

令和元年6月7日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K01579

研究課題名(和文) 力学的データを用いた有限要素解析によるプラスチック短下肢装具設計に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Plastic Ankle Foot Orthosis Design by Finite Element Analysis using Mechanical Data

研究代表者

北山 一郎 (KITAYAMA, ICHIRO)

近畿大学・生物理工学部・教授

研究者番号：80426535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、従来手作業で実施されてきた装具製作作業に対し、最新のデジタル技術を活用することで装具使用者に適する装具を製作する新しい技術の確立を行った。具体的には、身体形状測定、装具基本設計、装具形状の変更に伴う設計変更、力学的データに基づく有限要素解析、適する荷重や応力状態が得られる形状の設計、3Dプリンタによる装具の製作、製作装具による試歩行、改良、最終モデル製作、といった一連をプラスチック短下肢装具設計の基盤技術をほぼ完成することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、従来測定例がないと考えられる装具に直接的にかかる力学的データを装具使用者等の歩行データを基に分析評価した。ここで得られたデータと分析結果は、従来にないデータであり、今後の装具開発・設計や装具の耐久性を調べるための基礎データとして大いに役立つものである。また、本研究で進めた3Dスキャナや3Dプリンタを活用した“装具自動設計システム”は、従来手作業で行われてきたことに対し、シミュレーションによる事前のチェックや自由な設計変更など、装具使用者の利便性を向上させる技術として、学術的にも社会的にも意義深いものである。

研究成果の概要(英文)：In this research, we have established a new technology to manufacture plastic ankle foot orthoses suitable for users by utilizing the latest digital technology, as opposed to the conventional manual equipment manufacturing work. Specifically, we completed a series of production of an orthosis, that is, (1) body shape measurement, (2) orthosis basic design, (3) design change with modification of orthosis shape, (4) finite element analysis based on mechanical data, (5) design of shape that can obtain suitable load and stress state, (6) fabrication of orthoses using 3D printer, (7) trial walk and evaluation, (8) improvement, (9) final model fabrication with the preparation of orthoses.

研究分野：福祉工学

キーワード：装具 PAFO 有限要素解析 3Dプリンタ

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

国民生活基礎調査によると、高齢者が要介護となる要因は、脳卒中が約 26% で最も多い。これらの障害者の歩行を少しでも改善する重要な役割を担うものが装具であり、広く使用されている。さらに装具の内、最も多く使用されているのがシューホーン(靴へら形)プラスチック短下肢装具(PAFO)である。しかし、数多く処方されている PAFO については数多くの文献があるものの、歩行をどの程度支援し、また、どの程度制限しているのかといった力学的な状態に関し、金属支柱付きや足関節付き装具ではあるものの、最も普及しているシューホーン形プラスチック AFO で調べられた文献は国内のみならず海外においてもないと考えられる。

また、装具の製作については、現状手作業に依存しており、使用者に適する装具の製作・設計を進めるためにはデジタル技術を活用する研究が不可欠であると考えられる。

### 2. 研究の目的

本研究は、従来測定がほとんど実施されていないと考えられる立脚相・遊脚相に装具にかかる力学的荷重データを測定分析することで、装具使用者において、どの程度の荷重データが観測されるのか、また、その特徴はどのようなものであるか、を調べることをはじめの目的とする。ついで、本研究では、従来手作業で実施されてきた装具製作作業に対し、3D スキャナ、有限要素解析、3D プリンタなどの最新のデジタル技術を活用した装具設計製作システムに必要な基盤技術の完成させることを目的とする。

### 3. 研究の方法

装具内部に 6 軸力覚センサや 3 軸力覚センサ、角度センサなどを内蔵した測定システムを開発し、それを用いて装具使用者、健常者の歩行中のデータを計測し、分析する。また、それらから得られたデータを活用し、身体形状測定 装具基本設計 装具形状の変更に伴う設計変更 力学的データに基づく有限要素解析 適する荷重や応力状態が得られる形状の設計 3D プリンタによる装具の製作 製作装具による試歩行 改良 最終モデル製作、といった一連をプラスチック短下肢装具設計の技術を完成させる。

