

令和 4 年 6 月 15 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01399

研究課題名(和文) 環境モデルや振動子モデルに依存しない環境適応学習による多様な運動の発現機序

研究課題名(英文) Manifestation of various adaptive motions by learning independent of environmental or oscillator models

研究代表者

林部 充宏 (Hayashibe, Mitsuhiro)

東北大学・工学研究科・教授

研究者番号：40338934

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,600,000円

研究成果の概要(和文)：環境モデルに依存しない環境適応学習における運動の発現機序を明らかにするため、モデルフリーの深層強化学習を用いて運動パターンの生成メカニズムを詳細に調べた。数学的最適化計算には環境と身体の数学的モデルが事前に必要となるが、未知の物理的環境下での運動学習としてこれまで扱うものがなかった。多関節の歩行において、潜在的な計算指針がないか調査した。学習が進むにつれて変化する歩行運動の運動シナジーの発現度合いを調べると、発現度合いがエネルギーあたりのパフォーマンスと高い相関関係にあることがわかった。エネルギーあたりのパフォーマンスを高めるための必要条件として運動シナジーが採用されていることが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

深層強化学習による運動学習タスクにおいて運動シナジーの発現プロセスが起きており、それがエネルギーあたりのパフォーマンスと高い相関を示したことは、何故人間や生物が運動シナジーを活用しているのかという問いの答えにつながるため科学的な意義が高いと考えられる。工学的な応用としては現在の深層学習は膨大な計算コストを要するが、効率的な運動学習における潜在的な方策として運動シナジーを用いることができれば大幅な計算の効率化につなげることができるため、本研究は新しい深層強化運動学習アルゴリズムに向けて示唆に富む情報となることが期待される。

研究成果の概要(英文)：To elucidate the mechanism in environmental model-independent adaptive learning, the mechanism of motion pattern generation was investigated in detail using model-free deep reinforcement learning. Although mathematical optimization calculations require a mathematical model of the environment and the body a priori, none have been treated so far as motor learning in an unknown physical environment. We investigated for potential computational guidelines in multi-joint gait. We examined the level of emergence of motor synergy in walking movements that changed as learning progressed and found that the synergy emergence was highly correlated with the performance per energy. It implies that motor synergy is employed as a necessary condition for improving performance per energy.

研究分野：ロボティクス

キーワード：深層学習 運動学習 運動シナジー バランス制御 筋電位

1. 研究開始当初の背景

これまでのロボット制御は環境や身体ダイナミクスが既知な前提で、最適化計算などを用いた運動制御を行い環境適応を行う研究が多かった。既知な環境ではこの方法は良好なパフォーマンスを出すことができるが、少しでもこの既知としている環境、身体モデルの誤差があった場合には対応できないし、根本的に自分で環境インタラクションからロボット自身が学習するような構造になっていない。今後ロボットが初めていく環境や全く知らない場所でも環境との力学的インタラクションから、運動学習を行う方法がもとめられており近年研究がすすめているがまだ十分な機能をもっているとはいえない状況である。本研究により恣意的に運動パターンを切り替えるのではなく自分で環境を知覚し運動パターンを発現することが対応可能なシステムの開発につながる。人間が採用しているシナジーの抽出計算、評価計算というのは広く行われてきているが、どのような計算指針でシナジーが生成できるのかのメカニズムを扱うものはほとんどなかった。在ったとしてもモデルの最適化計算でコスト関数を満たすように最適化を行い生成するものが標準的な方法であるが、真の未知の環境ではそのモデルがない前提でシナジーを生成する必要があり、まだほとんど行われておらず、我々の論文ではじめて行われた ([1,2])。また、簡単な計算で運動と感覚の強調を計算する方法として CPG モデルを使うアプローチが知られている。しかしながら CPG モデルの構造を選択する段階である程度の環境と運動との入出力関係の事前情報を用いた設計が実は行われている。この点は見過ごされることが多いが、選択された CPG のパラメータを変動させたとしても基本的なダイナミクスは CPG モデル構造を決めた時点で実は暗に指定されていることは自明である。生物およびヒトは時に環境条件に応じて大きくダイナミクスの異なる運動パターンを採用、学習する能力をもち、より広いダイナミクスの運動を環境に応じて生成する設計が求められており、本研究ではそのパラダイムシフトにより CPG モデルをすでに選んだ問題設定でスタートさせるのではなく、運動学習によってより拡張性のある感覚運動協調法の開発を目指すものである。

