

図3

3. 図2の足部に対し、より簡単に足部カバーを取り付けられるように、既存の足部成型形を利用し、発泡ウレタンのみで充填した足部を製作し、これに貼り付けることで、一般の義足と変わらない外観に加工できるものを設計・手配した(図3)。



図4 デザインモデル3DCG-01

4. 被験者T・Y君の生活行動観察から得られた知見を元に足部カバーのデザイン提案を行った。

現状の足部はCFRP製の骨格構造にゴム製のカバーを被せた構造が一般的である。形状は人間の足部そのものを模した形状である。現状の足部の機能として以下のようなものが考えられる。

- ・周囲の人々に一見して義足と悟られないようにするためのカモフラージュ機能。
- ・靴を履くことができる形状。
- ・硬い義足によって人や物を傷つけないための安全性。

これらの機能を念頭に置いた上で、被験者T・Y君の生活行動観察を行い、子供用足部に求められる機能を確認した。

#### 4-1 生活行動観察での発見

##### (1) 外観に対する誤解

子供自身は義足であることを友人に気軽に話し、そのことを隠そうとはしていない。このことから、子供の日常生活で求められる機能として必ずしも人間の足部形状そのものである必要はないと考える。

##### (2) 靴との適合

これまで、靴と足部が強固に接続されている方が確実な接地動作を行うことができると考えていた。しかし、観察を行う中で足部と靴と間の隙間で足部が自由に動いていることが確認できた。これにより、地面に対し斜めに接地した場合にも、足首が非可動の足部に代わり靴が動き、接地面積を最大限確保することができる。このことから、靴内部と足部との関係を調整することで、より確実な接地を実現することができる可能性が考えられる。

##### (3) 靴の履くことの難しさ

人間は靴を履く時に足の形状を小さく、細く変化させている。しかし、義足ではこのようなことは難しい。被験者は靴べらを使用し、健常者と変わらない早さで靴を履くことができていた。これは、マジックテープで容易に緩めることが可能な靴を使用していたからである。また、義足になってからこれまで、工夫を重ねてきた結果でもある。今後、被験者が成長する中で紐靴など様々を仕様の靴を履くことも考えられる。容易に靴を履くための構造を検討する必要がある。

##### (4) 集団行動と安全性

小学校では様々な団体行動が求められる。今回の調査では休み時間にはサッカーや鬼ごっこをして遊び、体育の時間にはラグビーが行われていた。子供の日常生活は非常に活

動度が高く、またそのほとんどが友人との集団行動である。そのため、接触等でケガをする危険性も高く安全面への配慮が不可欠である。

以上の4点の発見を検討し、足部カバーのデザインに取り入れた。

#### 4-2 子供用足部デザインモデル



図5 デザインモデル3DCG-02

フィールドテストを通して得られた知見から子供用高活動足部に求められる機能を分析、再検討した結果、求められる新たな足部カバーのデザインを提案する。

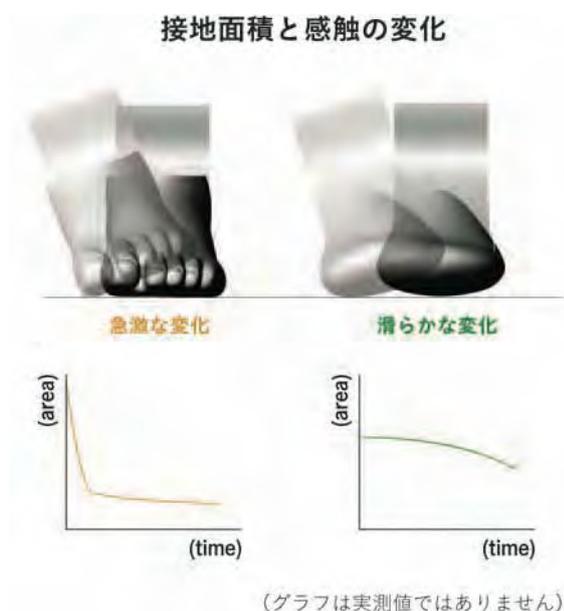


図6 接地面積と感触の変化

#### (1) 靴の中の自由度 - (図6)

対地性能を高めるため、足底面を楕円球形状に設計し、靴の中での足部の自由度を高めた。また、既存の足部は人間の足の形状そのものであるが、硬いゴムで覆われており、変形もしない。そのため、接地角度によって接地面積、感触は大きく異なる。今回のような球状の底面を採用することにより、接地感触の変化を少なくし、安心して接地を行うことができる。この機能は慶應義塾大学にて研究開発を行っている円盤投げ、砲丸投げに使用する投擲用足部でも用いられており、その効果は実証されている。



