

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 元年 6 月 3 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2018

課題番号：15K01276

研究課題名(和文) 内因性光信号を用いた多元脳機能イメージング法による神経活動と血流の時空間動態解析

研究課題名(英文) Spatio-Temporal Dynamics Analysis of Neural Activity and Blood Flow by Multifunctional Brain Imaging Using Optical Intrinsic Signals

研究代表者

片山 統裕 (Katayama, Norihiro)

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20282030

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：脳の機能と機構を理解するためには、脳の構成要素である神経系、グリア系、及び血管系の相互作用を明らかにする必要がある。本研究では、これらの構成要素の時空間ダイナミクスを解析可能な多波長光学イメージングシステム、及びその解析手法を開発した。この方法を *in vivo* マウス脳に適用することにより、ノンレム睡眠中の徐波活性に関連した1~2秒周期の神経代謝活性、10~100秒周期の皮質血液量変動の空間伝播、及び麻酔レベルに依存したグリア細胞の活性変化を可視化することに成功した。今後は、この手法を用いて睡眠覚醒サイクルに依存する神経系、グリア系、及び血管系の相互作用を研究する予定である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

脳の機能やメカニズムを理解するためには、その構成要素である、神経細胞、グリア細胞、及び血管系の相互作用を明らかにする必要がある。本研究では、これらの時空間動態を光学イメージングする新しい実験系及び解析手法を開発した。本手法は生体脳が本来持っている光学特性を利用した計測法であるため、他の計測方法との組み合わせが容易であり、応用範囲が広いという特がある。

研究成果の概要(英文)：For understanding the function and mechanisms of the brain, it is necessary to disclose the interaction between neuronal, glial, and vascular systems that are the component of the brain. In this study, we developed a multi-color optical imaging system and the analytical procedure for investigating the spatiotemporal dynamics of these components. By applying this method to the mouse brain *in vivo*, we successfully visualized the neural metabolic activities with a period of 1-2 seconds related to slow wave activity in non-REM sleep, the spatial propagation of cortical vascular activity with a period of 10 to 100 seconds, and activity changes of glial cells depending on the anesthetic level. In the future, we will study the interaction of neural, glial, and vascular systems which rely on the sleep-waking cycles by utilizing this method.

研究分野：生体医工学

キーワード：脳内因性光信号イメージング フラビン 神経血管カップリング グリア細胞 脳血管 ヘモダイナミクス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

これまで、内因性光信号 (Intrinsic Optical Signal, IOS) は、脳機能イメージングにおいては神経血管カップリング機構を介して神経活動を表現する脳血流信号が用いられてきた。一方、フラビタンパクが発生する緑色自家蛍光 (Green Auto-Fluorescence, GAF) は個々のニューロン内部の状態を直接表現するため脳血流より空間分解能が高い。ただ、カルシウム蛍光色素に代表される外因性光信号に比べると信号対雑音比がわるいため、背景ノイズが比較的大きい *in vivo* 実験では同期加算が可能な刺激応答特性の研究などに利用が限定されていた。

本研究の代表者は、低ノイズ GAF イメージング実験系を開発し、麻酔下のマウス大脳新皮質において GAF と脳波 (EEG) の同時計測を行った。その結果、GAF と EEG がデルタ波帯域において相関関係を示すことを見出し、従来の EEG に比べ圧倒的に高い空間解像度で大脳皮質の自発性活動をイメージングできることを示した。しかし、フラビン蛍光はヘモグロビンの吸収波長との重なりが大きいいため脳血流動態の影響を強くうけるので、それを除去する手法を開発する必要があった。

動物を対象とした脳機能イメージング実験は、麻酔下で実施されることが多い。これは、覚醒時に比べ動物の状態を制御しやすいことや、イメージング装置のサイズが大きいため微小電極のように動物の頭蓋内に埋め込んで自由行動させることが困難であることなどの理由による。しかし、麻酔下では覚醒時に比べ誘発応答がかなり小さくなることや、意識を失った状態では脳の高次機能について調べることが本質的に不可能であるという問題がある。覚醒時の行動中の動物の脳機能イメージングを行うためには、目的に応じた実験及び解析の工夫が必要となる。

