

令和 5 年 6 月 16 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H02111

研究課題名(和文)筋シナジーと動的プリミティブの運動理論に基づく歩行訓練とロボット療法

研究課題名(英文)Muscle Synergies and Dynamic Primitives in Robotic Gait Training

研究代表者

平井 宏明(Hirai, Hiroaki)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・准教授

研究者番号：60388147

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：現在、我が国のロボット療法は導入期～成長期にあり、臨床エビデンスの蓄積によって真に効果的な運動療法の確立が求められている。本研究では、脳卒中リハビリテーションを「身体協調に基づく中枢神経系の機能回復」と捉え、対象者の身体協調の再獲得を促しながら、歩行再建の手助けをする新しいロボット訓練システムの開発を行った。同システムを用いて、筋シナジーと動的プリミティブの運動理論に基づく介入効果が検証された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の下肢ロボット療法が科学的根拠に乏しい要因は、ロボット制御技術の未熟さに因るものではなく、対象患者の運動制御や運動学習の理解を伴わない誤った介入にある。研究成果は、病的歩行の運動制御において本質的な役割を担う筋シナジーと動的プリミティブの概念を核に、その運動理論に基づく訓練法を具現化した。下肢ロボット療法が抱える現状の打開に貢献するものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：Robotic therapy, especially for lower extremity function, is currently in the introduction and growth stages of development. The next generation of robot-aided neurorehabilitation requires assessing the effect of interventions correctly and collecting clinical evidence to develop an efficacious intervention. Stroke rehabilitation requires motor coordination. By combining the method of "synergy assessment" and the "robotic therapy" developed by the Osaka University and MIT researchers' team, we attempted to develop a novel robotic-intervention test and validated it in the framework of muscle synergies and dynamic primitives.

研究分野：ロボット工学

キーワード：運動制御 運動学習 運動訓練 人間機械システム リハビリテーション スポーツ

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、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

日常動作の再獲得と社会復帰を促す脳卒中リハビリテーションでは、早期の機能回復や自立を目的として、発症から数ヶ月～半年の間、集中した運動訓練が実施される。短期間に質の高い治療が求められる上記背景を受け、近年、患者と病院の双方に恩恵をもたらさうる次世代技術としてロボット療法に注目が集まっている。しかし、現在のロボット療法は黎明期にあり、訓練効果の確かな科学的根拠を有するものは MIT Manus を含め、数種の上肢訓練ロボットに限られる。2016年の米国心臓協会/米国脳卒中協会ガイドラインによれば、上肢訓練ロボットは Benefit >> Risk (it is reasonable) に対し、下肢訓練ロボットは Benefit Risk (may be considered) であり、後者は危険すら伴うとされる。現状、下肢訓練ロボットの治療効果は従来の理学療法を超えるものではなく、訓練方法そのものを一から見直す必要がある。(例えば、健常者の運動学パターンに追従するように訓練ロボットで患者の麻痺肢を強制的に動かしてもその効果は期待できない。)ロボット療法の先駆的研究で知られる Krebs は、こうした現状はロボット制御技術の未熟さに起因するものではなく、むしろ対象患者の運動制御や運動学習の理解を伴わない誤った介入に因る所が大きいと指摘している。すなわち、現状を打開するには、身体の運動制御や運動学習において本質的な以下の学術的「問い」について再考する必要がある。

- Q1 脳はどのような変数を操作し、身体運動を実現しているのか。
- Q2 脳内でこれらの変数はどのように符号化されているのか。
- Q3 これらの符号がどのように獲得され、保持されるのか。
- Q4 この符号獲得に最適な訓練はどのようなものなのか。

2. 研究の目的

上記の「問い」Q1, Q2 に対し、次の仮説を立てた。

- H1 脳は身体の「機械インピーダンス」と「平衡点」に関する2種類の変数を操作し、所望の身体運動を実現している。
- H2 これらの変数は筋群活動の協調性を表す「筋シナジー」として符号化されている。