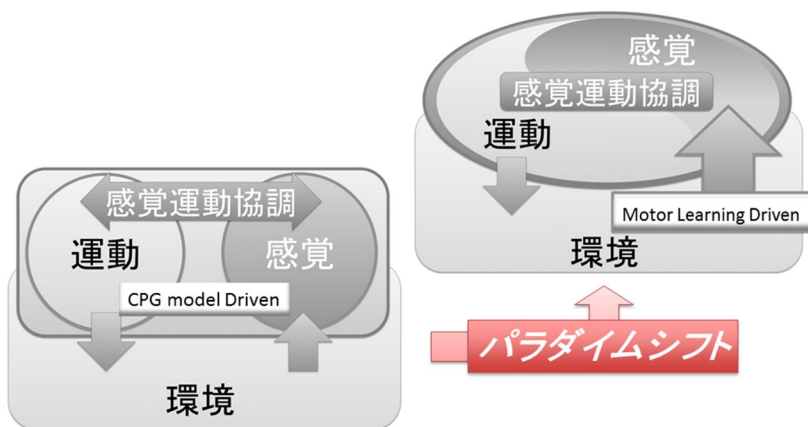


図1 本研究によるパラダイムシフト

2. 研究の目的

真の環境適応を目指すためには事前の環境のダイナミクスのモデル情報や構造情報なしに、未知の環境を知覚し、それに対応する運動出力を計算する必要がある。事前の環境情報がない条件下で効果的に環境のダイナミクスの情報を知覚し、協調的な運動パターン(シナジー)を発現可能な手法の開発に焦点をおく。

3. 研究の方法

(1)歩行運動

本研究では多関節の歩行エージェントに対し、事前のモデルや環境の情報を全く与えずに、純粋に深層強化学習のみによる繰り返し試行により歩行タスクの学習を行い、関節空間の運動制御信号がどのように変化しているかを調査しました。関節トルク入力スペースの時空間パターンを PCA (独立主成分分析) で運動シナジーの発現度合いを各試行ごとに定量化することで、運動習熟度と運動シナジーの発現度合いの連動性を調べました。図 2 のように学習が進むにつれて変化している運動シナジーの発現度合いを調べると、確かにタスク習熟度が進むにつれて運動シナジーの発現がおきていることがわかりました。また 2 種類の異なる深層学習アルゴリズム SAC (Soft Actor-Critic)、TD3(Twin Delayed Deep Deterministic policy) で調査をすると、より効率的に報酬を高める結果が出た SAC の学習結果の場合の方がより多くの運動シナジーの発現が起きていることがわかりました。2次元モデル(Half Cheetah)、重い2次元モデル(Heavy HC)、3次元モデル(Full Cheetah)で深層強化学習を行い、それぞれ 300 万時間ステップの運動学習を実施しました。深層学習アルゴリズムはどの関節がどこについているかという予備知識は使っていないが、実際に学習後の運動結果を見ると同一足内の関節間の運動が同位相で駆動されているため、時空間的な低次元化が実際に起きていることが確認されました。また運動シナジーの発現度合いがエネルギーあたりのパフォーマンス(歩行速度)と高い相関関係にあることがわかりました。すなわちエネルギーあたりのパフォーマンスを効率良く高めるための必要条

