

障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発

平成 21 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 長縄 正裕

平成 22 (2010) 年 4 月

目 次

I. 総括研究報告	
スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発	1
長縄正裕	
II. 分担研究報告	
1. 疾走用膝継手に関する研究開発（機構設計）	6
大蔵史景、鈴木光久、芥川雅也、渡辺学、後藤学、臼井二美男、梅澤慎吾、 岩下航大、山中俊治、檜垣万里子、辻勇樹、大塚滋、黒岩成一、今井伸一	
2. ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計）	44
大塚滋、鈴木光久、芥川雅也、後藤学、渡部学、山中俊治、檜垣万里子、 村松充、黒岩成一、今井伸一、臼井二美男、梅澤慎吾、岩下航大	
3. 足部カバーに関する研究開発（風洞実験）	70
鈴木光久、芥川雅也	
4. 足部カバーのフィールドテスト	97
芥川雅也、鈴木光久、渡辺学、後藤学、臼井二美男、梅澤慎吾、岩下航大、 山中俊治、檜垣万里子、辻勇樹、根岸岳、田中舞、鈴木秀佳、坂本弥光	
5. 多変量解析 SD 法を用いた足部カバー印象評価の因子分析	101
芥川雅也、鈴木光久、後藤学、渡辺学	
6. 疾走用膝継手・足部カバー重要度と満足度評価・・・5段階評価	117
芥川雅也、渡辺学、鈴木光久、後藤学、大塚滋	
7. スポーツ義足の大規模フィールドテストによる研究開発 －課題の抽出と設計へのフィードバック	128
芥川雅也、鈴木光久、伊藤智昭、渡辺学、後藤学、大塚滋、大蔵史景	
8. 大腿義足走行動作に関する研究	134
鈴木光久、芥川雅也、山本篤	

9. 耐水下腿義足（サンダル様の下腿義足）に関する研究	-----	140
鈴木光久、芥川雅也、大塚 滋		
10. フェアリング（スポーツ用途の外装カバー）に関する研究	-----	162
鈴木光久、大塚 滋、芥川雅也		
11. 疾走用膝継手の臨床計測と評価	-----	173
梅澤慎吾、岩下航大、宮永豊		
12. 足部カバーに関する機能評価	-----	186
梅澤慎吾、岩下航大、宮永豊		
13. 切断者スポーツクラブでの実用評価	-----	191
白井二美男、沖野敦郎、齋藤拓、大野祐介、稲垣邦彦、坂井優之		
14. 疾走用膝継手、ステップ用膝継手、足部カバーのデザイン	-----	196
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		
15. 実走行可能なデザインモデルの製作	-----	200
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、鈴木光久、芥川雅也、大塚滋、白井二美男、齋藤拓		
III. 研究成果の刊行物・別刷（カタログ・リーフレット）	-----	205

障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

総括研究報告書

スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発

研究代表者 長縄正裕

研究要旨：本研究では下肢切断者のスポーツを通じたノーマライゼーションを目的に

(1) 疾走用膝継手：走り易い義足を開発するために、走行中の遊脚相に必要な機能を検討、開発をする。デザインからのアプローチも平行して検討する。

(2) ステップ用膝継手：サイドステップをすることができる義足を開発するために、必要な機能を検討、開発をする。デザインからのアプローチも平行して検討する。

(3) 足部カバー：板ばね足部に必要な風防機能と安全性を検討、開発をする。デザインからのアプローチも平行して検討する。

(4) デザインモデル：「美しいスポーツ義肢」を題材に、デザインから実用可能なモデルを試作し、実用化への可能性を探る。

これらの研究要素を当事者である、初心者から競技レベルの運動に興味を持つ下肢切断者や授業・課外活動の中で健常児と同等の運動を望む学童・学生の下肢切断者にて大規模にフィールドテストを行い評価するとともに、動作計測装置による計測を並行して行い、これらより得られた課題を機構設計・意匠設計へフィードバックする。このフロントローディングにより真に求められる設計要件を落とし込み実用化へつながる機器を開発し、義足生活が豊かになる切断者スポーツ環境の創成を行う。

研究分担者

氏名	所属機関名	職名
鈴木 光久	(株)今仙技術研究所	技術二課 課長 プロジェクトリーダー
大塚 滋	同上	技術二課
大蔵 史景	同上	技術二課 義肢装具士
黒岩 成一	同上	製造課 係長代理
今井 伸一	同上	製造課
伊藤 智昭	同上	海外販売課 課長
渡辺 学	同上	営業二課 課長
後藤 学	同上	営業二課 係長代理
芥川 雅也	同上	営業二課 義肢装具士
宮永 豊	(財)鉄道弘済会 義肢装具センター	医師
熊谷 一男		義肢製作課長
坂井 優之	同上	義肢研究室長

臼井 二美男	同上	義肢研究員
稲垣 邦彦	同上	製作係長
沖野 敦郎	同上	義肢装具士
齋藤 拓	同上	義肢装具士
大野 祐介	同上	義肢装具士
梅澤 慎吾	同上	理学療法士
岩下 航大	同上	理学療法士
山中 俊治	慶應義塾大学大学院	政策・メディア研究科 教授
檜垣万里子	同上	SFC 研究所所員

A. 研究開発目的

本格的な競技までは望まないが、スポーツレクリエーションへのモチベーションが高い下肢切断者は多い。スポーツに多くの効能が認められ、医師・理学療法士・義肢装具士らからもスポーツ用義足部品開発の要望が多い。

(株)今仙技術研究所が2005-2006年に(財)テクノエイド協会から助成を頂き開発を行ったLAPOC/SPORTS 侍により、下肢切断者の日常生活の運動活動で使用する義足部品の選択幅が大きく広がり、切断者のQOL向上に寄与した。本研究では、LAPOC/SPORTS 侍および海外他社スポーツ義足用部品には無い、運動用膝継手と足部カバーを開発する。

運動用膝継手を開発することで、国産部品でのスポーツ義足を大腿切断者にも低価格で使用でき、より多くの切断者にスポーツへの入門を促し、地域スポーツクラブなど、切断者同士のコミュニケーションづくりや心身の安堵等、生活の質向上・健康増進が期待できる。また、足部カバーを開発することで、下腿部揺動時の抵抗低減により、競技記録の向上、訓練期間の短縮を促し、切断者が心身ともに楽に運動できる成果が期待できる。

本研究を行うことで、下腿切断者のスポーツを通じたノーマライゼーションを促し、下肢切断者のスポーツ人口の倍増を目標とする。

B. 研究開発方法

本研究では、2つのスポーツ用膝継手、疾走用膝継手、ステップ用膝継手と板バネ足部用の足部カバーの開発を行う(図1、図2、図3)。また、新たな試みとして、3点の開発品においてデザインアプローチを導入する。



図1 疾走用膝継手



図2 ステップ用膝継手



図3 足部カバー

試作機器を延べ 30 例以上の大規模フィールドテストを行うことで、フィールドテストからの臨床評価を得て、評価結果を開発機器にフィードバックする。

また、デザインモデル：「美しいスポーツ義肢」を題材に、デザインから実用可能なモデルを試作し、実用化への可能性を探る。実走行可能なモデルを製作し、被験者でのフィードリングを確認する。

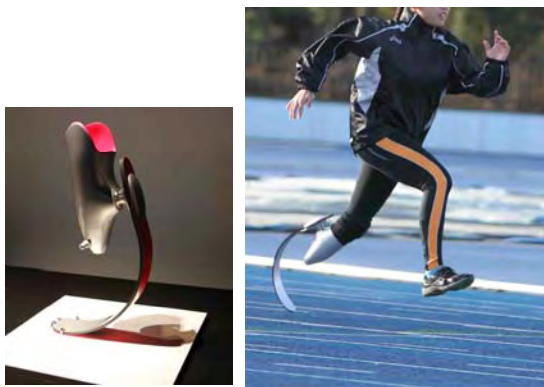


図4 デザインモデル

1. モニター評価手法

- ・製作方法、調節方法・・・記述式
- ・膝継手・足部カバー重要度と満足度評価
・・・五段階評価
- ・膝継手・足部カバーの印象評価・・・SD 法
(セマンティックディファレンシャル法)
- ・動作解析・・・狭義の義足走行（最高歩行速度以上の速度で疾走）における膝継手と足部カバーの相対機能評価を測定機器を使用して行う。
計測機器：ZEBRIS FDM 足圧センサー付きトレッドミル、Dart Fish 二次元動作解析ソフト

2. 主たる評価項目

<アンケートによる主観的評価>

- ・スポーツ用義足の普及の為に必要と思われる重要度の評価
- ・使用者の膝継手・足部カバーに対する形状・重量・大きさについて満足度と重要度の評価
- ・膝継手の調節方法の評価
- ・SD 法による、膝継手・足部カバーの印象評価

<計測機器による客観的評価>

①疾走用膝継手

- ・歩行速度による指標 → 膝継手の追従性（膝部の角度変位と所要時間）
- ・被験者の走行戦略からみる指標 → ケーデンス、遊脚相の割合 etc を算出
- ・運動感覚（体性感覚や聴覚フィードバック）の指標 → 板バネとソケット後壁のぶつかり易さ&タイミングの検証
(図4、図5、図6)

②足部カバー

- ・使用時と未使用時の膝継手追従性の比較か
走行時の競技力向上の要素の有無を評価
- ・板バネの軌跡を解析し、遊脚相における動作性のスムーズさを検証

3. モニターする人数

大腿義足 8人 下腿義足 9人

4. モニターする当事者数 22人



図4 機器による開発機器の評価

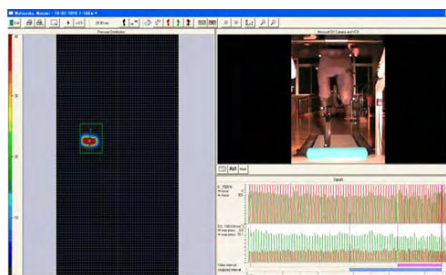


図5 Zebris FDM-T

足圧センサー付きトレッドミル解析システム



図6 Dart Fish

二次元動作解析ソフト

5. モニター評価に関する倫理面への配慮

研究対象者に対する十分な情報提供・開示とインフォームド・コンセントおよび研究対象者の自己決定を原則とし、あらかじめ研究対象者に対し研究に関わる事項を文書により説明し、原則として文書により署名・同意を得た上で研究を行う。研究対象者および研究者本人を含めた人の安全性の確保と社会的、倫理的問題への配慮に努める。

C. 研究開発結果

1. 達成割合 (%)

疾走用膝継手の開発	90%
ステップ用膝継手の開発	90%
足部カバーの開発	100%
デザインアプローチ美しい義足の開発	100%
フィールドテストの実施	100%
動作解析による客観的評価	100%
プロジェクト全体の達成度	95%

2. 達成できたこと

①疾走用膝継手、ステップ用膝継手 2種類の膝継ぎ手の試作とデザイン性の検討(疾走用

に関してはデザイン性反映まで着手)。

②足部カバーの試作。

③フィールドテストの実施。

④デザインアプローチモデルの試作。

⑤アンケートの実施とその分析による主観的評価

⑥計測機器によるモニタ評価の実施とその分析による客観的評価

3. 達成できなかったことおよびその主な原因

フィールドテストの分析結果のフィードバックを反映した試作を行うことができなかった。

主な原因は、一部機器の開発が遅れたこと、開発期間の短さが挙げられる。

また評価が人を対象とするために訓練、体力など想定外の要素も原因の一つとして挙げられる。

D. 考察

実用化に向けて今後に残された研究または課題として、開発機器においては開発期間の短さからフィールドテストによる使用者のフィードバックを開発品に反映することができなかった。実用化に向けて、今回のフィールドテストによるフィードバックを反映した機器開発が課題となる。

またモニタ評価においてもその特性上、より長い期間での評価、評価方法の考察が課題である。

今回の開発では検討できなかったが、コスト面での実用性も今後の課題として挙げられる。

今後の実用化と普及、特に授業や課外活動で健常児と同等の活動が必要な学童に使用していただくために、補装具完成用指定部品に指定していただくための活動が課題となる。

E. 結論

本開発では、2つのスポーツ用膝継手と板バネ足部用の足部カバー、デザインモデルの試作を行い、全国でのフィールドテストを実施、アンケートによる主観的評価と計測機器による客観的評価を行い、試作機器の開発を進めた。

今回の開発、フィールドテストを通して、スポーツ義足用膝継手、足部カバーを実用化するための仕様とそれを実現するための技術的課題抽出をおおむね達成した。

しかし現時点では、開発過程で挙げられた課題、切断者の環境、コスト面などの課題を解決していないため実用事業化できない。今回の開発、フィールドテストで明らかになった課題、また継続調査から新たに出てくる課題を解決していくことで実用化を目指す。

多くの需要が見込めないこのような製品の研究、開発、普及は、企業・個人の社会貢献のみに期待するだけでは、継続はむつかしくなる。

障害者のノーマライゼーションには、なくてはならないもので、科学技術が発達している今日の最高の技術を取り入れた製品を障害者が使用できるよう、社会がささえる必要がある。今回のプロジェクトは、多くの人の協力があり一定の成果が得ることができた。今後産・官・学が連携し継続して推し進めることがなによりも重要である。

F 健康危害情報

直接的には、転倒による怪我が考えられる。過度なトレーニングによるスポーツ選手特有の身体障害、腰痛、肉離れ、アキレス腱の切断など考えられ、スポーツ指導員の適切な指導の下行う必要がある。

G 研究発表

1 論文発表

なし

2 学会発表

第26回日本義肢装具学会学術大会に「スポーツ用義足部品の開発」という主題に副題を付けて、本プロジェクト分担研究者から6題エントリー（第1次応募）した。

応募題目一覧

スポーツ用義足部品の開発

～板バネ足部カバーの空力特性計測～

スポーツ用義足部品の開発

～横移動を目的とした衝撃吸収可能な膝継手～

スポーツ用義足部品の開発

～足部カバーの印象のSD法を用いた因子分析～

スポーツ用義足部品の開発

～疾走用膝継手の客観的評価～

スポーツ用義足部品の開発

～陸上競技用義足の長さ・アライメント調整～

スポーツ用義足部品の開発

～デザインの導入とその効果～

H 知的財産権の出願・登録状況

エアロダイナミクスカバー（足部のカバー）の特許出願をした。

出願番号：特願 2010-49727

【発明の名称】 競技用義肢

【発明者】 鈴木光久、山中俊治

【出願人】 株式会社 今仙技術研究所

以上

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

疾走用膝継手に関する研究開発（機構設計）

研究分担者 大蔵史景,鈴木光久,芥川雅也,渡辺学,後藤学,臼井二美男,梅澤慎吾,岩下航大,
山中俊治,桧垣万里子,辻勇樹,大塚滋,黒岩成一,今井伸一

研究要旨：本研究では運動用膝継手として疾走用膝継手の開発をする。

A. 研究開発目的

(株)今仙技術研究所が2005-2006年に(財)テクノエイド協会から助成を頂き開発を行ったLAPOC/SPORTS侍により,下肢切断者の日常生活の運動活動で使用する義足部品の選択幅が大きく広がり,切断者のQOL向上に寄与した.この開発した義足部品は主として下腿義足ユーザへのシステム構築に至った.一方で大腿義足ユーザは同じく義足部品の使用されているが,膝継手に関しては既存のスポーツ用膝継手がないため,強度に定評がある日常生活用(歩行用)の膝継手が汎用的に使用されているのが現状である.本研究の開発品では運動用膝継手として走ることにより特化させた疾走用膝継手の開発を目標とし,大腿義足ユーザへのシステム構築を計る.

B. 研究開発方法

1. 対象

- ・ユーザ：大腿切断・膝離断の成人男女としてスポーツ義足の初心者から経験者を対象とする.
- ・競技種目：主に陸上競技のトラック種目の100m, 200m走とフィールド種目の走幅跳びを対象とする.

2. 仕様と課題点

疾走用膝継手の開発にあたり以下の仕様に設計する.設計担当：(株)今仙技術研究所
疾走用膝継手を検討するにあたり,ワーキングモデル機構解析ソフトを用いて,疾走に近い義足の動きを再現して,膝軸トルク(摩擦やバネを含む)と下腿部の重心位置がどのように義足膝の動きに影響するかを検討したfig1.以下結果・考察が得られた.

重心位置は姿勢や安定性に影響する.伸展ストップの衝撃吸収が安定性に影響する.膝の軸に粘弾性がなくても周期的な動作が可能だが,ある程度の低摩擦や,粘性要素があったほうが安定すると想像できる.別紙資料ワーキングモデルによる疾走膝のシミュレーション

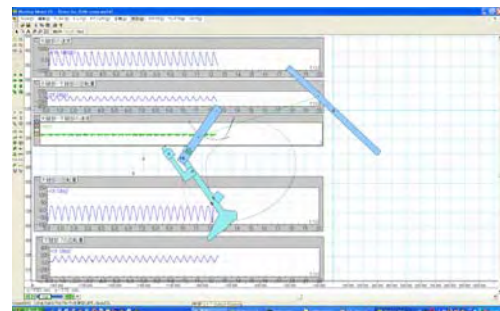


fig.1 疾走膝シミュレーション

仕様

- ・単軸膝継手：現在アスリートレベルのユーザはOtto Bock社の3R55多軸油圧膝継手を汎用的に使用している.研究期間以前からの調

査を通し、スポーツ用として使用するのに多軸、単軸のどちらでも良いとフィーリング評価を受けている。本研究では先行開発として膝軸はシンプルな単軸膝とする。

- ・強度：歩行を目的とした日常生活用の膝継手と異なり、歩行よりも大きな負荷に耐え得る強度が疾走用膝継手に求められる。

- ・重量：義足モジュール部品において軽量であることは必須であり、とりわけ競技の使用を考慮すれば重量はタイムやエネルギー消費、疲労に影響をもたらす。疾走用膝継手には強度が必要であることと反面して軽量であることも求められる。

- ・ターミナルインパクトの緩衝：遊脚相中期から下腿部が急速に前方に振出し、膝継手完全伸展時に起こる過度な衝撃、衝撃音（ターミナルインパクト）の緩衝、衝撃吸収に工業用ダンパを用いる。

- ・膝継手コネクタ部：疾走用膝継手は膝継手に直接、板バネ足部を組付けられるコネクタとする。また、板バネ足部を直接膝継手に組付けた際に基準となるベンチアライメントを探る。

- ・膝折れ対策：義足走行習熟度の低いユーザの使用を考慮し、接地時に起こり易い膝折れの対策に伸展補助装置を設ける。伸展補助は屈曲 30° 付近から伸展時屈曲区間で作用するようカムを用いて制御する。

3. 設計

設計は通常義足部品の設計と同様に3DCAD、強度解析ソフトを用いる。

- ・工業用ダンパ：ダンパは既成品である(株)鍋屋バイテックのPowerStop®を使用する。ダンパの選定に至っては同社の設計資料を基に、トップスプリンターのタイムと歩数から角速度等を計算し、ダンパのスペック、軸か

らの距離を決定した。工業用ダンパは消耗品とし、交換して使用する。

- ・伸展補助装置：伸展補助は膝折れ対策として遊脚相後期の屈曲 30° 付近から伸展時屈曲区間で作用するようカムを用いて制御する。伸展モーメントは屈曲 30° から立ち上り、伸展時をピークとする。別紙 資料1次試作カム設計

カムはアップに組付け、膝軸を中心にアップと同一周期で回転する。フォロワはロワに設けたシリンダ内を上下スライドし、力源は圧縮コイルばね(以下伸展補助ばね)を使用する。カムとフォロワの低摩擦で滑るよう両者を樹脂材料のPOMを使用する。カムはPOMの他により低摩擦の高分子ポリエチレンを試みる。また伸展補助ばね下に位置するコイルキャップBは外径におねじを設け、ねじの締め込み量によって伸展補助ばねの初期圧縮量の調整を行う、伸展補助力調整箇所となる。

- ・板ばね足部取付けコネクタ部：板ばねの取付け位置を検討し、ベンチアライメントを確立することを考えた。

- 1).板バネ足部 LAPOC/SPORTS 侍 SP1100(以下 SP1100)は遠位先端部より 50mm 近位部に荷重線が落ちるアライメントを推奨している。疾走膝の上部プラグコネクタと SP1100 の 50mm 近位部が鉛直上に位置することとした。

- 2).疾走膝の SP1100 との接続させる位置、角度はこれまでに陸上競技大会を通して撮影してきた選手の矢状面の写真から SP1100 平面部の直線ラインがおおよそのソケット基準線に対し、どの程度の角度で使用されているかを調べた。結果、1次試作では SP1100 平面部を鉛直線に対し 16° 傾けた角度を標準アライメントとし、疾走膝遠位部もこの角度に順ずる。

3). 社団法人 人間生活工学研究センター発行の日本人の人体寸法の成人男女の膝関節高さを参考に、踵高を加味し、膝軸高さを男性530mmから女性430mmまでと成人男女の9割に対応できることとした。

1 次モデルの作成. 屈曲時に早期に部品間の干渉が問題となり、十分な屈曲角度を得られなかった. 別紙資料 1次モデル

1次モデルから各要素位置を見直した2次モデルを疾走用膝継手1次試作とした. 1次試作はアッパとロワからなる本体に、本体と板バネ足部を繋ぐ部品のステムから構成される. 伸展補助装置部品や工業用ダンパはロワの中に組込まれている. ステムは角度や長さ違いのステムに変更可能なようねじ固定とした. 仮合わせ用ステム設け, LAPOC/SPORTS 侍 SP400 と組合せ, 板バネ足部を上下にスライドすることで義足長の調整を行う. 別紙資料 1次試作部品構成, 1次試作製作報告

伸展補助バネはバネ定数の異なるコイルバネを3種類持ち FT を通じて, 伸展補助バネの強さと初期圧縮量はユーザに合わせて選択してもらう.

次に1次試作の構成を基本とし, 工業意匠, デザインアプローチを盛り込み, デザイン性に優れた2次試作を製作する. デザイン設計担当: 慶應義塾大学山中俊治研究室

デザインアプローチは膝継手主要構成部品の一体感と他部品との統合性, それに伴う軽量化を狙う.

2次試作案は山中先生や学生の観点からのデザイン構想, 1次試作に対するデザインの改善点, 義肢製作所等の調査から得た情報の3つの視点から検討された.

主なデザインの変更点は以下に記す.

- ・継手前額面の横幅を狭め, 全体的にスリムな形状にする.

- ・屈曲時にアッパとロワの間がパッキリ開くため, 巻き込みの防止としてロワの側面を延長しアッパ側面を覆う.

- ・ステムのロワとの接合箇所段に出張っている部分をロワ内部に入れ, ロワとステムに一体感を持たせる.

- ・ロワとロワカバーの外観の境界線を良デザインにする.

- ・ステムの良デザインな肉抜き

別紙資料 2次試作デザインアプローチ

4. 評価

(1) 強度試験: 立脚相に相当する主要構造強度試験 (繰返し試験), 遊脚相に相当する揺動試験を実施する.

通常義足部品の構造強度試験は ISO10328 義肢・義足の構造強度試験の規格に基づいた ISO10328-1~4 主要構造強度試験 (繰返し試験) を行うが, この規格は歩行を想定しての負荷条件であるため, より走行に近い条件の負荷を与える必要があり, 独自の強度試験を行う.

●繰返し試験 負荷条件 fig2

アライメント:

- ・トップ高さ: 650mm, レバーアーム: 113.86, 角度: 46.07° JIS 構造強度試験 A100 I に順ずる

- ・膝軸高さ: 500mm (JIS 構造強度試験に順ずる)

- ・ボトム高さ: 0mm, レバーアーム: 膝軸より 20mm 前方 (膝軸が後方 20mm オフセットのため), 角度: 90°

負荷: 180kgf

回数: 10万回 (半年間の使用を想定)



fig2. 主要構造負荷試験

●揺動試験 条件 fig3

ワーキングモデル機構解析ソフトを用いた疾走膝のシミュレーションにトップアスリートの走行タイム, ケーデンスの条件を与え, 周期を得た.

周期 : 120rpm

屈曲可動域 : 0° から 90°

回数 : 10万回 (半年間の使用を想定)



fig3. 揺動試験

(2) フィールドテスト

全国各地の義肢製作所の協力でフィールドテストを実施する.

フィールドテスト評価

・主観的評価 : 運動用義足の製作方法, 調整方法, 開発機器の重要度と満足度, 印象評価をアンケートによる製作者, 使用者双方の評価. 評価方法詳細はスポーツ義足の大规模フィールドテストによる研究開発にて報告.

・客観的評価 : 測定機器を使用した動作解析から開発機器, 下肢切断者の運動を評価. 客観的評価担当 : (財)鉄道弘済会義肢装具サポートセンター. 評価方法詳細は疾走用膝継手の臨床計測と評価にて報告.

C. 研究結果

1次試作を4ヶ, 2次試作を8ヶの計12ヶ疾走用膝継手を製作した. fig4, 5, 6

内訳

6ヶ : フィールドテスト (榊今仙技術研究所)

4ヶ : フィールドテスト ((財)鉄道弘済会義肢装具サポートセンター)



fig4. 1次試作品

fig5. 1次試作組付け



fig6. 2次試作

1. 機械試験

繰返し試験は1次試作, 2次試作両方を行い, 揺動試験は2次試作のみとした. 繰返し試験は1次, 2次試作どちらもクリアした.

揺動試験はカムに高分子ポリエチレンを用いた場合、伸展補助ばねによって押しあげられたフォロワとの摩擦が連続使用することで熱を生じ、かかる面圧からカムの形状に変形が見られた。

	繰返し試験	揺動試験
1次試作	○	—
2次試作	○	×

2. フィールドテスト

1次試作、2次試作の計6ヶを全国各地の義肢製作所5件でモニター6名のフィールドテストを実施した。

スポーツ義足の製作は各義肢製作所の義肢装具士が製作し、トラックや広場等で行った。

フィールドテストではモニターの6人中、5人が両脚支持期のないジョギング以上の走行に至った。fig7

伸展補助装置は伸展補助を強めるとカムへの摩擦が高まり、屈曲抵抗が強くなる相関性があった。走り出しに2,3歩流すと、義足の歩調が腓足に適しているか否か判断でき、屈曲抵抗を調整し、義足の歩調が腓足に合わせることで、安定した走行を得ることができた。

モニターの中には屈曲時にソケットと膝継手の干渉が起こり、本来の屈曲可動域が得られないケースがあった。これはソケットに対して板バネを取付けるコネクタ部の位置が不適切でありコネクタの標準となる位置を見直す必要がある。また、屈曲可動域を得られたモニターは必要以上の屈曲を制限するために膝継手もしくは他部品を用いて屈曲可動域制限を設けて欲しいとの要望があった。

工業用ダンパを用いたターミナルインパ

クトの干渉は有効であったが、ダンパの位置が衝撃でずれてきてしまうといった不具合も起こった。また、衝撃吸収はしているが伸展時に部品同士の当たる音が甲高い衝突音はダンパの出の量を調整すれば多少抑える程度で衝突音の課題は残った。別紙資料 フィールドテスト報告1, 2, 3, 4, 5, 6



fig.7フィールドテスト

主観的評価、客観的評価結果はスポーツ義足の大規模フィールドテストによる研究開発、疾走用膝継手・足部カバー重要度と満足度評価、疾走用膝継手の臨床計測と評価にて報告。

D. 考察

疾走用膝継手を使用し走行に至ったケースではまず、大腿切断者が歩行と異なる断端のコントロールができることと、適した屈曲抵抗の調整ができていた点が大きいと考えられる。安定した走行を得るには歩行と同じく、遊脚相において義足側が膝軸を中心とする振り子の周期を腓足側の歩調に合わせるよう屈曲抵抗を調整することによりリズム良く両側振り出すことができる。屈曲可動域制限への要望も常に下腿部のけり上げを一定に保ち安定した周期を得るためであると考える。よって疾走用膝継手に必要な機能はより定量的、機能的に調整が可能な遊脚相制

御装置であると考える.

また,フィールドテストではソケットと膝継手が干渉したケースがあり,今後推奨とする荷重線と板バネ,膝継手の相対的位置関係の確立がよりスポーツ義足製作に寄与する
と考える.

今回非常に短いフィールドテスト期間であり,今後さらなる追跡調査を行い,本開発品にフィードバックする予定である.

E.結論

本研究で開発した疾走用膝継手を使用し疾走することができた.遊脚相制御等,フィールドテストで浮彫りになった改善点をフィードバックすれば実用化の可能性がある.

ワーキングモデルによる疾走膝のシミュレーション

目的：

疾走用の膝継手を検討するにあたり、現在、OttoBock 社製の歩行用の 4 節リンク膝 3R55 や単軸膝 3R95 (3R45) などが使用される。その際、遊脚相制御の屈曲抵抗を強く調整したり（初心者の膝折れを防ぐ為か？）弱く調整したり（山本選手：軽く屈曲するように設定し、脚を短くたたんで股関節屈曲を容易にするためか？ソケットに下腿部を当てて反動で伸展させる）する。

本シミュレーションでは、ワーキングモデル機構解析ソフトを用いて、疾走に近い義足の動きを再現して、膝軸トルク（摩擦やバネを含む）と下腿部の重心位置がどのように義足膝の動きに影響するかを検討する。

手法：

ワーキングモデル機構解析ソフトを用いて、揺動クランク機構を作成し股関節の動きを再現する。概略正弦波様の股関節屈伸が得られる。膝継手の下記パラメータを組み合わせ実験シミュレーション実験することで、疾走膝に必要な特性や要件を見出す。

パラメータ：

- ・ 回転速度
- ・ 膝軸の摩擦
- ・ 伸展ストッパの粘弾性
- ・ 下腿部重心位置
- ・ 下腿部重量
- ・ 屈曲制限の位置（最大屈曲角度）
- ・ 屈曲ストッパの粘弾性
- ・ 伸展補助力

結果：

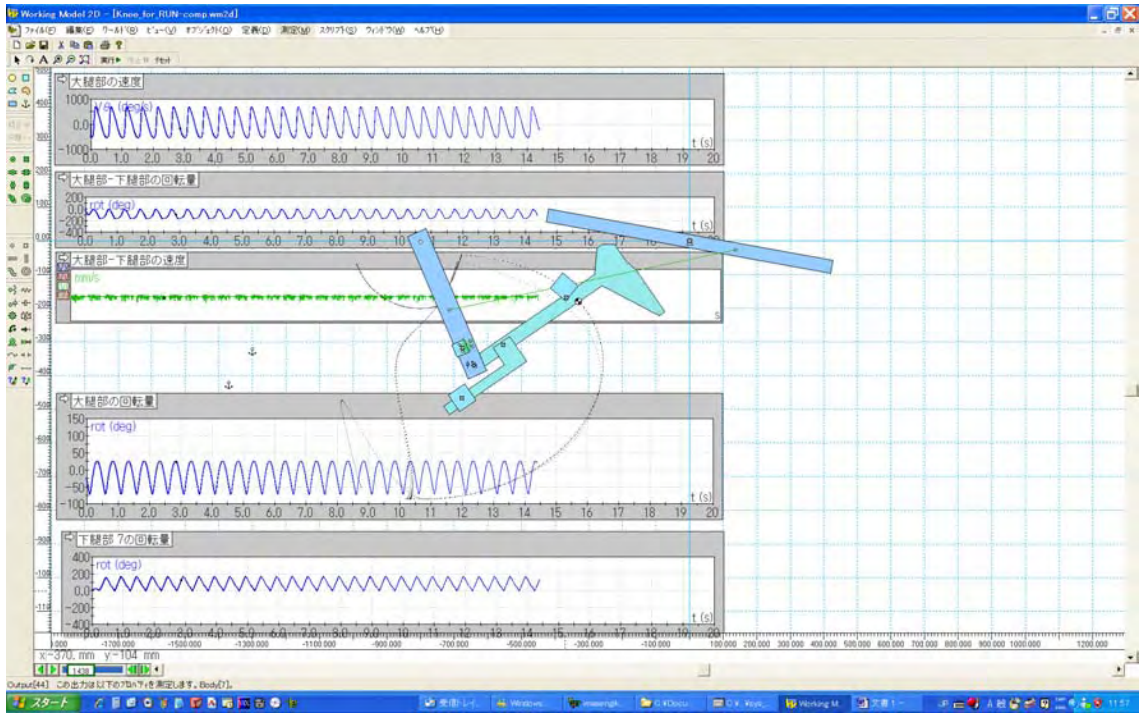
スクリーンショットを付録する。

考察：

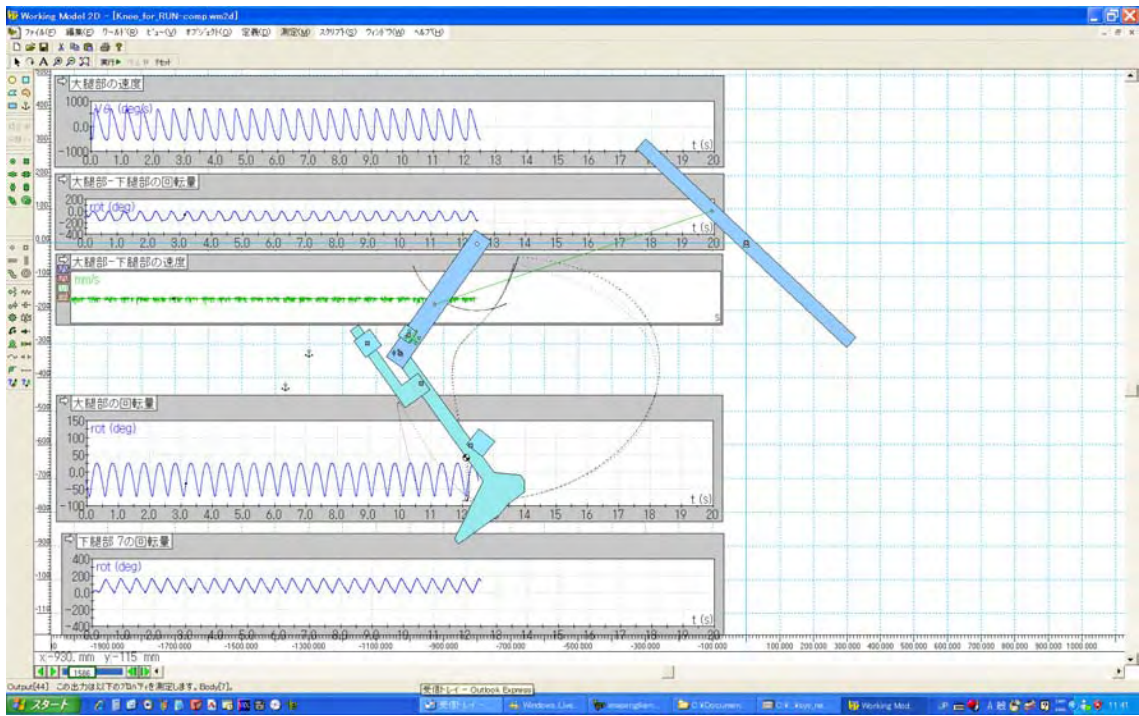
重心位置は姿勢や安定性に影響する。膝の軸に粘弾性がなくても周期的な動作が可能だが、ある程度の低摩擦や、粘性要素があったほうが安定すると想像できる。伸展ストッパの衝撃吸収が安定性に影響する。

床反力を考慮していないため、現実とは大きく異なるが、疾走時の義足側の脚の前方移動に膝継手の動作は重要で、通常の歩行用の膝の遊脚相制御とは異なる視点から、膝の設計を行う必要性が示唆された。とくに膝軸の粘弾性摩擦は興味深い、全くのFREEの膝軸であっても似たような動きを再現できる。膝の特性のうち、屈伸の動きの反転時の衝撃吸収や反発、膝下から足部までの部分の重心位置や重量、つま先位置のフィードバックを断端から得ることができる、膝軸の粘弾性または定摩擦が走行、疾走用の膝の設計時、処方時、調節時、義足製作時に考慮されるべきである。

認可	検印	作成	資料名称	資料No.
		鈴木 090915	ワーキングモデルによる 疾走膝のシミュレーション	



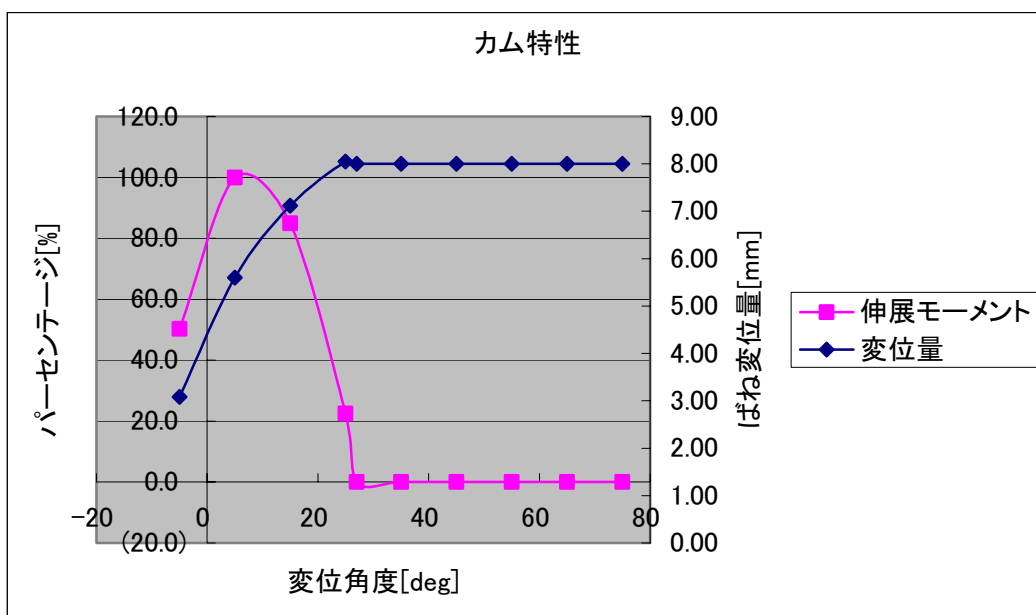
図：ワーキングモデルでのシミュレーション 1



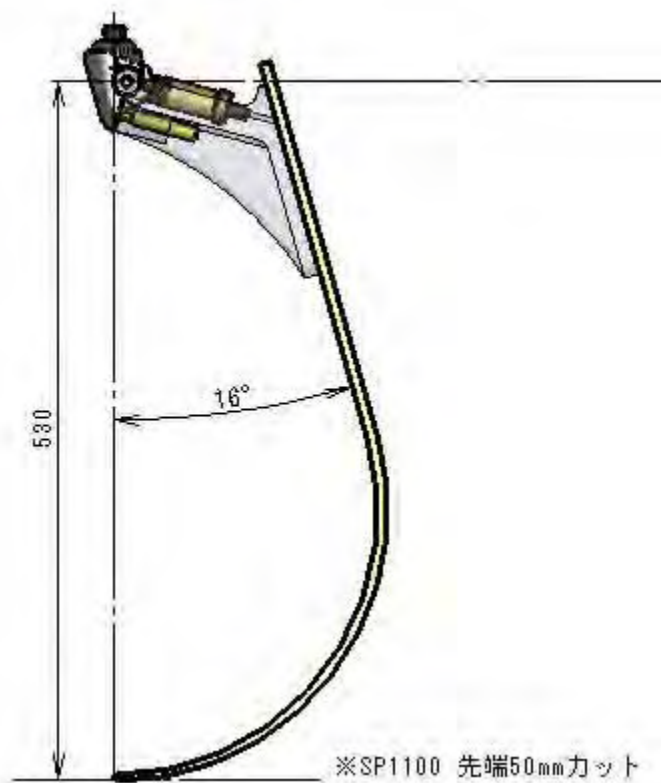
図：ワーキングモデルでのシミュレーション 2

1 次試作カム設計

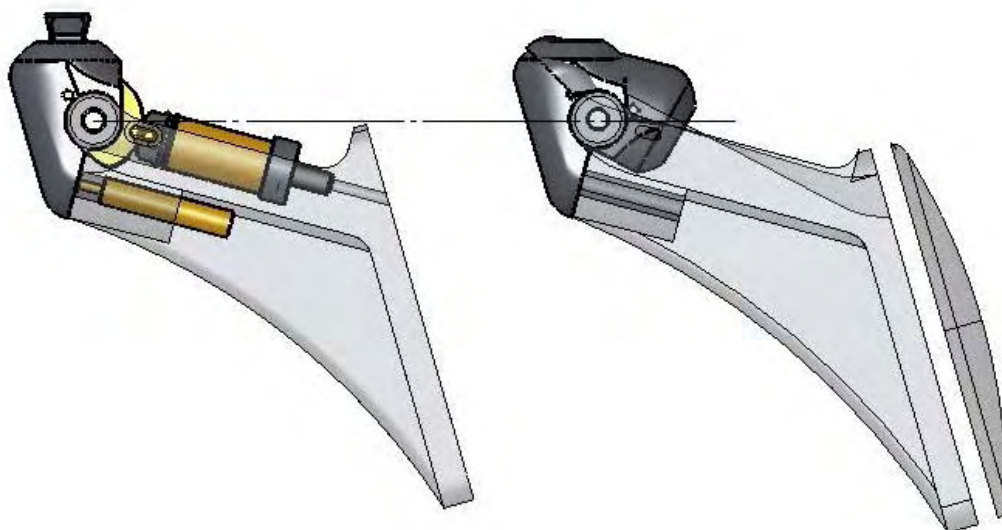
角度	補正	レバーアーム	変位置量	ばね張力	回転方向の力	ばね定数	伸展モーメント	パーセンテージ
0	-15	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
10	-5	14.08	3.08	9.24	3.02	7.55	106.30	50.3
20	5	16.60	5.60	16.80	5.09	12.73	211.24	100.0
30	15	18.12	7.12	21.36	3.96	9.90	179.39	84.9
40	25	19.05	8.05	24.15	1.00	2.50	47.63	22.5
50	35	19.00	8.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.0
60	45	19.00	8.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.0
70	55	19.00	8.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.0
80	65	19.00	8.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.0
90	75	19.00	8.00	24.00	0.00	0.00	0.00	0.0



1次モデル作成



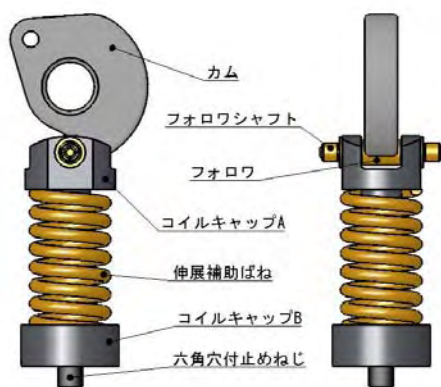
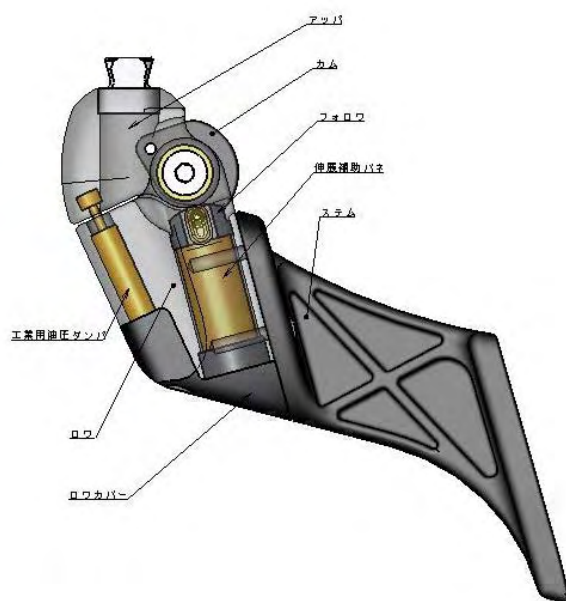
アライメントの設定



1次モデル

1次モデルアッパの干渉

1次試作 部品構成



伸展補助装置

認 可	検 印	作 成	名 称	資料No.
			SPP 疾走膝 1 次試作製作報告	

SPP 疾走膝 1 次試作

スポーツ専用の膝継手の開発

●対象

競技：陸上競技 トラック種目（100m、200m等）、フィールド種目（走幅跳）

ユーザー：大腿切断・膝離断の成人男女 初心者から経験者

●開発初期

疾走膝は単軸膝、ターミナルインパクトの衝撃吸収に工業用油圧ダンパを用いる、SP1000L 字プレートと膝継手が一体となった形状とする、SP1100 レクリエーション用足部・SP0400 仮合わせプラグコネクタとの接続可能であることとした。

●試み

○標準アライメントの仮決定

- 1).SP1100 は遠位先端部より 50mm 近位部に荷重線が落ちるアライメントを推奨している。よって疾走膝の上部プラグコネクタと SP1100 の 50mm 近位部が鉛直上に位置することとした。
- 2).疾走膝の SP1100 との接続させる位置、角度はこれまでに陸上競技大会を通して撮影してきた選手の矢状面の写真から SP1100 平面部の直線ラインがおおよそそのソケット基準線に対し、どの程度の角度で使用されているかを調べた。結果、1 次試作では SP1100 平面部を鉛直線に対し 16° 傾けた角度を標準アライメントとし、疾走膝遠位部もこの角度に順ずる。
- 3).社団法人 人間生活工学研究センター発行の日本人の人体寸法の成人男女の膝関節高さを参考に、踵高を加味し、膝軸高さを男性 530mm から女性 430mm までと成人男女の 9 割に対応できることとした。

○伸展補助装置

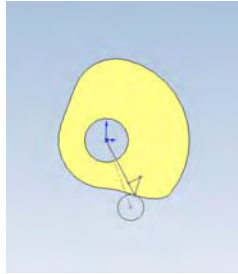
初心者の使用を考慮し、膝折れに対して伸展補助装置を設けた。屈曲抵抗は今回設けないこともあり、伸展補助が伸展位付近でのみ働くようカムで制御する。カムは伸展補助が膝伸展位から屈曲 30° 間のみ働き、屈曲 30° 以降はフリーとなるよう設計した。

●開発経緯

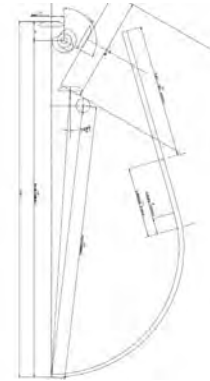
1). 1次モデルの作成



伸展補助装置検討・カムの設計

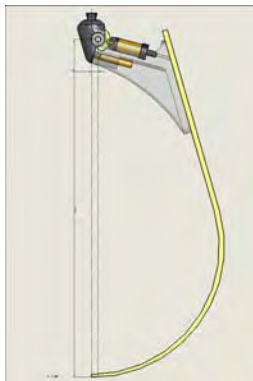


標準アライメント検討



1次モデルはまず単軸膝のモデルを作成し、伸展補助装置やアライメントについては考慮しなかった。しかし、SP1100 に取付けるとアライメント調整装置の可動域を超えるアライメント調整が必要であったこと、伸展補助がないことで初心者の使用が難しくなることから、伸展補助装置と標準アライメントを検討した（上記）。

2). 2次モデル作成



屈曲角度に問題あり



2次モデルでは1次モデル作成後に検討した、伸展補助装置と標準アライメントを反映した物を作成した。しかし、膝継手の部品同士の干渉が屈曲の早い時期に起こり可動域が不十分の膝継手となった。また、ソケットと膝継手の干渉による屈曲可動域制限が出てくることも分かった。

3). 3次モデル作成と疾走膝1次試作品の製作



アルマイト黒



アルマイト白

3次モデルは2次モデルをベースとし、伸展補助装置の位置を見直し、ソケットと膝継手の干渉を避ける形状とした。これを **SPP 疾走膝1次試作** とした。

●疾走膝1次試作

疾走膝1次試作はアッパとロワ、機構部（伸展補助装置）からなる本体に、本体と **SP1100** を繋ぐ部品のステムから構成される。カムはアッパに固定し、アッパと同周期で回転する。他の伸展補助装置部品や工業用ダンパはロワの中に組込まれている。

動作確認を行い、伸展補助は設計通り伸展付近でのみ機能する。伸展補助バネはバネ定数の異なるコイルバネを3種類持ち **FT** を通じて、伸展補助バネの強さと初期圧縮量はユーザーに合わせて選択してもらおう。カム、フォロワ部は **POM** を使用しているが、伸展補助バネの押し上げる力でカムに摩擦抵抗が働き、膝継手の屈曲に定摩擦がかかっている。元々、屈曲抵抗は付ける予定ではなかったのが想定外であったが、屈曲抵抗がある点についても **FT** の評価を通して判断したい。

○課題

- ・重量：960g（主要構造部品 アッパ 134g、ロワ 300g、ステム 290g）

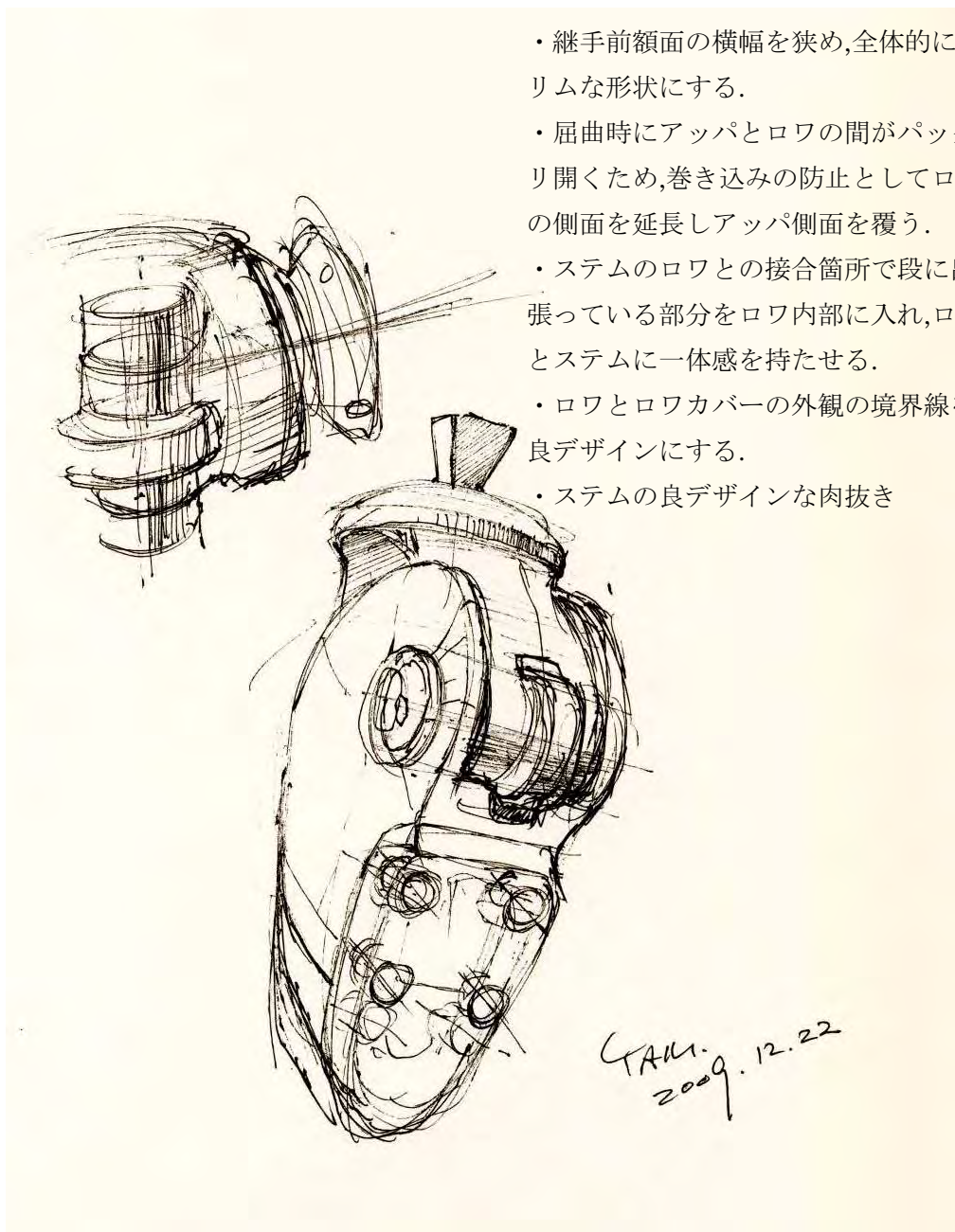
膝継手単体の重量としてはとても重いのが、**SP1000** の重量 225g を差し引くと 735g であり、評価が難しいところ（陸上競技に使用される **Otto3R55** は重量 720g + ソケットアダプタの重量）。2次試作では1次試作よりも軽くしたいところだ。

- ・ターミナルインパクト音

ターミナルインパクト時にアッパとロワの甲高い音する。アッパとロワの間には現在はバンコランシートを貼付けてある。ポロンを使用して見たところ消音効果が少々見られた。

以上

デザインアプローチ



- ・継手前額面の横幅を狭め,全体的にスリムな形状にする.
- ・屈曲時にアッパとロワの間がパッキリ開くため,巻き込みの防止としてロワの側面を延長しアッパ側面を覆う.
- ・ステムのロワとの接合箇所です段に出張っている部分をロワ内部に入れ,ロワとステムに一体感を持たせる.
- ・ロワとロワカバーの外観の境界線を良デザインにする.
- ・ステムの良デザインな肉抜き

YAMU.
2009.12.22

番号	改訂	名称	承認	作成者	作成日
		SPP 疾走膝 調整方法		大蔵	2010.02.12
工程	工程名	写真	作業内容		
○ 調整を行う前に次の段取りでロワカバーを外して下さい。					
1.	<段取り> ステム のボルト 外す。		ロワカバーを外すために仮合わせ用 ステムの M6 ボルトを外す。 		
2.	<段取り> ロワカ バーを 外す。		仮合わせ用ステムを外すとロワカバ ーが外れる。下方向にスライドさせ て外す。 		
※これより説明にない膝継手の分解は控えて下さい。					

○ ターミナルインパクトの衝撃を調整する		
<p><調整> 衝撃吸収用ダンパの突出量を調整する。</p>	 	<p>ダンパはネジ式で上下に調整が可能。ターミナルインパクトの様子からダンパの出を調整する。 <u>※左右のダンパの突出量は同じこと。</u></p>
	<p>○ ダンパの突出量が同程度</p>	 <p>× ダンパの突出量に差がある</p>
○ 伸展補助力を調整する		
<p><調整> 伸展補助バネを調整する。</p>		<p>M6 六角穴を回し、伸展補助バネの初期圧縮力を調整する。伸展補助力に応じて調整する。</p>
<p><調整> 伸展補助バネを変更する。</p>	 <p>※初期状態では[中バネ]を使用</p>	<p>M6 六角穴を完全に緩めると伸展補助バネが交換可能。付属品：左[弱バネ] 右[強バネ]</p>
		
<p>※以上の調整は仮合わせ用ステムを取付けた状態でも可能です。</p>		

<p>仮合わせ用 ステムを組 付ける。</p>		<p>ロウカバーを外した状態で、仮合わせ用ステムをロウに取付ける。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ターミナルインパクトの衝撃を調整する ・伸展補助バネを調整 <p>以上の調整は仮合わせ中に可能。</p>
<p>○ SP1100 を取付ける</p>		
<p>6. <調整> SP1100 の長さ 調整と 仮固定。</p>		<p>仮合わせ用ステム両脇の M8 ネジ穴を使用し、SP1100 を SP0400 で挟んで固定・長さ調整をする。</p> <p>※写真左：仮合わせ用ステム 右：ステム</p> 
<p>○ 仮合わせを終えた後</p>		
<p>1. SP1100 に4つ穴 を空ける。</p>		<p>それぞれ調整箇所調整を終えた後、SP0400 の 4 つ穴を使用し SP1100 にφ5.9 のドリルで4点貫通穴を空ける。</p>

