

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H05728

研究課題名（和文）身体変容への超適応のモデル化

研究課題名（英文）Modeling of hyper-adaptability to altered musculoskeletal system

研究代表者

小池 康晴（Koike, Yasuharu）

東京工業大学・科学技術創成研究院・教授

研究者番号：10302978

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 93,100,000円

研究成果の概要（和文）：サルの筋再配置をシミュレートする筋骨格系モデルの構築では、サルの実験で得られた筋活動データを解析し、筋シナジーの変化として回復過程で起こった適応過程を説明した。また、計算機シミュレーションのための筋骨格系モデルを作成し、筋活動が説明できる程度のモデルが作成できた。また、計算論的なモデル研究では、筋再配置による身体変容を数理的に再現する筋骨格系モデルの構築を行い、力場に適応する学習及び制御の様式を明らかにした。さらに、学習速度を説明する理論的な枠組みを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

運動学習・適応過程を筋シナジーを元にして解析する手法を確立した。また、計算機シミュレーションのための筋骨格系モデルを構築し、実際の筋活動や適応過程、その内部構造を明らかにした。さらに、運動学習の速度を説明できる理論的な枠組みを構築した。

これらの結果は、運動学習やリハビリテーションにおいて、適応の難しさの定量化、学習時間の短縮、効率的な学習を促すフィードバック情報の作成などに利用できる。これにより、効果的なリハビリテーション手法の開発などにも応用が可能となる。

研究成果の概要（英文）：In the construction of a musculoskeletal model to simulate muscle rearrangement in monkeys, we analyzed bacterial activity data obtained from monkey experiments and explained the adaptation process that occurred during the recovery process as changes in muscle synergy. In addition, a musculoskeletal model was created for computational simulation, and a model was created to the extent that muscle activity could be explained. In computational modeling research, a musculoskeletal system model was constructed to mathematically reproduce the physical transformation caused by muscle rearrangement, and the modes of learning and control to adapt to the force field were clarified. Furthermore, we developed a theoretical framework to explain the learning rate.

研究分野：計算論的神経科学

キーワード：腱付け替え 仮想手術 筋骨格系モデル 筋シナジー

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究では、主に超適応機構の生体構造の再構成の観点から、身体変容に伴う運動の再獲得メカニズムのモデル化研究を行う。筋再配置による身体変容に対して、神経系は制御系の最適化と学習を繰り返すことで運動の適応を行うが、人や動物の実験から、神経系の変化の過程で神経系が持つモジュール構造：筋シナジーの再構成(生体構造の再構成による超適応)を伴う不連続的な変化を生じる例が報告されている。このような構造の再構成は身体と環境との相互作用を最適化及び学習する過程で自動的に行われると予想される。一方で、従来行われていた最適化や学習によるシステム工学的なアプローチにおいて、このような不連続な構造の再構成に注目し、そのメカニズムに迫る研究はほとんど行われていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、主に超適応機構の生体構造の再構成の観点から、身体変容に伴う運動の再獲得メカニズムのモデル化の研究を行う。

筋再配置による身体変容に対して、神経系は制御系の最適化と学習を繰り返すことで運動の適応を行う。人や動物の実験から、このような神経系の変化の過程で筋シナジーの再構成(生体構造の再構成による超適応)を伴う不連続的な変化を生じる例が報告されている。

構造の再構成は身体と環境との相互作用を最適化及び学習する過程で自動的に行われると予想される。

3. 研究の方法

この過程をモデル化するために、1)仮想手術による人の長期的身体変容の影響を調べる実験系の構築、2)脳活動と筋活動のデコーディング手法の構築、3)筋再配置による身体変容を数理的に再現する筋骨格系モデルの構築を行う。これらのモデル研究を通して、生体構造の再構成を伴う超適応過程のメカニズムを明らかにする。さらに、人の身体変容に伴う運動機能の変化を Virtual Reality を用いて仮想的に実現する実験系の構築と、力学シミュレーション環境の構築を行う。これにより、長期/短期の身体変容に伴う生体情報を得る実験系と、身体変容の力学過程を扱う情報処理環境を整備し、身体変容後の生体情報の変化のメカニズムに迫るためのシステムを確立する。

具体的には、A02 班で得られた実験データを解析する「サル筋再配置をシミュレートする筋骨格系モデルの構築」と、「計算論的なモデル研究」をおこなう。

4. 研究成果

サル筋再配置をシミュレートする筋骨格系モデルの構築では、腱再配置後の回復過程を調べるために、A02 班と共同で、二頭のマカクサルに対して指を屈曲・伸展させる二種類の筋肉の腱の再配置を行い、二ヶ月以上にわたり筋活動を計測し、統計解析によって筋シナジーを解析した。回復中の筋シナジーの時系列を調べると、腱再配置直後に、複数の筋シナジーの活動パターン(時間基底)が入れ替わり、しばらくして元の関係に戻る様子が見られた。その間、筋シナジーの構造には変化が見られなかった。

