

#### D. 考察

アシストスーツ制御用に利用する脳波(SSVEP)を誘発するための視覚刺激を高周波帯域とすることで、装着者が刺激のちらつきを知覚することなく利用することが可能となった。これにより、将来アシストスーツによるリハビリテーション訓練を行う場合にも、比較的長時間利用しやすくなったといえる。

また本年度開発した表面筋電位による駆動システムにより、アシストスーツを装着者自身の行う運動に追従させながら、装着者の力を、物をつかんで運ぶのに十分な程度にまで増強することができる。これにより、表面筋電位が計測可能な患者の運動意図を反映する多様な動作のアシストが実現可能となり、表面筋電位の計測ができない患者にも適用できるこれまでの脳波利用システムと併

用することで、より多様な病態への対応が広がるものと考えられる。

さらに、従来 BOTAS の大きな駆動力供給ボックスによる持ち運びの困難さが課題であったが、新たに開発した軽量アシストスーツ BRENDA では、駆動力を供給する部分すべてを、使用者が装着する部分に組み込むことができた。これにより、麻痺患者の上肢を使った日常生活動作を、麻痺患者自身の運動意図に基づいてアシストすることが可能となると思われる。

今後、BMI 技術を用いた装着者の運動意図を反映したシステムが、どの程度リハビリテーションとして効果的な手法となりえるか、基礎的な検証も併せて進めていきたい。

## 分担研究課分担研究課題(小課題): BMI の最適化に向けた研究

## 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)」の技術の研究開発を行う際に、脳機能の作動原理に関する情報を用いることで、システムのさらなる最適化が可能となる。また、その作動原理となっている神経基盤を対象としたトレーニングを行なうことによって、さらなる性能向上が期待される。

本分担研究では特に、将来的なニューロフィードバック・トレーニングの導入を考慮した、リアルタイム解析のための系の高度化を目的とする。具体的には、脳の皮質内の電流を推定する技術を用いることによって、これまでセンサーレベルだったために存在した、(1)マルチセッションで頭部位置が変化し、それに伴い信号が変化する問題、(2)複数被験者の合わせ込み(レジストレーション)の方法の欠如の問題が解決する(図 1)。さらに、複数の脳領域間の機能的結合をフィードバックすることを可能とした。

## B. 研究方法

リアルタイム MEG を用いた BMI 系の高度化を行う。系の構成を図 2 に示す。昨年度開発したリアルタイム MEG では、フィードバックされるのは、センサー毎の信号であったが、今年度ビームフォーマーという信号位置特定技術をリアルタイム MEG に実装することで、脳内位置に基づいた信号をフィードバックできるようになった (Ora et al., *submitted*)。また、機能的結合の推定には *imaginary coherence* という結合度指標を用いた。MEG で一般的に用いられているノイズ除去技術や本研究で用いている信号位置特定技術を用いると、複数の脳領域の電流推定結果に偽の相関が混入し得るが *imaginary coherence* を用いることで、その様な偽の相関を取り除くことができる。また、神経伝達に基づく脳領域間の真の相関は取り除かれずに残ることが期待される。処理の流れを図 3 に示す。実験では、明滅する視覚刺激(フリッカー刺激)に注意を注ぐという、SSVEP を用いた BMI において行なわれる認知課題

