

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：30108

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11294

研究課題名（和文）炭素繊維強化熱可塑性プラスチックを用いた装具の製造方法に関する研究

研究課題名（英文）Development of manufacturing method of orthosis using carbon fiber reinforced thermoplastic

研究代表者

早川 康之（Hayakawa, Yasuyuki）

北海道科学大学・保健医療学部・教授

研究者番号：30348601

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：障害者用の装具に使用する金属支柱の代わりに、軽量化と耐腐食性、適合後の変形への対応のため、炭素繊維強化熱可塑性プラスチック（CFRTP）製の支柱を用いる方法について検討した。CFRTPの機能を引き出すためには、0.5MPa以上の加圧成形が必要である。身体形状に合わせ、なおかつ断面形状を変形させないために台形台状の枠型を作成しCFRTP支柱とともに加熱加圧成形することで、成形が可能となった。また、義肢装具製作所への導入を可能とするため、エアーコンプレッサを使用した加圧成形器を開発した。その結果、継手部分はJIS静的試験をクリアし、金属支柱装具よりも約30%軽量化された装具の製作を実現できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

金属支柱装具は高度な変形がある場合の矯正に有効であるが、重く、錆びるなどの問題点が指摘されている。今回CFRTP支柱による装具製作を可能としたことにより、30%の軽量化を実現でき、さらに、装具の身体にあたる面をCFRTPで製作できるようにしたことから、衛生面での問題もクリアできるようになった。これらは患者、使用者のQOL向上に資することが期待できる。また、義肢装具製作所での製作支援のため、各製作所既存のオープン、エアーコンプレッサを用いることで、成形のために必要な機器を安価に導入できる方法を開発した。本システムは、義肢装具製作所以外にも、一般のものづくり企業でも、応用可能と考えている。

研究成果の概要（英文）：We have examined the use of carbon fiber reinforced thermoplastic (CFRTP) struts as a replacement for metal struts in assistive devices for individuals with disabilities. The use of CFRTP struts allows for weight reduction, corrosion resistance, and adaptability to post-fitting deformation. To fully utilize the capabilities of CFRTP, pressure molding of at least 0.5MPa is required. We have developed a trapezoidal frame that can be heat and pressure molded with the CFRTP strut to fit the body shape without deforming the cross-sectional shape. Furthermore, to enable the introduction of this method into prosthetic manufacturing facilities, we have developed a pressure molding device using an air compressor. As a result, the joint parts cleared the JIS static test, and we were able to manufacture a device that is approximately 30% lighter than devices with metal struts.

研究分野：リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：炭素繊維強化熱可塑性プラスチック 障害者 装具 プラスチック成形

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1)炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)は、金属に比べて比強度が高く軽量化が図れ、さらに、再加熱による形状変更が可能なことなどから、装具への応用にとどまらず、一般の製品への展開も大いに期待できる。しかし、現在のCFRTP成形には、オートクレーブなどの大型機器が必要となるため、国内企業の99.7%を中小企業が占める我が国の現状を考えると、多くの施設での導入は困難である。

(2)わが国の超高齢化に伴い、脳卒中などによる下肢機能障害が大きな問題となっている。特に高齢者の移動能力の障害は、動かないことによる、エコノミッククラス症候群や廃用症候群など、命に係わる問題につながることが多い。そこで高齢者の下肢障害に対して、立位保持や歩行を補助する目的で、装具が処方されるが、この装具には本人の状況に合わせて軽量で身体への適合が良く、かつ適合後にも調整が可能であることが望まれている。

(3)強固な固定や、強い変形を矯正する場合には、ジュラルミンなど、プラスチックよりも強度を持った金属を使用した装具が使用されるが、プラスチック製装具と比較すると重くなり、腐食からの破損のリスクも大きい。そのため、軽量で再調整が可能なCFRTPを用いた支柱付き装具の開発が求められる。

2. 研究の目的

研究の最終目標は、装具を必要とする障害者に、軽量で機能的なCFRTP製装具を提供し、生活の質の向上に寄与することにある。本研究の目的は以下である。

(1)CFRTP使用樹脂(マトリックス材)について検討を行い、装具金属支柱に代替できる機械特性と成形性を持つCFRTP製支柱を開発する。

(2)装具製作のための成形器を開発し、小規模な装具製作所を想定した実験環境下で装具製作方法を検討する。製作に必要な成形器を開発し、これにより製作した装具の実用性の評価を行う。