### 4. 研究成果

はじめに、歩行中装具にかかる外力のほとんど全てが測定できる装具計測システムを完成させた。同システムでは、装具の底面と靴との間にかかる荷重(床反力相当) 装具と足底との間の荷重、足関節部のベルトにかかる荷重、下肢腓腹部と装具間の荷重などの荷重に加えて、フレキシブルゴニオメータによる膝屈曲の角度及び装具変形に伴う装具下腿部と足部間の角度変化の測定を可能とした。実験は、健常者と左片麻痺者の被験者ボランティアのもと、データを取得分析するとともに、装置に改良を加え、最終的には 6 名の健常者と 9 名の左片麻痺者のボランティアのもと歩行実験を行い歩行中にかかる荷重と装具の変形状態および膝関節の運動を調べた。実験の結果、片麻痺者では被験者によって荷重の掛かり方に個人差が大きく、健常者ではほぼ一定していること、片麻痺者は歩行の後期のいわゆる前方に推進する力が多い場合少ないことなどが分かった。

また、同時に 3D スキャナ、3DCAD、シミュレーション(ANSYS)、3D プリンタを使用した、義肢装具士がコンピュータ上で設計を行う“半自動装具設計製作システム”の開発も 3 年にわたり進めた。初年度の研究により、スキャナで得られた形状データに対し、CAD を用いて形状の一部を修正し、その後、有限要素解析などで、装具の変形量や装具にかかる応力分布を知ることが可能となった。次年度は、ANSYS と CAD を用いて設計した装具を 3D プリンタで出力できることを確認した。最終年度では、装具設計の要素である、厚み・トリミング・コルゲーション(部分的に皺状のものをつけること)などの影響についても、3D プリンタで製作した装具と有限要素解析にもとに評価できることを検証した。これらの結果から、義肢装具士がコンピュータ上で設計を行う“半自動装具設計製作システム”の多くの基盤要素についてはほぼ構築できたと考える。

これらの研究成果の詳細は、Advanced Experimental Mechanics や実験力学等の学会誌に原著論文として掲載されている。

### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 5 件)

1) Measurement System for Kinetic Loads Acting on an Orthosis during Swing Phase, Daisuke Morioka, Ichiro Kitayama, Advanced Experimental Mechanics, Vol.3, 査読有り, 192-196 2018 年 8 月.

2) Analysis of Kinetic Load of Plastic Ankle Foot Orthosis during Swing Phase, Daisuke Morioka, Ichiro Kitayama, Masato Kitano, Takashi Yamanaka, Takahisa Yano, Masahito Handa, Hideo Koyama, Takashi Morimoto, Hideki Sonobe, Noriyuki Miyazaki, Advanced Experimental Mechanics, Vol.2, 査読有り, 147-152, 2017 年 8 月.

3) Finite Element Analysis for Trimmed Plastic Ankle-Foot Orthoses, Daisuke Morioka, Ichiro Kitayama, Kosuke Nakano, Masato Kitano, Takashi Yamanaka, Hideo Koyama, Takashi Morimoto, Hideki Sonobe, Noriyuki Miyazaki, Advanced Experimental Mechanics,

Vol.1, 査読有り, 269-276, 2016年8月.

4)プラスチック短下肢装具歩行の分析 - 健常者と装具使用者の比較 -、北野将利、北山一郎、森岡大輔、中野耕助、山中 隆、大政光史、小山秀世、園部秀樹、宮崎展行、日本臨床バイオメカニクス、査読有り、37 365-372、2016年9月.

5)プラスチック短下肢装具歩行立脚相における荷重ベクトルの状態と装具底背屈角度との関係、北野将利、北山一郎、森岡大輔、中野耕助、森岡大輔、山中 隆、池原用祐、小山秀世、森本高史、園部秀樹、宮崎展行、実験力学、16(2)、査読有り、147-153、2016年6月.

〔学会発表〕(計 18 件)

1)プラスチック短下肢装具(PAFO)の有限要素解析に関する研究歩行時の変形に関する研究北山 一郎、森岡 大輔、川村 美雪、佐々木 蓮、日本設計工学会関西支部 平成 30 年度 研究発表講演、2018年12月15日.

2)プラスチック AF0 の変形を計測する装置の開発、森岡 大輔、川村 美雪、佐々木 蓮、北山 一郎、日本実験力学会 分科会合同ワークショップ 2018、2018年12月4日.

3)歩行遊脚中に PAFO に作用する力学的負荷と装具変形について - 健常者と片麻痺者の比較 - 森岡 大輔、川村 美雪、筒井 実奈美、北山 一郎、第 34 回日本義肢装具学会学術大会、2018年11月11日.