また、本仮説に従えば

- T3 運動機能の回復において筋シナジーが獲得・保持される過程を解析することで、
- T4 身体協調の再獲得を促進する最適なロボット訓練

の道が拓けるのではないかと予想される。そこで本研究では、現在、科学的根拠が乏しい下肢ロボット療法の歩行訓練を対象に、「H. 運動制御・運動学習仮説の検証」、「T. 仮説に基づく介入とその効果の試験」を研究の目的とする。(H: Hypothesis, T: Test)

3. 研究の方法

本研究では、研究課題を小課題に分割し、個別の成果を統合し体系化することで目的の達成を目指した。具体的に以下の3つの技術課題を設定した。

(1) 診断 — 異常な身体協調の定量化

歩行運動は、環境と断続的な力学的相互作用を繰り返しながら、両脚の下肢筋群の協調が求められる高度な随意運動である。ここでは、軽～中程度の脳卒中患者の歩行訓練を想定し、体重免荷歩行に対して、健常者と脳卒中患者の身体協調の違いを明確にすることから始める。解決の糸口は、研究代表者らの有する「筋シナジー解析技術」から見出せる。筋電図、運動学、床反力等の情報から算出される解析結果(筋シナジー、機械インピーダンス、平衡点)を元に、健常者の多自由度筋協調モデルを構築し、理想となる身体協調をモデルより定式化した後、理想的な身体協調と脳卒中患者の身体協調の差異を定量的に評価する。若年健常者、高齢健常者および脳卒中患者(健側・麻痺側)の身体運動において、これらの差異を明確にすることは、下記の介入やその効果の評価に有益な情報を与える。

(2) 治療 — 正常な身体協調の再獲得を促進する運動介入

下肢訓練ロボットの訓練効果を示唆する報告がいくつか存在するものの、未だに 端点支援型、及び 関節支援型のいずれの形式においても、従来の理学療法以上の治療効果は明らかではなく、効果的な介入の探索と科学的根拠の蓄積が求められている。ここでは、サドル支持型体重免荷装置とロボット制御された左右分離型トレッドミルによる端点支援(図 1C-a,b)と、足

関節筋群への機能的電気刺激（図1C-c）による筋・関節支援を組み合わせることによって、上記形式の混合型介入を実現し、症状に応じた訓練（動作点の機械インピーダンス及び平衡点制御の補助/抵抗）を実施する。第一の介入は、対象の股下部を支持し体重

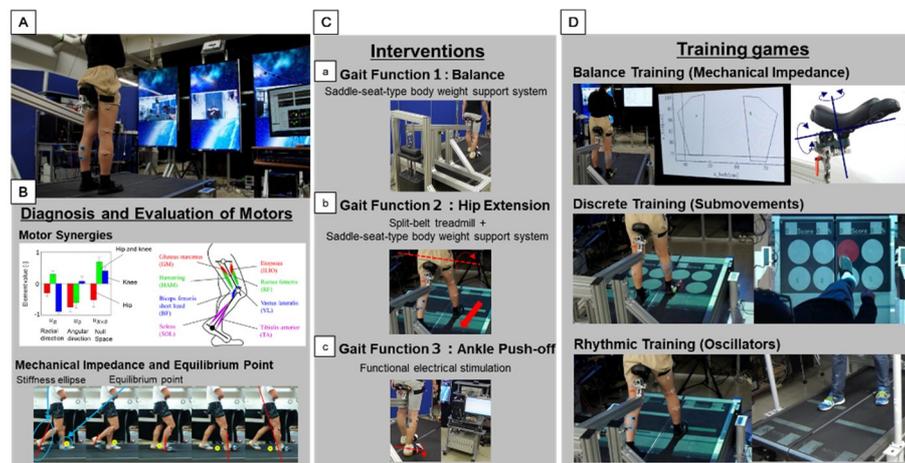


図1：筋シナジーと動的プリミティブの運動理論に基づく歩行訓練

を軽減しながら、股部と（トレッドミル上の）足部との相対位置変化を促し、対象の「バランス制御」と「股関節伸展」の訓練を可能にする。第二の介入は、「蹴り出し」をはじめとする足関節周りの歩行機能やバランス機能を訓練する。本装置は対象の前方と足元に映像を投影でき、患者の注意を操作しながら視聴覚によるフィードバック情報の提供が可能である（図1A, D）。これらの機能により、動的プリミティブの概念に基づく3つの訓練、すなわち、バランス訓練（Mechanical Impedance Training）、離散運動訓練（Submovements Training）、周期運動訓練（Oscillators Training）が実施される（図1D、上から足圧中心移動訓練、踏み出し訓練、周期ステップ訓練）。