3. 研究の方法

(1)CFRTP使用樹脂についての決定

成形性、加工性について検討を行い、装具金属支柱に代替できる機械特性を持つCFRTPについて検討し、その特性について評価する。

(2)CFRTP成形方法の検討

小規模製作所でも導入を可能にするため、初期導入費用を抑えた加熱加圧成形可能なCFRTP成形方法について検討する。具体的には、義肢装具製作所にはエアークンプレッサ、プラスチック軟化用電気オープンが設置されているため、その環境で加圧成形ができる成形器を開発し基本構造を決定する。

(3)CFRTP支柱を用いた装具の評価

作製したCFRTP支柱の機械特性および製作した装具を用いて、実用的な強度と安全性を有しているのか確認し、製品化の可能性について検討する。強度については、JIS 9214「金属製下肢装具用足継手」により判断する。また、軽量化については、同じ下肢モデルで製作した金属支柱短下肢装具との重量の比較を行う。

(4)CFRTP支柱を用いた装具の製作方法の評価

実際の装具製作施設にあるプラスチック軟化用電気オープン、及びエアークンプレッサを利用し、易作業性や、CFRTPの適合性を評価し、実際の使用が可能な成形器への改良を行う。

4. 研究成果

(1)CFRTP使用樹脂についての決定

マトリックス材として、複数の熱可塑性プラスチックを検討した。強度、成形温度、成形性、接着性を総合的に判断し、アクリル樹脂を採用した。強度では、ナイロンよりも若干劣るものの、成形できる軟化温度が比較的低温であり、接着剤を用いることで自己溶着が可能であることから、軽量化を図りながら強度低下を防ぐことができる。

(2)CFRTP成形方法の検討

成形時に0.6MPaでCFRTPを加圧することを目標に、成

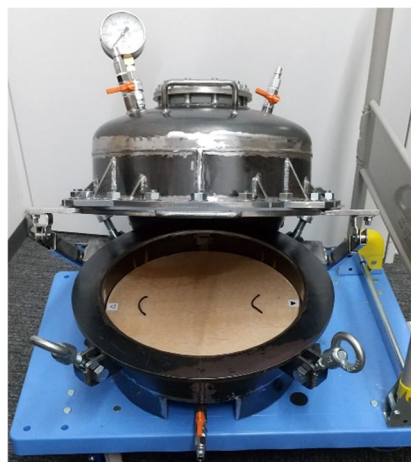


図1 成形器

形器を製作した(図1)。上部空間は加圧用シリコンシートで密閉し、下部には装具陽性モデル(足の型)およびCFRTP材料を設置するスペースを設けている。上部のエアークラプよりエアを入れ、シリコンシートにより圧空成形する。当初、成形器の開発のみで十分な成形ができると考えていたが、軟化した支柱成形で、断面形状を保てないという問題が発生した。そこで、形状安定させるために、シリコンで形状安定ベースを製作した(図2)。CFRTP支柱を、形状安定ベースに入れた状態で加熱、加圧することで、身体形状に沿わせながら断面形状を保つように対応した。

さらに、最適な成形条件を検討するため、加圧時間、加圧圧力条件や、曲げ変形を加えた二次成形後の曲げ強度、合成への影響について、実験的に検証した。

(3) CFRTP支柱を用いた装具の評価

現在、装具に使用する支柱に対するJIS規格は存在しないため、既存の足継手(足関節部分)を用いて「JIS T 9214 金属製下肢装具用足継手」の静的試験を実施した。その結果、指定された2方向の荷重試験に十分クリアした。下肢形状に対しての成形も十分な賦形を確認することができ、下肢形状への成形ができることを確認した。CFRTP支柱付き装具(図3)の重量は、既存の金属支柱付き装具よりも30%の軽量化となった。一方で、足継手およびそれに付属するあぶみ(足底へ伸びる金属)だけで全体の2/3の重量となり、この部分の軽量化が課題となった。

(4) CFRTP支柱を用いた装具の製作方法の評価

製作には、通常のプラスチック成形よりも時間がかかる結果となった。一方で、当初の予定では、臨床で製作している義肢装具士への成形方法に関する評価をいただく予定ではあったが、実施まで至らなかった。

