

するため、部品配置や視覚的なわかりやすさに配慮した。

以上4項のテーマに沿って疾走用膝継手、ステップ用膝継手、足部カバーのデザインアプローチを行った。

B. 研究開発プロセス

1. 疾走用膝継手

〈接続システムの見直しとバリエーション〉



図1. 疾走用膝継手

疾走用膝継手のデザイン。今まで陸上競技に特化した膝継手は存在せず、日常用高活動者向けの膝継手を個別に設計されたモジュールパーツによって接続することで疾走を可能にしていた。

今回は疾走用膝継手としてモジュールパーツ間の接続システムを見直した。今まで膝継手と板バネの間に存在したカーボン繊維強化プラスチック製のジョイントパーツやピラミッドパーツが膝継手に組み込まれた事により、凹凸や部品間の隙間を滑らかに連続させることが可能となった。これにより身体とソケット、膝継手、足部という全体的な流れが生まれ、視覚的一体感を創出した。機能的な側面では安全性の確保

とメンテナンス性の向上が実現し、指を挟む、ゴミがたまる等の問題を回避し、競技中に安定した性能を発揮するための改善が成された。

膝継手にはシルバー、レッド、ブルーの三色のバリエーションを用意した。選択の幅を提供することで性別、年齢を問わず多くの人にフィットする事、義足への愛着を生み出す事を実現した。多くの人から「足とつながったように感じる」「選べるのは嬉しい」などの意見をいただくことができ、デザインの効果を実感することができた。

2. ステップ用膝継手

〈雪が舞う環境下での様々な問題〉



図2. ステップ用膝継手

ステップ用膝継手ではクロスカン트리スキーを対象競技としてデザインを行った。一次試作の評価実験から、雪が舞う環境下、グローブでの膝屈曲角度調節を行う事は非常に困難であるという意見が得られた。また隙間に雪が混入、凍結し、全てのレースで安定した性能が得られないという問題が報告された。

デザインアプローチではアクセスしや

すいロックレバーのインタフェース検討と、本体への雪の混入を防ぎ性能安定性、メンテナンス性を向上させるための本体形状の設計を行った。ロックレバーは滑らかな曲面で構成し、ひっかからない形状とする事で安定したアクセスを可能にした。本体形状は隙間を極力排除した形状とする事で性能安定性、メンテナンス性を向上させた。全体的に丸みを帯びた形状は安全性の面でも有用と考えられる。今後、荷重可能モデルを試作、検証を行うことで更なる問題点の発見と性能の向上が見込まれる。

3. 足部カバー

〈空気抵抗低減とインタフェース〉



図3. 足部カバー

今仙技術研究所で開発された板バネ「SAMURAI」の、走行中の空気抵抗低減を目的とした足部カバーを、汎用パーツとしてデザインした。

使用シーンの観察から3つの要求仕様が導き出された。1つ目に板バネはアライメント調整を行う過程で上部と先端を切断し長さを調節するため、それに合わせてカバー取り付け位置を変更できる必要がある。2つ目は下腿義足の場合のソケットとの干渉、

接地面との干渉が考えられ、その形状的解決が求められる。3つ目は以上2つの要件を考慮した上で軽量化を図るため、最低限の要素で構成する事である。これらの要求を満たすため以下の対策を講じた。

様々な板バネ長に対応するため前面パーツと背面パーツの2パーツに分割し、カバー取り付け位置を変更できるシステムとした。取り付け方法、他パーツとの干渉、などの機能的な要件を考慮しながら、スケッチ、発泡樹脂の造形、3DCADによる形状検討を繰り返し行い足部カバーの形状を検討、作成した。走行中の空気を流す最低限の要素で構成することで軽量化も実現した。

また素材には軟質発泡ウレタンを使用し素材面からの軽量化も行った。また安全性の面でも板バネと健足との接触時、転倒の際の他走者への衝突時に柔らかい材質で板バネが覆われている効果は大きいと考えられる。



