

平成 26 年 6 月 6 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23390347

研究課題名(和文) 領野間ネットワークにもとづいたブレイン・マシン・インターフェースによる機能再建

研究課題名(英文) Functional restoration by brain machine interfaces based on the cortical network

研究代表者

平田 雅之(Hirata, Masayuki)

大阪大学・医学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：30372626

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,900,000円、(間接経費) 4,170,000円

研究成果の概要(和文)：ブレイン・マシン・インターフェース(BMI)による運動制御をさらに精緻なものにするために、一次運動野だけでなく高次領野までを含んだ脳内ネットワークにもとづいた解読手法の開発を目指して、研究を行った。imaginary coherenceを用いた解析により、運動前野、頭頂連合野、対側一次運動野と一次運動野との帯域の機能的接続性の強さをデコーディングのパラメータとして用いるとBMIの性能を向上できる可能性が示された。

研究成果の概要(英文)：We investigated decoding methods based on the brain network including not only the primary motor cortex but also higher associated areas in order to realize finer BMI-based motor control. Imaginary coherence analyses revealed that functional connectivity between the primary motor cortex and the premotor cortex, the parietal association cortex and the contralateral primary motor cortex may be a good parameter for decoding to improve the performance of BMIs.

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：外科系臨床医学・脳神経外科学

キーワード：ブレイン・マシン・インターフェース ネットワーク解析 ロボット

1. 研究開始当初の背景

これまでに我々は、ブレイン・マシン・インターフェースによる運動・意思疎通再建の研究に取り組み、主にヒトの1次運動野の皮質脳波を用いて、簡単な上肢の運動や数種類の発音の神経解読、リアルタイムロボットアーム制御を世界に先駆けて実現してきた。さらに意図通りに微細な手指の運動や自由な意思疎通を達成するためには、1次運動野のみならず関連する領野と領野間のネットワークから有用な脳情報を抽出することが重要と考えた。

2. 研究の目的

本研究では意図通りに微細な手指の運動や自由な意思疎通を可能にする基礎技術を開発することを目的とする。そのために、1次運動野はもとより、体性感覚野、視覚領野、聴覚領野等の1次感覚野から高次の領野へ至るネットワークや fronto-parietal network、mirror neuron system、arcuate fiber 等の高次のネットワークなど、大脳の領野間のネットワークに着目し、そのネットワークに関わる生理学的特徴量を神経信号解読に導入する。これにより意図通りに自然に微細な動作が可能なブレイン・マシン・インターフェース技術の確立を目指す。

3. 研究の方法

脳磁計測による mirror neuron system の脳内処理メカニズムの解明

本研究の基盤となる mirror neuron system の脳内処理過程を明らかにするため、健常被験者 12 名を対象にして、指タッピング模倣時の脳磁計測を行い、beamforming 法を用いて脳律動変化のグループ解析を行った。

単回脳磁計測による運動内容推定

運動内容推定に大脳皮質の領域や生理学的特徴量が時間的にどう関与するかを調べるため、健常被験者 9 名を対象として、三種類の上肢動作時の脳磁計測を行い、運動関連脳磁界強度や運動関連脱同期反応を特徴量としてサポートベクターマシンを用いて、運動もしくは運動想起一回毎の脳磁データを神経解読した。

皮質脳波を用いた定量的上肢運動軌跡の decoding

難治性疼痛に対する治療目的で感覚運動野に脳表電極を留置した患者 1 名を対象として、上肢運動施行時の皮質脳波と 3 次元モーションの同時計測を行い、皮質脳波から Sparse linear regression (下式) を用いて上肢の 3 次元運動軌跡の decoding を試みた。

$$Y_p(t) = \sum_{i=1}^{n \times 7} \sum_{j=1}^m w_{ij} z_i(t - j\Delta t) + w_0$$

実運動と運動想起の共通脳内基盤

BMI 技術において実運動時あるいは運動想起時の一次運動野の農家須藤が重要な役割を果たす。そこで健常右利き被験者 9 名を対象として実運動および運動想起時の運動内容推定精度と神経生理学的特徴の関連性を脳磁図測定により調べた。

運動野との脳内ネットワークと運動のデコーディング

項目の研究において、一次運動野をシートにおいて帯域の imaginary coherence を用いて運動野との脳内ネットワークを評価し、運動内容のデコーディング精度との相関関係を調べた。

4. 研究成果

脳磁計測による mirror neuron system の脳内処理メカニズムの解明

腹側前頭前野、側頭葉、頭頂葉にわたって ~ low 帯域の脱同期反応が描出され、その時間的推移 (図 1) を調べることにより mirror neuron system の脳内処理過程のモデルを提案した。現在論文投稿準備中である。

