

neuromagnetic recordings: from functional imaging to neural decoding. IEICE Trans Electron. 2013. 96-C(3):313-319

平田雅之、吉峰俊樹. 皮質脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェースによる身体機能障害の代替, 技術予測レポート 2023, 2013, 15-25

平田雅之. 皮質脳波を用いた低侵襲BMI, 別冊・医学のあゆみ BMIの現状と展望, 2013, 45-52

平田雅之. 脳律動変化にもとづいた脳電磁計測とブレイン・マシン・インターフェース, 認知神経科学, 2013, 15(1):55-60

平田雅之、吉峰俊樹. 皮質脳波を用いたワイヤレス体内埋込型運動・意思伝達機能補填装置, 臨床評価, 2013, 41(1):102-105

平田雅之、吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェース Brain-machine interface, 理学療法ジャーナル, 2013, 47(7):629-634

平田雅之. Brain-machine interface (BMI) の現状と展望① 皮質脳波を用いた低侵襲BMI, 医学のあゆみ, 2013, 245(12):1035-1042

2. 学会発表

【平成23年度】

Hirata M. A Fully-Implantable Wireless System for Human Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrodes:W-HERBS. Bielefeld University-Osaka University Workshop 2012. Osaka, 2012/3/21

Hirata M. Human Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrodes. Workshop on Cognitive Neuroscience Robotics. Genova (Italy), 2012/3/13

Hirata M. Clinical application of functional brain mapping and brain-machine interfaces based on the cerebral oscillatory changes. 2012 UK-Japan Workshop in Multimodal Imaging of the Brain. London (UK), 2012/2/29

Hirata M, Matsushita K, Suzuki T, Yoshida T, Sato F, Morris S, Yanagisawa T, Goto T, Kawato M, Yoshimine T. A Fully-implantable Wireless System for Human Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrodes: W-HERBS. The 41st annual meeting of Society for Neuroscience. Washington (USA), 2011/11/13

Hirata M. Language ERD – But Which Frequency? The 3rd biannual conference of the International Society for the Advanceme

nt of Clinical Magnetoencephalography. Las Vegas (USA), 2011/11/4

Hirata M. Connecting Robot to Brain. The 4th Symposium on Cognitive Neuroscience Robotics. Osaka, 2011/5/13

平田雅之. 体内埋込型Brain-Machine Interface: 研究開発の現状とフレキシブル集積化電極への期待. 第1回生体調和エレクトロニクス研究会. 山梨, 2012/3/6

平田雅之. ブレイン・マシン・インターフェースを用いた運動・意思疎通支援. 第4回徳島運動障害研究会. 徳島, 2012/2/2

平田雅之、柳澤琢史、後藤哲、貴島晴彦、齋藤洋一、モリスシェイン、松下光次郎、影山悠、神谷之康、吉峰俊樹. 硬膜下電極による脳機能の計測・解析から解読・制御まで. 第35回日本てんかん外科学会. 東京, 2012/1/20

平田雅之、柳澤琢史、後藤哲、松下光次郎、齋藤洋一、貴島晴彦、影山悠、モリスシェイン、鈴木隆文、横井浩史、吉田毅、佐藤文博、澤田甚一、佐倉統、神谷之康、吉峰俊樹. 皮質脳波を用いたワイヤレス埋込型ブレイン・マシン・インターフェースによる運動・言語機能再建. 第41回日本臨床神経生理学会・学術大会. 静岡, 2011/11/11

平田雅之. 脳電磁計測による運動内容の解読と制御. 平成23年度計測自動制御学会北陸支部講演会. 金沢, 2011/10/15

平田雅之、柳澤琢史、松下光次郎、後藤哲、モリスシェイン、影山悠、菅田陽怜、貴島晴彦、齋藤洋一、鈴木隆文、横井浩史、神谷之康、川人光男、吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェースを用いた脳機能再建: 計算機脳科学にもとづいた脳神経外科新規治療. 第70回日本脳神経外科学会総会. 横浜, 2011/10/14

平田雅之、田村友一、後藤哲、大西久男、菅田陽怜、吉峰俊樹、依藤史郎. ミラーニューロンシステムに関連した運動模倣時律動変化の時空間特性. 第34回日本神経科学大会. 横浜, 2011/9/17

平田雅之. 3-maticを用いた個々人の脳表面にフィットする3次元高密度脳表電極の開発: ブレイン・マシン・インターフェースへの応用. 2011 マテリアライズ コンファレンス. 東京, 2011/9/13

平田雅之. 脳表脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェースによる脳機能再建. BioMecForum 第61回研究会. 大阪, 2011/6/25

平田雅之. 脳表脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェースによる運動・意思疎通支援. 第183回筑波ブレインサイエンスセミナー. つくば, 2011/6/7

平田雅之、後藤哲、柳澤琢史、菅田陽怜、依藤史郎、吉峰俊樹. 学際融合による神経磁気学の発展. 第26回日本生体磁気学会大会. 博多, 2011/6/3

平田雅之、吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェースによる運動・言語機能再建. 第31回日本脳神経外科コンgres総会. 横浜, 2011/5/6

【平成 24 年度】

Hirata M, Shayne M Contour Fitting High Density Personalized 3 Dimensional Cortical Electrodes Materialize World Conference, 2012, 2012/4/18, Leuven (Belgium)

Hirata M, Goto T, Onodera J, Sugata H, Yoshimine T, Yorifuji S. Early latency components P45m-N75m of visual evoked neuro magnetic fields reflect neural conduction in the optic radiation. 18th International Conference on Biomagnetism. 2012/8/28 Paris (France)

Hirata M, Yanagisawa T, Matsushita K, Sugata H, Shayne M, Kageyama Y, Kishima H, Saitoh Y, Kamitani Y, Suzuki T, Yokoi Y, Nishimura Y, Yoshida T, Sato F, Kawato M, Yoshimine T. Towards clinical application of brain-machine interfaces based on electrocorticograms. The International Symposium on Clinical Application of Brain-Machine Interface (BMI), 2012/10/20 Osaka (Japan)

Hirata M. Towards electromagnetic neuroimaging of mother-child interaction. The First International Symposium on Constructive Developmental Science Based on Understanding the Process from Neuro-dynamics to Social Interaction, 2012/11/28 Osaka (Japan)

Hirata M. Clinical application of neuromagnetic recordings: from functional mapping to brain-machine interfaces. 2013 Neurology & Neurosurgery Forum, 2013/1/13 Taipei (Taiwan)

平田雅之. ブレイン・マシン・インターフェースの最先端. 第32回日本脳神経外科コンgres総会, 2012/5/11-13横浜

平田雅之. ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) とリハビリテーション. 第47回日本理学療法学会大会, 2012/5/27 神戸

平田雅之、後藤哲、石澤望、菅田陽怜、吉峰俊樹、依藤史郎. 脳磁計測を用いた言語活動のhigh γ 律動解析. 第27回日本生体磁気学会, 2012/5/31 東京

松下光次郎、平田雅之、鈴木隆文、吉田毅、加

藤健太郎、佐藤博文、松木秀敏、モリスシェイン、後藤哲、吉峰俊樹. 体内埋込型ワイヤレス皮質脳波計測システムの開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2012/5/29 浜松(静岡)

平田雅之. Towards clinical applications of brain-machine interfaces using brain surface electrodes. 第2回ワークショップ「脳科学と情報通信の融合をめざして」, 2012/7/12, 浜松(静岡)

平田雅之. 皮質脳波を用いたワイヤレス埋込型ブレイン・マシン・インターフェースによる運動・言語機能再建. 第5回マルチモーダル脳情報研究会, 2012/9/6 大阪

平田雅之、柳澤琢史、菅田陽怜、松下光次郎、貴島晴彦、吉峰俊樹. 脳律動変化にもとづいた脳電磁イメージングとブレイン・マシン・インターフェース. 第29回日本脳電磁図トポグラフィ研究会, 2012/9/15 葉山

Hirata M, Yanagisawa T, Matsushita K, Sugata H, Shayne M, Kageyama Y, Suzuki F, Yokoi H, Nishimura Y, Umeda T, Kishima H, Saitoh Y, Yoshida T, Sato F, Kamitani Y, Yoshimine T. Brain Machine Interface: the present and the next ten years. 第35回日本神経科学大会 2012/9/20 名古屋

平田雅之. ブレイン・マシン・インターフェースによる脳機能再建. 第5回東北ニューロモジュレーション研究会, 2012/9/27 仙台

平田雅之、柳澤琢史、菅田陽怜、貴島晴彦、吉峰俊樹. 脳律動変化にもとづいた脳電磁イメージングとブレイン・マシン・インターフェース. 第17回認知神経科学学会学術集会, 2012/9/30 東京

平田雅之、柳澤琢史、松下光次郎、影山悠、モリスシェイン、菅田陽怜、貴島晴彦、押野悟、森脇崇、梅垣昌士、吉峰俊樹. 皮質脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェースの臨床応用. 第47回日本脊髄障害医学会, 2012/10/25 静岡

平田雅之、松下光次郎、柳澤琢史、モリスシェイン、鈴木隆文、貴島晴彦、押野悟、影山悠、菅田陽怜、齋藤洋一、吉峰俊樹. 体内埋込ないし携帯型多チャンネル精密脳信号計測が切り開く機能的脳神経外科. 第71回日本脳神経外科学会学術総会, 2012/10/18 大阪

平田雅之. 皮質脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェースによる機能再建. 第65回関東脳神経外科懇話会, 2012/11/10 東京

平田雅之. 皮質脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェースによる機能再建. 第35回東北脳血管障害研究会, 2012/12/1 仙台

平田雅之. 人と機械を繋ぐ! ? ~ BMI (ブレイン

マシン(ウェア)技術の挑戦. 北九州イノベーション
ギャラリー平成24年度第4回技術革新講座, 201
3/1/26 北九州 (福岡)

平田雅之、吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インタ
ーフェースの進歩: 皮質脳波BMIの臨床応用.
第38回日本脳卒中学会総会、第42回日本脳卒中
の外科学会、第29回スパズム・シンポジウム 合
同シンポジウム, 2013/3/23 東京

【平成 25 年度】

Hirata M. ECoG-based BCIs: Motor Control and
a Fully-Implantable System, 6th International
Workshop on Advances in Electroencephalography.
2014/3/19. Berlin (Germany). 招待講演

Hirata M, Matsushita K, Suzuki T, Yoshida T,
Sato F, Umeda T, Nishimura Y, Morris S,
Yanagisawa T, Goto T, Kawato M, and Yoshimine
T. A Fully-implantable Wireless System for
Human Brain-Machine Interfaces using Brain
Surface Electrodes: W-HERBS, The 43rd annual
meeting of Society for Neuroscience. 2013/11/13,
SanDiego. ポスター

Hirata M. Real time control of a robotic arm
using human brain surface electrodes. IROS2013.
2013/11/7. 東京. ワークショップ.

