

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：17501

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H04503

研究課題名（和文）生体の関節運動を模擬した支援機器は身体負担を軽減できるか？

研究課題名（英文）Can the biomimetic assistive device reduce the undesired stress on skin?

研究代表者

菊池 武士（Kikuchi, Takehito）

大分大学・理工学部・教授

研究者番号：10372137

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、人間の膝関節と足関節（足首）に装着して運動を補助する機器・器具（医療用装具やパワーアシストスーツ等）を対象とし、人の運動軸と機器・器具の運動軸との「ズレ」が身体に与える負担の定量評価法の確立と、上記の「ズレ」による負担を最小化し、補助効果を最大化する機器の設計手法の確立を目標に実施した。まず、を達成するために、研究代表者が提案するせん断力検出シート、生体力学シミュレーション等によって身体の表在と深部の負荷を定量化した。次に、を達成するために、生体膝模擬関節によるアシスト機構と、非線形柔軟関節による足関節アシストを対象として、前述の評価結果に基づく最適設計手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

工学技術の応用で高齢者等の身体能力を補助し、生活・労働支援を行うことが重要である。しかし、これまでの身体支援機器は身体の解剖学的構造や柔軟性、多自由度性を十分に考慮しておらず、適用可能な動作範囲や使用者が限定される。例えば膝関節は、滑りと転がりによる軸移動が生じるため、通常のリハビリ関節（単軸機構）では、特に深屈曲で装置との「ズレ」が大きく、人間-機械接触面（表在）や生体関節内部（深部）に余計な負荷が生じる。そこで、この人間-機械間の「ズレ」による身体負担の定量評価法や、この負担を最小化する機器の設計手法を解明し、真に人間親和性の高い機器開発の加速に寄与する。

研究成果の概要（英文）：This research targeted equipment and devices (medical orthotics, power-assist suits, etc.) that are attached to the knee and ankle joints of humans, with the goals of (1) establishing a quantitative evaluation method for the burden on the body caused by the misalignment between the biological axis of motion and that of the devices, and (2) establishing a design method for equipment that minimizes the burden caused by the above misalignment and maximizes the effectiveness of the assistance. First, to achieve (1), we quantified the burdens on the body using the shear force sensitive sheet proposed by the applicant, biomechanical simulations, and other methods. Next, to achieve (2), an optimal design method was established based on the above evaluation results for assistive mechanisms using a biomimetic knee joint and an ankle joint assist using a nonlinear flexible joint.

研究分野：福祉工学

キーワード：動作支援技術

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在、先進国を中心に高齢化の一途をたどっており、働き手不足が経済に大きな影響を与えている。そこで年齢ではなく、健康状態によって労働力を確保するエイジフリーの考え方が浸透しつつある。そのためには、工学技術の応用で高齢者等の身体能力を補助し、生活・労働支援を行うことが重要となる。しかし、これまでの身体支援機器は身体の解剖学的構造や柔軟性、多自由度性を十分に考慮しておらず、適用可能な動作範囲や使用者が限定される。例えば膝関節は、滑りと転がりによる軸移動が生じるため、通常のロボット関節(単軸機構)では、特に深屈曲で装置との「ズレ」が大きく、人間-機械接触面(表在)や生体関節内部(深部)に余計な負荷が生じる。この人間-機械間の「ズレ」による身体負担の定量評価法や、この負担を最小化する機器の設計手法は未解決である。これらを解明することによって、真に人間親和性の高い機器開発を加速し、エイジフリー社会の実現に寄与する。

2. 研究の目的

本研究では、真に人間親和性の高い生体支援機器を実現するために、下記を明らかにする。
人の運動軸と機器・器具の運動軸との「ズレ」が身体に与える負担の定量評価法の確立
上記の「ズレ」による負担を最小化し、補助効果を最大化する機器の設計手法の確立

3. 研究の方法

上記を解決するために三つの独自技術を発展・応用する。まず を達成するために、研究代表者が開発したせん断力検出シート(特願 2017-170275)を用いる。本シートは、凹凸シート、着色シート、記録シートの3部材から構成され、シート間の相対運動によって転写される記録痕から、人間-機械間のせん断(ずり)方向の負担を推定する。これにより、既往研究で容易ではなかった、「靴ずれ」のようなせん断方向の負担を定量化できる。

次に を達成するために、同じく立石財団の助成を受けて開発した生体膝模擬関節によるパワーアシスト機構、および JST 地域産学バリュープログラムの助成を受けて開発した非線形柔軟関節による足関節アシストを発展・応用する。生体模擬膝関節は、膝の骨格形状を模擬した異径カム機構によって深屈曲までの動作を可能とする。同時に、人工筋への一定圧の空気注入で立ち上がりに必要なトルク曲線を機構的に再現する。これにより、細かな制御を要さず、センサや回路を削減できる。一方、弾性体内蔵型柔軟関節は、3D プリンタで製作可能な弾性体を C 型ばねで内包したスマート構造であり、低価格の部品で非線形弾性特性による歩行アシストを実現する。