## 2. 研究の目的

上で述べた問題を解決するために、本研究では、小動物の脳活動を内因性光信号イメージング法により多元的に計測するための光学イメージング実験系、及び解析手法の開発を目的とした。また、多元内因性光信号イメージング法を高次脳機能の研究に利用するためには、覚醒状態の動物に適用する必要がある。そこで、この実験系と組み合わせ可能な動物行動実験系についても検討することとした。

## 3. 研究の方法

多元内因性光信号イメージング用の顕微鏡を開発するにあたり、既存の光学顕微鏡と冷却 CCD カメラからなるシステムをベースに、撮像デバイスの性能を最大限に引き出し、多波長イメージングを実現するための照明・撮像デバイス制御装置を設計・製作した。撮影された多波長動画データを解析するための信号分離・画像処理ソフトウェアも開発した。この実験・解析システムを用い、頭部固定されたマウスの大脳皮質における内因性光信号を計測し、各手法によるノイズ低減の効果を評価した。

この実験系を用いて、無麻酔状態 (睡眠時および安静覚醒時) の自発性脳活動、視覚誘発応答、触覚誘発応答、レバー操作に関連した運動関連脳活動等を計測し、有用性を評価した。

多元内因性光信号イメージング法の特長は、大脳皮質の広い範囲の活動を計測できるまくりイメージングが可能である点である。本実験系を覚醒自由行動時のマウスに適用することを志向した小動物用バーチャルリアリティ実験系の開発も行った。

## 4. 研究成果

開発した顕微鏡システムを用いて、麻酔下及び睡眠状態のマウスの大脳皮質において、フラビンによる緑色自家蛍光とヘモグロビンによる吸光の変化を経頭蓋的にイメージングした。さらに、吸光特性の変化から Modified Beer-Lambert 則を仮定したモデル式に基づいて酸素化・脱酸素化ヘモグロビン濃度を推定する方法を確立した。本手法を *in vivo* マウス大脳皮質に適用

することにより、ノンレム睡眠中の徐波活性に関連した1-2秒周期の神経代謝活性や10-100秒周期の皮質血液量変動の空間伝播が観察された。以上により本システムの有用性を確認した。

多元内因性光信号イメージング法を覚醒行動中の動物に適用できるようにするため、小動物用のバーチャルリアリティ行動実験系の開発を行った。従来のT字迷路を用いた強制交代選択課題をバーチャルリアリティ化した。試験的研究の結果、70%程度の正答率に達するには3週間以上のトレーニングが必要であった。イメージング実験と組み合わせるためにはトレーニング期間を短縮する必要がある。

多元内因性光信号イメージング法を応用することにより、グリア細胞の特性を可視化するための新しい脳イメージング法を考案し、試作した。イソフルラン麻酔下において深麻酔状態の方が浅麻酔状態に比べ脳実質における拡散が速くなることを示唆する結果が得られた。

脳の機能と機構を理解するためには、脳の構成要素である神経系、グリア系、及び血管系の相互作用を明らかにする必要がある。本研究では、これらの構成要素の時空間ダイナミクスを解析可能な多元内因性光信号イメージング法の開発を行った。この手法をin vivoマウス脳に適用することにより、ノンレム睡眠中の徐波活性に関連した神経活動や、皮質血液量変動の空間伝播、及びグリア細胞の性質の変化に伴う脳実質の拡散特性の変化を可視化することに成功した。また、本手法を覚醒行動中の動物に適用可能な小動物用バーチャルリアリティ行動実験系を開発した。今後は、本手法を用いて睡眠覚醒サイクルに依存する神経系、グリア系、及び、血管系の相互作用を研究する予定である。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計5件)