図7 靴を履く手順

#### (2) 新たな着脱方式 - (図7)

今回、新たな着脱方式を考案した。足部を靴に入れる際、最も幅をとり、開口部に掛かる部分は踵と足背部(足の甲)を結ぶ直線である。そこで、足背部をプラスチックの別パーツとし、足底部を挿し込んでから足背部を差し込み、マジックテープや紐で締め付ける構造とした。足背部パーツにはCFRP製足部との接触部に硬質ゴムが取り付けられており、圧力をかけることで発生する摩擦によ

り、パーツのズレを防ぐ構造としている。

### (3) つま先の安全性

安全性の問題にはつま先部を覆うことで対処した。人と接触する可能性が最も高い部分は足部の前方である。そのため、足部前方はウレタンゴムの柔軟な素材を接着し、覆う構造とした。足首は非可動のため、足背部が人に接触する可能性は低く、硬質の素材とした。

### (4) 踵部の角度調整

CFRP製足部は個人に合わせ角度調整を行う必要がある。角度を変更した際、調整が可能なように踵部を別パーツとした。踵部パーツの間にスペーサーを入れ接着角度を調整することにより、CFRP製足部の角度調整に対応することが可能となっている。

現状は提案段階に留まっているが、今後、先行モデルの実使用から得られる知見を元に改良を重ね、実用モデルを製作する予定である。

## E. 開発方法

### 1. 具体的な製作

設計製作は、(株)今仙技術研究所が中心となり、3D CADを用いた設計を行い、構造解析ソフトを用い、荷重に対する変位、応力分布の解析を行う。

デザイン面は、慶応義塾大学が中心となり、プロダクトデザインの観点からデザインアプローチとして設計を行う。機器の評価は、鉄道弘済会義肢装具サポートセンターが中心となり、フィールドテストにより評価分析を実施する。

### 2. 生活行動観察

ユーザーの1人である、片下腿切断の小学生を対象とした足部の設計にあたり、不明な点が多く存在した。そこで、実際の生活、家、学校、登下校と言った生活行動を観察し、子供用足部に必要な要件を検証した。

観察は慶応義塾大学二名、(株)今仙技術研究所のエンジニア1名と共同で行った。

## F. モニター評価

開発期間内において、試作品が完成したところまでに留まった為、義足の製作とモニター評価に至らなかった。

## G. 開発で得られた成果

### ・設計方法 (2. 足部: 図2)

ユーザーであるT・Y君の普段使用する義足のトレース図を元とし、出来るだけ長断端に適応できるように下方まで平面部を伸ばすように設計し、同時に外装や衣服の装着性を考慮し、足部の後方への出っ張り(踵部分)を最小限となるように設計している。

### ・新材料選定

子供の活動度を踏まえ、新たな材料を用いてスポーツ用足部を試作し、評価を行い、これまでの材料と比較して良好な結果を得た。

添付資料1を参照。

### ・構造解析の条件 (2. 足部)

対象ユーザーの身長(140cm)を参考に身長 $\frac{2}{3}$ くらいの高さ(重心位置を参考)からトウブレイク付近を通るような負荷方向に荷重を掛ける。イメージとしては、つま先に荷重をかけて重心位置へ荷重するケンケン跳びのイメージで解析を行った。

材料特性は成人用のCFRP製足部の変位-負荷特性試験の結果を参考に弾性係数の数値を入力した。

### ・構造解析の結果 (2. 足部)

対象ユーザーの体重(40kg)を参考に、ケンケン時に想定される約3~4倍程度の負荷値120kgf時の結果を示す。

変位特性の解析結果を図8, 9に示す。

変位max: 約35mm

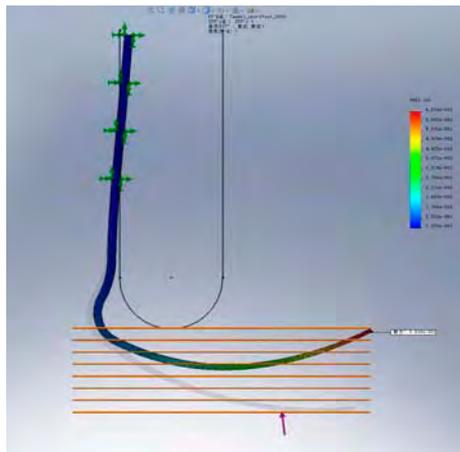


図8 変位特性 (側面図)