図3. 足部カバーを装着したアスリート

さらに足部カバーは視覚的な側面でも重要な役割を果たしている。板バネは機械的性能を追求した結果、2次曲面から成る形状をしており、これは身体との連続性を著しく欠いたものとなっている。空気を流す3次曲面形状の足部カバーは身体との視覚的統一感を創出し、板バネと身体をつなぐ役

割を果たす。実際の使用者からは「足のように見える」などの意見が得られ、その効果を確認できた。

効果として空気抵抗低減、安全性、視覚的統一性など様々な要素が上げられ、今後の研究から更なる機能向上が期待できるものとなった。

D. 考察

疾走用膝継手で試みたカラーバリエーションは性別、年齢を問わず、多くの人にフィットする効果を目指した。このように使用者に選択の幅を持たせる要素が加わる事で、より多くの人の義足スポーツへの参加が期待される。実際に「いろいろな色があつていい」、「選べるのは嬉しい」などの意見も聞くことができた。

ステップ用膝継手ではインタフェースを検討し、アクセス性、安全性、の向上を目指した。これまでスポーツ用義足では性能を向上させることには焦点が置かれていたが、競技の障害となる諸問題を解決するまでに至っていなかった。今回のデザインアプローチでは形状的な側面から心地よく競技を行うための要素を提示した。

足部カバーでは新たな機能を持ったパーツを取り入れる際、既存の性能を阻害することなく適応することが課題となった。空気を流す形状を前提として、取り付け位置やそれによる調節機能など使用シーンを考慮した解決策を検討した結果、既存の性能を阻害することなく板バネに繋ぐことができたと考えられる。

E. 結論

今回はスポーツ用義足を対象としたデザインの有用性を検証する事を目的として疾走用膝継手、ステップ用膝継手、足部カバーの3つの製作を行った。

デザインアプローチは性能のみではなく使いやすさ、心地よさを使用者に与えることができる。そのようなデザインの役割は

身体と道具の間に位置する特別な存在である義足には他の工業製品以上に必要不可欠であり、ニーズが存在することが今回の3つのデザインを経て明らかとなった。特に疾走用膝継手で述べた「選択の幅」は義足生活者のQ.O.Lを向上させるためにスポーツ用義足には欠かせない要素であることが確認できた。

スポーツ用義足において選手の精神面をサポートする意味でも感覚的側面からの解決を行うことができるデザイン的アプローチが貢献できる場面は多く存在する。今後機能、目的の異なる多くの実用機をデザインし、事例を重ねることでスポーツ用義足におけるデザインの役割は明確になっていくだろう。

障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

分担研究報告書

実走行可能なデザインモデルの製作

研究分担者： 慶應義塾大学 山中俊治デザイン研究室 山中俊治 檜垣万里子

辻勇樹 田中舞 根岸岳 鈴木秀佳 神山友輔 村松充

今仙技術研究所 鈴木光久 芥川雅也 大塚滋

鉄道弘済会 白井二美男 斎藤拓

研究要旨：片下腿切断の選手を対象として実走行可能な陸上競技用下腿義足のデザインを行った。ソケットデザイン、ピラミッドパーツ、板バネと構成するパーツ全体を通して機能的な改善と形状的一体感の創出を図った。

A. 研究開発の背景と目的

1. デザイナーの役割

ソケット、ジョイントパーツ、板バネという陸上競技用下腿義足を構成する全ての要素を一貫してデザインすることは未だかつて行われてこなかった。これは、義足の制作現場がそれぞれの専門家によって分割されている事に起因する。工業製品であるジョイントパーツや板バネはメーカーが開発供給し、ソケットは義肢装具士が制作する。医学療法士はそれらをスーパーバイズする立場にはあるがものづくりの専門家ではではない。したがって、義足の開発プロセス全体を一貫した価値観でコントロールするという立場の職能は存在しなかった。一般的な工業製品の開発においても、デザイナーはその企画から設計開発、製造プロセスまで全体にわたって美と実用性の専門家として参加し、製品の質的向上を担当する。義足製作のプロセスにデザイナーが参加することによって、分断された開発プロセスを一貫した価値観で繋げる役割を果たし、真にユーザーの求める義足の製作を行う事が可能となると考える。