- [1] Yoshida Y, Nakao M, Katayama N, Physiological measurement, Resting-state functional connectivity analysis of the mouse brain using intrinsic optical signal imaging of cerebral blood volume dynamics. 39(5), 054003, 2018. (査読有)
- [2] 外川龍之介, 奥畑大悟, 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, 眼位・瞳孔径変動を考慮した内因性光信号イメージングに基づく覚醒時マウス脳視野地図の推定, 生体医工学 56(4), pp.157-163, 2018. (査読有)
- [3] Yuto Yoshida, Mitsuyuki Nakao, Norihiro Katayama, Partial correlation-based functional connectivity analysis of the optical intrinsic signals of the mouse neocortex during resting state. Proc 8th International Workshop on Biosignal Interpretation (BSI2016) pp.53-56, 2016 (査読有)
- [4] 吉田侑人, 中川大輝, 辛島彰洋, 中尾光之, 片山統裕, 独立成分分析を用いた内因性光信号の光源ノイズ除去アルゴリズムと評価, 生体医工学, 53(6), pp.328-335, 2015. (査読有)
- [5] Yuto Yoshida, Daiki Nakagawa, Akihiro Karashima, Mitsuyuki Nakao, Norihiro Katayama, Reduction of light source noise from optical intrinsic signals of mouse neocortex by using independent component analysis. 37th Ann Int Conf IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC 2015), Milan, Italy, August 25-29, 2015, pp.6277-6280, 2015. (査読有)

〔学会発表〕(計56件)

- [1] 中村和浩, 小山内実, 稲垣良, 片山統裕, 木下俊文, 2光子顕微鏡を用いた血管拡張能の測定, 第52回日本生体医工学学会東北支部大会講演論文集, 19, 2019/2/16, 2019, 仙台
- [2] Yuto Yoshida, Mitsuyuki Nakao, Norihiro Katayama, The intrinsic optical signal of cerebral blood volume dynamics express the resting-state functional connectivity of the mouse brain, Tohoku U-NTU Symposium, 2018/11/24, 2018, 仙台
- [3] 外川龍之介, 奥畑大悟, 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, 視覚再建技術評価のための脳イメージングに基づくマウス視覚能力定量化法の開発, 東北大学電気通信研究所 工学研究会分科会 生体・生命工学研究会, 2018/12/20, 2018, 仙台
- [4] 片山統裕, 和田みなみ, 外川龍之介, 小動物用バーチャルリアリティ実験システムの実機デモンストレーション, 次世代脳プロジェクト 冬のシンポジウム, 2018/12/12-14, 2018, 一橋大学・一橋講堂・学術総合センター2F
- [5] 大崎大輝, 外川龍之介, 和田みなみ, 吉田侑冬, 中尾光之, 虫明元, 片山統裕, 視覚刺激がマウスの歩行運動に及ぼす影響, 電子情報通信学会技術報告, NC2018, 16, 19-22, 2018/10/19-20, 2018, 仙台
- [6] 吉田侑冬, 内田竜生, 内田克哉, 井樋慶一, 中尾光之, 片山統裕, メチマゾール誘発一過性甲状腺機能低下症マウスの行動試験と安静時脳機能結合の解析, 電子情報通信学会技術