Hirata M, Shinshi M, Yanagisawa T, Goto T,
Sugata H, Araki T, Hosokawa S, Okamura Y,
Hasegawa Y, Ihara A, Yoshimine T, Yorifuji S.
Combined use of MEG and TMS to improve the
noninvasive evaluation of language dominance.
ISACM meeting 2013 JAPAN. 2013/8/29. Sapporo
(Japan). ポスター

Hirata M. Motor and Communication Control
Based on the Electroencephalographic
Brain-Machine Interfaces. The 5th Symposium on
Cognitive Neuroscience Robotics
-Achievements of the GCOE and the future
initiative-. 2013/8/22. 大阪. シンポジウム

Hirata M. Brain machine interfaces using
human electroencephalograms. NIPS
Mini-Workshop "Neural Decoding and
Brain-Computer Interfaces". 2013/7/1. 岡崎. シン
ポジウム

平田雅之、柳澤琢史、菅田陽怜、森脇崇、松下光次
郎、モリスシェイン、影山悠、貴島晴彦、押野悟、
鈴木隆文、横井浩史、神谷之康、吉峰俊樹、皮質
脳波を用いた体内埋込型 BMI: イノベーションの実
用化に向けた取り組み, 第 53 回日本定位・機能神経
外科学会, 2014/2/8, 大阪, シンポジウム

平田雅之、松下光次郎、鈴木隆文、安藤博士、貴島
晴彦、押野悟、モリスシェイン、柳澤琢史、吉峰俊
樹. ワイヤレス体内埋込ないし携帯型 多チャンネ
ル頭蓋内脳波計測による てんかん焦点診断の可能
性. 第 37 回日本てんかん外科学会. 2014/2/7. 大阪.
口演

Hirata M. Towards clinical application of brain
machine interfaces using electrocorticograms.
CiNeT Friday Lunchtime Seminar. 2014/1/10. 大
阪. 招待講演

平田雅之. 脳の電磁界・律動・位相解析と BMI への
応用. 日本生体医工学会九州支部特別講演会.
2013/12/14. 博多. 招待講演

平田雅之. ブレイン・マシン・インターフェースに
よる機能再建: エレクトロニクスへの期待. シリコ
ン超集積化システム第 165 委員会 第 71 回研究会
「医療エレクトロニクス」. 2013/10/24. 東京. 招待
講演

平田 雅之、柳澤 琢史、菅田 陽怜、福間 良平、森
脇 崇、モリス シェイン、松下 光次郎、貴島 晴
彦、三原 雅史、押野 悟、齋藤 洋一、横井 浩史、
神谷 之康、狭間 敬憲、望月 秀樹、吉峰 俊樹. 重
症 ALS 患者に対する皮質脳波を用いたブレイン・マ
シン・インターフェース. 一般社団法人日本脳神経
外科学会 第 72 回学術総会. 2013/10/16. 横浜. シン
ポジウム

平田雅之. 埋込型ブレインマシンインターフェース
による 脳機能支援: 患者の頭蓋・脳形状にフィット
する埋込医療機器. 第 1 回フレキシブル医療 IT 研究
会 公開シンポジウム. 2013/10/15. 東京. 招待講演

平田雅之、松下光次郎、鈴木隆文、貴島晴彦、押野
悟、柳澤琢史、モリスシェイン、菅田陽怜、齋藤洋
一、吉峰俊樹. 体内埋込ないし携帯型 多チャンネル
頭蓋内脳波計測によるてんかん診断の可能性. 第 47
回日本てんかん学会学術集会. 2013/10/11. 小倉. 口
演

平田雅之. ブレイン・マシン・インターフェースの
最前線と エレクトロニクスへの期待. 第 29 回低消
費電力・高速 LSI 技術懇談会. 2013/10/3. 東京. 招
待講演

平田雅之. ブレイン・マシン・インターフェースに
よる運動・意思疎通支援: 研究の動向と当科での取
り組み. 第 36 回関東機能的脳外科カンファレンス.
2013/9/7. 東京. 招待講演

Hirata M, Matsushita K, Suzuki T, Yoshida T,

Sato F, Umeda T, Nishimura Y, Hasegawa I, Ando H, Morris S, Yanagisawa T, Kishima H, Kawato M, T Yoshimine. A Fully-implantable Wireless System for Human Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrodes: W-HERBS. 第 36 回日本神経科学大会. 2013/6/21. 京都. 口演

通信基礎技術研究所、国立大学法人東京大学.
出願：2010/03/05 特願2010-049814.
公開：2011/9/22 特開2011-186667.
取得：2014/2/7特許5467267

平田雅之、亀山茂樹、柳澤琢史、貴島晴彦、押野 悟、吉峰俊樹、井口義信、石井良平、尾崎 勇、鎌田恭輔、白石秀明、露口尚弘、渡辺裕貴、中里信和、橋本 勲. 脳磁図を用いたてんかん診断の臨床応用：最近の動向と将来展望. 第 28 回日本生体磁気学会. 2013/6/7. 新潟. ワークショップ

平田雅之、柳澤琢史、菅田陽怜、松下光次郎、依藤史郎、吉峰俊樹. 脳電磁計測を用いた BMI による運動機能支援. 第 28 回日本生体磁気学会. 2013/6/7. 新潟. シンポジウム

G. 知的財産権の出願・登録状況

【平成 23 年度】

特記すべきことなし。

【平成 24 年度】

頭蓋内電極構造体およびその製造方法
発明者平田雅之、吉峰俊樹、齋藤洋一、柳澤琢史、後藤 哲

出願人：国立大学法人大阪大学

出願日 2007/8/22、出願番号 特願2007-216461

公開日 2009/3/5、公開番号 特開 2009-45368

取得日 2012/11/9 登録番号 特許5126710

体内埋込装置のケーシングと体内埋込装置、および体内埋込装置のケーシングの製造方法、および体内埋込装置を用いた治療支援方法

発明者：平田雅之、吉峰俊樹、松下光次郎、後藤哲、柳澤琢史、鈴木隆文、吉村真一

出願人：国立大学法人大阪大学、国立大学法人東京大学、株式会社飛鳥電機株式会社

出願日 2011/3/10、出願番号 PCT国際特許出願 PCT/JP/2011/001402

MACHINE CONTROL DEVICE, MACHINE SYSTEM, MACHINE CONTROL METHOD, AND RECORDING MEDIUM STORING MACHINE CONTROL PROGRAM

Applicants: Hirata M, Yanagisawa T, Kamitani Y, Yokoi H, Yoshimine T, Goto T, Fukuma R, Kato R
Assignment: Osaka University, ATR, The University of Tokyo Filing Date May/3/2010 Application NO: 12/799,840 Publication number: US 2011/0218453 A1 Patent NO: US8396546 2013/3/12

【平成 25 年度】

発明者：平田雅之、柳澤琢史、神谷之康、横井浩史、吉峰俊樹、後藤哲、福間良平、加藤龍。

名称：機器制御装置、機器システム、機器制御方法、機器制御プログラム、および記録媒体。

出願人：国立大学法人大阪大学、株式会社国際電気

II. 分担研究報告

ブレイン・マシン・インターフェースによる運動・コミュニケーション機能支援装置の臨床研究

研究分担者 吉峰 俊樹 大阪大学大学院医学系研究科教授

研究要旨

【平成23年度】

H23年1月28日付けで大阪大学医学部附属病院未来医療センターに申請を行った未来医療臨床研究「ブレイン・マシン・インターフェースによる運動機能・意思伝達機能補填装置の臨床研究」に関して、審査・評価委員会における指摘事項に対して、慎重に対策・対応し、承認を目指した。計5回にわたり審査・評価委員会にて厳密な審査を受け、指摘事項に対して慎重に対策・対応をおこない、平成24年2月8日の審査・評価委員会にて修正のうえ承認の判定を得た。審査・評価委員会にて長期間にわたり厳密な審査を受けたことにより、倫理的・研究的にも質の高い研究計画とすることができた。

また並行して、臨床研究実施体制を確立するため、臨床研究実施ワーキンググループを組織して機関内の関係諸科や外部関係機関と臨床試験実施の準備を開始した。さらに日本ALS協会本部および近畿ブロックに本臨床研究について説明し、協力を依頼、了承を得た。これにより、数多くの多分野にわたる機関内関係諸科、外部関係機関と強固な臨床研究実施体制を確立することができた。

今後臨床試験実施マニュアルの整備等を行い、臨床研究の実施が滞りなく行われるようにする。

【平成24年度】

本研究では、重症ALS患者を対象として、3次元高密度多極脳表電極とブレイン・マシン・インターフェース(BMI)による脳信号解読を用いて、有線型の運動・コミュニケーション支援装置の臨床研究を行うとともに、ワイヤレス埋込型BMI装置を臨床試験実施可能なレベルの実用機の開発と非臨床試験実施を目指す。