2.	ステムを交換する。		仮合わせ用ステムを取外し、ロワカバーを組付け、ステムを交換する。 
----	-----------	---	--

○ 伸展補助バネについて

伸展補助バネはそれぞれバネ定数の異なるバネが弱、中、強と計3本あります。中バネ1本は本体に既に組付けてあります。強バネは黄色をしており、弱バネと中バネの見分け方は巻数が少ない方が弱バネ、多い方が中バネです。また、バネ定数の高いバネ、また初期圧縮量を増やすと伸展補助力が増すのと同時に屈曲の摩擦抵抗が増えます。その相互関係は未調査です。

○ ロワカバーについて

ロワカバーは取付けなくとも機能に問題はありませんので、仮合わせ中など調整の見込みがある内はロワカバーを外した状態で使用していただくと取外しの手間が減るかと思えます。調整が終わり、仮合わせ用ステムからステムに交換する際にロワカバーと取付けてもらえれば良いかと思えます。

工業用ダンパの調整量、伸展補助バネの調整量の基準がなく、疾走膝単体でのフィーリングで設定してあります。調整量の判断が難しいかと思えますが、よろしくお願い致します。

平成 21 年度障害者保健福祉推進事業（障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト）
スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発

疾走用膝継手 動画写真撮影

○被験者様、撮影者様へ

本プロジェクトの膝継手を使用した移動（歩行・走行）の様子を動作解析し、膝継手開発のフィードバックに繋げたいと考えております。撮影のご協力よろしくお願い致します。

【動画撮影】

●撮影範囲

動画には下記の様子が撮影できていると好ましいです。

- ・ほぼ定速で移動する被験者様の矢状面を 4 歩から 5 歩程度撮影されている。
- ・被験者様の矢状面全体と地面（キール接地点）がアップで映っている。

※撮影中、ソケットに色の付いたテープ等を貼り、ソケット基準線が分かると好ましいです。

撮影範囲 イメージ



上記の撮影範囲にある動画を撮影するにあたり、撮影位置の一例を紹介します。

●撮影位置の一例

被験者様には 70m程の移動をお願いします。数回に渡り撮影されると思われるため、タイムにばらつきがない安定した流し走行が好ましいです。

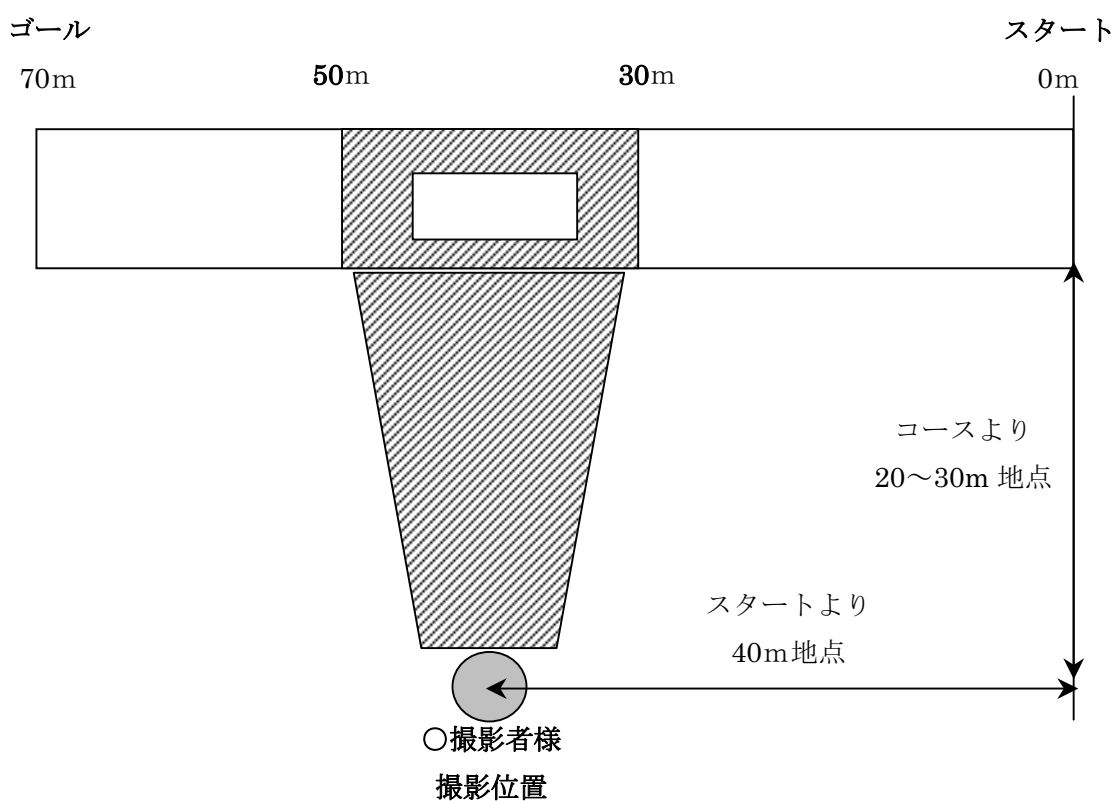
撮影位置の例としましては

- ・スタート地点より 40mの地点で 30mから 50m区間のおよそ定速移動中を撮影。

・撮影者様は被験者様から 20~30m 程度離れた地点より撮影しますと 30m から 50m 区間中、被験者様のほぼ矢状面を撮影することができると思います。

※フィールドテストの環境により被験者様から離れて撮影ができないこともあると思います。上記の撮影範囲にある被験者様の様子が撮影できれば構いません。また、トレッドミル上でも構いません。

・撮影位置の一例 イメージ



【写真撮影】

- ・立位矢状面の写真撮影をお願い致します。
重錘等を使用し沿直線とソケット基準線が分かると好ましいです。



—— 鉛直線
—— ソケット基準線

上の写真のように下半身だけ撮影していただいて構いません。

フィールドテスト報告 1

実施日：2010/2/13

場所：株式会社アクティブプロス(神奈川)

調整・立会い：株式会社 アクティブプロス 高橋社長(義肢装具士)

被験者：O 様(大腿義足)

実施：今仙技術研究所 渡辺、大蔵

○ 概要

株式会社 アクティブプロスにて製作していただいたスポーツ用義足（大腿義足・下腿義足）について、スポーツ用義足及び足部カバーのフィールドテスト（以下、FT）を行なったので報告する。

○ 被験者情報

- ・O 様 男性 33 歳 98kg 右大腿切断 義足使用歴 16 年 疾走用膝継手 SP1100-8 使用
スポーツ用義足使用歴 2 年弱(膝継手:3R55、足部:スプリングライト)。

普段の足部：C-Walk。趣味でバトミントンをしている。走行をしてみたいとの希望で今回初めての走行が実現する。練習期間 1 ヶ月弱。

○実施内容

大和スポーツセンター陸上競技場を利用して FT を行なった。

- ・屋内にて、1 時間程度慣らし走行。
- ・80m の区間を 6 回走行を行い、矢状面より動画撮影及び連続写真の撮影。

○疾走用膝継手（一次試作）について（O 様）

スポーツ用義足を装着して 1 ヶ月弱経過し、今回の撮影のために事前に走行の練習を行なっていました。趣味でバトミントンをしており、活動レベルも非常に高く、今回の疾走用膝継手を装着してもすぐに走行が可能でした。

いままで使用しての感想を聞いたところ、

- ① 下腿部を前方に振り出す時、膝継手の抵抗が強く、健足に対して下腿部が遅れてしまう（義足側がついてこない）。－伸展補助バネをほとんど効いていない状態に調整を行なうことで、遊脚相の抵抗がなくなり下腿部を前方に出し易くなった。
- ②要望として反発がより発揮できるよう屈曲角度制限ができる部品がほしい（屈曲を抑えたい）。
- ③膝軸にガタが発生しており、義足の振り出し時に振動を感じる。
- ④膝継手が軽量で良い。
- ⑤調整が容易で扱いやすい。

O 様



フィールドテスト報告 2

実施日：2010/2/13

場所：株式会社高崎義肢(群馬)

調整・立会い:株式会社高崎義肢 大塚氏 (義肢装具士)

被験者：I 様 (大腿義足)

実施：今仙技術研究所 芥川

○ 概要

高崎義肢にて製作していただいたスポーツ用義足 (大腿義足・下腿義足) について、スポーツ用義足および足部カバーのフィールドテスト (以下、FT) を行ったので報告する。

○ 被験者情報

・ I 様 男性 40 歳 左大腿切断長断端 ピン付ライナー式

義足使用歴 20 年。事務作業が主で、ほとんど歩行はしない。日常生活でも屋内以外の移動手段は車が殆どで、歩行はしない。断端は細めで、筋量は少ないと思われる。

○ 実施内容

高崎義肢社屋前の道路 (幅 2m 未満、走行距離 15m 未満) を利用して FT を行った。

- ・ 約 15m の区間を 4 回程度流し走行を行い、矢状面より動画撮影。
- ・ 使用したスポーツ用義足の矢状面トレース。

○ 結果

・ 調整について

アライメント：

マニュアルでは義足長は常用義足+30mm と記載されているが、運動靴を健側に装着すると、靴の差高で延長分がほとんど相殺されてしまうのではないかと、というご意見をいただいた。FT 実施時に、運動靴の差高を計測し、義足長を延長した。マニュアルへの記載が必要と思われる。

前額面ではやや外転位に調整。義足側立脚期に内側に向かうように設定したとのこと。ベンチアライメントではマニュアルどおりに基準線が足部先端から 50mm 近位におちるように設定した。しかし、スタティックで荷重をかけると足部が撓み、基準線がさらに近位に落ちてしまう。そのため、スタティックで先端から 50mm に基準線が落ちるように調整した。

ターミナルインパクト：

ターミナルインパクトがかなり発生していたため、ダンパの調整を行った。調整前の状態を確認すると、向かって左側のダンパがロウの取り付け穴に完全に隠れている状態、右側のダンパが初期状態よりも 5mm ほど突出した状態になっていた。ダンパの固定をしていないため、使用中の振動でこのような状態になったと思われる。右側のダンパのように突出した状態では、膝折れを起こしやすくなるため危険が感じられた。調整後に

固定をできるようにする必要があるのではないだろうか。ダンパを出し、ターミナルインパクトを抑制するように調整したが、「膝が伸びきらない感じがして怖い」という訴えがあったので、ダンパがあまり突出していない初期状態に戻した。股関節の伸展速度が遅いため、膝継手伸展時にダンパをしっかり圧縮することができないようである。今後のトレーニングによって徐々にダンパを調整していくこととした。

伸展補助バネ：

義足側振り出し時に踵が蹴り上がり、追従しない状態になった。股関節の屈曲速度が遅い（歩行と同じように動かしている）ため、遊脚相制御が足りない状態である。走行するには、股関節を素早く屈曲し、膝継手を完全屈曲させてソケットにぶつけて跳ね返すことで膝継手を素早く伸展させることが必要と説明し、立位で試してみたところ納得していただけた。しかし、そのレベルまで到達するには相当な訓練が必要と思われた。現段階では、前述のように遊脚相制御の足りない膝継手でなんとか早歩きをしているといった状態である。兼ねてから予想しているように、初心者にはなんらかの遊脚相制御装置が必要なようである。

伸展補助バネを強バネに交換してみたが、初期状態（中バネ）のほうがフィーリングが良いということで中バネに戻した。弱バネも試してみたがやはり中バネのほうが良いとのことであった。

○ 資料

・ 動画

SONY HDR-HC9にて撮影、MiniDVに保存（テープ名：FT 高崎義肢）

・ 静止画

CANON EOS7Dにて撮影。

連続写真：

体力的に試行回数を多くできないため、動画を優先し記録できず。

静止立位写真：





フィールドテスト報告 3,4

実施日：2010/2/27

場所：有限会社 P.O.サポート(群馬)

調整・立会い:有限会社 P.O.サポート 高橋氏 (義肢装具士)

被験者：O 様 (大腿義足) T 様 (膝義足)

実施：今仙技術研究所 鈴木、芥川

○ 概要

P.O.サポートにて製作していただいたスポーツ用義足 (大腿義足・膝義足・下腿義足) について、スポーツ用義足および疾走用膝継手・足部カバーのフィールドテスト (以下、FT) を行ったので報告する。

○ 被験者情報②

- ・ O 様 男性 28 歳 右大腿切断短断端

○ 実施内容

- ・ 約 30m の区間を 3 往復程度流し走行を行い、矢状面より動画・静止画撮影。
- ・ 疾走用膝継手・足部カバーについての印象に関するアンケート。
- ・ 疾走用膝継手・足部カバーについての満足度・重要度に関するアンケート。
- ・ 義足矢状面のトレース。

○ 結果

- ・ 調整について

アライメント：

足部の上縁および最大屈曲時に足部が当たる部分のコネクタに衝撃吸収用の黄スポンジを貼り付け。義足長は常用義足 (健側) と同じに設定。慣れるに従って長くしていく予定。

仮合わせシステムの足部固定用溝が狭く、そのままでは足部が入らなかったためヤスリで溝の幅を拡充して組み上げた。

走行について：

1 本目を走ってみたところ、T 様 (下腿義足) と同じく、前面から 1/3 ほどで層間剥離が起こり、使用不能となった (サンプルを回収)。担当 PO の高橋氏が残りの 7 番を利用して組み上げて再度 FT を行った。

バネは初期状態で走行。短断端のためか、義足側振り出し時に股関節を外転させて走行する (ぶん回し)。振り出しのタイミングが合わないせいか、つま先が地面にひっかかり 2 回ほど転倒した (走行速度が遅いため、幸いケガはなし)。練習不足とのことであったが、初めて疾走用膝継手を装着したにも関わらず、ある程度は走行ができていた様に見えた。訓練をして、義足側振り出し時に股関節が外転するのを抑えることができるようになると良さそうである。

○ 資料

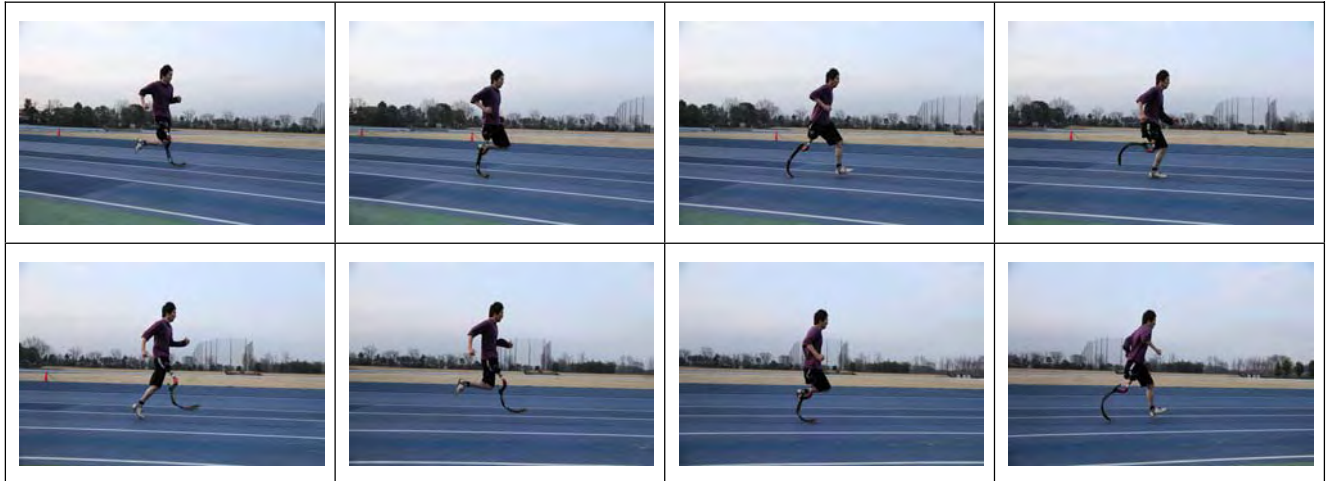
・ 動画

SONY HDR-HC9にて撮影、MiniDVに保存（テープ名：FT P.O.サポート）

・ 静止画

CANON EOS7Dにて撮影。

連続写真：



静止立位写真：





○ 被験者情報③

- ・ T様 男性 23歳 左膝離断

○ 実施内容

- ・ 約 30m の区間を 5 往復程度流し走行を行い、矢状面より動画・静止画撮影。
- ・ 疾走用膝継手・足部カバーについての印象に関するアンケート。
- ・ 疾走用膝継手・足部カバーについての満足度・重要度に関するアンケート。
- ・ 義足矢状面のトレース。

○ 結果

- ・ 調整について

アライメント：

義足長は常用義足（健側）と同程度。

足部を底屈して、よりつま先側で接地する様に調整を行った。

走行について：

初期状態で走行すると、膝継手の伸展が速すぎるのでバネを締め込んだ。この状態でもまだ伸展が速いため、鈴木判断で足部にウェイト（SP0400-A）を取り付ける事にした。最初、全長に対して先端から約 1/3 の位置に取り付けたが、これでは今度は伸展が遅すぎたため、約 1/2 の位置に変更したところタイミングがあったためこの状態で FT を行った。

膝離断で断端が長いためか、かなり安定した走行が可能。足部が早い段階でソケット後面にぶつかってしまうため膝継手の屈曲角度を大きくとれず、健側と比べると股関節の伸展が少なく、バランスが悪いようである。上体に注意してみると、義足側となる左腕の振りも右腕に比べて小さく、特に肩関節の伸展が少ない。ストライドが小さく、チョコチョコと走っているように見える。鈴木報告にもあるように、ステムを排除し、膝継手に近い位置に足部を直接取り付け、つま先の位置をクサビで調整できるようにする

と良さそうである。

○ 資料

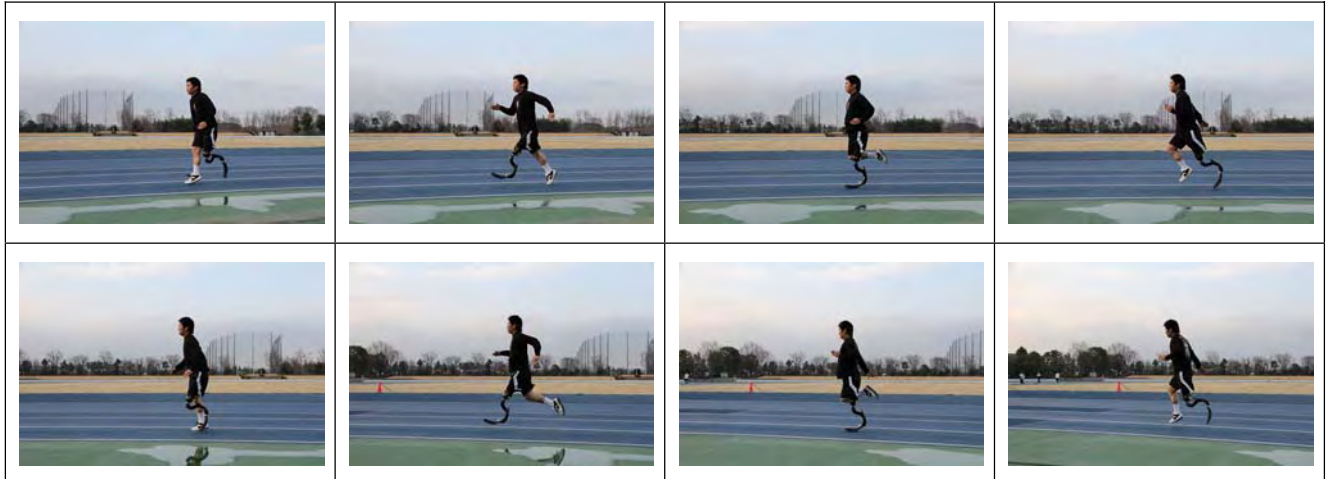
・ 動画

SONY HDR-HC9にて撮影、MiniDVに保存（テープ名：FT P.O.サポート）

・ 静止画

CANON EOS7Dにて撮影。

連続写真：



静止立位写真：





フィールドテスト報告 5

実施日：2010/3/5

場所：株式会社松本義肢製作所(愛知)

調整・立会い:株式会社松本義肢製作所 香川氏（義肢装具士）

被験者：G 様（FT 被験者）

実施：今仙技術研究所 芥川、大蔵

○ 概要

松本義肢製作所にて製作していただいたスポーツ用義足について、疾走用膝継手および足部カバーのフィールドテスト（以下、FT）を行ったので報告する。

○ 被験者情報

G 様 男性 41 歳 左大腿切断長断端 シールインライナー式 SP1100-8 使用

義足使用歴 6 年。切断間もない頃に、兵庫リハでランニングセミナーに参加した経験がある。断端のコントロール能力が非常に高く、しばらく装着すれば膝継手に合わせた歩行をすることができる。

○ 実施内容

松本義肢製作所玄関前の平坦路を利用して FT を行った。

- ・ 約 15m の区間を 5 回程度流し走行を行い、矢状面より動画撮影および連続写真の撮影。
- ・ 疾走用膝継手、足部カバーについての印象に関するアンケート
- ・ 疾走用膝継手、足部カバーに関する重要度・満足度のアンケート

○ 結果

・ 調整について

担当 PO の香川氏がテスト当日に多忙であったため、大蔵と芥川の二人でベンチアライメントを組み上げることになった。ベンチアライメントでは、義足長を健側+30mm で設定。スタティックアライメントで、義足側に荷重すると足部が撓んで実効長を短く感じるため、健側の靴の差高も考慮し、さらに 30mm 義足長を長く調整した。

何回か走行を行い、より遠位（つま先側）で接地できるように、疾走用膝継手の上部でソケットを屈曲させた。

・ 走行について

松本義肢社内の試歩行室で歩行し、徐々に慣れていただくことにした。当初は、膝のコントロールがわからず、遊脚相制御の足りない膝継手でギクシャクと歩行している状態だったが、断端をコントロールして歩行することができた。その後、上記のように義足長を調整し、屋外にて走行を行った。

股関節をすばやく屈曲・伸展させてソケット後方に膝継手をぶつけて跳ね返す動作（香川氏：ジャックナイフ）を香川氏が伝えると、すぐに出来るようになった。

慣れるに従って、走行動作を獲得することが出来た。足部の撓みの量から、義足側にし

っかりと荷重をかけている様子が確認できる。バネを1回転初期状態よりも締めてみたところ、初期状態よりも健側のストライドが大きくなった。試しに3.5回転締めた状態で走行していただいたが、抵抗がかかるため1回転の時のほうが走りやすい、とのことであった。

想像していた以上に走ることができた様に思う。被験者も、最初のうちは疑心暗鬼という感じであったが、風を切って走ることができるようになると気分も良くなるようで、楽しんでフィールドテストにご協力いただいた。

- ・ 足部カバーについて

装着前と装着後では、風圧抵抗に関する効果は感じられなかった。装着したことによる重量像は感じる。

- ・ その他

ソケットを仕上げた後藤様に引き渡すことになった。引渡し後に、自分でいじって遊んでみます、とのこと。

○ 資料

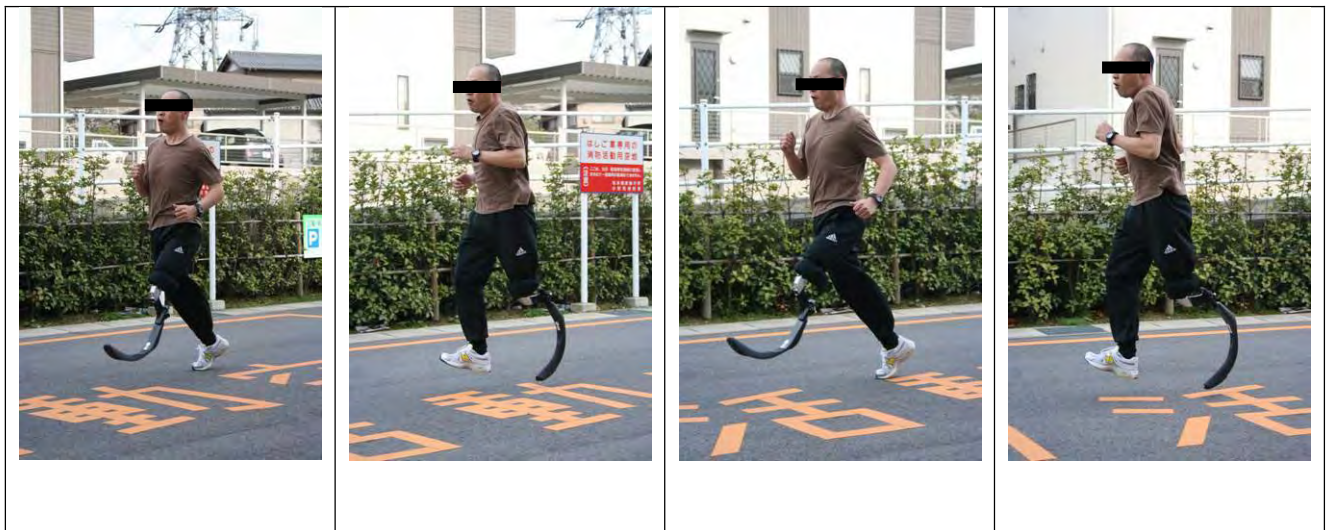
- ・ 動画

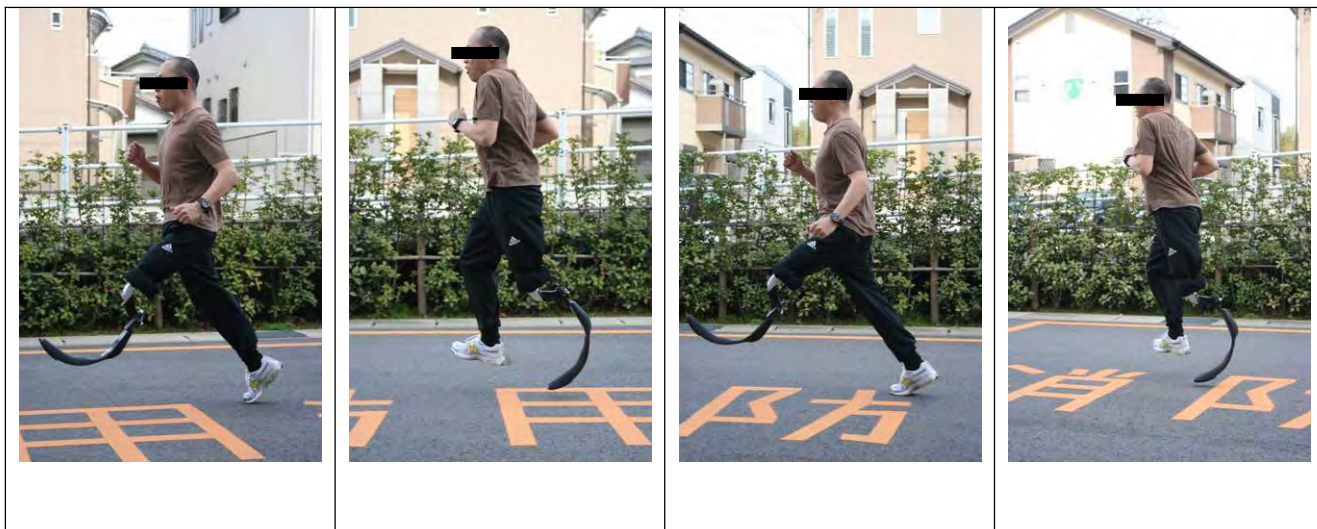
SONY HDR-HC9にて撮影、MiniDVに保存（テープ名：FT 松本義肢）

- ・ 静止画

CANON EOS KISS Dにて撮影。

連続写真：





静止立位写真：



フィールドテスト報告 6

実施日：2010/3/7

場所：株式会社 澤村義肢(兵庫)

調整・立会い：株式会社 澤村義肢株式会社 近藤様(義肢装具士)

被験者：I 様(大腿義足)

実施：今仙技術研究所 渡辺

内容・要約

○ 概要

株式会社 澤村義肢製作所にて製作していただいたスポーツ用義足(大腿義足)について、スポーツ用義足及び足部カバーのフィールドテスト(以下、FT)を行なった。

○ 被験者情報

- ・I 様 男性 27 歳 左大腿切断 疾走用膝継手(二次試作) 足部:SP1100-8 使用
スポーツ用義足使用歴が長く(膝継手:3R55、足部:スプリンター)、ジャパンパラリンピックの参加経験があり、100m走、200m走、走り幅跳びの経験者。

○ 実施内容

アシックススポーツ工学研究所の陸上競技場を利用して FT を行なった。

- ・100m の区間を 6 回走行し、矢状面より動画撮影及び連続写真の撮影。
- ・疾走用膝継手(二次試作)、足部カバーについての印象に関するアンケート。
- ・製作したスポーツ用義足のトレース。

○ 結果

・ 走行について

今回、初めて疾走用膝継手を装着しての走行であったが、十分な全力疾走が可能であった。いままで使用していたスポーツ用義足(膝継手:3R55、足部:スプリンター 以下、旧タイプ)と今回のスポーツ用義足(膝継手:疾走用膝継手、足部:SP1100-8 以下、新タイプ)を比較したところ、旧タイプは、健足の振り出しに対して、義足側の振り出しが追いついてこなく、自分の断端でコントロールしての走行であった。しかし新タイプは、義足側の振り出しが速く、十分に健足に追従することができ、健足の負担が軽減したと満足していた。

「もう少し振り出しを速くしたい」との要望に対し、伸展バネを弱バネ→強バネに変更し、走行を試したところ、満足のいく振り出しを得ることができ、義足の軽量感にも繋がりました走行時の姿勢が良くなった。

・ 足部カバーについて

いままであまり外観を気にしたことがなかったが、いざ装着してみると丸みを帯びた義足になり、義足の機械的なイメージが無くなり、義足の印象が良くなった。



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

ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計）

研究分担者 大塚滋、鈴木光久、芥川雅也、後藤学、渡部学、山中俊治、檜垣万里子、

村松充、黒岩成一、今井伸一、臼井二美男、梅澤 慎吾、岩下航大

研究要旨：本研究では、ステップ用膝継手に必要な機能を検討し、設計、試作を行い、フィールドテスト、モニタ評価を通して任意方向の移動に適した膝継手の開発をする

A. 研究開発目的

（株）今仙技術研究所が 2005-2006 年に（財）テクノエイド協会から助成を頂き開発を行った LAPOC/SPORTS 侍により、下肢切断者の日常生活の運動活動で使用する義足部品の選択幅が大きく広がり、切断者の QOL 向上に寄与した。

助成期間中にはステップができる膝継手の開発を進め、実用化には至らなかったが継続して開発を進めてきた。

本研究では、これまでの義足膝継手では不可能だった、テニスやバドミントンなどの競技に対応した任意方向に移動し易い膝継手を開発することを目的とする。本機器を開発することで、大腿切断者のスポーツ用義足の選択幅が広がり、より多くの切断者のスポーツ入門を促し、競技人口を倍増させる成果が期待できる。

B. 研究開発方法

1. 仕様決定

これまでの試作を基に現在の機構を改善する形での仕様決めを行った。

- ・ロック機構の見直し
- ・衝撃吸収機構の見直し
- ・伸展補助ばねの見直し
- ・全体のデザインの見直し

※詳細別紙 1

2. 3D CAD での設計、試作

決定した仕様を具現化するために 3D CAD での設計を行い、試作期間短縮のため図面レスでの切削加工により試作を進めた。

3. フィーリング試験、ベンチ試験

これまでの試作で使用していただいていた被験者にフィーリングを確認していただき、改善点の確認を行った。

実機にて衝撃吸収機構の弾性特性計測を行い、仕様決定の指標の一つとした。

※詳細別紙 2

4. フィールドテスト、モニタ評価

全国の義肢製作所で実機を使用したフィールドテストを実施した。またトップアスリートレベルにおいてクロスカントリースキーの選手に国内外の競技大会で使用していただいた。

実機へのフィードバックとして、アンケートによる主観評価、反復横移動による客観評価を行った。また、多変量解析 SD 法による印象評価の因子分析を行った。



図1 ステップ用膝継手 試作品

C. 研究開発結果

1. 達成割合 (%)

ステップ用膝継手の開発 90% (二度の試作 フィールド試験、モニタ評価継続中)

2. 達成できたこと

二度の試作を行い、これまでの試作で進めてきた仕様を改善することができた。

入門者では、バドミントン、テニスにおいて検討した仕様が有効であることがわかり、評価を継続していただいている。同時に歩行モードと運動モードの切替の必要性が課題として挙げられた。

※詳細 別紙3、別紙4、別紙5



図2 入門者フィールドテスト

トップアスリートレベルでは、T選手が国内最高峰の競技大会ジャパンパラリンピックで2種目でW優勝を飾った。またバンクーバーパラリンピックの2種目に参加した(ク

ラシカル：20位、スプリント14位)。



図3 トップアスリートフィールドテスト



図4 国内競技大会での成果

※詳細 別紙6、別紙7

3. 達成できなかったこと及びその主な原因

本体重量が約 1150g と実用的な膝継手としては軽量化が実現できなかった。試作でMg合金製で試作し約 850g までの軽量化は実現したが、材料の高価さ、強度的な面で実用的ではない。

今後、仕様を見直し全体的にコンパクトにすることで軽量化を図る。

試作を行い、フィールドテスト、モニタ評価を実施したが、そのフィードバックを反映することができなかった。

原因としてはフィールドテスト、モニタ評価の特性上長い期間での評価が必要なこと、またフィードバックを反映した試作を実施するための期間が無かったことが挙げられる。

D. 考察

実用化に向けて今後に残された研究または課題として、開発期間の短さからフィールドテストによる使用者のフィードバックを開発品に反映することができなかったことが挙げられる。実用化に向けて、今回のフィールドテストによるフィードバックを反映した機器開発が課題となる。

またフィールドテストにおいて、軽量化、歩行モードと運動モードの切替が必要であることが明確になった。

今後の実用化と普及、特に授業や課外活動で健常児と同等の活動が必要な学童に使用していただくために、補装具完成用指定部品に指定していただくための活動も課題となる。

また環境面では活動拠点の育成も必要となる。

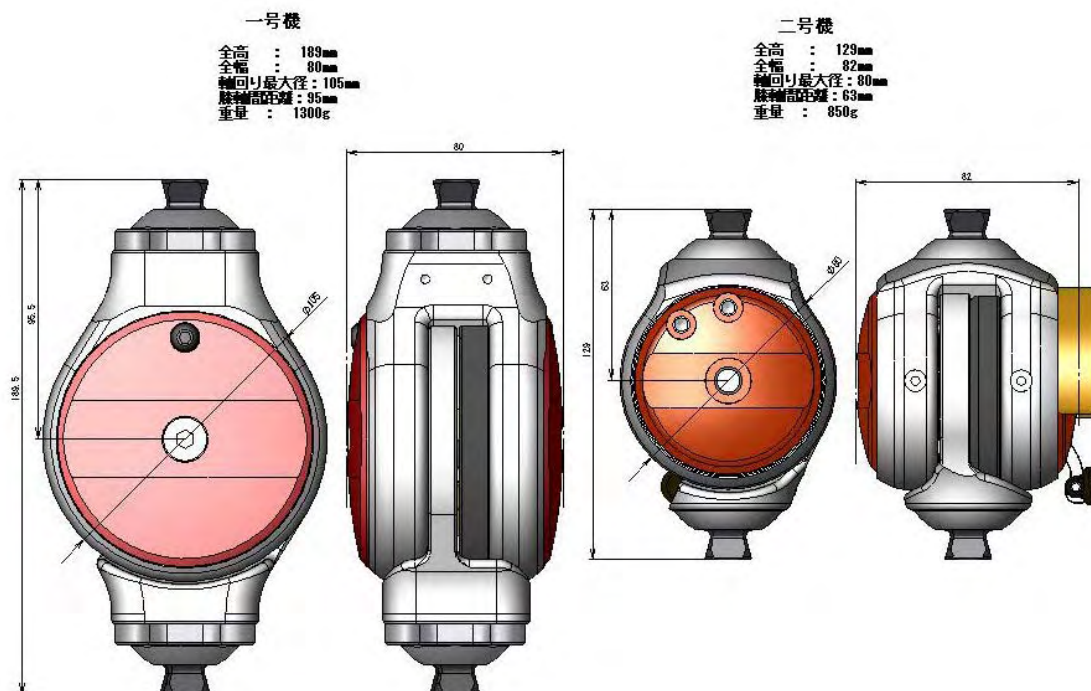
E. 結論

スポーツ義足用膝継手、ステップ用膝継手の機構設計について検討し、切断者スポーツ、とりわけスキーやテニス、バドミントンに必要な技術的課題抽出をおおむね達成した。フィールドテストによるフィーリングでは良好な評価を得、国内外の競技大会でも実績を残すことができた。

しかし現時点では、前述したような課題（実用的な軽量化、モードの切替、評価のフィードバックの反映、コストの問題、活動拠点の育成）が残されており、実用事業化できない。

今後、現在継続しているフィールドテストから更なる課題を明確にし、現在までに挙げられた課題と合わせ、課題を達成していくことで実用化の可能性を模索していく。

3. ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計） 別紙 1



3. ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計） 別紙 2

ステップ用膝継手ダンパ特性評価

目的

今年度、開発を進めているステップ用膝継手のショック吸収時におけるダンパ特性を評価し、官能評価と共にレクリエーション用義足 ステップ用膝継手のダンパ特性に対し適切に選択できる指標を定める事を目的とする。

試験試料

試作を行った三次試作品を対象を対象に評価を行った。ダンパは形状、硬度の異なるバンパ6種類とした。またバン普拉バーの有無における特性も評価した。



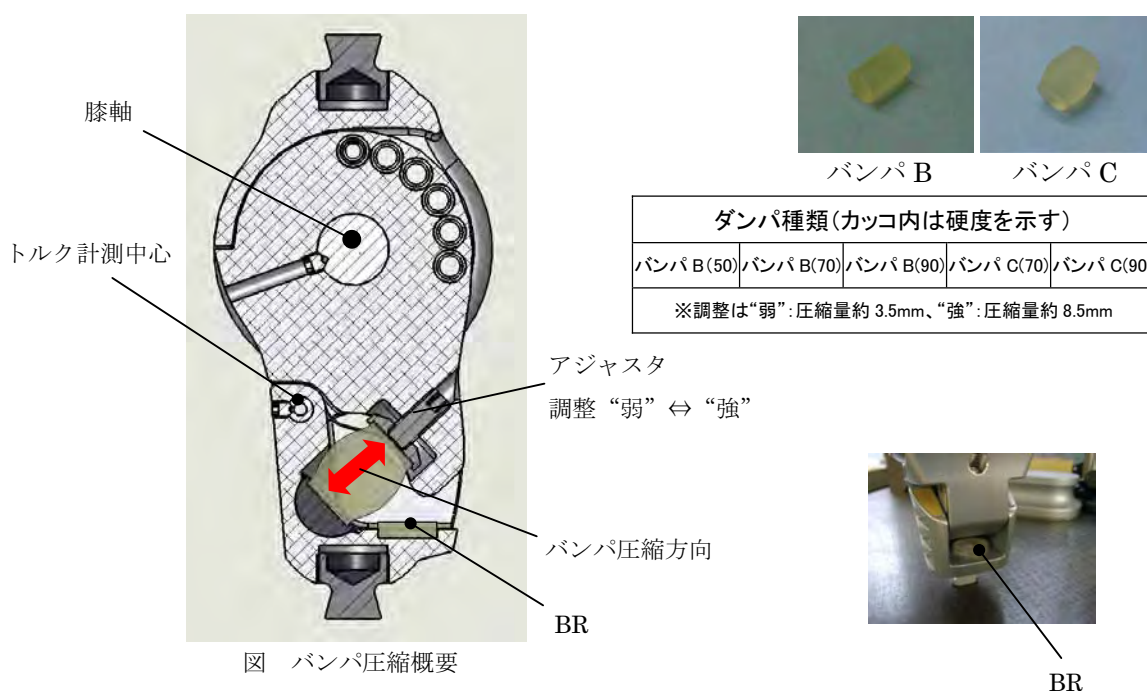
計測方法

結果

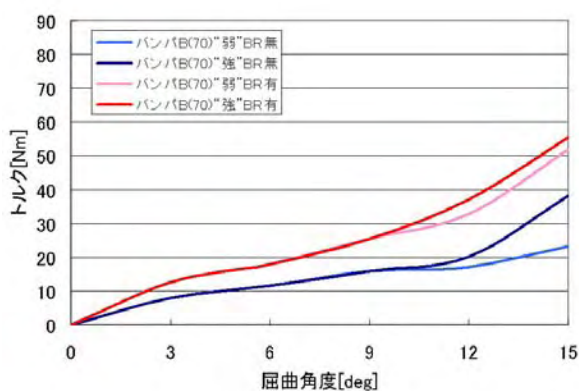
三次試作品では5種類のバンパを使用した（材質は全てエーテル系ポリウレタン）。

三次試作品ではバンパの初期圧縮量を調整できるため、調整できる範囲で最も弱い調整を“弱”、最も強い調整を“強”と定義しバンパ5種類についてそれぞれを計測した。またバン普拉バー（BR）の有無でもそれぞれの計測を行った。

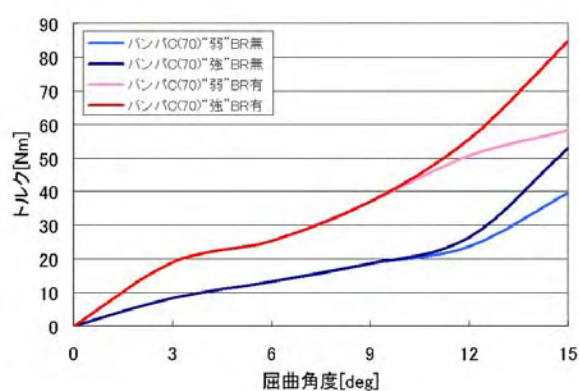
5種類のバンパと膝継手のバンパ圧縮概要を下図に示す。



結果①

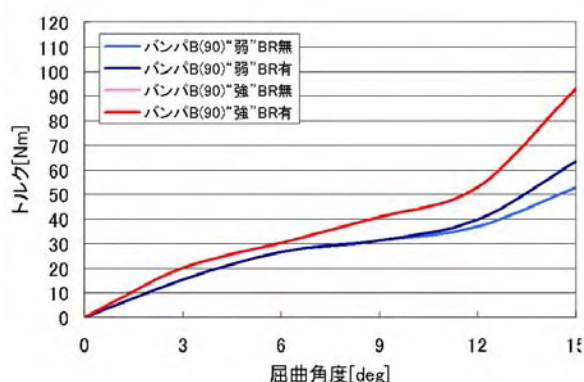


計測結果【バンバB(70)】

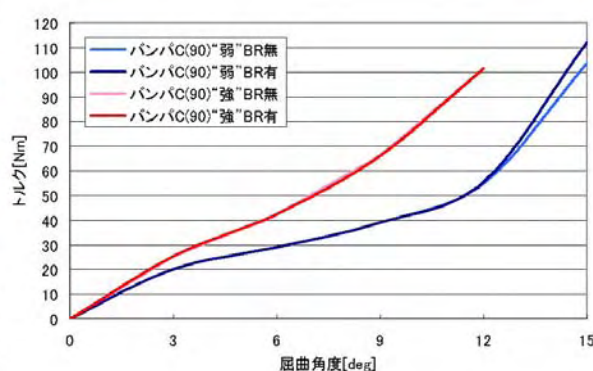


計測結果【バンバC(70)】

結果②



計測結果【バンバB(90)】



計測結果【バンバC(90)】

結果として、角度変化に伴いトルクが増大した。二次試作の時と傾向としては変わらないが、初期圧縮をある程度調整することができ、その調整幅もある程度持つことができることが二次試作と比較し改良されたと言える。形状違いのCに関しては屈曲後半でのトルクが増大でき、ショック吸収機構としては非常に有利な特性となる。またBRをつけることでその特性を更に上げることが可能であることが確認された。

今回使用したBRは5mm厚のものであり、きき始めるのは屈曲角度が12度以降であった。

フィーリング確認

実際に切断者の方に装着していただくことでフィーリング確認を行った。フィーリングは二次試作品との比較も兼ね、クロスカントリー競技に二次試作品を使用していただいている選手にお願いした。

二つの膝継手を装着し、比較していただき以下の感想を得た。

- ・ 二次試作品が屈曲初期のダンパの強さが弱いのにに対し、三次試作品にはそのような感じが全くない。
- ・ 調整ができるので、自分の好みに硬さをある程度調整できるのは非常に良い。
- ・ BRによる特性の変化は顕著で、後半の底付きによる不安が無い。
- ・ 二次試作と比較して、回転中心が膝軸とは異なる位置にあるため違和感があるかと思ったが、違和感は感じない。

8-594 (4/5)

重量増(約200g)の感じは今のところは感じない(競技になるとわからない)。

このフィーリング確認から、二次試作品と比較して、調整幅、その特性が改良されたことが確認できた。メンテナンス性、調整幅、フィーリング共に改良されたことが確認できた。

ただ仕様を変更したことによる重量増は大きいため今後の課題となる。

まとめ・考察

今回、開発を行った、ステップ用膝継手 三次試作品のダンパ特性を計測し、二次試作品との比較、また競技選手によるフィーリング確認を行った。

ダンパの特性は仕様、圧縮方法を変更することで二次試作品と比較してその特性が向上した。フィーリング確認においても二次試作品でみられた屈曲初期における抜ける感じが無くなり、またショック吸収のフィーリングも向上したとの良好な感想をいただくことができた。

仕様の変更により、ダンパの硬さも変更できるようになり、メンテナンス性も向上した。ただ仕様変更に伴う重量増が今後の課題となる。

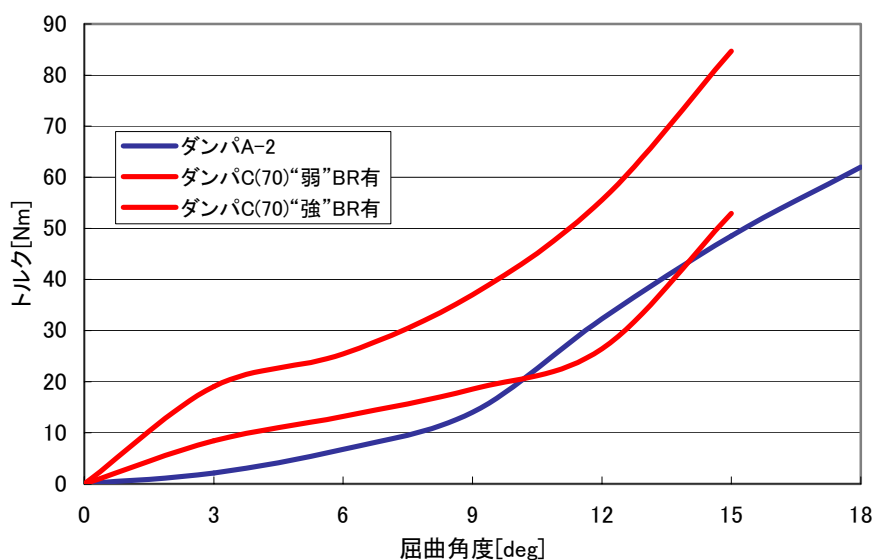
ダンパの形状も2種類計測し、B（ストレート型）とC（太鼓型）とでその特性の違いを確認できた。実使用の際には屈曲後半でトルクが増大するCがフィーリングが良く、またバンブラバー（BR）を併用することでその特性を更に良いものにする事が確認された。

今後のフィールド試験では「バンパC（70）BR有」を使用し、その調整幅でどの程度の方に使用いただけるか検証を進める。

今回得られた結果は、どのような特性が必要かを見極める指標として今後の開発に活用する。

今後、フィールド試験からの結果を基に、実用化へ向けた開発をより進めていく。

※最後にフィールド試験に採用するダンパ特性と二次試作品のダンパ特性の違いを下図に示す。



二次試作品と三次試作品のダンパ特性の違い

3. ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計） 別紙 3

ステップ用膝継手 フィールドテスト①

実施日：2010/2/17

場所：徳田義肢（熊本県）

調整・立会い：徳田義肢 藤原課長、佐伯氏（共に義肢装具士）

被験者：O氏（大腿義足） 実施：今仙技術研究所 後藤 学

○ 概要

徳田義肢様にて製作していただいたスポーツ用義足（大腿義足・下腿義足）について、スポーツ用義足のフィールドテスト（以下、FT）を行ったので報告する。

被験者①

○ 被験者情報

- ・ O氏 男性 31歳 左大腿切断中断端 吸着式（写真①～⑥）
アルバイト。以前卓球をしていた。スポーツ義足使用歴なし。
普段の義足は膝継手 3R80+，足部は HF 足部を使用している。

○ 実施内容

徳田義肢様、社屋 5F 屋上を利用して FT を行った。

- ・ 普段の義足と今回製作した義足（ステップ用膝継手+SP1100）をそれぞれ装着して、各 2 回の反復横跳びの回数を計測。
- ・ ステップ膝継手、疾走用膝継手および足部カバーの印象に関するアンケート。
- ・ 製作したスポーツ用義足の矢状面トレース。

○ 反復横跳び計測結果

- ・ 普段の義足・・・1回目：13回、2回目：12回（写真①）
- ・ スポーツ義足（膝継手はステップ用膝、足部は下記の 2 種類で計測）
膝継手固定角度は完全伸展状態で計測した。

SP1100-6 : 12回（写真②）

FlexWalk II : 12回（写真③）

試しに 20 度屈曲状態で反復横跳び試して頂いたが動作し難いとのコメントがあり、足部を背屈させ、義足長を長くすることでアライメントを調整したが、完全伸展状態の方が動作しやすいとのこと。

SP1100 と FlexWalk II の足部比較では、SP1100 の方がステップしやすいとの評価であった。

- ・ O氏の反復横跳び時には、ステップ用膝継手のバウンシング機能は使わなかった。
- ・ すべての計測において膝継手は完全伸展状態で、1 ステップで隣のラインに移動することができた。
- ・ 健足を出す（右側ステップ）のは難しくないが、義足側を出す（左側ステップ）のが難しいとのこと。



①



②



③



④



⑤



⑥

資料

- ・ 動画
SONY HDR-HC9にて撮影、MiniDVに保存
- ・ 静止画、連続写真
CANON EOS7Dにて撮影。
静止立位写真：

以上

3. ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計） 別紙 4

ステップ用膝継手 フィールドテスト②

実施日：2010/3/5

場所：砂田義肢（沖縄県 宮古島）

調整・立会い：砂田義肢 砂田和幸 部長（義肢装具士）

和歌山県立医科大学 みらい医療推進センター 三井利仁先生

PT 大塚さん（宮古島徳洲会病院）

被験者：K 氏（大腿義足） 実施：今仙技術研究所 鈴木 光久

○ 概要

砂田義肢様にて製作していただいたスポーツ用義足（大腿義足）について、スポーツ用義足およびステップ用膝継手（バドミントン）・足部カバーのフィールドテスト（以下、FT）を行ったので報告する。

三井利仁先生：和歌山県立医科大学 みらい医療推進センター 元気開発研究所
外学院医学研究科リハビリテーション医学教室 研究主任

- ・国際パラリンピック委員会陸上競技技術委員
- ・アジアパラリンピック委員会スポーツ開発委員会委員
- ・財) 日本障害者スポーツ協会公認 上級指導員・財) 日本障害者スポーツ協会公認 コーチ
- ・日本身体障害者陸上競技連盟常任理事 強化委員会副委員長 競技運営委員会委員長兼、石垣島にて障害者アクティビティ指向の宿泊施設（有）ランズアクティブサポートを運営し、切断者や車いすレーサーの強化合宿をサポートしている。

○ 被験者情報

- ・ **K 様 男性 41 歳 左大腿切断中絶端 ピン付ライナー式**

週に 2 回地域スポーツクラブと思われるバドミンントンの練習に参加する。

長野県出身、長野パラリンピックにて、アイススレッジホッケー、スピードアイススレッジの元選手、30 年ほど義足なしで両ロフトランドクラッチにて生活してきた。冠婚葬祭用に義足は所持している（トータルニー初期の黒 2000）。2009 年秋にショップで作業を考えて、義足の要求が出た。ショップの看板を兼ねて、生活用にも KATANA#8 +トータルニーを選択して義足製作。その後、本事業の FT の候補者となり、2010 年 2 月バドミントン用にスポーツ用義足を製作した。

義足暦が空白であり、断端の筋力が衰えているが、週 2 回の運動習慣があるため断端の筋発達が見込まれる、積極的で身体能力も非常に高い。KATANA #8 使用者。

○ 実施内容

宮古島 南小学校の体育館を利用（バドミントン練習）して FT を行った。

- ・ バドミントン練習を動画・静止画撮影。
- ・ ステップ用膝継手についての印象に関するアンケート。
- ・ ステップ用膝継手についての満足度・重要度に関するアンケート。
- ・ 足部カバーについての印象に関するアンケート。

- ・ 足部カバーについての満足度・重要度に関するアンケート。
- ・ 反復横ステップ移動5往復のテスト

○ 結果

- ・ 調整について アライメント：

膝軸をかなり高位に設定されている。遠位を軽くする効果は高い。義足の重心が中央に来ることは望ましい（三井先生談）足部板バネを柔らかく体感してしまう意味では不利な設定。ステップ用膝継手は、KATANA のバネを考慮していないため膝と足部との両方で撓むのは変位が大きすぎる。テスト後半は膝のダンパゴム調節は最大限界まで（横からの止めねじの掛る限界まで）強くした。体育館用のシューズを切断し、穴あけを施して靴の中にスポンジを詰めて板バネに装着していた。（切断者 K 氏自身の工夫）

屈曲拘縮が大きい（義足を 30 年間日常使用していない）ため、屈曲位で義足組み立て。



バドミントン：

はじめは義足を使った打撃動作や、左手の使い方など「どうしてかわからない」状況であったが、徐々に強い打撃が可能になった。しかし、本人は足の意識が低く統合動作（コーディネーション動作）には至ってない。自分の動作になるには、反復練習や筋力アップ、トレーニングが必要である。

ステップ膝のロック位置は 20 度の角度で使用した。

- ・ 足部カバーについて

練習後に付けていただいたが、なんら変化を感じないという評価であった。
靴を縛り付けるには、厚みがあることや、紐がウレタンに喰い込む為有効であった。

- ・ その他

沖縄でのバドミントンは体育館の窓を閉める（風の影響を止める）ため、湿度が高く汗が多量になる。（ソケットの汗の問題、部品にも汗が多く曝されることを考慮）
翌日、アンケート収集の為に K 氏のお店に寄ったところ、店用の義足を使用していなかった。使い慣れない筋肉を使ったので、腰痛になったとのこと。