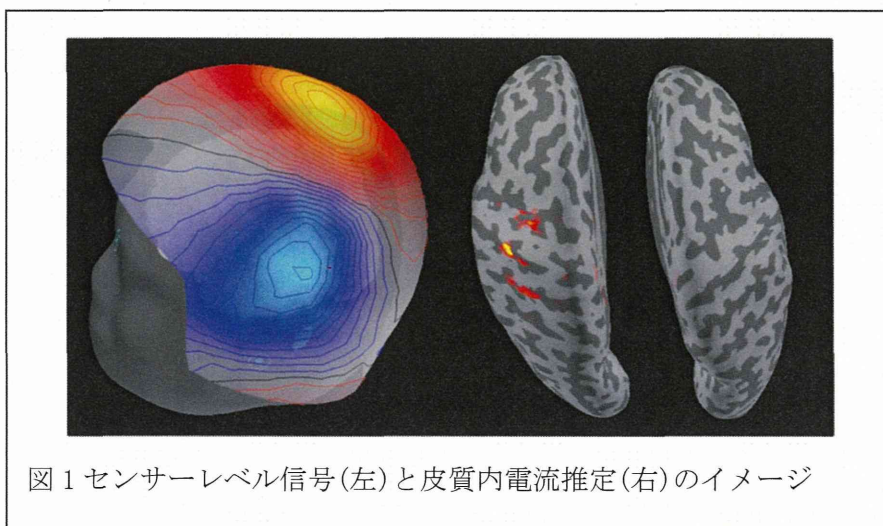


図 1 センサーレベル信号(左)と皮質内電流推定(右)のイメージ



を行ない、その際の脳内の機能的結合をフィードバックし、実験後解析にて機能的結合の変化を評価した。

### C. 研究結果

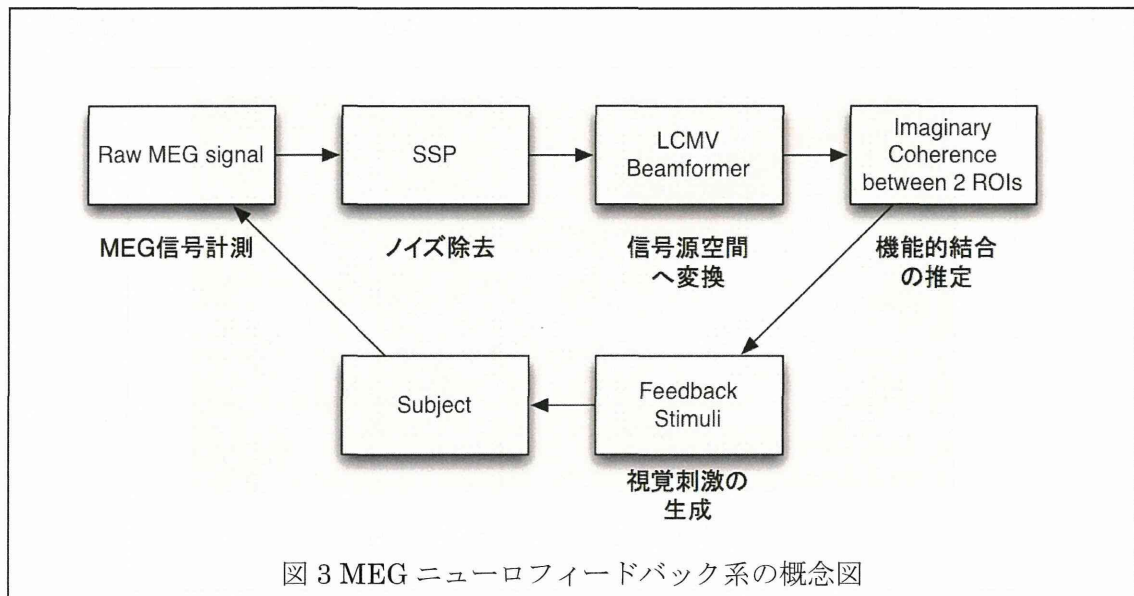
リアルタイム MEG を用いた BMI 系の高度化を行った。検証実験 (n=1) において、被験者は右にあるフリッカー刺激に注意すると、左視覚野と右後部頭頂皮質との imaginary coherence が右視覚野と右後部頭頂皮質との imaginary coherence よりも強くな

り ( $T_{39}=2.52, p=0.0158$ )、また、左 V5 領域と右後部頭頂皮質との imaginary coherence が右 V5 領域と右後部頭頂皮質との imaginary coherence よりも強くなった ( $T_{39}=3.21, p=0.0026$ )。被験者数は 1 であるが、これらの結果は、Buchel ら (1997) と一貫している。

### D. 考察

本小課題では、MEG のリアルタイム解析系を高度化することにより、より効率的な BMI に向けた研究開発を行った。センサーレベル信号ではなく、特定の解剖学的位置にある皮質内の電流を推定しフィードバックする、MEG のリアルタイム解析系を構築したことで、より効率的に脳の可塑性を誘発する系の構築が可能となると考えられる。

今後はこれらの結果を組込むことで、現在より効率的で使いやすい BMI 機器の開発を進めていきたい。



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 (平成 22 年度および平成 24 年度現在まで)

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

分担研究者 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、活動領域拡張医療機器開発事業として、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・フィンガー部を準備し、実験を行った。

