

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04700

研究課題名(和文) 運動制御メカニズムのパラメトリック表現とその変容によるアクシデントの推定と予防

研究課題名(英文) Parametric Representation of Motion Control Mechanism and Its Modification for Simulation and Prevention of Accident

研究代表者

村井 昭彦(MURAI, Akihiko)

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：90637274

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、実験倫理上もしくは確率的に実験室で実現困難なアクシデントのシミュレーション・解析を実現した。実験室で得られるディープデータと運動制御メカニズムをパラメトリックによく表現するシンプルな運動表現モデルの関係を表現した多層式運動力学シミュレーションを開発し、平坦な走路の走行データから走路に段差があった際の挙動や身体への負荷を解析した。さらに、環境やモデルの変化が表現できることから、運動力学的な介入によるヒトのパフォーマンスの変容や怪我リスク低減のシミュレーションを実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

2017年には人間中心設計のためのデジタルヒューマン技術として本研究を始めたが、現在は人間拡張技術への展開が進んでいる。特に本研究で開発した多層式運動力学シミュレーションは、運動表現モデルが低計算コストであることからシミュレーションのリアルタイム化を実現し、運動への介入を実現する。今後、本研究の成果が実現するリアルタイム化によるヒトの運動への介入を基盤とし、ヒトのパフォーマンス向上や怪我リスク低減に資する人間拡張技術を進めたい。

研究成果の概要(英文)：This research has realized a simulation and analysis of accidents that are difficult to realize in laboratories due to experimental ethics or probability. We developed a multi-layered kinodynamics simulation that represents the relationship between deep data obtained in laboratories and simple motion-representation models that parametrically represent motor control mechanisms well, and analyzed behaviors and body loads when there are steps on running paths from measured running data on a flat running path. Furthermore, since the simulation can represent changes in environment and models, we simulated transformations of human performance and injury risk reductions by kinematic interventions.

研究分野：人間拡張学

キーワード：運動生成・制御メカニズム バイオメカニクス アクシデント推定・予防

1. 研究開始当初の背景

転倒はその後のQOLの低下や治療・介護にかかる医療費の観点から、超高齢社会を迎える我が国にとって早期の改善が求められる。

医療やリハビリテーション、スポーツ科学への適用を目的として、ヒトの運動計測や解析の研究が進められている。申請者は解剖学的知見に基づいた筋骨格モデルの構築、運動力学計算を用いた筋活動等の体性感覚情報の推定や可視化を行ってきた。筋骨格モデルによりヒトの運動解析において個々の筋や関節への負担の定量的な推定を可能にする。これは医師や理学療法士、トレーナの経験や判断に頼っていた診断、リハビリテーション、トレーニングを定量的なものに変えるブレイクスルーになりうる。現在バイオメカニクスやスポーツ科学等の分野で行われている運動解析では、実験室において光学式モーションキャプチャやフォースプレート等を用いて運動力学面、生理学面でデータ計測がなされ、DhaibaWorks [Endo et al. 2014]やOpenSim [Delp et al. 2000]等運動力学計算用ソフトウェアを用いて関節角度や関節トルクの計算、筋活動の推定等が行われている。特に関節角度等の運動特性のみでなく関節トルクや筋張力等の力学特性を解析することで、スポーツのパフォーマンスや関節への負荷の推定が可能になる。

しかし、上記従来手法では実現・計測された運動のみが解析可能であり、ケガや転倒、疲労等実験倫理上もしくは確率的に実験室で実現困難なヒトの危険運動(アクシデント)の運動学的解析は不可能である。また、詳細なヒトの運動の直接的な変容とその運動学的シミュレーションは、ヒトの運動の自由度の多さや接触力推定等複雑な力学環境から困難である。

2. 研究の目的

上記の背景およびこれまでの研究結果をもとに、本研究では実験倫理上もしくは確率的に実験室で実現困難なヒトのアクシデントのシミュレーション・解析を実現する。研究期間内に次のことを明らかにする:

実験室で得られるヒトの運動・接触力のディープデータに対し、

- A) 運動制御メカニズムをパラメトリックによく表現するシンプルな運動表現モデルの構築、
- B) ディープデータによるシステム同定等による運動制御メカニズムのパラメータの同定、そして、映像データや簡易センサ等を用いたビッグデータによる検証を伴った
- C) パラメータ調整や最適化による、シンプルな運動表現モデルにおける運動の変容、
- D) 運動表現モデルの運動から詳細なヒトの運動の復元とその解析。