4. 研究成果

2019 年度においては、足関節の背屈運動を補助する三次元運動可能な歩行支援靴、および、生体関節の力学特性を規範としたパッシブアシスト装具の開発を行った。また、せん断力検出シートの性能向上を図るために、その記録のタイミングを制御可能な保護カバーの開発を行い、特許出願(特願 2020-076888)した。さらに、パッシブアシスト装具の軸アライメントが生体に与える負担のシミュレーションもを行い、提案する軸移動型装具が皮膚表面におけるせん断方向の負担を軽減することを示した。

2020 年度においては、深屈曲を可能とする膝継手についてこれまでとは異なる Polycentric 機構を用いた新たな継手を開発し(特願 2021-110216)、従来の機構と比べて部品点数を低減し、同等の効果を得た。また、矢状面内の大腿骨回転中心運動と提案継手の回転中心のずれを数値シミュレーションによって分析し、提案手法が従来の単軸機構に比べて有利となることを示した。足関節の背屈運動を補助する三次元運動可能な歩行支援靴については、フレイル高齢者を対象としたヒアリングを実施し、ニーズに基づいた意匠デザインを新たに実施した。

2021 年度においては、非線形柔軟関節による足関節アシストの開発を行った。具体的には、足部の下垂足を防止し、かつ歩行を阻害しない機械特性と幾何学形状を有する三次元プリンタで造形可能な柔軟フレームと、その湾曲部に内蔵され、かつ靴に固定可能な弾性体を開発した。また、想定ユーザであるフレイル高齢者への聞き取り調査から、器具の開発における3ステップの要求項目(装着時、使用時、収納時)の内、装着時のユーザビリティを向上させることを目的として、装着にかかる時間と装着中の不必要な足首運動を軽減することが可能な形状デザインを実施した。2020 年度以前に開発した装置に比べ、装着時間は短縮に至っていないが、装着時の足首の不必要なひねり動作を半減することが可能な器具となった。また、使用時の背屈補助効果を検証する目的で、健常男性 10 名を対象とした歩行実験を実施した。筋電および角度計測の結果、歩行を妨げることなく、立脚初期および遊脚期の底屈補助効果があることが確認された。

2022 年度においては、2020 年度に開発した膝関節アシスト、2021 年度足関節アシストの評価と改良を行った(特願 2022-130687)。膝関節アシストに関しては、個人に適合した関節機構を簡易に設計、調整するための簡易回転中心計測法を開発し、健常者 5 名を対象としてその有効性を示した。足関節アシストについては、新たに不整地歩行への適用を検討した。不整地としては日常生活でも経験しうる片流れ斜面歩行を選択し、傾斜角による下腿の運動計測を行っている。そ