- 報告, MBE2018, 33, 31-36, 2018/10/19-20, 2018, 仙台
- [7] 和田みなみ, 町田祉永, 吉田侑冬, 片山統裕, 中尾光之, バーチャルリアリティ技術を応用したマウス用学習行動実験系の開発, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 31E-5, 2018/9/19-21, 2018, 仙台
- [8] Y. Yoshida, R. Uchida, M. Nakao, N. Katayama, Evaluation of the resting-state functional connectivity of the mouse brain by the intrinsic optical signal of cerebral blood volume, Proc. Life Engineering Symposium (LE2018), 1B1-03, 41-44, 2018/9/10-12, 2018, 会津
- [9] 外川龍之介, 奥畑大悟, 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, 眼位・瞳孔径変動を考慮した内因性光信号イメージングに基づく覚醒時マウス脳視野地図の推定, Proc. JBMES 2018 (生体医工学シンポジウム), 2P-26, 2018/9/14-15, 2018, 名古屋
- [10] Norihiro Katayama, Yuto Yoshida, Ryunosuke Togawa, Mitsuyuki Nakao, Spatiotemporal dynamics and topology of spontaneous brain activity of the mouse neocortex measured by the intrinsic optical signal imaging, The 9th Congress of Asian Sleep Research Society (ASRS), Symposium 1: Topology of EEG, 21, 2018/7/12-13, 2018, 札幌
- [11] 田中健也, 廣谷唯, 中尾光之, 片山統裕, マウス大脳皮質拡散特性の高次元分解能計測方法の開発とイソフルラン麻酔深度依存性の計測への応用, 日本睡眠学会第 43 回学術集会, P-135, 2018/7/12-13, 2018, 札幌
- [12] Yuto Yoshida, Mitsuyuki Nakao, Norihiro Katayama, The intrinsic optical signal of cerebral blood volume expresses the resting-state functional connectivity of the mouse brain, The 41st Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 3P-VBA45, 2018/7/26-29, 2018, 神戸
- [13] 内田竜生, 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, 脳波に基づくマウスの安静時脳機能的結合の睡眠・覚醒状態依存性解析, 第 57 回日本生体医工学大会, O1-5-1-5, 2018/6/19-21, 2018, 札幌
- [14] 坂本一寛, 洞口学志, Janos Negyesi, 片山統裕, 虫明元, マウス・ヴァーチャルリアリティ順応システムの開発, 文部科学省 新学術領域研究 学術研究支援基盤形成 先端モデル動物支援プラットフォーム成果発表会, P-22, 2018/1/24-25, 2018, 滋賀
- [15] 奥畑大悟, 片山統裕, 吉田侑冬, 中尾光之, 視覚再建技術評価のための脳イメージングに基づくマウス視覚能力定量化法の開発, 東北大学電気通信研究所 工学研究会分科会 生体・生命工学研究会, 2017/12/6-7, 2017, 仙台
- [16] 町田祉永, 片山統裕, 中澤邑支朗, 和田みなみ, 中尾光之, 学習行動研究を志向したマウス用バーチャルリアリティ行動実験系の開発, 電子情報通信学会技術報告, MBE, 46, 1-4, 2017/11/24-25, 2017, 仙台
- [17] 廣谷唯, 田中健也, 吉田侑冬, 辛島彰洋, 中尾光之, 片山統裕, In vivo Integrative Optical Imaging 法によるマウス大脳皮質の細胞外拡散特性解析, 電子情報通信学会技術報告, MBE, 47, 5-6, 2017/11/24-25, 2017, 仙台
- [18] 片山統裕, 中澤邑支朗, 町田祉永, 中尾光之, バーチャル直線通路におけるストロボ効果の数理モデル化と解析, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2B2-05, 2017/9/27-29, 2017, 徳島
- [19] 奥畑大悟, 片山統裕, 吉田侑冬, 中尾光之, 視覚再建技術評価のための脳イメージングに基づくマウス視覚能力定量化法の開発, Proceedings of Life Engineering Symposium 2017, 1B1-.3, 0234-0238, 2017/9/4-2017/9/6, 2017, 岐阜
- [20] Yuto Yoshida, Mitsuyuki Nakao, Norihiro Katayama, Comparison between functional networks estimated by marginal and partial correlation analysis of the optical intrinsic signals of the mouse neocortex, The 40th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, P1-099, 2017/7/7, 2017, 幕張
- [21] Akihiro Karashima, Yukiteru Masuda, Norihiro Katayama, Hiroshi Tsubokawa, Mitsuyuki Nakao, Sleep-wake state-dependent synaptic plasticity in the hippocampus, The 40th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 3P-202, 2017/7/20-23, 2017, 幕張
- [22] Norihiro Katayama, Yushiro Nakazawa, Yoshihisa Machida, Mitsuyuki Nakao, Hajime Mushiake, Correlation and temporal relationship between the mouse hippocampal theta activity and its locomotion speed, The 40th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, 3P-276, 2017/7/20-23, 2017, 幕張
- [23] 外川龍之介, 高橋優斗, 奥畑大悟, 虫明元, 中尾光之, 片山統裕, 短期間で学習可能なマウス用オペラント学習装置の開発とその評価, 文部科学省新学術領域研究 学術研究支援基盤形成 先端モデル動物支援プラットフォーム 若手支援技術講習会, P-48, 2017/9/7-2017/9/9, 2017, 蓼科
- [24] 片山統裕, 経頭蓋内因性光信号イメージングによるマウス大脳皮質自発性活動の解析, 電子情報通信学会技術報告 医用画像研究会, MI2017-27, 7-10, 2017/7/6-2017/7/7, 2017, 仙台
- [25] 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, マウス大脳皮質における緑色自家蛍光の時空間ダイナミクス血液量動態の偏相関解析に基づいた機能的ネットワークの睡眠・覚醒状態依存性解析, 日本睡眠学会第 42 回定期学術集会, P-197, 2017/6/29-30, 2017, 横浜