A)、B)を実験室で計測された歩行のディープデータに適用することで通常歩行の表現モデルおよび運動制御メカニズムを構築する。そしてC)、D)で環境パラメータや運動表現モデルのパラメータを調整することで転倒等アクシデントのシミュレーションを実現し、結果を映像データや簡易センサ等から得られるアクシデントを含むビッグデータを用いて検証する。これにより、妥当なヒトのアクシデントを推定し、その運動学的解析を可能にする。またアプリケーションとして、早期の改善が望まれている高齢者の転倒予防をテーマとし、環境や運動表現モデルのパラメータ調整による転倒しづらい歩行パターンの可視化を実現する。

この着想は、神経筋ネットワークの構築や同定、そしてそのネットワークをコントローラとした順動力学計算による運動生成やつまづきのシミュレーションに関する研究を行ってきた申請者が、産業技術総合研究所での研究においてそのコンセプトを実用面から考えたこと、また歩行中の転倒リスク評価等を行うグループ[Kobayashi et al. 2015]との運動計測や解析等に携わった経験により得られたものである。

本研究は、実験室では実現・計測できないアクシデントの運動学的解析を実現する点で斬新なアイデアを有する。従来の運動計測・逆運動力学計算に基づく運動解析では、解析対象は実験室において実現、計測可能な運動に限られ、発現確率が低いケガや転倒、疲労等に至るアクシデントの解析は困難である。本研究では実験室で計測されるヒトの通常運動のディープデータに基づきそれらをパラメトリックによく表現する運動表現モデルおよび運動制御メカニズムを構築し、それを映像データや簡易センサ等で計測されるビッグデータで検証しつつ変容させることで、実験室で実現困難なヒトのアクシデントをシミュレーションする。特に、詳細な運動の直接的な変容とその運動学的シミュレーションが自由度や接触力の問題から困難であるのに対し、詳細な運動をディープデータにもとづいて運動表現モデル、運動制御メカニズムを用いてパラメトリック表現した上で、ビッグデータを用いて検証しつつ少数パラメータの調整により変容させる点が特色である。また運動制御メカニズムおよび運動表現モデルにおけるパラメータの調整、変容を連続的に変化させることで、従来経過観測や原因究明が困難であったケガや故障に至るプロセスの過程のシミュレーションおよび解析を可能とする。このような実験室での実現・計測が困難なヒトのアクシデントの運動学的解析技術は、運動力学解析等工学的な意義のみでなく、医療や福祉への展開が期待される。

申請者らは筋をボリュームでモデル化した詳細な筋骨格モデルを構築し、その運動力学解析

やリアルタイムアプリケーションの開発を行っている。また多被験者を対象とした運動計測やその解析も行っており、研究期間内に本計画を達成可能な準備を整えている。

このように本研究計画によって、ヒトのアクシデントのシミュレーション・解析を可能にし、さらにはアプリケーションの展開により高齢者の転倒予防による QOL の向上や治療・介護の医療費の削減へ寄与することが期待される。

3. 研究の方法

本研究計画では、計測された運動のディープデータを用いて運動表現モデルや運動制御システムを構築することで、ケガや転倒、疲労等実験倫理上もしくは確率的に実現が困難な運動を生成する。また画像データや簡易センサにより得られるビッグデータを用いた検証により、生成される運動の妥当性を確認する。本研究計画の詳細を次に示す。