（3）効果 — 介入効果の科学的根拠の獲得

上記の介入の下、所望の運動を実現するために筋群活動がどのように組織化され、協調関係が創発されていくのかを筋シナジー解析技術（図1B）で診断することにより、身体協調が再獲得・保持される過程を解析する。また、運動訓練の効率を高める介入プロトコルを身体協調の観点から考察し、歩行介入訓練法として確立する。解決の糸口は、筋シナジー解析技術と動的プリミティブの概念に基づく訓練にある。

4. 研究成果

ロボット療法は患者への介入量を正確に制御し記録することができるため、リハビリテーションにおける中枢神経系の可塑性、回復機序を運動レベルで系統的に解析することが可能である。提案システムは介入と効果に関する詳細な記録の蓄積に貢献し、得られる科学的根拠は臨床における豊富な経験則を裏付ける理論構築及び新しいリハビリテーション技法の確立に役立つものと考えられる。収集されたデータの詳細な解析により、病的歩行の運動制御に本質的な役割を担うと考えられる動的プリミティブを評価する新しいバイオマーカの提案に至った（図2）。また、記録されたデータは数値としてだけでなく、シナジー制御されたヒト型筋骨格ロボットに機械インピーダンスと平衡点の情報を移植することで異常歩行を物理的に再現し、機能改善の検討に役立ても可能である（図3）。これらの成果は、筋シナジーと動的プリミティブの2つの運動理論を繋ぐとともに、同理論に基づく運動訓練法の具現化を可能とした。

さらに、同手法を歩行以外の多様な身体運動（ペダル漕動作、走行、疾走、到達運動）の解析や訓練へ適用し、本理論に基づく運動の評価、介入、およびその周辺技術について科学的基盤の強化と深化を図った。結果はリハビリ、スポーツをはじめとする身体の運動制御や運動学習に関わる幅広い分野への技術適用の可能性を示唆した。日米共同で実施された上記一連の研究成果と関連技術は、学術論文6件、学会発表52件（国外13件、国内39件）、図書2件（国外1件、国内1件）、特許取得5件（米国2件、国内3件）にまとめられている。なお、取得特許については、出願日が前身研究の期間内であったため、下記には記載されていない。

