

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：30108

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20259

研究課題名（和文）セルロースナノファイバーを活用した短下肢装具の製造方法の確立

研究課題名（英文）Establishment of manufacturing method for short leg orthosis using cellulose nanofiber

研究代表者

佐藤 健斗 (sato, kento)

北海道科学大学・保健医療学部・助教

研究者番号：80868373

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）：義肢装具領域で使用される、アクリル樹脂に対しセルロースファイバーを混練し、樹脂注型した際の機械的性質を3点曲げ試験の結果から明らかにした。樹脂へのセルロースファイバーの添加量が多くなると、曲げ弾性率が大きくなる一方で、樹脂の増粘により、樹脂注型する際の作業が難しくなるため作業性と求める性質とのバランスを考慮する必要がある。

また、脳卒中患者へのインタビューおよびその解析から、短下肢装具ユーザが装具や装具提供サービスに対し求めるニーズが明らかになった。加えて、インタビューより得られたニーズを項目分析と探索的因子分析により評価尺度として整理することで、ニーズの充足を評価する評価尺度が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義は、義肢装具の製造における材料特性の向上と作業性のバランスを科学的に解明した点にある。セルロースファイバーをアクリル樹脂に混合することで、曲げ弾性率の向上を実現し、機械的特性の改善が示された。一方で、増粘による作業性の低下という課題も明らかになり、材料選択および設計プロセスで求める性能と作業効率のバランスを考慮する必要性の示唆を得た。

また、脳卒中患者のニーズ分析を通じた、短下肢装具のユーザが装具およびサービスに対して具体的に何を求めているかの明確化と、それに基づくニーズ充足評価尺度の開発は、臨床現場でのフィードバックループを強化し義肢装具分野における実用的な改善につながる。

研究成果の概要（英文）：The mechanical properties of acrylic resins used in the field of prosthetics and orthotics were extensively studied, focusing on the effects of blending cellulose fibers with acrylic resins. Results from three-point flexure tests indicated that as the percentage of cellulose fibers in the resin increased, the flexural modulus also increased. However, this increase in fiber content led to a higher rigidity of the resin, complicating the casting process.

Additionally, interviews were conducted with stroke patients to identify their needs for lower limb orthotics and related services. The interview findings were systematically analyzed and structured into a rating scale using item analysis and exploratory factor analysis. This scale was developed to effectively assess and measure the satisfaction of patient needs.

研究分野：補装具・福祉用具の製作および適合に関する実務，人間工学

キーワード：セルロースファイバー 装具 ユーザニーズ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本邦では、脳血管障害患者に対して短下肢装具を装着することで、立位バランスの左右対称性や歩行速度が改善するなど有用性が高いことが知られている。

その一方で、短下肢装具の装着によって靴の選択肢が狭まっている状況や、ユーザが装具による履物の選択への影響を抑えたいというニーズを持つことが知られている。短下肢装具として機能するだけの必要十分な強度を担保するためには、現状では材料に一定の厚みが必要であり、さらに強度を高めるためには材料の厚みを増すことで対応するケースが一般的である。

近年幅広い分野で、活用されている素材の一つにセルロースファイバーがある。セルロースは木や花といった植物の主成分の一つであり、それらを繊維化することで得られる物質である⁵⁾。セルロースファイバーは、繊維の大きさによってセルロースナノファイバー(Cellulose Nano Fiber: 以下 CNF)、セルロースマイクロファイバー(Cellulose Micro Fiber: 以下 CMF)に分けられる。

セルロースファイバーは、鋼鉄の5倍程度の引張強度でありながら、低比重である¹⁾ことが知られており、プラスチックに添加することで、比剛性、着色自由性、衝撃強度が高くなるなどの性質の変化が分かっている²⁾。加えて、液体に添加した際の増粘性があり、液体中に分散する成分が均一になるような安定化作用などがある³⁾。これらのことから、セルロースファイバーをプラスチックの添加材として使用すると、従来のプラスチック短下肢装具よりも薄く軽量、かつ強度が高くなる可能性がある。しかしながら、現在の義肢装具領域ではセルロースファイバーの活用について検討されていない状況にある。

2. 研究の目的

本研究は義肢装具領域で多く用いられているアクリル樹脂に対する CNF、CMF の適切な添加量と機械的性質の関係性を3点曲げ試験の結果から検討することを目的とした。また、CNF、CMF を液体に混練した際に生じる、増粘性が加工作業に影響を与える可能性があるため、アクリル樹脂に添加した際の粘度も併せて調査した。