- A) ヒトの運動力学特性をパラメトリックによく表現する運動表現モデルの構築：
まずヒトの通常運動のディープデータを計測する。実験室において光学式モーションキャプチャを用いてヒトの歩行を精緻に計測する。また同時にフォースプレートによりヒトが環境から受ける接触力を計測する。デジタルヒューマン研究グループにて開発している DhibaWorks およびその上に構築している筋骨格モデルを用いることにより、逆運動学計算から関節角度・速度・加速度等運動学データを、逆運動学計算から関節トルクデータを得る。次に、ロボティクスやスポーツ科学で用いられるモデルを発展させ、計測される通常運動の運動力学特性をパラメトリックによく表現する運動表現モデルを構築する。ここでは全身をバネ・マス系で表現する SLIP モデル [McMahon et al. 1990] をベースに転倒等対象とするアクシデントの再現に必要な部位を詳細にしたモデル [Geyer et al. 2010] を構築する。モデルの妥当性は B) におけるモデルパラメータ同定の際のモデル化誤差をもとに評価し、誤差が大きい場合はモデルの修正を行う。
- B) 運動制御システムのパラメータの同定：
A) で計測されるディープデータを用いて、運動表現モデルのパラメータを同定する。例えば前述の SLIP モデルの場合は、接触力を COM (質量中心) と接触点間のバネ・ダンパ係が出力するとし、バネ・ダンパ係数を運動及び接触力から二乗誤差最小等の最適化により同定する。本研究ではこのモデルを一般化し、接触力+関節トルクを運動表現モデルのアクチュエータが出力するとし、アクチュエータの特性を同定する。また同定後のモデル化誤差を評価し、誤差が大きい場合はモデルの修正を行う。
- C) パラメータ調整や最適化による、シンプルな運動表現モデルにおける運動の変容：
B) で得られる運動表現モデルや環境のパラメータの調整により、運動の変容を実現する。例えば障害物でつまづいたり床で滑ったりする場合には環境のパラメータを調整し、また筋の衰え等による転倒を考える場合には運動表現モデルのパラメータを調整し、順運動学シミュレーションを行う。一般的にヒトの運動は自由度が多く、また接触力推定は不安定になりやすく、詳細なヒトの運動を直接変容してシミュレーションを行うのは困難である。本研究ではヒトの運動力学特性をパラメトリックによく表現するシンプルな運動表現モデルを介することでこの問題を解決している。またパラメータの少なさは、E) での運動の最適化も可能にする。
ここで、スプリントのような周期運動だけでなく、本研究が対象とするアクシデントに同様のアプローチが適用できるか確認する必要がある。アクシデントは実験室での実現・計測が困難なため、本研究では C) と D) で異なるデータで運動の妥当性を確認する。C) では前述の簡易センサを用いて長時間運動計測を行い、含まれるアクシデントのデータと生成される運動表現モデルの運動を、COM の運動や接触力等少数のパラメータを用いて比較する。
- D) 運動表現モデルの運動から詳細なヒトの運動の復元とその解析：
C) で得られる運動表現モデルの運動を詳細なヒトの運動に復元する。ここでは運動表現モデルとデジタルヒューマンモデル上に共通の特徴点を配置し、また COM 等の幾何学拘束や COP (圧力中心) 等の力学拘束を考慮した運動力学計算により詳細なヒトの運動を生成する。生成される詳細なヒトの運動が実際にヒトに発現するか、運動の妥当性の検証が重要である。ここで対象とする運動はケガや転倒、疲労等実験倫理上もしくは確率的に実現が困難なアクシデントであり、実験室での発現は期待できない。現在、多くのスポーツは撮影され、また街中には防犯等を目的としたカメラが配置されている。このようなビッグデータは入手が比較的容易で、かつケガや転倒、疲労等の映像が含まれる。検証の第一ステップとしては、ディープデータの変容により得られる運動とビッグデータに含まれる運動の主観的な比較を行う。
- E) アプリケーションの開発 (転倒予防をテーマとする転倒しづらい歩行パターンの可視化)
本研究ではヒトのアクシデントのシミュレーションを行うが、社会に貢献するには結果を実用面につなげることが重要である。ここでは、早期の改善が望まれる高齢者の転倒の予防をターゲットとしたアプリケーションを開発する。A) ~D) で通常運動から妥当な転倒を生成するパイプラインが作成される。また C) において簡易センサにより個人の歩行を容易に計測する環境が開発される。そして下記の流れで転倒しづらい歩行パターンの可視化を実現する：

- 1) 簡易センサにより個人の定常歩行運動を計測、個人の運動制御メカニズムを同定、
- 2) 様々な環境パラメータでシミュレーションを行い、転倒しづらいパラメータを推定、
- 3) 詳細なヒトの運動に復元したものをフィードバック。これにより個人の転倒しづらい歩行を提示する。アプリケーションの使用前後で実験室環境において精緻に運動計測を行い、ディープデータの解析により運動の変容や効果を確認する。

4. 研究成果

- A) ヒトの運動力学特性をパラメトリックによく表現する運動表現モデルの構築：

ヒトのディープデータと運動力学特性をパラメトリックによく表現する運動表現モデルの関係を表現する多層式運動力学シミュレーション (図 1) を開発した。これは、モーションキャプチャで精緻に計測されたヒトの運動およびフォースプレートで計測されたヒトが環境から受ける接触力を、デジタルヒューマン技術を用いて解析し、運動学的に支配的なパラメータ (ここでは COM 挙動および接触力) を抽出する。そして、これらのパラメータをよく表現するパラメトリックに表現するモデルとして、SLIP モデルを当てはめる。これ

