がてんかんの発作に対してより安全と報告しており、本研究では、緑と青の色変化と従来の輝度変化とによる視覚刺激をそれぞれ使用した場合について、上記の生活環境制御システム利用時の入力正答率の比較を、特段のトレーニングを行っていない被験者(8人の右利き健常者)に対して行なった。課題としてはデスクライトの制御を 16 回と平仮名の入力 15 文字分を各条件で行なった。刺激提示手法としては、デスクライトは 3x3 マス、平仮名は 8x10 マスのマトリクスからなる操作パネルを用い、それぞれ 1 回の入力に対し 10 周の刺激を提示した。

B-b-1. 運動イメージ時の脳波の利用

運動イメージ時の脳波の基礎データを得る目的で、C3/C4 レベルの男性脊髄損傷者 1 名および健常者 1 名の協力を得て、左右手首および脚運動イメージ形成時の EEG/MEG を計測した。EEG データに対し、 μ 波帯域・ β 波帯域・lower γ 波帯域 (~45Hz) のすべてにおいて判別関数を適用し、運動イメージによるパワー変化をもちいた 1ch, 2state (=単純 On/Off) スイッチが実現可能であるかを解析した。

さらにこれらをもとに、のべ 3 ヶ月のトレーニングを行った健常者 1 名にて、オンライン解析にて運動イメージ時の脳波から、スイッチ信号を取り出す実験を行った。これは、右上肢の運動イメージを形成することによ

る脳波の β 帯域でのパワー変化を判別関数にて捉え、C3/Cz/C4の3電極のみで実際に1チャンネル2値の制御を行うものである。

B-b-2. 運動イメージ時脳活動のMEG評価

運動イメージをBMIに応用する際の問題点として、Ramachandranらによる「自発運動時と運動観察時では同様のERDが運動野に生起する」という脳波ベースの知見があった。つまり他者の運動を観察した場合システムが誤作動する危険性を看過できないということであり、確認の必要があった。

そこで運動イメージに関する基礎研究として、全頭のイメージングを行う場合には脳波より簡便な脳磁図をもちいた、健常者でのデータ収集を行った。13名の健常被験者には、運動の遂行・イメージ形成・観察と3種のタスクを行わせ、それぞれを204chグラジオメータにて計測し、周波数帯域ごとのパワー変化を解析した。

(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う。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行う。

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、被験者及び保護者・関係者が納得し、自発的な協力を得てから研究を実施する。また被験者には、無用な苦痛を与えないように配慮する。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も配慮する。

すべての研究について、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、承諾を得る。また、個人が特定されないように格別の注意を払う。

C. 研究結果

C-a-1. 視覚誘発型脳波の利用

C3/4レベルの頸髄損傷により四肢麻痺のある方に被験者となっただき本システムを用いた実験を行い、これに成功した。成功したオンラインの機器操作は、デスクライトの点灯・明るさ調整・消灯、テレビをつける・音量を調整する・チャンネルを変える・消す、家庭用ロボットを動かす(前進・旋回)、ワープロでひらがなを入力する、といったもので、この方はこうした操作を、お願いした28回の全てにおいて思い通りに行うことが出来た(図1)(Komatsu, et al., 2007, Neurosci Res Suppl)。



図1：脳からの信号で家電操作に成功

こうしたこれまでに開発した BMI 技術に基づき、脳からの信号で操作できるインテリジェントハウスの開発へと発展させることが可能であり、こうした発展型を特許申請した (神作ら, 特願 2008-174402)。

C-a-2. 視覚刺激の工夫

デスクライトの制御では精度が輝度変化では平均 53.8%であったのに対し、色変化では平均 82.8%、平仮名の入力では精度が輝度変化では平均 51.7%であったのに対し、色変化では平均 78.3%と、課題を問わず色変化を使用した場合に 20%前後の精度の向上が有意(Paired t-test, $p < 0.05$)に観察された。また被験者別で見た場合、輝度変化で低い精度を示した被験者で 40%程度という特に顕著な精度の向上が観察された。(Takano, et al., 2008, Soci Neurosci Abstr; Takano, et al., in revision)。

C-b-1. 運動イメージ時の脳波の利用

健常被験者の結果と比べ、脊損被験者では 2state の判別率が 20%程度低下した。単電極の判別率・電極結合による判別率向上いずれの面でも、これまで報告されている μ 帯域ではなく、特に β 帯域が判別に有利であった。健常被験者で見られなかったパワーピークが、脊損被験者では手首運動時の lower γ 帯域に形成された。脊損被験者の脚運動イメージを適切に符号化することは困難であった (小松ら, 2007, 電気学会論文集)。

また、3ヶ月のトレーニングを行った健常者 1 名にて、オンライン解析にて運動イメージ時の脳波から、YES、NO などの単純な符号化信号を、高率に取り出すことにも成功し

た入力を意図してから 5 秒前後の (うち、判別時定数が 4 秒) 時間遅れをもって 2 値状態の遷移が可能であり、不定間隔で 20 回程度の On/Off を行った。これまでにおよそ 8 割程度の成功率が得られている。失敗はすべて Off \rightarrow On 遷移であり、使途からすれば再度の On を試みれば実用上の致命的問題は発生しない。

C-b-2. 運動イメージ時脳活動の MEG 評価

感覚運動野では、全てのタスクにおいて特に利き手の反対側で ERD が生起しており ($p < 0.05$, uncorrected)、これは既存の知見に沿っていると同時に、オペレータを問わない符号化の用に適している (いっぽう同側の応答は分散が大きく、被験者によって ERD の有無が異なるため符号化の用には適さない可能性がある)。

しかし視覚野、特に高次視覚野の応答は遂行およびイメージ形成タスクで ERS、観察タスクでは強い ERD ($p < 0.01$, Bonferroni) と明らかに異なっていた。特に観察タスクにおいては、imitation の度合いによって運動イメージと類似した結果が出うることも考慮して、被験者の主観評価が異なる 2 種の映像を提示しており、いずれの場合においても ERD が生起することを確認している。つまり上述の誤作動が発生した場合、高次視覚野相当の位置にチャンネルを追加することで防止できる目算が立った (Komatsu, et al., 2008, Soci Neurosci Abstr)。

D. 考察

近年 BMI が脚光を浴び、様々な研究開発がなされている。しかし、現時点では未だ患

者・障害者を被験者とした研究や、実用化を直接の視野に入れた研究は多くない。本研究では、特にシステム脳科学の視点をもととしながら、実際に障害者の活動領域を拡張し得る BMI 技術の開発を目指している。

実際にこうした BMI 技術の応用を考えていく場合、より侵襲度が低く、判別率が高く、操作感も良いシステムの開発が望まれる。本研究で用いた脳波は侵襲性が低く、また視覚誘発性の BMI システムでは、高率で正確な操作を可能としており、実用化へ向けての明るい材料となる。来年度は、今年度の開発を受けて、これを発展させていくことで、より実用性の高い機器を開発していきたい。

これまで「脳を知る」といった研究の方向性が中心であったシステム神経科学等の基礎医学分野が、この BMI というテーマで応

用への道を見出しつつある。BMI 技術の応用・実用化には、基礎医学・臨床医学と工学などの、分野間のこれまで以上の連携が不可欠と考えられる。また、応用への取り組みを進めていくためには、倫理的な問題を十分に配慮しながら進めていくことが前提となるだろう。

E. 結論

BMI 技術をさらに研究開発していくことで、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。