

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18H03167

研究課題名（和文）姿勢制御を司る反射系が歩行運動において果たす役割の解明

研究課題名（英文）The role of the reflex system for postural control in walking

研究代表者

西井 淳（Nishii, Jun）

山口大学・大学院創成科学研究科・教授

研究者番号：00242040

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：スラックラインに片足を乗せた状態や、周囲が揺れるような視覚刺激をヘッドマウントディスプレイで提示した状態などで立位維持を行う際に活動する筋シナジーを、歩行時に活動する筋シナジーと比較した。その結果、立位姿勢の安定化に寄与する筋シナジーが、歩行中の蹴り出しや着地動作のほか、歩行運動実現に必要な左右の揺動生成にも寄与していることを示す結果を得た。この結果は、立位姿勢維持運動において姿勢制御を司る反射系が、歩行運動においては動的な脚運動を生成するためにも寄与していることを示す。さらに、運動計測実験やシミュレーション実験により、足圧情報が歩行運動実現に重要であることを示す結果も得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

静的安定性が要求される立位姿勢維持のための姿勢制御と、動的安定性が要求される歩行運動制御は独立に議論されることが多い。しかし、本研究結果は、両者は独立なものではなく、立位姿勢維持運動において様々な外乱に応じて励起される筋反応が、歩行運動を生み出すための様々な機能を持つことを示唆する。この成果は、立位姿勢制御と歩行運動制御の理解において非常に高い学術的意義を持つ。また、脳麻痺等で起きる歩行障害のリハビリにおいて、立位姿勢維持訓練や、足底感覚のフィードバックの重要性を示す点でも、本研究結果の社会的意義は高い。

研究成果の概要（英文）：Muscle synergies during standing posture with one foot on a slackline or with visual stimuli of swaying surroundings presented on a head-mounted display were compared to those during walking. The results showed that muscle synergies contributing to postural stabilization were also activated for kicking, foot landing, and the generation of the left-right swaying necessary for walking locomotion. These results indicate that the reflex system stabilizing posture during standing also contributes to the destabilization of the posture to generate walking movement. Furthermore, our movement analysis and simulation experiment results indicate that foot pressure information is vital for stable walking movement.

研究分野：生体情報システム

キーワード：立位姿勢 歩行 反射 運動制御 CPG 筋シナジー

1. 研究開始当初の背景

歩行運動を司る神経制御機構の解明に向けて解決すべき以下の3つの「問い」が検討する。第一は、姿勢制御のための反射系が歩行中の姿勢制御や移動のための脚運動（歩容）生成に如何に寄与しているかという問題である。第二は、足底感覚等の感覚情報が如何に姿勢制御や歩行制御に寄与しているかという問題である。第三は、歩行運動はなんらかの感覚入力引き金となって励起される反射運動の連鎖により実現されているのか（反射仮説）、それとも自律的に周期信号を生成する中枢パターン発生器（Central Pattern Generator, CPG）により実現されているのか（CPG仮説）という問いである。本研究課題は、これらの問題を運動計測実験やシミュレーション実験によって検討することで、歩行運動の生成機序の理解を目指す。

2. 研究の目的

本研究課題の目的は以下の検討を通して歩行制御機序の推定を行うことである。(1) 立位姿勢維持運動において体幹の揺動を抑える姿勢制御様式を探るとともに、(2) その姿勢制御に関わる筋活動が歩行運動における姿勢制御と移動のための脚運動（歩容）生成に如何に共存しているかを解明する。さらに、(3) これらの制御に感覚情報が担う役割を解明する。また、(4) 歩行運動におけるCPGと反射系の役割を考察する。

3. 研究の方法

3.1 スラックラインを用いた姿勢制御と歩行運動制御の関連性

綱渡り競技で用いられるバンド状の紐であるスラックラインに足部を置いて体重をかけると、左右方向の揺動を抑えるためと考えられる振戦運動が脚部にしばしば生じる。この振戦運動は不安定な足場において生じる姿勢制御の結果と考えられる。このようなスラックラインタスク及びトレッドミル上での歩行運動タスク(時速4.5km)における筋活動の計測実験を行った。各タスクについて筋シナジーを非値行列因子分解により推定し、その結果に基づいて立位姿勢制御と歩行運動で共通して励起される筋活動およびその役割を解析した。