#### A. 研究目的

本研究では、活動領域拡張医療機器開発事業として、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・フィンガー部を準備し、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・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ている。

従来より開発を進めてきた装着型サイバニックハンド・フィンガーに改良を加え (図 1)、さらなる小型軽量化や制御精度向上を目指し、現在改良試作および動作検証を進めている。準備を進めている上肢と接合すべく改良を加えている。

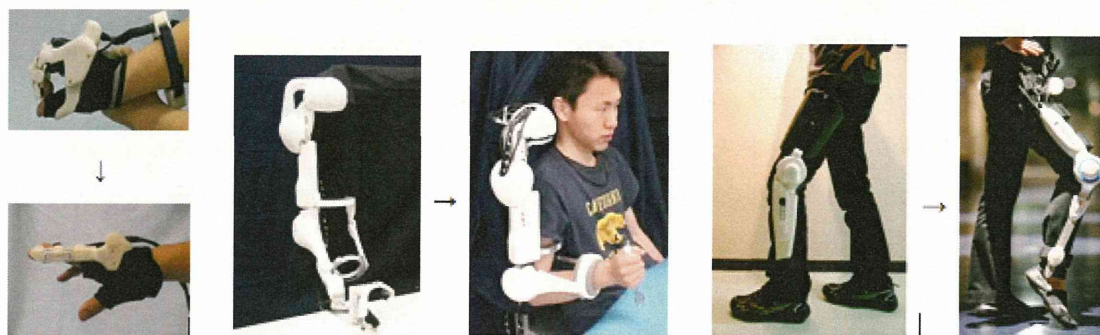


図1 装着型サイバニックハンド・フィンガー、上肢用 HAL、単関節下肢用 HAL(改良版)

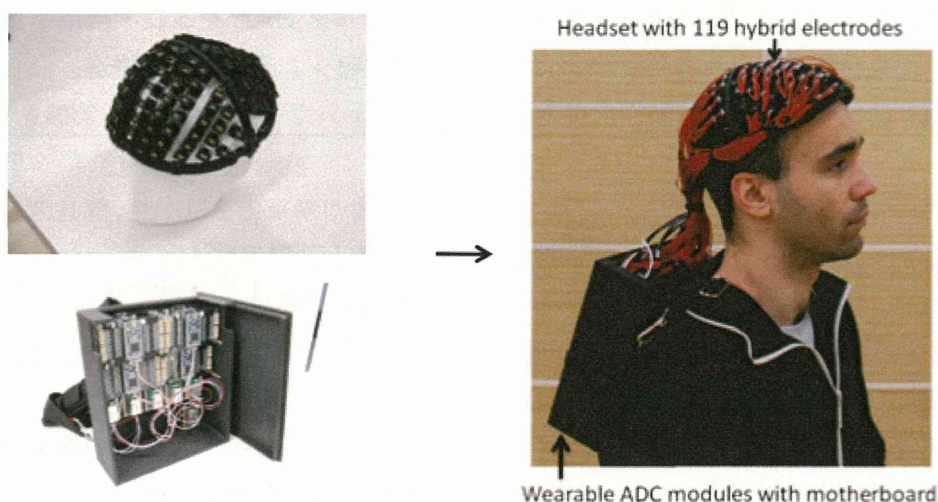


図2 新開発 BMI ヘッドセットとコントロールボックス

また、従来より開発を進めてきた上肢用 HAL についても図 1 に示すような改良を加え、動作検証を実施中である。

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ている。更に、BMI についても

可能な範囲で試行を実施した。図 2 に示すハイブリッド電極による BMI ヘッドセットコントロールボックスの試作品を制作した。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、脳活動パターン信号を用いて基礎実験を試みてい

る。

#### D. 考察

各要素の技術的な改良を行なうことができた。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。別途インタフェースユニットを構成することも検討する。

#### 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要素技術の研究開発を進めることができた。

#### F. 健康危険情報

該当なし

#### G. 研究発表

(関連研究の成果を含む)

##### 1. 関連する論文発表

- 1) 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.
- 2) 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

- 3) 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
- 4) 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
- 5) 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
- 6) Aleksandr 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
- 7) 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

8) 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), pp.105-110, 2012

9) 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, pp. 117-123

10) 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, pp.3000-3012, 2012

11) Aleksandr 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)

12) 鍋寫厚太, 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.