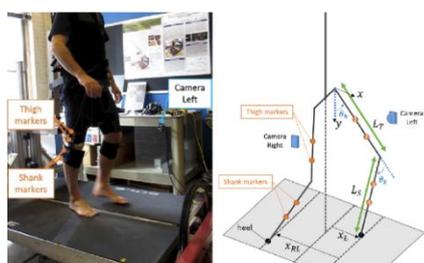


図2：MIT-Skywalker 上の多様な歩行における動的プリミティブ解析

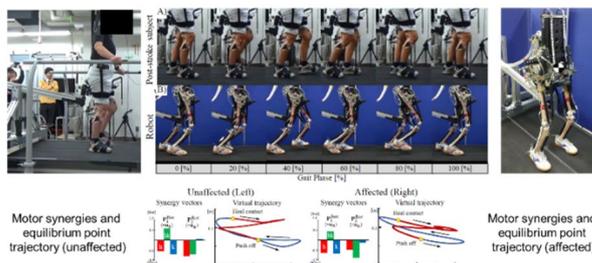


図3：シナジー制御された筋骨格ロボットによる脳卒中後片麻痺歩行の再現

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Rui Moura Coelho, Hiroaki Hirai, Jorge Martins, and Hermano Igo Krebs	4. 巻 12(1)
2. 論文標題 Biomarkers for rhythmic and discrete dynamic primitives in locomotion	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 20165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-022-24565-z	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 野呂和主, 平井宏明, 岡本英也, 古川大輔, 上向井千佳子, 長尾裕史, 金子靖仙, 堀開登, 山本慧, 山田直人, 彌島卓, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs	4. 巻 40(3)
2. 論文標題 10-11歳男児の地上全力疾走における左右脚の非対称な運動制御	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 259-262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.40.259	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 Kazuhiro Matsui, Yuya Suzuki, Keita Atsumi, Miwa Nagai, Shotaro Ohno, Hiroaki Hirai, Atsushi Nishikawa, and Kazuhiro Taniguchi	4. 巻 22(19)
2. 論文標題 Earable (OMEGA): A novel clenching interface using ear canal sensing for human metacarpophalangeal joint control by functional electrical stimulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 7412
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s22197412	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 E. Watanabe, H. Hirai, and H. I. Krebs	4. 巻 34(5)
2. 論文標題 Equilibrium point-based control of muscle-driven anthropomorphic legs reveals modularity of human motor control during pedaling	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 328-342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2019.1708790	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 M. Uemura and H. Hirai	4. 巻 16(5)
2. 論文標題 Standing and stepping control with switching rules for bipedal robots based on angular momentum around ankle	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Humanoid Robotics	6. 最初と最後の頁 1950022-1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1142/S0219843619500221	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 鎌田一平, 植村充典, 平井宏明, 宮崎文夫	4. 巻 139(9)
2. 論文標題 起立から歩行にいたる一連の動作の位相面解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 電気学会論文誌C (電子・情報・システム部門誌)	6. 最初と最後の頁 1020-1026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejieiss.139.1020	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 -