H24年度は大阪大学医学部の医学部倫理審査委員会にて臨床試験実施が承認され、関係諸科・機関と臨床試験実施の準備を進めた。

【平成25年度】

平成25年度は、埋込装置の実用化のため、企業との連携体制を進展させ、日本光電工業と正式な共同研究開発をH26年4月より開始することを決定した。また研究成果をひろく発信した。

A. 研究目的

筋萎縮性側索硬化症(ALS)から脳卒中後遺症にいたるまで種々の脳神経筋疾患により、四肢の麻痺とコミュニケーション障害が生じ、患者は耐え難いストレスに晒されている。現在有効な治療方法がない重症ALSの四肢麻痺・コミュニケーション障害に対して、補助治療方法を提供するために、本研究では、重症ALS患者を対象として、3次元高密度多極脳表電極とブレイン・マシン・インターフェース(BMI)による脳信号解読を用いて、有線型の運動・コミュニケーション支援装置の臨床研究を行う。

【平成23年度】

大阪大学医学部附属病院未来医療センターに申請した未来医療臨床研究「ブレイン・マシン・インターフェースによる運動機能・意思伝達機能補填装置の臨床研究」に関して、未来医療審査・評価委員会における指摘事項に対して、慎重に対策・対応し、承認を目指す。

【平成24年度】

H24年度は大阪大学医学部の医学部倫理審査委員会にて臨床試験実施が承認され、関係諸科・機関と臨床試験実施の準備を進める。

【平成25年度】

平成25年度は、企業連携体制を進展させるとともに研究開発費を確保する。また成果をひろく発信する。

B. 研究方法

【平成23年度】

H23年1月28日付けで大阪大学医学部附属病院未来医療センターに申請を行った未来医療臨床研究「ブレイン・マシン・インターフェースによる運動機能・意思伝達機能補填装置の臨床研究」に関して、未来医療審査・評価委員会における指摘事項に対して、慎重に対策・対応し、承認を目指した。

また並行して、臨床研究実施体制を確立するため、臨床研究実施ワーキンググループを組織して機関内の関係諸科や外部関係機関と臨床試験実施の準備を開始した。

【平成24年度】

有線型BMI臨床研究の実施承認と準備

(担当 吉峰俊樹、平田雅之)

(詳細に関しては分担研究報告書を参照)

有線型BMI臨床研究に関して、H23年度末に大阪大学医学部附属病院未来医療センターの審査・評価委員会から承認を得て、H24年度は大阪大学医学部倫理審査委員会での承認を早期に目指した。

またH23年度に引き続き、機関内の関係諸科や外部関係機関との調整や臨床試験実施の準備を進めた。

【平成25年度】

1) 企業連携と研究費確保

体内埋込装置開発に関して、日本光電工業をはじめとする国内企業と連携を進めた。また昨年度に引き続き厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）に申請した。

2) 成果の発信

患者団体での成果の発信、マスコミ報道、学会発表を積極的に行った。

（倫理面への配慮）

臨床研究の実施にあたっては、大阪大学医学部附属病院未来医療センターの審査・評価委員会、および大阪大学医学部倫理審査委員会にて倫理面に関して十分な審議がなされ、本研究の位置づけ、患者への利益・不利益、患者へのDVD動画を用いた説明など、数多くの修正・改善を行い、承認を得た。

臨床研究の成果発表・マスコミ報道においては個人情報に最大限配慮する。

C. 研究結果

【平成23年度】

未来医療審査・評価委員会にて、計5回にわたる厳密な審査を受け、指摘事項に対して慎重に対策・対応をおこなった（添付資料参照）。その結果平成24年2月8日の審査・評価委員会にて修正のうえ承認を得た。主な指摘事項とそれに対する対応を以下に記す。

・指摘：ALSという意志疎通が困難な対象被験者を対象としており、わかりやすい説明が必要である。

回答：説明時にわかりやすい説明DVDを用いる。（添付資料参照）。

・指摘：被験者にはメリットのないこと、本研究の意義・位置づけを明確に説明すること。

回答：被験者にメリットのないことを説明書および説明DVDで明確にした。また本臨床研究が無線型BMIの臨床研究および将来の実用化の前段階の臨床研究であることを明確にした。

最終的な臨床研究の書類（実施計画書、説明書等）は添付資料を参照されたい。

また並行して、臨床研究実施ワーキンググループを組織して下記に記す機関内の関係諸科や外部関係機関と臨床試験実施の準備を開始した。

・大阪大学医学部附属病院
未来医療センター、神経内科、麻酔科、集中治療部、脳神経外科病棟

・大阪難病医療情報センター
・大阪府急性期・総合医療センター神経内科
・国立病院機構刀根山病院神経内科

さらに日本ALS協会本部および近畿ブロックに本臨床研究について説明し、協力を依頼、了承を得た。

【平成24年度】

臨床研究実施の承認と準備

未来医療センターでの承認後、6/18、8/22の計2回にわたり大阪大学医学部倫理審査委員会にて厳密な審査を受け、指摘事項に対して慎重に対策・対応をおこなった（添付資料参照）。その結果、H24/8/22の医学部倫理審査委員会にて承認を得、H24/10/1付けで医学研究科長から、

H24/11/1付けで病院長から、各々臨床研究の実施承認を得た。さらに未来医療センターにおけるプロトコルの最終修正を経て、有線型臨床試験の患者募集が可能となり、H24/12より開始した。

大阪難病医療情報センターとコーディネータ契約を行い、患者情報の収集や患者や諸機関との調整ができる体制を整えた。

H24/6に日本ALS協会近畿ブロック総会にて講演を行い、本臨床研究について患者・家族に対して広く紹介をした。またH24/12に日本ALS協会近畿ブロック会報にて本臨床研究についての案内を掲載した。

承認時の対象疾患、選択基準、除外基準、主要評価項目、副次評価項目を以下に示す。

【対象疾患】

筋萎縮性側索硬化症、脊髄性筋萎縮症

【選択基準】

- 1) 重症の筋萎縮性側索硬化症もしくは脊髄性筋萎縮症
重症とはALSFRS-Rにて以下の状態をさす。項目①言語、⑤胃瘻あり・指先動作、⑧歩行、が全て0または1。項目④書字、⑤胃瘻なし・食事用具の使い方、⑥着衣と身の回りの動作、⑦病床での動作、⑨階段をのぼる、が全て0。
- 2) すでに人工呼吸管理下にある患者
- 3) 年齢が20歳以上の患者
- 4) 口頭、文章もしくは映像による説明にて、患者自身から同意取得が得られた患者。

【除外基準】

- 1) MRIにて重篤な大脳の器質的疾患を認める患者
- 2) 脳波、脳磁図で大脳に重篤な機能的異常所見を認める患者
- 3) 視覚・聴覚に重篤な障害があり、本試験装置の操作が不可能と考えられる患者
- 4) 心・肺・肝・腎・消化管・血液系・代謝系・認知機能・精神機能に重篤な障害を認める患者
- 5) 悪性疾患を有する患者
- 6) 易感染性状態の患者
- 7) 出血傾向を有する患者
- 8) ステロイド、免疫抑制剤を服用している患者。
- 9) 抗凝固剤を服用している患者
- 10) 対象疾患以外に重篤な基礎疾患がある患者
- 11) その他、本臨床研究への参加を責任者又は分担者または適格性判定委員会が不相当と判断した患者

【主要評価項目】

HERBSの安全性：電極留置後10日以降における、電極留置を起因とする脳機能障害。

【副次評価項目】

- 1) 電極留置17日後のHERBSによる上肢運動推定の正解率
- 2) HERBSを用いたロボットアーム制御能
- 3) HERBSを用いた意思伝達能
- 4) 同日の学習データによる上肢運動推定の正解率
- 5) その他の有害事象

最終的な臨床研究の書類（実施計画書、説明書等）は添付資料を参照されたい。

【平成25年度】

1) 企業連携と研究費確保

日本光電工業とは体内埋込装置全体を共同研究開発する契約を締結することが決定した。

非臨床GLP試験は高額なため、別途、厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）に申請したが非採択であった。

2) 成果の発信

難病患者や重度障害者の方のコミュニケーションを、患者関連団体であるICT 救助隊 (<http://www.rescue-ict.com/wp/about>)が開催するICTフューチャープロジェクト2014に、本臨床試験の被験者とともに参加して、本研究の進捗状況を説明した。

http://www.rescue-ict.com/wp/archives/news/ictfuture2014_0

http://www.rescue-ict.com/wp/archives/news/ictfuture2014_1

有線型皮質脳波BMI装置の臨床試験に関して、以下に挙げる報道他多数の国内外のマスコミにて報道された。

- ・NHKおはよう日本 密着！日本初の研究 念じるだけで機械が動く（平成25年4月11日）
- ・韓国KBS放送ニュース（平成25年4月11日）
- ・NHK WORLD TV NEWSLINE “From thought to action”（平成25年4月25日）

また、体内埋込装置の開発に関しても、学会発表をマスコミ報道されるなど、その成果を国民に効果的に発信することができた。

・時事ドットコム、Yahoo!ニュース「脳波で機械操作、ワイヤレス化＝体内埋込み装置開発－大阪大」（平成25年6月19日）。

（倫理面への配慮）

臨床研究の成果発表・マスコミ報道においては個人情報の管理に最大限配慮した。

D. 考察

【平成23年度】

審査・評価委員会にて長期間にわたり厳密な審査を受け、倫理的・研究的にも質の高い研究計画とすることができた。

また臨床研究実施ワーキンググループを組織して数多くの多分野にわたる機関内関係諸科、外部関係機関と強固な臨床研究実施体制を確立することができた。

今後臨床試験実施マニュアルの整備、病棟看護士に対する勉強会等を行い、臨床研究の実施が滞りなく行われるようにする。

【平成24年度】

H23年度の未来医療センターの審査・評価委員会における長期間にわたる厳密な審査をに引き続き、医学部倫理審査委員会においても厳密な審査を受け、倫理的・研究的にさらに質の高い研究計画とすることができた。