3.2. 視覚揺動に対する姿勢制御と歩行運動制御の関連性

視覚刺激が姿勢制御の反応を引き起こすことは古くから知られているが、姿勢制御に関わるどのような筋活動が視覚刺激により励起されるかの知見は少ない。そこで、ヘッドマウントディスプレイを装着した被験者に前後もしくは左右に周期的に揺動する風景を提示する視覚揺動タスクのほか、通常立位維持タスク、立位状態で随意的に体幹を前後もしくは左右に動かす随意的揺動タスク、トレッドミル上での歩行運動タスク(時速4.5km)における筋電位を計測し、これらの運動に共通する筋シナジーとその役割の検討を行った。

3.3. 足底感覚が歩行運動制御に及ぼす影響

感覚障害のある脳卒中患者において、歩行リハビリは困難となる。本研究では、聴覚バイオフィードバック装置であるAuditory Foot (AF)が、前頭部の全身角運動量(Whole Body Angular Momentum: WBAM)範囲の変化に対して、2週間の歩行リハビリの前後にどのような効果があるかを予測するモデルを構築した。本研究では、ランダム化比較試験(Randomized Controlled Trial: RCT)を実施した。個人差を含むリハビリテーション効果のメカニズムを理解し、新規患者において期待される効果を予測するために、統計的階層ベイズモデリングを採用した。

3.4 武術的立位における重心動揺特性

武術における身体操作においては相手に自己の意図を伝えないようにすることが重要である。本課題では、立位において接触する相手に自己の情報を伝えない効果があるといわれている「垂直離陸」と呼ばれる立位法に着目し、この立位法における重心動揺特性および下肢筋活動を測定し、通常の立位法との違いを解析した。特に、二者がしっかり接触している(腕を握っている)条件と軽く接触している条件(指先で接触している)条件において、二者の重心動揺特性の関係性を解析した。

3.5 歩行運動におけるCPGの役割

歩行におけるCPGの役割を検討するため、2足歩行の動力学シミュレータを構築し、CPGを用いた歩行制御実験を行った。この制御実験では股関節、膝関節、足関節をCPGにより制御するが、どの関節に足圧情報に基づくフィードバック制御を加えると歩行の安定性が向上するかについて比較・検討した。

3.6 歩行運動における反射の役割

歩行における反射の役割を検討するため、6足歩行シミュレータに対して反射の連鎖による歩行制御を仮定した場合の、歩行安定性の検討を行った。シミュレータの質量や大きさは実際の昆虫のサイズを参考に決定し、制御に必要なパラメータは最適化計算の手法であるSelf-Adaptive Differential Evolutionやベイズ最適化を利用して決定した。さらに、単純な1次元ホッピングモデルを用いて、手応え制御に基づくCPGと反射制御の連携方策を考察するために、手応え制御における手応関数を深層強化学習により最適化することを試みた。

3.7 歩行制御におけるモード生成機序

ヒトは移動速度に応じて歩行と走行という異なる運動モードを切り替える。この制御機序を検討するため、受動歩行機械に着想を得た単純な2次元2足歩行ロボットを用い、深層強化学習により、1つのパラメータのみで、歩行と走行、そしてそれらの遷移を生成可能な制御則を学習により獲得可能であるかを検討した。

3.8 歩行制御における関節間シナジーの形成と加齢による影響

歩行中の下肢関節は独立に動いているのではなく、例えば遊脚中期に足先が地面に近づくMinimum Toe Clearance (MTC)の瞬間には、足先の高さのばらつきを抑えるような相補的協調が関節間に働くことが先行研究によって明らかになっている。このような関節間協調が加齢とともに変化するかを、20歳前後の若年者と70歳前後の高齢者それぞれ6人の歩行運動計測によって検討した。

4. 研究成果

4.1 スラックラインを用いた姿勢制御と歩行運動制御の関連性

スラックラインに片足を置いた状態で活動する筋シナジーと、歩行中に活動する筋シナジーについて、相関が強いものを抽出した。その結果、スラックラインタスクで姿勢の安定化に寄与する筋シナジーが歩行中の蹴り出しや着地動作、歩行運動に必要な左右の揺動生成に寄与している可能性があることを示唆する結果を得た[1,2]。