筋シナジーの時間基底で見られた、入れ替わって元に戻る過程で筋活動にどのような変化が表れているのかを調べるために、既存の筋シナジーによって説明される活動と、計測された筋活動の相関を調べた。その結果、入れ替わって元に戻る過程で、既存のシナジーによって説明される成分が低下している様子が見られた。このことから、回復の過程では、既存のシナジー以外の筋活動の戦略が探索され、探索が完了するにつれて元の構造に戻ったと考えられる。

腱再配置に伴う神経系の変化の推定を目的として、上肢の筋骨格モデルを構築した。筋骨格シミュレーションソフト OpenSim 上で、ヒトの上肢モデル MoBL-ARMS をサルに合わせたスケールアップし、サルの解剖学データを基に骨格や筋肉の付着位置を編集することでモデルを構築した。構築した筋骨格モデル上で、(サルで行っている筋再配置と同様の)指の屈曲と伸展に関わる総指伸筋 EDC と浅指屈筋 FDS を付け替え、再配置後のモデルに対して再配置前と同じモーションデータを再現する筋活動の推定を行った。さらに再配置前後のモデルに対して、筋活動及び筋活動から求めた筋シナジーの比較を行った。その結果、筋骨格モデルでは、筋再配置の前後で活動の時間パターンには変化がなく、同時に活動する筋の組み合わせが変化することがわかった。しかし、筋の付着位置などがサルと異なるという問題があったため、B05-2 研究項目の荻原教授との共同研究として、荻原教授が従来研究において作成したサルの筋骨格モデルを元に、力学シミュレーションが可能な筋骨格ソフトウェア MuJoCo ソフトウェア上でサルの筋骨格モデルを構成し、解剖学的により妥当な筋活動の解析が可能な環境を構築した。その結果、対象とするサルの計測した筋活動にある程度近いパターンが見られており、特に到達運動、口元に運ぶ動作などの重要なタイミングにおいて、計測した筋活動と同様に大きな活動が見られて

いた。

このモデルを用いて、回復時の運動再獲得過程を再現するために、サル の筋骨格筋モデルに対して、強化学習による到達把持運動の学習環境の構築を行った。連続な状態空間と行動空間が扱える深層強化学習の手法である Deep Deterministic Policy Gradient (DDPG) を用いて学習系を構築し、MuJoCo 上で構築したサル の筋骨格モデルに対して学習を行ったところ、到達及び餌食べ動作を再現できることがわかった。

計算論的なモデル研究では、脳活動と筋活動のデコーディング手法の構築、筋再配置による身体変容を数理的に再現する筋骨格系モデルの構築を行った結果、下記のような結果が得られた。脳情報デコーディングによる再構成則過程の解明のため、筋シナジーが脳のどこで表現されているのかを確認することを目的とし、動作-筋電図-脳波を同時計測したデータを用いて、筋電図から計算した筋シナジーと、脳波から推定した信号源との関係を調べた。また、脳波から運動の識別に關係する要素を独立成分分析により求め、その脳内位置を独立成分の値から計算した。指の運動方向を識別するデコードの重みを解析した結果、右舌状回 (right lingual), 左後帯状皮質 (left posterior cingulate), 左下側頭回 (left inferior temporal) と右楔前部 (right precuneus) の領域が指の運動の識別に關係していることがわかった。

また、グレイボックスモデルによる適応過程の解明のため、身体の将来の状態を予測する順モデル、運動目標と現在の状態の差を補償するフィードバック制御器、運動目標を実現する運動指令を生成する逆モデルを個別に学習する運動制御学習モデルを用いて、複数の力場に対してどのように適応していくのかを検証した。速度依存力場、位置依存発散力場、速度依存力場と運動を拘束するチャンネル、速度依存力場と終端でのクランプのへの適応をそれぞれシミュレーションし、各モジュールの出力を適応前後で比較した。その結果、適応後の運動軌道はこれまで調べられてきた人の運動軌道や特性をよく再現するものであった。このように、力場への適応過程をシミュレーションでき、各モジュールの役割の違いも見いだすことができ、より詳細なモデルへ繋がる成果が得られた。