また大阪難病医療情報センターとコオーディネータ契約することにより、臨床研究準備を効率的に進め、患者の情報を的確に把握できた。

【平成25年度】

1) 企業連携と研究費確保

日本光電工業とはH26年4月から最先端医療

融合イノベーションセンターで本格的な共同研究開発を開始する予定である。

厚生労働科学研究費補助金（医療機器開発推進研究事業）に引き続き申請を行い、採択を目指す。

2) 成果の発信

有線BMI研究での成功を患者に報告することにより、運動・意思伝達障害により大きなストレスを抱えるALS患者が希望を持つことに貢献できた。

本研究の成果は多数の国内外のマスコミにて報道され、日本国民だけでなく全世界に広く発信することができ、BMIの研究開発促進につなげることができた。

E. 結論

【平成23年度】

大阪大学医学部附属病院未来医療センターに申請した有線型BMI臨床試験に関して、未来医療審査・評価委員会にて厳密な審査の結果、修正の上承認の判定を得た。

【平成24年度】

医学部倫理審査委員会でも厳密な審査を受け、倫理的・研究的にもさらに質の高い研究計画とすることができた。

【平成25年度】

埋込装置の実用化のため、企業との連携体制を進展させ、日本光電工業と正式な共同研究開発をH26年4月より開始することを決定した。また研究成果をひろく発信した。

F. 研究発表

1. 論文発表

【平成23年度】

Sugata H, Goto T, Hirata M, Yanagisawa T, Shayne M, Matsushita K, Yoshimine T, Yorifuji S. Movement-related neuromagnetic fields and performances of single trial classifications. *Neuroreport*, 2012 23(1):16-20

Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, Kishima H, Matsushita K, Goto T, Fukuma R, Yokoi H, Kamitani Y, Yoshimine T. Electrocorticographic control of a prosthetic arm in paralyzed patients. *Annal Neurol*, 2012 71(3):353-361

Hirata M, Matsushita K, Yanagisawa T, Goto T, Morris S, Yokoi H, Suzuki T, Yoshida T, Sato F, Sakura O, Kamitani Y, Yoshimine T. Motor restoration based on the brain machine interface using brain surface electrodes: real time robot control and a full y-implantable wireless system. *Advanced robotics* 2012 26:399-408

Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, Goto T, Kishima H, Fukuma R, Yokoi H, Kamitani Y, Yoshimine T. Real-time control of a prosthetic hand using human electrocorticograms, *J Neurosurg*, 2011 Jun;114(6):1715-22

Hirata M, Matsushita K, Suzuki T, Yoshida T, Sato F, Morris S, Yanagisawa T, Goto T, Kawato M, Yoshimine T. A fully-implantable wireless system for human brain-machine interfaces using brain surface electrodes: W-HERBS. *IEICE Trans Commun.* 2011 E94-B(9):2448-2453

Maruo T, Saitoh Y, Hosomi K, Kishima H, Shimokawa T, Hirata M, Goto T, Morris S, Harada Y, Yanagisawa T, Aly MM, Yoshimine T. Deep brain stimulation of the subthalamic nucleus improves temperature sensation in patients with Parkinson's disease. *Pain.* 2011 152(4):860-5

平田雅之、亀山茂樹、後藤 哲、柳澤琢史、貴島晴彦、押野 悟、吉峰俊樹、井口義信、石井良平、尾崎 勇、鎌田恭輔、白石秀明、露口尚弘、渡辺裕貴、橋本 勲. 脳磁図の臨床応用に関する文献レビュー(第1報): てんかん, *臨床神経生理*, 2012. 40:140-146

平田雅之、柳澤琢史、貴島晴彦、吉峰俊樹. てんかん治療におけるbrain machine interfaceの可能性. *Epilepsy*, 2012. 6(1):37-42

柳澤琢史、平田雅之、齋藤洋一、貴島晴彦、後藤哲、福岡良平、横井浩史、神谷之康、吉峰俊樹. 麻痺患者における感覚運動野皮質脳波の変化とBMIへの応用, *認知神経科学*, 2012 13(39):255-260

影山悠、平田雅之、柳澤琢史、吉峰俊樹. ALSを対象としたブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)の臨床応用への期待. *難病と在宅ケア*, 2012 17(12):52-55

平田雅之、松下光次郎、柳澤琢史、後藤哲、モリスシェイン、影山悠、齋藤洋一、貴島晴彦、吉峰俊樹. 脳表電極を用いたブレイン・マシン・インターフェイスの展望. *ヒューマンインターフェイス学会誌* 2011 13(3):131-136

平田雅之、吉峰俊樹. 脳神経外科におけるBMIの展望. *脳神経外科速報*. 2011 21(8):880-889

平田雅之、吉峰俊樹. *Brain-Machine Interface. Clinical Neuroscience*, 2011 29(4):384-387

【平成24年度】

Hirata M, Kishima H, Yanagisawa T, Taniguchi M, Hosomi K, Goto T, Yoshimine T, Okinaga T, Shimono S, Imai K. Brain-Machine Interface Using Brain Surface Electrodes: Real-Time Robotic Control and a Fully Implantable Wireless System. In *Biomedical Engineering and Cognitive Neuroscience for Healthcare: Interdisciplinary Applications*. Ed: Go R. IGI Global, USA, 2013, pp362-374.

Hirata M, Yoshimine T. Clinical applicatio

n of neuromagnetic recordings: from functional imaging to neural decoding. *IEICE Trans Electron.* 96(3):313-319,2013

Nomura K, Kazui H, Tokunaga H, Hirata M, Goto T, Goto Y, Hashimoto N, Yoshimine T, Takeda M. Possible roles of the dominant uncinata fasciculus in naming objects: A case report of intraoperative electrical stimulation on a patient with a brain tumor. *Behav Neurol.* 2012 Dec 14.

Yanagisawa T, Yamashita O, Hirata M, Kishima H, Saitoh Y, Goto T, Yoshimine T, Kamitani Y. Regulation of motor representation by phase-amplitude coupling in the sensorimotor cortex. *J Neurosci.* 2012 Oct 3 1:32(44):15467-75.

Hosomi K, Kishima H, Oshino S, Hirata M, Tani N, Maruo T, Khoo HM, Shimosegawa E, Hatazawa J, Kato A, Yoshimine T. Altered extrafocal iomazenil activity in mesial temporal lobe epilepsy. *Epilepsy Res.* 2013 Feb;103(2-3):195-204.

Sugata H, Goto T, Hirata M, Yanagisawa T, Shayne M, Matsushita K, Yoshimine T, Yorifuji S. Neural decoding of unilateral upper limb movements using single trial MEG signals. *Brain Res.* 2012 Aug 15:1468:29-37.

平田雅之、柳澤琢史、松下光次郎、菅田陽怜、モリス シェイン、神谷之康、鈴木隆文、吉田毅、佐藤文博、森脇崇、梅垣昌士、齋藤洋一、貴島晴彦、影山悠、川人光男、吉峰俊樹. *ブレイン・マシン・インターフェイスの基礎と臨床応用 脳神経外科ジャーナル* 22(3):192-199, 2013

平田雅之、吉峰俊樹. *ブレイン・マシン・インターフェイス 検査と技術* 41(2):147-151, 2013

平田雅之、吉峰俊樹. *ブレイン・マシン・インターフェイス 再生医療 日本再生医療学会雑誌* 12(1):33-49, 2013

平田雅之、柳澤琢史、松下光次郎、モリスシェイン、神谷之康、鈴木隆文、吉田毅、佐藤文博、齋藤洋一、貴島晴彦、後藤哲、影山悠、川人光男、吉峰俊樹. *ブレイン・マシン・インターフェイスによる機能支援:リアルタイムロボットアーム制御とワイヤレス完全体内埋込装置の開発 脳神経外科ジャーナル* 21(7):541-549, 2012

平田雅之、柳澤琢史、松下光次郎、後藤哲、菅田陽怜、モリスシェイン、影山悠、貴島晴彦、齋藤洋一、吉峰俊樹. *Brain-machine interfaceの進歩 分子脳血管病* 11(3):16-23 (252-259), 2012

【平成25年度】

平田雅之、柳澤琢史、吉峰俊樹. 脳表電極を用いたブレイン・マシン・インターフェース. 鈴木則宏、祖父江元、荒木信夫、宇川義一、川原信隆編. Annual Review 神経 2014. 中外医学社. 2014. pp107-113

Nakanishi Y, Yanagisawa T, Shin D, Fukuma R, Chen C, Kambara H, Yoshimura N, Hirata M, Yoshimine T, Koike Y. Prediction of Three-Dimensional Arm Trajectories Based on ECoG Signals Recorded from Human Sensorimotor Cortex. PLoS One. 2013. 8(8):e72085. DOI:10.1371/journal.pone.0072085

Matsushita K, Hirata M, Suzuki T, Ando H, Ota Y, Sato F, Morris S, Yoshida T, Matsuki H, Yoshimine T. Development of an implantable wireless ECoG 128ch recording device for clinical brain machine interface. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2013. 1867-70. DOI:10.1109/EMBC.2013.6609888

Nomura K, Kazui H, Tokunaga H, Hirata M, Goto T, Goto Y, Hashimoto N, Yoshimine T, Takeda M. Possible roles of the dominant uncinate fasciculus in naming objects: A case report of intraoperative electrical stimulation on a patient with a brain tumour. Behav Neurol. 2013. 27(2):229-34

Hirata M, Yoshimine T. Clinical application of neuromagnetic recordings: from functional imaging to neural decoding. IEICE Trans Electron. 2013. 96-C(3):313-319

平田雅之、吉峰俊樹. 皮質脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェースによる身体機能障害の代替, 技術予測レポート 2023, 2013, 15-25

平田雅之、吉峰俊樹. 皮質脳波を用いたワイヤレス体内埋込型運動・意思伝達機能補填装置, 臨床評価, 2013, 41(1):102-105

平田雅之、吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェース Brain-machine interface, 理学療法ジャーナル, 2013, 47(7):629-634