件として運動シナジーが採用されていることが示唆されました。

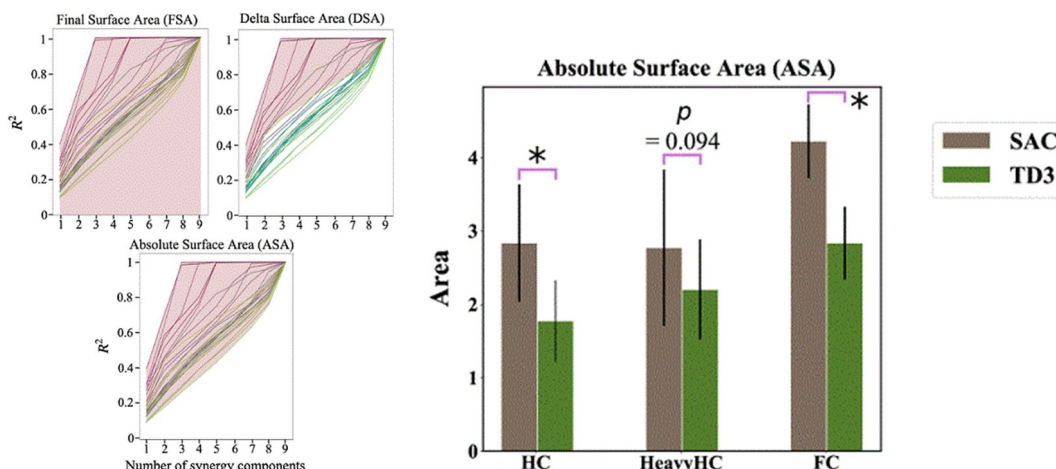


図2 (左) 運動シナジーの発現を低次元化度合いで定量化した様子
(右) 運動シナジーの発現度合いを各深層学習アルゴリズムで比較した様子

(2) 姿勢制御

運動シナジー分析を人間の姿勢制御実験で実行し、バランス回復制御戦略と姿勢制御時の運動シナジーの対応関係を明らかにしている。その関係は、動作観察によって被験者がどの制御戦略を採用しているかを理解するのに役立つことができる。リハビリテーション中の運動計測において姿勢制御モードの理解に有益である。

また非線形モデル予測制御により立位バランス回復のための Arm Strategy の再現を試みている。Arm Strategy については動作解析研究ではある程度報告があるものの、計算論的なモデリングでそのメカニズムを検証するものは、限られている。そこで本研究では、Arm Strategy を用いて人間らしいバランス制御を実現するために、腕を持つ簡略化されたモデルを構築し、非線形モデル予測制御に基づいた制御系を提案している。モデルの腕の状態として、能動、受動、固定の3つを考え、立位でのバランス回復に対する腕の使い方の貢献度を調査し、重心移動の位相サイクル、回復エネルギー消費量の指標を用いて、Arm Strategy のメカニズムを明らかにしている。上半身に異なる大きさの外乱を加え、腕の回転を伴う場合と伴わない場合のバランス回復を再現している。運動安定性、エネルギー消費量を比較することで、腕を積極的に使用する Arm Strategy は、エネルギー効率的なバランス回復アプローチであることを定量的に確認している。

最後に、静的な姿勢制御から動的な姿勢制御に拡張し、また事前に用意されたモデルに依存しない深層強化学習を用いて、Ankle-Hip 姿勢協調運動のモード遷移、すなわち同相モードと逆相モードの遷移プロセスを再現することに成功している。このモード遷移は、運動周波数に影響される創発的な現象と考えられているが、同様の創発現象を再現している。このモード遷移はバランス安定化のための重心偏差の減少に寄与し、またエネルギー効率性にも寄与することを定量的に示していることは注目に値する。

4. 研究成果

深層強化学習による運動学習タスクにおいて運動シナジーの発現プロセスが起きており、それがエネルギー当たりのパフォーマンスと高い相関を示したことは、何故人間や生物が運動シナジーを活用しているのかという問いの答えにつながるため科学的な意義が高いと考えられます。本研究では歩行運動で検証しましたが、我々の研究室ではリーチング運動でも運動シナジーの発現とエネルギーあたりのパフォーマンスとの相関関係を実証しています(科研費 新学術領域「超適応」の公募班として実施)。工学的な応用としては現在の深層学習は膨大な計算コストを要するが、効率的な運動学習における潜在的な方策として運動シナジーを用いることができれば大幅な計算の効率化につながるため、本研究は新しい深層強化運動学習アルゴリズムに向けて示唆に富む情報となることが期待される。

[参考文献]