の結果，10 度程度の片流れ斜面歩行で左右の膝，足関節運動の差が確認され，歩行補助具の開発，制御において，矢状面だけでなく前額面内の回転運動の考慮が必要と分かった．これらの新たな知見について，継続研究を計画している．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 YuEn Sung, Isao Abe, Takehito Kikuchi	4. 巻 2022
2. 論文標題 Simulation for Navicular Drop Test with OpenSIM and the differences between sitting and standing in diagnosing posture	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 27th International Symposium on Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 138-141
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 Takehito Kikuchi, Takumi Nishimura, Kenji Fukuoka, Takeru Todaka, Isao Abe	4. 巻 2021
2. 論文標題 Design of Polycentric Assistive Device for Knee Joint	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 30th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication	6. 最初と最後の頁 546-550
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 YuEn Sung, Isao Abe, Takehito Kikuchi	4. 巻 2021
2. 論文標題 Development of Testing Machine for Mechanical Property of Foot	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of The 7th International Conference on Advanced Mechatronics	6. 最初と最後の頁 74-75
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 福永道彦, 大塚健太, 菊池武士	4. 巻 22
2. 論文標題 膝装具のデザインと設置位置が脚とのズレに与える影響のシミュレーション	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本福祉工学会誌	6. 最初と最後の頁 30-34
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 菊池武士, 福岡賢治, 増田拓海, 阿部功, 福永道彦	4. 巻 86
2. 論文標題 生体の膝関節運動を模擬した受動型アシストデバイスの開発と評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/transjsme.20-00134	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 Takehito Kikuchi, Taiki Oshimoto, Isao Abe, Kenichiro Tanaka, Yasue Asaumi, Naoki Chijiwa	4. 巻 32
2. 論文標題 Development of Ankle Support Shoes with Elastomer-Embedded Flexible Joint	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1080-1087
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19件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 戸高健, 阿部功, 菊池武士
2. 発表標題 深屈曲からの立ち上がりを支援するPolycentric型膝装具
3. 学会等名 第3回日本再生医療とリハビリテーション学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小野翔正, 中原麻葵, 阿部功, 菊池武士, 田中健一郎, 松本康史
2. 発表標題 弾性体内蔵型柔軟関節を有した背屈サポートユニット
3. 学会等名 第3回日本再生医療とリハビリテーション学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中原麻葵, 小野翔正, 阿部功, 菊池武士
2. 発表標題 弾性体内蔵型柔軟関節を有した背屈サポートユニットのサポート力調整パーツの開発
3. 学会等名 LIFE2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中原麻葵, 松本康史, 田中健一朗, 菊池武士
2. 発表標題 フレイル高齢者の歩行意欲を高める背屈サポートユニットの提案
3. 学会等名 日本機械学会2021年ロボティクス/メカトロニクス講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宋宇恩, 菊池武士
2. 発表標題 扁平足患者に適合したインソールのための足底面への圧力を考慮した足部3次元計測システム
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 福岡賢治, 西村拓海, 阿部功, 菊池武士
2. 発表標題 パッシブ型バイオメティック膝装具の各種動作による皮膚表面の負担評価
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 西村拓海, 福岡賢治, 阿部功, 菊池 武士
2. 発表標題 膝の関節軸運動を模擬したPolycentric jointの開発と評価
3. 学会等名 SICE九州支部学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大塚健太, 福永道彦, 菊池武士
2. 発表標題 膝伸展トルク補助装具の回転軸の移動が固定部のずれと補助効率に与える影響
3. 学会等名 第5回日本福祉工学会九州支部大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大塚健太, 福永道彦, 菊池武士
2. 発表標題 回転軸が移動する膝関節伸展補助装具の設置部ずれ量の推定
3. 学会等名 日本機械学会2020年度年次大会講演論文集
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菊池武士, 岡村 美早紀, 押本泰貴, 阿部功, 松本康史, 田中健一朗
2. 発表標題 意匠性の高い背屈支援シューズの開発, ~足部の3次元運動を考慮した力学シミュレーション~
3. 学会等名 日本機械学会2020年ロボティクス/メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福岡賢治, 増田拓海, 大塚健太, 福永道彦, 菊池武士
2. 発表標題 人間-機械間に生じるせん断方向の負担を検出するせん断力検出シートのための保護シートの開発と評価
3. 学会等名 日本機械学会2020年ロボティクス/メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 押本泰貴, 阿部功, 菊池武士, 松本康史, 田中健一朗, 浅海靖恵
2. 発表標題 意匠性の高い背屈支援シューズの開発, ~フレイル高齢者へのヒアリングと力学シミュレーション~
3. 学会等名 第29回ライフサポート学会フロンティア講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 押本泰貴, 阿部功, 菊池武士, 松本康史, 田中健一朗, 浅海靖恵
2. 発表標題 意匠性の高い背屈支援機能付きシューズに関する研究
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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 押本泰貴, 菊池武士, 阿部功
2. 発表標題 足関節の背屈運動を補助する三次元運動可能な短下肢装具の提案
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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福岡賢治, 増田拓海, 菊池武士
2. 発表標題 パッシブ型バイオメティック膝関節を用いた立ち上がり補助装具の開発
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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 島津宙翼, 菊池武士, 山本恭大, 中野 幹子, 一山幸子, 河合小百合, 折居明日香, 田邊伸一
2. 発表標題 介護者, 被介護者の運動学的特徴を反映した介護動作の最適化のための計測系の開発
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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 増田拓海, 福岡賢治, 菊池武士
2. 発表標題 パッシブ型バイオメティック膝関節の開発
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊池武士, 押本泰貴, 阿部功, 千々和直樹, 藪田智久, 田中健一朗, 浅海靖恵
2. 発表標題 弾性体内蔵柔軟関節を有する足首サポートシューズの開発と歩行分析
3. 学会等名 日本機械学会2019年ロボティクス/メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 福岡賢治, 井上智晶, 阿部功, 菊池武士
2. 発表標題 生体関節の力学特性を規範としたパッシブアシスト装具の開発に関する基礎研究
3. 学会等名 日本機械学会2019年ロボティクス/メカトロニクス講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 人体の屈伸運動を補助する補助装具	発明者 菊池武士, 西村拓海	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-110216	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 せん断応力検知部材の保護方法	発明者 菊池武士, 福岡賢治, 増田拓海	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020-076888	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 補助装具の補助力を生成する補助力生成機構、及び補助装具	発明者 菊池武士, 阿部功, 戸高健	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2022-130687	出願年 2022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
研究分担者	福永 道彦 (Michihiko Fukunaga) (90581710)	大分大学・理工学部・准教授 (17501)	
研究分担者	池田 真一 (Shinichi Ikeda) (70444883)	大分大学・医学部・助教 (17501)	削除：2022年2月9日

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