2. 学会発表

【平成23年度】

Yoshimine T. ECoG-based brain-machine interface(BMI) for severe motor impairment. 13th Asian Australasian Congress of Neurological Surgeons(AACNS). Taipei,Taiwan, 2011/12/2

Yoshimine T. Ecog-based brain-machine interface(BMI)for prosthetic arm control in paralyzed patients. Dasan Conference III Cosmic Brain Networ. Yeosu,Korea, 2011/11/25

Yoshimine T. Functional Connectivity in E pileptic Brain. Asian Epilepsy Surgery Society 2011. Hong Kong, 2011/11/11

Yoshimine T. Brain-Machine-Interface(BMI) by ECOG DECODING. 14th Interim Meeting of The World Federation of Neurosurgical Societies. Pernambuco,Brazil, 2011/9/14-17

吉峰俊樹. 脳神経外科手術からブレイン・マシン・インターフェース (BMI) へ. 第19回 久山脳神経外科セミナー. 福岡, 2011/12/17

吉峰俊樹. ヒトの運動企図を脳波から読み取る:ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) の開発. 久留米大学脳神経外科開講40周年記念会, 久留米市 (福岡) , 2011/11/26

吉峰俊樹. 随意運動の脳内機序とブレイン・マシン・インターフェース (BMI) . 第22回 千葉臨床神経生理研究会, 千葉, 2011/11/21

吉峰俊樹. ヒトの運動企図を脳波で読み取る～ブレイン・マシン・インターフェース (BMI) の開発～. 札幌神経疾患研究会2011, 札幌, 2011/11/12

吉峰俊樹. 患者さんの考えを読み取って意思伝達や運動を助ける未来技術. 平成23年度 脳プロ公開シンポジウム in KANSAI, 大阪, 2011/10/15

吉峰俊樹. 頭蓋底髄膜腫とその他の髄膜腫の腫瘍成長特性の相異. 第70回日本脳神経外科学会総会. 横浜, 2011/10/13

吉峰俊樹. ブレインマシンインターフェース. 第9回 大阪大学医工情報連携シンポジウム, 吹田 (大阪) , 2011/9/26

吉峰俊樹. 随意運動の脳内機構とブレイン・マシン・インターフェース (BMI) . 平成23年広島大学脳神経外科同門会, 広島, 2011/7/16

吉峰俊樹. 脳とコンピューターをつなぐ-Brain machine interface-.第18回 メイヨーニューロサイエンスフォーラム (Mayo Neuroscience Forum) , 名古屋, 2011/5/20

吉峰俊樹. 脳神経外科最前線:ブレインマシンインターフェースによる脳機能再建. 平成23年度大阪大学医学部小児外科同窓会総会, 吹田 (大阪) , 2011/4/16

【平成24年度】

Hirata M, Goto T, Onodera J, Sugata H, Yoshimine T, Yorifuji S. Early latency components P45m-N75m of visual evoked neuro magnetic fields reflect neural conduction in the optic radiation. 18th International Conference on Biomagnetism. 2012/8/28 Paris

(France)

Hirata M, Yanagisawa T, Matsushita K, Sugata H, Shayne M, Kageyama Y, Kishima H, Saitoh Y, Kamitani Y, Suzuki T, Yokoi Y, Nishimura Y, Yoshida T, Sato F, Kawato M, Yoshimine T. Towards clinical application of brain-machine interfaces based on electrocorticograms. The International Symposium on Clinical Application of Brain-Machine Interface (BMD), 2012/10/20 Osaka (Japan)

平田雅之、後藤哲、石澤望、菅田陽怜、吉峰俊樹、依藤史郎. 脳磁計測を用いた言語活動のhigh γ律動解析. 第27回日本生体磁気学会, 2012/5/31 東京

松下光次郎、平田雅之、鈴木隆文、吉田毅、加藤健太郎、佐藤博文、松木秀敏、モリスシェイン、後藤哲、吉峰俊樹. 体内埋込型ワイヤレス皮質脳波計測システムの開発. ロボティクス・メカトロニクス講演会 2012, 2012/5/29 浜松(静岡)

平田雅之、柳澤琢史、菅田陽怜、松下光次郎、貴島晴彦、吉峰俊樹. 脳律動変化にもとづいた脳電磁イメージングとブレイン・マシン・インターフェース. 第29回日本脳電磁図トポグラフィ研究会, 2012/9/15 葉山

Hirata M, Yanagisawa T, Matsushita K, Sugata H, Shayne M, Kageyama Y, Suzuki F, Yokoi H, Nishimura Y, Umeda T, Kishima H, Saitoh Y, Yoshida T, Sato F, Kamitani Y, Yoshimine T. Brain Machine Interface: the present and the next ten years. 第35回日本神経科学大会 2012/9/20 名古屋

平田雅之、柳澤琢史、菅田陽怜、貴島晴彦、吉峰俊樹. 脳律動変化にもとづいた脳電磁イメージングとブレイン・マシン・インターフェース. 第17回認知神経科学学会学術集会, 2012/9/30 東京

平田雅之、柳澤琢史、松下光次郎、影山 悠、モリスシェイン、菅田陽怜、貴島晴彦、押野悟、森脇 崇、梅垣昌士、吉峰俊樹. 皮質脳波を用いたブレイン・マシン・インターフェースの臨床応用. 第47回日本脊髄障害医学会, 2012/10/25 静岡

平田雅之、松下光次郎、柳澤琢史、モリスシェイン、鈴木隆文、貴島晴彦、押野悟、影山悠、菅田陽怜、齋藤洋一、吉峰俊樹. 体内埋込ないし携帯型多チャンネル精密脳信号計測が切り開く機能的脳神経外科. 第71回日本脳神経外科学会学術総会, 2012/10/18 大阪

平田雅之、吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェースの進歩: 皮質脳波BMIの臨床応用. 第38回日本脳卒中学会総会、第42回日本脳卒中の外科学会、第29回スパズム・シンポジウム 合同シンポジウム, 2013/3/23 東京

【平成25年度】

Yoshimine T. Cross-frequency interaction in human electrocorticogram (ECoG). the 7th Asian Epilepsy Surgery Congress(AESC2013). 2013/10/25. Beijing, China. Lecture

Yoshimine T. Brain-machine interface (BMI) -A novel neurotechnology to translate thoughts into action to help paralyzed patients. 第11回世界脳神経看護学会. 2013/9/15. 岐阜市. Special Lecture 2

Yoshimine T. Imaging the extent of glioma cell infiltration by “FDG-methionine decoupling”. 15th World Congress of Neurosurgery (WFNS2013). 2013/9/10. Seoul, KOREA. Oral

Yoshimine T. Recent advances in BMI research and its impact as a novel neurotechnology. International Joint Symposium on the Advancements in Neurosurgery. 2013/9/8. Seoul, Korea. 招待講演

吉峰俊樹. 脳卒中学—新時代を切り開く—. 第39回日本脳卒中学会. 2014/3/13. 大阪市. 講演

吉峰俊樹. 脊髄損傷の病態生理と治療法開発へのアプローチ～見えてきた未来～/Spinal cord injury - pathophysiology and requisites for new therapeutic approaches. TRI10周年 記念シンポジウム: 1st World Centenarian Initiative. 2014/1/19. 東京. 招待講演

吉峰俊樹. Brain-machine interface(BMI)が切り開く未来の neuroscience と neurosurgery. 日本脳神経外科学会 第72回学術総会. 2013/10/16. 横浜市. 講演

吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェイス (BMI) 開発の現状. 第5回 再生医療サポートビジネス懇話会. 2013/12/13. 京都. 招待講演

吉峰俊樹. Brain-machine interface (BMI)から未来の neurosurgery へ. 第61回 香川脳神経外科談話会. 2013/9/21. 高松市. 特別講演

吉峰俊樹. BMI 研究の現状と展望. 第2回 大阪神経機能懇話会. 2013/8/3. 吹田市. 教育講演

吉峰俊樹. 脊損患者に対する自己嗅粘膜移植治療の臨床試験について. Neuro2013. 2013/6/21. 京都. シンポジウム

吉峰俊樹. ALSにおけるコミュニケーション障害とその対策: 完全閉じ込め状態への挑戦. 第54回 日本神経学会学術大会 . 2013/6/1. 東京. シンポジウム

吉峰俊樹. BMI の神経疾患への応用. 第54回 日本

神経学会学術大会. 2013/5/31. 東京. 招待講演

吉峰俊樹. 脳と機械をつなぐーbrain-machine interface(BMI)ー. 第25回 弘前脳疾患臨床セミナー. 2013/4/26. 弘前市. 特別講演

吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェイス (BMI) 実用化にむけて. 日本医工学治療学会 第29回学術大会. 2013/4/20. 横浜市. シンポジウム (招待演者)

吉峰俊樹. ニューロサイエンスからニューロテクノロジーへ～brain-machine interface(BMI)～. 第3回 Kyushu Neuroscience Conference. 2013/4/5. 福岡市. 特別講演

G. 知的財産権の出願・登録状況

【平成24年度】

頭蓋内電極構造体およびその製造方法
発明者 平田雅之、吉峰俊樹、齋藤洋一、柳澤琢史、
後藤 哲
出願人：国立大学法人大阪大学
出願日 2007/8/22、出願番号 特願2007-216461
公開日 2009/3/5、公開番号 特開 2009-45368
取得日 2012/11/9 登録番号 特許5126710

体内埋込装置のケーシングと体内埋込装置、および
体内埋込装置のケーシングの製造方法、および体内
埋込装置を用いた治療支援方法
発明者：平田雅之、吉峰俊樹、松下光次郎、後藤哲、
柳澤琢史、鈴木隆文、吉村眞一
出願人：国立大学法人大阪大学、国立大学法人東京
大学、株式会社飛鳥電機株式会社
出願日 2011/3/10、出願番号 PCT国際特許出願 P
CT/JP/2011/001402
米国移行
出願日 2012/5/18 米国出願番号 13/510,841