- [26] 辛島彰洋, 益田幸輝, 片山統裕, 坪川宏, 中尾光之, 睡眠-覚醒状態に依存した海馬神経回路におけるシナプスホメオスタシス, 日本睡眠学会第 42 回定期学術集会, P-196, 2017/6/29-30, 2017, 横浜
- [27] 廣谷唯, 中尾光之, 片山統裕, Integrative Optical Imaging 法を用いたマウス大脳皮質拡散特性の計測と解析, 日本睡眠学会第 42 回定期学術集会, P-031, 2017/6/29-30, 2017, 横浜
- [28] 片山統裕, 佐藤杏莉, 田中健也, 中尾光之, 経頭蓋フラビン蛍光イメージング法によるマウス大脳皮質徐波活動の伝播特性解析, 日本睡眠学会第 42 回定期学術集会, P-032, 2017/6/29-30, 2017, 横浜
- [29] Takumi Morikawa, Takuya Harashima, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Norihiro Katayama, Hajime Mushiake, Tetsu Tanaka, Development of Si opto-neural probe with embedded optical fiber enabling layer-by-layer optical stimulation in the brain, 第 56 回日本生体医工学会大会, We.GS-6.2-7, 2017/5/3-5, 2017, 仙台
- [30] Takuya Harashima, Takumi Morikawa, Hisashi Kino, Takafumi Fukushima, Norihiro Katayama, Hajime Mushiake, Tetsu Tanaka, "Development of Vertically-Stacked Multi-Shank Si Neural Probe Array with Sharpened Tip for 3-Dimensional Neural Recording", 第 56 回日本生体医工学会大会, We.GS-6.2-5, 2017/5/3-5, 2017, 仙台
- [31] Kenya Tanaka, Anri Sato, Yuto Yoshida, Mitsuyuki Nakao, Norihiro Katayama, Development of an auditory stimulator synchronized with cortical EEG slow oscillation, 第 56 回日本生体医工学会大会, We.GS-6.2-1, 2017/5/3-5, 2017, 仙台
- [32] Norihiro Katayama, Yushiro Nakazawa, Yoshihisa Machida, Mitsuyuki Nakao, Hajime Mushiake, Correlation between locomotion speed and hippocampal theta activity of mice in a virtual corridor, 第 56 回日本生体医工学会大会, We.GS-6.1-3, 2017/5/3-5, 2017, 仙台
- [33] 益田幸輝, 中村有孝, 辛島彰洋, 片山統裕, 中尾光之, 睡眠のラット海馬 CA1 領域におけるカルシウム透過性 AMPA 受容体発現への影響, 第 94 回日本生理学大会, 2017/3/28-30, 2017, 静岡
- [34] 浦瀬康平, 町田祉永, 片山統裕, 平田豊, 小型魚類用 VR システムの開発, 第 12 回「空間認知と運動制御 (旧 JAXA ワーキンググループ) 研究会学術集会, 2017/2/24-25, 2017, 東海大学 高輪キャンパス