13) Aleksandr 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)

14) 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

15) 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, pp. 595-pp598, July 2012

16) 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, pp.25-pp34, July 2012

## 2. 学会発表

(これまでの関連研究の成果も含む)

- 1) 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スの応用展開～, 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
- 2) 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

- (SIMPAR2012), 産業技術総合研究所つくば研究センター, 2012. 11. 7
- 3) 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
- 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
- 5) 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
- 6) 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 (AOSM2012), 神戸国際会議場, 2012. 8. 4
- 7) Leading Edge of HAL (Hybrid Assistive Limb) and Clinical Applications, Yoshiyuki Sankai, Med Tech Pharma 2012, Nuernberg Germany, 2011. 7. 5
- 8) 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
- 9) 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
- 10) Recent Advances of HAL (Hybrid Assistive Limb) and clinical applications, Yoshiyuki Sankai, Symposium World Congress Orthopaedie+Reha-technik 2012, Liepzig Germany, 2012. 5. 16
- H. 知的財産権の出願・登録状況  
(これまでの関連研究の成果も含む)
1. 特許取得
- 発明者 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

該当無し。

## 3. その他

該当無し。

# 研究成果の刊行に関する一覧表

## 研究成果の刊行に関する一覧表

## 書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
神作憲司	神経難病の生活を支援するBMI	江藤文夫 中馬孝容 葛原茂樹	「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	医歯薬出版	東京	2012	31-37
神作憲司	脳神経科学と法 Comment1 ブレイン・リーディング	樋口範雄	「Jurist」増刊: ケース・スタディー 生命倫理と法	有斐閣	東京	2012	319-322
Kansaku, K	Brain-Machine Interfaces for persons with disabilities	Kansaku, K., Cohen, L.G.	Systems Neuroscience and Rehabilitation	Springer	Tokyo	2011	19-33
Kansaku, K	The Intelligent Environment: Brain-Machine Interfaces for Environmental Control	Ferguson-Pell, M., Stefanov, D	Smart Houses: Advanced Technology for Living Independently	Springer	Berlin	(in press)	
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	東京	(印刷中)	

## 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
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
Toyama, S., Takano, K., Kansaku, K.	A nonadhesive solid-gel electrode for a non-invasive brain-machine interface	Frontiers in Neurology	3	114	2012

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
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			(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			(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
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	50(1)	117-123	2012
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)	78(792)	3000-3012	2012
Ianov A.I., Kawamoto H., Sankai Y.	Development of Hybrid Resistive-Capacitive Electrodes for Electroencephalogram and Electrooculogram	IEEJ Transactions of Sensors and Micromachines	133(3)		(in press)
鍋寫厚太, 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	30(7-8)	752-758	2012
Yamawaki K., Ariyasu R., Kubota S., Kawamoto H., Nakata Y., Kamibayashi K., Sankai Y., Eguchi K., Ochiai N.	Application of Robot Suit HAL to Gait Rehabilitation of Stroke Patients: A Case Study	Lecture Notes in Computer Science	7383	184-187	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	30(6)	595-598	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	11(3)	25-24	2012
Ikegami, S., Takano, K., Saeki, N., Kansaku, K.	Operation of a P300-based brain-computer interface by individuals with cervical spinal cord injury	Clinical Neurophysiology	122	991-996	2011
Takano, K., Hata, N., Kansaku, K.	Towards intelligent environments: an augmented reality-brain-machine interface operated with a see-through head-mount display	Frontiers in Neuroscience	5	60	2011
神作憲司	BMIによる環境制御とコミュニケーションの補助	ヒューマンインタフェース 学会誌	13(3)	15-18	2011