- 資料

- ・ 動画

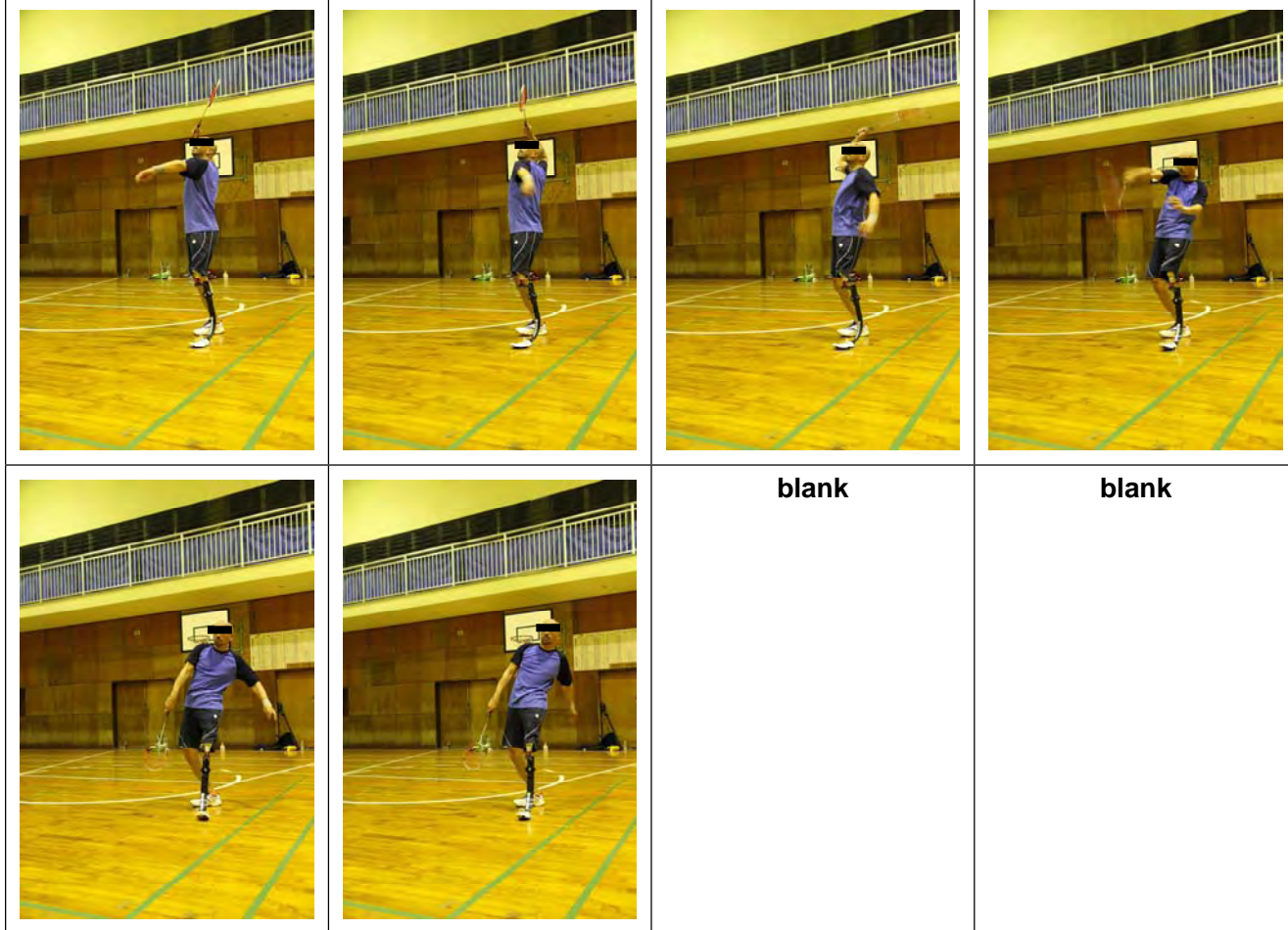
SONY HDR-HC9 にて撮影、MiniDV に保存

- ・ 静止画

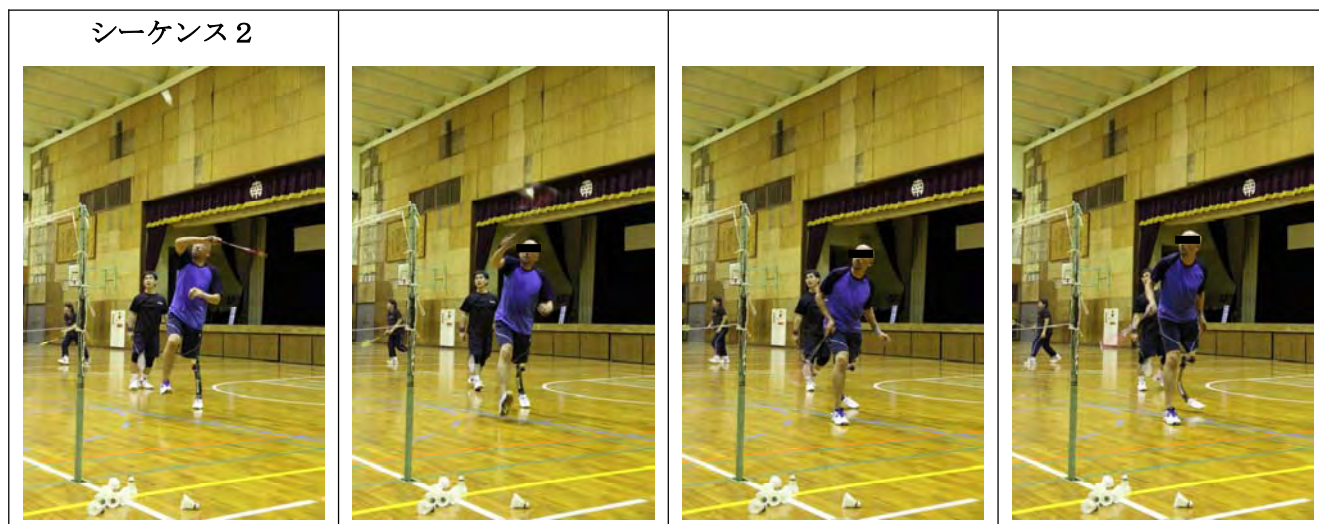
CANON EOS7D にて撮影。

シーケンス 1、2、3

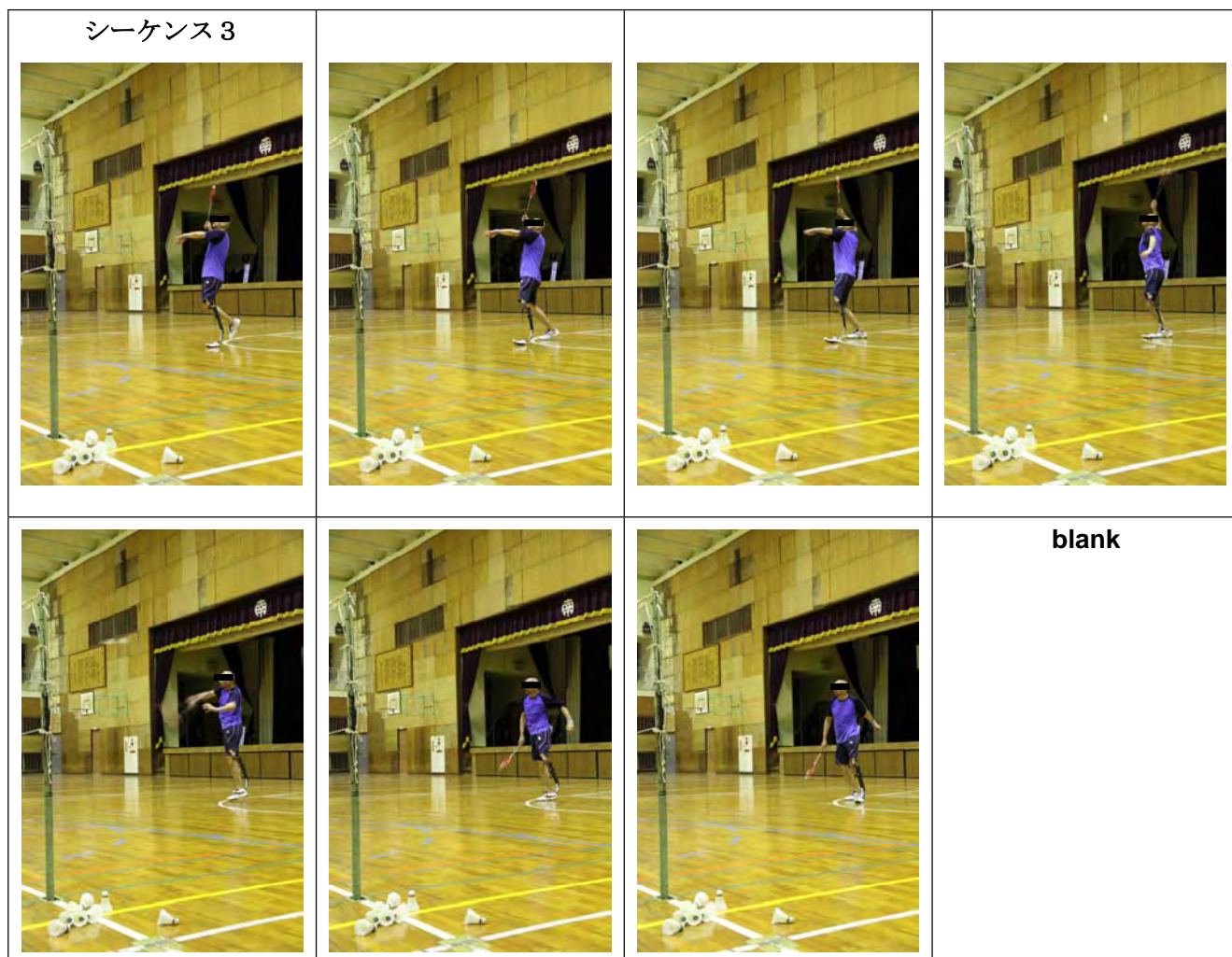
シーケンス1



1. 20:37/ 練習開始の頃 (20:20 頃) は手打ちになっていた。1のシーケンスはやや強いシャトル打撃ができるようになってきたところ。しかし、まだ体重心は打撃後に後ろに残る。



2. 20:52/ 義足を軸に踏み込む動作が可能になってきた。



3. 20:53/ シーケンス 1 と比較して、体重心は前方へ踏み込むことができている。

・ 反復横移動 5 往復のテスト：

| ←1m→ | ←1m→ | を反復横移動した。バドミントン練習、トレーニング指導後 21 : 40 頃。

疲労のため 1 セットのみ。

試行 1 ステップ膝 + KATANA 使用の動画撮影 + 時間計測

5 往復 26 秒 3

試行 2 左片足 + 両ロフトランドクラッチの動画撮影 + 時間計測

5 往復 23 秒 4

課題

片足の場合、切断足はどこ迄移動しラインを超したと判定するかのテスト法の疑問がある。

3. ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計） 別紙 5

ステップ用膝テスト方法

株式会社今仙技術研究所
平成 22 年 2 月

1. 実施上の一般的注意

○テストの実施に当たっては、被測定者の健康状態を十分に把握し、安全確保、事故防止に万全の注意を払って下さい。

○本テストは文部科学省が実施している新体力テスト実施要項を基に作成しています。被測定者の能力、体力、健康状態から実施が難しいと判断した場合はテストを行わないようにして下さい。

2. テストの準備、方法

・準備

床の上に、図のように中央ラインをひき、その両側 100cm のところに 2 本の平行ラインを引きます。ラインはチョーク、テープなど簡易的なもので十分です（図 1）。

計測器としてストップウォッチ、カウンターを準備します。それぞれの計測を効率良く行うため、2 名以上で計測を実施します。

・方法

中央ラインをまたいで立ち、「始め」の合図で①右側のラインを越すか、または、踏むまで横移動し、②次に中央ラインにもどり、③さらに左側のラインを越すか、または踏むまで横移動します（図 2）。反復横跳びのように一歩での移動は必要ありません。左右の到達ラインには自身の無理の無い歩幅、速度で横移動します。

※ほとんどの切断者は、ゆっくりと横歩き

記録は

- ・日常用義足での記録①
- ・休憩（息が整うのを目処に）
- ・スポーツ用義足での記録①
- ・休憩（息が整うのを目処に）
- ・日常用義足での記録②
- ・休憩（息が整うのを目処に）
- ・スポーツ用義足での記録②

の順に実施して下さい。

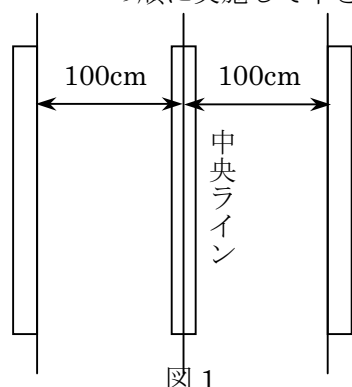


図 1

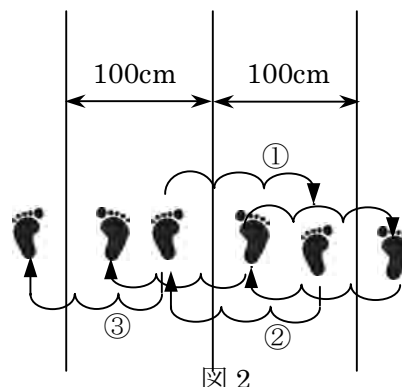


図 2

3. 記録

図 2 に示された運動（中央 → 右 → 中央 → 左 → 中央）を 5 回繰り返し、ストップウォッチでタイムを計測します。

4. 実施上の注意

◎屋内外どちらで実施する場合でも、よく整地された安全で滑りにくい場所で実施して下さい（コンクリート等の上では実施しないで下さい）。被測定者の能力により転倒の恐れのある場合は一名サポートをつけて下さい。

◎テストを連続で実施しないで下さい。2回目の記録は被験者の疲労が十分に取れた状態で行って下さい。

※記録の際に、正面から運動全体が撮れるように動画での撮影協力をお願いします。

撮影はデジタルビデオでの録画をお願いします。

テストの得点表および総合評価

日常義足		ステップ膝	
記録一回目	記録二回目	記録一回目	記録二回目
秒	秒	秒	秒

*別紙

ステップ用膝テストにおいて、高い身体能力を有し、反復横跳びをすることができる被験者には以下の方法でのテストをお願いします。

◎実施上の注意、準備は通常と同様です。

・方法

中央ラインをまたいで立ち、「始め」の合図で①右側のラインを越すか、または、踏むまでサイドステップし（ジャンプは不可）、②次に中央ラインにもどり、③さらに左側のラインを越すか、または踏むまでサイドステップする（図2）。

・記録

図2に示された運動を20秒間繰り返し、それぞれのラインを通過するごとに1点を与える（右→中央→左→中央で4点となる）。テストは日常使用している膝継手とステップ用の膝継手においてそれぞれ2回実施し、良い方の記録をとる。

次の場合は点数としないで下さい。

1. 外側のラインを踏まなかったり超えなかった場合
2. 中央ラインをまたがなかった場合

日常義足		ステップ膝	
記録一回目	記録二回目	記録一回目	記録二回目
回	回	回	回

◎屋内外どちらで実施する場合でも、よく整地された安全で滑りにくい場所で実施して下さい（コンクリート等の上では実施しないで下さい）。

◎テストを連続で実施しないで下さい。2回目の記録は被験者の疲労が十分に取れた状態で行って下さい。

3. ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計） 別紙 6

ステップ用膝継手 フィールドテスト③（ジャパンパラリンピック）

開催日：2010/1/9、10

場所：北海道 旭川市

被験者：T選手（クロスカントリースキー 立位）

現在、開発を進めている SPP ステップ用膝継手を競技に使用していただいている T 選手が参加した 2010 ジャパンパラリンピッククロスカントリー競技大会を観戦した。今回は、三次試作にあたる現在の膝継手のフィーリング確認、競技大会調査、膝継手のサポート、T 選手との打合せを目的に参加した。

以下、競技大会、T 選手との打合せについて報告する。

1/8 18:00～ 開会式、選手壮行会 旭川市 ロワジールホテル旭川

事前申請はしておらず、関係者、報道関係者以外は受付していなかったが、受付会場で名刺交換をした日本障害者クロスカントリー協会 事務局長の花澤様に T 選手との関係を説明したところ会場への入場を許可していただいた。「T 選手の膝」ということで関係者の間で有名のようで、周りにいた方々も特殊な膝ということを知っていた。

壇上には関係者が座り、周りの円卓に選手、関係者が座る形だった。後援としては厚生労働省、文部科学省、北海道など。壇上のクロスカントリー協会 会長、副会長、旭川市からは 市議会議員、観光協会、PTA 連合会、北海道スキー連盟、クロスカントリースキーナショナルチーム コーチ、監督などの紹介があり、来賓の挨拶が行われた。

選手宣誓は T 選手が行い、その後、バンクーバパラリンピックに出場が内定している 8 名の壮行会が行われた。各選手の紹介が派手に行われ、会場スクリーンにて一流アスリート、パラリンピックアスリートの応援メッセージが流された。パラリンピックアスリートの応援メッセージの最後の方には、鈴木徹選手、佐藤真海選手も応援を送っていた。

選手の交流会では T 選手、コーチとお話することができた。T 選手はメーカーが直接来てもらえた事にとっても感激していた。荒井監督からは、義足の重量の軽量化、足を前に出す動作の時に数センチ前を出す機能を付加して欲しいとの要望を受けた。荒井監督は T 選手に期待をしており、義足の機能が上がれば入賞、メダルを狙えるとのことである。



開会式、壮行会会場



T 選手による選手宣誓

1/9 2010 JPC クロスカントリー競技大会 1日目

旭川市の富沢クロスカントリースキーコースにて大会第 1 日目が行われた。パラリンピックイヤーということもあり、2 年前に観戦にいった白馬よりも報道関係者、応援共に多く感じた。

T選手は立位の部クラシカル（5km、コースを2周）に参加し、日本のエース新田選手を抑え見事に優勝した。実測タイム、計算タイム共に最も速い記録となった。T選手はクラシカルでは優勝を狙っていたが、実測タイムも含め、期待以上の結果が出たようである。

ご両親も観戦に来られていたが、結果に感激し、膝継手を製作したことにとっても感謝された。



クラシカル立位競技（T選手）



表彰式

・フィーリング確認

大会後、会場でフェスタが開催されたためそれを利用して T 選手のフィーリング確認を行った。全体的なフィーリングに関しては、良くなったとの感想をいただいた。パラリンピックまでの期間にできる改良を検討したのを持ち込み、そちらのフィーリングも確認した。

持ち込んだ膝継手はグリスのちょう度が軟らかいもの、ダンパも最終的に効果の高いものに変更したもの。T 選手の感想はグリスは全く違い、ちょう度の軟らかいものの方がフィーリングが格段に良いとのことであった。ダンパに関しては、微調整を 2 回行い試走行をしていただいたが、時間の都合上完全には調整することができなかった。T 選手に持ち込んだ膝継手を手渡し、今後の練習、W 杯で評価していただく。

・打合せ

ホテルにて T 選手と打合せを行った。取材、翌日の試合の準備で忙しく、時間は 15 分程度しか取ることができなかった。

膝継手については、ダンパのフィーリングが格段に良くなった。今回持ち込んだものは使い込んでいないが、微調整を繰り返し、フィーリングが合う方を選択していきたい。グリスに関しては、持ち込んだもののフィーリングが非常に良く、現状のものも交換して欲しいとの要望を受けた。

バンクーバでは、可能であれば今仙にサポートとして是非来て欲しい。膝継手と義足を見れるような形でサポートしていただければ非常にありがたいとのことであった。

第一日目の結果には選手、サポートしてきた関係者、メーカー共にこれまでの成果が結集した形となり非常に素晴らしい日となった。

旭川市の富沢クロスカントリースキーコースにて大会第 2 日目が行われた。前日のクラシカル (5km) に続いてフリー (10km) に T 選手がエントリーした。クロスカントリーでは距離が伸びる程、選手のクラスにより不利となり、パーセンテージ (ハンデ) も大きくなるが、T 選手にはクラシカルと比較し不利となる。

結果として、実測タイムでは上位のクラスの選手に及ばなかったものの、計算タイムで優勝した。

T 選手も勝てるとは思ってなかったらしく、驚きと前日以上に喜び、パラリンピックに向けた最終の国内大会で最高の結果を残すことができた。

時間の関係上、表彰式を見ることはできず、暫定結果のみ確認し、会場をあとにした。



フリー立位競技 (T 選手)

Japan Para Championships 2010 Japan Paralympic スキー競技大会 クロスカントリー

リザルト 暫定

立位 10.0km Free 2010/1/10

コース別			コース別		
選手代表	性別	(日本代表)	コース名	コース距離	コース種別
代表者	性別	(日本代表)	コース名	コース距離	コース種別
代表者	性別	(日本代表)	コース名	コース距離	コース種別
代表者	性別	(日本代表)	コース名	コース距離	コース種別

順位	No.	名前	所属	性別	年齢	ハンデ	%	実測タイム	計算タイム
1	14	藤田 健治	北見大学	M	28	0	100	27:00.7	27:00.7
2	12	藤田 健治	北見大学	M	28	0	100	27:00.7	27:00.7
3	12	藤田 健治	北見大学	M	28	0	100	27:00.7	27:00.7
4	13	藤田 健治	北見大学	M	28	0	100	27:00.7	27:00.7
5	13	藤田 健治	北見大学	M	28	0	100	27:00.7	27:00.7

10:35

フリー結果 (暫定)

まとめ

今回旭川で開催されたジャパンパラリンピックを観戦し、開発を進めている SPP ステップ用膝継手の市場調査、T 選手との打合せを行った。競技では T 選手が 2 冠に輝くこととなり、選手、競技関係者、メーカーがこれまでの成果を最高の形で実となる瞬間に立ち会うことができた。

バンクーバまで残りわずかだが、選手に最高のパフォーマンスをできるようにメーカーとして精一杯努めたい。

今回の結果を自信として、膝継手の開発をより進めていきたい。

3. ステップ用膝継手に関する研究開発（機構設計） 別紙 7

ステップ用膝継手 フィールドテスト④（バンクーバパラリンピック）

開催日：2010/3/12～21

場所：カナダ ウィスラー

被験者：T選手（クロスカントリースキー 立位）

義足のクロスカントリースキー T選手がバンクーバパラリンピックに参加することとなり、メーカーサポートとして現地へ出張した。また同時に障害者スポーツの最大の競技大会である、パラリンピックを視察できたのでその報告を行う。

バンクーバーパラリンピック開催期間

2010/3/12～21

出張期間

2010/3/17～23（22、23は移動日） T選手 競技日程 18日（クラシカル 10km）、21日（スプリント 1.2km）

3/17

移動日

17：30～ 選手村訪問

この日、T選手が競技前日ということもあり選手村へのパスを用意していただけたため選手村を訪問した。日本選手団の建物に入れていただき、総務、統括の渡辺様、勝呂様、荒井コーチに挨拶をした。スタッフ一同アルペンスキーのメダル獲得に触発され、ノルディックスキーでのメダル獲得に意欲を見せていた。

膝継手自体は特に問題は無く、つぶれて剥がれかけていたバンブラバーの交換を T選手の部屋で行った。

選手村食堂にて食事をしながら打合せを行った。

膝継手は対策してから以前のような問題は無く使用できている。追加したねじでのロックは最初は使用していたが、現地の練習（カナダ シルバースター）で無しで使用しても問題が無く、以前のような不安感も無いため、現在はねじでのロックをしていない。翌日（18日）のクラシカル（10km）にはこれまでの膝（アルミ合金製）を使用し、リレーの日（20日）に練習ができるのでその時にマグネシウム合金の膝を最終チェックして最終日（21日）のスプリント（1.2km）に使用するかどうか判断する。

コースの特性上、クラシカルは上位へ入ることは難しく、スプリントにかけた。体調は良く、良い状態で明日からの競技に臨めそうとのことであった。

義足関係のトラブルに関しては、対応が競技会場では難しく、選手村のリペアブースを利用する形となる。何かあった場合はすぐに連絡をするという話だったが、競技会場にも一応補修部品、工具を持っていく旨を伝え、義足に何かあった場合はすぐに連絡を取り合うことを確認した。

※T選手には義足に何も無くても、メーカーの方が来てくれただけで非常に安心感を得られ、競技に対する不安の一部を取り除くことができたこととても感謝された。障害者スポーツに関して、このような対応はとても重要な要素なのだと感じた。



選手村



ウィスラーヴィレッジ

3/18

クロスカントリー クラシカル 男子 10km

競技会場：パラリンピックパーク

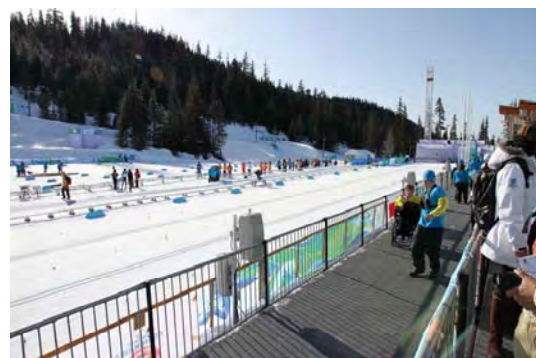
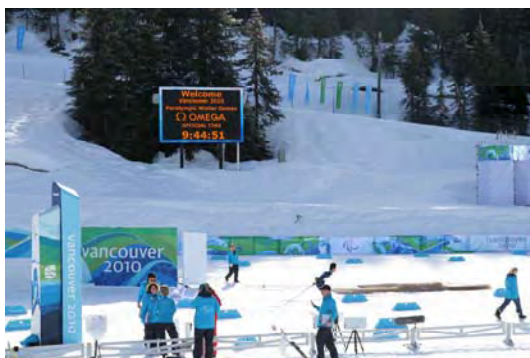
ウィスラーヴィレッジからは専用のバスで 40 分ほどかかり、30 分ほど登山したところに会場がある。

当日の天候は晴れで雪質は硬かった。

T 選手は 12 番目にスタートし、Result time が 32:21.4 の 20 位（エントリー 28 人（完走 26 名）中）という成績だった。金メダルを取った新田選手は 26:29.5、入賞した 8 位の選手は 28:42.2 という結果だった。

上位を LW8（前腕切断など）が占める中、ロシア、ノルウェーの選手が LW4（片側下腿切断など）で上位入賞をしていた。

新田選手が金メダルを獲得したため、応援スタンドに選手団が訪れ、喜びを分かち合った。T 選手も来られ、本命であるスプリントへ向け、まずまずの走りができたと話していた。19 日は休み、20 日に行われるリレーの事前練習でマグネシウム合金製の膝を最終確認する。アルミと比較し、少しでも剛性などに不安があるようだったら使用しないとのことであった。



競技会場 ウィスラーパラリンピックパーク



男子クラシカル 10km T選手

3/19

16:30～

日立システム 渡部様、横山様 打合せ

横山様 全日本クロスカントリーのコーチ、元クロスカントリー日本代表

現在は新潟県、妙高市で旅館を営みながら障害者スキーマスターのコーチをしている。妙高の旅館はT選手をはじめ、選手が定期的に合宿を行う場所でもある。

以下横山様談

T選手のように、障害を持つ前に技術を高いレベルで習得している選手は稀であり、道具（義足）が伴えばまだまだ伸びる可能性がある。クロスカントリーは登り、平地、下りがそれぞれ 1/3 と言われているが、タイムで差がつくのは登りと下りであり、コースの大半登り、下りで費やす。T選手の次へのステップとして、スケーティングができるものを開発して欲しい。スケーティングは健側でのみ蹴る形で良く、現在も練習をしているが、T選手のキック力の割りにスピードが乗ってこない。膝、足首を連動させて、健側のキックを前へ前へと進めることのできる義足（足部も含め）が必要だと考えている。またしゃがんだ姿勢をとる時（下りのクラウチング）に重心が少しでも前に乗るような形にできると理想。登り、下りのコーナーは健側、ストックで数回蹴ることである程度のことではできる（現在でもT選手は練習により下りのコーナーは非常に上手くなったと言っていた）。

スケーティングがある程度できるようになれば、現在のパラリンピックのコースで32分台のところを20分を切るころまでいけると思っている（20分を切るのは今回の大会では入賞レベル）。

義肢装具士、選手だけでなく、コーチなどの話も取り入れ今後開発を進めていただきたい。機会があれば次回試作機を試す時に選手と共に妙高へ来て欲しい。

ノルディックチームのコーチ陣の選手育成に対する熱心さを感じた。

3/20

クロスカントリースキー リレー男子、女子

T選手はエントリーされなかった。競技前の事前練習に姿を見せ、コースを数回周りながら最終確認を行っていた。リレーが行われるコースとはちょっと異なるが、各箇所を丹念に感触を確かめるように滑っていた。

後日わかったが、この時にマグネシウム合金の膝継手を試し、剛性、フィーリング共に問題無しと判断しプリントでの使用を決めた。

競技結果：リレー男子 5位、女子 5位 素人目に見るとメダルを狙える良いレースをしていたように思えたが、関係者の話ではロシア、ウクライナ、ノルウェー、ベラルーシとの差は大きく、メダルを狙うにはまだ日本の全体的なレベルが上がらないといけないうことであった。またこの日はワックスが適合せず、男女共に下りで抜かれる、差をつけられるなどの場面が目立った。



競技前の練習で Mg 合金製膝継手の確認を行う T 選手

3/21

クロスカントリースキー スプリント男子 1.2km

天気は雨、雪が濡れた重い状態。このような状態では海外選手はほとんど滑った経験は無く、ワックスも含め日本選手団は有利という関係者の見解だった。

コースコンディションはあまり良くない状態で、2つある下りのコーナーで多くの選手が転倒、コースアウトしそうになっていた。T選手は21番目に出走し、見事に完走したが走り終えた時点で11位、最終結果は14位 (Result time 3:36.94) だった。予選通過となる8位の選手 (Result time 3:26.67) との差は約10秒だった。新田選手 予選2位通過 (Result time 3:15.56)。

最終結果：新田選手が金メダル、太田渉子選手が銀メダル

クラシカル同様、ロシア、ノルウェーの下腿切断の選手が上位入賞を果たしていた。

メダルセレモニー後には選手団が観戦席に来て、2選手のメダル獲得と、選手の健闘を共に祝った。T選手からはパラリンピックで思い切り走りきることができたお礼と今後もよろしくお願ひしますとの言葉をいただいた。



男子スプリント 1.2km T選手



選手の親族、関係者の応援団

19:00～ 閉会式

3/22

5:20 ウィスラー発 12:30 バンクーバー発 帰国

3/23

17:20 中部国際空港着

まとめ

今回、T選手の義足のサポート、競技大会の視察として、カナダへ出張した。義足に問題は起きず、選手がエントリーした2種目で無事完走することができた。同時に競技を実際に見、関係者の話を聞くことで開発における課題も垣間見えた。また、メーカーとして選手に競技に対する不安の一部を取り除き、安心を与えることや、実際の競技を観戦することの重要性、4年に一度の国際大会という重みも実感した。

現地に直接行くことで、チームスタッフの熱心さ、親族や会社の同僚の存在、また所属する会社のサポート体制や選手への対応など、関係者が良い環境を作ることの重要性を改めて感じた。

今後、今回の貴重な経験を生かし、開発を進めていきたい。

以上

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

足部カバーに関する研究開発（風洞実験）

研究分担者 今仙技術研究所 鈴木光久 芥川雅也

研究要旨：本研究では、スポーツ用義足部品のカーボン板ばね足部に使用する、風防機能と安全性を考慮した軟質の足部カバーを検討し開発する。

A. 研究開発目的

本プロジェクトで、スポーツ用足部カーボン板バネ（LAPOC SP1100 KATANA）の風の抵抗低減のためのカバーを検討しモックアップを試作した。風の抵抗低減の効果を探る。

B. 研究開発方法

1. 実際の切断者アスリートの義足に取り付け試走行していただき、主観評価をする。
試料：試作モデル（形状検討）1 を用いた。
材質：スタイロフォーム徒手にて切削造形後、ラテックスゴム塗布にて表面処理。
被験者（SK さん）により、大阪長居競技場にて、試料を両面粘着テープで貼り付け、約 50m を数往復試走行した。



図.1 足部カバー 試作品
（形状検討）1 テスト風景



図.2 足部カバー 試作品
（形状検討）1 テスト風景

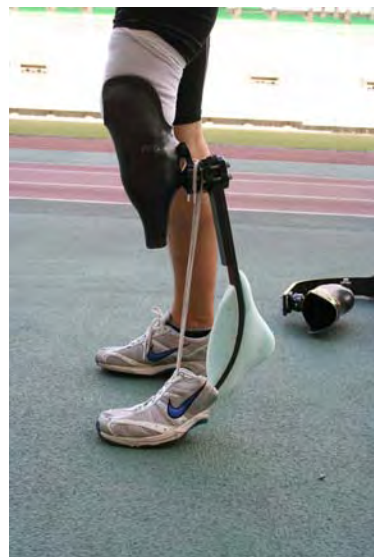


図.3 足部カバー 試作品
（形状検討）1 テスト風景

2. 風洞装置にて、定量的測定をする。

試料：試作モデル（形状検討）2,3 の2種類、
材質：スタイロフォーム徒手にて切削造形した。コントロールとして、カバー無しの板も用意した。

方法：2009/12/07 名古屋工業大学で MOT 産業戦略工学専攻 中村隆教授の配慮により、機械工学玉野教授の研究室の風洞試験機を使用させていただいた。

実験に先立ちレイノルズ数の概算をした。添付資料：‘空気の流れ’風洞装置開放部に、KATANA をつま先が上向きになるよう、直線部が-30度、0度、30度、60度となるようバイスに固定する。バイスの下にキスラー3分力計を設置し、アンプ、データロガーを介しPCに力出力を記録する。サンプリング周波数は100Hz、キスラー特有の0点ドリフトをデータ収集後演算処理する。風速を15m/sを最大として、およそ20-30秒かけて最大風速とし、データが安定する40-50秒を15m/sを保持し、その後20-30秒かけて数速0までXYZの力計測をする。

試料：カバー無し、試料2（大カバー）、試料3（小型カバー）

角度：-30度、0度、30度、60度

の組み合わせで12回の計測を行う。

その他使用機器：キスラー3分力計&、記録：データロガー&PC、バイス、コンクリートブロック、脚立、シャコ万、滑り止めゴム



図4.試作形状 検討モデル2（大カバー）



図5.試作形状検討モデル2（大カバー）



図6.試作形状 検討モデル2（大カバー）



図7.試作形状 検討モデル3（小カバー）

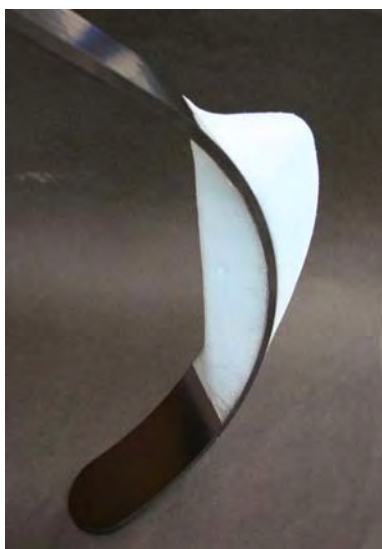


図 8.試作形状 検討モデル 3 (小カバー)



図 9.試作形状 検討モデル 3 (小カバー)

装置：



図 10.風洞装置



図 11.アンプ、データロガー、PC



図 12. 制御盤



図 13.キスラー3分力計



図 14. 設置角度- (マイナス) 30 度



図 15. 設置角度 0 度



図 16. 設置角度 30 度



図 17. 設置角度 60 度

C. 研究開発結果

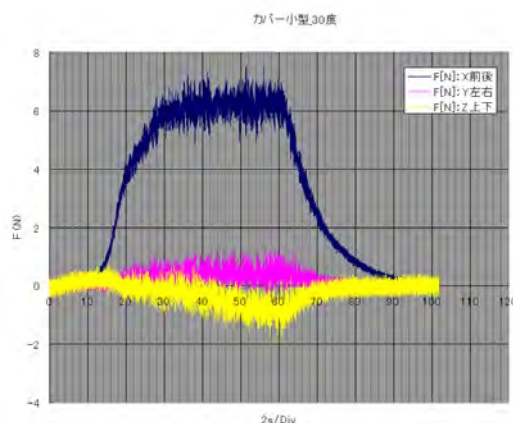
1. 結果：

1-1. 主観試験 1 の結果、50m ほどを数往復トラックサイド度のタータン部分を走行した。被験者（SK さん）によると「なんら変化を感じない」。周りの選手は風の抵抗

1-2-1. 風洞実験の補正後のデータ処理全結果は、添付資料にグラフで示す。

代表的な時間-XYZ 三分力のグラフを示す。

表 1. 三分力グラフ



後方に 30 度傾けた時の後方への X：前後力が一番感度が高い。

角度によって、板バネ R 部分が翼のように相当し、Z：上下方向に揚力が発生する場合がある。

試料 2 の大型のカバーは後方に 30 度 X：前後力の平均値で約 24%の抵抗力の低減効果がある。

試料 3 の小型のカバーは後方に 30 度 X：前後力の平均値で約 13%の抵抗力の低減効果がある。

試料 2 の大型のカバーは、あらゆる角度の平均値で約 20-25%の X：前後力の抵抗力の低減効果がある。

試料 3 の小型のカバーは、あらゆる角度の平均値で約 5-12%の X：前後力の抵抗力の低減効果がある。

60 度では、カバー無しの場合、振動が発生しているが、カバーが大きくなるに従い、振幅が減少している。乱流または渦流が整えられていると考えられる。

60 度では、カバーが無いと揚力が大きく浮かび上がる方向に出るが、小型カバーでは 0 平均となり、資料 2 の大型のカバーは、逆向きに力が発生する。

1-2-2 データ処理（その1）

補正後のデータを、4500 レコードから 5500 レコード（45 秒から 55 秒のデータ）を抽出し、X 前後、Y 左右、Z 上下に於いて、平均値・最大値/最小値、およびばらつき評価の為に標準偏差を集計する。

表 2

X前後-平均・最大値・最小値

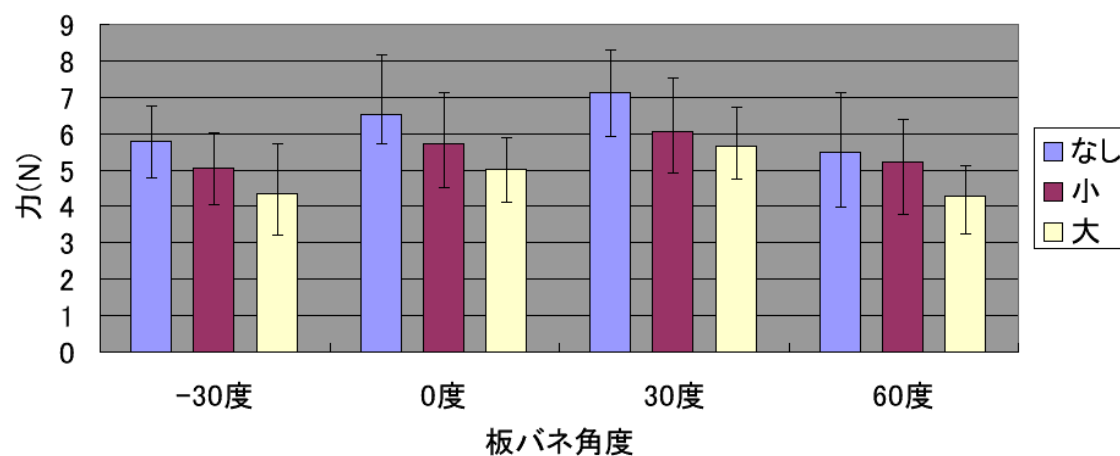
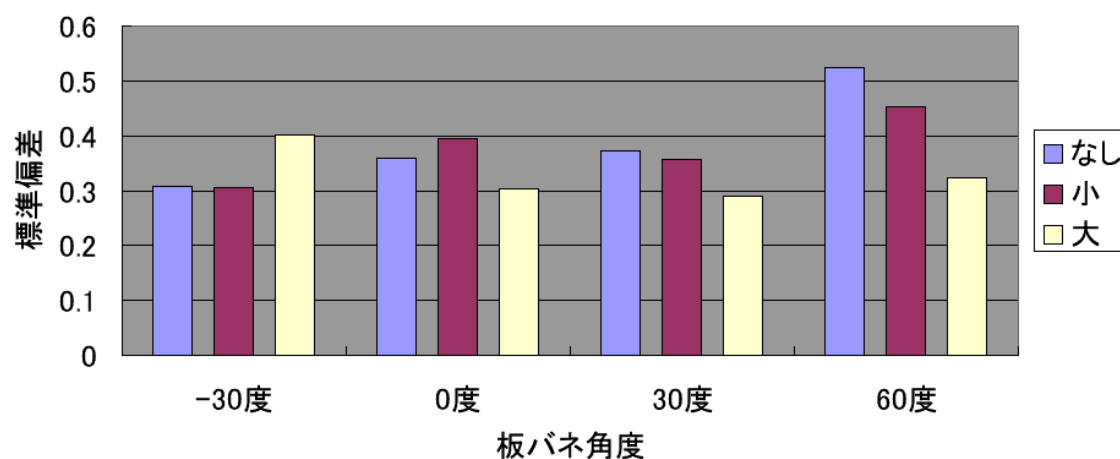


表 3

X前後-標準偏差



X 前後方向力は小さなカバーよりも、大カバーの方が風の抵抗の低減効果が大きい。
 -30 度では、大カバーのほうが振動のばらつきが大きい。0 度では小カバーのほうがばらつきが大きい。30 度に於いて、カバーによる風圧力の変化（効果）が大きい。60 に於いては大カバーが振動のばらつきが小さい。

表 4

Y左右-平均・最大値・最小値

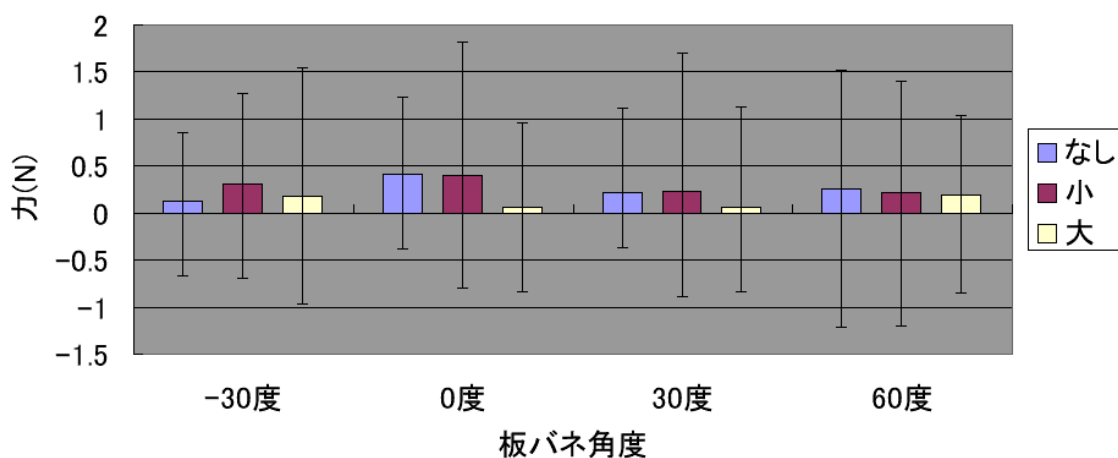
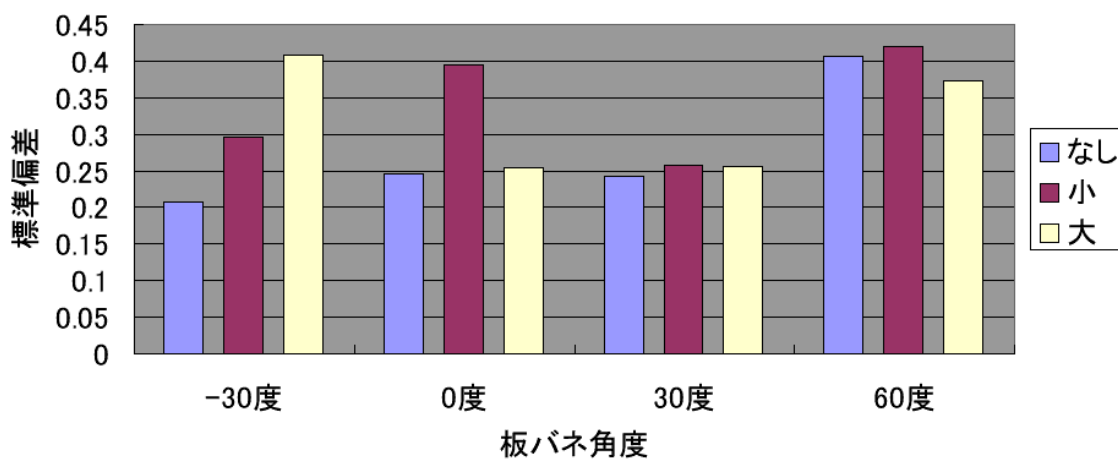


表 5

Y左右-標準偏差



左右方向の力は、もともと小さいが、0度、30度で大カバーで極めて大きな力の変化が出た。小カバーでは、0度、30度で力の平均値の変化はなく、最大値最小値が大きくなり、0度に於いては、ばらつきが大きくなった。ばらつき-30度では小カバーで1.5倍、大カバーで2倍とカバーがあったほうが大きなばらつきが発生した。0度では小カバーでのばらつきが大きくなった。

表 6

Z上下-平均・最大値・最小値

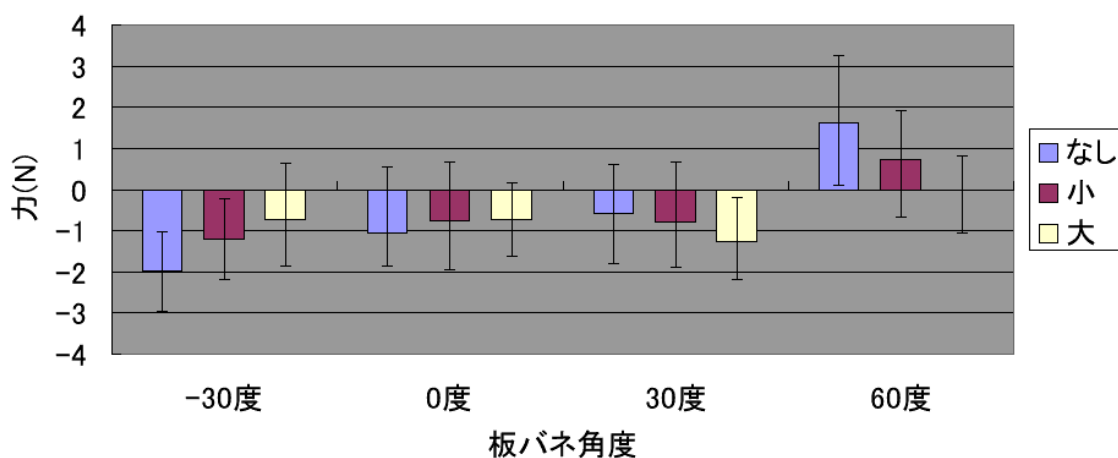
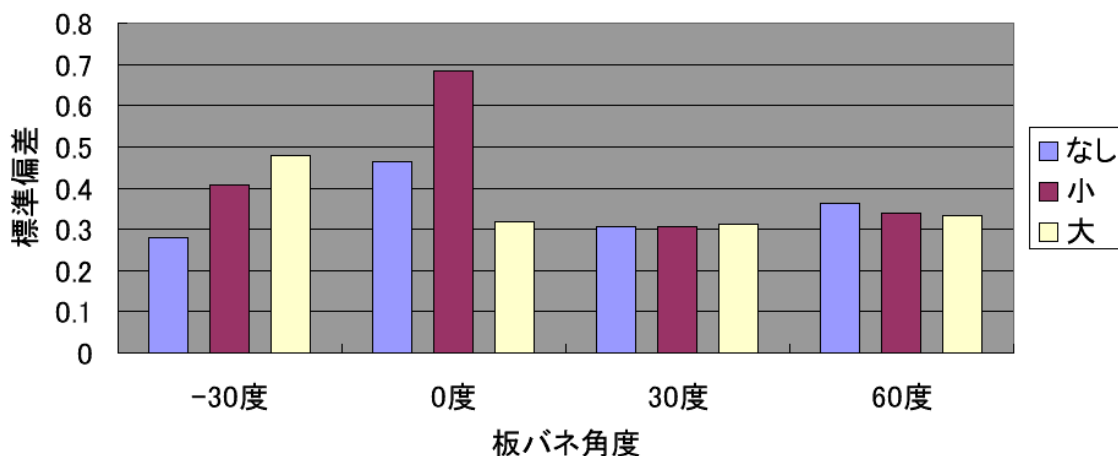


表 7

Z上下-標準偏差



上下方向の力は、板バネと風の角度によってカバーの影響が抵抗増加になったり、減少したりする。R 湾曲部が翼と同じ作用を発生していると思われる。30 度に於いては、カバーが大きくなるに従い、負の方向の力（足を下げる、膝を伸ばす）が大きく発生した。-30 度に於いてはカバーがないと負の方向の力（足を下げるこの-30 の姿勢では膝を曲げる）が働いた。60 度では、カバーがないと正の方向の力（足を上げる、膝を曲げる力）が働くがカバーを装着することで力が小さくなった。

1-2-3 データ処理 (その2)

補正後のデータを 4500 レコードから 5500 レコード(45 秒から 55 秒のデータ)を抽出し、X 前後 0 度と 30 度、Y 左右 0 度と 30 度、Z 上下 0 度と 30 度に於いて、DFT フーリエ変換による周波数解析によりピーク周波数-スペクトル線図により振動変化を見出す。