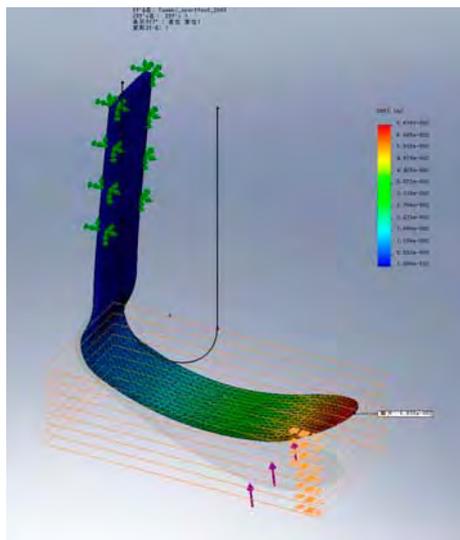


図9 変位特性 (斜視図)

応力分布の解析結果を図10, 11に示す。  
 応力max: 556.5MPa

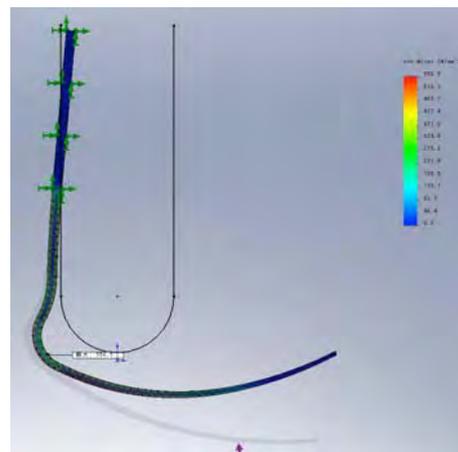


図10 応力分布 (側面図)

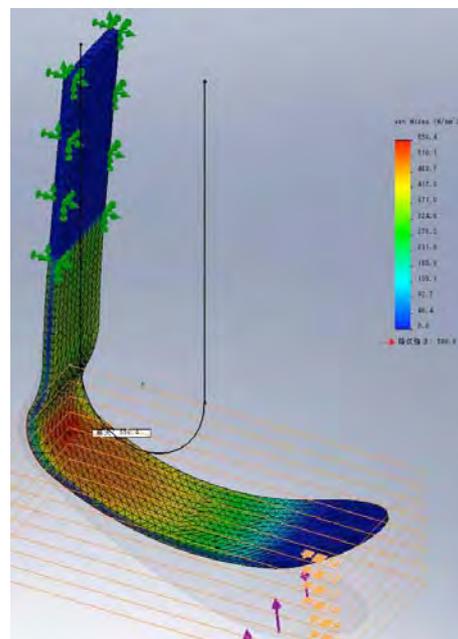


図11 応力分布 (斜視図)

#### H. 予定してできなかったこと

- ・ 子供用足部の試作品のベンチテストと臨床評価。
- ・ 足部カバーの開発品の臨床評価とその結果から実用化への課題の洗い出し。

上記項目は、計画に対し試作検討・設計期間が長引いたことなどが原因として挙げられる。

#### I. 考察

今回の開発ではCFRP製足部と足部カバーの二パーツについて設計が行われた。子供用の義足の開発は世界的にも例は少なく、大人用のパーツを機能はそのままに、縮小したものに留まっている。子供の義足使用者総数の少なさもあり、子供の生活に必要な機能は未だ明らかとなっていない。

今回行った生活行動観察は、これまでの義足パーツ設計で深くは考えられてこなかった子供の日常生活の小さな問題や、義足で活動する際の挙動、周囲の環境との関わりなど、改めて義足に必要な機能を見直す機会となった。このような新しい試みを数多く行うことで、設計者の義足への理解は洗練されていくと考えられる。