4.2 視覚揺動に対する姿勢制御と歩行運動制御の関連性

視覚揺動タスク、随意的揺動タスク、歩行タスクの全タスクに対する共通筋シナジーを推定した。その結果、立位姿勢制御と歩行制御は6個程度の共通筋シナジーで説明可能であることが明らかになった。また、立位時の随意的揺動や視覚刺激により生じる筋シナジーが、歩行運動においては単に姿勢の安定化だけではなく、推進力や左右の重心移動といった動きの生成に寄与していることを示唆する結果を得た[3,4]。また、視覚揺動によって生じる筋反応はスラックラインタスクで観察された筋反応と類似していた。以上の結果は、様々なモダリティから得られた揺動情報が統合されてモダリティに依存しない表現をとり、それが姿勢制御や歩行制御のために共通に使われる筋シナジーを目的に応じて励起していることを示唆する。

4.3. 足底感覚が歩行運動制御に及ぼす影響

個人差予測が可能な最も予測精度の高い階層モデルでは、AF群では前頭部のWBAM範囲が12.9~28.7%減少することが示された。このことから、歩行リハビリテーションにおける足底圧バイオフィードバックの活用は、前頭部WBAMの抑制に寄与し、脳卒中患者の歩行バランス機能の改善をもたらすことが示唆された。この結果は、個別性を表象するベイズモデルに基づく歩行診断により患者ごとの最適かつ帰結予測可能な介入法の提案に繋がる[5,6]。

4.4 武術的立位における重心動揺特性

この課題では、床反力計を用いて通常立位と垂直離陸立位における床反力中心（COP）を測定し、さまざまな重心動揺指標（COP軌跡長、順列エントロピー、DFA指数など）を求めた。まず、被験者が単独で立位する条件において二つの立位法を比較したところ、垂直離陸により重心動揺が増加することが明らかになった。また、一部の指標は、垂直離陸立位では前後方向の動揺が減少し左右方向の動揺が増加することを示した。また、下肢の筋活動計測により、垂直離陸においてはこれらの結果からこの立位法が静止立位特性を変化させていることが確認できた。次に、被験者のペアを作り、一方の被験者が他方の被験者の腕を握る、あるいは、腰に軽く触れる状況において、二人の被験者がともに通常立位である条件と一方の被験者が垂直離陸立位をとった条件において重心動揺特性を解析した。その結果、接触する二者の重心動揺には相互相関、相互情報量が観察され、それは一方が垂直離陸をとっても同様に維持された。その一方で、垂直離陸による重心動揺の増加（指標の変化）はこの立位法をとった被験者にのみ観察され、通常立位する他方の被験者では見られなかった。

本実験は、垂直離陸立位は、接触する相手との姿勢制御情報の交換を遮断するために身体動揺の相関を断ち切るような立位を実現しているのではないかという作業仮説を出発点に行ったものである。垂直離陸立位においても相互相関、相互情報量が維持されていたという結果はこの作業仮説を否定するものであったが、垂直離陸による重心動揺増加の効果が相手に転移しなかったという結果は、接触する二者の協調的な姿勢制御メカニズムが部分的に抑えられていることを示唆している[7,8]。

4.5 歩行運動におけるCPGの役割の検討

足部の先端と踵部の足圧情報に基づくフィードバック制御を、股関節・膝関節・足関節を制御するCPGに加えた場合に、起伏や傾斜に対してロバストな歩行制御を実現できることが明らかになった[9]。すなわち、足部の足圧情報は安定な二足歩行の実現に重要であることを、この結果は示唆する。

4.6 歩行運動における反射の役割の検討

脚姿勢および足先にかかる負荷に応じて励起される反射運動の連鎖で、起伏などに対してロバスト性の高い多足歩行が実現可能なことが明らかになった。また、歩行の安定性向上には脚の弾性要素が重要であること、さらに実際の昆虫の形態的特性が安定性確保に重要であることが明らかになった。手応え関数を強化学習の対象とすることで、最小限のフィードバック情報で効率的かつ適応的な跳躍運動を学習することができ、古典的強化学習手法に基づくパフォーマンスを上回ることが明らかとなった[10-14]。

4.7 歩行制御におけるモード生成機序の検討

2次元2足歩行ロボットにおいては、深層強化学習により、1つのパラメータのみで、歩行と走行、そしてそれらの遷移を生成可能な制御則を学習により獲得可能であることが明らかになった。この知見は、実際のヒトなどにおいても異なる歩行モード切り替えは、少数パラメータによる制御で実現されている可能性を示唆する[15]。