表 8

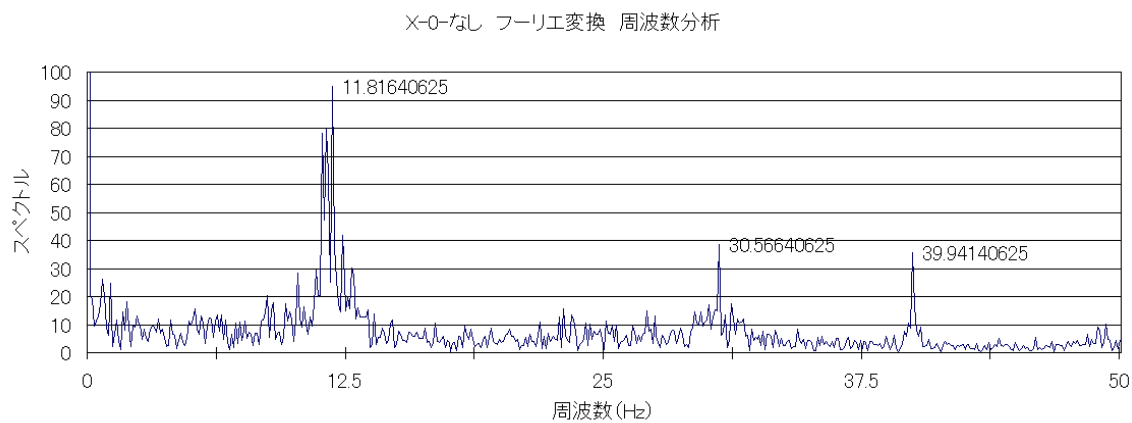


表 9

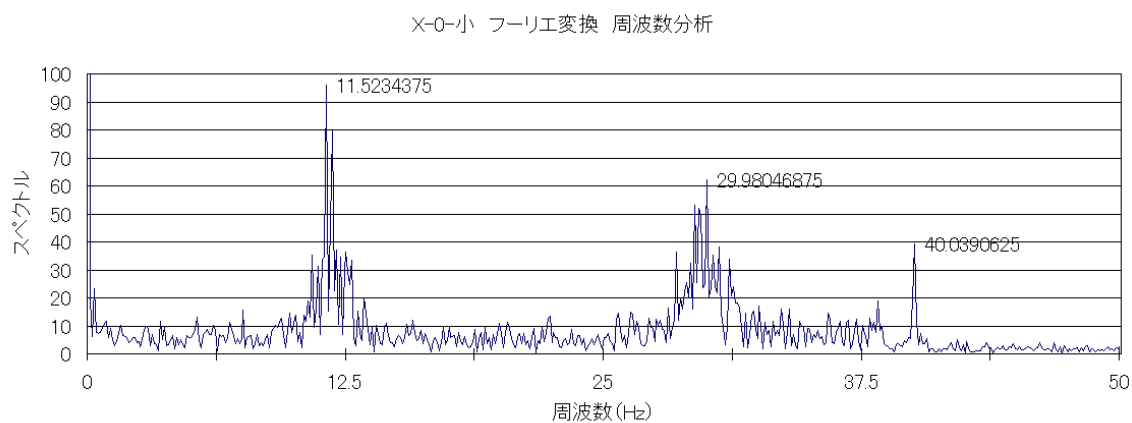


表 10

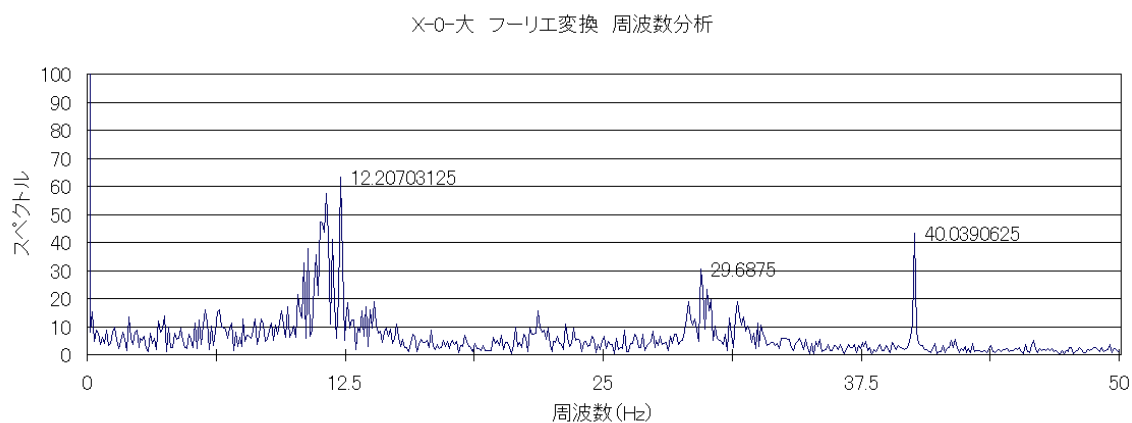


表 11

X-30-なし フーリエ変換 周波数分析

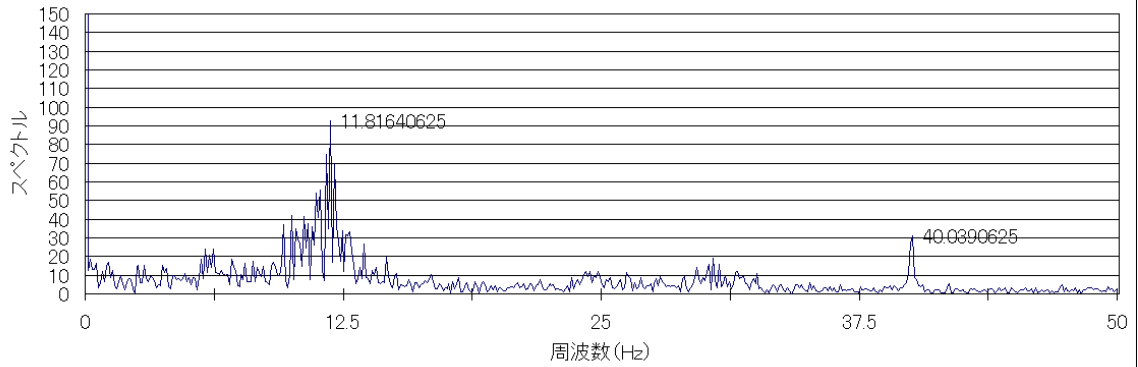


表 12

X-30-小 フーリエ変換 周波数分析

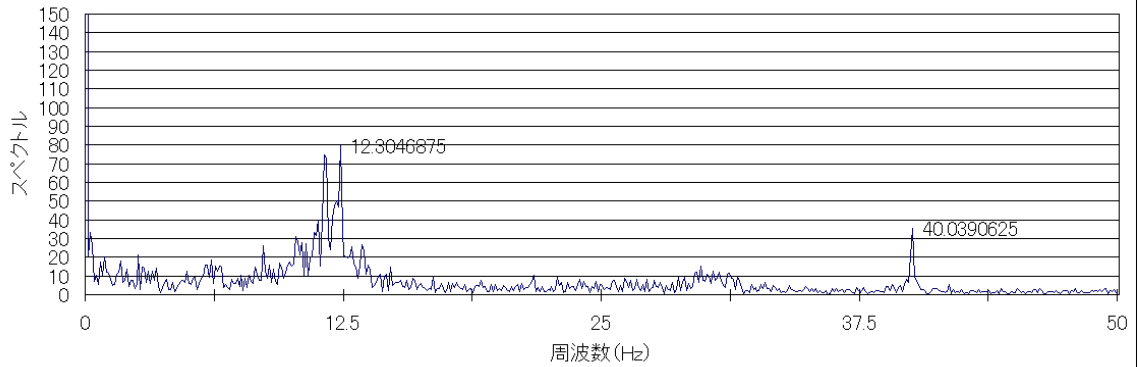


表 13

X-30-大 フーリエ変換 周波数分析

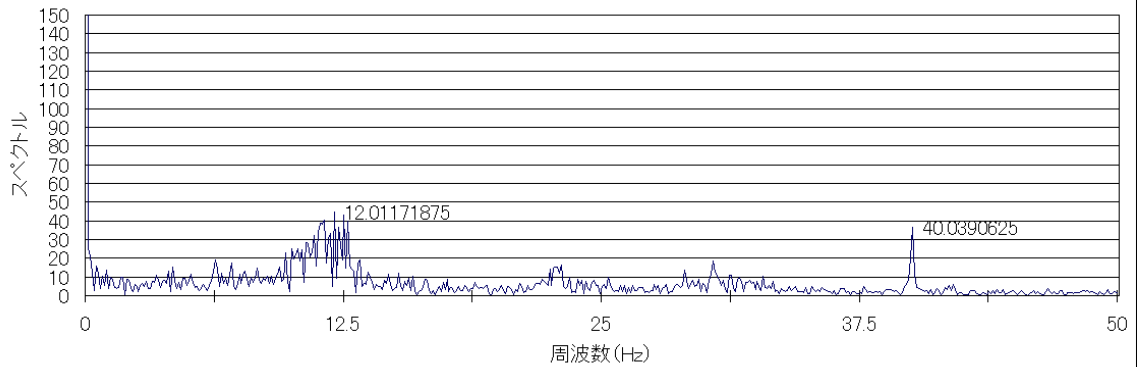


表 14

Y-0-なし フーリエ変換 周波数分析

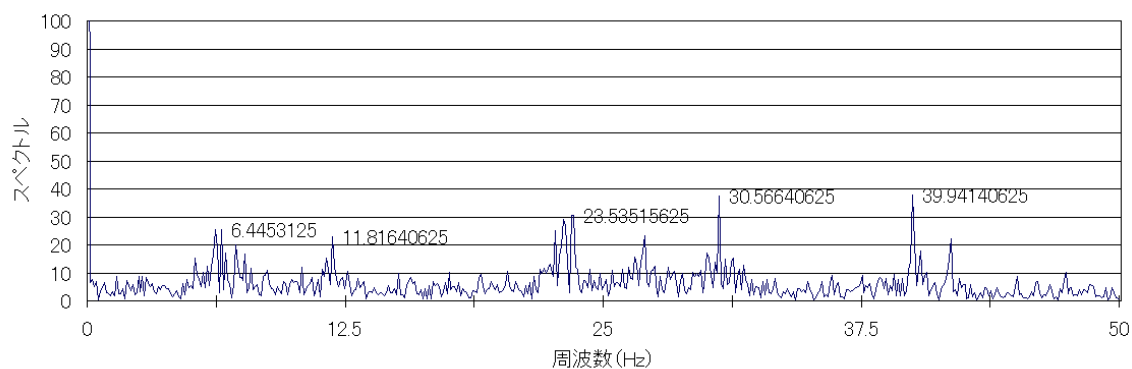


表 15

Y-0-小 フーリエ変換 周波数分析

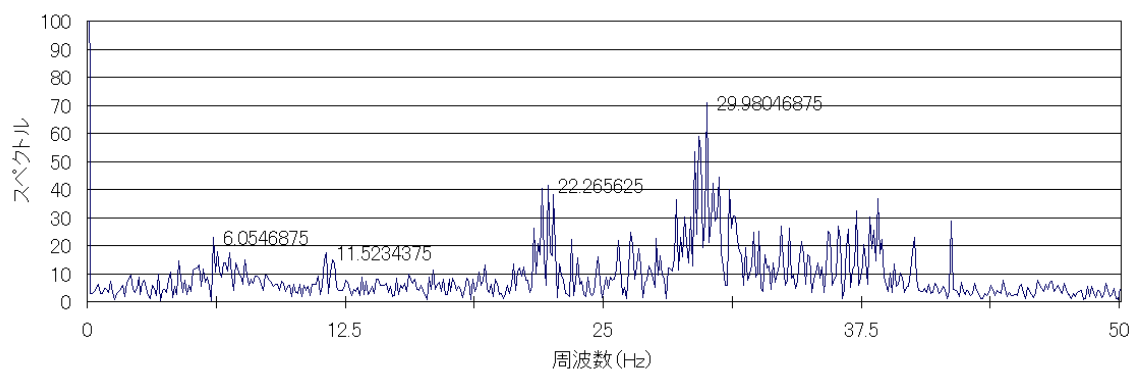


表 16

Y-0-大 フーリエ変換 周波数分析

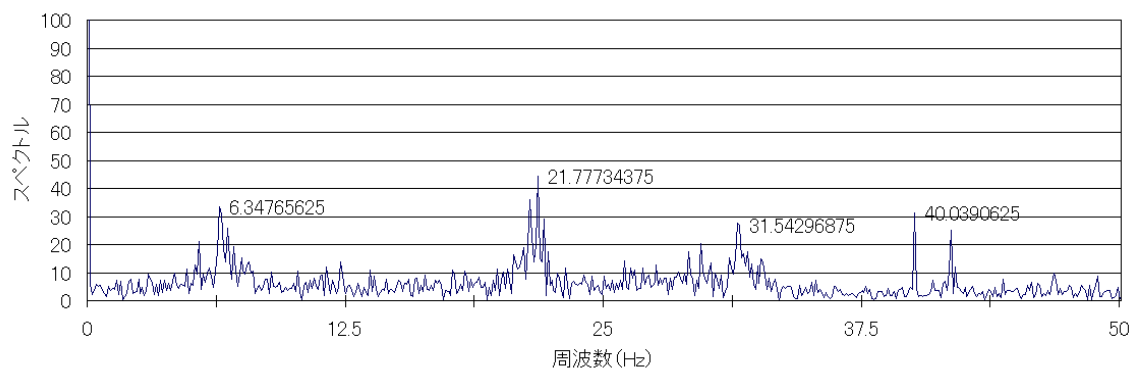


表 17

Y-30-なし フーリエ変換 周波数分析

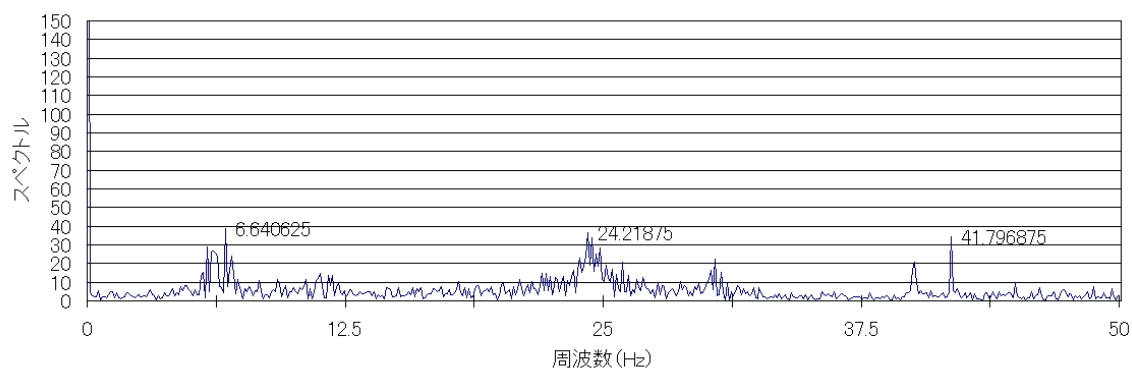


表 18

Y-30-小 フーリエ変換 周波数分析

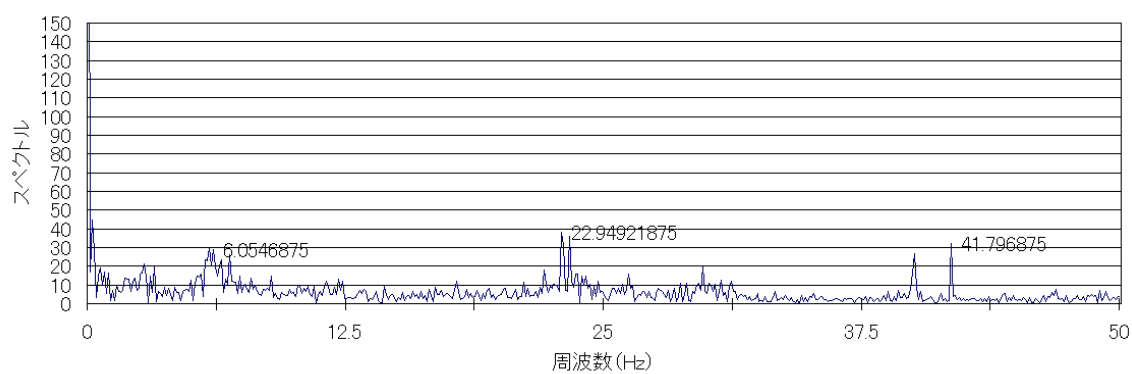


表 19

Y-30-大 フーリエ変換 周波数分析

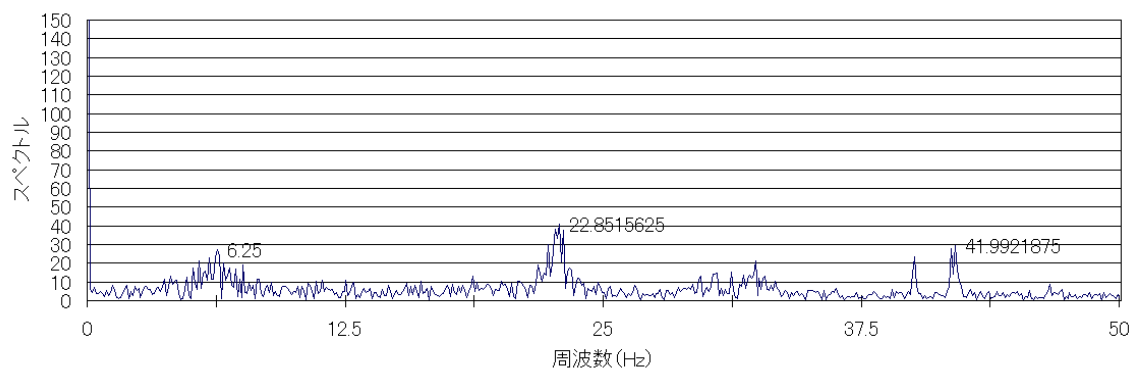


表 20

Z-0-なし フーリエ変換 周波数分析

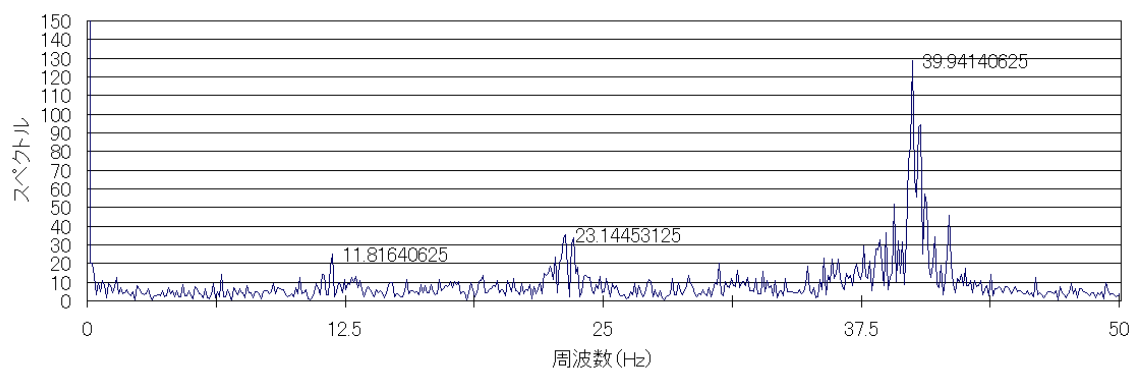


表 21

Z-0-小 フーリエ変換 周波数分析

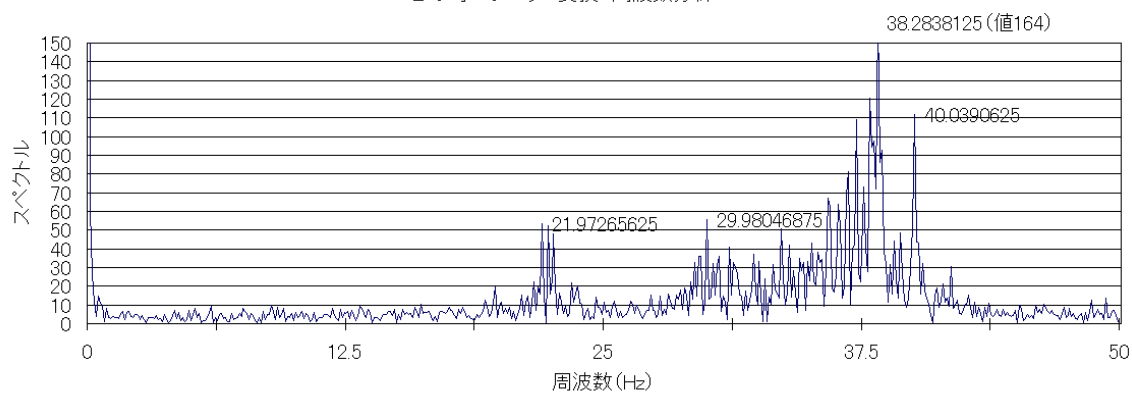


表 22

Z-0-大 フーリエ変換 周波数分析



表 23

Z-30-なし フーリエ変換 周波数分析

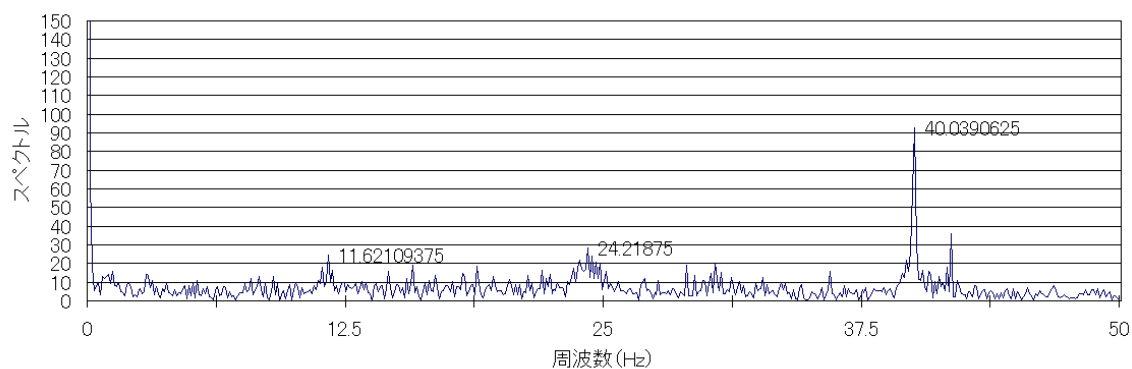


表 24

Z-30-小 フーリエ変換 周波数分析

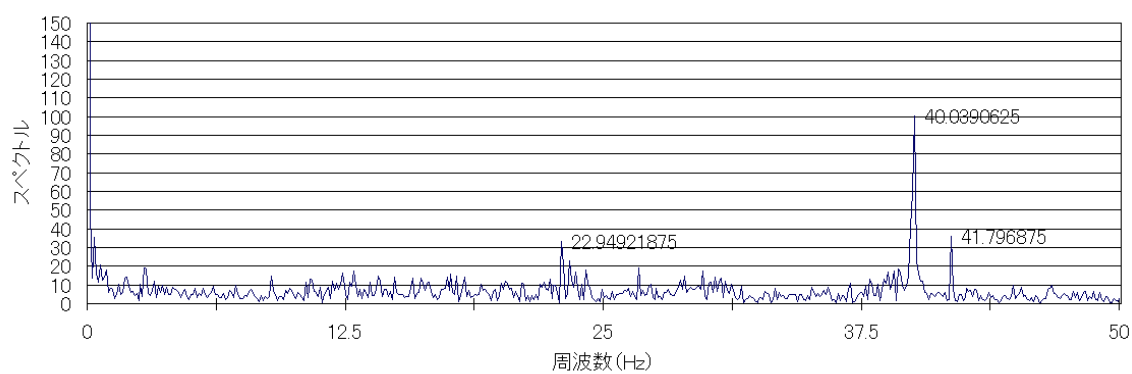
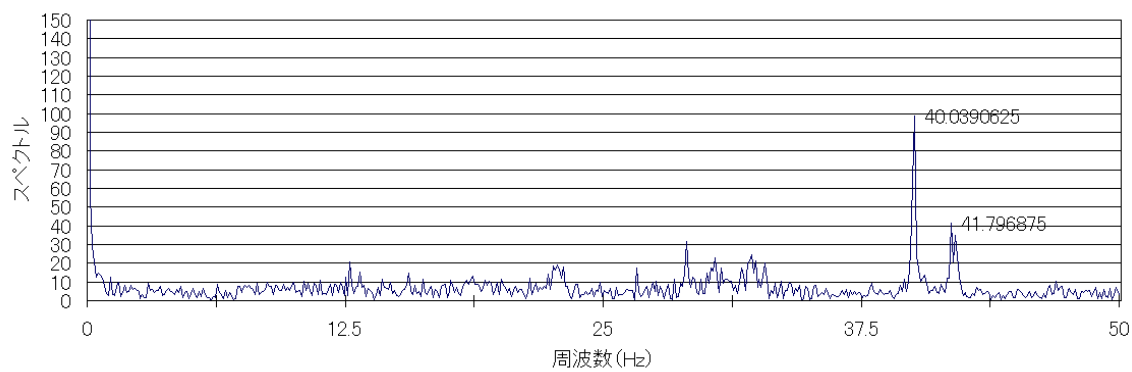


表 25

Z-30-大 フーリエ変換 周波数分析



全体には、大カバーに於いて、スペクトル密度の減少が見られる。

全体に、カバーがついたことによる、振動周波数のシフトは大きく見られない。

2. 達成できたこと

- ・ 風洞により、カバーをつけることで大局的にどういった風の影響があるか予想がついた。
- ・ 足部カバーデザイン方策の為の基礎データ集めができた。
- ・ カバーによる空気抵抗低減の可能性があることを証明できた。
- ・ 左右方向の力の変化が大きいことの知見を得た。

3. 達成できなかったことおよびその主な原因

横風の試験や実際の使用状況のように、円弧の揺動運動の計測ができなかった。風洞実験装置が大掛かりである為、暖気運転など段取りに大変時間がかかる。名古屋工業大学でMOT産業戦略工学専攻 中村隆教授の配慮により、機械工学玉野教授の研究室の風洞試験機を使用させていただいたが、学生実験などで稼働率が高い為、使用できるタイミング

は少ない。デザインモデルの風洞実験は不可能であった。

D. 考察

風速 15m/s はアスリート（北京パラリンピアン銀メダリスト山本選手）の足部の最大の前方移動速度 16m/s を参考にしたが、一般切断者ではもっと小さな値と思われる。角度によっては、カバーの風の抵抗低減効果は十分期待できる。前後方向に長いカバーは重量増や横風のことを考慮すると避けるべきである。下腿義足では板バネの前に、ソケットがあるので複雑なかぜの渦ができる。

E. 結論

カバーにより、風の低減効果があることが確認できた。横風の影響を考えると、前後方向に大きすぎるカバーは走行中に義足の遊脚制御に影響を与え足部設置位置の不安定になることが予測される為、注意が必要である。他者や切断者自身の臍側との衝突などを考慮しても、カバーの安全面での効用もあるので継続して検討する。

添付：‘空気の流れ’

スポーツ義足 足部カーボン板バネ

‘空気の流れ’

2009.10.29 鈴木

$$\text{「レイノルズ数」} \quad \text{Re} = \frac{UL}{\mu/\rho} = \frac{UL}{\nu}$$

U : 特性速度 [m/s]

L : 代表長さ、特性長さ [m]

ν : 動粘度 (係数) [m²/s]

μ : 粘度 (粘性係数) [Pa · s]

ρ : 密度 [kg/m³]

※ 20°Cの空気は 1.8×10^{-5} [Pa · s]

0°C : 1atm 1.293 kg/m³

- ・ 板バネの代表長さ 60mm = 0.06m
- ・ 100m を 10s で走行するときの特性速度を 25 [m/s]とすると

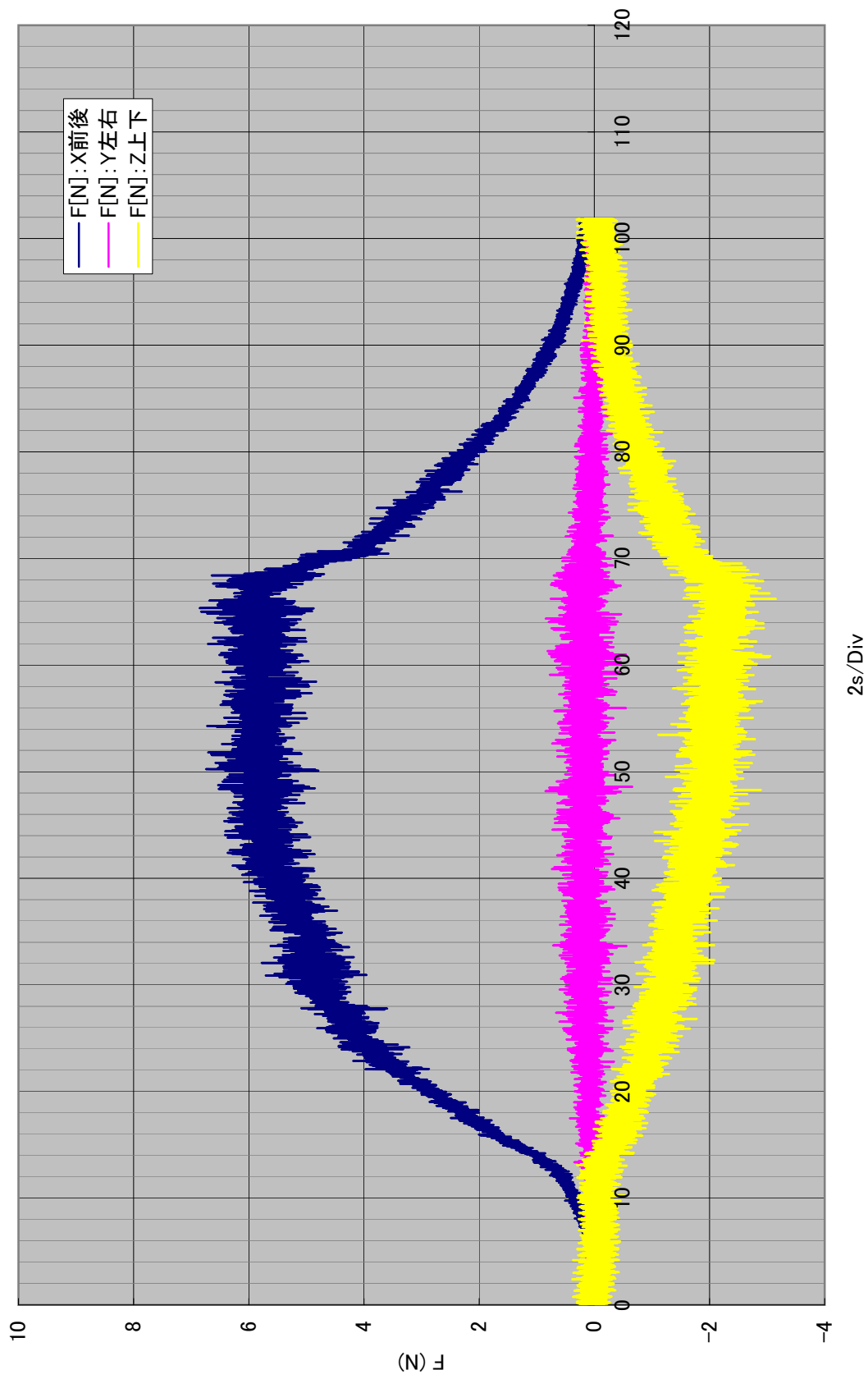
$$\text{Re} = \frac{25 \cdot 0.06}{(1.8 \times 10^{-5} / 1.0293)} = 1.08 \times 10^5$$

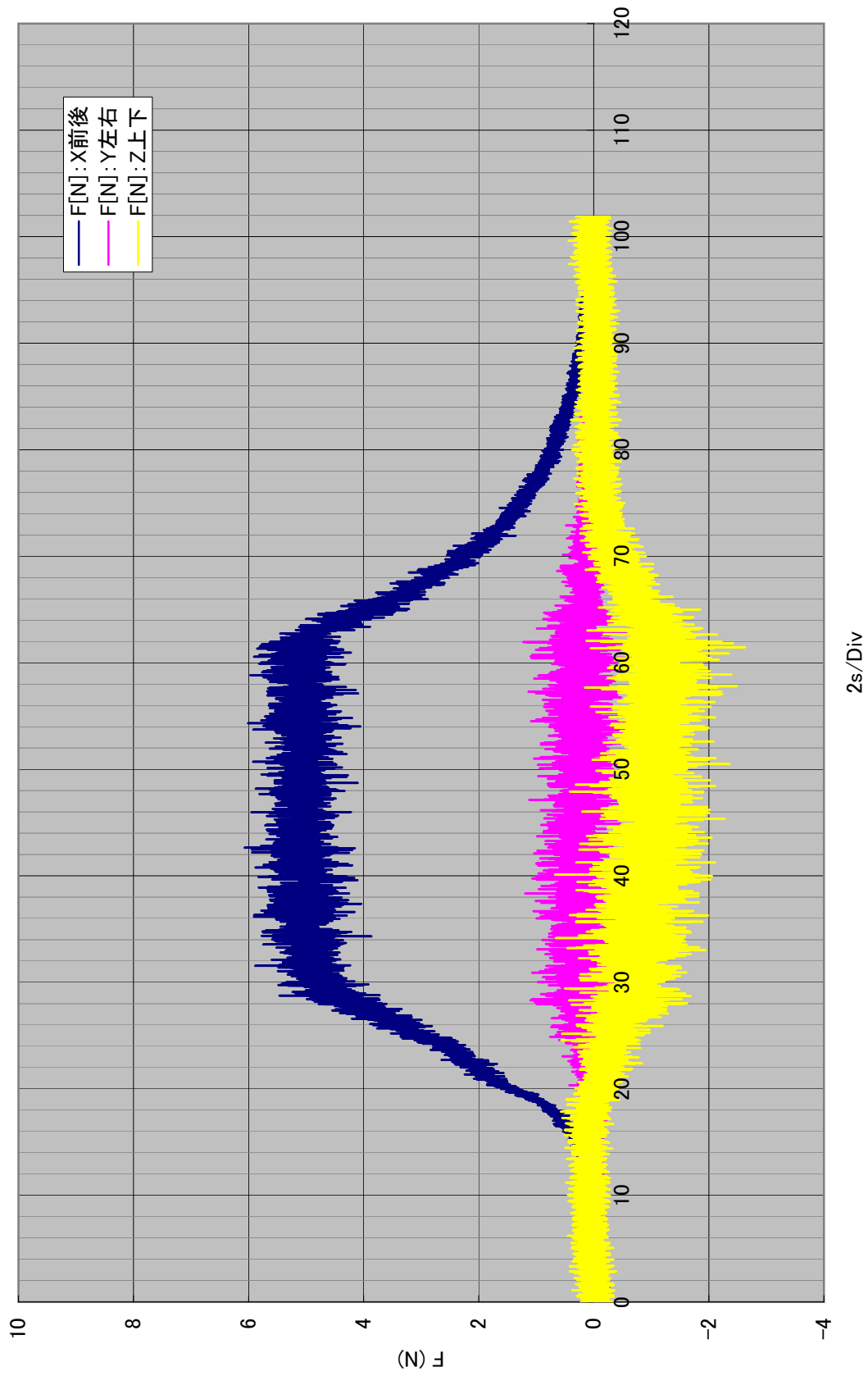
臨界レイノルズ数 = 層流から乱流に

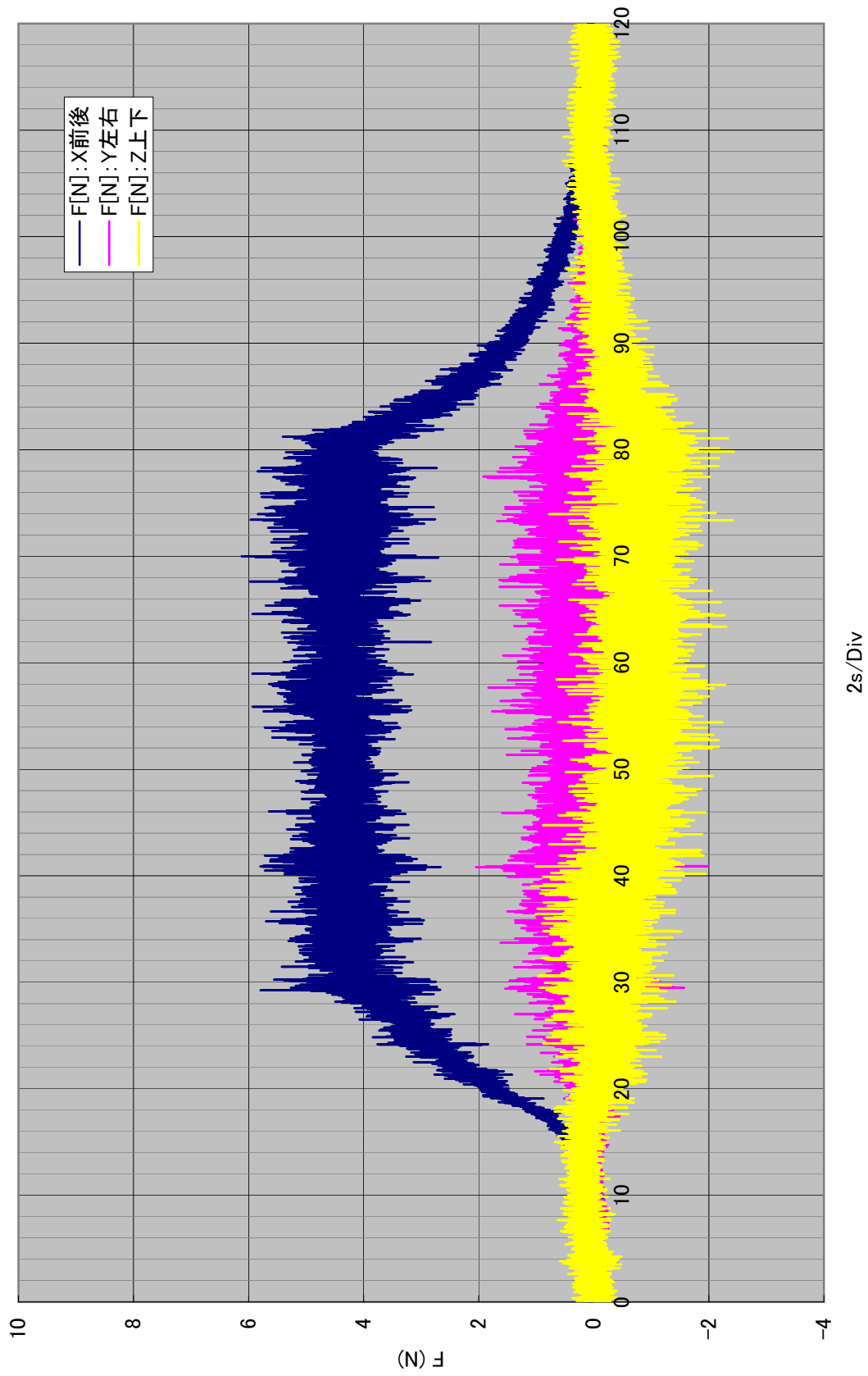
- ・ 円管内では 2000~4000 程度
- ・ 一様流内の平板表面では 5.0×10^5 程度
- ・ 飛行機の主翼 $10^6 \sim 10^8$ 程度
- ・ 模型飛行機 10^5 以下

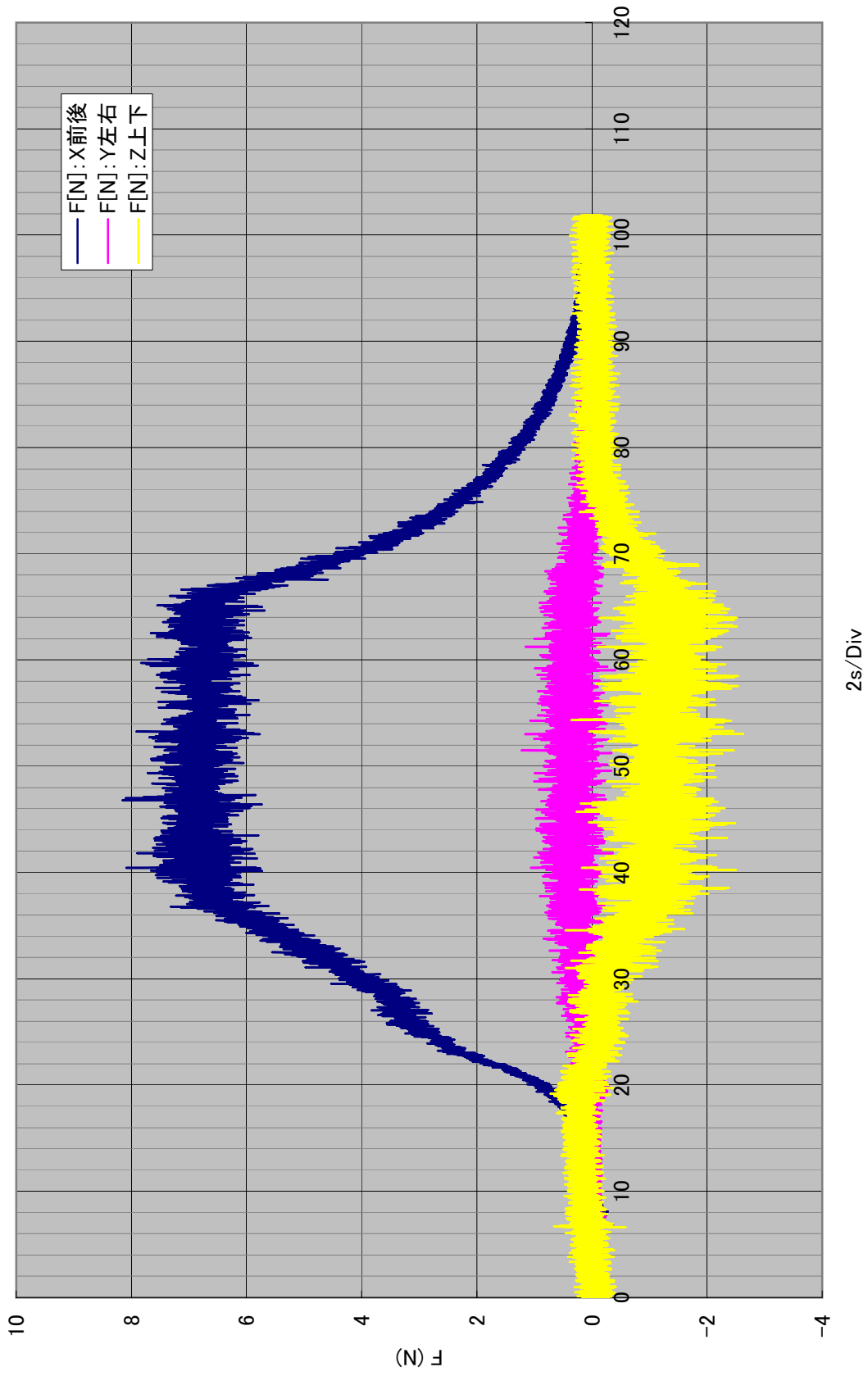
板バネでの走行では、層流の範囲 (高めの流速で渦があるだろう) である。

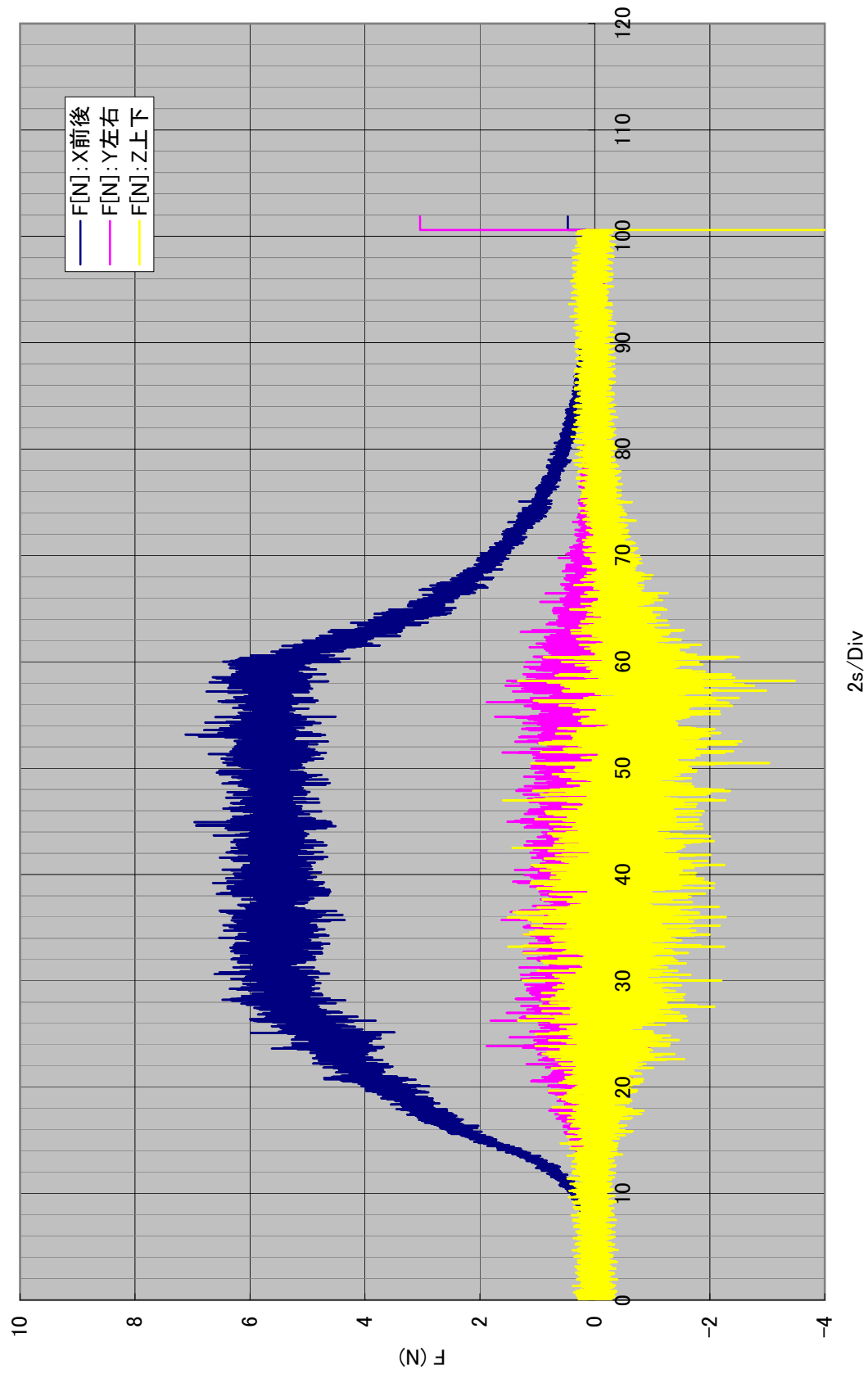
添付：次ページより 計測データ、グラフ (添付 12 頁)