CFRP製足部ではより高い活動度の必要性の検証。足部カバーでは根拠の曖昧な人体模倣からの脱却が大きな目的であった。今後、フィールドテストを通して両開発モデルの効果検証を行うことで、答えは明らかになると考えられる。

#### I. 結論

フィールドテストを通して結果を明らかにすることが今後の最大の目標である。今回得られた最も大きな成果はやはり、被験者の生活行動観察による子供用義足の再検証である。一見、成熟しきったと思われる義足開発であるが、細かくを見れば未知の領域が多く存在する。本研究のプロセスから、今後の切断者のQOL向上には、実際の生活現場に入り

込んだ、より部分的な検証が多く求められることが明らかとなった。

フィールドテストの結果から今回提案した内容の評価を早急に行い、実動モデルの開発を目指したい。

#### J. 成果に関する公表

1. ホームページ、刊行物等の紙面などでの発表  
なし
2. 展示会などでの発表  
なし

#### K. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし

## 試験目的

スポーツ用足部に使用するCFRP材料の耐久性向上の為、これまでの材料と新たに選定した材料の比較をする。それぞれの材料を用いたスポーツ用足部、83-1127200-0足部7を製作し、従来材料と新材料の物性比較を行う。

## 計測機器

INSTRON 高荷重デジタル制御 機械式サーボシステム 5587型

- ①スポーツ用足部各種に0Nから3000Nまで荷重をかけ、その後0Nまで戻したときの荷重-変位量を計測する。
- ②スポーツキールを破壊時の荷重および変位量を計測する。

## 試験方法

取付条件を下図に示す。

荷重を負荷したとき接地部の試料の滑りを一定とする為、スライドレールにゴムシートを貼り付けて試験を行う。試料取付角度は傾斜角各25°とした。

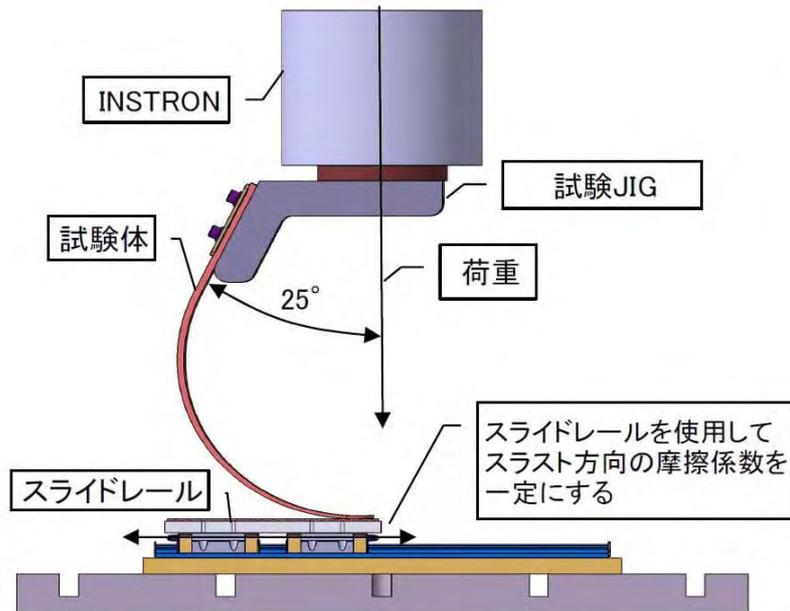


図1 試験方法



図2 組付状態

表1 資料詳細

試料	名称	厚み	備考
①	足部7	8.0mm	従来材料
②-1	SAMPLE1	8.0mm	新材料
②-2	SAMPLE2	8.0mm	新材料（上記②-1の積層構成変更品）