- [35] 中澤邑支朗, 片山統裕, 町田祉永, 中尾光之, バーチャルリアリティシステムにおける視覚的エリアシング現象のモデル化と解析, 電子情報通信学会技術報告 MBE, 116, 312, 21-24, 2016/11/18-19, 2016, 仙台
- [36] 佐藤杏莉, 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, 経頭蓋フラビン自家蛍光イメージングで計測されたマウス大脳皮質徐波活動の時空間特性解析, 電子情報通信学会技術報告 MBE, 116, 312, 1-4, 2016/11/18-19, 2016, 仙台
- [37] 片山統裕, 吉田侑冬, 中尾光之, 内因性光信号計測に基づくマウス大脳皮質における機能的コネクティビティ解析, Proceedings of Life Engineering Symposium 2016, 1B1-1, 2016/11/3-5, 2016, 大阪
- [38] 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, マウス大脳皮質内因性光信号の偏相関に基づく機能的結合の推定, Proc Life Engineering Symposium 2016, 3A1-4, 2016/11/3-5, 2016, 大阪
- [39] 中澤邑支朗, 片山統裕, 町田祉永, 中尾光之, マウス用バーチャルリアリティ行動実験システムにおける視覚的エリアシング現象の解析, Proceedings of Life Engineering Symposium 2016, 1A1-2, 2016/11/3-5, 2016, 大阪
- [40] 佐藤杏莉, 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, 経頭蓋フラビン自家蛍光イメージングで計測されたマウス大脳皮質徐波活動の伝播特性, 生体医工学シンポジウム 2016, 1P-1-12, 2016/9/17-18, 2016, 旭川
- [41] Yushiro Nakazawa, Norihiro Katayama, Keita Hidaka, Mitsuyuki Nakao, Impact of manipulation of visual feedback on the hippocampal EEG of free-moving mice in the virtual environment, The 39th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, P3-204, 2016/7/20-22, 2016, Yokohama
- [42] Akihiro Karashima, Ryo Tsukada, Yuka Anzai, Norihiro Katayama, Mitsuyuki Nakao, Interhemispheric Asymmetry of Sleep EEG Following Skilled Reaching Task in Rats, The 39th Annual Meeting of the Japan Neuroscience Society, P1-201, 2016/7/20-22, 2016, Yokohama
- [43] 吉田侑冬, 中尾光之, 片山統裕, 内因性光信号イメージングに基づく自然睡眠時マウス大脳皮質における安静時ネットワーク解析, 日本睡眠学会大 41 回定期学術集会, FS4-2 (P-032), 2016/7/7-8, 2016, 東京
- [44] 辛島彰洋, 塚田僚, 安齋友花, 片山統裕, 中尾光之, 運動トレーニング後の部分断眠がその後の技能向上に及ぼす影響, 日本睡眠学会大 41 回定期学術集会, P-208, 2016/7/7-8, 2016, 東京
- [45] 片山統裕, マウス用バーチャルリアリティ行動実験系の開発と応用, 新潟工業振興会 技術講演会 大学院人間支援科学コース アドバンステクノロジー 福祉人間工学科 特別講義, 2016/6/7, 2016, 新潟