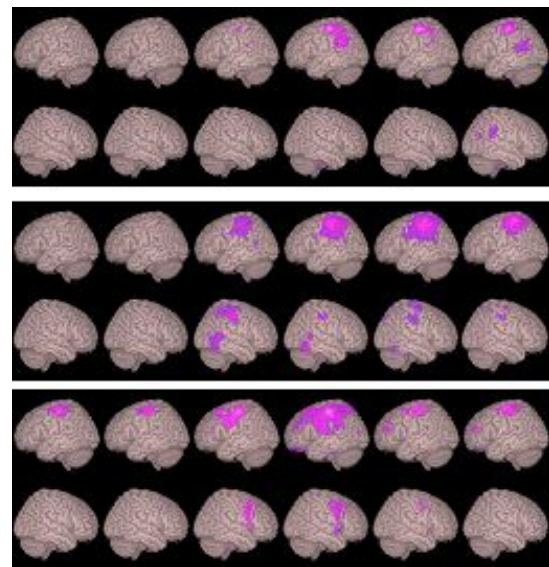


図 1. mirror neuron system の脱同期反応の時間的推移

上: -帯域、中: 帯域、下: low 帯域

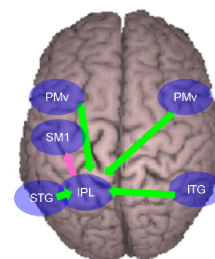


図 2. 提案した mirror neuron system の脳内処理過程のモデル

単回脳磁計測による運動内容推定
 頭頂部で計測される運動開始直後の運動誘発磁界強度が有意に高い運動内容推定精度を示した(図3, 図4)。成果を英文誌 Neuroreport および Brain research に発表した。

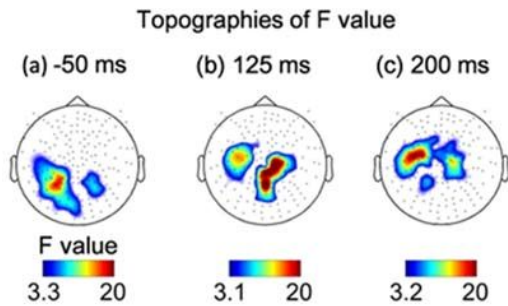


図3. 運動種の違いによるF値の分布

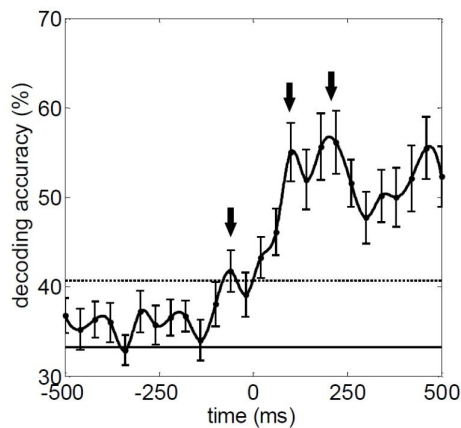


図4. デコーディング精度の時間的推移

皮質脳波を用いた定量的上肢運動軌跡の decoding

上肢の3次元運動軌跡を皮質脳波から推定することができた(図4)。成果を英文誌 PlosOne に発表した。

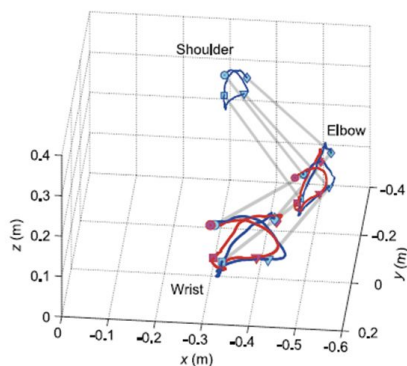


図5. Sparse linear regressionを用いて皮質脳波から推定した上肢運動軌跡
 赤: 実運動の軌跡 青: 推定された既読

実運動と運動想起の共通脳内基盤

実運動および運動想起時および一次運動野の活動を比較すると運動開始時から 400ms まで一次運動野の活動強度に有意差を認められた。また両者の運動内容推定精度の比較では実運動開始前の 100ms と 50ms の推定精度と運動イメージの開始直後の推定精度の間に有意な正の相関を認められた(図5)。このことから、運動開始直前に生じる一次運動野から末梢への運動出力を反映する脳信号が実運動と運動想起で共通の神経基盤を有していると考えられた。一方、実運動・運動想起の開始後は、運動にともなう筋紡錘からのフィードバックや運動-感覚統合情報処理が、実運動では行われるのに対して、運動想起では行われないため、一次運動野の活動強度に有意差が出現したと考えられた。現在成果を論文化中である。