MACHINE CONTROL DEVICE, MACHINE
SYSTEM, MACHINE CONTROL METHOD, AND
RECORDING MEDIUM STORING MACHINE
CONTROL PROGRAM

Applicants: Hirata M, Yanagisawa T, Kamitani Y,
Yokoi H, Yoshimine T, Goto T, Fukuma R, Kato R
Assignment: Osaka University, ATR, The Unive
rsity of Tokyo Filing Date May/3/2010 Applicati
on NO: 12/799,840 Publication number: US 201
1/0218453 A1 Patent NO: US8396546 2013/3/12

【平成25年度】

発明者：平田雅之、柳澤琢史、神谷之康、横井浩史、
吉峰俊樹、後藤哲、福岡良平、加藤龍。
名称：機器制御装置、機器システム、機器制御方法、
機器制御プログラム、および記録媒体。
出願人：国立大学法人大阪大学、株式会社国際電気
通信基礎技術研究所、国立大学法人東京大学。
出願：2010/03/05 特願2010-049814。
公開：2011/9/22 特開2011-186667。
取得：2014/2/7 特許5467267

厚生労働科学研究費補助金（医療技術実用化総合研究事業（臨床研究推進研究事業））
（総合）研究報告書

研究課題名：

埋込回路開発（ブレイン・マシン・インターフェイスによる
運動・コミュニケーション機能支援装置の臨床研究）

分担研究者：

鈴木隆文

独立行政法人情報通信研究機構 脳情報通信融合研究センター・主任研究員

研究要旨

皮質脳波を信号源とするブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)システムの臨床応用を推進するためには、感染リスクの排除のため、システムを埋め込み可能とすること、つまり通信の無線化と小型防水化が必須となる。本分担研究「埋込回路開発」の目的は、埋込型 BMI 装置の実用化開発に向けて、①皮質脳波計測用集積化アンプチップの安全性と安定性の向上、②ワイヤレス通信回路の小型・高速・低電力化、を図ることにある。平成 23 年度は、これらの目的の実現に向けて、①については参照電極切換え機能及び通信パラメータの安定通信機能を付加する設計と VDEC による試作を行い、評価実験によって所望の機能の実現を確認した。また②については、小型・高速・低電力化を目的として試作したチップを使用して、ラットを対象とした評価実験を行い、皮質脳波信号がワイヤレスで通信できていることを示した。平成 24 年度は前年度に引き続いて、これらの目的の実現に向けて、頭部ケーシングのエポキシモデルの耐久性の in vitro 評価実験を行うとともに、全体試作システムのサルでの埋め込み評価実験を開始した。平成 25 年度には主に①の皮質脳波計測用集積化アンプチップのノイズ（コモンモードノイズ）等の特性評価を行うとともに、配線削減のための、チップと皮質脳波計測用電極の直接接続に向けた検討を行った。さらに安全性と安定性の向上させた実用モデルに向けたチップの仕様検討も行った。また、サルでの長期埋込み実験も継続して行い評価を行った。いずれの研究課題も大阪大学脳神経外科グループとの緊密な連携のもとで実施した。

A. 研究目的

これまでに我々は、皮質脳波から運動意図・内容を解読して、ロボットアーム制御やコミュニケーションを行う技術、および、脳形状にフィットする高密度柔軟多極脳表電極の開発を行ってきた。本研究課題（全体）においてはこれらの基礎研究をもとに、高密度多極脳表電極と BMI による脳信号解読を用いて、有線型の運動・コミュニケーション支援装置の臨床研究を行う

と共に、皮質脳波を信号源とするブレイン・マシン・インターフェイス(BMI)システムの臨床応用の推進に向けた感染リスクの排除のため、システムを埋め込み可能とすること、つまり通信の無線化と小型防水化も図る。完全埋込化は利便性を飛躍的に高め、心臓ペースメーカーと同レベルでの利用を可能とする。我々はこれまでに、集積化アンプ・非接触給電システム・ワイヤレス通信装置・体内ケーシングの開発を開始して

おり、H22年度末に完全ワイヤレス埋込型装置のプロトタイプを試作しているが、本研究ではこの埋込型BMI装置の実用化開発を行うとともに非臨床試験を目指すため、下記の課題を目標とした。

- ①皮質脳波計測用集積化アンプチップの安全性と安定性の向上
- ②ワイヤレス通信回路の小型・高速・低電力化
- ③頭部ケーシングの耐久性評価
- ④腹部ケーシングの耐久性評価

本分担研究課題においては、H23年度には、①については参照電極切換え機能とパラメータ送信機能を備えたチップの設計、試作、実装を行い、②については、試作したシステムについてラットを用いた評価実験を行った。H24年度には特に①③を統合した課題、つまり、頭部ケーシング（エポキシモデル）にチップを収めたユニットについての *in vitro* 耐久性試験を行うとともに、さらに②④も統合した全体システムについて、サルを用いた長期埋め込み評価を開始した。H25年度には、主に①の皮質脳波計測用集積化アンプチップのノイズ（コモンモードノイズ）等の特性評価を行うとともに、配線削減のための、チップと皮質脳波計測用電極の直接接続に向けた検討を行った。さらに安全性と安定性の向上させた実用モデルに向けたチップの仕様検討も行った。また、サルでの長期埋込み実験も継続して行い評価を行った。いずれも、大阪大学脳神経外科グループとの緊密な連携のもとで実施した。

B. 研究方法

■H23-1 皮質脳波計測用集積化アンプチップの安全性と安定性の向上

これまでに試作してきた皮質脳波計測用集積化アンプチップに関して、安全性と安定性の一層の向上を図るために、以下の機能付与を行った。

- ・参照電極切り換え機能

生体信号増幅用のチップにおいては、差動増幅によるノイズ低減を図るために、計測電極と接地電極の他に参照電極の計3個の電極を用いてコモンモードノイズの低減を実現することが一般的であるが、多チャンネルの計測電極に対して、参照電極を共通利用するために1個だけ用意する場合には、万が一その1個の参照電極や配線などに不具合が生じた場合に、実質的に全チャンネルの信号を失い、再手術による調整が必須となる可能性が生じるため、安全面、安定計測の面での問題が指摘されてきた。これに対応するため、あらかじめ複数の参照電極を用意しておき、万が一不具合が生じた際には、参照電極を切り替えることによってこの問題を回避することを狙い、本機能を設計の上、実装したチップの試作と評価を行った。

・測定パラメータ安定通信機能

現状の皮質脳波計測用集積化アンプチップで不足していた、増幅ゲインや低帯域カット周波数、高帯域カット周波数などの測定パラメータの通信の安定性を大幅に向上させるための回路改造を行った。能を設計の上、実装したチップの試作と評価を行った。

いずれもチップ試作についてはVDEC（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）にて行った。

■H23-2 ワイヤレス通信回路の小型・高速・低電力化

ワイヤレス通信回路について臨床応用に向けた小型化と高速化、低電力化を図るため、埋め込み装置（前述のチップを実装した基板を含む頭部ユニットを、電極や制御装置等へケーブル接続後にエポキシ封止したもの）の小型化を図るとともに、動物を対象とした動作評価実験を行った。

■H24-1 頭部ケーシングの*in vitro*耐久性試験

これまでに試作してきた皮質脳波計測用集積

化チップの体内での長期安定動作を評価する予備試験として、頭部ケーシング（エポキシモデル）内にチップ及び実装回路（図1）を封止したものを、恒温水槽中で長期動作試験を行った。

■H25-1 皮質脳波計測用集積化チップのノイズ等の特性評価

これまでに試作してきた皮質脳波計測用集積化チップの差動増幅機能が生体での神経信号計測に適した性能を有しているかどうかの確認を行った。本チップは、基本構造として差動増幅型のチップ回路が64個分含まれているが、生体での計測中に、ハムノイズなどの外来ノイズや心電、筋電など全チャンネルにほぼ等しく重畳するノイズについては差動増幅回路によってキャンセルされることとなっている。しかしながら差動増幅を高精度で行うためには、各増幅回路の特性が高精度で揃っている必要があり、それが達成できていない場合には、却って大きなノイズが発生してしまうこととなる。このため、チップを実装した実装回路基板（下図1）を用いて、コモンモードノイズの詳細な評価を行った。後述する実用モデル版の試作チップに関しても同様の評価を行った。本課題は大阪大学脳神経外科グループにとの密接な連携のもとで実施した。

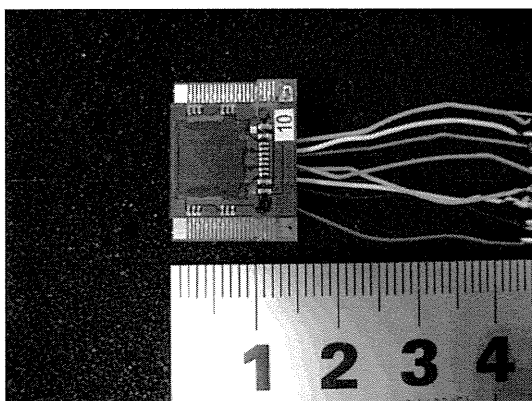


図1: 評価実験用と同型の小型実装基板

■H25-2 チップと神経電極の直接接続の検討 皮質脳波計測用集積化チップは図1にも

示されるように基板上に実装した場合に、その基板サイズは約15mm×20mmとチップ単体のサイズ（5mm×5mm）と比して、格段に大きくなってしまいます。その背景としては、皮質脳波電極からの配線と実装基板とをはんだ付けにより接続するために、コネクタ部のサイズや間隔を大きくせざるを得ないという事情がある。また配線ケーブル自体の体積も、計測電極のチャンネル数が増大していくに従って、大きなものとなる。埋込みシステム全体の小型化を進めるにあたって、こうした配線関係の体積を削減することが重要となるが、そのために、皮質脳波計測用電極とチップ自体の直接接続が可能であるかどうかの検討を行った。具体的には各種のフリップチップボンディング技術（チップのパッドを、その直下に用意したコネクタパッドに対して、直接接続する技術。個々のパッド同士の接続法自体には、金と超音波加圧とを組み合わせた方法、導電性接着剤を用いる方法など各種提案されている）が適用できるかどうかを検討するため、試作チップのパッド位置をフリップチップボンディングに適した配置に再構成できるかどうか検討・設計変更を行い、チップ試作と評価を行った。本課題は大阪大学脳神経外科グループにとの密接な連携のもとで実施した。