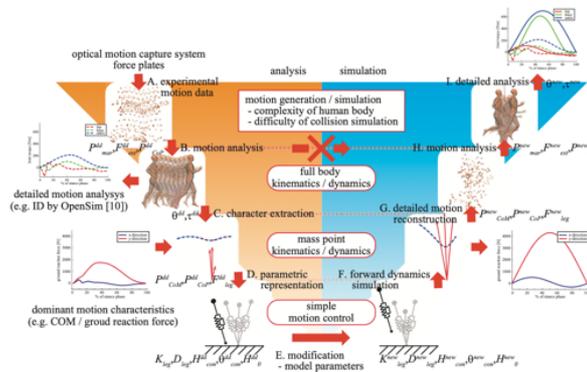


図 1：多層式運動力学シミュレーション

により、ヒトが膨大な自由度を持っていること、接触力の推定が不安定になりがちであることから困難であったヒトの運動の順運動力学シミュレーションを可能として、運動学的に支配的な低次元における運動シミュレーション、運動生成を実現した。上記の結果は、IEEE ICRA2018 (Google Subcategory #1) [引用文献①]に採択され発表した。

- B) 運動制御システムのパラメータの同定：

計測された走行運動データに対して A) のフレームワークを適用し、パラメータの同定を行なった (図 2)。その結果、鉛直方向の接触力を平均誤差 $8.18E+01N$ 、COM 位置を $3.31E-01m$ 、で同定できることを明らかにした。また、このモデルを一般化したアクチュエータモデルを構築したが、様々な運動データにおいて SLIP モデルを超える結果が得られなかったため、本研究では SLIP モデルを適用した。この他、義足スプリントや歩行等においても SLIP モデルを用いてパラメータの同定を行い、いずれも同程度の誤差で同定できることを確認した。

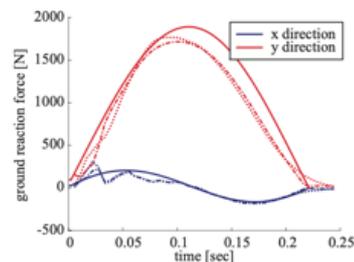


図 2：パラメータ同定結果

- C) パラメータ調整や最適化による、シンプルな運動表現モデルにおける運動の変容：

- D) 運動表現モデルの運動から詳細なヒトの運動の復元とその解析：

環境や運動表現モデルのパラメータを変更することでシンプルな運動表現モデルにおける運動の変容をシミュレーションし、その結果を詳細なヒトの運動に復元することで、全身の詳細な運動力学解析を実現した。ここでは主に下記の 2 つのケースについて解析した。

ア) 走行において段差があった場合のシミュレーションを行なった (図 3)。これは平坦な走路の走行データをもとに SLIP モデルのパラメータを同定し、走路に段差があった場合の運動の変容を運動表現モデルにより順運動力学シミュレーションにより生成、詳細なヒトの運動に復元した。この結果から、段差が大きくなるにつれて床からの接触力が大きくなるのみでなく、全身の運動力学解析をすることにより各関節への負荷を明らかにした。この結果より、段差が大きくなるにつれて膝関節 > 足首関節 > 股関節の順に負荷が大きくなる (0.5m の段差にて、 $5.42E+02\%$ 、 $1.45E+02\%$ 、 $9.23E+01\%$) ことが分かった。この知見は、同様のコンディション (トレイルルラ