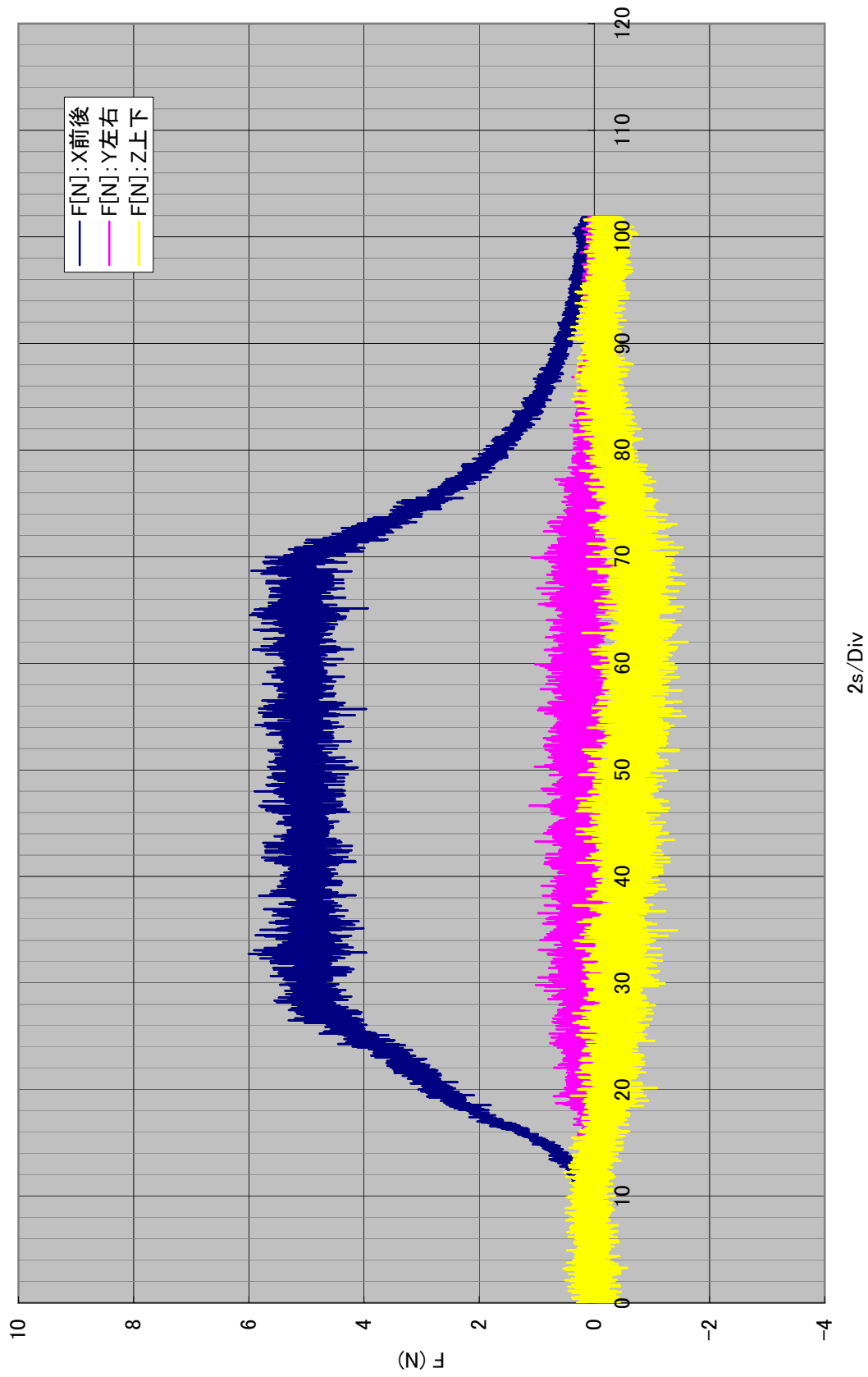


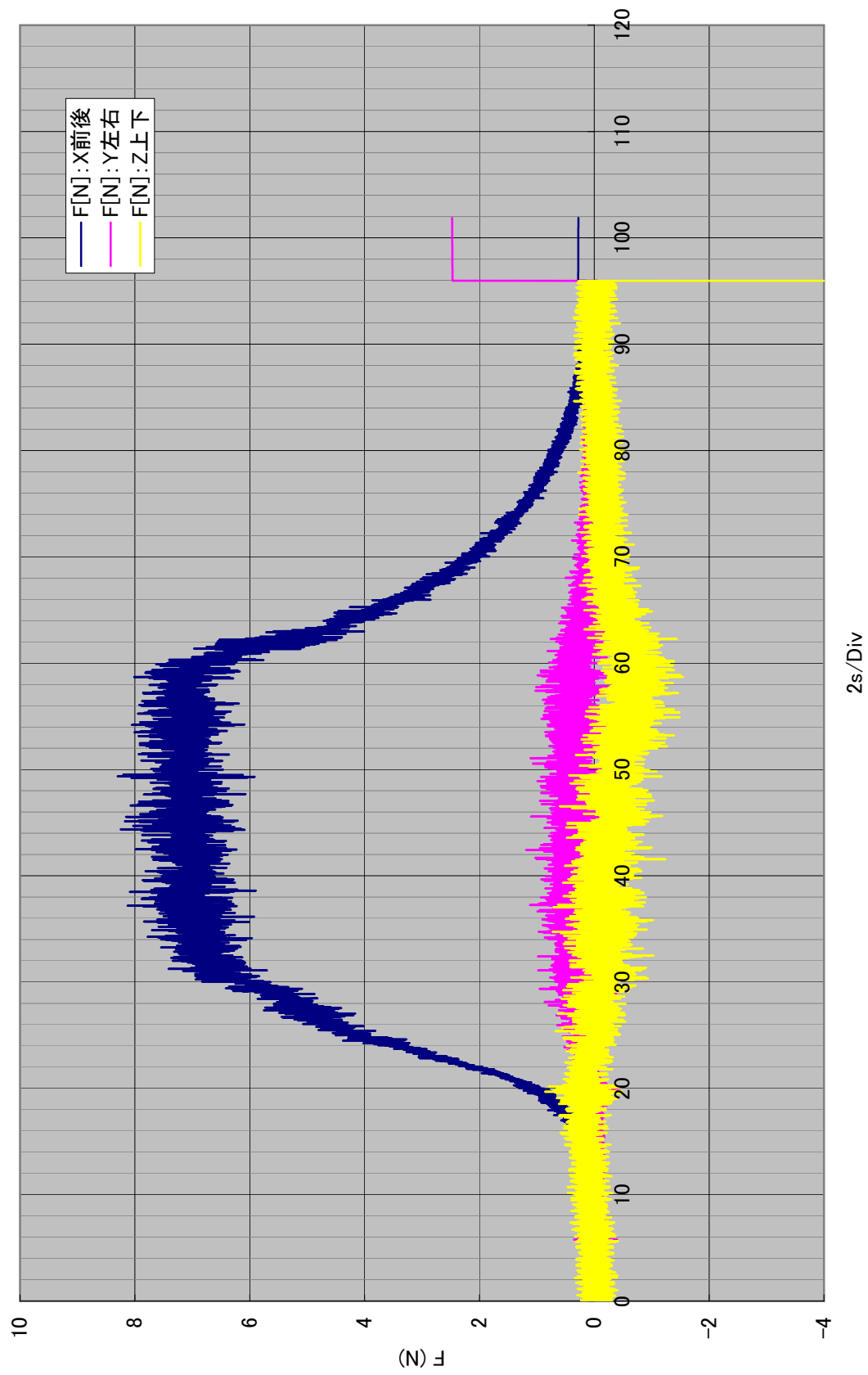


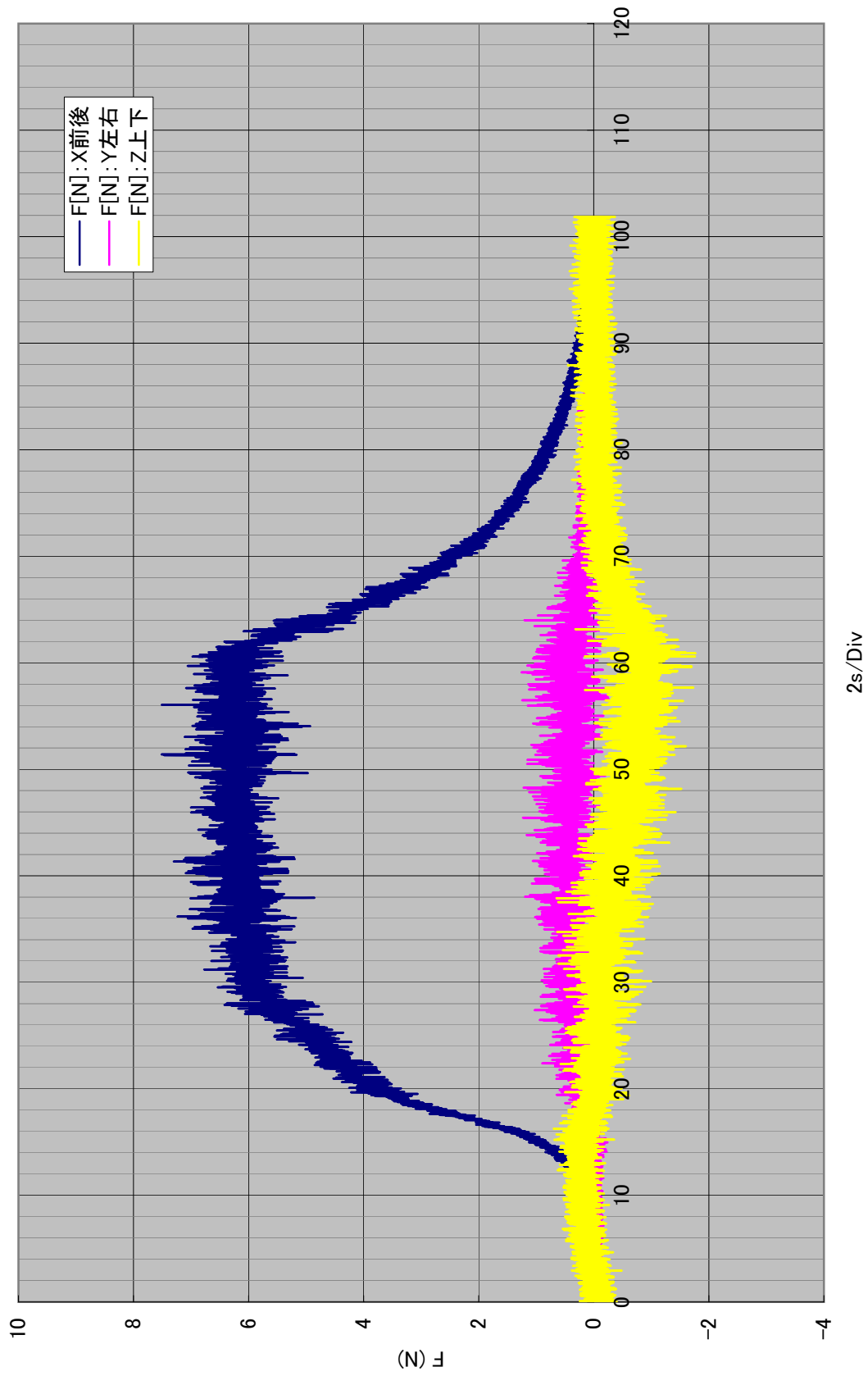


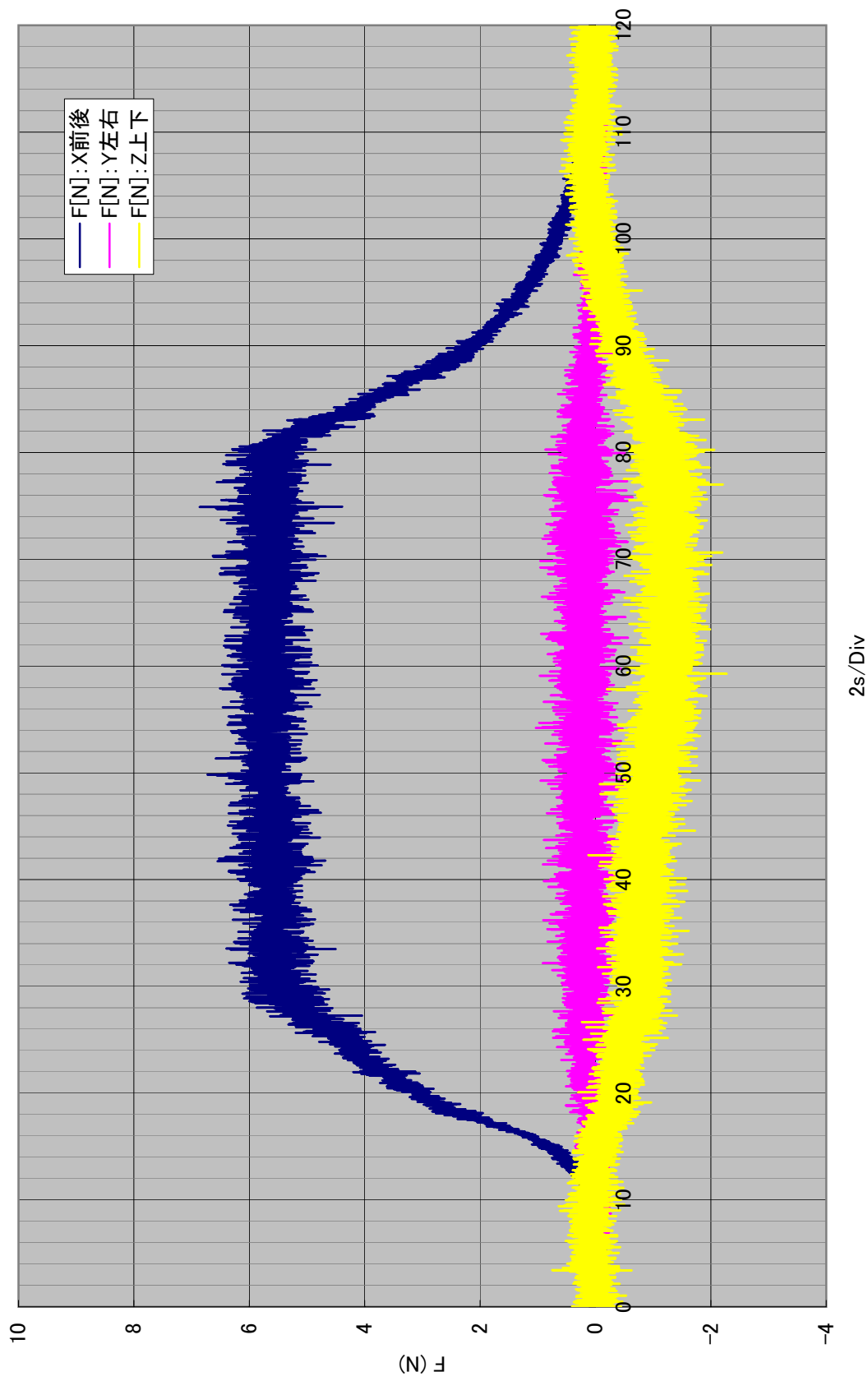


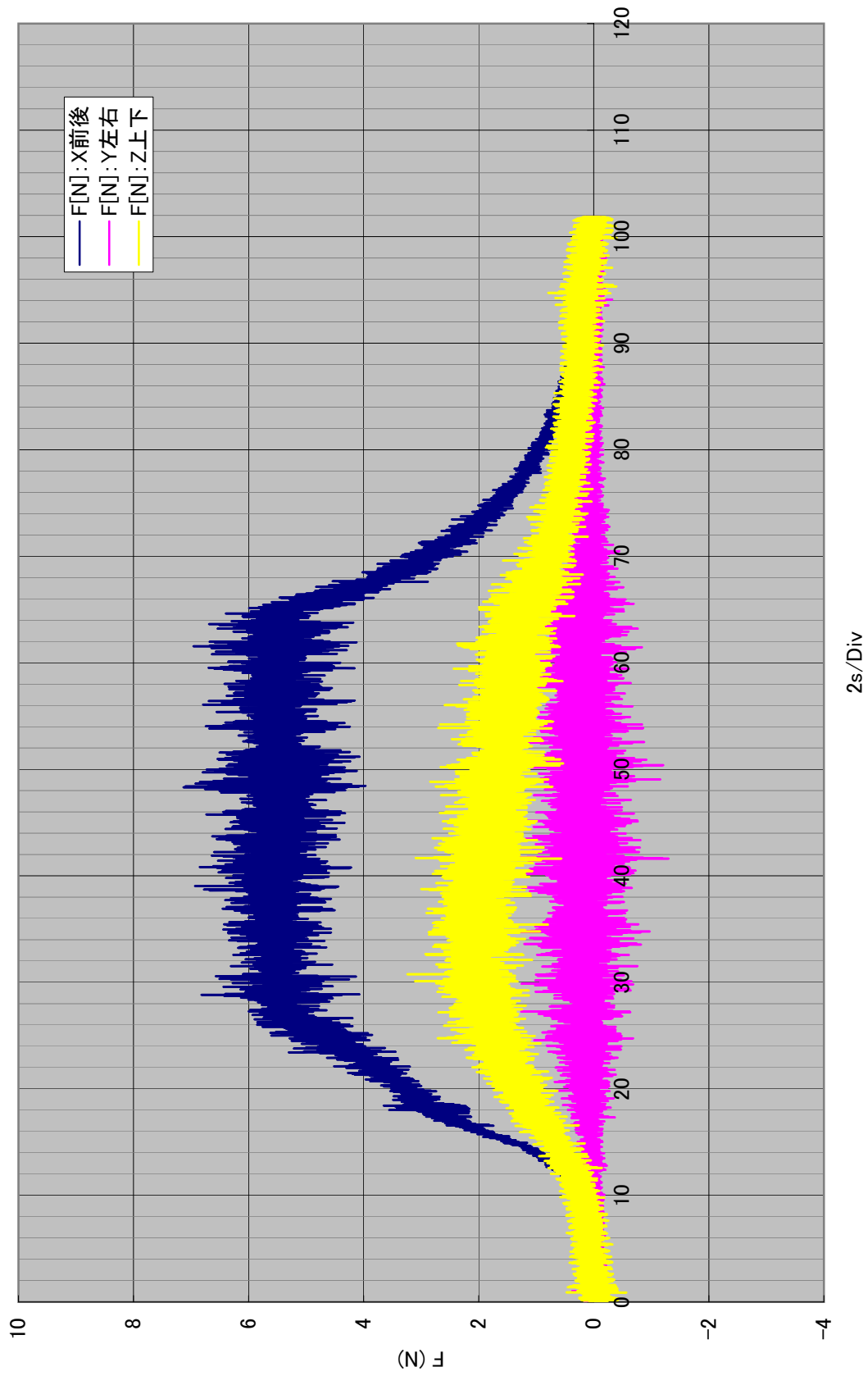


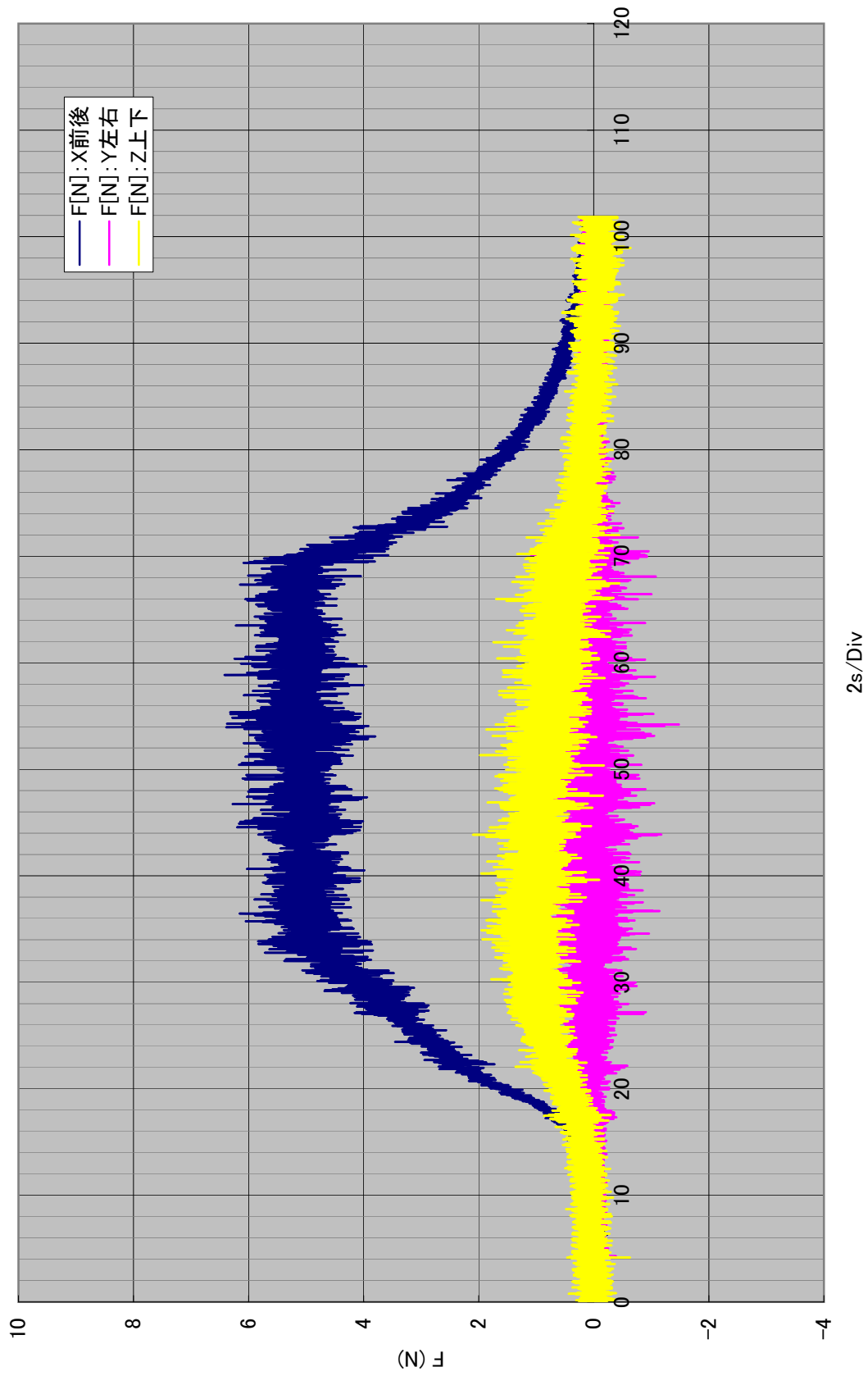


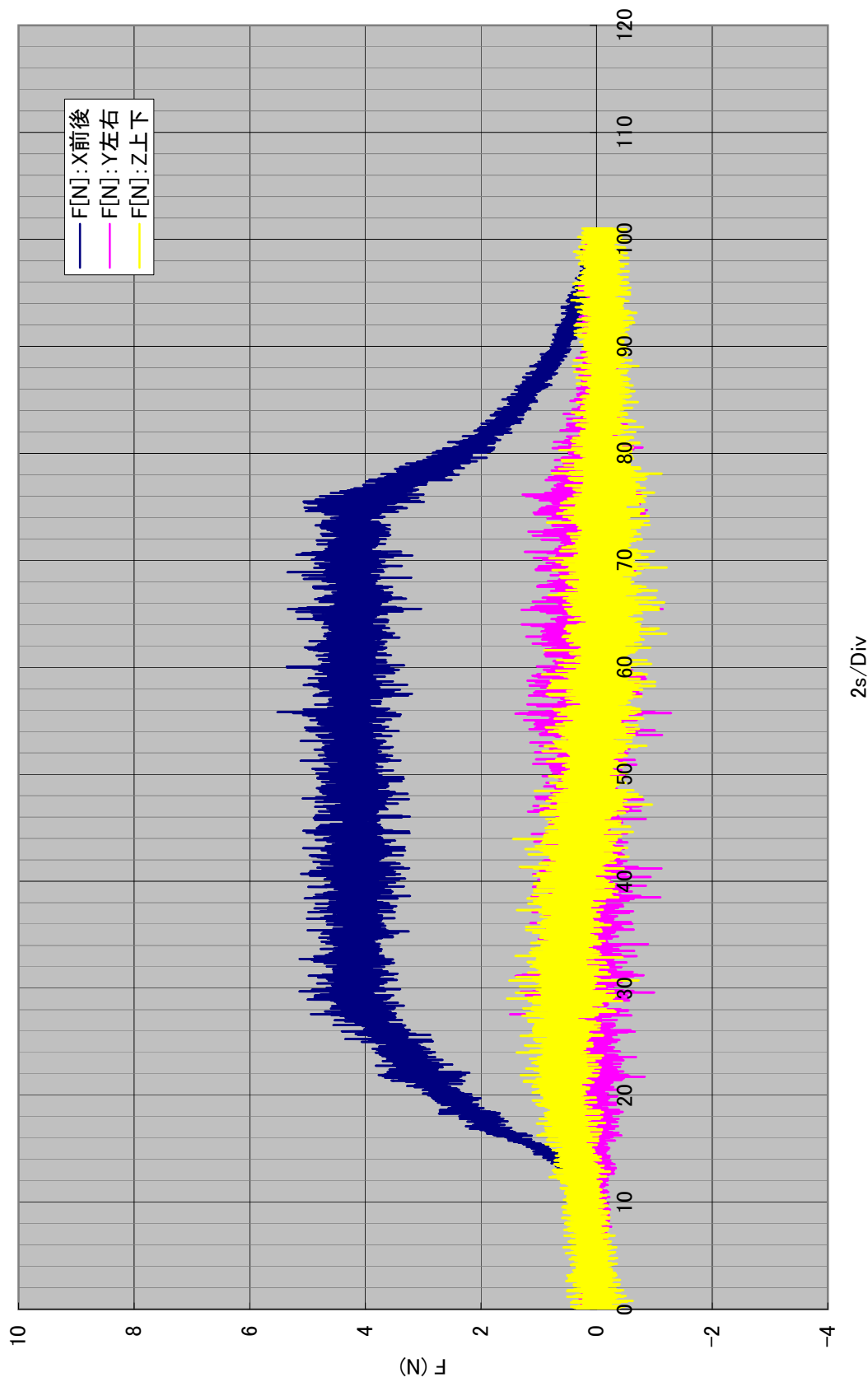












障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト

分担研究報告書

足部カバーのフィールドテスト

研究分担者 芥川雅也・鈴木光久・渡辺学・後藤学・臼井二美男・梅澤慎吾・岩下航大・

山中俊治・檜垣万里子・辻勇樹・根岸岳・田中舞・鈴木秀佳・坂本弥光

研究要旨：慶應義塾大学デザインモデルである足部カバーのフィールドテスト。

A. 調査目的

本研究では、開発部品である足部カバーについて、実使用のフィールドテストを実施し評価する。結果を開発部品にフィードバックすることを目的とする。

B. 調査内容

フィールドテストに立ち会い、被験者・義肢装具士に直接意見を聞き、実使用の状況を確認する。

C. 調査結果

装着風景を写真1、写真2に示す。



写真2 下腿義足



写真1 大腿義足

①実施日：2010/2/9

場所：鹿教湯義肢装具研究所（長野県上田市）

調整・立会い：鹿教湯義肢装具研究所 斉藤氏（義肢装具士）

被験者：K様（下腿義足）

実施：今仙技術研究所 芥川雅也

- ・装着前と装着後では、風圧抵抗に関する効果は感じられなかった。今後、走行速度が上がってくると違いを認識できるかもしれない、とのことであった。形状に関して、装着することで「かっこよくなった」という評価があり、気に入っていただけた。色に関して斉藤氏に伺った。現品がこれしかないなので、「黒」であれば特にどうとい

う意見はない。スポーツ用品として考えると、スキーやスノーボード、スニーカーのようなデザイン、カラーリングは考えられないか？という問いかけに対しては、複数のカラーリングやデザインがある中から選ぶという前提ならば確かに「スポーツ用品」と同じ観点で選択するかもしれない、そういう展開があっても面白いと思う、という意見であった

②実施日：2010/2/13

場所：大和スポーツセンター（神奈川県大和市）

調整・立会い：株式会社 アクティブプロス 高橋氏（義肢装具士）

被験者：N様（大腿義足）、H様（下腿義足）、Y様（下腿義足）

実施：慶應義塾大学大学院 山中先生、桧垣様、辻様、田中様、他学生3名

今仙技術研究所 大蔵史景 渡辺学

- ・足部カバー装着・未装着でタイム比較（下記表）を行った。タイム差は無いが、ご本人に感想を聞いたところ、足部が揺れる感覚が無くなったとのこと。

200m 走（下腿切断） タイム比較

足部カバー 装着	足部カバー未装着
①31"16	①31"10
②33"78	②33"72
③32"35	③31"60

- ・足部カバーを着用することで概観のイメージがすごく変わる。「美しい」「カッコいい」。風圧抵抗に関する効果は感じなかった。

③実施日：2010/2/13

場所：株式会社 徳田義肢製作所（熊本県熊本市）

調整・立会い：株式会社 徳田義肢製作所 藤原氏、佐伯氏（共に義肢装具士）

被験者：W様（下腿義足）

実施：今仙技術研究所 後藤学

ユーザー様のお母様が立ち会われたが、足

部カバーを装着した際に、カーボンの剥き出しより大変よくなった（足っぽいイメージがある）と喜んで頂いた。ご本人は特に変わらないとの感想であった。

④実施日：2010/2/23

場所：新潟県 佐渡島

調整・立会い：株式会社 田村義肢製作所 鈴木氏（義肢装具士）

被験者：I様（下腿義足）

実施：今仙技術研究所 芥川雅也

- ・未装着の状態と比べると、重量の増加を感じるが、慣れてしまえば違和感は消失するだろう。重心が遠位に下がった感じがする。（足部と靴の間の遊びがなくなる為）安定した感じがする。安心感がある。見た目よくなった。家族（子供）にも評判が良さそう。風防としての効果は分からない。

⑤実施日：2010/2/23

場所：三木総合防災公園（兵庫県三木市）

調整・立会い：株式会社 澤村義肢製作所 近藤氏（義肢装具士）

被験者：T様（下腿義足）

実施：今仙技術研究所 渡辺学

- ・風防効果は分からなく、ご本人は、外観に関しても良くも悪くも感心がなかった。

⑥実施日：2010/2/27

場所：有限会社 P.O サポート（群馬県高崎市）

調整・立会い：有限会社 P.O サポート 高橋氏（義肢装具士）

被験者：O様（大腿義足）、T様（膝義足）、T様（下腿義足）

実施：今仙技術研究所 鈴木光久、芥川雅也

- ・ちょっと重い。後ろが重く感じる。走ってみると歩くときほど重さは感じない。向かい風で走ってみたが、脚がまっすぐ出てくる感じがする。

- ・足みたい、違和感がない。(お母様の感想)
最初から装着していたよう。足って感じ。
- ・使用者だけでなく、家族など周囲の人が受ける印象に影響が強いようである。特に家族にとっては、「見た目」というのは重要な要素のようである。

⑦実施日：2010/2/27

場所：株式会社 幸和義肢研究所（茨城県つくば市）

調整・立会い：株式会社 幸和義肢研究所 出井氏（義肢装具士）

被験者：Y 様（下腿義足）

実施：今仙技術研究所 渡辺学

- ・いままで義足の外観を気にしたことがなかったが、いざ足部カバーを装着したところ見栄えが良くなり、足部カバーの必要性を感じた。

⑧実施日：2010/3/5

場所：沖縄県 宮古島

調整・立会い：有限会社 砂田義肢製作所 砂田氏（義肢装具士）

和歌山県立医科大学 みらい医療推進センター 三井利仁先生

宮古島徳洲会病院 大塚氏（理学療法士）

被験者：K 様（大腿義足）

実施：今仙技術研究所 鈴木光久

- ・バトミントンの練習後に付けていただいたが、なんら変化を感じないという評価であった。
- ・靴を縛り付けるには、厚みがあることや、紐がウレタンに喰い込む為有効であった。

⑨実施日：2010/3/5

場所：株式会社 松本義肢製作所（愛知県小牧市）

調整・立会い：株式会社 松本義肢製作所 香川氏（義肢装具士）

被験者：G 様（大腿義足）

実施：今仙技術研究所 芥川雅也、大蔵史

景

- ・装着前と装着後では、風圧抵抗に関する効果は感じられなかった。装着したことによる重量増は感じる。

⑩実施日：2010/3/7

場所：アシックススポーツ工学研究所（兵庫県神戸市）

調整・立会い：株式会社 澤村義肢製作所 近藤氏（義肢装具士）

被験者：I 様（大腿義足）

実施：今仙技術研究所 渡辺学

- ・いままであまり外観を気にしたことがなかったが、いざ装着してみると丸みを帯びた義足になり、義足の機械的なイメージが無くなり、義足の印象が良くなった。

達成できたこと

- ・実使用で、足部カバーを取り付け走ることができた。
- ・足部カバーが重く感じるとの意見で、発泡率を抑制し軽量化を行った。

達成できなかったことおよびその主な原因

- ・フィールドテストの実施期間が短い為、長期間使用した評価結果が得られなかった。
- ・使用期間が短く、評価を開発品へ一度しかフィードバックすることができなかった。

D. 考察

E. 結論

フィールドテストにおいて、足部カバーを取付けたことにより、複数の切断者から走行中の義足のブレが軽減し、意図した位置への着地が可能になり安定した走行を得ることができたと評価を得た。走行時の着地時に発生する板バネの固有振動周波数を低くする効果及び振動減衰率を高めるインシュレータとしての効果が得られ、走行の音質が短い

低音になり走行時の心地よさが増した。重量が約 120g あり、義足の遠位で重量増加する為軽さを追求する選手には受け入れられなかった。また、意匠から本人や周囲の関係者に「安心感や安定感、足らしさ」の評価を得た。今後の課題は軽量化することである。

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

多変量解析 SD 法を用いた足部カバー印象評価の因子分析

研究分担者 芥川雅也・鈴木光久・後藤学・渡辺学

研究要旨：本研究では、足部カバーの印象評価のために多変量解析 SD 法を用いて分析を行う。

A. 調査目的

心理学的測定法によるアンケート調査結果を分析することで、被験者、義肢装具士 (P0) 双方の義肢部品に対する印象を調査し、顧客の求める商品やサービスの提供に向け、今後のスポーツ義足普及活動の参考とする。

B. 調査方法

心理学的測定法の一つである SD 法を用い、開発品の足部カバー、疾走用膝継手、ステップ用膝継手の 3 点の印象評価を行い、その結果を因子分析することで、被験者、義肢装具士双方の使用前、使用後の義肢部品に対する印象の変化を調査、分析する。

モニターする当事者数 114 名

SD 法：Semantic Differential method
ある事柄に対して個人が抱く印象を相反する形容詞の対を用いて測定するもので、それぞれの形容詞対に尺度を持たせ、その尺度の度合いによって対象事項の意味構造を明らかにしようとするもの

C. アンケートによる調査内容と結果

1. 調査方法

下記の 30 対の形容詞を用い、7 段階での印象評価をアンケート方式によって行う。

速い⇔遅い、安定した⇔不安定な、
かたい⇔やわらかい、快適な⇔不愉快な、
カッコいい⇔カッコわるい、
楽しい⇔つまらない、美しい⇔醜い、
派手な⇔地味な、個性的な⇔平凡な、

爽やかな⇔むさ苦しい、好き⇔嫌い、
面白い⇔つまらない、
さっぱりした⇔ごてごてした、
欲しい⇔いらぬ、男性的な⇔女性的な、
進歩的な⇔保守的な、都会的な⇔野性的な、
上品な⇔下品な、健康的な⇔病的な、
高級な⇔陳腐な、
親しみのある⇔親しみにくい、
夢のある⇔現実的な、新しい⇔古い、
自然な⇔人工的な、大きい⇔小さい、
強い⇔弱い、能動的な⇔受動的な、
開放的な⇔閉鎖的な、刺激的な⇔穏やかな、
軽い⇔重い

例：【非常に速い→かなり速い→やや速い→どちらでもない→やや遅い→かなり遅い→非常に遅い】をそれぞれ 3, 2, 1, 0, -1, -2, -3 点として集計する。

2. 調査様式

印象に関するアンケート (足部カバー)

…添付資料 1

3. 調査結果

3-1. アンケート回収件数

足部カバー

- ・使用前 34 名 (被験者 23 名、P0 11 名)
- ・使用後 29 名 (被験者 14 名、P0 15 名)

疾走用膝継手

- ・使用前 20 名 (被験者 10 名、P0 10 名)
- ・使用後 11 名 (被験者 6 名、P0 5 名)

ステップ用膝継手

- ・使用前 12 名（被験者 5 名、PO 7 名）
- ・使用后 5 名（被験者 2 名、PO 3 名）

3-2. 分析結果

①足部カバーの印象評価の分析結果

足部カバーの印象評価結果を因子分析した結果、アンケートに用いた 30 の変数は 12 が除外され、下記の 18 の変数となり「期待感」、「愛着感」、「安心感」の 3 つの潜在的因子があることが明らかになった。

・・・表-1 参照

表-1. 足部カバーの因子分析結果

変数名	定義	因子No. 1	因子No. 2	因子No. 3
新しい	期待感	0.851	0.183	0.070
進歩的な		0.801	0.177	0.261
面白い		0.766	0.261	0.065
夢のある		0.755	0.245	0.116
欲しい		0.726	0.222	0.306
健康的な		0.619	0.365	0.178
カッコいい		0.578	0.418	0.270
個性的な		0.552	0.370	0.352
快適な		愛着感	0.209	0.835
安定した	0.081		0.749	0.242
上品な	0.416		0.574	0.190
自然な	0.197		0.554	0.027
軽い	0.251		0.544	-0.080
美しい	0.474		0.510	0.245
さっぱりした	0.471	0.507	-0.186	
強い	安心感	0.246	0.314	0.704
男性的な		0.339	0.172	0.636
かたい		-0.020	-0.109	0.550

因子 No. 1 と因子 No. 2 の相関図を次に示す。
使用前、使用後の散布図による比較結果

・・・図-1, 図-2 参照

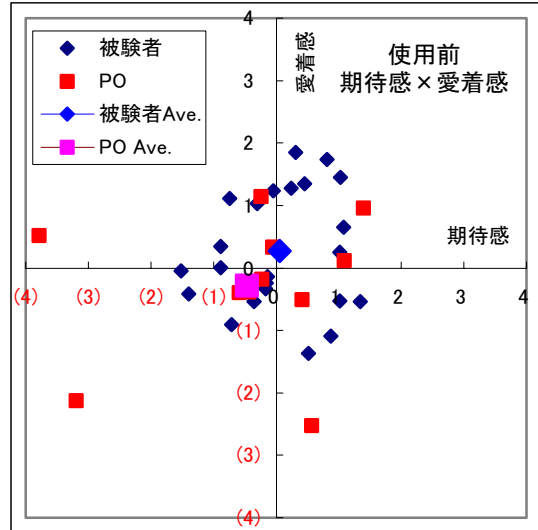


図-1. 足部カバー使用前の散布図

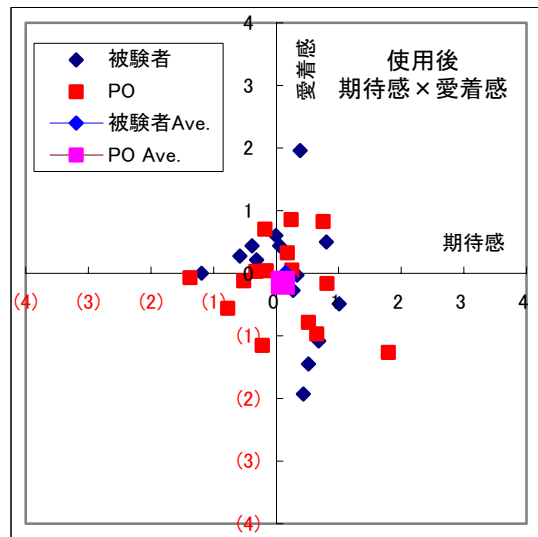


図-2. 足部カバー使用後の散布図

結果①

図-1 の足部カバー使用前の散布図から、被験者は期待感と愛着感を持っている人が多いのに対し、義肢装具士は期待感、愛着感を極端に感じない人もいることが分かる。

しかし図-2 の使用後の散布図から、義肢装具士は使用前に比較すると中央に分布しており、使用することで期待感、愛着感は上がる傾向にあり、逆に被験者は期待感、愛着感が下がる傾向が見られる。

②疾走用膝継手の印象評価の分析結果

疾走用膝継手の印象評価結果を因子分析した結果、アンケートに用いた 30 の変数は 12 が除外され、下記の 18 の変数となり「愛着感」、「期待感」、「安心感」、「躍動感」の 4 つの潜在的因子があることが明らかになった。
 ……表-2 参照

表-2. 疾走用膝継手の因子分析結果

変数名	定義	因子No. 1	因子No. 2	因子No. 3	因子No. 4
快適な	愛着感	0.760	0.154	0.302	0.009
さっぱりした		0.745	-0.008	-0.106	0.241
都会的な		0.641	0.290	0.386	0.009
親しみのある		0.584	0.098	0.384	-0.108
個性的な		0.569	0.348	-0.045	0.256
自然な		0.561	0.306	0.139	0.278
軽い		0.527	0.112	-0.153	0.475
新しい	期待感	0.304	0.736	0.160	0.064
美しい		0.455	0.685	0.161	0.126
夢のある		0.470	0.649	0.193	0.252
欲しい		0.403	0.478	0.156	0.359
強い	安心感	0.044	0.152	0.661	0.161
高級な		0.276	0.354	0.644	-0.036
男性的な		-0.098	0.227	0.616	0.086
安定した		0.346	-0.082	0.561	0.123
開放的な	躍動感	0.259	0.001	0.386	0.747
刺激的な		0.069	0.180	0.012	0.677
能動的な		0.233	0.232	0.335	0.616

因子 No. 1 と因子 No. 2 の相関図を次に示す。
 使用前、使用後の散布図による比較結果

……図-3, 図-4

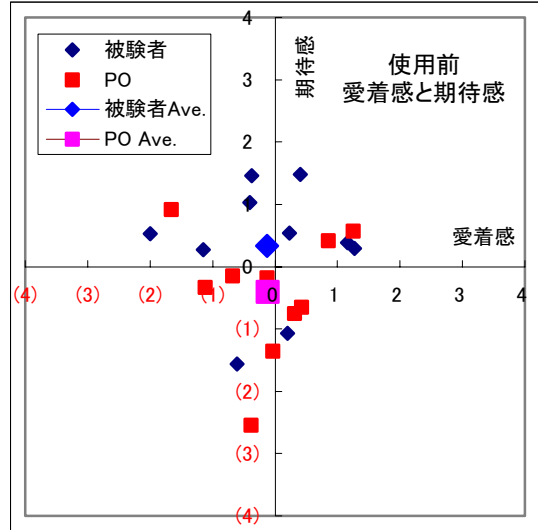


図-3. 疾走用膝継手使用前の散布図

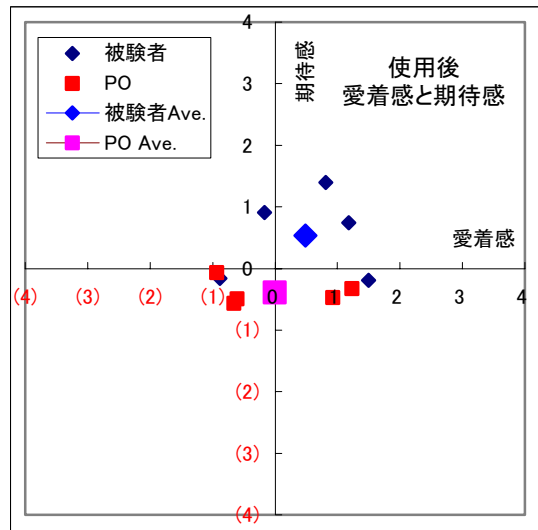


図-4. 疾走用膝継手使用後の散布図

結果②

図-3 の疾走用膝継手使用前の散布図から、期待感に着目すると被験者が正の値を示しているのに対し、義肢装具士は負の値を示している。また、多くの義肢装具士は愛着感が低い傾向にある。

図-4 の使用後についても同様、期待感が高い被験者に対し、義肢装具士の期待感は低い傾向が見られる。

しかし、結果①と同様に、使用前に比較すると義肢装具士の期待感は向上していることが分かる。

3-3. 達成できたこと

- ・印象評価結果の収集
足部カバー、疾走用膝継手、ステップ用膝継手 ……添付資料 2-1, 2-2, 2-3
- ・収集結果の因子分析
足部カバー、疾走用膝継手 ……添付資料 3-1, 3-2

3-4. 達成できなかったことおよびその主な原因

ステップ用膝継手の印象評価結果が、サンプル数（N数）の不足により因子分析に至らなかった。

D. 考察

足部カバーと疾走用膝継手の印象評価結果①、②から、被験者は使用する前段階において高い期待を持っているのに対し、義肢装具士は被験者より低い期待度である傾向にあり、被験者と義肢装具士の開発部品の使用前に感じる印象に違いがみられた。

この結果は今回のフィールドテストにご協力頂いた義肢装具士の印象評価結果であり、スポーツ義足を未使用、未経験の義肢装具士については、より顕著に低い期待感であることが推測される。

しかし義肢装具士は、使用後には期待感が高くなる傾向があり、より多くの義肢装具士にまずは使用して頂く機会を創出することで普及活動の1つになると思われる。

E. 結論

開発部品の印象評価結果から、被験者（ユーザー）と義肢装具士（製作者）の間には、使用前に感じている印象に差があることがあった。

実際、このことはフィールドテスト先を探す際にも、消極的な義肢装具士が多かったことを裏付ける結果が得られたとも言える。

そして義肢装具士の意識をかえる為にま

ずは使用して頂く為に、義肢装具士、被験者が気軽に参加できる機会（フィールドテスト、試着会など）が必要であり、スポーツ義足部品への印象を変化させることが重要である。

高い期待感を持った被験者がスポーツ用義足を装着したいという思いを実現する為にも、義肢装具士のスポーツ用義足に対する意識向上が必要であり、メーカー側からも向上させる為の営業活動と部品開発が必要である。

今回新しく心理学的測定法SD法を用いて印象評価、因子分析を行い、興味深い結果を得ることができた。

このような心理学的測定法による分析は、これまで全く活用しなかったが、スポーツ用義足の普及に限らず、今後の様々な販売促進活動などにも有効に活用していきたい。

スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発

足部カバーの印象に関するアンケート

氏名	様	性別	男・女	年齢	歳
----	---	----	-----	----	---

足部カバーに対してどんな印象を持っていますか？ あなた自身に最も当てはまる箇所に☑をつけてください。		非常に	かなり	やや	でもない どちら	やや	かなり	非常に
1	速い							遅い
2	安定した							不安定な
3	かたい							やわらかい
4	快適な							不愉快な
5	カッコいい							カッコわるい
6	楽しい							つまらない
7	美しい							醜い
8	派手な							地味な
9	個性的な							平凡な
10	爽やかな							むさ苦しい
11	好き							嫌い
12	面白い							つまらない
13	さっぱりした							ごてごてした
14	欲しい							いらない
15	男性的な							女性的な
16	進歩的な							保守的な
17	都会的な							野性的な
18	上品な							下品な
19	健康的な							病的な
20	高級な							陳腐な
21	親しみのある							親しみにくい
22	夢のある							現実的な
23	新しい							古い
24	自然な							人工的な
25	大きい							小さい
26	強い							弱い
27	能動的な							受動的
28	開放的な							閉鎖的
29	刺激的な							穏やかな
30	軽い							重い

ご協力ありがとうございました。

足部カバナーの印象評価結果

使用前

No.	分類	速い	安定した	かたい	快適な	カッコいい	楽しい	美しい	派手な	個性的な	爽やかな	好き	面白い	さっぱりした	欲しい	男性的な	進歩的な	斬新的な	上品な	健康的な	高級な	新しいのがある	新しい	自然な	大きい	強い	能動的な	開放的な	刺激的な	軽い			
1	被験者	0	1	-2	2	3	3	3	1	3	2	3	3	1	3	0	2	2	2	2	3	0	3	3	2	0	1	3	1	2	0		
2	被験者	0	0	-2	1	2	2	2	-1	2	2	2	3	3	2	-1	2	2	2	1	1	0	2	3	2	-2	0	0	1	1	3		
3	被験者	3	2	-1	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	3		
4	被験者	0	0	0	0	2	2	2	2	3	2	3	3	2	3	3	3	3	1	3	2	2	3	1	2	3	1	2	3	3	3		
5	被験者	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
6	被験者	0	0	0	0	2	2	2	0	2	1	2	2	2	2	-1	3	0	0	0	0	1	2	3	3	0	0	0	0	2	1	1	
7	被験者	2	-1	3	-1	3	0	2	2	2	0	3	1	1	3	3	2	0	0	0	0	1	-1	2	-3	-1	1	2	2	3	3	3	
8	被験者	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	-1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	-1	
9	被験者	2	2	-2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-1	1	1	1	1	3	3	
10	被験者	-1	1	-2	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	
11	被験者	0	1	-1	0	2	1	2	-1	2	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	2	0	1	0	0	0	1	0	-1	-1	
12	被験者	1	2	2	2	2	1	2	0	1	2	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	3	3	
13	被験者	1	1	-1	1	1	1	1	2	0	0	0	1	-1	1	-1	1	0	1	0	0	1	-1	2	1	0	1	0	0	0	-1	-1	
14	被験者	2	2	-2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	1	1	1	1	3	3	
15	被験者	2	2	1	3	2	2	2	1	2	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	-1	3	3	2	2	2	2	
16	被験者	1	1	-2	2	2	1	3	0	1	-1	1	2	3	1	1	1	0	1	2	2	-1	1	-2	0	0	0	1	1	1	1	1	
17	被験者	1	1	0	2	1	1	0	-1	2	0	2	2	0	2	2	3	-1	1	1	2	0	1	-2	1	2	2	2	2	2	2	2	
18	被験者	2	3	0	2	2	2	2	-1	1	2	3	3	3	3	1	2	2	2	2	2	1	3	3	3	1	2	3	3	3	3	3	
19	被験者	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	1	2	-1	1	0	1	0	-1	0	0	0	-1	1	-1	1	0	1	-1	0	0	0	
20	被験者	0	0	0	0	2	0	1	0	1	0	0	1	2	1	2	1	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	1	0	1	0
21	被験者	1	0	0	0	2	1	1	0	1	0	1	3	0	1	0	3	0	0	0	0	-1	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	被験者	1	0	-2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	0	2	2	0	2	0	1	1	1	2	2	0	1	2	2	2	2	2	-1	-1
23	被験者	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	3	3
24	PO	0	0	-1	1	1	1	1	0	1	2	1	3	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	3	3
25	PO	1	0	1	1	0	-2	1	-2	2	1	0	0	2	0	0	1	0	0	1	1	1	-2	1	2	-2	0	1	0	0	1	1	
26	PO	1	0	-1	0	1	0	1	0	2	1	2	2	2	2	2	3	0	1	0	1	-1	1	3	-2	0	2	2	2	1	1	1	
27	PO	3	2	-1	1	2	3	3	1	3	2	3	3	2	2	1	3	3	0	2	2	3	2	3	1	1	1	3	2	2	3	3	
28	PO	1	0	2	-1	-1	2	0	-1	1	0	2	2	-2	2	3	3	-1	2	3	-1	1	3	2	0	2	2	0	-2	2	-2	-2	
29	PO	1	1	-1	1	2	0	1	-2	1	2	1	1	3	2	1	2	1	2	1	2	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	0	-1	1	1	
30	PO	1	0	-2	1	-1	1	1	-1	1	2	0	2	2	0	-1	1	1	2	0	2	1	2	1	0	-1	0	0	-1	1	1	1	
31	PO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	
32	PO	2	1	-1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	0	2	2	1	1	1	1	1	1	0	-1	1	1	1	1	1	1	
33	PO	-1	1	-1	1	2	2	2	-2	2	2	2	3	-1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1
34	PO	1	1	0	1	-1	1	1	0	1	1	1	-2	-2	-2	-2	-2	1	1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	1	1	-2	-2	-2	-2	-2

使用後

No.	分類	速い	安定した	かたい	快適な	カッコいい	楽しい	美しい	派手な	個性的な	爽やかな	好き	面白い	さっぱりした	欲しい	男性的な	進歩的な	斬新的な	上品な	健康的な	高級な	新しいのがある	新しい	自然な	大きい	強い	能動的な	開放的な	刺激的な	軽い	
1	被験者	0	0	0	1	2	2	3	3	3	3	3	3	0	3	0	3	1	0	0	2	1	3	3	1	0	2	3	0	1	0
2	被験者	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	0	0	2	1	1	2
3	被験者	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3
4	被験者	1	0	-3	1	2	2	3	0	1	2	2	2	2	3	-2	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-2	0	1	1	1	3
5	被験者	0	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-1	-1	-2	-2	-2	-2	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2
6	被験者	2	-2	3	-2	2	-1	1	-3	2	0	2	2	0	3	2	1	0	1	2	1	-2	1	1	-2	-1	2	2	1	2	-2
7	被験者	0	1	0	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	0	-1	2	1	1	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	2
8	被験者	0	0	-2	0	2	0	2	0	1	0	1	1	0	1	-1	0	0	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	1	-1
9	被験者	3	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	3
10	被験者	1	1	0	0	1	0	1	-1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	2	0	1	0	0	1	-1	-1
11	被験者	3	2	-2	1	2	0	1	0	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	0	2	0	1	2	-2	2	2	1	1	2	-2
12	被験者	0	0	0	2	3	3	3	3	3	2	3	3	1	2	3	3	2	2	2	2	1	3	3	0	2	2	3	2	3	0
13	被験者	0	0	-1	3	3	3	3	2	0	3	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2	0	0	2	2	2	3
14	被験者	2	0	-2	0	1	1	0	0	2	0	0	2	1	0	1	2	1	1	2	2	2	2	-2	1	-2	0	1	0	3	3
15	PO	1	2	-1	0	2	0	1	2	1	0	2	3	-2	-1	2	2	-1	1	2	0	0	2	1	3	3	2	1	-1	2	-2
16	PO	1	1	-2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	-2	2
17	PO	1	1	-2	0	1	0	1	-1	1	2	2	1	1	0	0	1	1	1	1	-1	1	2	1	0	0	-3	0	-1	1	1
18	PO	0	0	-2	1	1	1	1	0	1	1	1	2	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	2	0	0	1	1	1	2	2
19	PO	2	1	-1	1	3	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1	1	1	1
20	PO	1	0	1	0	-1	0	0	-1	-1	0	2	2	1	2	0	2	1	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0
21	PO	1	0	1	0	1	0	1	-2	1	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	1	0	1	2	2
22	PO	2	2	-2	1	2	3	2	1	1	1	3	3	2	2	0	3	2	2	3	2	2	3	2	2	0	0	3	2	2	3
23	PO	0	1	0	1	2	2	2	-1	2	1	2	2	0	2	0	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	-1
24	PO	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	-1	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	-1	1	0	-1	-1
25	PO	3	3	-3	3	1	1	1	2	3	2	0	2	1	2	0	3	3	1	3	3	0	1	2	-3	3	3	0	3	3	-3
26	PO	1	0	-2	0	1	3	1	-1	1	1	-1	3	3	3	-3	3	0	1	3	1	1	3	-3	-3	-1	2	3	2	-3	
27	PO	1	0	-1	0	2	0	2	-1	1	0	1	0	2	1	-1	1	1	2	2	3	1	3	-3	0	2	1	1	-2	-2	
28	PO	1	0	-2	0	3	0	3	-1	3	0	3	0	0	0	3	3	0	1	1	2	0	2	-3	1	0	0	0	1	-1	-1
29	PO	1	0	-1	1	2	3	2	1	2	1	1	3	1	1	0	2	1	0	2	1	1	2	3	2	0	0	2	1	1	1

疾走用膝継手の印象評価結果
使用前

No.	分類	速い	安定した	やわらかい	快適な	カッコイイ	楽しい	美しい	派手な	個性的な	爽やかな	好き	面白い	さっぱりした	欲しい	男性的な	進歩的な	都会的な	上品な	健康的な	高級な	新しいのがある	新しい	自然な	小さい	強い	能動的な	開放的な	刺激的な	軽い		
1	被験者	2	2	-2	0	3	1	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	1	3	3	3	-1	3	3	3	3	2	
2	被験者	0	0	0	0	0	2	2	-1	2	0	2	2	2	0	-1	1	1	1	1	0	-1	1	3	1	0	-1	0	0	2	2	
3	被験者	2	2	1	-1	2	2	2	1	1	1	0	1	1	-1	1	2	3	1	1	-1	2	0	1	2	1	2	0	0	1	-2	
4	被験者	2	0	2	0	3	3	3	1	3	0	2	3	3	2	3	0	0	0	-2	3	1	-2	2	0	1	1	3	1	2	3	
5	被験者	2	2	-2	3	3	2	3	1	3	3	3	3	3	3	1	3	3	2	2	2	2	3	2	2	-2	3	3	3	3	3	
6	被験者	0	0	0	1	3	3	3	2	3	2	3	3	3	2	3	-3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0	3	1	
7	被験者	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	
8	被験者	2	0	-2	0	3	2	2	1	2	0	2	2	2	0	1	0	1	1	1	0	2	0	1	-1	0	1	1	0	0	0	
9	被験者	1	1	-1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	-1	0	1	2	0	2	3	
10	被験者	2	-1	-3	2	3	2	3	1	2	1	2	0	2	2	1	2	2	2	2	3	2	2	3	-1	1	2	-1	-1	-2	1	
11	PO	1	2	0	2	2	2	2	0	1	2	2	2	2	2	0	1	1	1	1	2	1	2	0	1	1	1	1	1	1	2	
12	PO	1	-1	0	0	-1	2	1	-1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	-1	1	2	3	1	-2	3	0	0	2	-1
13	PO	2	-2	1	0	2	2	0	-1	2	1	0	-1	2	0	-1	-2	1	0	0	-2	-1	-1	1	-1	1	-1	-2	-1	0	2	
14	PO	-1	1	-1	1	1	2	1	0	2	3	2	2	2	2	1	2	2	1	1	0	1	0	1	3	0	-1	0	2	2	2	
15	PO	-1	2	2	0	0	1	-1	-1	2	0	1	1	2	0	2	1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	2	2	1	0	0	-2	
16	PO	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	0	2	2	2	2	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	
17	PO	2	2	2	2	3	3	3	2	3	1	2	3	2	1	1	3	3	2	2	2	2	3	1	-1	1	1	1	1	1	3	
18	PO	2	-1	-1	-1	2	1	1	-1	2	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	1	-1	0	1	2	2	2	2	
19	PO	2	-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	1	2	3	3	3	3	3	2	3	3	2	3	3	0	1	1	1	
20	PO	2	1	-1	0	1	1	1	-1	1	1	1	0	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	-1	-1	1	1	1	1	-1	-1	

使用后

No.	分類	速い	安定した	やわらかい	快適な	カッコイイ	楽しい	美しい	派手な	個性的な	爽やかな	好き	面白い	さっぱりした	欲しい	男性的な	進歩的な	都会的な	上品な	健康的な	高級な	新しいのがある	新しい	自然な	小さい	強い	能動的な	開放的な	刺激的な	軽い	
1	被験者	2	1	-2	1	3	1	3	3	3	3	3	3	0	3	3	3	3	1	3	1	2	1	3	3	1	-1	3	3	1	
2	被験者	2	1	-1	2	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	2	2	2	1	2	3	2	0	-1	0	0	1	1	1
3	被験者	2	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0	2	2	1	3	0	2	3	0	1	2	2	2	3	3	3
4	被験者	3	3	-2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-2	3	3	3	3	3
5	被験者	2	-1	-1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	0	3	3	3	-2	1	3	2	2	3
6	被験者	2	-1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	2	1	0	2	0	-1	0	-1	0	0	1	2	2
7	PO	2	2	0	2	2	2	1	0	2	0	2	2	2	2	-1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	-1	0	0	1	1	2
8	PO	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1
9	PO	3	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	-2	3
10	PO	3	-3	-1	-1	2	1	1	0	2	1	1	1	2	1	0	1	0	0	1	-1	1	1	-1	0	0	2	2	1	2	1
11	PO	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	-1

ステップ用膝継手の印象評価結果

使用前

No.	分類	速い	安定した	やわらかい	快適な	カッコいい	楽しい	美しい	派手な	個性的な	爽やかな	好き	面白い	おもしろい	欲しい	男性的な	進歩的な	都会的な	上品な	健康的な	高級な	肌触り	夢のある	新しい	自然な	小さい	強い	能動的な	開放的な	刺激的な	軽い	
1	被験者	0	1	0	1	-1	2	-1	0	2	1	1	3	1	2	1	2	1	1	1	0	1	-2	1	-2	1	2	0	1	-2	-1	
2	被験者	0	0	0	0	1	2	1	1	3	1	2	3	2	2	2	2	0	0	0	0	2	2	2	2	1	-3	0	1	1	2	0
3	被験者	3	3	-3	3	3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	-3	3	3	3	3	2
4	被験者	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	-1	2	1	2	-1	1	2	2	1	2	2	2	-1	1	1	2	1	1	3
5	被験者	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
6	PO	0	2	1	1	1	2	1	0	3	1	2	3	-1	1	2	2	1	1	0	1	2	2	2	-2	-2	2	2	2	2	0	-2
7	PO	-1	3	2	1	-2	1	-1	-3	1	-1	1	2	2	1	2	1	-1	0	2	-1	1	1	1	-1	-1	-3	2	-1	-1	-1	-3
8	PO	0	3	-2	1	1	0	0	1	2	-1	1	1	0	1	2	2	0	-1	1	0	0	2	2	0	-3	2	0	-1	2	-3	
9	PO	-2	2	-1	-1	-1	0	-1	0	1	0	1	2	-1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	2	0	-2	3	1	1	1	-3	
10	PO	0	1	-1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	2	1	0	1	1	1	1	1	1	0	-1	1	1	1	1	-1	
11	PO	-1	2	-3	-1	1	2	-1	-1	2	1	-1	-1	-1	1	2	3	1	-1	1	-1	-1	2	3	1	-3	2	2	1	1	-3	
12	PO	-2	2	2	-1	0	0	-1	-1	2	-1	0	2	2	-1	1	0	-1	0	-1	1	-2	0	2	-2	3	3	0	2	-1	-3	

使用后

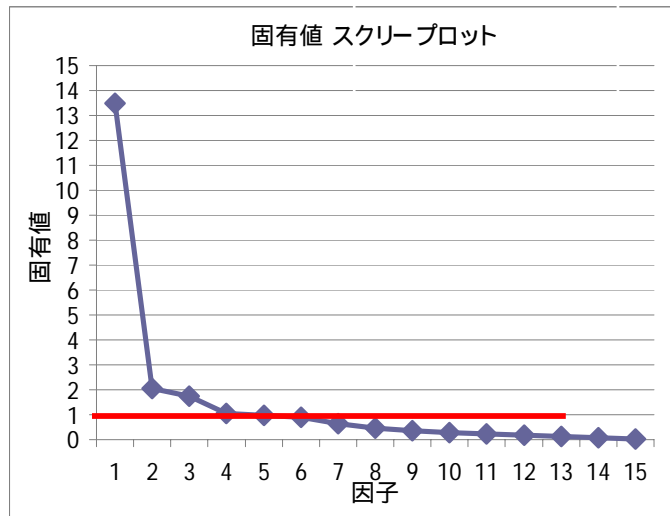
No.	分類	速い	安定した	やわらかい	快適な	カッコいい	楽しい	美しい	派手な	個性的な	爽やかな	好き	面白い	おもしろい	欲しい	男性的な	進歩的な	都会的な	上品な	健康的な	高級な	肌触り	夢のある	新しい	自然な	小さい	強い	能動的な	開放的な	刺激的な	軽い	
1	被験者	1	1	1	-1	2	2	2	0	2	1	2	2	2	3	0	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	-2
2	被験者	0	1	1	0	0	2	0	0	1	0	2	2	0	0	1	1	0	0	1	2	0	1	1	0	2	1	1	1	1	0	-2
3	PO	0	-1	1	0	1	2	1	0	1	1	1	2	0	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	-1	0	1	1	1	1	0	0
4	PO	-1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	-1	1	1	1	1	0	-1
5	PO	0	0	1	0	-2	-2	-2	-2	2	-1	1	3	0	0	2	3	2	0	1	0	0	3	1	0	2	2	2	1	1	1	-3

足部カバーの印象評価結果 因子分析方法

第1回因子分析

固有値表 :回転前

因子	固有値	寄与率	累積寄与率
因子 1	13.498	44.99%	44.99%
因子 2	2.049	6.83%	51.82%
因子 3	1.740	5.80%	57.62%
因子 4	1.043	3.48%	61.10%
因子 5	0.987	3.29%	64.39%
因子 6	0.886	2.95%	67.34%
因子 7	0.634	2.11%	69.45%
因子 8	0.458	1.53%	70.98%
因子 9	0.350	1.17%	72.15%
因子 10	0.285	0.95%	73.10%
因子 11	0.228	0.76%	73.86%
因子 12	0.181	0.60%	74.46%
因子 13	0.121	0.40%	74.86%
因子 14	0.073	0.24%	75.10%
因子 15	0.019	0.06%	75.16%



因子負荷量 :回転後 (ハリマックス法)

変数名	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
速い	-0.016	0.223	0.478	0.481
安定した	0.027	0.705	0.376	0.208
かたい	0.056	-0.177	0.462	-0.023
快適な	0.177	0.746	0.185	0.363
カッコいい	0.588	0.262	0.267	0.300
楽しい	0.603	0.583	0.012	0.088
美しい	0.515	0.394	0.212	0.250
派手な	0.284	0.474	0.359	0.071
個性的な	0.547	0.332	0.324	0.244
爽やかな	0.411	0.661	0.050	0.294
好き	0.575	0.310	0.443	0.104
面白い	0.776	0.299	0.038	0.035
さっぱりした	0.354	0.289	-0.173	0.698
欲しい	0.722	0.125	0.231	0.373
男性的な	0.359	0.092	0.683	0.090
進歩的な	0.764	0.182	0.257	0.145
都会的な	0.336	0.656	0.149	0.409
上品な	0.368	0.557	0.217	0.251
健康的な	0.551	0.335	0.228	0.251
高級な	0.509	0.405	0.259	0.415
親しみのある	0.420	0.653	0.010	0.253
夢のある	0.749	0.305	0.117	0.040
新しい	0.818	0.196	0.045	0.135
自然な	0.266	0.630	-0.049	-0.056
大きい	0.085	0.418	0.611	-0.223
強い	0.263	0.266	0.716	0.135
能動的な	0.506	0.145	0.350	0.245
開放的な	0.481	0.257	0.250	0.616
刺激的な	0.588	0.089	0.509	0.172
軽い	0.237	0.408	-0.093	0.377

固有値 1となるのが因子No.4までなので抽出する因子の数は4つに決定する。

因子負荷量 0.4が2つ以上存在する変数名を除外する。

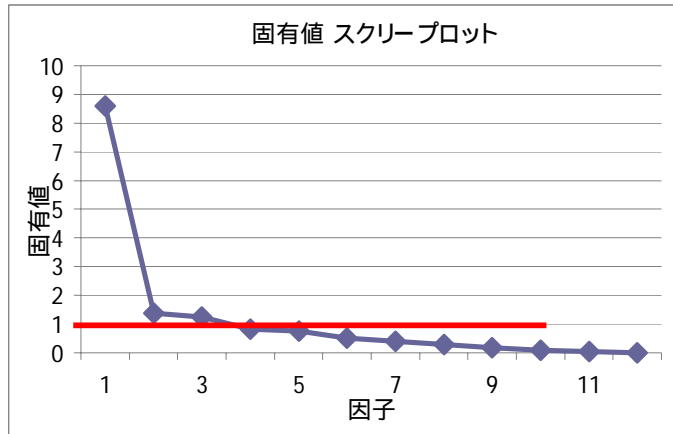
速い、楽しい、爽やかな、好き、都会的な、高級な、親しみのある、大きい、開放的な、刺激的な」を除外する。

変数30のうち上記の10を除外し、20の変数で第2回因子分析を行う

第2回因子分析

固有値表 :回転前

因子	固有値	寄与率	累積寄与率
因子 1	8.592	42.96%	42.96%
因子 2	1.390	6.95%	49.91%
因子 3	1.253	6.27%	56.18%
因子 4	0.822	4.11%	60.29%
因子 5	0.754	3.77%	64.06%
因子 6	0.512	2.56%	66.62%
因子 7	0.406	2.03%	68.65%
因子 8	0.281	1.41%	70.06%
因子 9	0.184	0.92%	70.98%
因子 10	0.084	0.42%	71.40%
因子 11	0.039	0.19%	71.59%
因子 12	0.001	0.00%	71.60%



因子負荷量 :回転後 (ハリマックス法)

変数名	因子 1	因子 2	因子 3
安定した	0.081	0.749	0.242
かたい	-0.020	-0.109	0.550
快適な	0.209	0.835	0.148
カッコいい	0.578	0.418	0.270
美しい	0.474	0.510	0.245
派手な	0.260	0.458	0.339
個性的な	0.552	0.370	0.352
面白い	0.766	0.261	0.065
さっぱりした	0.471	0.507	-0.186
欲しい	0.726	0.222	0.306
男性的な	0.339	0.172	0.636
進歩的な	0.801	0.177	0.261
上品な	0.416	0.574	0.190
健康的な	0.619	0.365	0.178
夢のある	0.755	0.245	0.116
新しい	0.851	0.183	0.070
自然な	0.197	0.554	0.027
強い	0.246	0.314	0.704
能動的な	0.442	0.252	0.443
軽い	0.251	0.544	-0.080