■H25-3 実用モデルに向けたチップの仕様検討

これまで試作してきたチップの問題点を改善し、同時に、臨床利用のためにさらに安全性を高めたチップとするための仕様検討を行った。具体的には、リーク電流の検出回路などを新規に付与し、またこれまで利用してきた東京大学大規模集積システム設計教育研究センター（VDEC）のチップのままでは臨床応用にあたっての製品化が規定上実現できないため、外部のチップ製造メーカーで試作可能なかたちへと設計修正した上で、試作と評価を行った。本課題については大阪大学脳神経外科グループに加えて、広島大学グループとも密接な連携のもとで実施した。

■H24-2/H25-4 全体システムの長期埋め込み評価実験

皮質脳波用神経電極、頭部ケーシングエポキシモデルをチタンケースに収めたもの、および、腹部ユニット（制御・無線通信ユニット、非接触給電ユニット）を含めた全体システムを試作し（図2）、サルを対象とした長期埋め込み評価実験を前年度に引き続き実施した。麻酔下のサルの頭蓋を切開し、硬膜下に皮質脳波用神経電極を埋め込み、硬膜を縫合し、取り除いた頭蓋骨位置にチタンケースを固定の上、皮膚を縫合し、腹部ユニットについてはサルの背部皮下に埋め込んだ（埋込み手術は前年度）。今年度はシステムを約半年間埋め込んで動作評価を行うとともに、システムの取り出し後に周囲の組織の評価を行った。本課題は大阪大学脳神経外科グループにとの密接な連携のもとで実施した。

（倫理面への配慮）

本研究における動物実験に関しては、大阪大学及び機構内等の倫理委員会の承認を得た上で、（H23年度に関しては当時所属の東京大学の動物実験委員会の承認を得た上で、「東京大学動物実験規則」に基づいて）科学上・動物福祉上適切に実施した。

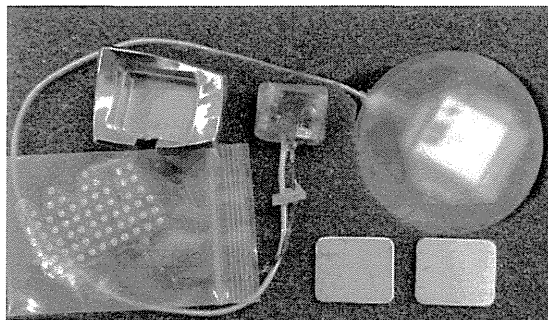


図2: 試作した全体システム（皮質脳波用神経電極）、頭部ケーシング（エポキシ内にチップと実装基板）、チタン製頭部ケーシング、ケーブル、腹部ユニット（制御・無線通信ユニットおよび非接触給電ユニット）から構成される。

C. 研究結果

■H23-1皮質脳波計測用集積化アンプチップの安全性と安定性の向上

・参照電極切り換え機能

機能追加したチップを上述のVDECにて試作した上で、小型実装基板上に実装した。実装した基板の写真を図3に示す。

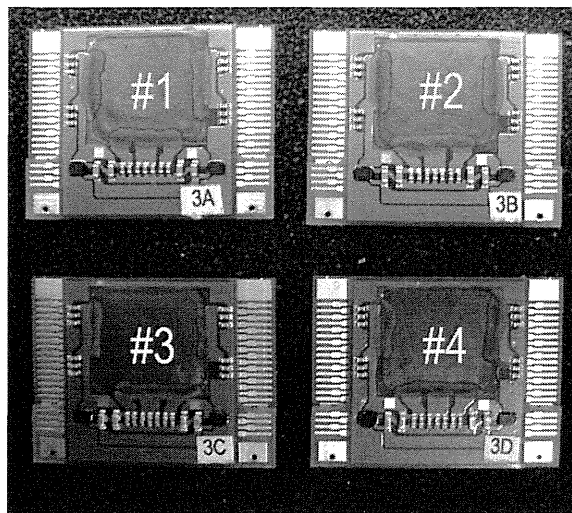


図3: チップを実装した小型実装基板
この実装基板に対して、下記の条件で、参照電極切り換え機能の動作確認実験を行った。

- ・利得設定=20dB,
- ・帯域設定=1-240Hz,
- ・出力データレート設定=400kbps
- ・入力信号 VREF 端子に信号を入力
- ・入力信号振幅=10mVpp,
- ・入力信号オフセット=0V,
- ・入力信号周波数:

VREF1=30Hz, VREF2=20Hz

・入力端子=CH1-32 はグランド電位
その結果、下記の図4と図5に示されるように、参照電極（VREF）1と2が適切にスイッチできていることが確認された。

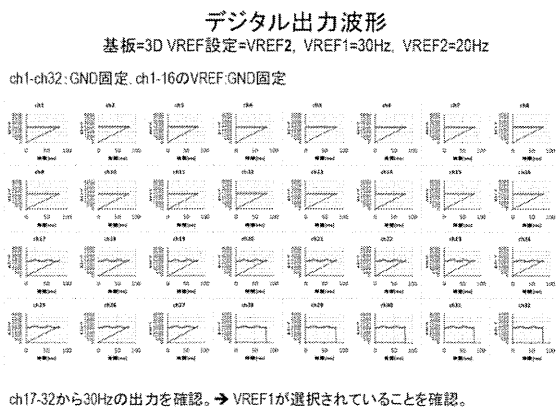


図 4: 参照電極 1 選択時の各チャンネルの出力信号

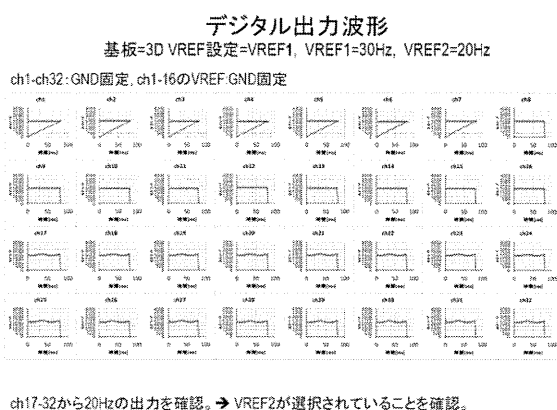


図 5: 参照電極 2 選択時の各チャンネルの出力信号

・測定パラメータ安定通信機能
本機能についても、VDECで試作したチップを小型実装基板に実装して評価実験を行った。その結果、計測用の各種パラメータが適切に送信され、その再現性も高いことが確認された。

■H23-2 ワイヤレス通信回路の小型・高速・低電力化

本機能については、VDECで試作したチップを小型実装基板に実装した上で、チップ制御ユニット及びシリコンシートベースの皮質脳波計測用電極アレイ(アレイ全体で20個の電極。うち16個が計測用電極。4個は参照用電極。)に向けたケーブルを接続し、さらにエポキシ封止を行った。ラットを対象としたワイヤレス通信機能も含めた動作評価実験を行った。

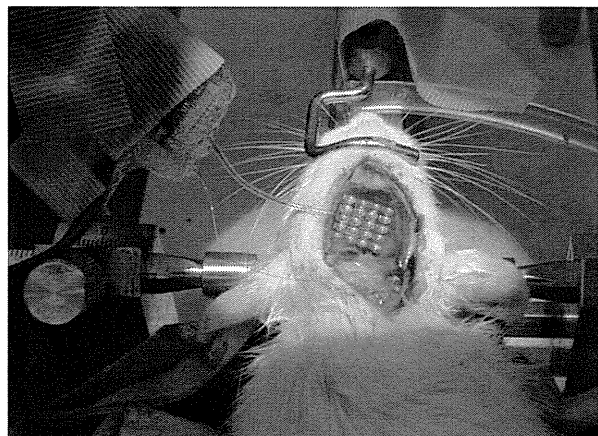


図 6: ラットの皮質脳波計測による評価実験

イソフルランガスによる深麻酔下で頭部の皮膚と頭蓋を開け、露出した硬膜の上に、上述の皮質脳波計測用電極アレイを設置した。エポキシ封止した実装基板(頭部ユニット)は図6のようにラット頭部近傍に固定した。制御ユニットまでは約30cmのケーブルで接続されている。制御ユニットからはBluetoothベースの無線通信によって計測した皮質脳波信号が送信され、約1m離れた箇所においた受信ユニット(PC)にて信号の受信及びモニタ上への表示と記録を行い、ラットの皮質脳波が適切に送信できていることが確認された。

■H24-1 頭部ケーシングのin vitro耐久性試験

恒温水槽内で長期動作試験の結果、これまでに約400日間の安定動作を確認した。

■H25-1 皮質脳波計測用集積化アンプチップのノイズ等の特性評価

コモンモード除去比(CMRR)を計測した結果、信号条件により設計値よりも若干大きな値となった。チップへの入力からアンプ・マルチプレクサ・AD変換まで含めた全回路について約12db、初段アンプのみで約56dbであった。一方で実用モデルに向けた新規試作チップについては、初段アンプのみで80~90db、さらにマルチプレクサを通して同様に80~90dbとなり、特性を改

善することに成功した。

■H25-2 チップと神経電極の直接接続の検討
配線削減を目指してのチップと神経電極との直接接続のために、パッド間隔を実質的に大きくしたチップを設計・試作を行った。試作したチップについて、フリップチップボンディングの初段プロセスであるバンプボンダーによるバンプ形成を行った結果、無事にバンプの形成ができることが示された。

