

CFRTP を活用した超軽量下肢装具の開発（第7報）

— CFRTP 製下肢装具開発の進展 —

千原 健司、仙石 倫章、西垣 康広、鈴木 貴行
青木 隆明*、後藤 学**、浜田 篤至**、篠田 信之***、菅原 政範***Development of the ultralight lower extremity orthosis using Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics (VII)
- Progress of orthosis using CFRTP -Kenji Chihara, Tomoaki Sengoku, Yasuhiro Nishigaki, Takayuki Suzuki
Takaaki Aoki*, Manabu Goto**, Atsushi Hamada**, Nobuyuki Shinoda*** and Masanori Sugawara***

県では、患者や障がい者等の生活の質の向上、及び医療福祉機器分野の産業振興を目的としてヘルスケア機器開発プロジェクトを平成26年度から進めている。その中で当研究所では、加熱により再成形ができ、軽量、高強度、高剛性の特長をもつ熱可塑性炭素繊維複合材料（以下、「CFRTP」）が、人体に合わせた調整が必要で軽量化が望まれる装具に有効と考え、CFRTP を活用した下肢装具の開発を進めてきた。

平成26～27年度には、CFRTP の設計／成形／評価技術を確認し、平成28年度からは具体的な医療・福祉ニーズに基づいた開発に取り組み、脳卒中患者リハビリ用の長下肢装具などを実用化した。本年度は、実用化した長下肢装具を改良するとともに、CFRTP を既存のプラスチック製短下肢装具に対して新たに応用した。

1. はじめに

炭素繊維は軽くて強く、鉄の約4分の1の比重で、約10倍の比強度があると言われている。なかでも近年、自動車等へ適用され始めた CFRTP は、加熱により材料が軟化し再成形できることから、人体に合わせた調整が必要で軽量化が望まれる装具に有効と考えられる。

これまで地域の産学官による開発体制と設備を整備¹⁾、CFRTP の設計／成形／評価技術を確認し^{2,3)}、平成28年度からは具体的な医療・福祉ニーズに基づいた開発に取り組み、CFRTP 製の脳卒中患者リハビリ用長下肢装具及び靴に容易に着脱可能な下肢装具を実用化した⁴⁾。

プロジェクト最終年度となる本年度は、これまでに実用化した長下肢装具の改良や CFRTP を既存のプラスチック短下肢装具へ新たに応用した例について報告し、今後の CFRTP の装具への適用について展望する。

2. 脳卒中患者リハビリ用の長下肢装具の改良

一昨年度に実用化した脳卒中患者リハビリ用の長下肢装具（図1右）は、大腿部から下腿部までの部品を CFRTP で製作し、足部のプラスチック製短下肢装具（以下、「PAFO」）と連結することにより構成し、麻痺の程度が軽くなれば CFRTP 部分を外すことにより足部の PAFO をそのまま継続して使用することができるため経済的であり、従来の金属品（図1左）よりも軽量で使いやすいと患者、医療関係者ともに好評であった。



図1 脳卒中患者リハビリ用の長下肢装具
（左：従来の金属品、右：旧開発品）

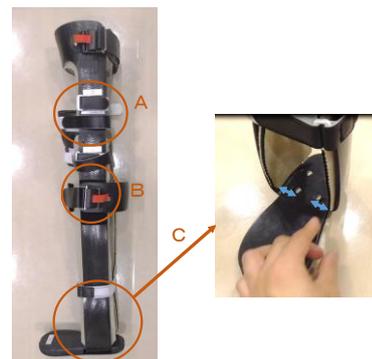


図2 改良した CFRTP 製長下肢装具

今回、本装具を利用する中で新たに、足の長さや太さに応じて調整しやすく、靴を履いたままリハビリができるもの、というニーズを医療関係者からいただき、図2に示す CFRTP 製下肢装具を新たに設計、試作した。

本装具は、Aの部分で CFRTP 部品が上下に分割でき、縦に設けた複数の連結穴により、長さ調整が可能である。

* 岐阜大学医学部リハビリテーション科

** ㈱今仙技術研究所

*** 名光ブレース㈱

また、Bの部分が面ファスナーになっており、膝当ての高さが調整可能である。また、Cの部分でL字部品を向かい合わせて下部品の長穴にネジ止めすることにより、幅の調整が可能である。本構成により足の長さや太さに応じて調整でき、なおかつ鉛直軸に対して左右対称であるため、同じ装具を両足で使用することが可能である。

本開発品を岐阜大学病院にて臨床評価し⁵⁾、実用した。また本品のCFRTP部品の成形は、これまでのダイヤモンド成形機による成形²⁾から、VaRTM成形に変更している。本手法は、義肢装具士が義足ソケット等を製作するために習得しているため、一般的な義肢装具会社により本開発品を全て製作することが可能である。