固有値 1となるのが因子No.3までなので抽出する因子の数は3つに決定する。

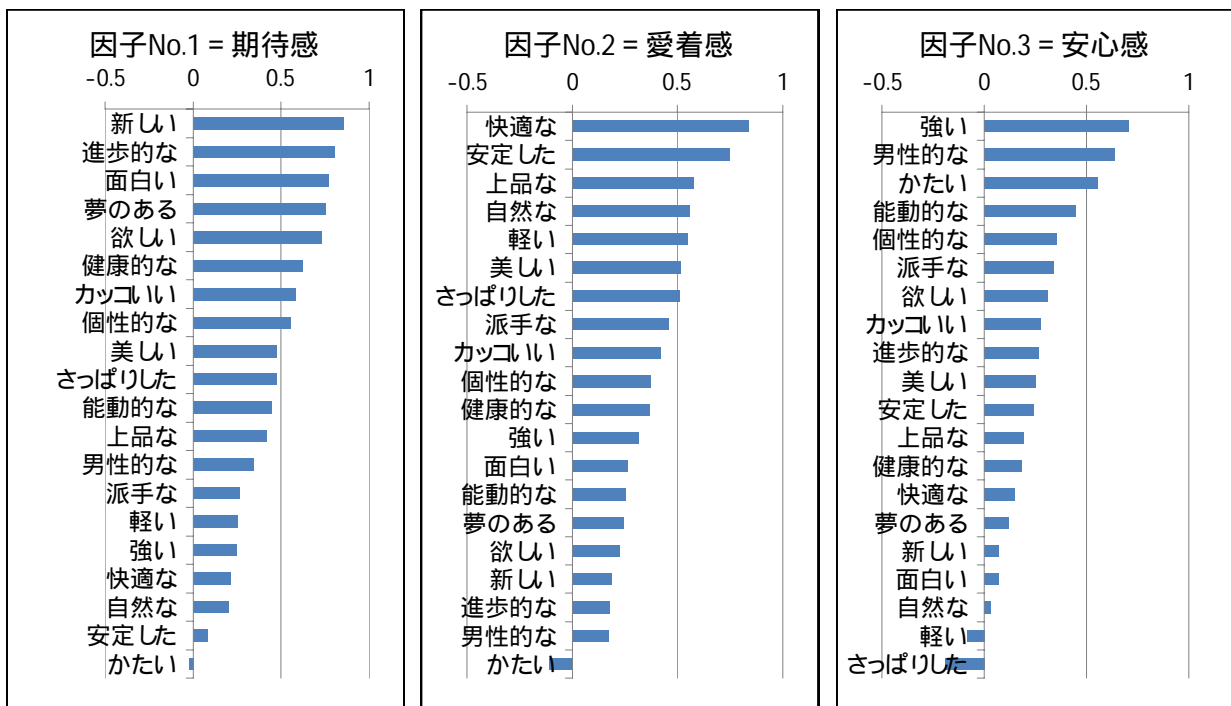
因子負荷量 0.5が2つ以上存在する変数名はない。どの因子も0.5に満たない「派手な、能動的な」を除外し、並べ替えを行う

変数名		因子 1	因子 2	因子 3	推定値	クロンバックの値
新しい	期待感 と定義	0.851	0.183	0.070	0.7629	0.921
進歩的な		0.801	0.177	0.261	0.7413	
面白い		0.766	0.261	0.065	0.6597	
夢のある		0.755	0.245	0.116	0.6426	
欲しい		0.726	0.222	0.306	0.6702	
健康的な		0.619	0.365	0.178	0.5482	
カッコいい		0.578	0.418	0.270	0.5813	
個性的な	0.552	0.370	0.352	0.5654		
快適な	愛着感 と定義	0.209	0.835	0.148	0.7623	0.827
安定した		0.081	0.749	0.242	0.6266	
上品な		0.416	0.574	0.190	0.5390	
自然な		0.197	0.554	0.027	0.3469	
軽い		0.251	0.544	-0.080	0.3648	
美しい		0.474	0.510	0.245	0.5452	
さっぱりした	0.471	0.507	-0.186	0.5137		
強い	安心感 と定義	0.246	0.314	0.704	0.6550	0.703
男性的な		0.339	0.172	0.636	0.5490	
かたい		-0.020	-0.109	0.550	0.3142	
二乗和		5.282	3.808	2.145		
寄与率		26.41%	19.04%	10.72%		
累積寄与率		26.41%	45.45%	56.18%		

因子No.1 「新しい、進歩的な、面白い、夢のある、欲しい、健康的な、カッコいい、個性的な」を求めている。足部カバーへの「期待感」を表していると定義する。

因子No.2 「快適な、安定した、上品な、自然な、軽い、美しい、さっぱりした」を求めている。足部カバーへの「愛着感」を表していると定義する。

因子No.3 「強い、男性的な、かたい」を求めている。足部カバーへの「安心感」を表していると定義する。



印象評価結果の因子分析結果 (足部カバー)

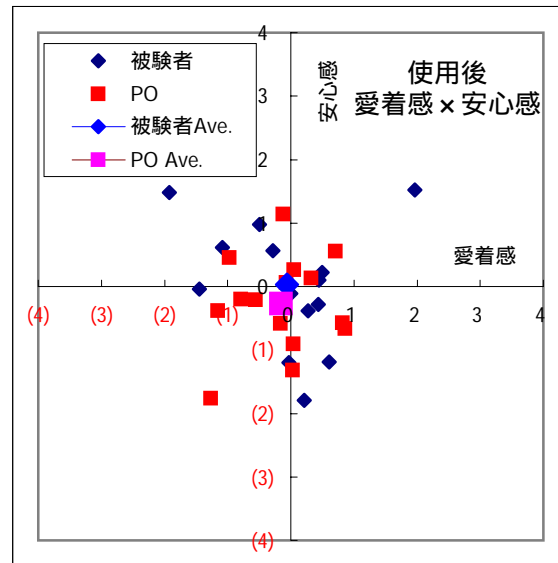
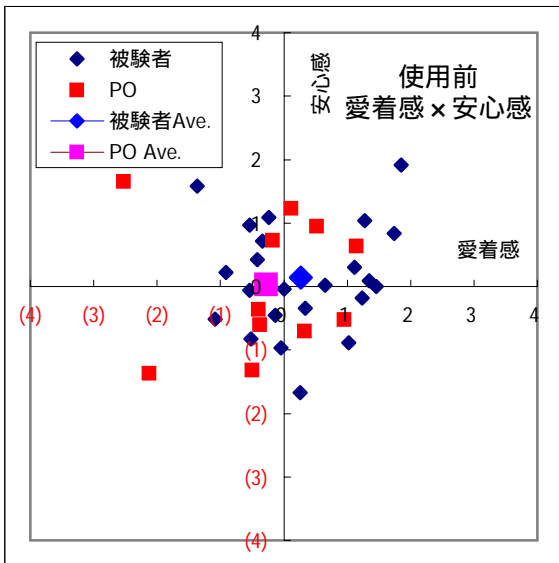
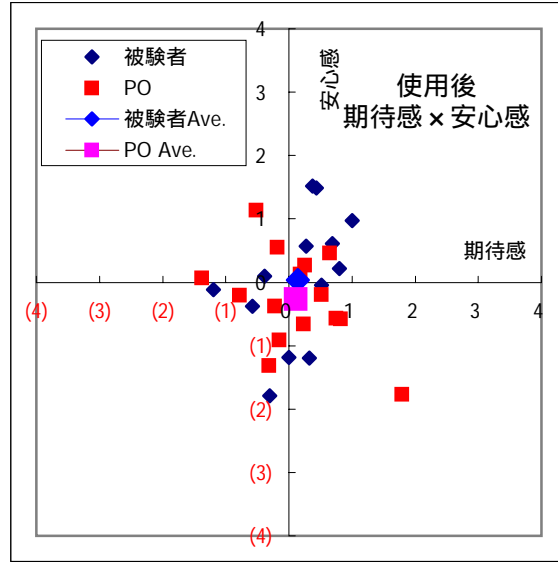
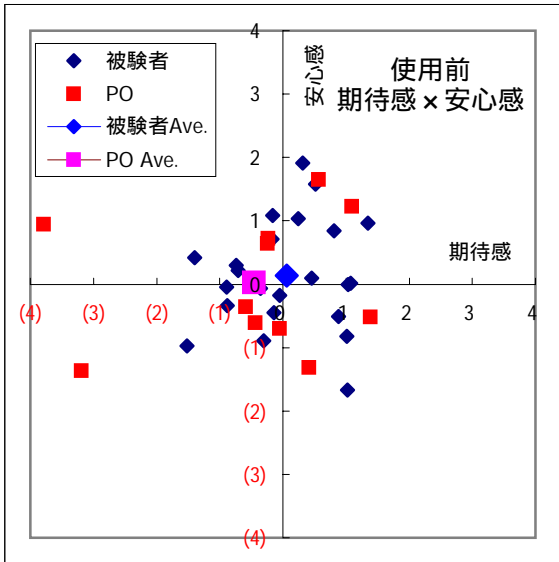
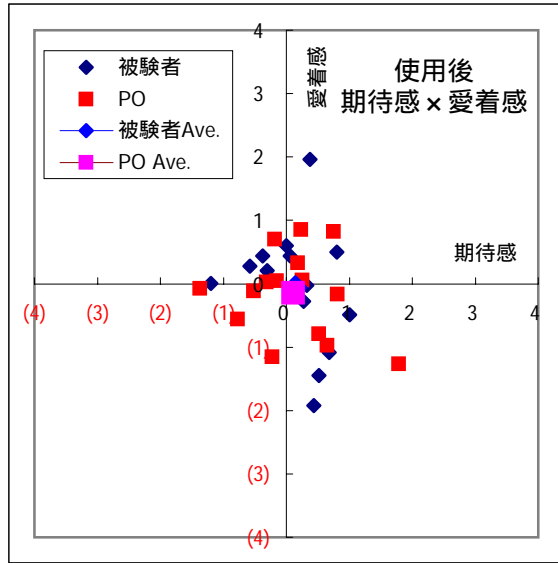
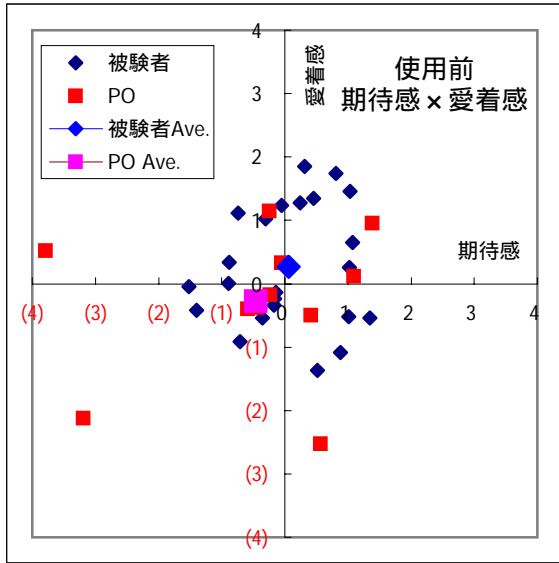
使用前

No.	分類	期待感	愛着感	安心感
		因子 1	因子 2	因子 3
1	被験者	1.075	0.647	0.016
2	被験者	1.021	0.253	-1.675
3	被験者	0.815	1.737	0.839
4	被験者	1.344	-0.539	0.962
5	被験者	0.310	1.852	1.910
6	被験者	1.018	-0.524	-0.821
7	被験者	0.519	-1.367	1.580
8	被験者	-1.397	-0.415	0.420
9	被験者	-0.048	1.237	-0.179
10	被験者	-1.520	-0.046	-0.969
11	被験者	-0.140	-0.140	-0.452
12	被験者	-0.737	1.113	0.297
13	被験者	-0.888	0.009	-0.044
14	被験者	1.031	1.454	-0.003
15	被験者	0.245	1.271	1.037
16	被験者	-0.300	1.025	-0.889
17	被験者	-0.159	-0.239	1.085
18	被験者	0.453	1.347	0.092
19	被験者	-0.708	-0.910	0.222
20	被験者	-0.354	-0.540	-0.065
21	被験者	0.876	-1.088	-0.513
22	被験者	-0.174	-0.335	0.712
23	被験者	-0.882	0.342	-0.338
24	PO	-3.194	-2.127	-1.370
25	PO	0.563	-2.529	1.651
26	PO	-0.051	0.331	-0.702
27	PO	-0.436	-0.383	-0.607
28	PO	-0.242	1.144	0.639
29	PO	-0.590	-0.397	-0.362
30	PO	-0.229	-0.178	0.725
31	PO	1.091	0.116	1.225
32	PO	1.392	0.958	-0.521
33	PO	0.416	-0.504	-1.320
34	PO	-3.787	0.515	0.946

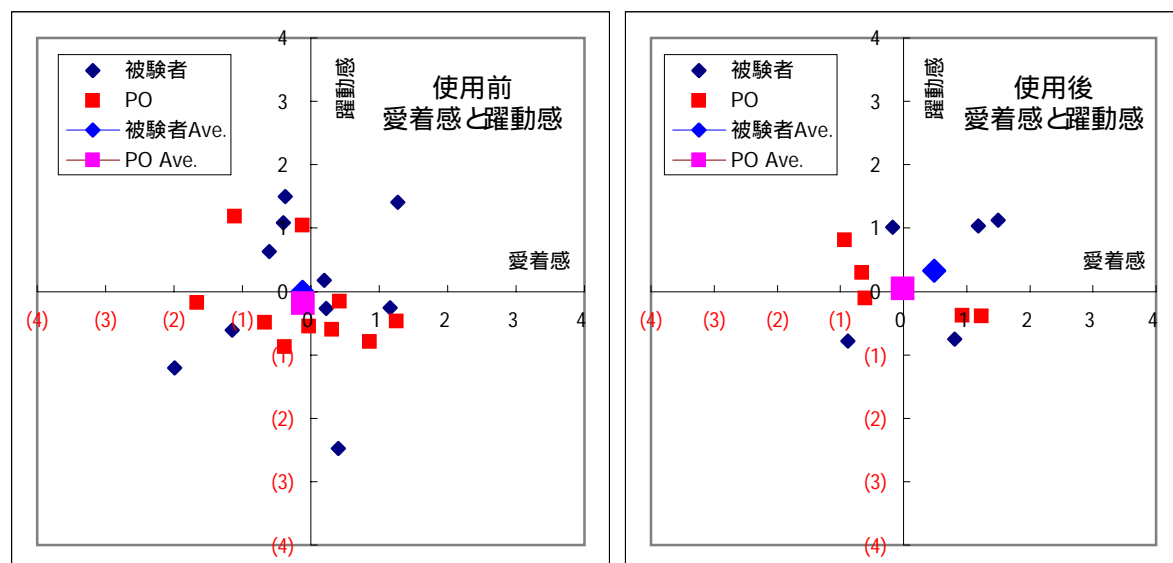
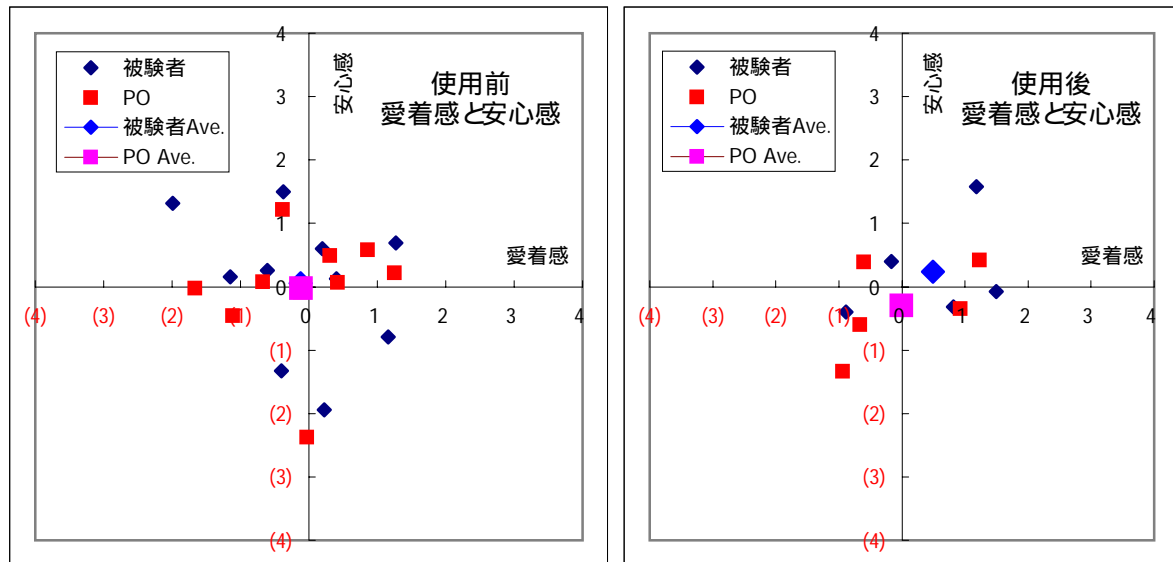
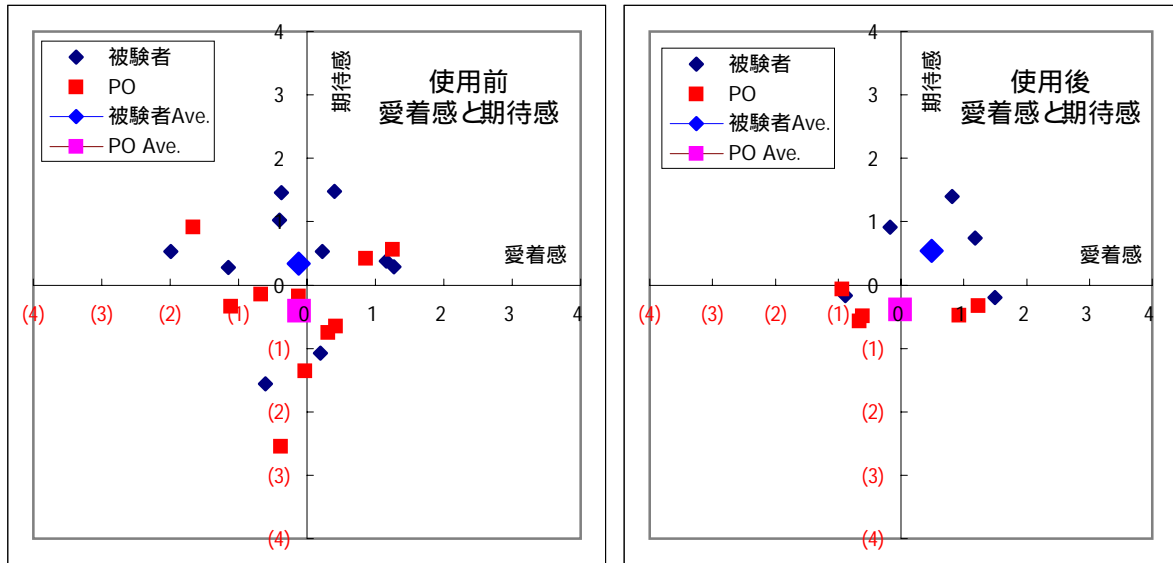
使用后

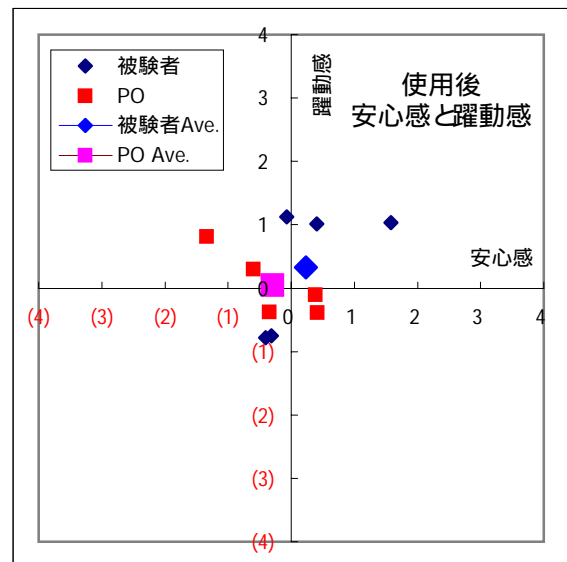
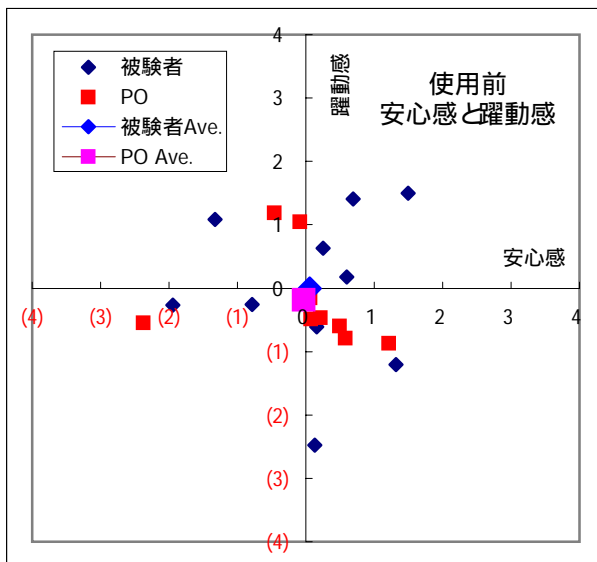
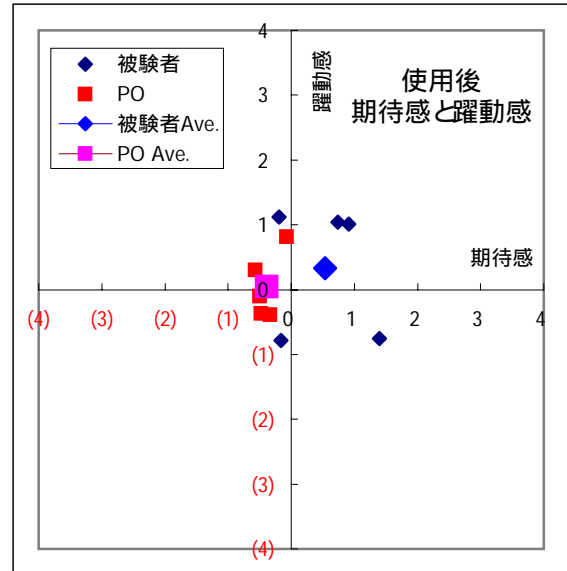
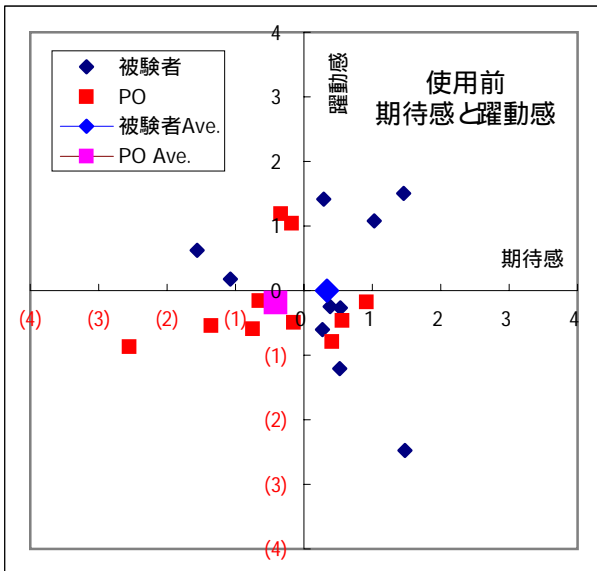
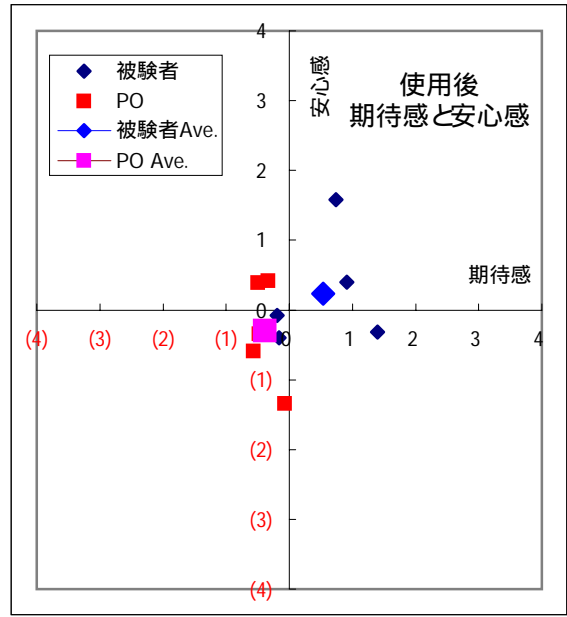
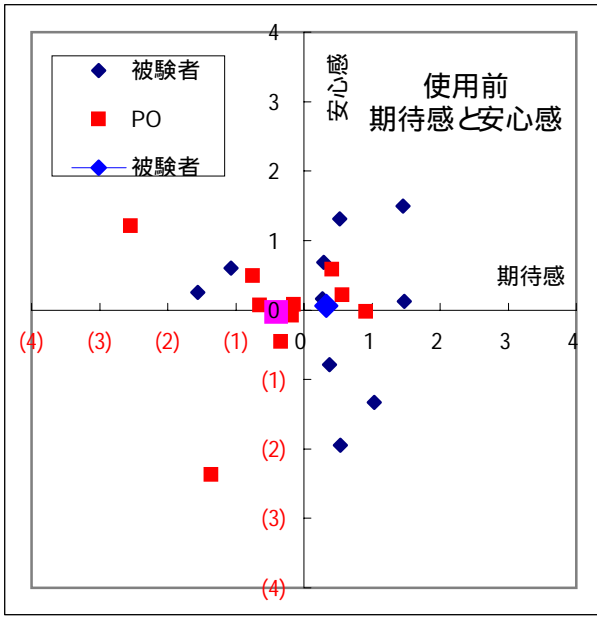
No.	分類	期待感	愛着感	安心感
		因子 1	因子 2	因子 3
1	被験者	0.327	-0.028	-1.197
2	被験者	-1.195	0.000	-0.113
3	被験者	0.684	-1.082	0.613
4	被験者	0.800	0.499	0.221
5	被験者	0.437	-1.927	1.484
6	被験者	-0.582	0.274	-0.380
7	被験者	-0.307	0.210	-1.794
8	被験者	0.519	-1.450	-0.044
9	被験者	-0.380	0.443	0.096
10	被験者	0.276	-0.279	0.568
11	被験者	1.002	-0.492	0.973
12	被験者	0.060	0.437	-0.278
13	被験者	0.378	1.961	1.520
14	被験者	-0.003	0.603	-1.189
15	PO	-0.514	-0.118	1.137
16	PO	0.237	0.856	-0.665
17	PO	-0.319	0.029	-1.317
18	PO	-0.154	0.042	-0.911
19	PO	0.182	0.329	0.127
20	PO	-0.219	-1.154	-0.378
21	PO	-1.375	-0.071	0.064
22	PO	0.750	0.822	-0.575
23	PO	0.251	0.051	0.266
24	PO	-0.775	-0.562	-0.207
25	PO	-0.184	0.705	0.549
26	PO	1.791	-1.270	-1.767
27	PO	0.516	-0.788	-0.200
28	PO	0.645	-0.971	0.455
29	PO	0.817	-0.162	-0.583

因子分析結果の散布図 (足部カバー)



因子分析結果の散布図 (疾走用膝継手)





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

疾走用膝継手・足部カバー重要度と満足度評価・・・5段階評価

研究分担者 芥川雅也・渡辺学・鈴木光久・後藤学・大塚滋

研究要旨：本研究では、開発部品の主観的評価を行い、その結果を設計にフィードバックする。

A. 調査目的

本研究では、開発部品である疾走用膝継手・足部カバーについて、重量、大きさなどの5項目の重要度、満足度に関するアンケート調査を実施し、その結果を集計、分析しその結果を開発部品にフィードバックすることを目的とする。

対象者：義肢装具士 ……添付資料2

③スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発 ユーザー情報記入用紙

対象者：義肢装具士 ……添付資料3

B. アンケートによる調査内容と結果

1. 調査方法

下記の項目をアンケート方式により調査を実施した。

①開発部品それぞれに対し、重量、大きさ、形状、色、使いやすさの5項目について、重要度と満足度に分け高～低の5段階評価とし、主観的評価結果を回答。

②製作マニュアルについて、改良要望、必要な部品などについて、記述方式にて回答。

③開発部品を使用した被験者の情報を記述方式にて回答。

2. 調査様式

①開発部品に関するアンケート
(重要度、満足度調査)

対象者：義肢装具士、被験者

・・・添付資料1

②スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発 フィールドテスト調査票

C. 調査結果

アンケート回収件数

疾走用膝継手

義肢装具士 4名、被験者 9名

足部カバー

義肢装具士 10名、被験者 18名

モニターした当事者数 41名

本分担では、調査方法①の重要度、満足度に関するアンケート結果を集計、分析を行う。

C-1. 疾走用膝継手の重要度と満足度

①義肢装具士

義肢装具士のアンケート集計結果を次の図1、図2にまとめる。

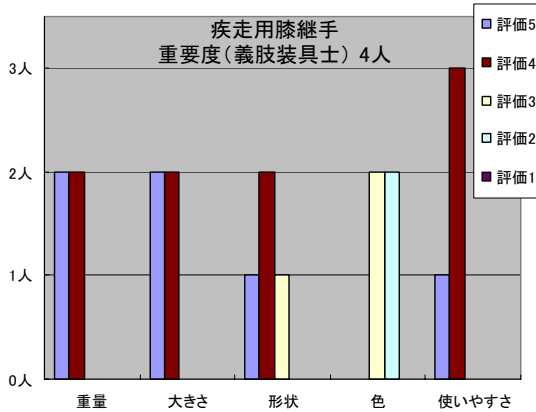


図1 アンケート結果（義肢装具士・重要度）

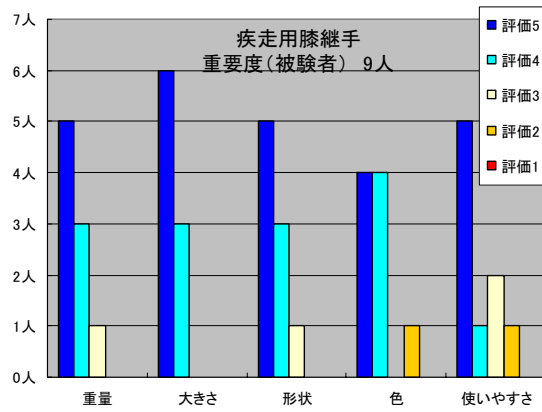


図3 アンケート結果（被験者・重要度）

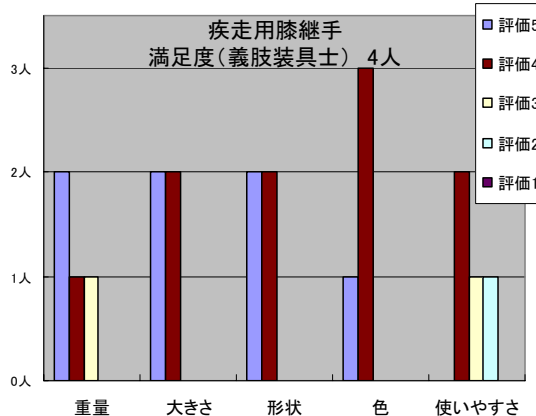


図2 アンケート結果（義肢装具士・満足度）

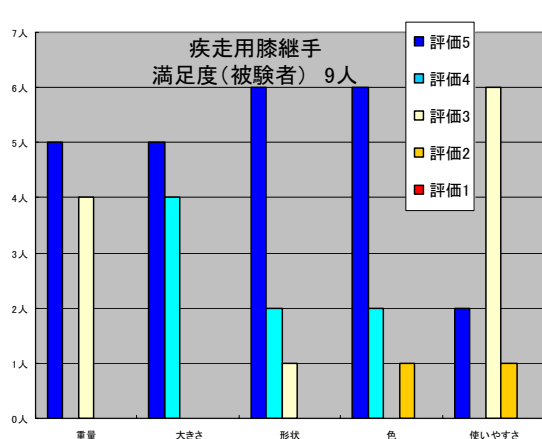


図4 アンケート結果（被験者・満足度）

【疾走用膝継手・義肢装具士】

- ・重要度と満足度共に重量・大きさ・形状の評価は3～5が多く、これらの項目について高い評価を得た。
- ・色の重要度評価は全体的に2～3と評価が低いものの満足度評価は4～5が多く、高い評価を得た。しかし重要度が低い為、満足度も適度なものでも評価が高くなったともとれる。
- ・使いやすさの重要度評価は4～5が多いが、満足度評価は全体的に2～3と評価が低く、やや使いづらいという評価を得た。

②被験者

被験者のアンケート結果を次の図3、図4にまとめる。

【疾走用膝継手・被験者】

- ・重要度と満足度共に重量・大きさ・形状・色は3～5の評価が多く、高い評価を得た。
- ・使いやすさの重要度評価は4～5が多いが、満足度評価は全体的に2～3と評価が低く、やや使いづらいという評価を得た。

アンケート結果のまとめ

重要度と満足度評価 …添付資料4

C-2. 足部カバーの重要度と満足度

①義肢装具士

義肢装具士のアンケート集計結果を次の図5、図6にまとめる。

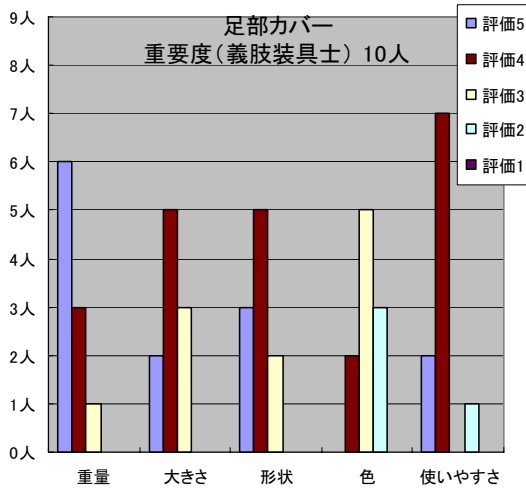


図5 アンケート結果（義肢装具士・重要度）

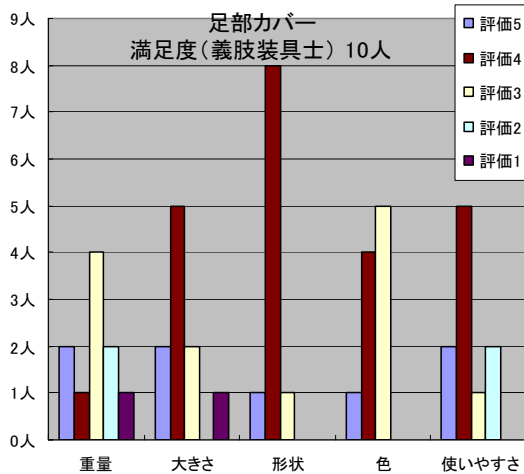


図6 アンケート結果（義肢装具士・満足度）

【足部カバー・義肢装具士】

- ・重要度と満足度共に大きさ・形状・使いやすさの評価は3～5が多く、高い評価を得た。
- ・重量の重要度評価は4～5が多いのに対し、満足度評価は全体的に2～3と評価が低く、より軽量感を望む傾向がある。
- ・色の重要度評価は全体的に2～3と評価が低いものの満足度評価は3～5が多く、高い評価を得た。しかし重要度が低い為、満足度も適度なものでも評価が高くなったととれる。

②被験者

被験者のアンケート結果を次の図7、図8

にまとめる。

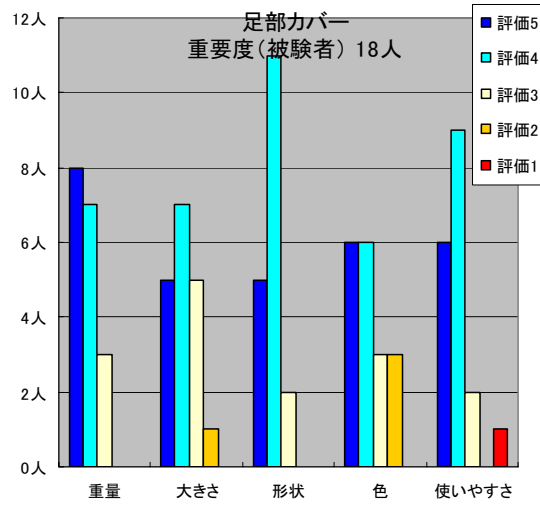


図7 アンケート結果（義肢装具士・重要度）

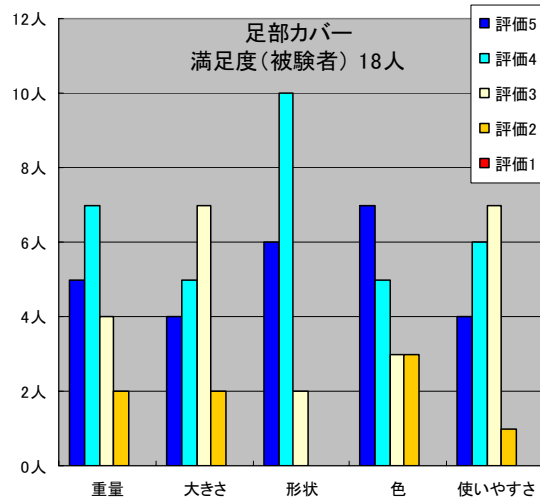


図8 アンケート結果（義肢装具士・満足度）

【足部カバー・被験者】

- ・重要度と満足度共に重量・大きさ・形状・色の評価は3～5の評価が多く、高い評価を得た。
- ・使いやすさの重要度評価は4～5が多いが、満足度評価は2～3が多く、やや使いづらいという評価を得た。

C-3. 義肢装具士と被験者のまとめ

- ・疾走用膝継手・足部カバーに関して、義肢装具士、被験者共に重量・大きさ・形状・使いやすさは重要と考えているが、色に関しては、義肢装具士よりも被験者

の方が重要と考えている傾向がある。

- ・疾走用膝継手・足部カバーに関して、義肢装具士、被験者共使いやすさは重要と考えているが、満足度は低い評価となった。
- ・足部カバーの重量に関して、義肢装具士は満足度評価が全体的に低く、軽量を望む傾向があるが、被験者の満足度評価は高く、重さを感じていない傾向がある。

アンケート結果のまとめ

重要度と満足度評価 ……添付資料 5

C-4. 達成できたこと

- ・開発機器である疾走用膝継手、足部カバーについて義肢装具士と被験者双方から 5 段階評価のアンケート調査を実施し、まとめることで重要度と満足度を主観的に評価することができた。
- ・義肢装具士と被験者双方の重要度と満足度の 5 つの項目について主観的に評価することができた。

C-5. 達成できなかったことおよびその主な原因

フィールドテストの実施期間が短く、特に疾走用膝継手に関して主観的評価をするには、アンケート調査の実施数が少なかった。アンケート実施数を増やすことでより細かな主観的評価をすることができる。また、期間の短さからこの評価結果を開発品へフィードバックすることもできなかった。

D. 考察

- ・疾走用膝継手、足部カバー共に満足度で低い評価にある使いやすさに関しては、義肢装具士、被験者双方の立場で使いづらいつい要因の違いがあると考え。今後の課題として使いづらいつい要因項目を確認し、設計へのフィードバックが必要と考える。
- ・足部カバーの重量に関しては、適度な重量を検討し設計へのフィードバックが必要

と考える。

- ・色に関しては、疾走用膝継手、足部カバー共に義肢装具士よりも被験者の方が重要と考える傾向があることから、色に対する重要度の違いについて今後考察する必要がある。

E. 結論

今回のアンケート調査とまとめを通じて義肢装具士と被験者双方の重要度と満足度の見解に違いがあることも明確となった。

1. 疾走用膝継手に関して、義肢装具士と被験者から重要度と満足度共に重量・大きさ・形状の項目について、高い評価を得た。
2. 疾走用膝継手に関して、義肢装具士と被験者から使いやすさの項目について、低い評価を得た。
3. 足部カバーに関して、義肢装具士から重要度と満足度共に大きさ・形状・使いやすさの項目について高い評価を得た。
4. 足部カバーに関して、義肢装具士は重量の項目について、より軽量を望む傾向がある。
5. 足部カバーに関して、被験者から重要度と満足度共に重量・大きさ・形状・色の項目について高い評価を得た。

今後、より長期間のフィールドテスト、より多くのアンケート調査を実施し、各項目について開発に必要な要素を明確にしていく。

膝継手・足部カバーに関するアンケート（被験者様用）

氏名	様	性別	男・女	年齢	歳
----	---	----	-----	----	---

膝継手についてお答えください					
満足度	高		満足度		低
	5	4	3	2	1
重量					
大きさ					
形状					
色					
使いやすさ					
重要度	高		重要度		低
	5	4	3	2	1
重量					
大きさ					
形状					
色					
使いやすさ					
価格	購入しても良いと思われる上限金額をお答えください （参考：スポーツ用義足専用ではありませんが、現在世界的にスポーツ用義足に使用されている膝継手の完成用部品指定価格は 332,500 円です。）				
			円		
足部カバーについてお答えください					
満足度	高		満足度		低
	5	4	3	2	1
重量					
大きさ					
形状					
色					
使いやすさ					
重要度	高		重要度		低
	5	4	3	2	1
重量					
大きさ					
形状					
色					
使いやすさ					
価格	購入しても良いと思われる上限金額をお答えください				
			円		

ご協力ありがとうございました。

膝継手についてお答えください

満足度	高 5	4	満足度 3	2	低 1
重量					
大きさ					
形状					
色					
使いやすさ					
重要度	高 5	4	重要度 3	2	低 1
重量					
大きさ					
形状					
色					
使いやすさ					
価格	ユーザーが自費で購入に至ると思われる現実的な金額をお答えください (参考: スポーツ用義足専用ではありませんが、現在世界的にスポーツ用義足に使用されている膝継手の完成用部品指定価格は 332,500 円です。)				
	円				

足部カバーについてお答えください

満足度	高 5	4	満足度 3	2	低 1
重量					
大きさ					
形状					
色					
使いやすさ					
重要度	高 5	4	重要度 3	2	低 1
重量					
大きさ					
形状					
色					
使いやすさ					
価格	ユーザーが自費で購入に至ると思われる現実的な金額をお答えください				
	円				

ご協力ありがとうございました。

スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発 フィールドテスト調査票

NO.			
記入日	平成 年 月 日		
会社名	氏 名		様
評価結果 （選択項目に☑）			
製作マニュアル	マニュアルの中でわかりにくい箇所がありましたらお教え下さい。（複数可）		ページ
	具体的にご記入下さい		
工夫した点	製作マニュアルと異なる製作方法をした点、通常の義足とは異なる配慮をした点など		
改良を要すると 思われる部品	特になし		
	モジュール番号	具体的にご記入ください	
提供した部品以外に必要性を感じる部品・機能			
ソケット製作に 使用した材料 およびメーカー	樹脂	材 料 名	
		メーカ-名	
	積層材	材 料 名	
		メーカ-名	
その他	その他、製作に関して困った点・ご意見・ご要望等をご記入ください		

御社の通常の義足のユーザー数	大腿義足： 人（0～10代 %・20～30代 %・40～50代 %・60代以上 %） 下腿義足： 人（0～10代 %・20～30代 %・40～50代 %・60代以上 %）				
今後もスポーツ用義足を製作したい	はい ・ いいえ				
	『はい』とお答えの方				
	御社のユーザーのうち、何%に適應できそうですか？	大腿義足： %			
		下腿義足： %			
	何歳代のユーザーが一番多そうですか？	大腿義足： 歳代			
	下腿義足： 歳代				
『いいえ』とお答えの方、理由をご記入ください					
右記を読んでご回答ください	従来、スポーツ用義足が普及しない原因として、モジュール化された専用部品がない、高価である、試用ができない、という問題がありました。(株)今仙技術研究所ではこれらを解決することを念頭に、モジュール型スポーツレクリエーション用義足システムの開発を行い、2008年4月から「LAPOC SPORTS 侍」として発売開始しました。従来品よりも格段に安価で、モジュール化された専用部品を用意し、義肢装具士の方にとってもユーザーにとっても「使いやすい製品」を提供できる環境になりました。しかし、以前と比較してユーザー数は増えましたが、それでも普及には至っていません。				
	スポーツ用義足の普及の為に必要と思われる項目について重要度をお答えください	非常に重要 やや重要 でもどちらでもない あまり重要ではない 重要ではない			
	完成用部品への指定				
	指導マニュアルの整備				
	パーツメーカー主催の試着会				
	障害者スポーツへの義肢装具士の理解				
	走行会など気軽に参加できる機会の創出				
	義足ユーザーへのスポーツ用義足の宣伝				
	一般へのスポーツ用義足の啓蒙活動				
	デザインの良いパーツの開発				
	安全性の高いパーツの開発				
	調整がしやすいパーツの開発				
	軽量なパーツの開発				
右記を読んでご回答ください	学童・学生の切断者については、スポーツ用義足を使用し、体育の授業または放課後等の遊びの中で、現在の通常の義足と比較して快適に、健常児と同じ運動ができるということは本人また保護者にとっても大きな喜びであると考えられます。健常児と同様に、快適に“とんだり”“はねたり”して“遊ぶ・運動する”ことは、学童・学生にとって生活の一部（仕事）であり必要なことであると考えます。				
	上記から学童・学生にスポーツ用義足が公費支給されることが望ましいと思いますか？				
	思う ・ 思わない				
『思わない』とお答えの方、理由をご記入ください					

平成 21 年度障害者保健福祉推進事業（障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト）

スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発 ユーザー情報記入用紙

氏名	様	性別	男・女	年齢	歳	体重	kg
切断部位	大腿・膝・下腿	断端長	短・中・長	左・右	足部	cm	
義足長	mm	下腿長	mm	活動度			
義足使用歴	年	ヶ月	使用部品	膝継手：	足部：		
スポーツ用義足使用歴	年	ヶ月	使用部品	膝継手：	足部：		
使用足部 (SP1100) 硬度	6・7・8		使用膝継手	疾走用・ステップ用			

氏名	様	性別	男・女	年齢	歳	体重	kg
切断部位	大腿・膝・下腿	断端長	短・中・長	左・右	足部	cm	
義足長	mm	下腿長	mm	活動度			
義足使用歴	年	ヶ月	使用部品	膝継手：	足部：		
スポーツ用義足使用歴	年	ヶ月	使用部品	膝継手：	足部：		
使用足部 (SP1100) 硬度	6・7・8		使用膝継手	疾走用・ステップ用			

氏名	様	性別	男・女	年齢	歳	体重	kg
切断部位	大腿・膝・下腿	断端長	短・中・長	左・右	足部	cm	
義足長	mm	下腿長	mm	活動度			
義足使用歴	年	ヶ月	使用部品	膝継手：	足部：		
スポーツ用義足使用歴	年	ヶ月	使用部品	膝継手：	足部：		
使用足部 (SP1100) 硬度	6・7・8		使用膝継手	疾走用・ステップ用			

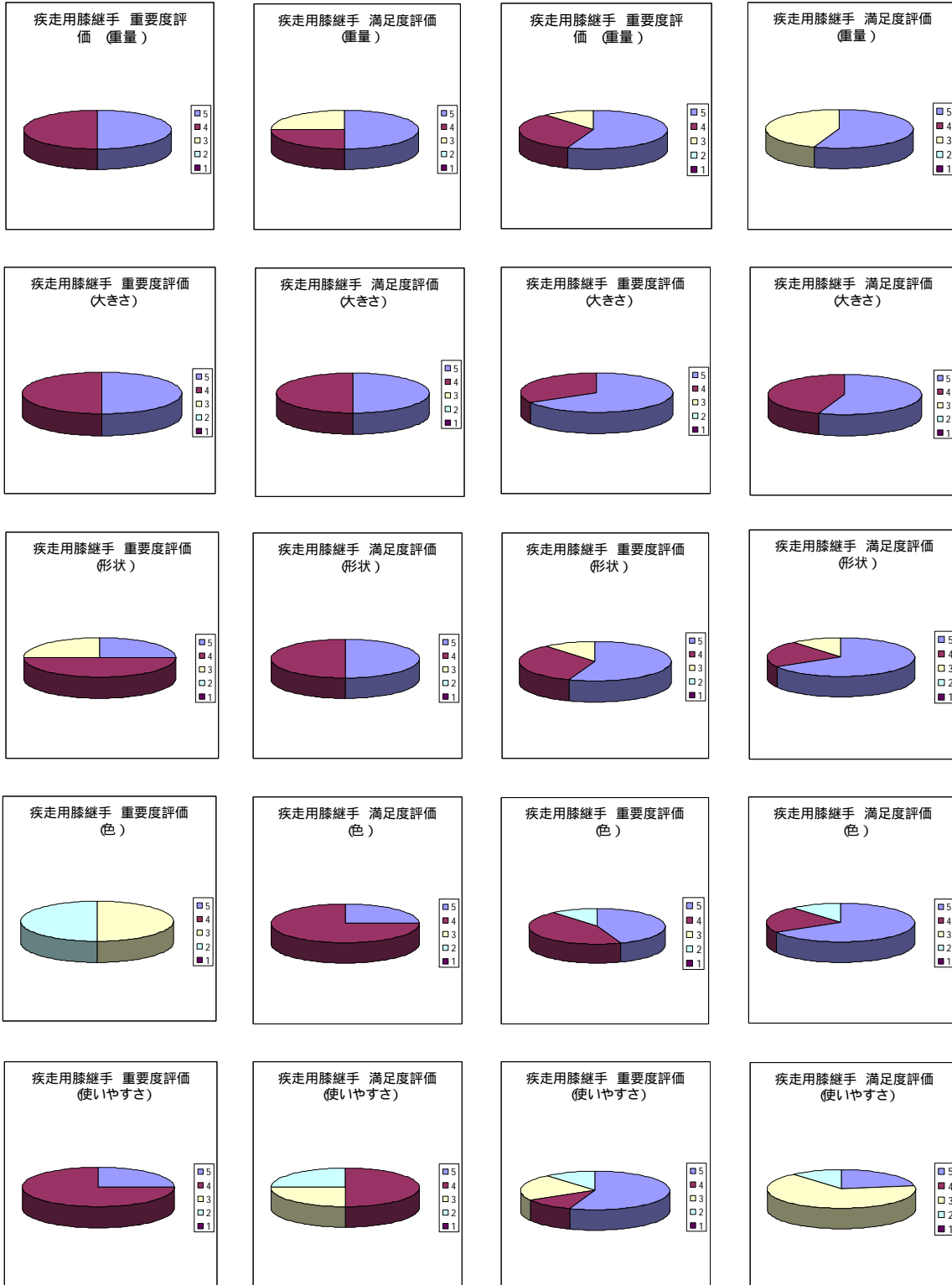
氏名	様	性別	男・女	年齢	歳	体重	kg
切断部位	大腿・膝・下腿	断端長	短・中・長	左・右	足部	cm	
義足長	mm	下腿長	mm	活動度			
義足使用歴	年	ヶ月	使用部品	膝継手：	足部：		
スポーツ用義足使用歴	年	ヶ月	使用部品	膝継手：	足部：		
使用足部 (SP1100) 硬度	6・7・8		使用膝継手	疾走用・ステップ用			

疾走用膝継手・重要度と満足度評価・・・5段階評価

アンケート結果のまとめ
(各項目について評価の割合)

義肢装具士：4名

被験者：9名

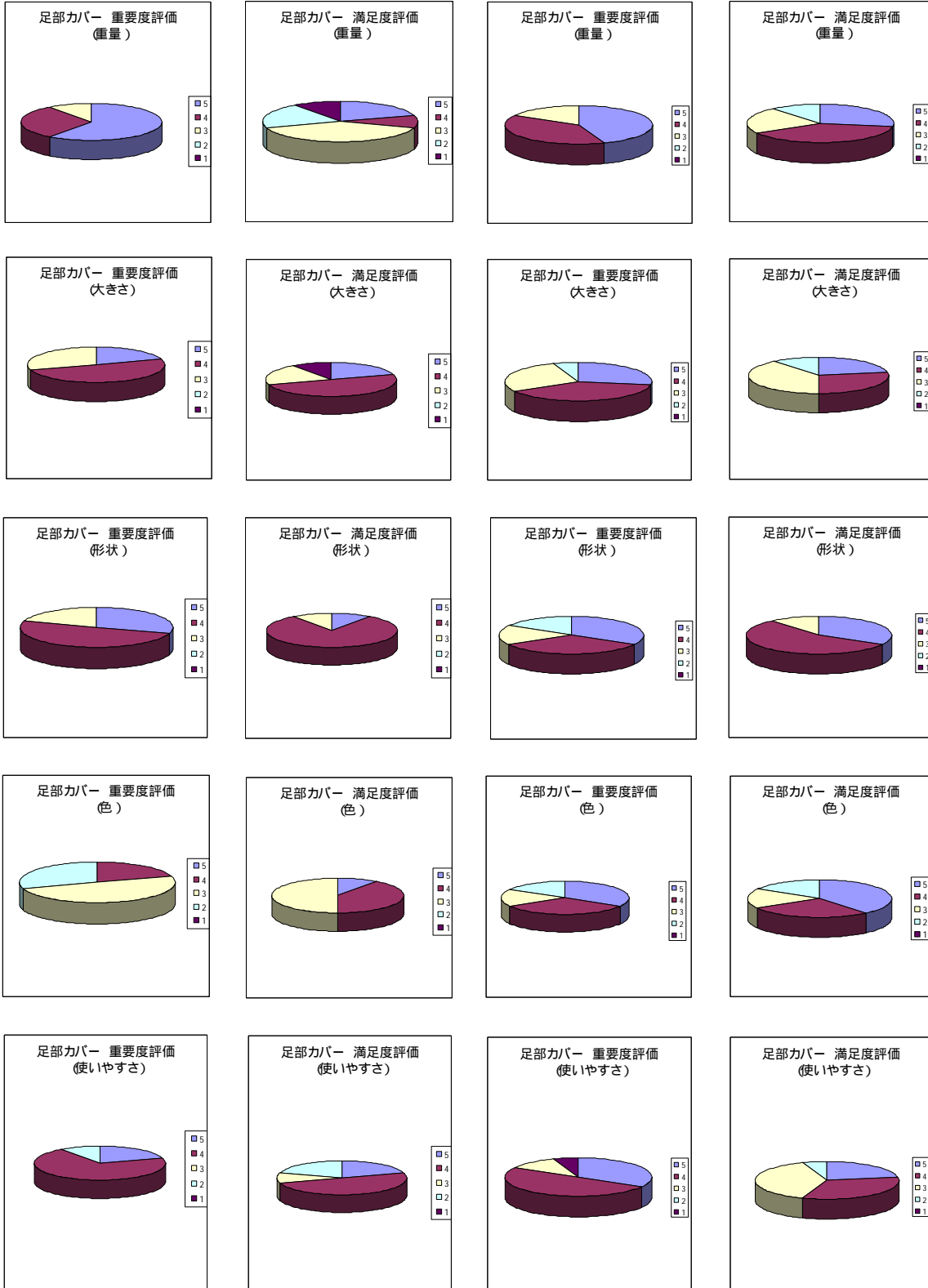


足部カバー・重要度と満足度評価・・・5段階評価

アンケート結果のまとめ
(各項目について評価の割合)