■H25-3 実用モデルに向けたチップの仕様検討
実用化にむけたチップの仕様を検討し、特に、リーク電流検出回路を新規に付加した。アンプなど基本回路についてもノイズ低減のために、
(1) 1つの入力信号を複数のアンプを介して増幅してから平均化することによるノイズ低減、
(2) 4倍速でのサンプリングを行い、時間的に平均化することによるノイズ低減、などの機能を付加し、要素回路評価のためのチップ試作に成功した。上述のようにコモンモード除去比など基礎的特性が改善できていることが示された。

■H24-2/H25-4 全体システムの長期埋め込み評価実験
昨年度に引き続いての埋め込み評価実験の結果、半年間以上にわたってシステムが動作していることを確認した。また、取り出したシステムの周辺部の組織評価の結果も良好であった。

D. 考察

■H23-1 皮質脳波計測用集積化アンプチップの安全性と安定性の向上

- ・参照電極切り換え機能
- ・測定パラメータ安定通信機能

当初目標通りに、参照電極の切り換え機能、及び測定パラメータの安定通信機能の実現に成功した。これらの機能は本チップに留まらず、埋め込み型の生体信号計測ユニットにお

いて大きな意義を有するものと考えられる。

■H23-2 ワイヤレス通信回路の小型・高速・低電力化

ラットを対象とした評価実験によって、小型・高速・低電力化したチップによって、実際の皮質脳波信号を無線伝送できることを示すことができた。

■H24-1 頭部ケーシングのin vitro耐久性試験
400日以上安定動作を確認したことにより、エポキシ封止自体の防水の耐性が十分であることが示された。引き続きさらに長期の耐久性を評価していく予定である。

■H25-1 皮質脳波計測用集積化アンプチップのノイズ等の特性評価
以前のバージョンのチップではコモンモード除去比に問題があることが改めて示されたが、新規試作チップで改善されていることが示された。

■H25-2 チップと神経電極の直接接続の検討
配線数削減に向けてフリップチップボンディング手法がとりうることを示された、今後、実際の接続方法の検討が必要である。

■H25-3 実用モデルに向けたチップの仕様検討
新規チップの仕様検討を行い、ノイズ低減のための各種機能の実装に成功した。

■H24-2/H25-4 全体システムの長期埋め込み評価実験

半年間にわたる長期の埋め込み評価実験の結果、システムの安定動作すること、および埋め込み周辺部の組織評価結果が良好であることが示された。

E. 結論

試作システムの主要要素ユニット（信号増幅

チップ、小型実装基板及びそのエポキシ封止) および全体システムについて、さらなる性能向上、安定性向上を図るために、機能付加、修正設計、再試作等を実施した。恒温水槽、動物を用いた評価実験により、性能向上を示すことができた。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) 鈴木隆文: BMI のための神経電極の開発, 第 51 回日本生体医工学会大会論文集, 50 suppl.1, CD-ROM (2012)
- 2) Masayuki Hirata, Takufumi Yanagisawa, Kojiro Matsushita, Hisato Sugata, Yukiyasu Kamitani, Takafumi Suzuki, Hiroshi Yokoi, Tetsu Goto, Morris Shayne, Yoichi Saitoh, Haruhiko Kishima, Mitsuo Kawato, Toshiki Yoshimine: Brain-Machine Interface Using Brain Surface Electrodes: Real-Time Robotic Control and a Fully Implantable Wireless System, Biomedical Engineering and Cognitive Neuroscience for Healthcare: Interdisciplinary Applications. Ed: Go R., in press IGI Global, USA(2012)
- 3) 吉田毅, 小野将寛, 安藤博士, 村坂佳隆, 岩田穆, 松下光次郎, 平田雅之, 鈴木隆文: ニューラルレコーディングチップのデータ伝送方式, 電子情報通信学会集積回路研究会(ICD), (2012)
- 4) 吉峰俊樹, 平田雅之, 松下光次郎, 柳沢琢史, 鈴木隆文, 神谷之康, 横井浩史, 後藤哲, モリスシェイン, 菅田陽怜, 影山悠, 貴島晴彦, 斎藤洋一, 川人光男: 脳表脳波を用いた BMI の臨床応用～リアルタイムロボット制御と体内埋め込み措置～, 電子情報通信学会集積回路研究会(ICD), (2012)
- 5) M. Hirata, K. Matsushita, T. Suzuki, T. Yoshida, F. Sato, S. Morris, T. Yanagisawa, T.

Goto, M. Kawato, T. Yoshimine: A fully-implantable wireless system for human brain-machine interfaces using electrocorticograms: W-HERBS, Neuroscience2011, (2011)

6) Masayuki Hirata, Kojiro Matsushita, Takuhumi Yanagisawa, Tetsu Goto, Shayne Morris, Hiroshi Yokoi, Takafumi Suzuki, Tekeshi Yoshida, Fumihiko Sato, Osamu Sakura, Yasuyuki Kamitani, Toshiki Yoshimine: Motor Restoration based on the Brain Machine Interface using Brain Surface Electrodes: Real Time Robot Control and a Fully-implantable Wireless System, Advanced Robotics, 26(3-4), 399-408 (2011)

7) 平田雅之, 柳沢琢史, 松下光次郎, 後藤哲, Morris Shayne Jason, 影山悠, 菅田陽怜, 貴島晴彦, 齋藤洋一, 鈴木隆文, 横井浩史, 神谷之康, 川人光男, 吉峰俊樹: ブレイン・マシン・インターフェースを用いた脳機能再建: 計算機脳科学にもとづいた脳神経外科新規治療ブレイン・マシン・インターフェースを用いた脳機能再建: 計算機脳科学にもとづいた脳神経外科新規治療, 日本脳神経外科学会第 70 回学術総会, 2011J-1356 (2011)

8) Shayne Morris, Masayuki Hirata, Tetsu Goto, Koujiro Matsushita, Takufumi Yanagisawa, Takafumi Suzuki, Naotaka Fujii, Haruhiko Kishima, Youichi Saitoh, Toshiki Yoshimine: 3D designed high-density electrodes matching individual brain surface, 第 34 回日本神経科学大会, (2011)

9) Masayuki Hirata, Kojiro Matsushita, Takafumi Suzuki, Tekeshi Yoshida, Fumihiko Sato, Shayne Morris, Takuhumi Yanagisawa, Tetsu Goto, Mitsuo Kawato, Toshiki Yoshimine: A Fully-implantable Wireless System for Human Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrode: W-HERBS,

IEICE Trans Communications, E94-B(9), 2448-2453 (2011)

10) Kojiro Matsushita, Masayuki Hirata, Takafumi Suzuki, Hiroshi Ando, Takeshi Yoshida, Yuki Ota, Hirofumi Sato, Hidetoshi Matsuki, Morris Shayne, Toshiki Yoshimine: Development of an Implantable ECoG Recording Device for Clinical BMI, BMI Osaka, (2012)

11) T. Suzuki, N. Kotake, H. Watanabe, Y. Nishimura, T. Isa, H. Sawahata, N. Miyakawa, K. Kawasaki, H. Toda, I. Hasegawa: Flexible surface electrode array for ECoG based BMI, BMI Osaka, (2012)

12) T. Suzuki, K. Matsushita, T. Umeda, H. Watanabe, H. Ando, T. Yoshida, Y. Nishimura, T. Isa, T. Yoshimine, M. Hirata: A Fully Implantable wireless BMI system using electrocorticogram (System Evaluation), Proc. of 32nd Annual International Conference of the IEEE EMBS, 659 (2012)

13) Takafumi Suzuki: BMI technologies for brain science and clinical application, 電子情報通信学会 HC グループ 人間と ICT の倫理を考える第 3 種研究会 第 2 回 WS, (2012)

14) 鈴木隆文: BMI のための神経電極の開発, 第 51 回日本生体医工学会大会, (2012)

15) M. Hirata, K. Matsushita, T. Suzuki, T. Yoshida, F. Sato, H. Ando, T. Umeda, Y. Nishimura, S. Morris, T. Yanagisawa, H. Kishima, M. Kawato, T. Yoshimine: A fully-implantable wireless system for human brain-machine interfaces using brain surface electrodes: W-HERBS, Neuroscience 2013 (2013)

16) Takafumi Suzuki, Hiroshi Ando, Takeshi Yoshida, Kojiro Matsushita, Masayuki Hirata, Toshiki Yoshimine, Kenichi Takizawa: Multi-channel recording system with UWB

wireless data transmitter for ECoG-BMI, Neuroscience 2013 (2013)

17) 安藤博士, 滝沢賢一, 吉田毅, 松下光次郎, 平田雅之, 吉峰俊樹, 鈴木隆文: 超多点皮質脳波 BMI システムの開発, ライフエンジニアリング部門シンポジウム 2013 (2013)

18) Hiroshi Ando, Kenichi Takizawa, Takeshi Yoshida, Kojiro Matsushita, Masayuki Hirata, Toshiki Yoshimine, Takafumi Suzuki: Multi-channel ECoG recording system with UWB wireless data transmitter for fully-implantable Brain-Machine Interface, Proc 35th Annual International IEEE EMBS Conference (2013)

19) Takafumi Suzuki, Hiroshi Ando, Takeshi Yoshida, Hirohito Sawahata, Keisuke Kawasaki, Isao Hasegawa, Kojiro Matsushita, Masayuki Hirata, Toshiki Yoshimine, Kenichi Takizawa: Super multi-channel recording system for BMI Proc 35th Annual International IEEE EMBS Conference (2013)

20) Takafumi Suzuki: Flexible electrode array and wireless recording system using UWB, Proc 35th Annual International IEEE EMBS Conference (2013)

21) Kojiro Matsushita, Masayuki Hirata, Takafumi Suzuki, Hiroshi Ando, Yuki Ota, Fumihito Sato, Takeshi Yoshida, Shayne Morris, Toshiki Yoshimine: Development of an Implantable Wireless ECoG 128ch Recording Device for Clinical Brain Machine Interface: Proc 35th Annual International IEEE EMBS Conference (2013)

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

2. 実用新案登録

3. その他

該当なし