[学会発表] 計52件 (うち招待講演 1件 / うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Kazuto Noro, Asumi Takeichi, Hiroaki Hirai, Hideya Okamoto, Daisuke Kogawa, Chikako Kamimukai, Yasunori Kaneko, Noriyuki Tabuchi, Shoji Kinoshita, Yuta Miyajima, Yusuke Yashima, Hirokazu Kuga, Satoru Yamamoto, Naoto Yamada, Kazuhiro Matsui, Atsushi Nishikawa, and Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 Physiological markers of motor improvement following five-month sprint training in young boys
3. 学会等名 The 11th International Symposium on Adaptive Motion of Animals and Machines (AMAM2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hiroaki Hirai
2. 発表標題 Understanding and exploiting neuromuscular coordination: a robotics-based approach
3. 学会等名 The 16th MEI International Symposium: Neuromodulation and Neuroprosthetic Technologies for Improving Human Lives (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tetsuya Ando, Yuto Okamoto, Kazuhiro Matsui, Keita Atsumi, Kazuhiro Taniguchi, Hiroaki Hirai, and Atsushi Nishikawa
2. 発表標題 Visual EMG biofeedback system in a virtual reality space for relearning internal models: case studies focusing on equilibrium point velocity
3. 学会等名 2023 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊泰良, 平井宏明, 原田拓実, 三上竣平, 日野匠太郎, 八島侑祐, 野呂和主, 久賀紘和, 宮島祐太, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 ペダル漕動作における下肢筋群の協調構造の崩壊と運動性能 構成論的アプローチ
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日野匠太郎, 平井宏明, 淡媛美子, 山根駿, 渡邊泰良, 八島侑祐, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 VR環境下における人間機械系の機械動特性の変化に伴う人間の適応的運動制御 運動制御特性の方向依存性
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 八島侑祐, 平井宏明, 野呂和主, 渡邊泰良, 日野匠太郎, 久賀紘和, 宮島祐太, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 脚間を連結する受動的外腱がヒト走動作の性能および経済性に与える影響
3. 学会等名 第23回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 古川大輔, 岡本英也, 平井宏明, 野呂和主, 金子靖仙
2. 発表標題 筋シナジー分析手法を用いた子ども走行へのトレーニング効果の検証について
3. 学会等名 第43回バイオメカニズム学術講演会 (SOBIM2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松居和寛, 安藤哲也, 岡本湧人, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 内部モデルの再学習を目的とした VRによるEMG-BFB プロトタイプによる健常者での筋電図学的検討
3. 学会等名 第20回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野呂和主, 平井宏明, 岡本英也, 古川大輔, 上向井千佳子, 金子靖仙, 田淵規之, 宮島祐太, 八島侑祐, 山本慧, 山田直人, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 陸上教室に通う10 - 11歳男児の疾走能力と筋協調性の発達に関する縦断的研究
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安藤哲也, 岡本湧人, 松居和寛, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 内部モデルの再学習を目的とした仮想現実空間における視覚的筋電図バイオフィードバックシステムの開発 プロトタイプを用いた健常者におけるケーススタディ
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 日野匠太郎, 平井宏明, 淡媛美子, 山根駿, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 VR環境下における人間機械系の機械動特性の変化に伴う人間の適応的運動制御 課題難易度に応じて変化する運動戦略の位相面解析
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 淡媛美子, 平井宏明, 日野匠太郎, 山根駿, 山本慧, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 ヒト上肢運動練習における誤差操作が運動学習へ与える影響
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本湧人, 安藤哲也, 松居和寛, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 内部モデルの再学習を目的とした仮想現実空間における視覚的筋電図バイオフィードバックシステムの開発 ヒト肘関節運動における平衡点の挙動に与える影響の検討
3. 学会等名 第61回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菊池伊於里, 松居和寛, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 頭部前方位姿勢の予防および改善を目的とした電気刺激システムの開発 頸部深部筋選択刺激手法の開発と制御法の比較検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022 (ROBOMECH2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 安藤哲也, 岡本湧人, 松居和寛, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 内部モデルの再学習を目的とした仮想現実空間における視覚的筋電図バイオフィードバックシステムの開発 ヒト肘関節剛性に与える影響の検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2022 (ROBOMECH2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Watanabe, H. Hirai, T. Yajima, D. Kogawa, H. Nagao, Y. Kaneko, K. Noro, N. Yamada, S. Yamamoto, K. Matsui, A. Nishikawa, and H. I. Krebs
2. 発表標題 Intermittent Regulation of Ankle Equilibrium and Ankle Impedance During the Running of High-Class Athletes
3. 学会等名 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Noro, H. Hirai, H. Okamoto, D. Kogawa, C. Kamimukai, H. Nagao, Y. Kaneko, K. Hori, S. Yamamoto, N. Yamada, T. Yajima, K. Matsui, A. Nishikawa, and H. I. Krebs