運動学習の速度を説明する理論的な枠組みを構築した。筋の付け替え手術において、どの筋肉を付け替えたかによって、運動の適応の速度が異なる。これまでの理論では、シナジーの変換後の力ベクトルの方向により「Compatible (互換)」や「incompatible (非互換)」と区分されていた。しかしながら Compatible なケースであっても運動学習に時間が要する場合も見られた。このことから異なる指標により運動学習の速度を説明できるモデル化を試みた。異方性スケーリング実験と異方性ターゲット分布タスク実験における実験とそれを模擬したシミュレーション実験を行った。その結果、「Compatible (互換)」や「incompatible (非互換)」の条件でも同じようにヘッセ行列の固有値の最大値と最小値の比に応じて学習速度が異なることがシミュレーションからもわかった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 18件）

1. 著者名 Tetsuro Funato, Noriaki Hattori, Arito Yozu, Qi An, Tomomichi Oya, Shouhei Shirafuji, Akihiro Jino, Kyoichi Miura, Giovanni Martino, Denise Berger, Ichiro Miyai, Jun Ota, Yury Ivanenko, Andrea d'Avella, Kazuhiko Seki	4. 巻 4
2. 論文標題 Muscle synergy analysis yields an efficient and physiologically relevant method of assessing stroke	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Brain Communications	6. 最初と最後の頁 fcac200
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/braincomms/fcac200	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Sentong Wang, Kazunori Hase, Shunsuke Kita, Shinya Ogaya	4. 巻 10
2. 論文標題 Biomechanical effects of medial meniscus radial tears on the knee joint during gait: A concurrent finite element musculoskeletal framework investigation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Bioengineering and Biotechnology	6. 最初と最後の頁 957435
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fbioe.2022.957435	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 He Z, Qin Z, Koike Y.	4. 巻 12
2. 論文標題 Continuous Estimation of Finger and Wrist Joint Angles Using a Muscle Synergy Based Musculoskeletal Model.	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Sciences.	6. 最初と最後の頁 3772
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/app12083772	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Cho W, Barradas VR, Schweighofer N, Koike Y.	4. 巻 16
2. 論文標題 Design of an Isometric End-Point Force Control Task for Electromyography Normalization and Muscle Synergy Extraction From the Upper Limb Without Maximum Voluntary Contraction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 805452
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnhum.2022.805452	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Qin Z, He Z, Li Y, Saetia S, Koike Y.	4. 巻 16
2. 論文標題 A CW-CNN regression model-based real-time system for virtual hand control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Front Neurorobot	6. 最初と最後の頁 1072365
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2022.1072365.	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Barradas VR, Cho W, Koike Y	4. 巻 16
2. 論文標題 EMG space similarity feedback promotes learning of expert-like muscle activation patterns in a complex motor skill	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Human Neuroscience	6. 最初と最後の頁 805867
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnhum.2022.805867	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H Kambara, H Ogawa, A Takagi, D Shin, N Yoshimura, Y Koike	4. 巻 35
2. 論文標題 Modulation of wrist stiffness caused by adaptation to stochastic environment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 818-834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2021.1900913	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 H Kambara, A Takagi, H Shimizu, T Kawase, N Yoshimura, Y Koike	4. 巻 139
2. 論文標題 Computational reproductions of external force field adaption without assuming desired trajectories	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Neural Networks	6. 最初と最後の頁 179-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.neunet.2021.01.030	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Tetsuro Funato, Yota Sato, Yamato Sato, Soichiro Fujiki, Shinya Aoi, Kazuo Tsuchiya, Dai Yanagihara	4. 巻 11
2. 論文標題 Quantitative evaluation of posture control in rats with inferior olive lesions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 20362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-99785-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Akira Konosu, Tetsuro Funato, Yuma Matsuki, Akihiro Fujita, Ryutaro Sakai, Dai Yanagihara	4. 巻 15
2. 論文標題 A model of predictive postural control against floor tilting in rats	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 785366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnsys.2021.785366	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Z. Qin, S. Stapornchaisit, Z. He, N. Yoshimura, Y. Koike	4. 巻 15
2. 論文標題 Multi-joint Angles Estimation of Forearm Motion Using a Regression Model	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 frontiers in Neurobotics	6. 最初と最後の頁 685961
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2021.685961	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Y. Li, B. Chen, N. Yoshimura, Y. Koike	4. 巻 33
2. 論文標題 Restricted Minimum Error Entropy Criterion for Robust Classification	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL NETWORKS AND LEARNING SYSTEMS	6. 最初と最後の頁 6599 - 6612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TNNLS.2021.3082571	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Kim H, Kim Y, Miyakoshi M, Staponchaisit S, Yoshimura N, Koike Y.	4. 巻 15