4.8 歩行制御における関節間シナジーの形成と加齢による影響

MTCの瞬間に足先の高さのばらつきを抑える関節間シナジーの度合いをUCM解析により定量比較したが、若年者と高齢者の間に統計的有意差は観察されなかった。一方、足先の高さとその分散については高齢者の方が優位に高かった。この結果は、高齢者におけるつまずきの増加は関節間シナジーの低下ではなく、遊脚を支える股関節高の不安定化に起因することを示唆する[16]。

引用文献

[1] C. Yamane, T. Hioki, S. Kaichida, J. Nishii, "Posture control for standing contributes to walking control", Abstracts of the 9.5th international symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, pp. 88-89, 2021, DOI: 10.18910/84884

[2] C. Yamane, S. Kaichida, J. Nishii, "Elucidation of posture control during bipedal walking", Conference Proceedings of 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, 2019, DOI: 10.5075/epfl-BIROB-AMAM2019-23

- [3] 村田 光春, 西井 淳, “立位保持及び歩行運動に共通して用いられる姿勢制御戦略”, 電子情報通信学会技術研究報告, 122(425), pp. 60-65, (2023)
- [4] 村田 光春, 山根 千佳, 西井 淳, “視覚刺激が立位姿勢制御に及ぼす影響”, 電子情報通信学会技術研究報告, 121(390), pp. 42-45 (2022)
- [5] D. Owaki, Y. Sekiguchi, K. Honda, S. Izumi, “Two-Week Rehabilitation with Auditory Biofeedback Prosthesis Reduces Whole Body Angular Momentum Range during Walking in Stroke Patients with Hemiplegia: A Randomized Controlled Trial”, *Brain Sciences*, 11(11), 1461-1461, 2021, DOI: 10.3390/brainsci11111461
- [6] Y. Sekiguchi, D. Owaki, K. Honda, S. Izumi, "Kinetic Interjoint Coordination in Lower Limbs during Gait in Patients with Hemiparesis," *Biomechanics*, 2(3), 436--477, 2022, DOI: 10.3390/biomechanics2030036
- [7] Y. Watanabe, and Y. Sakaguchi., “Effects of a body manipulation of Japanese martial arts on interpersonal correlation of postural sway”, *Plos ONE*, 17(9), e0274294, 2022, DOI: 10.1371/journal.pone.0274294
- [8] 渡部 悠也, 阪口 豊: 武術的立位が身体動揺に与える影響, 日本認知科学会第37回大会論文集, P-53, (2020/9/17).
- [9] D. Owaki, S. Horikiri, J. Nishii, A. Ishiguro, “Tegotae-Based Control Produces Adaptive Inter- and Intra-limb Coordination in Bipedal Walking”, *Frontiers in Neurorobotics*, 15(629595), pp. 1-16, 2021, doi: 10.3389/fnbot.2021.629595
- [10] 大脇大, "手応え制御から創発される多様な脚式ロコモーション", 日本ロボット学会誌, accepted, 2023
- [11] W. Sato, J. Nishii, M. Hayashibe, Dai Owaki, "Leg Morphologies Essential for Environmental Adaptive Hexapod Walking Driven by Reflex-based Intra-limb Coordination," Abstracts of AMAM2023, accepted, 2023
- [12] W. Sato, J. Nishii, M. Hayashibe, D. Owaki, "Morphological Characteristics That Enable Stable and Efficient Walking in Hexapod Robot Driven by Reflex-based Intra-limb Coordination," Proceedings of IEEE ICRA2023, accepted, 2023
- [13] C. Herneth, M. Hayashibe, and D. Owaki, "Learnable Tegotae-based Feedback in CPGs with Sparse Observation Produces Efficient and Adaptive Locomotion," Proceedings of IEEE ICRA2023, accepted, 2023
- [14] J. Nishii, M. Nagahori, D. Owaki, “Joint stiffness contributes to hexapod gait stabilization”, Abstracts of the 9.5th international symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines, pp. 82-83, 2021, doi: 10.18910/84881
- [15] S. Koseki, K. Kutsuzawa, D. Owaki, and M. Hayashibe, “Locomotion Generation with Passive Dynamics via Deep Reinforcement Learning”, *Front. Neurobo.*, vol. 16, 1054239, 2022, DOI: 10.3389/fnbot.2022.1054239
- [16] Y. Hashizume, S. Kaichida, K. Takeda, J. Nishii, “Preservation of Joint Synergy Formation during Walking in Older Adults”, *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, 12(7), pp. 595-601 (2021), DOI: 10.24507/icicelb.12.07.595