神作憲司	神経画像手法の BMI への応用	まぐね・日本磁気学会誌	6(4)	191-194	2011
神作憲司	BMI 技術を利用した障害者自立支援	日本義肢装具学会誌	27(2)	80-83	2011
Oshima, S., Sankai, Y.	Development of Red Blood Cell-Photon Simulator for Optical Propagation Analysis in Blood using Monte Carlo Method,	IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine,	15(3)	356-363	2011
長谷部浩二, 河本浩明, 上林清孝, 松下明, 山海嘉之	段階的な臨床試験プロセスによる人支援型ロボット開発の提案	日本ロボット学会誌	29(3)	14-18	2011
山海嘉之, 鍋島厚太, 河本浩明	ロボットスーツ HAL の安全技術	日本ロボット学会誌.	29(9)	780-782	2011
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
神作憲司	発達と脳内機構	小児の精神と神経	50(4)	369-371	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
Shiori Oshima, Yoshiyuki Sankai	Development of Optical Sensing System for Noninvasive and Dynamic Monitoring of Thrombogenic Process	ASAIO Journal	56(5)	460-467	2010
Kenta Suzuki, Gouji Mito, Hiroaki Kawamoto, Yasuhisa Hasegawa, Yoshiyuki Sankai	Intention-Based Walking Support for Paraplegia Patient with Robot SuitHAL	Climbing and Walking Robots		383-408	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(762)	227-235	2010

## VIII. 研究成果の刊行に関する一覧表

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(772)	3630- 3639	2010
-----------------------	---	-----------------	---------	---------------	------

## 研究成果の刊行物・別刷

# (11) 脳波による家電操作

神作憲司<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 国立障害者リハビリテーションセンター研究所脳神経科学研究室

**Keywords** BMI BCI 環境制御 上肢アシストスーツ

## はじめに

脳からの信号を計測し、それを利用して機器操作を行い、コミュニケーションの補助、生活環境の制御、運動の補助等を行おうとする、「ブレイン-マシン・インタフェース (Brain-Machine Interface ; BMI)」もしくは「ブレイン-コンピュータ・インタフェース (Brain-Computer Interface ; BCI)」とよばれる新技術が注目されている<sup>1,2)</sup>。脳からの信号を利用して、コンピュータ、ロボット、義手、電動車いす等の機器を操作するといっ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の発展等を基として、研究が広く展開し始めた。本稿では、筆者らの開発している BMI 技術に基づいた環境制御システム等を紹介しながら、BMI がリハビリテーション分野に貢献する可能性について論じたい。

## BMI とは

BMI は、脳からの信号を測定する電極等を留置するために手術を必要とする「侵襲型」と、手術を必要としない「非侵襲型」に分類される。手術を必要とせず、非侵襲的に脳からの信号を測定する手法としては、脳波 (EEG)、陽電子断層撮影 (PET)、機能的磁気共鳴画像法 (fMRI)、脳磁図 (MEG)、近赤外分光法 (NIRS) 等があげられる。脳波は、頭皮上の電極から比較的簡便に測定することができ、時間