今回は特定の被験者を対象にして開発を行う事で、断端長や断端の形状、好み等の特徴を踏まえた上でのデザインを可能とした。デザインは一般的には量産品に対して

機能する職能と考えられているので、このこと自体も新しい試みであると言える。今回の実走行可能なデザインモデルの製作を通してデザイナーが義足製作の現場に参加する事の効果と可能性を検証する。



図1. 断端の形状が露出したソケット

2. ソケットの表面と選手の気持ち

従来のソケットは切断者の断端に内面がフィットするよう製作されるため、その外観も断端部形状に沿った立体となる。この形状は切断部位の傷跡やマイナスのイメージを連想してしまうものでもあり、義足を見せること、見ることへの抵抗になっていると考えられる。スポーツ用義足は競技に必要な要素以外を極力省く。そのため

競技中はソケットを見せなければならず、選手の精神的負担となっている可能性がある。特に走り始めて間もない選手にはその負担が大きいように感じられ、衣服やサポーター等で隠している姿がよく見られる。ソケット形状を滑らかに成形することは、選手の精神的負担を軽減し、見る側に与えるマイナスイメージを払拭する効果がある。スポーツ用義足に限らず日常用義足においても解決しなければならないデザインの問題である。

B. 研究開発方法

1. 義肢装具士と共同で行うソケット製作



図2. 鉄道弘済会での作業風景

ソケットは切断者の断端形状に合わせて製作されるため、工業製品のように特定の形状を全ての場合に適応することが困難である。

この表面を滑らかな形状に成形するために今回は三層積層構造を用いて製作を行った。内側から断端形状層(図3)、成形層(図4)、構造層(図5)の三層から構成されており、切断者の断端を採型したピンクの断端形状層の上にパテを盛り切削、成形し、最後に構造層としてカーボンクロスを被せアクリル樹脂でラミネートする。



図3. 断端形状層



図4. 成形層



図5. 構造層

2. ピラミッドパーツ、板バネなど、エンジニアと行う汎用パーツのデザイン



図6. 汎用ピラミッドパーツと板バネ

汎用パーツとして下腿ソケットと板バネの接続部に用いるピラミッド機構を新たにデザインした。従来のスポーツ用義足では歩行用義足のためのパーツを流用してきたが、ここでは、陸上競技専用のパーツとして下記の3つの要素を両立させる部品として開発した。

- ・ スポーツ用品らしい流麗な外観
- ・ 衝撃力にも耐える強度
- ・ スポーツに求められる繊細なアライメント調整に対応できる調整機構

内外旋を調節する歯を従来の3分の1ピッチで刻み、アスリートに合わせたより細かな調節を可能とした。形状としてはベジェ曲線を用いた3次元曲面を駆使して、ソケットと板バネの間を滑らかな曲面で繋ぎ、パーツ間の外観上の連続性を保つよう工夫した。板バネでは荷重線が降りる、先端から50mmから70mm近位に水平方向の幅をとることで走行時の安定性を確保した。

C. 研究開発結果

1. 被験者による試走とヒアリング



図7. 試走風景

実際に走行試験を行った結果、選手とその家族、義肢装具士からは「きれい」「つながって見える」などの意見が得られた。また「これを着けて大会で走ってみたい」という声もいただくことができ、デザインの必要性を確認できた。またソケット製作時には鉄道弘済会での作業工程で義肢装具士とデザイナーが一所で意見を交わしながら分野横断的に作業を進める過程に、義肢装具製作にデザイナーが参画する可能性を発見することができた。

汎用パーツに関しては板バネの幅を広げたことによる効果が大きく「安定性が増した」という評価を得ることができた。反面、今回初めて試みた3層構造のソケットや新設計のピラミッドパーツの使用による重量増の問題が指摘されている。実際、今回の試作においては、スタイルの効果を優先し、重量を始め、十分に機能的に洗練するには至っていない。ソケット、ピラミッドパーツ共に加工法、素材の改善を行うことで大幅な軽量化が可能であることは既に確認されており、次期モデルにつながる成果であると認識している。