3. 研究の方法

機械的性質を検討するために製作する試験片は、アクリル樹脂のみ(以下アクリル樹脂のみ)、アクリル樹脂に CNF を1%添加した条件(以下 CNF1%)、同じく CMF を1%添加した条件(以下 CMF1%)と2%添加した条件(以下 CMF2%)の合計4条件とした。

使用する CNF、CMF はスギノマシン社製 BiNF-i-s ドライパウダーとした。アクリル樹脂は、ottobock 社製の 617H119 = 4.600 を使用した。エスエムテー社製のプロセスホモジナイザー PH91 を使用して、1分間 10,000rpm で5分間混練した。その後、ottobock 社製の硬化剤 617P37 = 0.150 を4条件すべてで質量の3%の分量を添加し、手作業で攪拌した。

4条件それぞれの樹脂をストックネットにハンドレイアップ法で含浸させ、硬化させることで2mm厚の板材を製作した。その後、長さ100mm、幅15mmで切り出し、各条件で10枚ずつ試験片を製作した。

製作した試験片に対し、JIS K7074 規格を参考に3点曲げ試験を行った。試験機は AND 社製の卓上型引張圧縮試験機 mct-2150 を使用した。JIS K7074 規格で支点間距離は80mmだが、予備実験で試験片が十分に破断しなかったため、本研究では破断がみられる60mmとした。荷重スピードは JIS K7074 規格通りの5mm/minとした。

セルロースファイバーの割合と強度や剛性の関係性を検討するため各条件で、曲げ弾性率と最大応力のデータを算出した。Tukey-Kamer の方法で比較した。

加えて、アクリル樹脂にセルロースファイバーを添加した際の、粘性の変化を確認するために Line Spread Test (以下 LST) を行った⁴⁾。

この試験の結果から粘度の指標となる LST 値を各条件で算出し、ほかの値と同様に Tukey-Kamer の方法で比較した。解析ソフトは College Analysis Ver.8.4 を用いた。

4. 研究成果

図1に3点曲げ試験で得られた最大応力の平均値を示す。アクリル樹脂の試験片における最大応力の平均値 48.54MPa に対して CNF1%の試験片では 44.91MPa と有意に小さくなった($P < 0.01$)。一方 CMF1%、2%の試験片で得られた最大応力平均値は有意差がみられなかった。

また、CNF1%の試験片における最大応力の平均値 44.91MPa に対して CMF1%の試験片が 49.01MPa、CMF2%の試験片が 48.75MPa と有意に大きくなった($P < 0.01$)。

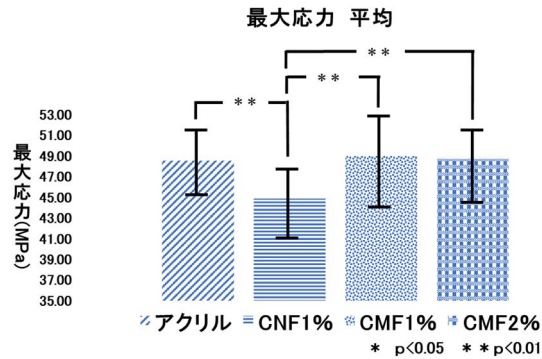


図1 各条件での最大応力

図2に曲げ弾性率の平均値を示す。アクリル樹脂の試験片の曲げ弾性率平均が1986.40MPaに対して、CMF2%の試験片が2207.05MPaと有意に大きくなった(P < 0.01)。また、CNF1%の試験片の1856.05MPaに対して、CMF1%の試験片の2084.17MPa、CMF2%の試験片の2207.05MPaと有意に大きくなった(P < 0.01)。

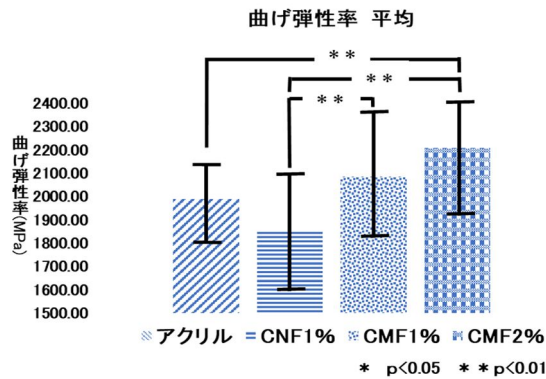


図2 各条件での曲げ弾性率

LST値を表1に示す。LST値は、値が大きいほど粘度が低いと言える。LSTの結果は、アクリル樹脂が60.7mm、CNF1%が67.7mmであり粘性が小さくなる傾向がみられた。反対にCMF1%では43.0mm、CMF2%は28.5mmとなり、粘性が大きくなる傾向がみられた。