4)プラスチック短下肢装具(PAFO)の形状にともなう応力・変形の状態の変化、川村 美雪、北山 一郎、森岡 大輔、第 34 回日本義肢装具学会学術大会、2018年11月10日.

5) Analysis of Relation for Kinetic Load and Knee/Ankle Joint Angle using PAFO during Stance Phase, Daisuke MORIOKA, Ichiro KITAYAMA, Miyuki KAWAMURA, Minami TSUTSUI, Hideyo KOYAMA, Takashi MORIMOTO, Hideki SONOBE, Noriyuki MIYAZAKI, The 13th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, November 1 2018.

6) Shape processing of plastic ankle foot orthosis (PAFO) and their influence on stress and deformation, Miyuki KAWAMURA, Daisuke MORIOKA, Takako OSAWA, Ichiro KITAYAMA, The 13th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics, October 31 2018.

7) テキサス型プラスチック短下肢装具の有限要素解析、川村 美雪、北山 一郎、森岡 大輔、山中 隆、日本機械学会 2018 年度年次大会、2018年9月10日.

8) トイレ立ち上がり動作におけるプラスチック短下肢装具に作用する力学的負荷と官能評価の関係、森岡大輔、北山一郎、川村美雪、筒井実奈美、日本設計工学会 2018 年度春季研究発表講演会、2018年5月27日.

9) プラスチック短下肢装具(PAFO)の有限要素解析に関する研究、川村美雪、北山一郎、森岡大輔、山中 隆、日本設計工学会 2018 年度春季研究発表講演会、2018年5月27日.

10) Development of measurement system of kinetic load applied to orthosis during swing phase, D.Morioka, I.Kitayama, T.Yamanaka, M.Kitano, T.Yano, M.Honda, H.Koyama, T.Morimoto, H.Sonobe, N.Miyazaki, The 12th International Symposium on Advanced Science and Technology in Experimental Mechanics (ISEM2017).

11) トイレ立ち上がりにおけるプラスチック短下肢装具に作用する力学的負荷解析、森岡大輔、北山一郎、北野将利、山中隆、矢野貴久、半田昌浩、日本機械学会 2017 年度年次大会、2017年9月.

12) 手を用いたトイレ立ち上がり動作でのプラスチック短下肢装具の力学的負荷計測装置の開発、森岡大輔、北山一郎、北野将利、山中隆、池原用祐、矢野貴久、半田昌浩、日本実験力学会 2017 年度年次講演会、2017年8月.

13) 遊脚相中に足底をプラスチック短下肢装具間にかかる荷重と装具変形状態の分析、森岡大輔、北山一郎、北野将利、山中隆、池原用祐、矢野貴久、半田昌浩、森本高史、園部秀樹、宮崎展行、小山秀世、第 33 回日本義肢装具学会学術大会、2017年10月9日.

14) 装具装着歩行における遊脚相中の力学的負荷解析、森岡大輔、北山一郎、北野将利、山中隆、池原用祐、矢野貴久、半田昌浩、第 33 回センシングフォーラム、2016年9月1日.

15) 歩行遊脚相時における健常者と片麻痺患者の力学的負荷の比較、森岡大輔、北山一郎、北野将利、山中 隆、池原用祐、日本実験力学会 2016 年度年次講演会、2016年9月2日.

16) プラスチック短下肢装具の加工修正に伴う力学的特性評価、山中 隆、北山一郎、北野将利、池原用祐、日本機械学会 2016 年度年次大会、2016年9月12日.

17) プラスチック短下肢装具底背屈可動時の荷重と角度の関係、北野将利、北山一郎、森岡大輔、山中隆、池原用祐、小山秀世、森本高史、園部秀樹、宮崎展行、第 32 回日本義肢装具学会学術大会、2016年10月15日.

18) Analysis of kinetic load of plastic ankle foot orthosis during swing phase, Daisuke MORIOKA, Ichiro KITAYAMA, Masato KITANO, Takashi YAMANAKA, Hideyo KOYAMA, ISEM ' 2016 2016年11月3日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

〔その他〕

なし

## 6．研究組織

(1)研究分担者

該当なし

(2)研究協力者

該当なし

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、研究者個人に帰属されます。