Synergetic Motor Control Paradigm for Optimizing Energy Efficiency of Multijoint Reaching via Tacit Learning, *Frontiers in Computational Neuroscience*, 8, 21, (2014).
M. Hayashibe, S. Shimoda

Synergetic Learning Control Paradigm for Redundant Robot to Enhance Error-Energy Index, *IEEE Trans. on Cognitive and Developmental Systems*, (2017), 11:226, M. Hayashibe, S. Shimoda

[主な成果]5本分の抜粋

- 1 .Motor Synergy Development in High-performing Deep Reinforcement Learning algorithms,** IEEE Robotics and Automation Letters, April 2020, 5(2):1271-1278, Jiazheng Chai, M. Hayashibe, (ICRA2020 Paris) IF=3.6
- 2 .Discovering Interpretable Dynamics by Sparsity Promotion on Energy and the Lagrangian,** IEEE Robotics and Automation Letters, April 2020, 5(2):2154-2160, Hoang K. Chu, M. Hayashibe, (ICRA2020 Paris) IF=3.6
- 3 .Reproducing Human Arm Strategy and its Contribution to Balance Recovery Through Model Predictive Control,** Frontiers in Neurobotics, 15:679570, (2021), K. Shen, A. Chemori, M. Hayashibe
- 4 .Human-like Balance Recovery Based on Numerical Model Predictive Control Strategy,** IEEE Access, vol.8, pp.92050 - 92060, (2020), K. Shen, A. Chemori, M. Hayashibe
- 5 .Quantitative Gait Assessment with Feature-Rich Diversity Using Two IMU Sensors,** IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics, vol.2, pp.639-648, (2020), Y. Hutabarat, D. Owaki, M. Hayashibe

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 8件 / うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Chandra Sourav, Hayashibe Mitsuhiro, Thondiyath Asokan	4. 巻 50
2. 論文標題 Muscle Fatigue Induced Hand Tremor Clustering in Dynamic Laparoscopic Manipulation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems	6. 最初と最後の頁 5420 ~ 5431
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TSMC.2018.2882957	査読の有無 有
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 該当する
1. 著者名 Hutabarat Yonatan, Owaki Dai, Hayashibe Mitsuhiro	4. 巻 2
2. 論文標題 Quantitative Gait Assessment With Feature-Rich Diversity Using Two IMU Sensors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics	6. 最初と最後の頁 639 ~ 648
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMRB.2020.3021132	査読の有無 有
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 Shen Keli, Chemori Ahmed, Hayashibe Mitsuhiro	4. 巻 8
2. 論文標題 Human-like Balance Recovery Based on Numerical Model Predictive Control Strategy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 92050 - 92060
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.2995104	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 Hutabarat Yonatan, Ekkachai Kittipong, Hayashibe Mitsuhiro, Kongprawechnon Waree	4. 巻 14
2. 論文標題 Reinforcement Q-Learning Control With Reward Shaping Function for Swing Phase Control in a Semi-active Prosthetic Knee	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurorobotics	6. 最初と最後の頁 565702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2020.565702	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 Shen Keli, Chemori Ahmed, Hayashibe Mitsuhiro	4. 巻 15
2. 論文標題 Reproducing Human Arm Strategy and Its Contribution to Balance Recovery Through Model Predictive Control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurobotics	6. 最初と最後の頁 679570
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2021.679570	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 Raza Fahad, Zhu Wei, Hayashibe Mitsuhiro	4. 巻 9
2. 論文標題 Balance Stability Augmentation for Wheel-Legged Biped Robot Through Arm Acceleration Control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 54022 ~ 54031
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2021.3071055	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 Gonzalez A., Fraisse P., Hayashibe M.	4. 巻 84
2. 論文標題 An extended statically equivalent serial chain -Identification of whole body center of mass with dynamic motion	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Gait & Posture	6. 最初と最後の頁 45 ~ 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2020.11.021	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Ramos Felipe Moreira, d'Avella Andrea, Hayashibe Mitsuhiro	4. 巻 4
2. 論文標題 Identification of Time-Varying and Time-Scalable Synergies From Continuous Electromyographic Patterns	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 3053 ~ 3058
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2019.2924854	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Bhattacharyya Saugat, Clerc Maureen, Hayashibe Mitsuhiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Augmenting Motor Imagery Learning for Brain-Computer Interfacing Using Electrical Stimulation as Feedback	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Medical Robotics and Bionics	6. 最初と最後の頁 247 ~ 255
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TMRB.2019.2949854	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Ibitoye Morufu Olusola, Hamzaid Nur Azah, Hayashibe Mitsuhiro, Hasnan Nazirah, Davis Glen M.	4. 巻 49
2. 論文標題 Restoring prolonged standing via functional electrical stimulation after spinal cord injury: A systematic review of control strategies	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Biomedical Signal Processing and Control	6. 最初と最後の頁 34 ~ 47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.bspc.2018.11.006	査読の有無 有
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 該当する