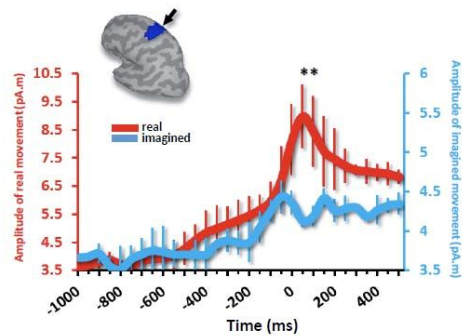


図5. 実運動と運動想起時の運動関連誘発磁界とデコーディング精度

運動野との脳内ネットワークと運動のデコーディング

運動前野、頭頂連合野、対側一次運動野で有意に相関が高かった(図6)。このことから、これらの運動関連領域と一次運動野との帯域の機能的接続性の強さをデコーディングのパラメータとして用いるとBMIの性能を向上できる可能性があることが示唆された。現在、成果を英文誌に投稿し、修正中である。

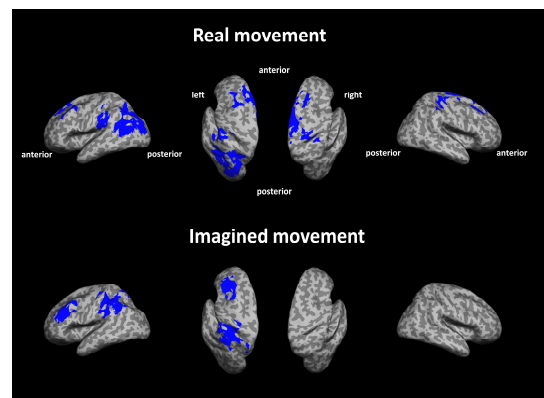


図6. 一次運動野との接続性が強い部位。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計40件)