表1 各条件でのLST値

	アクリル	CNF1%	CMF1%	CMF2%
LST値 (mm)	60.7	67.7	43.0	28.5

アクリル樹脂に対してCNF1%の条件ではLST値が大きくなっており、粘度が小さくなる傾向がみられた。また、最大応力、曲げ弾性率についてもCNF1%はアクリル樹脂に対して、数値が小さくなっている傾向にあった。本来生じるはずの増粘性が見られなかったことから、今回の方法では混練時間が少なく、セルロースファイバーが十分に解繊されず、均等に分散しなかった可能性があると推察する。裏を返せば、樹脂内に十分にCNFが均等に分散することで補強効果が現われ、最大応力、

曲げ弾性率は大きくなる可能性もあるため、混練時間を長くすることや、ほかの混練方法を検討する必要があると考える。

アクリル樹脂に対し、CMF1%、CMF2%の条件では LST 値が小さくなる傾向がみられた。これは、一般的にセルロースファイバーを液体に添加した際に、生じる増粘性が影響したものと推察できる。また、この増粘性が確認できたことから CMF がアクリル樹脂内で十分に解繊され、均等に分散したと推察できる。加えて、CMF1%とCMF2%を比較するとCMF2%の LST 値が小さくなっており、添加量の増加に伴い粘度が大きくなっている。

曲げ弾性率では、CMF1%の試験片がアクリル樹脂の試験片に対して、増加傾向がみられた。CMF2%の試験片ではアクリル樹脂の試験片よりも有意に大きくなっていった。これは添加量が増加するのに伴い、CMF による樹脂の補強効果によって曲げ弾性率が大きくなり、剛性が上がる可能性を示していると考えられる。

今回の結果から、アクリル樹脂に CMF を添加することで、アクリル樹脂のみで製作する義肢や装具よりも、1割程度剛性が高く、可撓性が低い製品を作製できる可能性が示唆された。

しかしながら添加量が増えることで、粘性が大きくなり、アクリルを使用する際に義肢装具領域で一般に行われているラミネーション作業が困難になる可能性がある。そのため、今後は添加量と混練時間、作業効率のバランスを検討する必要がある。

加えて、今回は液状の樹脂にセルロースファイバーを添加して硬化させた試験片の検討であった。今後の義肢装具領域での活用を考えると、熱可塑性樹脂にセルロースファイバーを添加した板材をオープンで軟化させ、賦形するといったプロセスを取った際の、製品の機械的性能を検討することも必要になる。

また、本研究の副次的な成果としては、セルロースファイバーの活用により満たすことのできるニーズを探るために行った装具ユーザおよび装具使用中止者へのインタビュー解析の結果である。インタビュー解析の結果より、ユーザが装具の効果を認識する要素、装具自体に対するニーズ、装具提供サービスに対するニーズが明らかとなった。装具および装具提供サービスの改善によって、ユーザの満足度の向上が期待できる。

また、得られたニーズを項目分析と探索的因子分析により評価尺度として整理することで、ニーズの充足を評価する評価尺度が得られた。この評価尺度の活用は、臨床現場でのフィードバックループの強化と義肢装具分野における実用的な改善につながる可能性があることから、今後論文等に取りまとめ対外的に発信する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 佐藤 健斗、三富 菜々、春名 弘一、昆 恵介、小林 大二	4. 巻 39
2. 論文標題 脳卒中による短下肢装具使用経験者を対象とした短下肢装具と装具提供サービスに対するニーズの把握	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 リハビリテーション・エンジニアリング	6. 最初と最後の頁 40～49
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.24691/resja.39.1_40	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 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 義肢装具領域におけるセルロースファイバーの活用に向けた基礎的研究
2. 発表標題 佐藤健斗, 大友温太, 工藤純弥
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 Kento Sato, Keisuke Kon, Daiji Kobayashi
2. 発表標題 Lower-Limb Orthosis and Service Satisfaction Scale: A Study with Stroke Patients in Japan
3. 学会等名 BioMed-APOSM2024（国際学会）
4. 発表年 2024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
---------------------------	-----------------------	----

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