1. 著者名 Chai Jiazheng, Hayashibe Mitsuhiro	4. 巻 5
2. 論文標題 Motor Synergy Development in High-Performing Deep Reinforcement Learning Algorithms	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1271 ~ 1278
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.2968067	査読の有無 有
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 Chu Hoang K., Hayashibe Mitsuhiro	4. 巻 5
2. 論文標題 Discovering Interpretable Dynamics by Sparsity Promotion on Energy and the Lagrangian	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 2154 ~ 2160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2020.2970626	査読の有無 有
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 Okajima Shotaro, Tournier Maxime, Alnajjar Fady S., Hayashibe Mitsuhiro, Hasegawa Yasuhisa, Shimoda Shingo	4. 巻 12
2. 論文標題 Generation of Human-Like Movement from Symbolized Information	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurobotics	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) 10.3389/fnbot.2018.00043	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 Hayashibe Mitsuhiro, Shimoda Shingo	4. 巻 10
2. 論文標題 Synergetic Learning Control Paradigm for Redundant Robot to Enhance Error-Energy Index	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems	6. 最初と最後の頁 573 ~ 584
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TCDS.2017.2697904	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 -

〔学会発表〕 計33件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Felipe M. Ramos, M. Hayashibe
2. 発表標題 Simultaneous On-line Motion Discrimination and Evaluation of Whole-body Exercise by Synergy Probes for Home Rehabilitation
3. 学会等名 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation(ICRA2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 F. Raza, D. Owaki, M. Hayashibe
2. 発表標題 Modeling and Control of a Hybrid Wheeled Legged Robot: Disturbance Analysis
3. 学会等名 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Hayashibe, A. Gonzalez, M. Tournier
2. 発表標題 Personalized Balance and Fall Risk Visualization with Kinect Two
3. 学会等名 42nd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 J. Han, J. Chai, D. Owaki, M. Hayashibe
2. 発表標題 Development of a Rimless Wheeled Robot That Enables Adaptive and Energy-efficient Locomotion
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Truong, S. Sakamoto, D. Owaki, M. Hayashibe
2. 発表標題 EMG-based Estimation of Knee Torque and Angle using Recurrent Neural Network
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M.H. Ahmed, S. Shimoda, H. Hirata, M. Hayashibe
2. 発表標題 Forearm Motion Estimation with Residual Shoulder Motion using Kinematic Synergies and Recurrent Neural Network
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K. Shen, A. Chemori, M. Hayashibe
2. 発表標題 Effectiveness Evaluation of Arm Usage for Human Quiet Standing Balance Recovery through Nonlinear Model Predictive Control
3. 学会等名 International Conference on Control and Robots (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂本 誠一, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 再帰型ニューラルネットワークを用いた筋電位および慣性センサによる床反力推定
3. 学会等名 日本機械学会東北支部 第55期総会・講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小嶋萌子, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 重心角運動量に基づく不安定性推定による身体バランス機能の自動評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 門山 尚貴, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 骨盤運動を有する準受動歩行の安定化に関する一考察
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 猪股 映史, Felipe M. Ramos, 沓澤 京、大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 サイクリング運動の速度・負荷変化に対する筋シナジー適応解析
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 杉山拓, 沓澤 京、大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 反復学習制御によるFiber-Reinforced Soft Actuatorの個体差補償
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 清水寛子, 沓澤 京、大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 深層強化学習を用いたばね付き準受動歩行モデルにおける歩容生成
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会SI部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高柳峻也, 沓澤京, 大脇大, 林部充宏