2. 発表標題 Inter-Limb Asymmetry of Equilibrium Regulation in the Legs of 10-11-Year-Old Boys During Overground Sprinting
3. 学会等名 43rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松居和寛, 安藤哲也, Gong Shuogang, 永井美和, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 内部モデルの再学習を目的としたモデルベースの筋電図バイオフィードバックシステムに関する提案
3. 学会等名 第19回日本神経理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 日野匠太郎, 平井宏明, 山本慧, 三上竣平, 久賀紘和, 松居和寛, 西川敦
2. 発表標題 VR環境下における人間機械系の機械動特性の変化に伴う人間の適応的運動制御
3. 学会等名 第22回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松居和寛, 安藤哲也, Gong Shuogang, 永井美和, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 筋協調を考慮した筋電図バイオフィードバックシステムの連続的な入力における角度計算精度検証
3. 学会等名 第10回日本支援工学理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口慶太郎, 奥山和輝, 松居和寛, 厚海慶太, 平井宏明, 西川敦, 谷口和弘
2. 発表標題 マスクの伸縮を利用した表情識別システムの開発 - マスクに装着するひずみセンサの比較実験 -
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊泰良, 平井宏明, 彌島卓, 古川大輔, 長尾裕史, 金子靖仙, 野呂和主, 山田直人, 山本慧, 松居和寛, 西川敦, Hermono Igo Krebs
2. 発表標題 上級ランナーの走動作における足関節の間欠制御
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野呂和主, 平井宏明, 岡本英也, 古川大輔, 上向井千佳子, 長尾裕史, 金子靖仙, 堀開登, 山本慧, 山田直人, 彌島卓, 松居和寛, 西川敦, Hermono Igo Krebs
2. 発表標題 10-11歳男児の地上全力疾走における左右脚の非対称な運動制御
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山本慧, 平井宏明, 日野匠太郎, 三上竣平, 久賀紘和, 渡邊泰良, 野呂和主, 松居和寛, 西川敦, Hermono Igo Krebs
2. 発表標題 ヒト上肢運動における力場環境への適応と筋協調
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥山和輝, 山口慶太郎, 厚海慶太, 松居和寛, 平井宏明, 西川敦, 谷口和弘
2. 発表標題 マスクの伸縮と導電糸を用いた表情識別システムの開発
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥野真輝, 松居和寛, 下城拓真, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 二次元視覚情報下でのヒトの奥行き知覚能力の分析と触覚フィードバックの意義
3. 学会等名 第39回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松居和寛, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 機能的電気刺激により取得したヒト肘関節運動モデルを用いた筋電図による運動予測手法の検討
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山口慶太郎, 奥山和輝, 松居和寛, 厚海慶太, 平井宏明, 西川敦, 谷口和弘
2. 発表標題 マスクの伸縮を利用した表情識別システムの開発
3. 学会等名 第60回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 永井美和, 松居和寛, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 協調的な機能的電気刺激を用いた中手指関節運動のモデル化
3. 学会等名 第26回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 K. Kozasa, P. D, H. Hoang, H. Hirai, K. Hori, H. Niwa, R. Fujihara, K. Matsui, A. Nishikawa, and H. I. Krebs
2. 発表標題 Electrical stimulation to modulate human ankle impedance: effects of intervention on balance control in quiet and perturbed stances
3. 学会等名 Proceedings of 8th IEEE RAS/EMBS International Conference for Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1 . 発表者名 M. Nagai, K. Matsui, K. Atsuumi, K. Taniguchi, H. Hirai, and A. Nishikawa
2 . 発表標題 Identification of metacarpophalangeal joint movement model using functional electrical stimulation based on muscle synergy hypothesis - confirmation of the three models of finger movement
3 . 学会等名 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 K. Hori, H. Hirai, D. Kogawa, H. Nagao, Y. Kaneko, R. Fujihara, S. Yamaguchi, T. Hikawa, K. Kozasa, N. Yamada, S. Yamamoto, K. Matsui, A. Nishikawa, and H. I. Krebs
2 . 発表標題 Coactivation synergies as physiological markers of locomotor skills in athletes
3 . 学会等名 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 S. Gong, K. Matsui, R. Fukui, H. Hirai, and A. Nishikawa
2 . 発表標題 Modeling and stiffness control of elbow joint movement using functional electrical stimulation
3 . 学会等名 42nd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2020) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 D. Kogawa, H. Hirai, and H. Okamoto
2 . 発表標題 Classification of the runner's preferences in running shoes based on equilibrium-point-based muscle synergies
3 . 学会等名 The 13th Conference of the International Sports Engineering Association (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1. 発表者名 山本慧, 平井宏明, 日野匠太郎, 浅香智輝, 堀開登, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 ヒト上肢筋骨格系の粘弾性調和構造に基づく力制御