2. デザイン的手法の導入

形状的には身体との連続性が保たれ、見せることへの期待感を選手の意見から感じ取ることができた。今回はソケットの内側と板バネの後ろに選手の最も好きな色であるピンクを配色したが、これは事前にコンピュータグラフィクスを使った配色シミュレーションを選手に提示することによるヒヤリングに基づいている。これまでもトップアスリートの中で板バネやソケットに彩色する前例はあったが、そこにはデザイン的手法が介在しておらず、場当たりの着色が行われてきた。今回、観客席からもはっきりと認識することができるビビッドな色を採用するなど視覚効果もふまえた上で、選手の好みと調整することで、明快なカラーコーディネートを実現することができた。今後、その効果を第三者評価で確認して行きたい。今回の実走行可能なデザインモデルの製作は実用可能である義足、その全体をデザイン的に捉え直した初の試みとして重要なケースモデルとなる。



図8. 試走風景



図9. 試走風景



図10. デザインモデルを纏う選手

D. 考察

今回の義足製作ではデザイナーが使用者の要望をヒヤリングしつつ、義肢装具士、エンジニアと協業する事により、義足全体の機能的要件を満たした上で視覚的統一感を生む一貫した形状的アプローチが可能となったと考えられる。

製作工程にデザイン的手法を介在させることで、形や色の中に選手のモチベーションを高める効果や競技場での見栄えなど感覚的な効果を組み込むことができた。これは今までの義足製作には無かった新しい試みである。

E. 結論

選手から好感が持てる意見もいただくことができ、義足製作においてデザインが果たす感覚的な効果は非常に大きいことが確認できた。また全体の製作を通してデザイナーという分野横断的な職能は業種間を繋ぐ役割を果たし、義足全体を一貫したクオリティを与える事を可能にすることがわかった。しかし、実際の製作現場においては一人の義肢装具士が一人の切断者に多くの時間をかけることが困難な現状や、経済的な問題もありデザイナーが簡単に入り込める状況にはない。今回、一応のデザインの効果は確認できたが、今後、製作の回数を重ね、デザインができることを、さらに明確にしていくことが必要である。その上で、現実問題として様々な地域や経済の事情を抱えている実際の製作現場に、広くデザイン的手法を投入する方法について、さらなる研究を重ねる事が重要である。

Photo by Yukio Shimizu



美しい義足

Sports Prosthetic Project
2009 – 2010

Further Step

人の体と、
人のつくりしものが一体となり、
世界を駆け巡る。

私たちはそんな夢を「義足」に託しました。

義肢は元々、失われた四肢を補完するために存在しています。機能と外観を健常者に近づけること、それが理想のデザインでした。これまでの義足は、それがどのようなデザインであるかさえ知られないままに、衣の下にありました。しかし、義足のアスリート達がスタジアムを駆け抜けるとき、隠すものから見せるものへ、そして賞賛されるものへと、義足が変わりつつあることに気づきます。技術は、より速くより高く躍動しようとする人体のために、新しいかたちを生み出し始めたのです。

とはいえ、スポーツへの扉は開かれたばかり。現状のアスリートたちの足は、既存の限られた部品をかき集めて、試行錯誤を繰り返しながら作られています。志のある人たちが走り始めた今こそ、誰もが愛するスポーツのために、アスリート達をより美しく躍動させるための新しい義足が必要なのです。

私たち慶應義塾大学 SFC 山中俊治研究室は、エンジニアリングとデザインを通じて、人と人工物の新たな交わりを研究しています。多くの人のための機能的で美しいスポーツ用義足を作りたい。そして、スポーツを愛する選手たちのメダル獲得を、可能な限りサポートしたい。そのような思いでスポーツ用義足の研究開発を進めています。