1. Nakanishi Y, Yanagisawa T, Shin D, et al. Prediction of Three- Dimensional Arm Trajectories Based on ECoG Signals Recorded from Human Sensorimotor Cortex. PLoS One. 2013. 8(8):e72085.
2. Matsushita K, Hirata M, Suzuki T, et al. Development of an implantable wireless ECoG 128ch recording device for clinical brain machine interface. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc. 2013. 1867-70.
3. Hirata M, Yoshimine T. Clinical application of neuromagnetic recordings: from functional imaging to neural decoding. IEICE Trans Electron. 2013. 96-C(3):313-319
4. Yanagisawa T, Yamashita O, Hirata M, et al. Regulation of motor representation by phase-amplitude coupling in the sensorimotor cortex. J Neurosci. 2012. 32(44):15467-15475.
5. Sugata H, Goto T, Hirata M, et al. Neural decoding of unilateral upper limb movements using single trial MEG signals. Brain Res. 2012. 1468:29-37.
6. Sugata H, Goto T, Hirata M, et al. Movement-related neuromagnetic fields and decoding performances of single trial classifications in unilateral upper limb movements. Neuroreport. 2012. 23(1):16-20
7. Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, et al. Electrographic control of a prosthetic arm in paralyzed patients. Annal Neurol. 2012. 71(3):353-361.
8. Yoshida T, Sueishi K, Iwata A, et al. high-linearity low-noise amplifier with variable bandwidth for neural recording systems. Jap J Applied Physics. 2011. 50 04DE07.
9. Hirata M, Matsushita K, Yanagisawa T, et al. Motor restoration based on the brain machine interface using brain surface electrodes: real time robot control and a fully-implantable wireless system. Advanced robotics. 2011. 26:399-408
10. Hirata M, Matsushita K, Suzuki T, et al. 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
11. Yanagisawa T, Hirata M, Saitoh Y, et al. Real-time control of a prosthetic hand using human electrocorticograms. J Neurosurg. 2011. 114(6):1715-22
12. Goto T, Hirata M, Umekawa Y, et al. Frequency-dependent spatiotemporal distribution of cerebral oscillatory changes during silent reading: a magnetoencephalographic group analysis. Neuroimage. 2011. 54(1):560-567.
13. 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
14. 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
15. 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
16. 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
17. 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
18. 平田雅之, Brain-machine interface (BMI)の現状と展望 皮質脳波を用いた低侵襲BMI, 医学のあゆみ, 2013, 245(12):1035-1042
19. 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・インターフェースの基礎と臨床応用. 脳神経外科ジャーナル. 2013. 22(3):192-199
20. 平田雅之, 吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェース. 検査と技術. 2013. 41(2):147-151
21. 平田雅之, 吉峰俊樹. ブレイン・マシン・インターフェース. 再生医療 日本再生医療学会雑誌. 2013. 12(1):33-49
22. 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. 理学療法学. 2012. 39(8):503-509
23. 平田雅之. 低侵襲型BMIが拓く新たな可能性. 地域リハビリテーション 11月. 2012. 7(11): 940-943
24. 平田雅之, 柳澤琢史, 松下光次郎, 他. ブレイン・マシン・インターフェースによる機能支援: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. 2012. 21(7):541-549
25. 平田雅之, 柳澤琢史, 松下光次郎, 他. Brain-machine interfaceの進歩. 分子脳血管病. 2012. 11(3): 16-23 (252-259)
26. 平田雅之, 柳澤琢史, 貴島晴彦, 他. てんかん治療におけるbrain machine interfaceの可能性. Epilepsy. 2012. 6(1): 37-42
27. 柳澤琢史, 平田雅之, 齋藤洋一, 他. 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(3) :255-260
28. 影山悠, 平田雅之, 柳澤琢史, 他. 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
 29. 平田雅之, 松下光次郎, 柳澤琢史, 他. 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
 30. 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
 31. 平田雅之, 吉峰俊樹. Brain-Machine Interface. Clinical Neuroscience. 2011. 29(4):384-387
 32. A Rosendo, Nakatsu S, Narioka K, et al. Producing alternating gait on uncoupled feline hindlimbs: muscular unloading rule on a biomimetic robot. Advanced Robotics. 2014. 28(6):351-365.
 33. Shirafuji S, Hosoda K. Detection and prevention of slip using sensors with different properties embedded in elastic artificial skin on the basis of previous experience. Robotics and Autonomous Systems. 2014. 62(1):46-52.
 34. Narioka K, Homma T, Hosoda K. Roll-over shapes of musculoskeletal biped walker. AT – Automatisierungstechnik. 2013. 61(1):4-14
 35. Ikemoto S, Nishigori Y, Hosoda K. Advantages of flexible musculoskeletal robot structure in sensory acquisition. Artificial Life and Robotics. 2012. 17(1):63-69.
 36. F DallaLibera, Ikemoto S, Ishiguro H, et al. Control of real-world complex robots using a biologically inspired algorithm. Artificial Life and Robotics. 2012. 17(1):42-46.
 37. Hosoda K, Sekimoto S, Nishigori Y, Takamuku S, et al. Anthropomorphic Muscular-Skeletal Robotic Upper Limb For Understanding Embodied Intelligence. Advanced Robotics. 2012. 26(7): 729-744.
 38. Ikemoto S, F DallaLibera, Hosoda K, et al. Minimalistic behavioral rule derived from bacterial chemotaxis in a stochastic resonance setup. Physical Review E. 2012. 85(2) :021905-1,8

[学会発表] (計 63 件、一部を掲載)

1. Hirata M, ECoG-based BCIs: Motor Control and a Fully-Implantable System, 6th International Workshop on Advances in Electrocorticography, 2014/3/19, Berlin (Germany), 招待講演
2. Hirata M, et al, A Fully-implantable Wireless System for Human

- Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrodes: W-HERBS, SfN2013, 2013/11/13, San Diego, ポスター
3. Hirata M. Real time control of a robotic arm using human brain surface electrodes. IROS2013. 2013/11/7. Tokyo (Japan). ワークショップ.
 4. Hirata M. Motor and Communication Control Based on the Electrocorticographic 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
 5. Hirata M. Brain machine interfaces using human electrocorticograms. NIPS Mini-Workshop Neural Decoding and Brain-Computer Interfaces. 2013/7/1. 岡崎. シンポジウム
 6. Hirata M. Clinical application of neuro-magnetic recordings: from functional mapping to brain-machine interfaces. 2013 Neurology & Neurosurgery Forum. 2013/1/13. Taipei (Taiwan). 招待講演.
 7. Hirata M, et al. 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). Symposium
 8. Hirata M. Human Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrodes. Workshop on Cognitive Neuroscience Robotics. 2012/3/13. Genova (Italy). 口演
 9. Hirata M. A Fully-Implantable Wireless System for Human Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrodes: W-HERBS. Bielefeld Univ-Osaka Univ Workshop 2012. 2012/3/21. Osaka 口演.
 10. Hirata M, et al. Contour Fitting High Density Personalized 3 Dimensional Cortical Electrodes. Materialize World Conference 2012. 2012/4/18. Leuven (Belgium). 受賞講演
 11. 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. 2012/2/29. London (UK). 招待講演.
 12. Hirata M, et al. A Fully-Implantable Wireless System for Human Brain-Machine Interfaces using Brain Surface Electrodes: W-HERBS. SfN2011. 2011/11/13. Washington. ポスター
 13. Hirata M. Connecting Robot to Brain. The 4th Symposium on Cognitive Neuroscience Robotics. 2011/5/13. 大阪. 国際シンポジウム