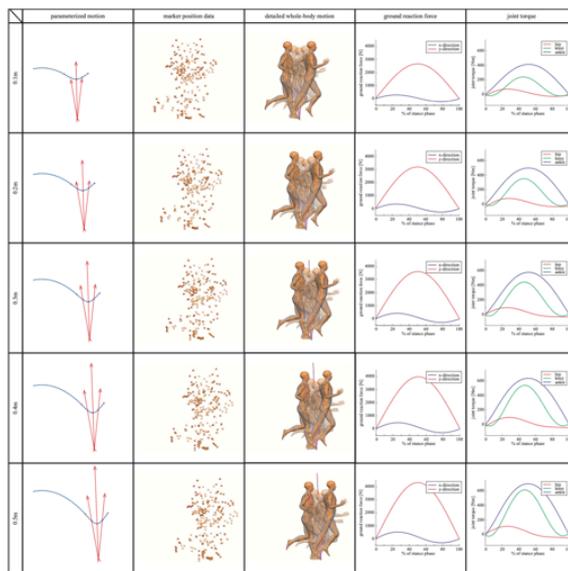


図 3：環境の変化による運動変容

ンニング等)において効果的に怪我のリスクを低減するための保護の指標となる。

イ) 義足スプリントにおいて、義足のパラメータが変化した場合のパフォーマンスの変化をシミュレーションした(図4)。これは、実験協力者が装着する義足でのスプリントデータをもとにSLIPモデルのパラメータを同定し、義足の物性パラメータ(弾性および粘性)を変化させた場合の運動の変容を運動表現モデルにより順動力学シミュレーションにより生成、詳細なヒトの運動に復元した。この結果より、義足の弾性を高くするとパフォーマンスが上がるという一般的に考えられている知見と一致した結果が得られ、全身の運動力学解析からパフォーマンスを上げるには股関節伸展のトルクを上げる=ハムストリングを鍛えるのが効果的との指標が得られた。また、2種類の義足を装着できる実験協力者のスプリントデータより、上記のパフォーマンスの変容のシミュレーションが妥当であることを確認した。この結果は、[引用文献②]に採択され、日本機械学会部門英文誌表彰を受賞した。

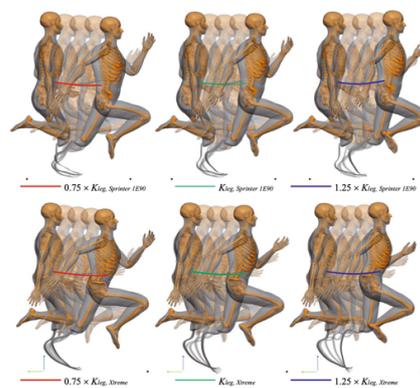


図4：義足の変化による運動変容

E) アプリケーションの開発：

本研究で開発した多層式運動力学シミュレーションを下記の3つのケースに適用した。

ア) 走行における体幹・骨盤回旋のアシストに適用した。アシストスーツのアシスト効率を評価するために三次元拡張SLIPモデルを開発し、走行データを解析することで、体幹・骨盤アシストスーツが走行動作をアシストする効果があることを確認した[引用文献③]。

イ) 静止立位における動きのやわらかさに適用した。リアルタイムCOP動揺計上のヒトの挙動を倒立振子でモデル化し、環境からの外力とCOPの挙動の関係を解析することで、COP動揺と同位相の介入をして振幅を減衰させることで動きがやわらかくなることを確認した[引用文献④]。

ウ) 歩行時の着地時衝撃力低減のための環境の運動力学制御に適用した。イ)で得られた知見をダイナミックな運動に展開し、歩行時のトレッドミルの加減速により介入する際の運動の変容をSLIPモデルを用いて順動力学シミュレーションした。この結果より、ある特定の加減速パターンを適用したときに着地時の接触力が小さくなり、怪我のリスクが低減できることを確認した[引用文献⑤]。

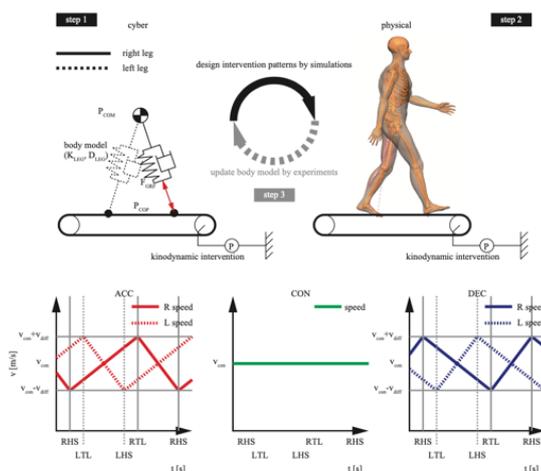


図5：運動介入によるパフォーマンス変容

2017年には人間中心設計のためのデジタルヒューマン技術として本研究を始めたが、現在は人間拡張技術への展開が進んでいる。特に本研究で開発した多層式運動力学シミュレーションは、運動表現モデルにおいて低計算コストを実現し、シミュレーションのリアルタイム化を実現し、運動への介入を実現する。今後、本研究の成果が実現するリアルタイム化による介入を基盤とし、ヒトのパフォーマンス向上や怪我リスク低減に資する人間拡張技術を進めたい。