2. 論文標題 Brain Activity Reflects Subjective Response to Delayed Input When Using an Electromyography-Controlled Robot.	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Systems Neuroscience	6. 最初と最後の頁 767477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnsys.2021.767477	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 船戸徹郎, 鴻巣暁, 柳原大	4. 巻 47
2. 論文標題 ラットの直立姿勢制御の構成原理	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Medical Science Digest	6. 最初と最後の頁 52-55
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Barradas Victor R., Kutch Jason J., Kawase Toshihiro, Koike Yasuharu, Schweighofer Nicolas	4. 巻 123
2. 論文標題 When 90% of the variance is not enough: residual EMG from muscle synergy extraction influences task performance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Neurophysiology	6. 最初と最後の頁 2180 ~ 2190
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1152/jn.00472.2019	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takagi Atsushi, Kambara Hiroyuki, Koike Yasuharu	4. 巻 10
2. 論文標題 Independent control of cocontraction and reciprocal activity during goal-directed reaching in muscle space	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-79526-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Piovanelli Enrico, Piovesan Davide, Shirafuji Shouhei, Su Becky, Yoshimura Natsue, Ogata Yousuke, Ota Jun	4. 巻 20
2. 論文標題 Towards a Simplified Estimation of Muscle Activation Pattern from MRI and EMG Using Electrical Network and Graph Theory	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 724 ~ 724
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s20030724	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Koike Yasuharu, Kim Yeongdae, Stapornchaisit Sorawit, Qin Zixuan, Kawase Toshihiro, Yoshimura Natsue	4. 巻 32
2. 論文標題 Development of Multi-sensor Array Electrodes for Measurement of Deeper Muscle Activation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Sensors and Materials	6. 最初と最後の頁 959 ~ 959
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18494/SAM.2020.2636	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Kim Yeongdae, Stapornchaisit Sorawit, Kambara Hiroyuki, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 2020
2. 論文標題 Muscle Synergy and Musculoskeletal Model-Based Continuous Multi-Dimensional Estimation of Wrist and Hand Motions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Healthcare Engineering	6. 最初と最後の頁 1 ~ 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1155/2020/5451219	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Koike Yasuharu	4. 巻 2
2. 論文標題 Muscle Synergy Analysis for Rehabilitation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Examines in Physical Medicine & Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 1-2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.31031/EPMR.2019.02.000550	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kim Hyeonseok, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 13
2. 論文標題 Characteristics of Kinematic Parameters in Decoding Intended Reaching Movements Using Electroencephalography (EEG)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neuroscience	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnins.2019.01148	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Stapornchaisit Sorawit, Kim Yeongdae, Takagi Atsushi, Yoshimura Natsue, Koike Yasuharu	4. 巻 13
2. 論文標題 Finger Angle Estimation From Array EMG System Using Linear Regression Model With Independent Component Analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurorobotics	6. 最初と最後の頁 1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2019.00075	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 小池 康晴
2. 発表標題 表面筋電図の統計的解析
3. 学会等名 第 21 回日本電気生理運動学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三ツ木 知愛, 船戸 徹郎, 小松 拓実, 酒井 隆太郎, 鴻巣 暁, 柳原 大
2. 発表標題 歩行の予期的動作の解明のためのラットのVR実験環境の構築
3. 学会等名 第32回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田 章寛, 鴻巣 暁, 船戸 徹郎, 柳原 大
2. 発表標題 予測可能な傾斜外乱に対するラットの姿勢動作学習の解析
3. 学会等名 第32回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Cho Woorim, Nicolas Schweighofer, Barradas Victor, Yasuharu Koike
2. 発表標題 Design Isometric Force Rotating Task for EMG Normalization of Stroke Patients,
3. 学会等名 ISEK XXIII Virtual Congress (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hyeonseok Kim, Natsue Yoshimura, Yasuharu Koike
2. 発表標題 Assessment of event-related potential of independent components for intended direction classification
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡田幸樹, 吉村奈津江, 小池康晴,
2. 発表標題 脳波による手の把握動作の識別 (Hand grasping / opening classification using EEG)
3. 学会等名 第42回日本神経科学大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小池康晴
2. 発表標題 Brain machine interface
3. 学会等名 ASPIRE Forum 2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuharu Koike
2. 発表標題 Non-clinical brain computer interface applications
3. 学会等名 The First UAE Workshop on Clinical and Non-clinical Brain Computer Interface (WBCI2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasuharu Koike
2. 発表標題 Motor Learning and Control Mechanism of the Brain
3. 学会等名 2019 Workshop on Brain-inspired Artificial Intelligence (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	船戸 徹郎 (Funato Tetsuro) (40512869)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授 (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
米国	University of Southern California			