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 11件）

1. 著者名 Y. Hashizume, S. Kaichida, K. Takeda, J. Nishii	4. 巻 12(7)
2. 論文標題 Age-Related Changes in Leg Control at Minimum Toe Clearance during Walking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ICIC Express Letters, Part B: Applications	6. 最初と最後の頁 595-601
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24507/icicelb.12.07.595	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 D. Owaki, S. Horikiri, J. Nishii, A. Ishiguro	4. 巻 15
2. 論文標題 Tegotae-Based Control Produces Adaptive Inter- and Intra-Limb Coordination in Bipedal Walking	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurorobotics	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2021.629595	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 Yonatan Hutabarat, Dai Owaki, Mitsuhiro Hayashibe	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 永堀 雅之, 大脇 大, 西井 淳	4. 巻 120(403)
2. 論文標題 関節の弾性要素を活用した反射型六脚歩行制御モデル	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 106-111
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 C. Yamane, T. Hioki, S. Kaichida, J. Nishii	4. 巻 -
2. 論文標題 Posture control for standing contributes to walking control	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Abstracts of the 9.5th international symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines	6. 最初と最後の頁 88-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18910/84884	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 C. Yamane, S. Kaichida, J. Nishii	4. 巻 -
2. 論文標題 Elucidation of posture control during bipedal walking	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Conference Proceedings of 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines	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) 10.5075/epfl-BIOROB-AMAM2019-23	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 村田 光春, 西井 淳	4. 巻 122(425)
2. 論文標題 立位保持及び歩行運動に共通して用いられる姿勢制御戦略	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 60-65
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 村田 光春, 山根 千佳, 西井 淳	4. 巻 121(390)
2. 論文標題 視覚刺激が立位姿勢制御に及ぼす影響	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 42-45
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 D. Owaki, Y. Sekiguchi, K. Honda, S. Izumi	4. 巻 11(11)
2. 論文標題 Two-Week Rehabilitation with Auditory Biofeedback Prosthesis Reduces Whole Body Angular Momentum Range during Walking in Stroke Patients with Hemiplegia: A Randomized Controlled Trial	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Brain Sciences	6. 最初と最後の頁 1461-1461
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/brainsci11111461	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. Sekiguchi, D. Owaki, K. Honda, S. Izumi	4. 巻 2(3)
2. 論文標題 Kinetic Interjoint Coordination in Lower Limbs during Gait in Patients with Hemiparesis	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Biomechanics	6. 最初と最後の頁 436-477
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/biomechanics2030036	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. Watanabe, and Y. Sakaguchi	4. 巻 17(9)
2. 論文標題 Effects of a body manipulation of Japanese martial arts on interpersonal correlation of postural sway	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Plos ONE	6. 最初と最後の頁 e0274294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1371/journal.pone.0274294	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 大脇大	4. 巻 -
2. 論文標題 手応え制御から創発される多様な脚式ロコモーション	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	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) なし	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 W. Sato, J. Nishii, M. Hayashibe, Dai Owak	4. 巻 -
2. 論文標題 Leg Morphologies Essential for Environmental Adaptive Hexapod Walking Driven by Reflex-based Intra-limb Coordination	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Abstracts of AMAM2023	6. 最初と最後の頁 accepted
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 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 W. Sato, J. Nishii, M. Hayashibe, D. Owaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Morphological Characteristics That Enable Stable and Efficient Walking in Hexapod Robot Driven by Reflex-based Intra-limb Coordination	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE ICRA2023	6. 最初と最後の頁 accepted
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 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 C. Herneth, M. Hayashibe, and D. Owaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Learnable Tegotae-based Feedback in CPGs with Sparce Observation Produces Efficient and Adaptive Locomotion	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE ICRA2023	6. 最初と最後の頁 accepted
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 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 田島 寛之, 阪口 豊	4. 巻 120(403)
2. 論文標題 「骨で立つ」: 機能的立位の実験的検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 95-100
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 T. Hioki, J. Nishii	4. 巻 -
2. 論文標題 Contribution of each joint to the inter-joint synergy during walking	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM 2019)	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) 10.5075/epfl-BIOROB-AMAM2019-43	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 J. Nishii, M. Nagahori, D. Owaki	4. 巻 -
2. 論文標題 Joint stiffness contributes to hexapod gait stabilization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Abstracts of the 9.5th international symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines	6. 最初と最後の頁 82-83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18910/84881	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 S. Koseki, K. Kutsuzawa, D. Owaki, and M. Hayashibe	4. 巻 16
2. 論文標題 Multimodal bipedal locomotion generation with passive dynamics via deep reinforcement learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurorobotics	6. 最初と最後の頁 1054239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/fnbot.2022.1054239	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 Yuchen Wang, Mitsuhiro Hayashibe, Dai Owaki	4. 巻 7(4)
2. 論文標題 Prediction of Whole-body Velocity and Direction from Local Leg Joint Movements in Insect Walking via LSTM Neural Networks	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letter	6. 最初と最後の頁 9389--9396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LRA.2022.3191850	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 山根 千佳, 垣内田 翔子, 西井 淳	4. 巻 119(137)
2. 論文標題 歩行中に体幹の揺動を抑える姿勢制御の解明	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電子情報通信学会技術研究報告	6. 最初と最後の頁 29-32
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 -