- [46] Yuto Yoshida, Mitsuyuki Nakao, Norihiro Katayama, Spatial independent component analysis of optical intrinsic signal of the mouse neocortex, The 4th RIEC International Symposium on Brain Functions and Brain Computer, P-5, 2016/2/23-24, 2016, Sendai
- [47] 高橋優斗, 片山統裕, 吉田侑冬, 辛島彰洋, 中尾光之, レバー操作行動学習のためのマウス用スパウトレバー装置の開発, 信学技報, MBE-2015-62, 49-52, 2015/11/20-21, 2015, 仙台
- [48] 吉田侑人, 中川大輝, 辛島彰洋, 中尾光之, 片山統裕, 独立成分分析を用いた内因性光信号の光源ノイズ除去アルゴリズムとその評価, 生体医工学シンポジウム 2015, 1P-22, 7, 2015/9/25-26, 2015, 岡山
- [49] 高橋優斗, 片山統裕, 吉田侑冬, 中尾光之, マウス用スパウトレバー操作課題実験系の開発, 生体医工学シンポジウム 2015, 1A-33, 5, 2015/9/25-26, 2015, 岡山
- [50] 片山統裕, 吉田侑冬, 中尾光之, 動物もバーチャルリアリティにリアルを感じるか? 第25回インテリジェント・システム・シンポジウム (FAN2015), 25, B102, 2015/9/24-25, 2015, 仙台
- [51] Yuto Yoshida, Norihiro Katayama, Daiki Nakagawa, Akihiro Karashima, Mitsuyuki Nakao, Estimation of functional brain map of mice based on optical intrinsic imaging and independent component analysis, Proceedings of Life Engineering Symposium 2015, 2A2-3, 31, 2015/9/2-4, 2015, Iizuka, Japan
- [52] Anri Sato, Norihiro Katayama, Ayako Ueno, Akihiro Karashima, Mitsuyuki Nakao, Computer simulations of distance selective recruitment of myelinated nerve fibers in central nervous system by electrical stimulation, 38th Ann Meet Japan Neurosci Soc (Neuroscience 2015), 2P323, 215, 2015/7/28-31, 2015, 神戸
- [53] Yuto Yoshida, Norihiro Katayama, Daiki Nakagawa, Akihiro Karashima, Mitsuyuki Nakao, Transcranial green-reflected-light macro imaging of spontaneous cortical activities in unanesthetized mice, 38th Ann Meet Japan Neurosci Soc (Neuroscience 2015), 3P284, 249, 2015/7/28-31, 2015, 神戸
- [54] Norihiro Katayama, Toshio Araya, Yuto Yoshida, Akihiro Karashima, Mitsuyuki Nakao, Effect of somatosensory feedback on behavior of mouse in the virtual reality environment, 38th Ann Meet Japan Neurosci Soc (Neuroscience 2015), 2P249, 207, 2015/7/28-31, 2015, 神戸
- [55] 片山統裕, 中川大輝, 吉田侑冬, 辛島彰洋, 経頭蓋フラビン蛍光イメージング法によるマウス大脳皮質自発活動の睡眠状態依存性解析, 日本睡眠学会第40回定期学術集会, 4-O-4, P-027, 215, 2015/7/2-3, 2015, 宇都宮
- [56] 吉田侑冬, 片山統裕, 中川大輝, 辛島彰洋, 中尾光之, 無麻酔下マウスにおける大脳皮質自発活動の内因性光イメージング解析, 第54回生体医工学会大会, P3-2-3-B, 245, 2015/5/7-9, 2015, 名古屋

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等 <http://www.biomdl.ecei.tohoku.ac.jp/kata/iosi/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究分担者

該当なし

### (2) 研究協力者

研究協力者氏名: 吉田侑冬

ローマ字氏名: (YOSHIDA, Yuto)

研究協力者氏名: 奥畑大悟

ローマ字氏名: (OKUHATA, Daigo)

研究協力者氏名: 外川龍之介

ローマ字氏名: (TOGAWA, Ryunosuke)

科研費による研究は, 研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため, 研究の実施や研究成果の公表等については, 国の要請等に基づくものではなく, その研究成果に関する見解や責任は, 研究者個人に帰属されます。