義肢装具士：10名

被験者：18名



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

スポーツ義足の大規模フィールドテストによる研究開発

－課題の抽出と設計へのフィードバック

研究分担者 芥川雅也・鈴木光久・伊藤智昭・渡辺学・後藤学・大塚滋・大蔵史景

研究要旨：本研究では、大規模フィールドテストのアンケート結果を基に、設計へフィードバック、及び普及活動の課題を抽出する。

A. 研究目的

全国各地の義肢製作所で、大規模なフィールドテストを実施し、義肢装具士、下肢切断者にスポーツ用膝継手と足部カバーの主観的評価を行う。

また、フィールドテストを通じて義肢製作所でのスポーツ用義足製作や被験者のスポーツ義足実体験の機会創出し、下肢切断者への啓蒙活動、及びスポーツ人口の倍増を目的とする。

B. 研究方法

円滑にフィールドテストを行うこと、及び今後の普及活動に協力を頂くため、下記フィールドテスト先の選定基準を設け、この基準を満たす義肢製作所、義肢装具士、被験者にアンケート調査を行う。

1. 要件

- ・期限までに確実に製作・実施していただける。
- ・期限までに確実にレポートを返していただける。
- ・助成期間後にも継続が見込まれること。
- ・覚書（事故時免責など）に同意してもらえる。

2. 好適条件

- ・各県などの障害者スポーツ協会と関係がある。

- ・顧客数が多い。
- ・今後の見込み義足スポーツ対象者が多い。
- ・Eメールや報告を電子文書にてもらえる。
- ・既に（義足の、障害者の）スポーツ活動を行っている。
- ・スポーツ指導者資格を持っている。
- ・コーチ経験がある。

3. フィールドテスト先、及び被験者数

（添付資料1 フィールドテスト先まとめ）

- ・フィールドテスト先 全国 10 か所の義肢製作所
- ・下腿切断 9名
- ・大腿切断 8名

4. 評価方法

- ・多変量解析 SD 法を用いた足部カバー印象評価の因子分析（報告書 10 参照）
- ・アンケートによるスポーツ義足の重要度、満足度評価方法（報告書 11 参照）
- ・スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発 フィールドテスト調査（報告書 11 参照）

C. 研究結果

1. 普及の為に必要と思われる項目の重要度調査

（添付資料2 重要度・満足度の5段階評価と集計結果）

(添付資料3 重要度・満足度評価グラフ)

義肢装具士 10 名に、スポーツ用義足の普及のために必要と思われる 11 項目について重要度のアンケートを行った。

その結果、50%以上の義肢装具士が「非常に重要」と回答した項目は、

- ・完成用部品への指定
- ・走行会など気軽に参加できる機会の創出
- ・障害者スポーツへの義肢装具士の理解

であった。

結果、義肢装具士は、スポーツ義足普及のためには、義肢装具士のみではなく、下肢切断者にもスポーツに参加できる機会の必要性を感じている。

上記以外のすべての項目は、70%の義肢装具士が重要（非常に重要、やや常用）との回答しており、今回のアンケート項目は、今後考慮しなければいけない項目と考えられる。

2. スポーツ用義足適応者調査

(資料 12-3 スポーツ用義足適応者調査まとめ)

義肢装具士 10 名に、自社の顧客の中で、大腿義足・下腿義足のスポーツ用義足適応すると思われる比率を調査し、7 名から回答があった。

大腿義足の顧客は、810 名中 4.6%、下腿義足では 1,320 名中 7.9%が適応者あると回答があった。

年齢層については、大腿・下腿義足とも 30 歳が上限と思われるとの回答であった。

D 考察

今回の大規模フィールドテストにて、足部カバーと疾走用膝継手の SD 法を用いた印象評価と満足度評価、及び普及のための重要事項調査により、以下が推測できる。

1. SD法を活用し分析をした評価と満足度評価の共通点として、義肢装具士と被験者で異なる評価があることである。

特に、使用前と使用後の評価、色に対する評価は、顕著な差異が出ている。

この傾向は、スポーツ用義足の未経験の義肢装具士には、より顕著に低い期待値の傾向になると思われる。

2. スポーツ可能と思われる下肢切断者数は、予想以上の潜在需要がある（大腿義足 4.6%以上、下腿義足 7.9%以上）。

3. スポーツ可能な年齢層は、学童・学生から 50 歳代までと幅広い。

4. スポーツを行いたい下肢切断者、スポーツ用義足を勧めたい義肢装具士はいるが、障害者スポーツに参加するための手段が分からない。

5. 現在、下肢切断者がスポーツ用義足を製作する場合、すべて自費となる。そのため完成用部品への指定の要望が多い。

E 結論

今回の研究で、義肢装具士と下肢切断者と共通した評価はあるが、異なる評価もあることが分かった。特に、下肢切断者は使用前に期待値が高いのに対し、義肢装具士が、使用前に消極的であることが問題である。

それに相反し、下肢切断者は、使用前からスポーツへの高い期待感があり、潜在需要が多いことが分かった。

今後、スポーツ用義足を開発及び普及活動を行っていくには、義肢装具士が、使用前から積極的になるような機会の創出と下肢切断者がスポーツのできる環境整備が必要である。

そのためには、補装具完成用指定部品、及び使用して頂くためのフィールドテスト、試着会などの機会創出が急務と考える。

以上を基に、メーカー側の普及活動のみではなくのみではなく、学童・学生を含めた下肢切断者、義肢装具士、メディアを含めた普及活動を行っていききたい。

フィードテスト先 10件

会社名	所在地	担当 義肢装具士	今仙担当者	日時	評価対象者	使用膝継手
株式会社 澤村義肢製作所	兵庫県	近藤	渡辺	2/23(火) 13:00~	下腿義足：1名	
				3/7(日) 11:00~	大腿義足：1名	疾走用膝継手
株式会社 アクティブプロス	神奈川県	高橋	渡辺・大蔵	2/13(土) 13:00~	大腿義足：1名 下腿義足：2名	疾走用膝継手
株式会社 高崎義肢	群馬県	大塚	芥川	2/13(土) 14:00~	大腿義足：1名 下腿義足：1名	疾走用膝継手
有限会社 P.O. サポート	群馬県	高橋	芥川	2/27(土) 13:00~	大腿義足：2名 下腿義足：1名	疾走用膝継手
株式会社 幸和義肢研究所	茨城県	出井	渡辺	2/27(土) 13:00~	下腿義足：1名	
鹿教湯義肢装具研究所	長野	斉藤	芥川	2/9(火) 13:00~	下腿義足：1名	
株式会社 松本義肢製作所	愛知	香川	芥川	3/5(金) 13:00~	大腿義足：1名	疾走用膝継手
株式会社 田村義肢製作所	新潟	村野	芥川	2/23(火) 9:00~	下腿義足：1名	
株式会社 徳田義肢製作所	熊本県	藤原	後藤	2/17(水) 10:00~	大腿義足：1名 下腿義足：1名	ステップ用膝継手
有限会社 砂田義肢製作所	沖縄県	砂田	鈴木	3/5(金) 19:00~	大腿義足：1名	ステップ用膝継手

スポーツ用義足普及の為に必要と思われる項目

アンケート結果リスト

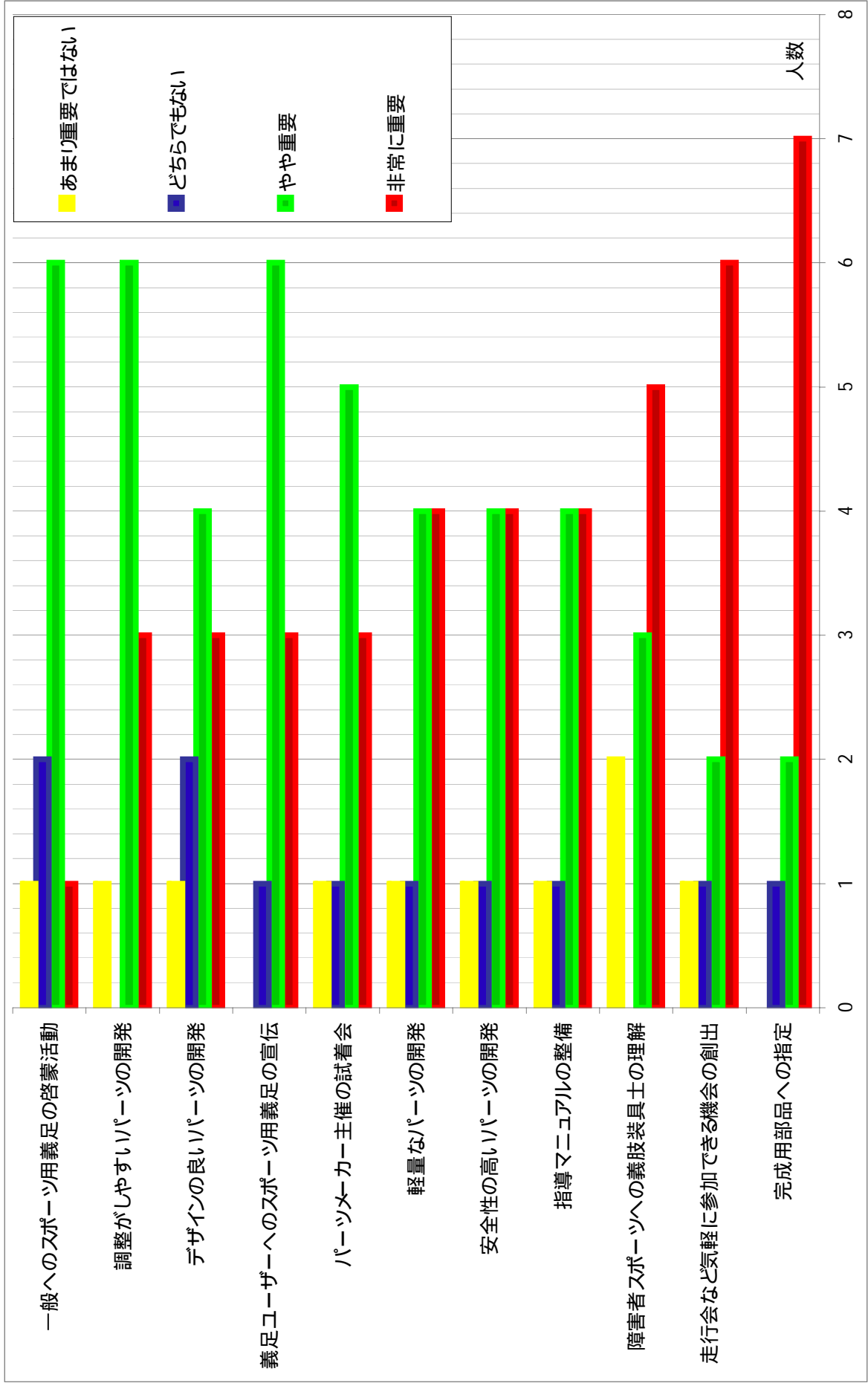
義肢装具士 10名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
完成用部品への指定	5	5	4	3	5	5	5	5	5	4
走行会など気軽に参加できる機会の創出	2	3	4	5	4	5	4	5	5	4
障害者スポーツへの義肢装具士の理解	2	4	5	4	3	5	4	4	4	5
指導マニユアルの整備	2	4	5	5	4	5	4	5	5	4
安全性の高いパーツの開発	2	3	5	5	4	5	4	5	5	5
軽量なパーツの開発	4	4	5	4	4	5	4	5	4	3
パーツメーカー主催の試着会	2	4	4	4	4	5	3	4	4	3
ユーザーへのスポーツ用義足の宣伝	3	2	5	5	4	5	3	4	4	4
デザインの良いパーツの開発	3	2	5	5	4	5	4	3	4	4
調整がしやすいパーツの開発	4	2	4	5	4	5	4	3	4	4
一般へのスポーツ用義足の啓蒙活動	5	2	5	4	4	5	5	3	4	4

5段階評価 5 非常に良い、4 やや重要、3 どちらでもない、2 あまり重要ではない、1 重要ではない

結果集計後

集計結果	非常に重要		やや重要		どちらでもない		あまり重要ではない		重要ではない	
	人数	比率	人数	比率	人数	比率	人数	比率	人数	比率
完成用部品への指定	7	75%	2	13%	1	13%				
走行会など気軽に参加できる機会の創出	6	50%	2	25%	1	13%	1	13%		
障害者スポーツへの義肢装具士の理解	5	4%	3	38%			2	13%		
指導マニユアルの整備	4	38%	4	38%	1	13%	1	13%		
安全性の高いパーツの開発	4	38%	4	38%	1	13%	1	13%		
軽量なパーツの開発	4	50%	4	25%	1	13%	1	13%		
パーツメーカー主催の試着会	3	25%	5	50%	1	13%	1	13%		
ユーザーへのスポーツ用義足の宣伝	3	25%	6	75%	1					
デザインの良いパーツの開発	3	38%	4	25%	2	25%	1	13%		
調整がしやすいパーツの開発	3		6	25%		63%	1	13%		
一般へのスポーツ用義足の啓蒙活動	1	13%	6	63%	2	13%	1	13%		

スポーツ用義足の普及の為に必要と思われる項目の重要度調査まとめ



スポーツ用義足適応者調査まとめ

対象者:義肢装具士 10名(内 回答者7名の合計)

通常の義足のユーザー数とスポーツ義足の適応者

	大腿義足ユーザー(人)	適応者	一番多そうなユーザー
A		2~3%	30歳代
B	100	5%	30歳代
C			10~20歳代
D	99	4%	10~20歳代
E	200	1%	20歳代
F		0.2%	20歳代
G	200	5%	20歳代
H	150	5%	30歳代
I	61	15%	20歳代
J	79		

	下腿義足ユーザー(人)	適応者	一番多そうなユーザー
A		10%	30歳代
B	200		20歳代
C			10~20歳代
D	125	9%	10~30歳代
E	300	1%	30歳代
F		0.5%	10歳代
G	400	10%	20~30歳代
H	300	10%	20歳代
I	65	10%	20歳代
J	130	10%	10~20歳代

集計結果

大腿/下腿	義足製作本数	適応比率	適応人数
大腿義足	810	4.6%	38
下腿義足	1,320	7.9%	104

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

大腿義足走行動作に関する研究

研究分担者 鈴木光久、芥川雅也、山本篤

研究要旨：本研究では大腿義足走行の動作解析を行う。

A. 研究開発目的

スポーツ義足トップアスリート選手の走行、走幅跳びの動作解析を行い、定量的なユーザ情報を得る。

B. 研究開発方法

和歌山県立医科大学 みらい医療推進センター げんき開発研究所にて、人工気候室・動作解析装置（14 カメラ 3D 動作解析、床反力計*6 枚）を用いて計測、動作解析を行う。

被験者情報

Y 様 男性 28 歳 左大腿切断中断端 北京パラ走幅跳 銀メダリスト。100m,200m,走幅跳の選手。日本記録保持者。バイク事故による切断。



図 1.被験者 Y 様

実施内容

- ・血液採取
- ・形態計測
- ・動作分析：三次元動作解析、床反力計測
- ・バイオフィックス：筋力測定
- ・トレース

設備

人工気候室

- ① 設定温度 -20 度～+50 度 精度 ±0.1 度
- ② 設定湿度 30%～95% 精度 ±5% 以内
- ③ 幅 5×奥行 4.5×高さ 2.4m あらゆる運動負荷シミュレーションが可能
- ④ ノイズ対策完備。高度な電気生理学実験が可能
- ⑤ 医師と看護師常駐により様々な病態のものを研究とすることができる。

三次元動作解析装置は

- ① 200MHz 高速赤外線カメラ 14 台の 3 次元動作解析システム
- ② 床反力計 6 枚（1 枚あたり 40cm×60cm）
- ③ 200MHz 動画収録用 CCD カメラ及び動画解析プログラム
- ④ 8ch 表面筋電計
- ⑤ 筋力計

⑥ スポーツ医学専門医、トレーナー、コーチ、理学療法士、作業療法士が常駐。医学的観点からの解析が可能



図 2.三次元動作解析

C. 研究結果

・形態計測：

(数字は 距離 mm(省略有り)- 囲寸 cm)
 身長 167.4、体重 57.9、胸囲 88.5、左上腕 31.7、左上腕肘屈曲 32.1、右上腕 32.5
 右上腕肘屈曲 32.5、右前腕 27.4、左前腕 26.9



図 3.形態計測

腓足（右）

- ・膝蓋骨上縁から
0-48.1,50-41.5,150-53

- ・膝蓋骨中心-大転子 340,
- ・大転子から
100-60.9,150-54.8,200-50.7,250,44.8
- ・下腿三頭筋最大囲 39.5

切断側（左）

- ・大転子から
100-45.6,150-40.6,200-36.3



図 3.断端計測

半分程度の幅跳びの踏み切りでおよそ 450kgf の床反力、踏み切り時にはつま先が 90mm 撓んだ。



図 4.走幅跳び踏切り



図 5.測定結果

Units	Newtons			mm			Newtons/cm
	Fx	Fy	Fz	x	y	z	MC
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	-21.48	15.63	14.65	739.40	1169.80	0.00	1.2734 38
4	2.93	0.00	11.72	-457.00	995.00	0.00	-6884.77
5	-43.95	1340.82	4263.20	142.32	1357.76	0.00	-9133.53
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

図 6. 測定結果

走路が短い為、全力での測定は不可能であり、半分程度の幅跳びの踏み切りであった。

天井も床反力計の為、床が底上げされており天井が低い(当該部分は天井を上げる対策があるが低い)。

また、スターティングブロックがない等、実際の競技の再現性は得られなかった。

足部カバーについて

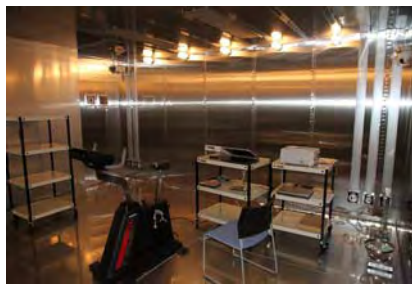
重いため不要、音の質は変わった、限りなく余分なものは付けたくない(追い風で使用)という評価であった。

Motion Analysis Corporation 社の EVa Real-Time Software (EVaRT) という動作解析ソフトでマーカーデータは Vicon デモバージョンビューワーで見える(計測など)ができる。

D. 結論

走行、走幅跳びと実種目の三次元動作解析を行った。今後さらなるユーザの調査を行い、諸動作への追従、負荷条件等、開発機器へのフィードバックに繋げる。

動作解析写真資料





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

耐水下腿義足（サンダル様の下腿義足）に関する研究開発

研究分担者 鈴木光久、芥川雅也、大塚 滋

研究要旨：本研究では耐水性のある義足を開発する。ナイロン樹脂のレーザー焼結成型にてラピッドプロトタイピングでのソケットを試行するためのデジタルデータ作成には、モデラーには FREEFORM、データ処理に RapidForm を試用する。

A. 研究開発目的

切断者の運動環境において、運動後のシャワーや入浴、水泳時のプールサイドでの移動（水の中では義足を外す場合が多い）など水が足にかかる場面が多い。通常の義足は耐水性がないため、常に義足が水に浸からないように留意が必要である。シリコンライナー吸着式などに代表される骨格構造義足は特に、外装に発泡ウレタンを使用しているため、水にぬれるとスポンジのように吸水してしまうため水にぬらすことができない。耐水、簡易機能、着脱容易を意図した簡易型の耐水義足を検討する。入浴やシャワー短期の立位、短距離移動での用途が期待できる。

B. 研究開発方法

近年、3次元プリンタや創成期のラピッドプロトタイピング機の価格が下降傾向にあり中小企業にも導入されている。熔融樹脂製のラピッドプロトタイピング機のように、今後レーザー焼結法造形装置の価格や粉体樹脂原材料価格が下がり、性能が進化すると本格的な生産システムとして成立することが予測できる。これらのダイレクト・デジタル・マニュファクチャリングが普及することで、一品一様の工芸品や義足のソケットなどが工業製品で起きたデジタル製造技術の応

用の恩恵を受け、現在より効率的に安価で、廃棄物を減少させるよう環境に適合して生産される。

3次元デジタイザは、近年光学カメラ方式を中心に、多くの企業や研究者らにより様々な計測方式で開発を進められ市販品も種類が増えてきた。市販品の計測精度は部品検査や測定に使用できるまで高精度な形状データを取得することが可能である。高度な精度が得られる3次元デジタイザは、リバースエンジニアリングや従来デジタルデータ化が困難であった民芸品や文化財などの保存目的などにも利用されている。工業用途でも金型やプレス品の寸法検査などにも活用されるようになってきた。数100 μ m程度の精度で測定可能な中程度精度の市販品であれば義足ソケットの形状測定には十分に実用的な精度が得られると予測される。

3次元造形機は、紫外線硬化樹脂を用いた光造形ラピッドプロトタイピング機や熔融樹脂を吐出し造形する方式の成形機など様々な材質、方式で実用化されている。そのうち、レーザー焼結法は、熱可塑性粉末材料をレーザーの熱で、一層ずつ焼結（融着）しながら造形する手法である。材料の選択範囲が樹脂（ナイロン・ガラス入りナイロン・アルミ入りナイロン・ポリスチレン）、金属（ブ

ロンズ系・鉄系)、鑄造用砂と、幅広い素材の中から選択可能である。レーザー焼結法でナイロンを焼結材質に選択することにより積層型のラピッドプロトタイピング機のうちで最も強度の高い樹脂成形が可能である。EOS 社レーザー焼結型ラピッドプロトタイピングシステムのようなレーザー焼結法造形装置により、ナイロン樹脂をレーザー焼結生産された部品が、最終製品である商品の歯科インプラントや補聴器などに実用化されている。



図 1. EOS 社レーザー焼結型ラピッドプロトタイピングシステム

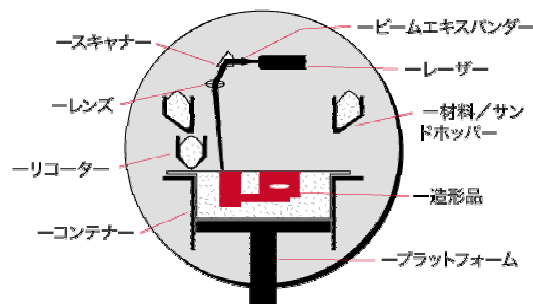


図 2 EOS 社レーザー焼結型ラピッドプロトタイピングシステム模式図

本研究では、市販の 3 次元デジタイザを義足の採型への適応可能性を探る。また、デジ

タイジングした (採型) データを 3D 形状編集ソフトウェアによる、義足製作プロセスのモデル修正作業への適応可能性を探る。モデル修正後データから EOS 社レーザー焼結型ラピッドプロトタイピングシステムを利用したレーザー焼結法造形装置によりナイロン樹脂を造形し、義足のソケット及び構造部材を一体成型することで、耐水性のある義足の成形が可能である。本研究では上記工程で試作可能な、サンダル感覚の耐水義足製作を検討する。

1.1. 概念モデルの作成

第 1 次試作として、殻構造義足の構造をモチーフにして、足形状を市販のデジタイザにてスキャンして、3D-CAD にて手動で概略下腿義足寸法となるようにトレースし、レーザー焼結法造形装置にて試作した。

足首上部の蜂の巣様の穴は、レーザー焼結後に内部のパウダー状の樹脂粉末を抜き取る為にモデリング時に作成した。

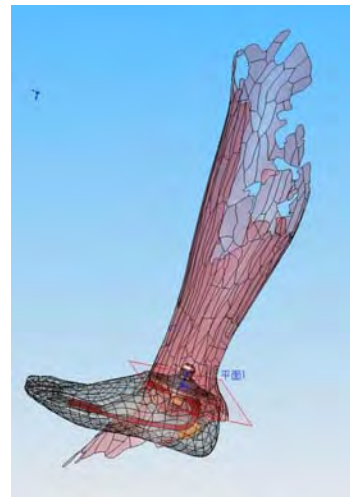


図 3. スキャンデータ

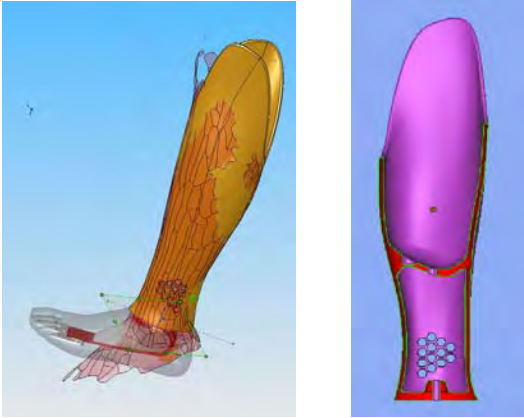


図 4. トレースモデル作成 図 5. モデル断面



図 6. 概念モデル

1. 2. 試作品のコストと課題

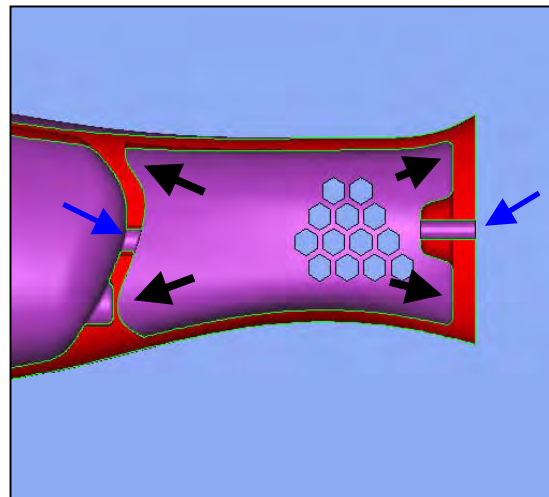
生産性を高めるためにはレーザー焼結法造形装置の製法の特長から 1 工程で高さ方向に低くなる部品の配置をして、多数個を同時に成型することが成型密度を高めることにつながり、原料歩留まりの向上にもつながることから最も考慮すべき要素である。

成型可能な範囲に可能な限り密度を高く成型するように、隙間に子部品を同時成型することや、部品分割して後工程で接着や熱溶着する工程も量産生産に於いて十分な考慮が必要である。

第 1 次試作の形状での課題は、袋形状になっている部分の未硬化残留樹脂粉が除去しきれないという課題がある。青矢印部分から

粉を除去するため、黒矢印部分に粉が残ってしまい、完全には取り除くことができない。高さ方向に 125mm、長手方向に 420mm の寸法から、成型範囲で効率よく組み合わせることができないなどの課題がある。

図 7. 未硬化残留樹脂粉の残る部位（黒矢印）



2. 義足ソケット製作のための 3 次元データモデル修正手法

3 次元デジタルデザイナーによる採型データを義足ソケット製作に活用するには、切断端の骨隆起、筋、腱、傷、軟部組織などの状況に応じて形状を編集する必要がある。通常のソケット製作工程のモデル修正に相当する、データ処理をする為に、3 次元デジタルモデリングにより得たデータの処理手法を確立する。

2. 1. 市販ソフト:FREEFORM(フリーフォーム)

FREEFORM (フリーフォーム) はサーフェス、ソリッドではなく粒子 (ボクセル) による表現技術を利用し、デザイナーが感覚的に表現したい形状や、細部にわたる高度な表現要求に対応することができる 3 次元モデラーとして、宝飾や玩具、陶器、アミューズメント、キャラクターなどのデザイン性の高い

分野をはじめ、自動車や家電メーカーのデザイン部門などに導入されている。

FREEFORM は、3次元デバイス PHANTOM（ファントム）を3次元マウスの様に扱い実際にモデルに触っている感触を得ながらモデルを生成することの出来る3次元デジタルクレイモデラーである。これまでのマウスやキーボードの作業だけでは不十分だった自由な操作により、スケッチ画や写真などの2Dイメージからスムーズに3次元モデルを作り出すことができる。

ペン型インターフェースを使用してパソコンの画面の3次元モデルに触れると、手元に触感が伝わってくる「PHANTOM」は従来の視覚的な要素に加え、触覚を使うことでコンピュータ上のデザインモデルを3次元的に認識することが可能である。従来のCADに存在していた、機能的制限、技術的制限を取り除き、モデリングが困難とされていた形状をFREEFORMで表現することが可能であり、本研究の課題である義足ソケットの陽性モデルのモデル修正用途にも活用することが可能である。

また、内部にサーフェス、ソリッドのCADエンジンを搭載しており、ボクセルだけでは苦手とされる数値制御なども可能となり、機械設計などにも適用できる。

新バージョンで強化された自動面作成機能により、既存の3次元設計CADへのモデルのフィードバックやコンセプトモデルから設計、試作、量産金型までをコンカレントのデジタルワークフローを実現できる。

本研究で今仙技術研究所に導入したFREEFORMModelingPlusは、サーフェスデータ作成、モールド機能を装備する。触感型デバイスをインターフェースにした、カーネルにVoxel（ボクセル）とParasolidを搭載

した3次元デジタルクレイモデラーである。したがって、ボクセルモデリングでモデリングしたデータに対し、素早くサーフェスを生成が可能で、3次元CAD/CAMとの連携がスムーズに行なうことが可能である。



図8. FREEFORM 操作用3次元デバイス PHANTOM（ファントム）



図9. FREEFORM 操作画面

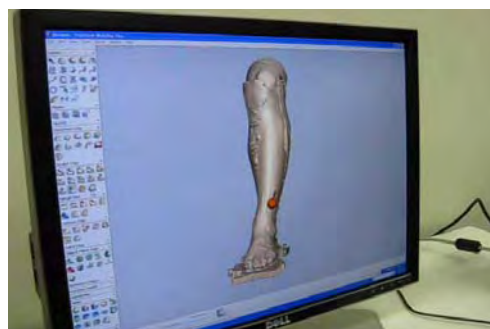


図10. FREEFORM 操作画面

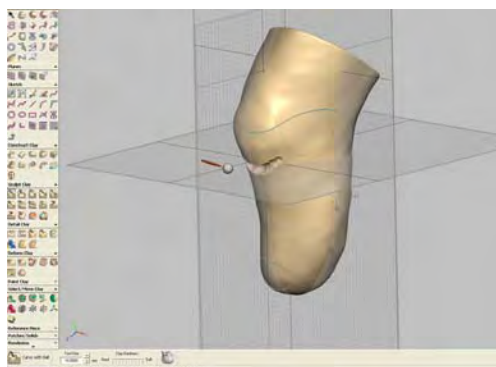


図 11. FREEFORM 操作画面

2. 2. FREEFORM によるモデル修正

三次元デジタイザにて採型したの断端のデータを、FREEFORM によりデータ編集（モデル修正）を試みた。PHANTOM の操作に慣れが必要である。3次元ポインタや力覚フィードバックにより2次元画面であるが、実用的な操作が可能である。削りや盛りの向きが調節しやすいことが2次元マウスとは大きく異なる。やり直しが可能で汚れないことは大きな長所である。

切断者の断端計測データを合成し、実際のソケットを想定してモデル修正を FREEFORM で行った。

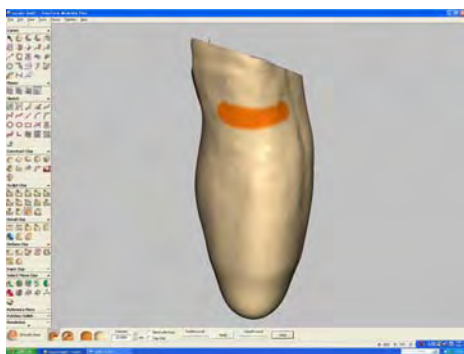


図 12. PTB バーの削修正

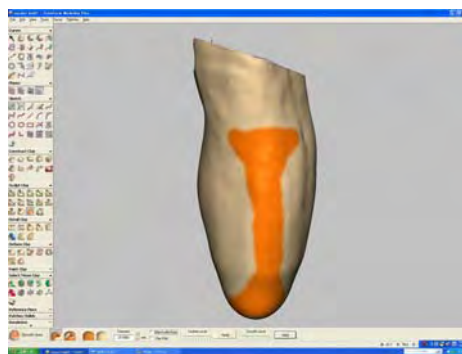


図 13. 脛骨稜、骨端の盛修正

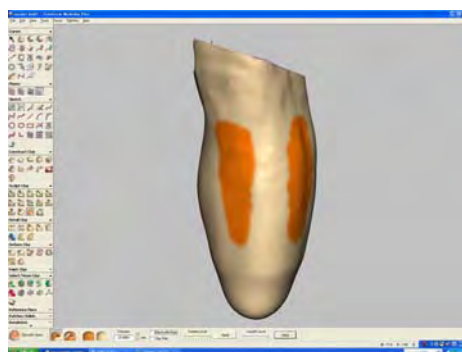


図 14. 脛骨粗面と前脛骨筋の軽度削修正

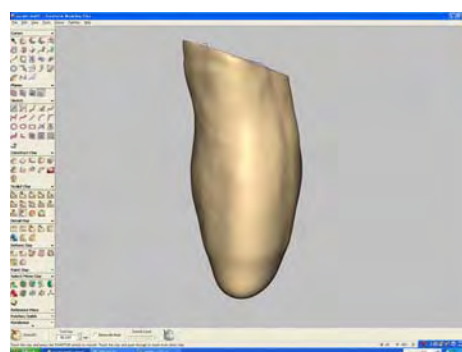


図 15. モデル修正前

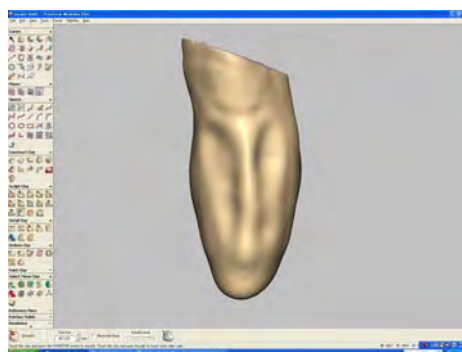


図 16. モデル修正後

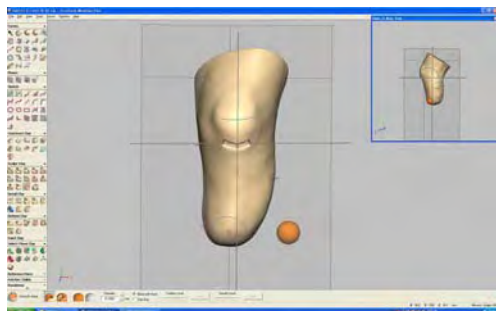


図 17. FREEFORM によるモデル修正
(前額面)

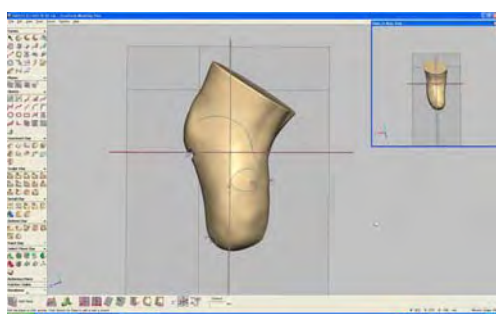


図 18. FREEFORM によるモデル修正
(矢状面)

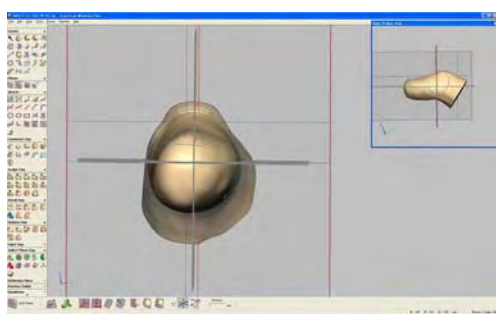


図 19. FREEFORM によるモデル修正
(下面)

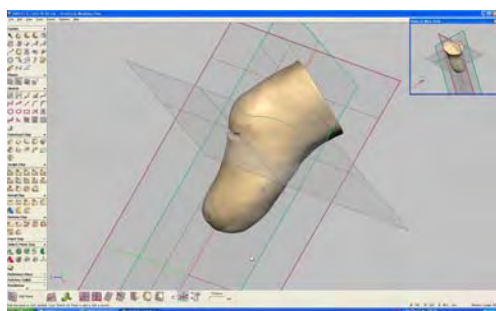


図 5.13 FREEFORM によるモデル修正
(斜視図)

2.3. FREEFORM と 3D-CAD データ変換

FREEFORM のインターフェース PHANTOM の直感的な操作性と、トリミングラインの表現、面以外の編集機能に大きな実力の差があり、FREEFORM のほうが極めて効率的な 3 次元データの編集（モデル修正）が可能になる。

C. 研究結果 サンダル義足試作品の製作

設定したソケット形状を概念モデルに転写し、サンダル義足試作品を設計した。簡易に着脱が可能で、室内でイスに腰掛けリラックスする際には、圧迫を緩めることが可能なバンドを設けた。後方からパッド（CG では省略）を使う。

側壁は、ルーズなフィッティングでも左右の安定が得られるように高くした。

外観よりも軽さや立位姿勢での小刻みな移動動作を意識して、農耕用義足の形状を参考に単純な形状とした。足裏には、床や浴室でのスリップや床面への傷防止の為のゴムなど軟質材料を貼り付けた。バンドの固定具などにも一切金属を使用しない、耐水素材を使用した。



図 20 サンダル義足試作品 CG



図 21 サンダル義足試作品 CG

別紙資料 サンダル義足試作品 CAD 図面、
サンダル義足試作品写真

D. 考察

現在、義足サイズを成型できる機械はドイツの EOS システムが候補となる。システムの価格は、1 億 4 千万円と高額である。同様規模のアメリカ製の装置もある。

また、原料であるレーザー焼結法造形装置用のナイロンの粉体も高額であり、およそ 1kg=1 万円である。成形後は成形範囲内の容量すべてに粉体を充填された状態になるが、硬化していない粉体はリサイクル可能である。しかし、リサイクル材の混入比率は 2 割以上高められない。つまり、一度の成形での成形部材の密度を高める生産の工夫が必要である。

また、未硬化の原料であっても、硬化した成形物付近の成形時の熱影響を受けた部分の原料はリサイクルに適さない。

義肢の市場のみで設備投資を回収することは困難であるため、外注業者による製作が選択肢となる。設備・原材料が高い為外注加工費が高いため。最適製作個数は 2 ヶである。

ソケット形状を前面のみにすることで、歩留まり効率が上がるため、最適製作個数は 6 ヶである。

ただし、最低製作個数が 2 本であったことが、6 セットとなり 6 人の患者からの受注がないと製作できないという条件が発生する。1 個からのオンデマンド生産は不可能になるという別の問題を抱えることになる。

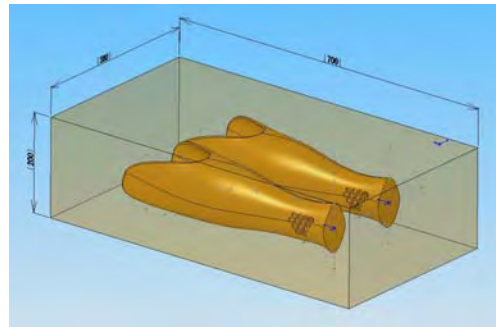


図 8.1 概念モデルの造形エリア内最適製作配置

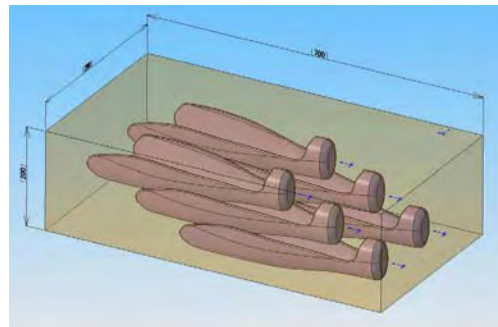


図 8.2 サンダル義足試作品の造形エリア内最適製作配置

今後、レーザー焼結法造形装置の価格や粉体樹脂原材料価格が下がり、試作者者の費用が下がることが予測できる。

サンダル義足のソールの外注加工費は、設備や原料の価格が大きな問題であり、人件費に係る部分が小さい為、普及数が規模の経済になり現在の高価な樹脂成形クラスの価格帯まで下がることが期待できる。

E. 結論

本研究の位置づけとした、サンダル感覚の耐水義足の製作プロセスを提案した。

製作プロセスのうち技術的及び経済的課題が、3次元デジタル機器の選択、3次元デジタルによる切断端の採型（3次元デジタルによる切断端の採型（3次元デジタルによる切断端の採型）手法確立、採型した3次元データの義足ソケットに向けたモデル修正（データの編集）手法確立、モデル修正後のデータと3D-CADや試作造形市場・機械加工市場でのデータ汎用性相互互換性確認、レーザー焼結法造形装置においてコスト低減に向けた設計方策など多岐にわたった。

1. 3次元デジタル機器の選択に関しては、市販品を試用し、本研究の切断端の採型に十分な精度や実用性があることを確認した。

2. 採型した3次元データの義足ソケットに向けたモデル修正手法確立においては、市販ソフトを用いて検討した。モデル修正に必要な3次元データの形状編集手法確立した。

3. 現在EOS装置&原料が高価なため、事業化・実用化は困難である。

サンダル義足試作品 CAD 図面

表面粗さ

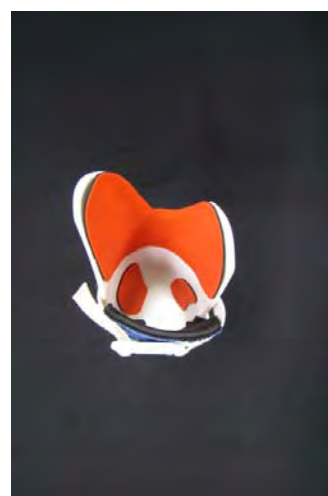
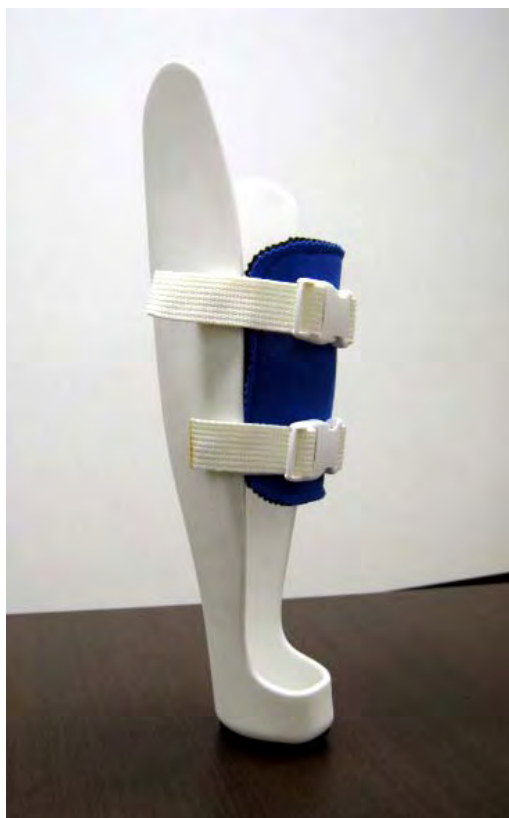
▽▽	普通寸法差	C 級		
区分	A ±	B ±	C ±	
1 以下	4 以下	0.05	0.1	0.3
4 以上	16 以下	0.07	0.2	0.5
16 以上	63 以下	0.1	0.3	0.7
63 以上	250 以下	0.2	0.5	1.2
250 以上	1000 以下	0.3	0.8	2.0

角度公差 ± 1°

材料	PA	認可	承認	担当者	作業
SCALE	SCALE 2.5	数量			鈴木
検印番		名称	テストシエル		
材料コード		回数			100108
型式	LAP00	訂 号			
訂 番		改 訂			
符号		年月日			
		担当			
					M-80594
					A3

株式会社 今仙技術研究所

サンダル義足試作品写真





モノコック義足作成フロー

モノコック義足 作業内容

スキャンデータを、**Rapidform** で位置合わせマージをする。



FreeForm で穴埋め、不要な部分のカット



全体をスムージング、形状の微調整



中用データの形状修正



各データの位置合わせ、最終形状への作り込み



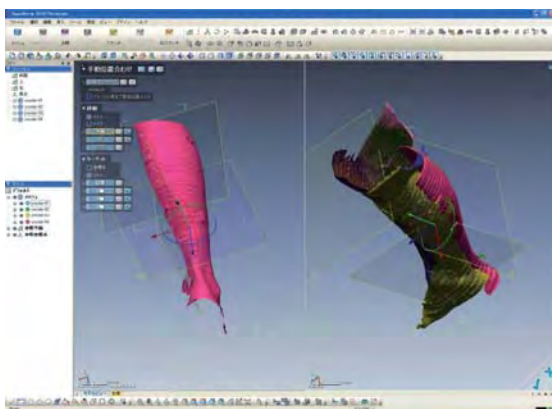
データを結合して形状の微調整



CAD データと **cly** データの位置を確認後出力

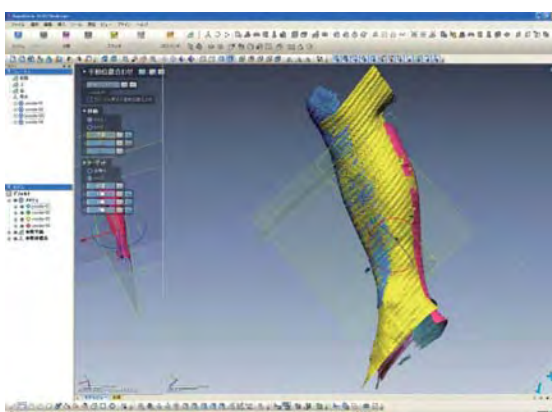
※ スキャンデータは、外用と中用の2種類で作業
(各データのインポートまで同じ工程です)

作業時間 7 時間



スキャンデータを位置合わせします。
今回は、スキャンデータの誤差が大きいため
手動で位置合わせを行います。

使用コマンド
ツール→スキャンツール→位置合わせ

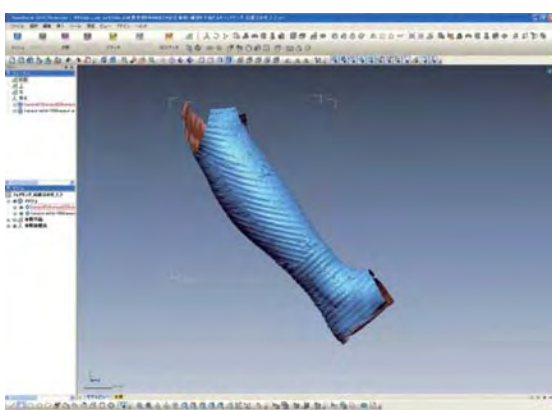


マージをした時になるべく綺麗なデータにする
ために、形状に関係のないデータを削除し
ます。

(データを選択して delete) スキャンデータを
位置合わせします。

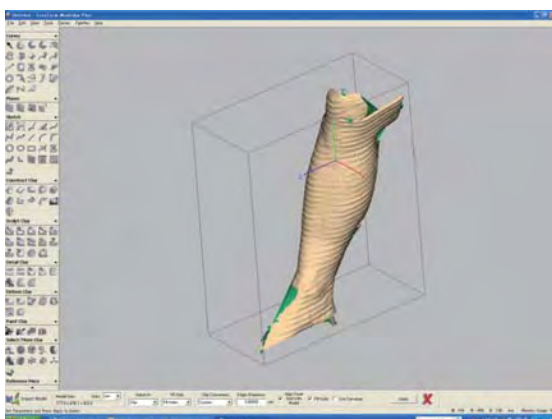
今回は、スキャンデータの誤差が大きいため
手動で位置合わせを行います。

使用コマンド
ツール→スキャンツール→位置合わせ



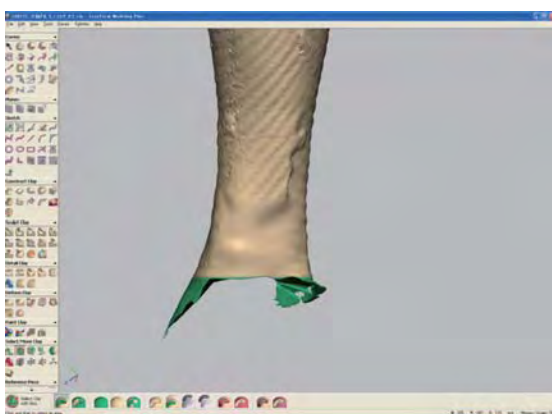
マージをして一つの STL データにします。

使用コマンド
ツール→スキャンツール→ポリゴン化/ 合成
中のデータも同じように、位置合わせをし
て形状を綺麗にし、マージします。



マージしたデータを **FreeForm** にインポートします。

インポートすると穴が開いている所を自動で埋めます。(緑色の部分)



最終形状に必要な箇所を削除します。

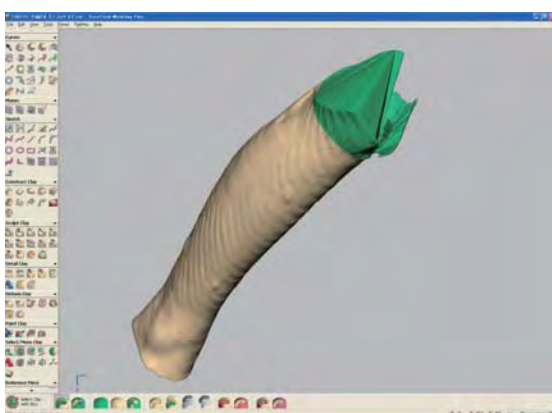
FreeForm にデータをインポートした際に大きな穴が開いていると無理やり埋め、形状が崩れます。

インポートする前に穴を埋めるか、形状に関係の無い所なら削除することもあります。

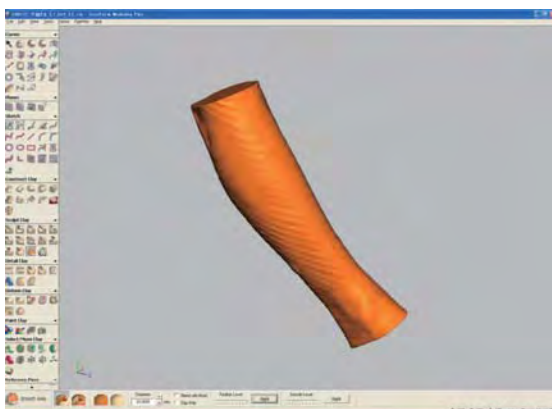
(今回は形状に関係が無かったので削除しました。)

使用コマンド

select/MoveClay → **SelectClaywithBox**



必要のない箇所をボックスで囲みカットします。

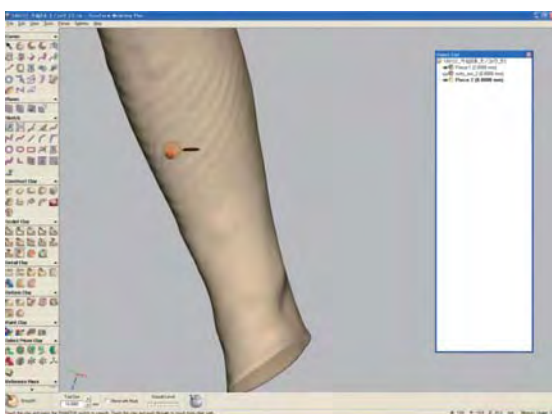


全体的にスムージングをかけます。

使用コマンド

SculptClay → SmoothAre

SelectAll で全体を選択し、SmoothLevel を調整し Apply」

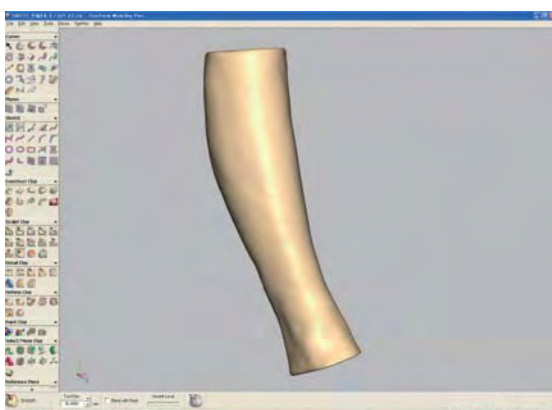


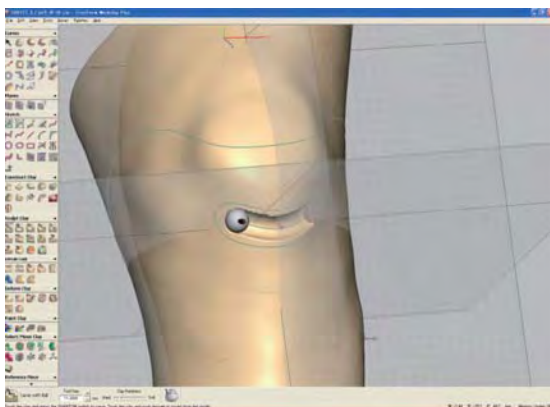
スムージングをかけても綺麗にならない箇所は個別にかけていきます。

表からだけでなく裏からもスムージングをかけます。

使用コマンド

SculptClay → Smooth



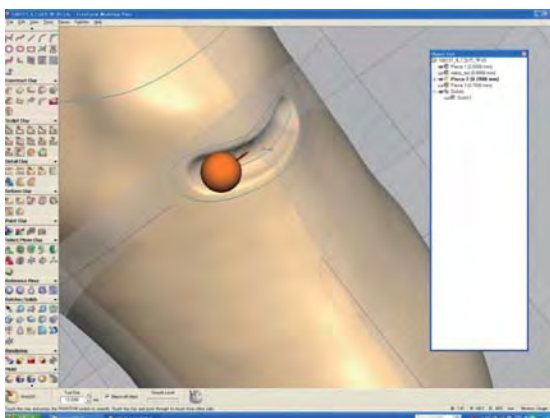


中用のデータを修正していきます。

使用コマンド

Sculpt Clay → **Carve with Bll**

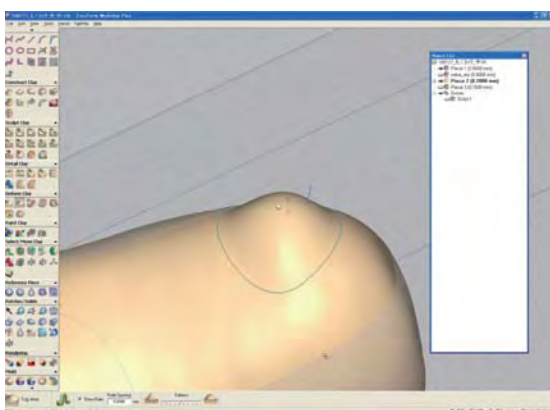
カーブに沿ってミゾを掘り込んでいきます。



掘り込んだミゾをカーブに沿って滑らかにしていきます。

使用コマンド

Sculpt Clay → **Smooth**



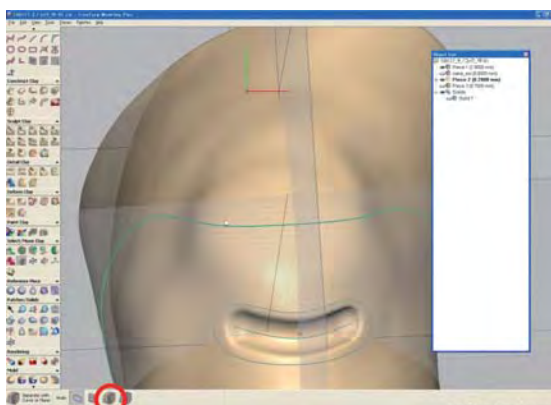
カーブの内側を外側の曲率に合わせて形状を持ち上げます。

使用コマンド

Deform Clay → **Tug Area**

持ち上げたい部分のクレイ上のカーブを選択し、**ShowRuier** にチェックを入れ持ち上げる量を入れます。持ち上げたい中心にカーソルを合わせ引き上げます。

Fullness で変形の度合いを変更できます。



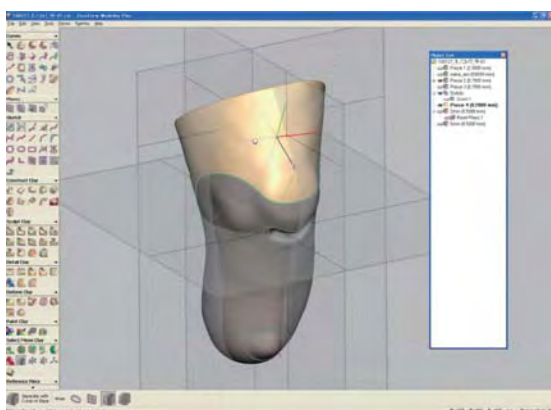
カーブに沿ってクレイを切り離します。

使用コマンド

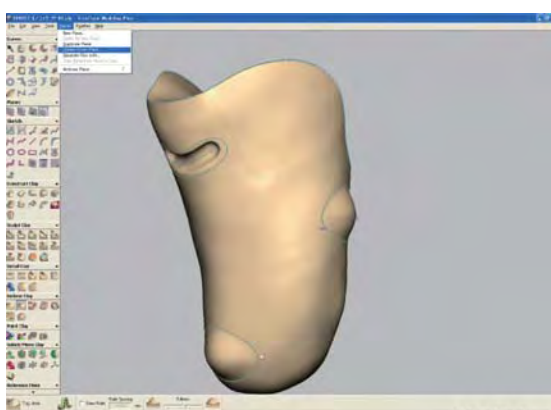
Select/Move Clay → Separate with Curve or Plane