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堀開登, 平井宏明, 古川大輔, 長尾裕史, 金子靖仙, 山本慧, 山田直人, 野呂和主, 彌島卓, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 上級ランナーの走行時における足先平衡点の離散制御
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 渡邊泰良, 平井宏明, 小笹航平, 堀開登, 山本慧, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 機能的電気刺激を用いたヒト足関節インピーダンス変調
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 下城拓真, 松居和寛, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 ヒトの指腹部へ触覚提示を行うデバイスの開発と知覚の定量化
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 堀開登, 平井宏明, 古川大輔, 長尾裕史, 金子靖仙, 山田直人, 山本慧, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 上級ランナーの走行時における下肢筋群の同時活性とその調和構造
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 山本慧, 平井宏明, 堀開登, 渡邊泰良, 松居和寛, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 ヒト上肢の手先力・把持力に伴う筋協調, 手先平衡点及び手先剛性の調整
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 永井美和, 松居和寛, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 筋シナジーに基づく機能的電気刺激を用いた中手指節関節運動のモデル化
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大野正太郎, 松居和寛, 谷口和弘, 厚海慶太, 永井美和, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 噛みしめ動作をインタフェースに用いた機能的電気刺激によるヒト手指関節制御の検討
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松居和寛, 福井隆之介, Shuogang Gong, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 機能的電気刺激 (FES) を用いたヒト関節剛性制御の姿勢依存性の検討
3. 学会等名 第59回日本生体医工学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 E. Watanabe, K. Kozasa, R. Fujihara, H. Hirai, K. Yoshida, H. Naritomi, H. I. Krebs
2. 発表標題 Exploiting the invariant structure for controlling multiple muscles in anthropomorphic legs: III. reproducing hemiparetic walking from equilibrium point-based synergies
3. 学会等名 2019 IEEE 16th International Conference on Rehabilitation Robotics (ICORR2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 R. Fujihara, H. Hirai, K. Kozasa, E. Watanabe, A. Nishikawa, D. Kogawa, H. Nagao, Y. Kaneko, H. I. Krebs
2. 発表標題 Virtual trajectory in human walking and running: dynamic patterns depended on gait speed
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Nagai, K. Atsumi, K. Taniguchi, K. Matsui, H. Hirai, A. Nishikawa
2. 発表標題 Modeling of metacarpophalangeal joint movement using functional electrical stimulation by controlling the equilibrium-point
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小笹航平, 平井宏明, 堀開登, 丹羽英人, 藤原諒, 渡邊英知, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 機能的電気刺激を用いたヒト足関節インピーダンス変調 立位バランス制御への影響
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原諒, 平井宏明, 古川大輔, 長尾裕史, 金子靖仙, 小笹航平, 山口修平, 肥川知樹, 渡邊英知, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 中長距離ランナーの走行時の下肢仮想軌道の推定 運動速度に依存した動的パターンの形成
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 (SI2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小笹航平, 平井宏明, 堀開登, 丹羽英人, 藤原諒, 渡邊英知, 西川敦, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 機能的電気刺激によるヒト足関節のインピーダンス変調
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤原諒, 平井宏明, 小笹航平, 渡邊英知, 山口修平, 肥川知樹, 西川敦, 古川大輔, 長尾裕史, 金子靖仙, Hermano Igo Krebs
2. 発表標題 ヒト歩行・走行運動における下肢仮想軌道の推定
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2019)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 永井美和, 松居和寛, 厚海慶太, 谷口和弘, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 ヒト運動制御戦略に基づく機能的電気刺激を用いた中手指節関節運動制御モデルの同定と評価
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大野正太郎, 松居和寛, 谷口和弘, 厚海慶太, 平井宏明, 西川敦
2. 発表標題 機能的電気刺激における嘔み締め動作を利用した制御入力機器の提案
3. 学会等名 生体医工学シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 R. Vinjamuri, Z.-H. Mao, and A. Maybhate eds.	4. 発行年 2019年
2. 出版社 Lausanne: Frontiers Media	5. 総ページ数 148
3. 書名 Applications of Synergies in Human Machine Interfaces	

1. 著者名 川村貞夫, 小澤隆太, 塩澤成弘, 吉岡伸輔, 伊坂忠夫, 平井宏明, 宮崎文夫	4. 発行年 2019年
2. 出版社 コロナ社	5. 総ページ数 144
3. 書名 身体運動とロボティクス	

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪大学大学院基礎工学研究科 身体運動制御学グループ 西川研究室
http://hmc.me.es.osaka-u.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
--	---------------------------	-----------------------	----

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	Massachusetts Institute of Technology			
ポルトガル	University of Lisbon			