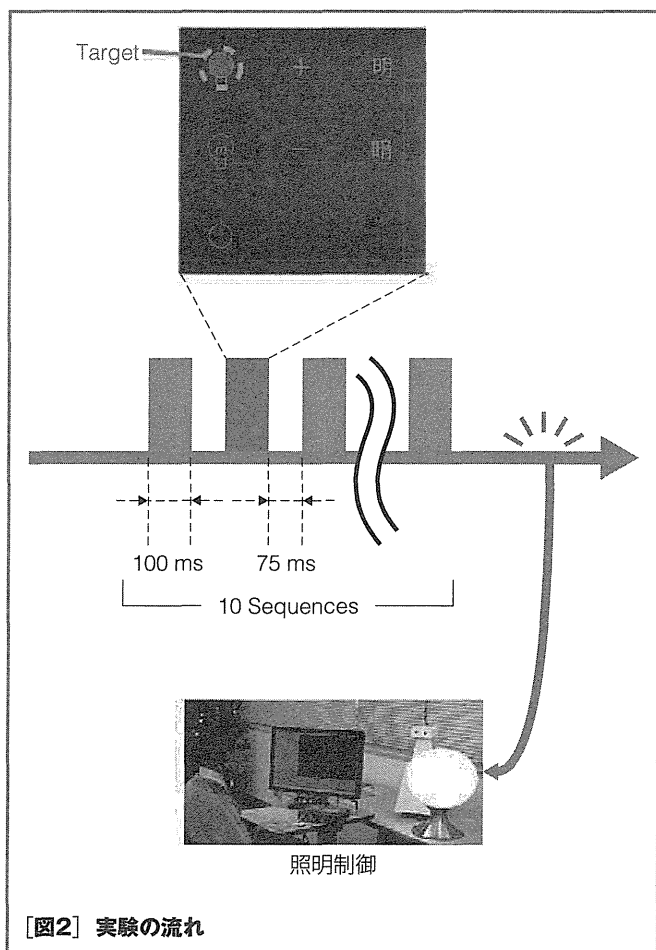
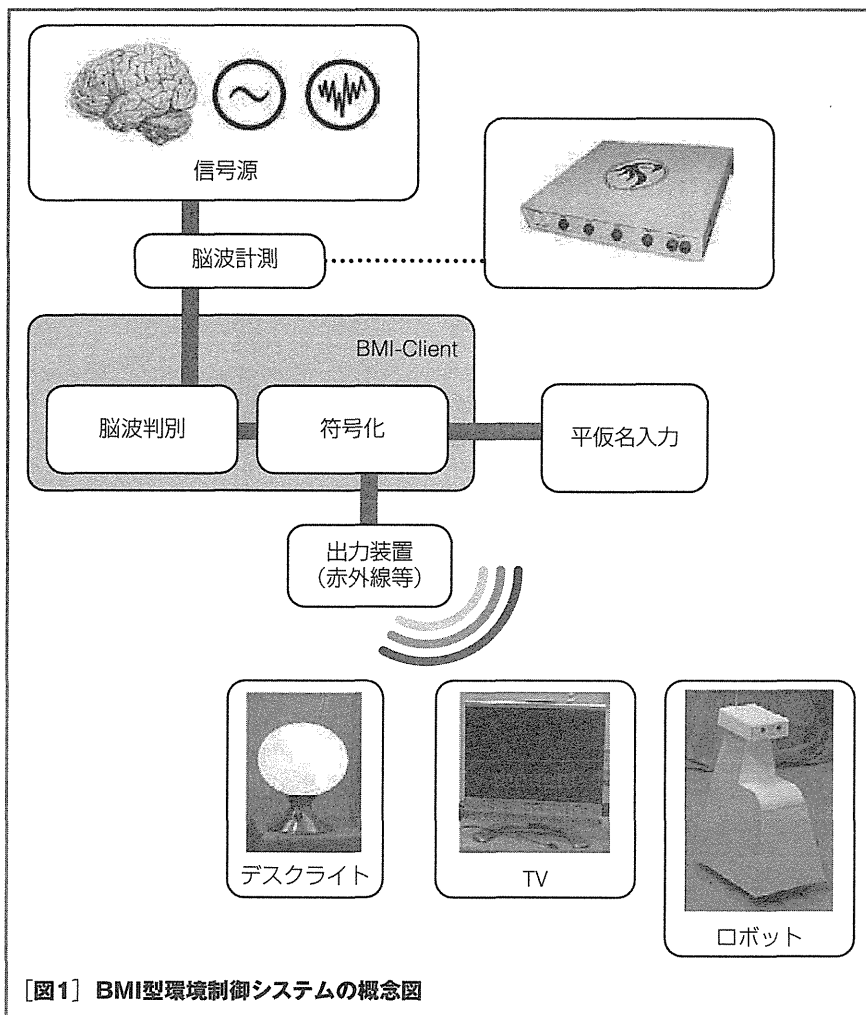
分解能も高いため、BMI で多く利用されている。脳波の空間分解能は低く、得られる情報に制限があり複雑な情報を引き出すことは難しいと考えられていたが、信号取得や解析の手法を工夫することでこうした点が改善されてきた。感覚運動の変換過程における脳波の周波数特性<sup>3,4)</sup>や、P300 等の認知機能を反映する成分<sup>5,6)</sup>等が、脳波を用いた BMI の研究開発で着目されている。

## BMI の応用

### ■(1) BMI による生活環境の制御

筆者らは、視覚刺激にて誘発された脳波信号を基に、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アイコンから成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、提示した文字やアイコン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 (図 1)。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<sup>5,6)</sup>とよばれる方式を変更した。この P300 スペラーでは、6×6 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