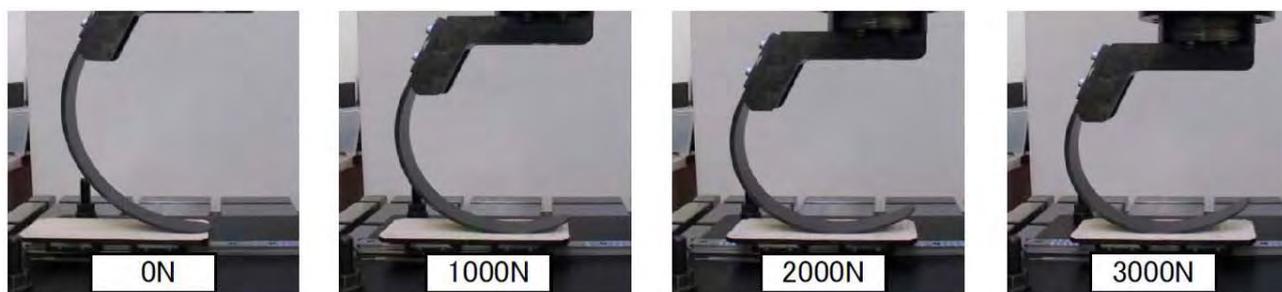
認可	検印	作製	名称	資料No.
		後藤 2011/1/31	スポーツ用足部の物性評価（CFRP新材料の評価）	

## 試験結果

### ○圧縮戻し試験

0N→3000N→0N の圧縮戻し試験の結果を図 3 に示す。

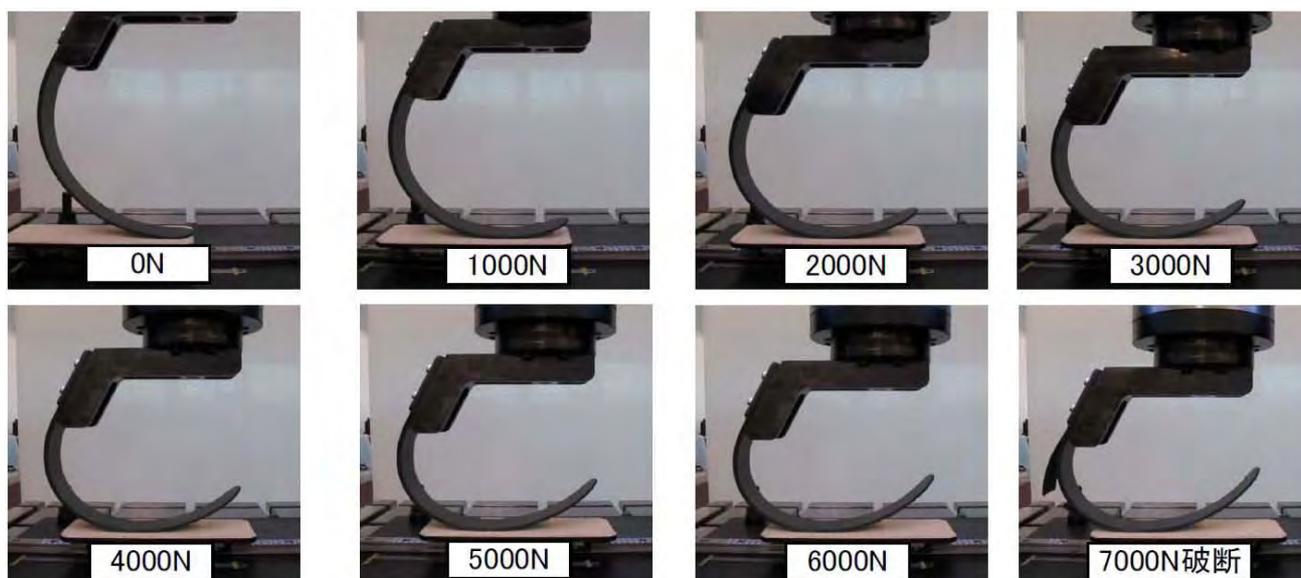
各負荷時の変形の様子を下写真に示す。



### ○圧縮破壊試験

圧縮破壊試験の結果を図 4 に示す。

破壊に至るまでの各負荷時の変形の様子を下写真に示す。



## まとめ

図 3 の圧縮戻し試験の結果から、試料①に近い特性を示したものは試料②-1 であった。一方で、試料②-2 は板厚は同じであるものの、積層構成の差異により柔らかい特性を示している。

図 4 の圧縮破壊試験の結果から、試料①は約 4000N で破壊に達したのに対し、試料②-1,2 は 6000～7000N で破壊した。

今回選定した材料は、従来の材料物性と比較して良好な結果が得られたと言える。以後、引続き疲労試験を行い、耐久性の検証を行う。

以上