今回の成形器では、寸法の制限から小児の下肢形状への成形に留まっている。今後は、臨床義肢装具士の成形に関する意見を機器の仕様に反映させるとともに、成人の大腿部を含む下肢全体の成形まで可能になる機器の大型化を目指す。また、継手部分の重量軽減のため、当該部分の材料及び形状の検討、支柱や装具の他の部分との接合についても検討する必要がある。

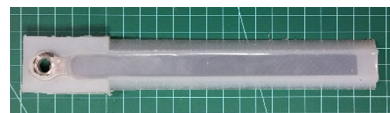


図2 形状安定ベース



図3 CFRTP支柱付き装具

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 吉岡 優佑, 早川 康之, 太田 佳樹, 山岸 暢, 可児 浩, 瀬野 修一郎
2. 発表標題 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)を用いた装具支柱の検討 二次成形の方法と曲げ強度について
3. 学会等名 第29回日本義肢装具士協会学術大会プログラム・講演集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田 佳樹, 早川 康之, 山岸 暢, 可児 浩, 瀬野 修一郎
2. 発表標題 プリプレグパッチを用いて成形された CFRTP 材の強度・剛性評価
3. 学会等名 第47回複合材料シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田 佳樹
2. 発表標題 パッチを用いて成型された CFRTP 積層材の数値剛性評価
3. 学会等名 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山岸 暢, 可児 浩, 瀬野 修一郎
2. 発表標題 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック積層材の特性評価
3. 学会等名 北海道立総合研究機構産業技術環境研究本部 - 工業試験場成果発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 早川 康之, 太田 佳樹, 村原 伸, 吉岡 優佑, 山岸 暢, 可児 浩, 瀬野 修一郎, 鈴木 高士, 金澤 良昭
2. 発表標題 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック製支柱付き装具の開発 成形方法の検討
3. 学会等名 リハ工学カンファレンス
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 早川 康之, 太田 佳樹, 村原 伸, 山岸 暢, 可児 浩, 瀬野 修一郎
2. 発表標題 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)支柱を用いた装具製作方法の開発
3. 学会等名 超異分野学会2024東京・関東大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 奈良坂 勇太, 早川 康之
2. 発表標題 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)を用いた装具支柱の開発 JIS金属製下肢装具用足継手 静的強度試験結果
3. 学会等名 第29回日本義肢装具士協会学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山中 竜生, 早川 康之
2. 発表標題 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)を用いた短下肢装具の支柱の検討 最適な二次成形条件の検討
3. 学会等名 第29回日本義肢装具士協会学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 中尾諒, 飯塚啓輔, 轟章, 太田佳樹, 米山聡
2. 発表標題 繊維不連続部を有する CFRP 積層材の曲げ破壊挙動の調査
3. 学会等名 日本複合材料学会・日本材料学会 第14回日本複合材料会議
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 太田佳樹
2. 発表標題 パッチを用いて成形されたCFRTP製ステータ部材の数値構造解析
3. 学会等名 日本機械学会 Dynamics & Design Conference 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 太田佳樹, 早川康之, 山岸暢, 可児浩, 瀬野修一郎
2. 発表標題 二次成形されたCFRTP製ステータ部材の強度・剛性評価
3. 学会等名 日本複合材料学会 第48回複合材料シンポジウム
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 早川 康之, 太田 佳樹, 村原 伸, 山岸 暢, 可児 浩, 瀬野 修一郎
2. 発表標題 炭素繊維強化熱可塑性プラスチック(CFRTP)支柱を用いた装具製作の可能性について
3. 学会等名 第39回日本義肢装具学会学術大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔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	村原 伸 (Murahara Shin) (10726251)	北海道科学大学・保健医療学部・講師 (30108)	
研究分担者	瀬野 修一郎 (Seno Shuichiro) (10743411)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・産業技術環境研究本部 工業試験場・主査 (80122)	
研究分担者	山岸 暢 (Yamagishi Tohru) (30469689)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・産業技術環境研究本部 工業試験場・専門研究員 (80122)	
研究分担者	太田 佳樹 (Ohta Yoshiki) (50233151)	北海道科学大学・工学部・教授 (30108)	
研究分担者	可児 浩 (Kani Hiroshi) (60469690)	地方独立行政法人北海道立総合研究機構・産業技術環境研究本部 工業試験場・主任主査 (80122)	

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