<引用文献>

- ① Murai, A., & Tada, M. (2018, May). Multilayered kinodynamics simulation for detailed whole-body motion generation and analysis. In 2018 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (pp. 581-587). IEEE.
- ② Murai, A., Hobara, H., Hashizume, S., Kobayashi, Y., & Tada, M. (2018). Can forward dynamics simulation with simple model estimate complex phenomena?: Case study on sprinting using running-specific prosthesis. ROBOMECH Journal, 5(1), 1-8.
- ③ Ren, H., Tanaka, T., Hashimoto, K., & Murai, A. (2020, September). Analysis of Running Expansion with Trunk and Pelvic Rotation Assist Suit by Using SLIP Model. In Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (pp. 458-466). Springer, Cham.
- ④ Murai, A. (2018, July). Impedance Model of the Interaction Between Environment and Human Body and Its Modification Design. In 2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC) (pp. 1805-1808). IEEE.
- ⑤ 村井昭彦, 鷺野壮平, & 持丸正明. (2021, March). DATSURYOKU: 身体環境インタラクションが筋活動をデザインする. 第26回ロボティクスシンポジウム予稿集, 13-15.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 久野元気, 橋詰賢, 小林吉之, 村井昭彦, 小林俊樹, 中島求, 保原浩明	4. 巻 77
2. 論文標題 Factors associated with a risk of prosthetic knee buckling during walking in unilateral transfemoral amputees	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 GAIT & POSTURE	6. 最初と最後の頁 69-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gaitpost.2020.01.002	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 芳賀真, 保科克行, 小山博之, 宮田哲郎, 池上洋介, 村井昭彦, 中村仁彦	4. 巻 71
2. 論文標題 Bicycle exercise training improves ambulation in patients with peripheral artery disease	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JOURNAL OF VASCULAR SURGERY	6. 最初と最後の頁 979-987
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvs.2019.06.188	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 Murai A., Hobara H., Hashizume S., Kobayashi Y., Tada M	4. 巻 5(1)
2. 論文標題 Can Forward Dynamics Simulation with Simple Model Estimate Complex Phenomena?: Case Study on Sprinting Using Running-specific Prosthesis	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40648-018-0108-8	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8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 5件）

1. 発表者名 橋本光太郎, 田中孝之, 任鴻遠, 村井昭彦
2. 発表標題 拡張SLIPモデルに基づく体幹・骨盤回旋運動補助による走行アシストの評価
3. 学会等名 第25回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Murai A., Tada M
2. 発表標題 Multilayered Kinodynamics Simulation for Detailed Whole-body Motion Generation and Analysis
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automations 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Murai A.
2. 発表標題 Impedance Model of the Interaction Between Environment and Human Body and Its Modification
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Murai A., Shiogama C., Ming D., Takamatsu J., Tada M., Ogasawara T.
2. 発表標題 Estimation of Running Injury Risks Using Wearable Sensors
3. 学会等名 36th International Conference on Biomechanics in Sports 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Murai A.
2. 発表標題 Modeling and Analysis of Individual with Lower Extremity Amputation Locomotion Using Prosthetic Feet and Running-specific Prostheses
3. 学会等名 The 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC '17 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 村井 昭彦
2. 発表標題 Can Forward Dynamics Simulation with Simple Model Estimate Complex Phenomena?: Case Study of Sprinting Using Running-Specific Prosthesis
3. 学会等名 第23回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ren, H., Tanaka, T., Hashimoto, K., & Murai, A.
2. 発表標題 Analysis of Running Expansion with Trunk and Pelvic Rotation Assist Suit by Using SLIP Model
3. 学会等名 Symposium on Robot Design, Dynamics and Control (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村井昭彦, 鷲野壮平, & 持丸正明
2. 発表標題 DATSURYOKU: 身体環境インタラクションが筋活動をデザインする
3. 学会等名 第 26 回ロボティクスシンポジア予稿集
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Yamane K., Murai A.	4. 発行年 2018年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 20
3. 書名 Humanoid Robotics: a Reference	

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 特許権	発明者 村井昭彦, 多田充徳	権利者 産業技術総合研究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-125990	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------