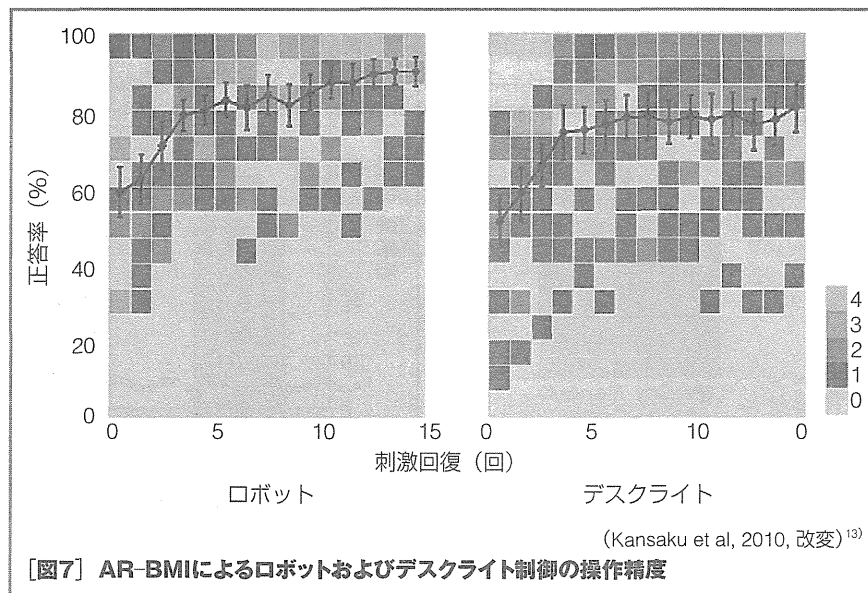
する。筆者らは、C3/C4 レベルの頸髄損傷により四肢麻痺のある方に被験者となってもらい本システムを用いた実験を行い、これに成功した<sup>7)</sup>。

■(2) 視覚刺激の工夫

上記の BMI 型環境制御システムを実用化するにあたり、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。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た<sup>8)</sup>。これに基づき筆者らは、上記のシステムの操作精度について、従来の輝度変化と緑と青の色変化を用いたものの比較を行った。また、その使用感について視覚アナログスケールを用いた評価を行った。課題としてはデスクライトの制御と平仮名の入力を行った(図 2)。

従来の輝度変化と緑と青の色変化を用いたものの比較を行ったところ、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に観察された(図 3)。





発した。これを利用することでシステムが環境に応じた情報を取得し、それに合わせたBMI用操作パネルを使用者に提示することが可能となる(図6)。このシステムを使用した実験において、ロボットの制御とデスクライトの制御を各15回ずつ行ったところ、ロボットの制御で90.0%、デスクライトの制御で80.7%の精度で動作が可能であった<sup>13)</sup>(図7)。

#### ■(4) 臨床評価用装置の開発

これまでの研究で、こうしたシステムの実用可能性が高いことが明らかとなってきた。しかし、実験に用いてきたBMIシステムは、コンピュータとして主に大型のデスクトップパソコンを使用しているため日常的に持ち運びをすることが困難であったり、また、その取り回しも煩雑であった(図8左)。これらを踏まえ、筆者らは実用的な臨床評価用装置を開発した。装置はPCを含めてドック化し、取り回しのよいものとした。脳波計(24 bit, 512 Hz)は連結による拡張を可能とし、4 ch, 8 ch, 12 chの3種類で構成できるように設計し、筋電スイッチ信号等他の生体信号入力端子を確保した(図8右)。このシステムのソフトウェア部も独自に開発し、コミュニケーション機能として、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、実用的な電極も試作した。そして、病院等障害の現場に装置を持参して研究を展開している。

## BMIの今後の展開

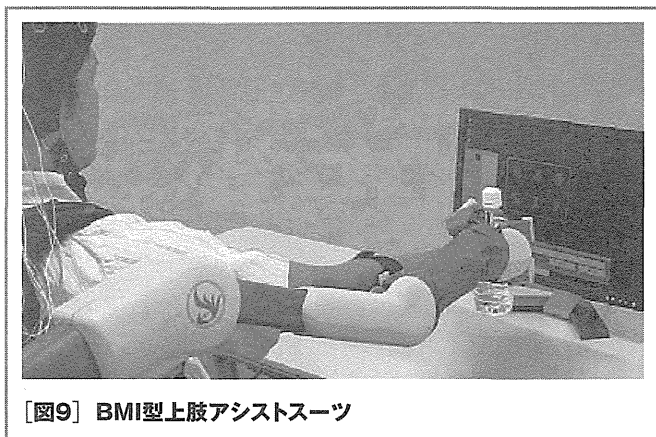
BMIの今後の展開に関して注目されているもののひとつとして、脳からの信号を利用して運動の補助を行う取り組みがある。Pfurtschellerらは、左肘の屈曲運動のみ残されたC4～5レベルの頸髄損傷患者が、数カ月の訓練ののちに、両足の運動イメージで左手の装具を閉じ、右手の運動イメージで装具を開くことがほぼ100%の精度で可能となったと報告した<sup>14)</sup>。また筆者らの研究室では、これまでに開発したBMI技術を発展させ、脳からの信号で駆動可能な上肢アシストスーツを開発しており、このシステムを用いることで、患者の意図により「握る」等の動作を成功させた<sup>15)</sup>(図9)。脳からの信号を取り出して上肢アシストスーツにつなぎ、さらに同機器からの信号を脳にフィードバックするといった閉回路を作成することで、可塑性を誘発することが期待される<sup>16)</sup>。