2. 発表標題 時系列解析手法を用いた結合振動子系の同期ダイナミクス予測の評価
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会SI部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古関駿介, 沓澤京, 大脇大, 林部充宏
2. 発表標題 深層強化学習を用いた準受動歩行および走行の実現
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第334回研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 納谷克海, 沓澤京, 大脇大, 林部充宏
2. 発表標題 スパイキングニューラルネットワークに基づく深層強化学習による脚ロボットの歩行生成と評価
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第332回研究集会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小嶋萌子, 沓澤京, 大脇大, 林部充宏
2. 発表標題 ゲーム環境下における重心情報を用いた運動機能の多角的評価
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会SI部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 納谷克海, 沓澤京, 大脇大, 林部充宏
2. 発表標題 スパイキングニューラルネットワークに基づく深層強化学習による脚ロボットの歩行生成と耐故障性評価
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会SI部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 古畑和樹, 沓澤京, 大脇大, 林部充宏
2. 発表標題 センサの移動を許容する複数深度カメラの人体骨格モデルの運動情報統合
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会SI部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 F. Raza, M. Hayashibe
2. 発表標題 Towards Robust Wheel-Legged Biped Robot System: Combining Feedforward and Feedback Control
3. 学会等名 IEEE/SICE International Symposium on System Integration(SII2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Hutabarat, D. Owaki, M. Hayashibe
2. 発表標題 Seamless Temporal Gait Evaluation during Walking and Running Using Two IMU Sensors
3. 学会等名 43rd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Felipe M. Ramos, M. Kojima, M. Hayashibe
2. 発表標題 Simultaneous Quantification of Personalized Balance, Motion Class and Quality for Whole-body Exercise through Synergy Probe
3. 学会等名 43rd Annual International Conferences of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 S. Takayanagi, D. Owaki, M. Hayashibe
2. 発表標題 Online Prediction of the Synchronization Dynamics generated by Coupled Oscillator System
3. 学会等名 Proc. of 9th Int. Symposium on Adaptive Motion of Animals and Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Zamboni, D. Owaki, M. Hayashibe
2. 発表標題 Energy Efficiency Analysis of the Tegotae Approach for Bio-inspired Hopping
3. 学会等名 9th Int. Symposium on Adaptive Motion of Animals and Mechanics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川 友希, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 再帰型ニューラルネットワークを用いた手指運動の判別と評価
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第322回研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高柳 峻也, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 実世界における結合振動子系同期ダイナミクスのオンライン予測
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂本 誠一, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 再帰型ニューラルネットワークを用いた筋電位による床反力推定
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山川 友希, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 再帰型ニューラルネットワークを用いた手指動作の自動判別と評価
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 門山 尚貴, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 腰運動へのエネルギー補填を介した準受動歩行の検討
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 浜田 淳司, Jiazheng Chai, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 フィードバック誤差学習から着想を得た力制御手法におけるエネルギー効率の評価
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 猪股 映史, Felipe M. Ramos, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 サイクリング速度による筋シナジー遷移解析
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第327回研究集会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 D. Achancaray, K. Pacheco, E. Carranza, M. Hayashibe
2. 発表標題 Immersive Virtual Reality Feedback in a Brain Computer Interface for Upper Limb Rehabilitation
3. 学会等名 The 2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高柳 峻也, 大脇 大, 林部 充宏
2. 発表標題 結合振動子系を模したメトロノーム群の同期ダイナミクス予測
3. 学会等名 計測自動制御学会 東北支部 第321回研究集会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

Neuro-Robotics Lab, Tohoku University
<http://neuro.mech.tohoku.ac.jp/>

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	大脇 大 (Owaki Dai) (40551908)	東北大学・工学研究科・准教授 (11301)	

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		
フランス	CNRS(フランス国立科学研究所)	LIRMM	