3. CFRTPのプラスチック製短下肢装具への応用

全てをCFRTPで製作した短下肢装具は、非常に剛性が高いことが判明²⁾しており、そのままの使用はリハビリには適していない。しかしながら、リハビリに使用される一般的なPAFOは、踵部分がくり抜いてあるため剛性が低く、特にねじれ方向の剛性が弱い。脳卒中患者によくみられる内がえし（底屈、内転、回外が同時に起こる足先の変形、方向の定義は図4左を参照）の抑制が十分でない課題がある。そこで、CFRTPを部分的に用いて、PAFOを効率的に補強する手法を、シミュレーション解析を基に検討した。なお、解析はSolidWorks Simulation Premium2015により実施した。

まず、PAFOをモデル化し、内がえしの変位を強制的に与え、内部に発生する応力分布をシミュレーションにより確認した（図3）。この結果、内がえし方向と逆の外側面に高い応力分布が見られたため、この部分を補強すれば効果的に変位を抑制できると考えた。

次に、図4右の箇所を、あらかじめ物性値を取得しておいたCFRTP（外層が平織、内層がUDの1mm厚材）で補強し、内層UD材の配向方向を変えた場合に対し、各変位を比較した結果を表1に示す。なお、荷重は上記の内がえし時のシミュレーションに与えた荷重とし、また比較のため、補強をしない場合及び内側面を補強した結果を併記した。この結果、外側面を繊維方向60°もしくは-30°に配向したCFRTP材で補強すると、効果的に内がえしに対して剛性を強化できることが分かった。解析結果を基に、PAFOにCFRTP補強材を組み付けた試作を図5に示す。主観評価において内反（特に回外が大きい症状のこと）に対し剛性の向上を確認できた。これを用いて、岐阜大学病院にて臨床評価を行った結果、内反が強い患者の歩行を改善できることを確認した。

4. まとめ

5年間の研究開発によりCFRTPの利用技術を開発し、脳卒中リハビリ用長下肢装具や既存のPAFOに効果的に応用できることを実証した。

平成30年度からは厚労省が定める補装具費支給制度

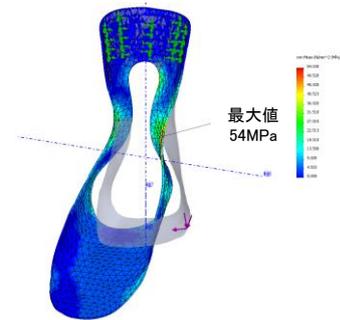


図3 内がえし時のPAFOの応力解析

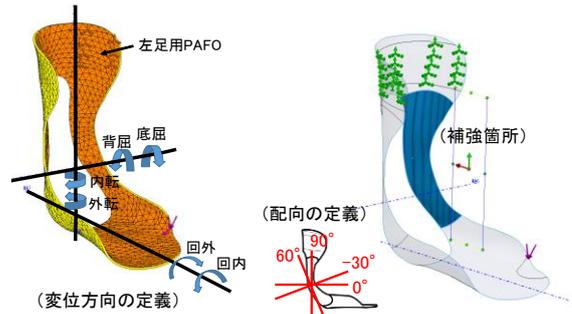


図4 補強における解析条件

表1 解析結果

補強方法 内層UD材の配向	補強なし	外側を補強				
		90°	90°	60°	0°	-30°
底屈を-、背屈を+と表記	-25.7°	-14.4°	-9.3°	-10.1°	-10.5°	-10.8°
回外を-、回内を+と表記	-11.1°	-30.9°	5.9°	2.6°	5.3°	3.3°
内転を-、外転を+と表記	-19.3°	-3.3°	-4.6°	-1.7°	-3.5°	-1.4°



図5 CFRTP補強材を適用した試作

が改正され、炭素繊維複合材料による装具が新たに保険適用となり、今後より一層のCFRTPの利用増加が見込まれる。当所では、これまでに蓄積した技術により、本材料を活用する企業等を支援する所存である。

【参考文献】

- 1) 千原, 道家, 仙石, 萱岡, 田中, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No.3, pp33-38, 2015
- 2) 千原, 仙石, 道家, 萱岡, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No.4, pp41-44, 2016
- 3) 千原, 仙石, 道家, 萱岡, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No.5, pp40-43, 2017
- 4) 千原, 仙石, 西垣, 鈴木, 岐阜県工業技術研究所研究報告 No.6, pp43-44, 2018
- 5) 青木ほか, 日本義肢装具学会誌 JSPO 34, pp126, 2018