〔学会発表〕 計12件 (うち招待講演 4件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 山根 千佳, 日置 智子, 垣内田 翔子, 西井 淳
2. 発表標題 立位姿勢制御は歩行時の脚運動制御にも寄与する
3. 学会等名 第30回神経回路学会全国大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大脇 大
2. 発表標題 片麻痺患者の歩行の運動学的理解に基づくモデルベースト・リハビリテーション
3. 学会等名 日本臨床神経生理学会学術大会第50回記念大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西井 淳
2. 発表標題 関節間シナジーに着目した二足歩行のコツの発見
3. 学会等名 第197回生命環境科学系セミナー (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 C. Yamane, S. Kaichida, J. Nishii
2. 発表標題 The role of posture control in walking control
3. 学会等名 第29回神経回路学会全国大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 J. Nishii, M. Ikeda
2. 発表標題 Gait analysis of crawling locomotion of Octopus sinensis
3. 学会等名 9th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Dai Owaki
2. 発表標題 Principal Component Analysis for Whole Body Angular Momentum During Walking in Patients with Stroke
3. 学会等名 The 1st IFAC Workshop on Robot Control (WROC02019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Hioki, M. Goto, J. Nishii
2. 発表標題 Posture control during walking by muscle synergy recruited by plantar information
3. 学会等名 The 40th International Engineering in Medicine and Biology Conference (IEEE EMBS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Nagahori, J. Nishii
2. 発表標題 Contribution of reflexes and Central Pattern Generators to the performance of hexapod locomotion
3. 学会等名 The 40th International Engineering in Medicine and Biology Conference (IEEE EMBS 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大脇 大, 本田 啓太, 関口 雄介, 出江 紳一
2. 発表標題 Auditory Footによる脳卒中患者への長期的歩行リハビリがもたらす全身角運動量の変容
3. 学会等名 第31回自律分散システムシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大脇 大
2. 発表標題 Long-term Effect of Auditory Biofeedback Prosthesis on Walking in Stroke Patients
3. 学会等名 The 2nd International Symposium on Embodied-Brain Systems Science (EmboSS 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡部 悠也, 阪口 豊
2. 発表標題 武術的立位が身体動揺に与える影響
3. 学会等名 日本認知科学会第37回大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西井 淳
2. 発表標題 生体運動の自由度と座標系の問題
3. 学会等名 あなたの知らない「環世界制御学」の世界, 大阪大学 (招待講演)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 四津 有人, 大脇 大, 船戸 徹	4. 発行年 2018年
2. 出版社 東京大学出版会	5. 総ページ数 272
3. 書名 身体性システムとリハビリテーションの科学1 第5章「運動制御」	

〔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	阪口 豊 (Sakaguchi Yutaka) (40205737)	電気通信大学・大学院情報理工学研究科・教授 (12612)	
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
---------	---------