## おわりに

このように、近年BMIが脚光を浴びさまざまな研究開発がなされている。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脳神経科学が、このBMIというテーマで応用への道を見いだしつつある<sup>17)</sup>。BMI技術の応用・実用化には、医学、工学等の分野間のこれまで以上の連携が不可



[図8] BMI型環境制御システム一式



[図9] BMI型上肢アシストスーツ

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。

BMI技術をさらに研究開発していくことで、外傷や神経難病等により発話の困難や四肢の運動麻痺を伴い、コミュニケーションや日常動作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。

## 文献

- 1) 神作憲司：ブレイン・マシン・インターフェイスによる福祉機器の新たな展開。臨床リハ 16：891-895, 2007.
- 2) Birbaumer N, Cohen LG：Brain-computer interfaces：communication and restoration of movement in paralysis. *J Physiol* 579：621-636, 2007.
- 3) Pfurtscheller G et al：Mu rhythm (de) synchronization and EEG single-trial classification of different motor imagery tasks. *Neuroimage* 31：153-159, 2006.
- 4) Wolpaw JR, McFarland DJ：Control of a two-dimensional movement signal by a noninvasive brain-computer interface in humans. *Proc Natl Acad Sci USA* 101：17849-17854, 2004.
- 5) Farwell LA, Donchin E：Talking off the top of your head：toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 70：510-523, 1988.
- 6) Donchin E et al：The mental prosthesis：assessing the speed of a P300-based brain-computer interface. *IEEE Trans Rehabil Eng* 8：174-179, 2000.
- 7) Komatsu T et al：A non-training EEG-based BMI system for environmental control. *Neurosci Res* 61(Suppl)：S251, 2008.
- 8) Parra J et al：Is colour modulation an independent factor in human visual photosensitivity? *Brain* 130：1679-1689, 2007.
- 9) Takano K et al：A non-training BMI system for environmental control：a comparison between white/gray and green/blue flicker matrices Neuroscience Meeting Planner. Washington DC：Society for Neuroscience, Program No 863.9, 2008, Online.
- 10) Takano K et al：Green/blue flicker matrices for the P300 BCI improve the subjective feeling of comfort. *Neurosci Res* 65 (Suppl)：S182, 2009.
- 11) Takano K et al：Visual stimuli for the P300 brain-computer interface：a comparison of white/gray and green/blue flicker matrices. *Clin Neurophysiol* 120：1562-1566, 2009.
- 12) Kansaku K：The intelligent environment：Brain-machine interfaces for environmental control. In：Smart houses：Advanced technology for living independently, Ferguson-Pell M, Stefanov D(eds) Springer Verlag, in press.
- 13) Kansaku K et al：My thoughts through a robot's eyes：an augmented reality-brain machine interface. *Neurosci Res* 66：219-222, 2010.
- 14) Pfurtscheller G et al：Brain oscillations control hand orthosis in a tetraplegic. *Neurosci Lett* 292：211-214, 2000.
- 15) Komatsu T et al：A development of a BCI-based OT-assist suit for paralyzed upper extremities. Neuroscience Meeting Planner, San Diego：Society for Neuroscience, Program No 295.9, 2010. Online.
- 16) 神作憲司：オーバービュー—神経科学からみた片麻痺の手の治療。臨床リハ 16：909-912, 2007.
- 17) 川人光男：ブレイン・ネットワーク・インターフェイスによる操作脳科学。生体の科学 57：315-322, 2006.