14. Hirata M. Human brain-machine interface (BMI). Osaka-UW Workshop 2011. 2011/03/17-18. Seattle 国際シンポジウム.
15. Yoshimine T. Clinical BMI Roadmap in Japan. 2013 International Workshop on Clinical Brain Neural Machine Interface Systems. 2013/2/25. Houston 招待講演
16. Hosoda k. Compliant Body as a Source of Intelligence. 2013 International Workshop on Soft Robotics and Morphological Computation. Centro Stefano Franscini (CSF). Monte Verita. July 2013.

〔図書〕(計7件)

1. Hirata M., Chapter11. Brain Machine-Interfaces for Motor and Communication Control, Ishiguro H, Fujikado H, Osaka M, Asada M Eds, Springer, Cognitive Neuroscience Robotics: Interdisciplinary Approaches to Human Understanding. Vol. II. Analytic Approaches, in press
2. Hirata M, Yoshimine T. Electrographic brain machine-interfaces for motor and communication control, Kansaku K, Birbaumer N Eds, Springer, Systems Neuroscience: From Laboratory to Clinical Practice, in press
3. Hirata M, Yanagisawa T, Matsushita K, et al. Chap 36 Brain-Machine Interface Using Brain Surface Electrodes: Real-Time Robotic Control and a Fully Implantable Wireless System. JingLong Wu Eds. pp362-374. IGI Global. Technological Advancements in Biomedicine for Healthcare Applications. 2013.
4. Hosoda K. Robust haptic recognition by anthropomorphic robot hand. Neuromorphic and Brain-Based Robots. J. L. Krichmar and H. Wagatsuma Eds. pp.11-22, Cambridge Univ. Press, 2011.
5. 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, 中外医学社, Annual Review 神経 2014, pp107-113
6. 平田雅之, ブレイン・マシン・インターフェースの脳神経倫理: 臨床研究の観点からの論考, 大阪大学出版会, 生命と倫理の原理論 - バイオサイエンスの時代における人間の未来 -, 檜垣立哉編, pp182-193, 2012

〔産業財産権〕

出願状況 (計1件)

1. 名称: 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
発明者: 平田雅之、他
権利者: 国立大学法人大阪大学

種類: PCT 米国移行 番号: 13/510,84
出願年月日: 2012/5/18 国内外別: 米国

取得状況 (計3件)

1. 名称: 頭蓋内電極構造体およびその製造方法
発明者: 平田雅之、他
権利者: 国立大学法人大阪大学
種類: 特許取得 番号: 特許 5126710
取得年月日: 2012/11/9 国内外別: 国内
2. 名称: Machine control device, machine system, machine control method, and recording medium storing machine control program
発明者: 平田雅之、他
権利者: Osaka University, ATR, The University of Tokyo
種類: 特許取得 番号: US8396546
取得年月日: 2013/3/12 国内外別: 米国
3. 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
発明者: 平田雅之、他
権利者: 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
種類: 特許取得 番号: 特許 5467267
取得年月日: 2014/2/7 国内外別: 国内

〔その他〕

ホームページ:

1. 大阪大学脳神経外科のホームページにて研究成果を紹介。
<http://www.nsurg.med.osaka-u.ac.jp/school/research/research.html#16>
2. 大阪大学大学院医学系研究科のホームページにて研究成果を紹介。
<http://www.med.osaka-u.ac.jp/jpn/activities/research/geka.html#R13>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平田 雅之 (HIRATA, Masayuki)
大阪大学・医学系研究科・特任准教授(常勤) 研究者番号: 30372626

(2) 研究分担者

吉峰 俊樹 (YOSHIMINE, Toshiki)
大阪大学・医学系研究科・教授
研究者番号: 00201046
細田 耕 (HOSODA, Koh)
大阪大学・情報科学研究科・教授
研究者番号: 10252610
柳澤 琢史 (YANAGISAWA, Takufumi)
大阪大学・医学系研究科・助教
研究者番号: 90533802