切り離したい部分に描いたカーブを選択し、次に下の方にある左から3番目のコマンドを選択します。(赤丸)

コマンドを選択し、カーソルをクレイにあて、選択します。



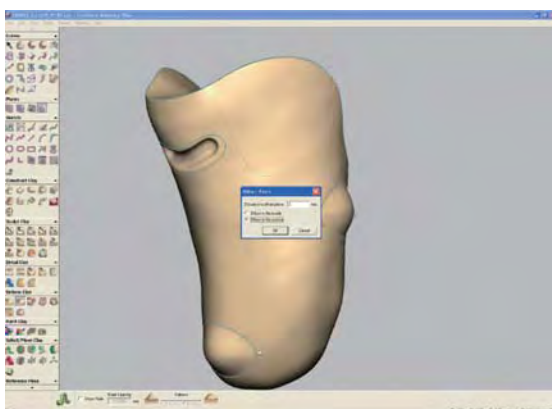
クレイが切り離されました。



次にオフセットピースを作ります。

使用コマンド

Pieces → Create Offset Piece

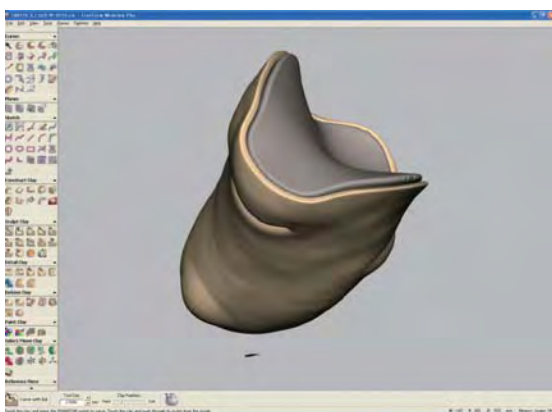


画面の真ん中に『Offset Piece』という項目が出てきます。

そこにオフセットしたい厚みと、オフセットしたい方向を選択し、キーボードの **Enter** キー

を押します。

(今回は、外側に 2 ミリと 7 ミリのクレイを作ります。)

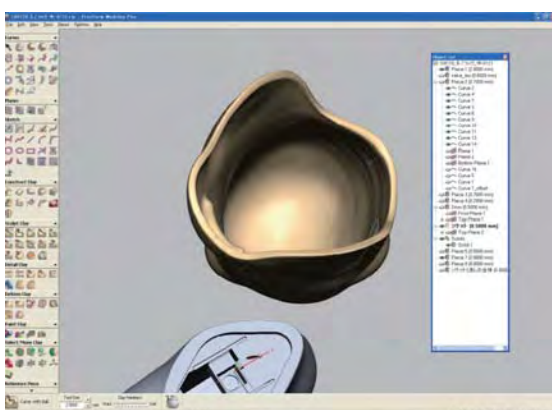


先ほど、7ミリオフセットしたクレイを2ミリオフセットしたクレイでブーリアン(差)をします。

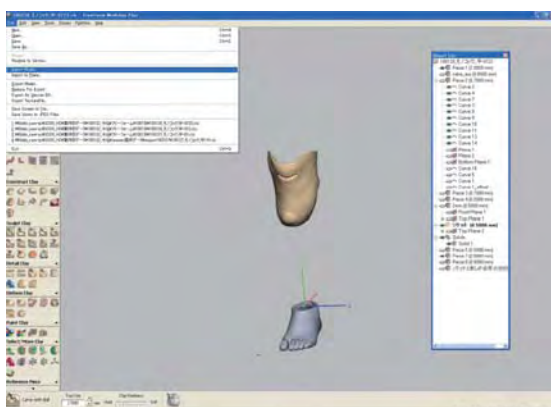
使用コマンド

オブジェクト→2ミリオフセットしたクレイ

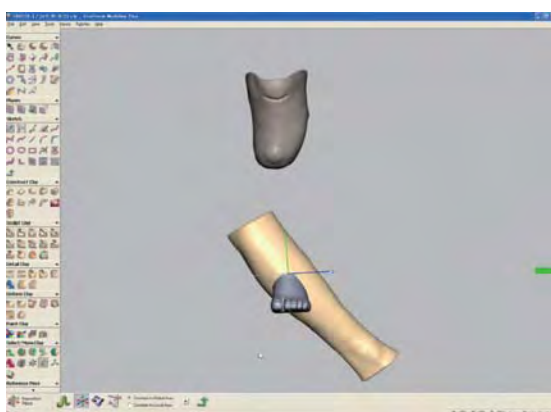
右クリック→ **Remove Clay From** →5ミリオフセットしたクレイ



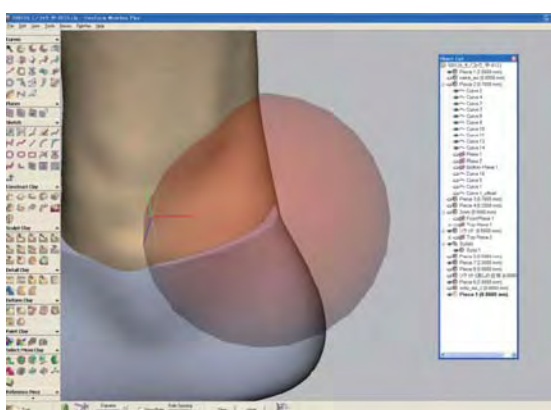
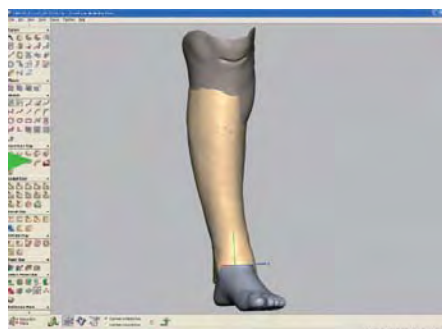
リムーブ(ブーリアン)が出来た状態です。



『File』から『Import Model』でスムージングをかけたモノコックの外の足をインポートします。



『Select/Move Clay』の『Reposition Piece』を選択し、インポートした足のクレイを移動させていきます。

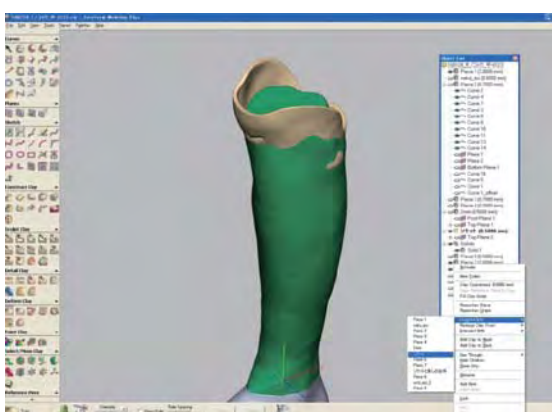
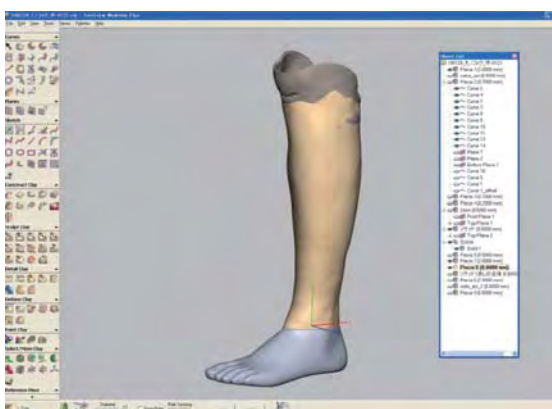
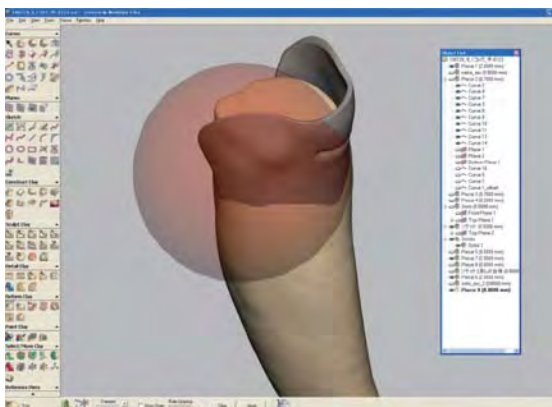


CADデータの足やソケットの形状に合わせていきます。

使用コマンド

Deform Clay → Tug

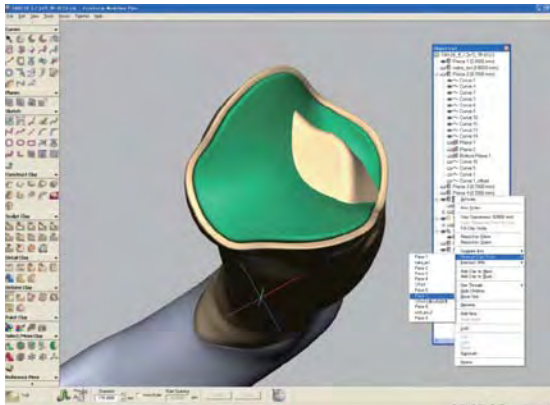
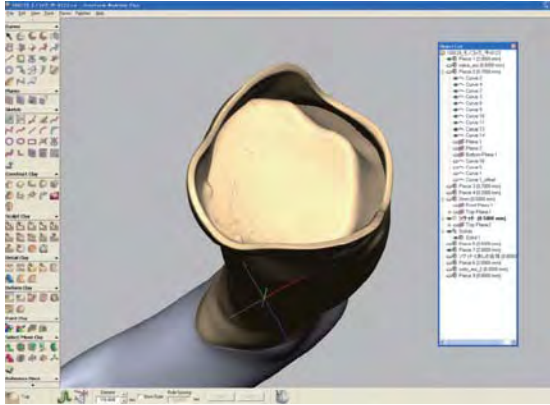
テンキーの+と-でツール大きさを調節して合わせていきます。



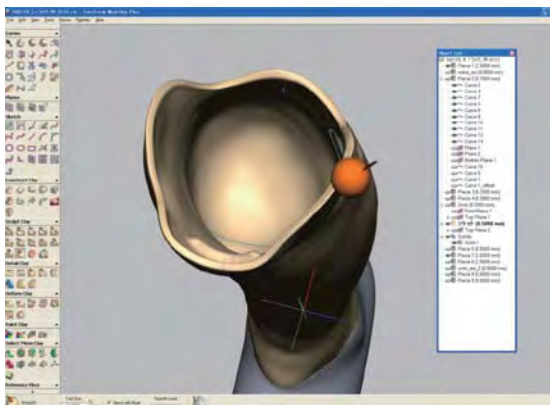
形が合ったソケットと足を合体させていきます。

使用コマンド

オブジェクト→足のクレイを右クリック→
Combine Into →合わせたいクレイ(ソケット)

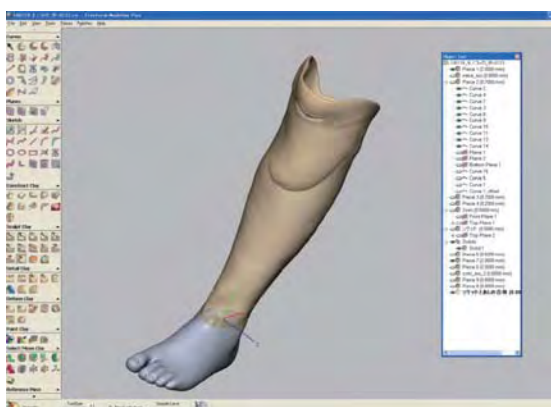


合わせたことにより、ソケットの中が埋まっ
てしまいましたので、先ほどと同じように、
2ミリオフセットしたソケットのクレイでリ
ムーブします。

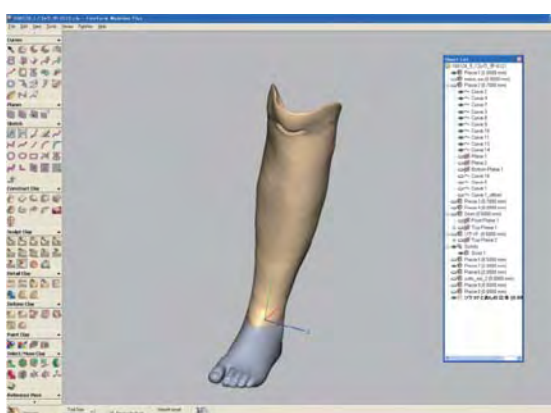


角を丸めていきます。

使用コマンド
Sculpt Clay → Smooth



モデルが出来上がっているかどうかをキーボードの『D』キー(シースルーショートカットキー)を押して確認します。



完成です。

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

フェアリング（スポーツ用途の外装カバー）に関する研究

研究分担者 鈴木光久、大塚 滋、芥川雅也

研究要旨：スポーツ用義足における、コスメチック面、着衣の保護、他人の接触などの諸問題を解決することを目的に外装カバーの要求がある。本研究では、その製作方法について検討した。

A. 研究開発目的

スポーツ義足の使用において、コスメチック面、着衣の保護、他人との接触などの問題があり、外装カバーの要求がある。

また部品単体でもスポーツ用義足では雨や埃、競技によっては雪などにさらされる事も多く義足に適した外装カバーの要求はスポーツ義足の普及に伴い高くなることが予測される。

本研究では、スポーツ用義足に有用とされる外装カバーの諸問題（外装、着衣保護、接触）を解決できる形でその製作方法について検討し、試作を行う。

B. 研究開発方法

本研究で提案する製作手順を以下に示す

1. 三次元デジタイザによる概念外装モデルの製作
↓
2. リバーエンジニアリングソフト、クレイモデラーによる 3Dデータモデルの外装修正
↓
3. クレイモデラーによる外装カバーモデルの作成
↓
4. 造形装置による外装カバーの成形

※使用機器、ソフトウェア

1. 三次元デジタイザ 名古屋工業大学 産業戦略工学専攻 梅崎研究室製
2. Rapid Form XOR、Free Form
3. Free Form
4. EOS 社 レーザー焼結型 RP システム

三次元デジタイザでは成人女性の下腿部を複数スキャンし、データの編集を行った（図1）。Rapid Formを使用し、データの結合を行い、Free Formを使用してデータの形状修正、外装カバーの形状をデザインした（図2、図3 ※詳細 別紙1）。

EOS 社 レーザー焼結型 RP システムで試作モデル(ナイロン樹脂)を製作した(図4)。

本製作方法では、リバーエンジニアリングにより採型、石膏などでのモデル製作などの時間短縮、その後の編集作業が容易となる。また製作方法でも複雑な形状でも型など必要なく短期間で製作が可能となる。

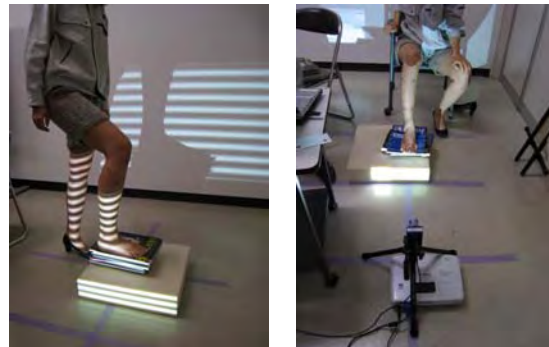


図1 三次元デジタイザによる採型

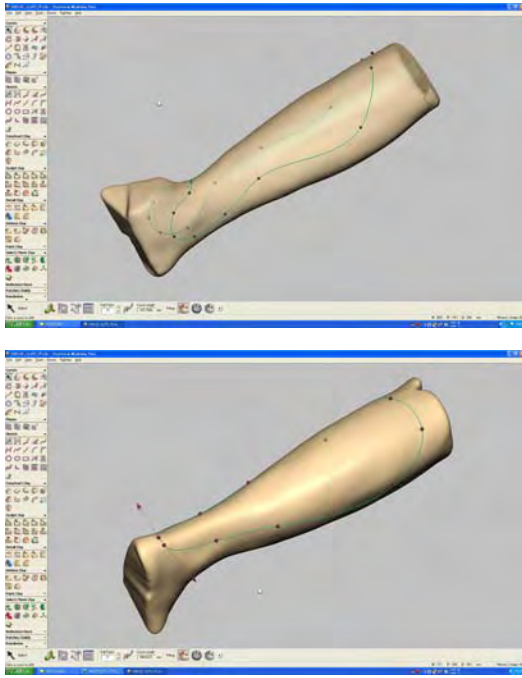


図2 Rapid Form と Free Form によるモデリング加工

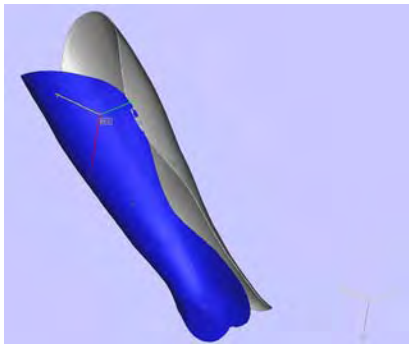


図3 中間データ

C. 研究開発結果

1. 達成できたこと

スポーツ義足用の外装カバーの制作方法を確立し、実際に試作を行った。

2. 達成できなかったことおよびその主な原因

実際にスポーツ用義足への適応を試みることはできなかった。しかし今回の研究は制作方法を確立することが主であり、実使用については後の研究、開発に委ねる。



図4 RP システムによる造形

D. 考察

スポーツ義足の外装カバーの製作方法について研究を行った。

三次元デジタイザによるリバースエンジニアリングではこれまでの一般的な製作方法（人体の採型や基本モデルの製作）と比較し、工数、製作時間の短縮が期待できる。また、対象物（特に人体）の複雑さによらずデータへの落とし込みが容易であり、微妙なモデルの変更、編集などの作業も容易になり、その活用の幅は多岐に渡る。3D デジタイザの利便性から、患者が病院、義肢製作所などに出向くのではなく、宅配のような感覚で採型に伺うサービスなどへの展開も考えられる。

製造方法では、RP 機を使用することで、短期間で製作することが可能であり、形状によらず製作することが可能となる。

この製作方法を確立することで、スポーツ義足を使用する人の希望する形状、または需要を満たしたカバーの製作が可能になると考えられる。また日常用義足でも健足側をミ

ラーリングした対象な外装を簡単に作成するなどの活用が期待できる。

E. 結論

スポーツ用義足の諸問題を解決するための外装カバーの製作方法を確立し、試作を行った。

今回、検討した製作方法によりこれまでの採型から製作などの一般的な工程と比較し、熟練度を問わず希望する形状を短期間で製作できることが可能となった。

三次元デジタイザはその利便性から人体などの複雑な形状をスキャンすること、場所、熟練度を選ばず採型できる手法としても有用である。

外装モデルの製作では Rapid Form、Free Form を使用することで、幾何学的な情報無しで感覚的に任意の形状を製作することが可能となった。

製作では RP 機を利用することで、型の製作などの余計な工程無しで複雑な形状を短期間で製作することができた。

問題としては、三次元デジタイザでは、システムをこの業界で広めること、製作面では成形の際のコスト、材料費の高価さが挙げられる。これらの問題が解決できれば実用の可能性はより高いものとなる。

今回確立した製作方法は今後、スポーツ義足、外装カバーの製作方法として大きな期待が持てる。

フェアリング作成フロー

フェアリング 作業内容

スキャンデータを、Rapidform で位置合わせマージをする。



FreeForm で穴埋め、不要な部分のカット



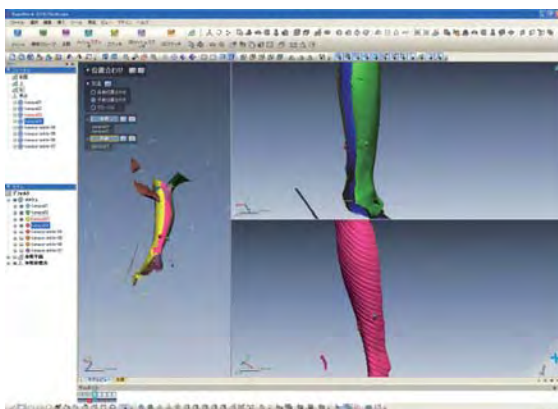
全体をスムージング、形状の微調整



最終形状への作り込み

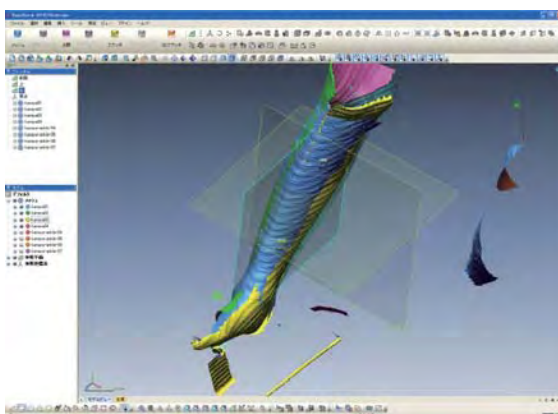
※ 最終形状は足の脛と脹脛の2種類を作成。両方とも同じ作り方です。

作業時間 16 時間



スキャンデータを位置合わせします。
今回は、スキャンデータの誤差が大きいため
手動で位置合わせを行います。

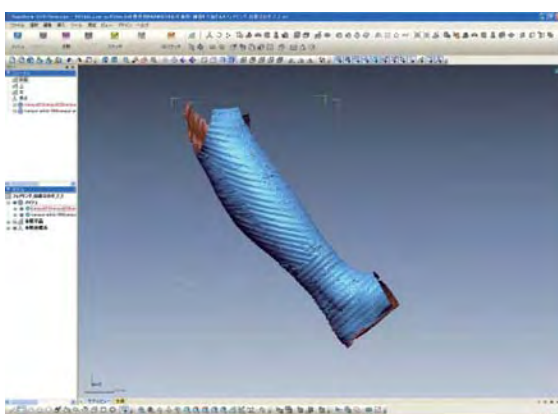
使用コマンド
ツール→スキャンツール→位置合わせ



マージをした時になるべく綺麗なデータにする
ために、形状に関係のないデータを削除し
ます。
(データを選択して delete) スキャンデータを
位置合わせします。

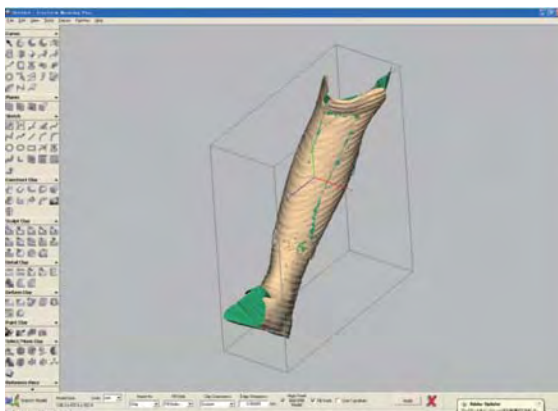
今回は、スキャンデータの誤差が大きいため
手動で位置合わせを行います。

使用コマンド
ツール→スキャンツール→位置合わせ



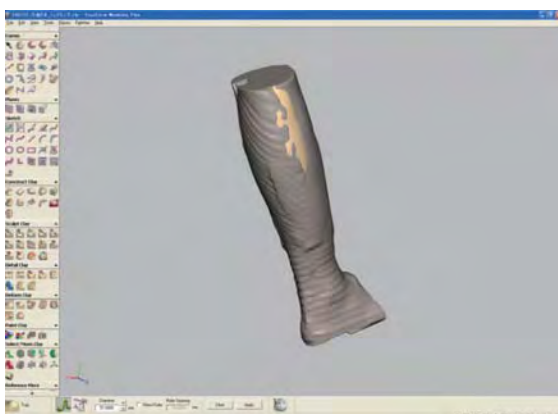
マージをして一つのSTLデータにします。

使用コマンド
ツール→スキャンツール→ポリゴン化/合成

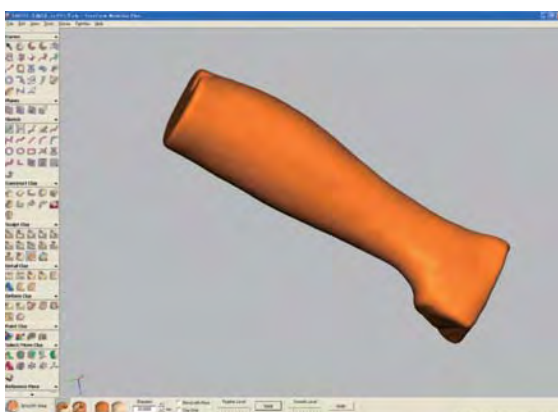


マージしたデータを **FreeForm** にインポート
します。

インポートすると穴が開いている所を
自動で埋めます。(緑色の部分)



自動で穴を埋めて形状が変わってしまった
箇
所にクレイを追加します。

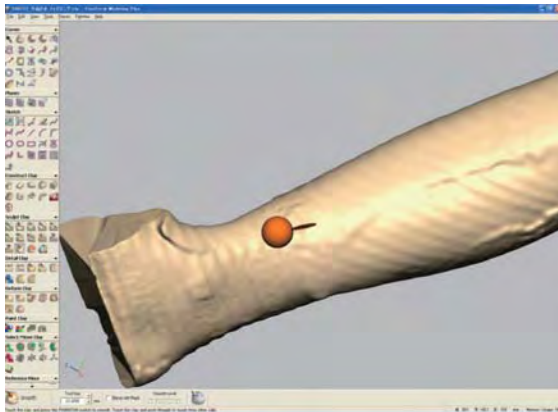


全体的にスムージングをかけます。

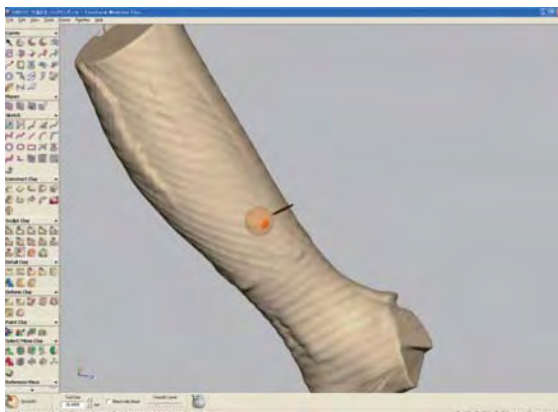
使用コマンド

SculptClay → **SmoothAre**

SelectAll で全体を選択し、**SmoothLevel** を
調整し **Apply**



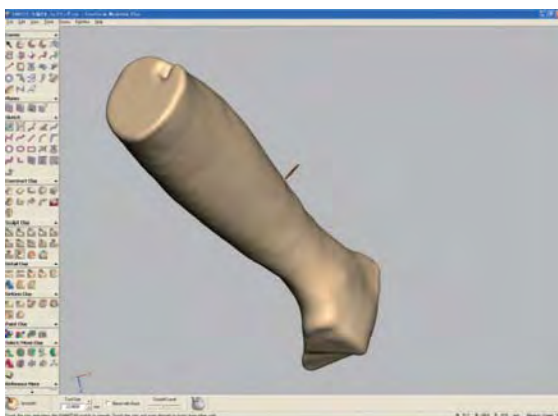
スムージングをかけても綺麗にならない箇所は個別にかけていきます。

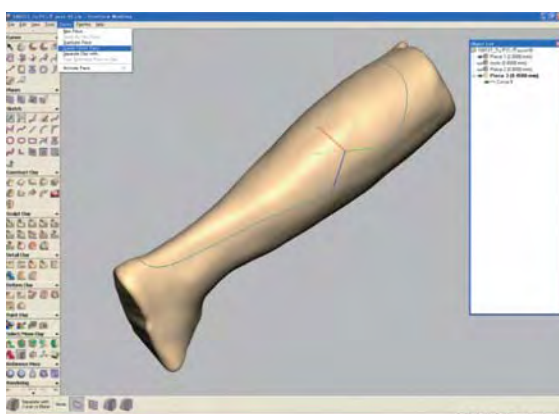


表からだけでなく裏からもスムージングをかけます。

使用コマンド

SculptClay → Smooth





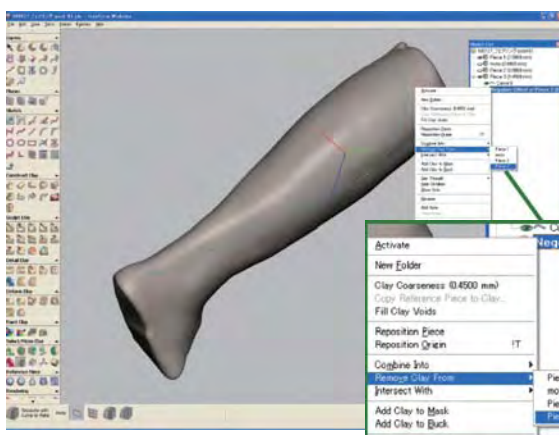
まず1ミリ中に入ったのオフセットピースを作成します。

『Piece』の中の『Create Offset Piece』を選択します。

『Offset Piece』という項目が出てきます。そこに、オフセットしたい厚みの数値と、オフセットしたい方向を選びEnter キーを押します。オフセットしたクレイでブーリアン（差）をします。

使用コマンド

オブジェクト→オフセットしたクレイ右クリック→ Remove Clay From →元のクレイ



次にクレイを2つに切り離します。

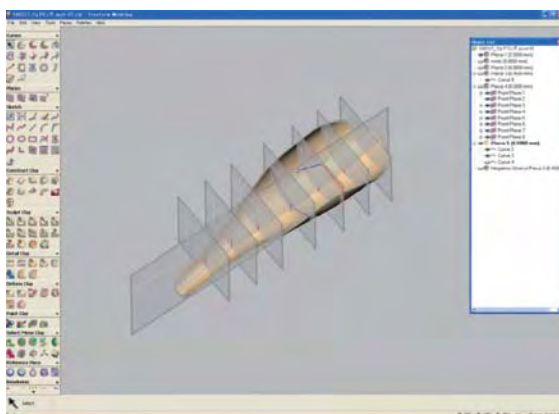
使用コマンド Select/Move Clay → Separate with Curve or Plane

切り離したい部分のカーブを選択します。

すると、カーブは緑色に変わります。

下の方にある左から3番目のコマンドを選択します。

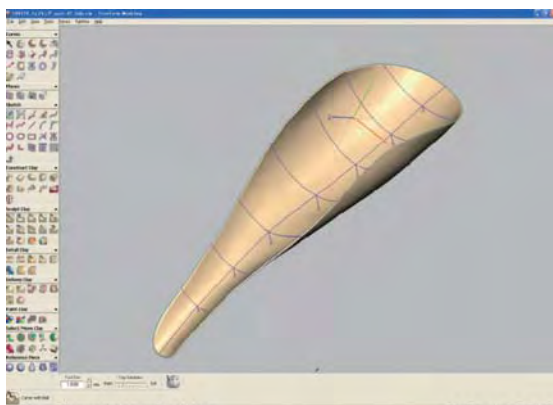
どちらか一方のクレイにカーソルをあてボタンを押し選択します。



クレイに断面をとっていきます。

使用コマンド

Planes → Create Plane

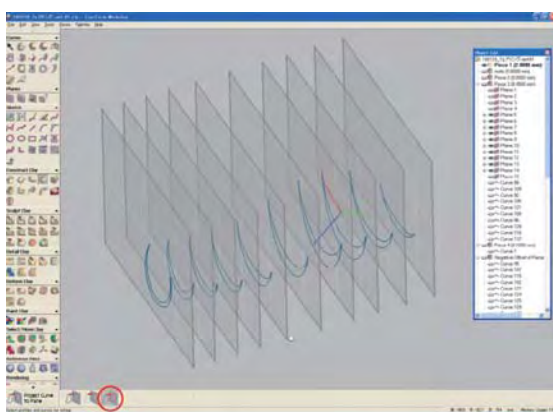


クレイに厚みをつけていきます。

使用コマンド

Curves → Draw Curve

厚みを付けたい形にカーブを描いていきます。



先ほど作成した Plane の断面にスケッチとして写していきます。

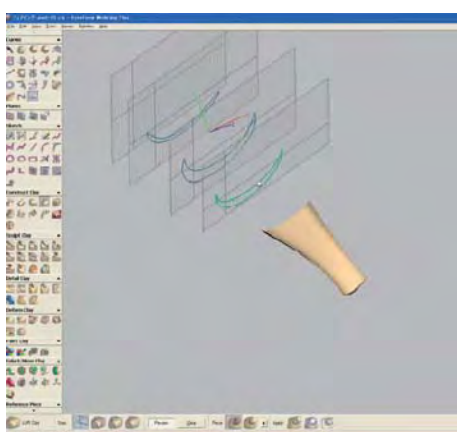
使用コマンド

Curves → Project Curve to Plane

下に3つのコマンドが出てきますので、左から3番目のコマンドを選択します。

断面に移したいカーブを選択し、移したい断面の Plane を選択すると、Plane にスケッチとして投影されます。

それを全てのカーブと断面に対して繰り返して行きます。



スケッチ断面を使用し、ロフトでクレイを作成していきます。

使用コマンド Construct Clay → Loft → Select Step

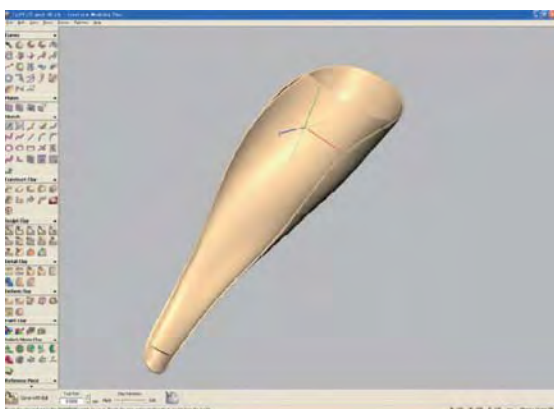
クレイにしたいスケッチ断面を端から順番に選択していきます。

選択を終えたら、下の『Piece』の横にあります黒い三角の矢印(Show/Hide Advanced Setting) をクリックします。す

ると、『New Piece』という項目が出てきますので、『Clay Coarseness』を選び、『Edge Sharpness』に数値を入力します。(※ 今回の場合は、Clay Coarseness が Custom で、Edge Sharpness が 0.1mm です)

入力が出来たら、『Apply』の『Create Inside』を選択します。新しいクレイの完成です。

(Loft はカーブをスケッチにしないと出来ません)

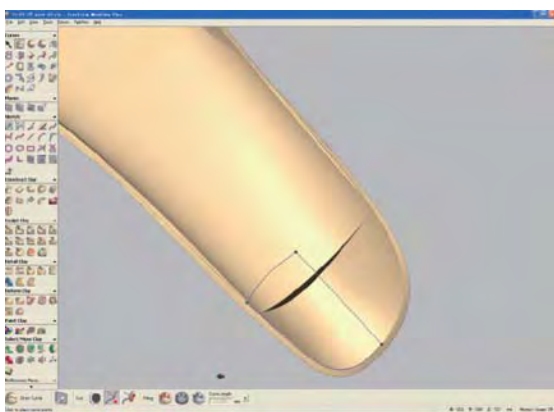


前にブーリアンした外側と、ロフトで作成した新しいクレイを合体させます。

まずロフトで作成したクレイで、外側からはみ出ている部分を削って行きます。

オブジェクトのロフトで作成したクレイを右クリックします。

『Combine Into』でブーリアンした外側を選択すると、2つが合わさります。

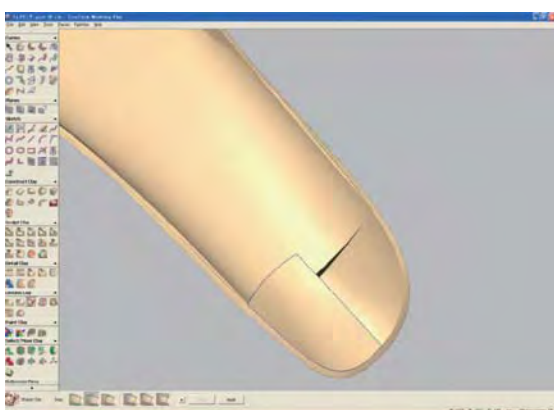


厚みの足りない部分を作成していきます。

使用コマンド

Curves → Draw Curve

厚みをつけたい形にカーブを描いていきます。その際に、一边を3点か4点で囲っていきます。



囲ったカーブの形にクレイを盛ります。

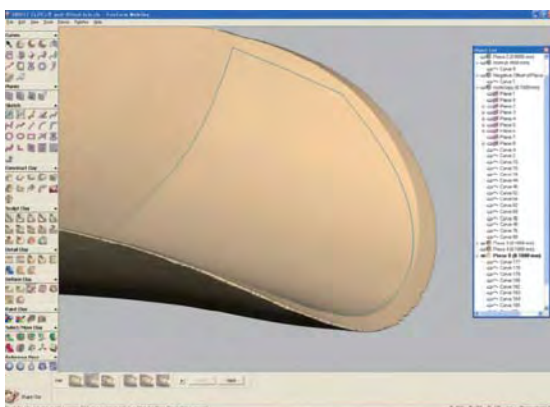
使用コマンド

Deform Clay → Shape Clay

クレイを盛りたいところのカーブを選択します。

すると、カーブが緑色になりクレイが盛られた形になります。

『Apply』をおしてクレイの出来上がりです。



囲ったカーブの形にクレイを盛ります。

使用コマンド

Deform Clay → Shape Clay

クレイを盛りたいところのカーブを選択します。
すると、カーブが緑色になりクレイが盛られた形になります。

『Apply』をおしてクレイの出来上がりです。

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

疾走用膝継手の臨床計測と評価

研究分担者：(財)鉄道弘済会 義肢装具サポートセンター 梅澤慎吾 岩下航大 宮永豊

研究要旨：本研究では、疾走用膝継手に必要な追従性・運動効率性を検討するため、被験者使用時の計測および解析を行う。

A. 臨床評価の目的

膝関節以下を失った大腿義足ユーザーにとって走ることは非常に難しい動作である。これまで大腿義足走行を対象にした研究は極めて少なく、動作の仕組みや練習方法、体力評価といった「義足を操る身体」に着目した研究は存在するものの、義足走行を対象に膝継手の機能を評価した報告はこれまで例がない。

今回開発された膝継手が疾走専用であることの意義は大きく2つある。

1. 既に走行経験のある者がより速く走る
2. 走行経験のない者が走行動作を獲得する

これらを受けて、試作品の計測・評価は、被験者パフォーマンスから「より速く」「より安全に」「より効率よく」疾走するための要素を抽出し、試作品のさらなる性能向上を図るため、次の3点を目的とした。

- ・これまでの義足競技者に広く使用されてきた既存の走行用膝継手と比較して、試作品にどのような特徴があるのかを明らかにする。
- ・現時点でどのような義足ユーザーに適した膝継手なのかを明らかにする。
- ・上記を踏まえ、実用化に向けた建設的意見をフィードバックする。

B. 評価方法

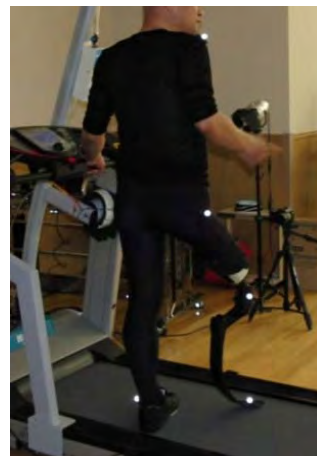
《1》対象 大腿切断者2名

① 被験者 M (図 1-2)

右大腿切断 51歳 男性 長断端
義足歴 42年 競技歴:100m 走記録 16秒8



図 1-2 被験者 M の測定

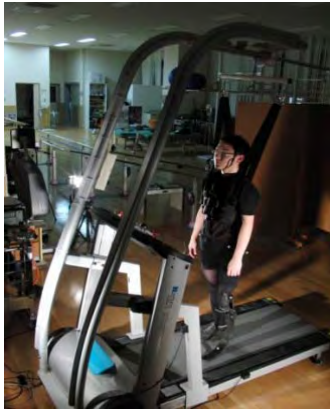


② 被験者 Y (図 3-4)

左大腿切断 19 歳 男性 長断端
義足歴 6 ヶ月 競技歴なし



図 3-4 被験者 Y の測定



《2》測定機器と計測内容(※備考参照)

- ① Zebris FDM-T (足圧センサー付き
トレッドミル解析システム) スライド
長(以下 SL)やケイデンス(以下 CA)をは
じめとした走行の全体像を解析する目
的で使用(100Hz/sec)。床面からの情報
として、床反力鉛直成分・足圧分布・足
圧中心の軌跡などが記録される。また一
方向から映像入力が可能。今研究では前
額面からの映像を記録している。(図 5)
- ② DartFish(二次元動作解析ソフト)
- ◎両矢状面からの映像を利用して、以下の
ことを解析する目的で使用。(図 6)
- ・関節角度変位とその所要時間を明らかに
する。

- ・各関節の動きの軌跡を記録する。
- ・これらの解析内容について、映像処理(重
ねるまたは並べる)ことで、より分かりや
すく伝える。

◎両矢状面の映像は、300fps のハイスピー
ド撮影をカシオ EX-F1 で行い、体幹～板バ
ネ(足関節)の範囲を撮影。予備的に 30fps
で被験者全体を撮影した。

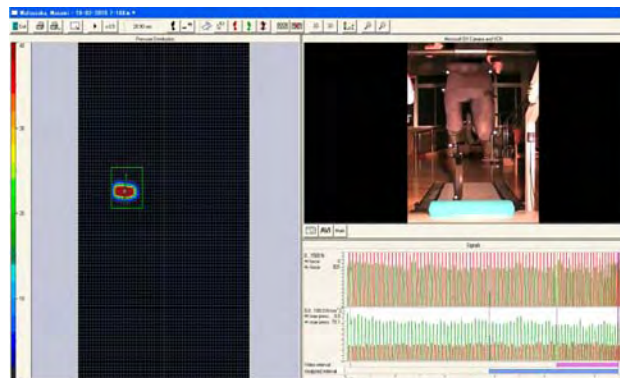


図 5 Zebris FDM-T

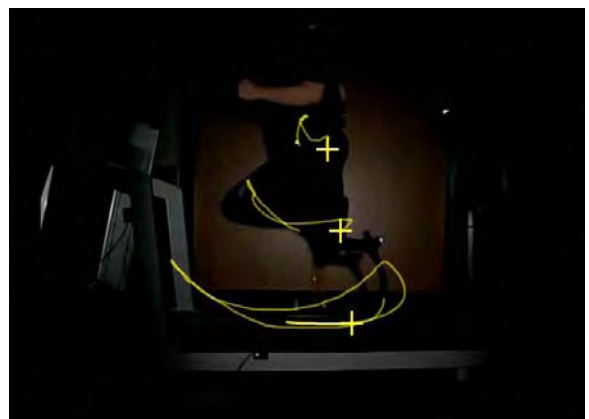


図 6 Dart Fish

※トレッドミル上の走行は平地走行と比較
すると、地面が常に後方に動いているため、
特に大腿義足走行では義足接地時に膝折れ
しやすくなり危険が伴う。また設定速度に
合わせなければならない環境は自由走行と
比較して難易度が高い。

※上記を考慮し、上方から吊した安全帯を使用。免荷せず、転倒の危険がある場合のみ安全機能が働く程度に設定した。

※平地走行に比較すると本人の潜在能力が100%発揮される可能性は低い。先行研究では純粋な走行評価とは違う結果が出ているとする報告もある。しかし今回の研究は膝継手の評価であり、同じ条件下での相対評価(膝継手の違い・被験者の違い)なので、測定環境として支障はないものとして判断する。

《3》 マーカー設定

通常、健常者並びに義足使用の場合でも、身体のランドマークとなる部位にマーカーを取り付けるが、今回は走行専用として板バネを使用している。この板バネのマーカー設置位置の決定方法としては、義肢ソケットの大転子と膝継手の回転軸を結んだ延長線上を板バネのマーカー設置位置とした。つまり膝関節(膝継手)完全伸展位で180°となる位置である。



図7 測定マーカー

《4》 予備測定(義足走行の定義)

歩行速度より遅い速度で走行する場合がある(ジョギングレベルの極々遅い走り)。特にトレッドミルの性質上、移動する床面上をその場で片脚ごとに飛び続ければ疾走とみなすことも可能である。しかし疾走用膝継手を適正に評価するためには、歩行と明確に区別する必要がある。

今研究における「疾走」を定義付ける作業として、個別に存在する歩行限界速度をトレッドミル上の試歩行により決定。歩行限界速度よりも速い速度かつ両脚支持期なしで行うものを「疾走」と定義付けることとした。

《5》 比較対象

比較対象膝継手：OttoBock3R95

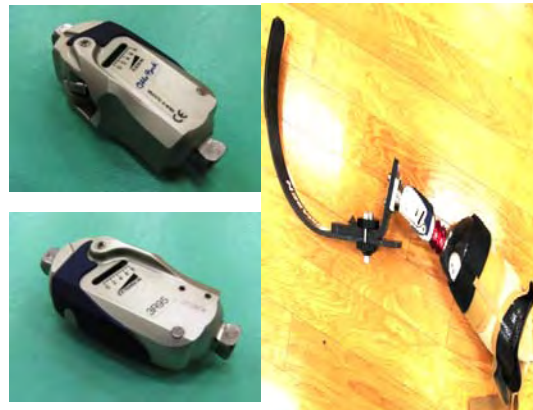


図8 3R95 使用の疾走用義足

OttoBock3R95 は疾走専用の膝継手ではなく、歩行訓練の現場でも通常使用される遊脚期油圧制御膝継手である(立脚期制御は備えていない)。一般的に走行用膝継手として使用されるモデルは他にも数種類存在するが、①単軸膝継手②遊脚期制御のみの機構③老若男女、幅広いユーザー層使用されている実績 これらの条件をすべて満たしていることから、試作品の比較対象として適当と判断した。

《6》測定時の膝継手設定と表記(下線)

・今仙技術研究所膝継手

定摩擦調整なし：試作品

定摩擦調整あり：試作品 F※1

・OttoBock3R95

油圧調整なし：3R95

油圧調整あり：3R95F※2

※1 定摩擦調整は 3.5/3.5(max) で数字は摩擦調整ネジの回転数を表している。機械的負荷を考慮し、3.5 回転が最大の摩擦抵抗値としている。被験者 M は 3.5 回転、被験者 Y は 2 回転の調整を行った。

※2 油圧調整は今測定では屈曲抵抗のみを指す 10/10(max)。被験者 M は 4/10 で調整を行い、被験者 M は屈曲抵抗調整を行うと操作が困難であったため油圧調整は行っていない。

C. 計測・結果

《1》最高速度

被験者 M は 3R95F の測定で最高速度 19km/h を達成した。被験者 Y は試作品の摩擦抵抗あり(以下：試作品 F)のとき最高速度 11km/h を達成している。絶対的な最高値は、この 2 名の段階では 3R95F が記録している。(図 9. 10)

一方、試作品に関しては定摩擦調整を行うことで、より速く走ることが可能であることが結果から判断できる。被験者 Y は 3R95F を扱うのが困難であったため、測定を行わなかった。

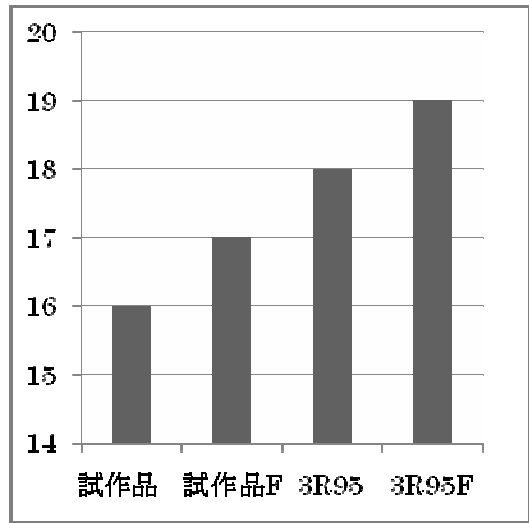


図 9 被験者 M 膝継手別最高速度 (km/h)

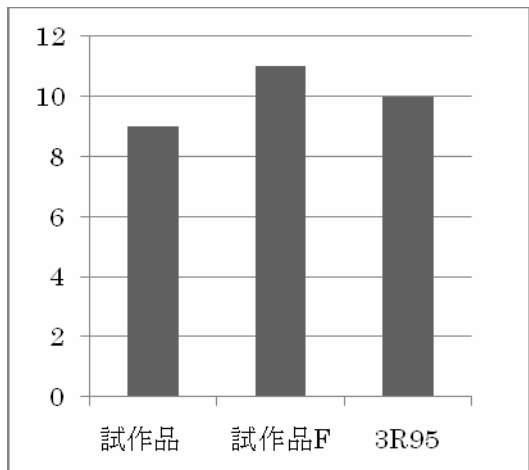


図 10 被験者 Y 膝継手別最高速度 (km/h)

《2-1》関節角度変位と所要時間

被験者 M 各膝継手設定で 13km/h 疾走時遊脚期の計測

《結果》

今測定では義肢側遊脚期を以下の 3 相に分けて考えた。 1. 遊脚前期(義足の離地～膝継手最大屈曲まで) 2. 遊脚後期(膝継手最大屈曲～完全伸展位) 3. (膝継手完全伸展位～板バネ接地まで)

13km/h 疾走時 4 事象の各所要時間(平均)と関節角度変位を記す。(図 11-12)

図 11 被験者 M 膝継手別 13km 疾走時 遊脚期の計測

	遊脚期所要時間(秒)				関節角度変位(平均)	
	遊脚前期	遊脚後期	立脚移行期	合計	膝関節	股関節
試作品	0.18	0.21	0.07	0.46	102°	43°
試作品 F	0.24	0.15	0.07	0.46	78°	63°
3R95	0.22	0.13	0.11	0.46	92°	51°
3R95F	0.22	0.11	0.12	0.45	82°	36°

図 12 被験者 M 膝継手別 義肢側関節運動と所要時間(13km/h)

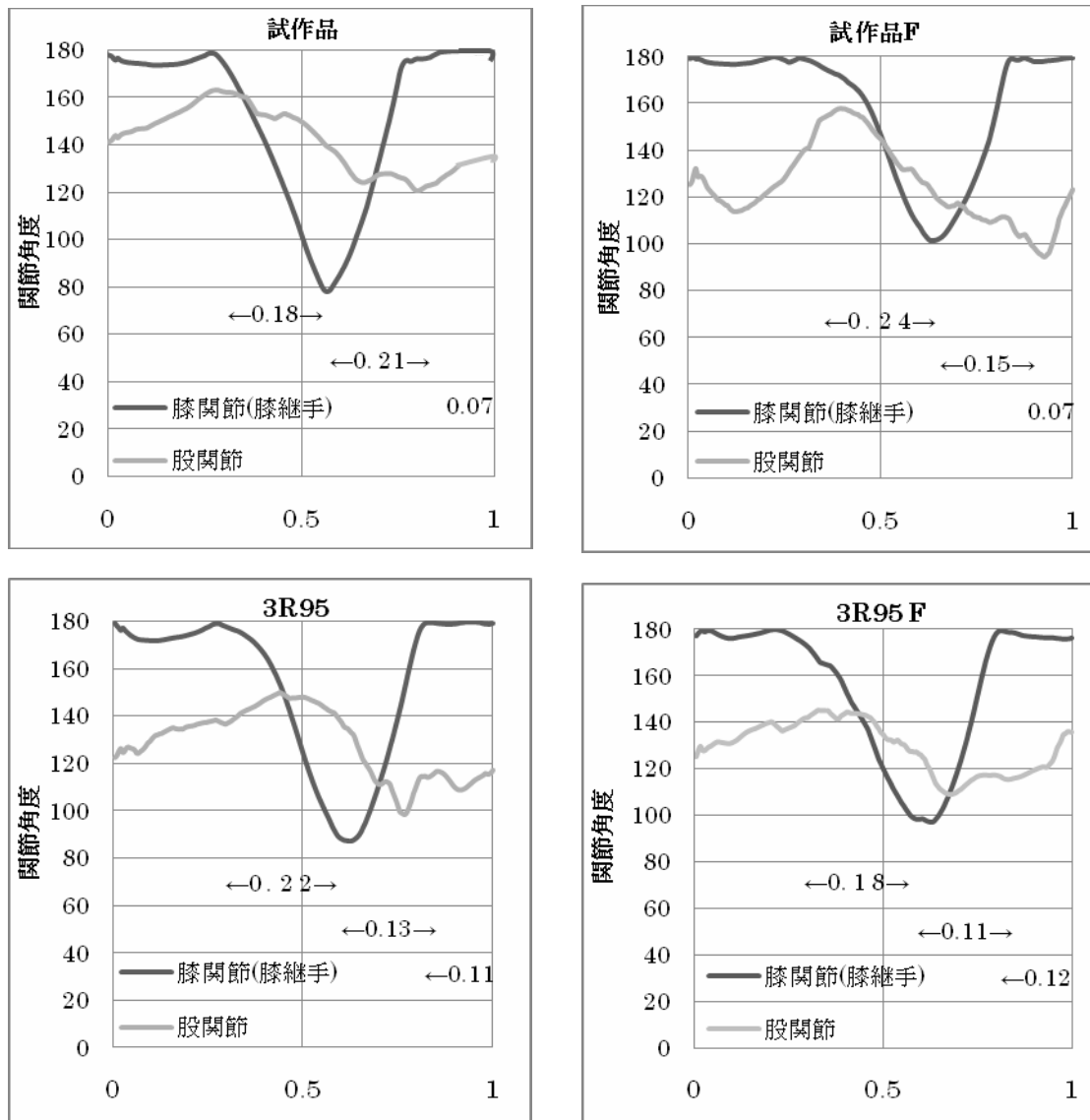
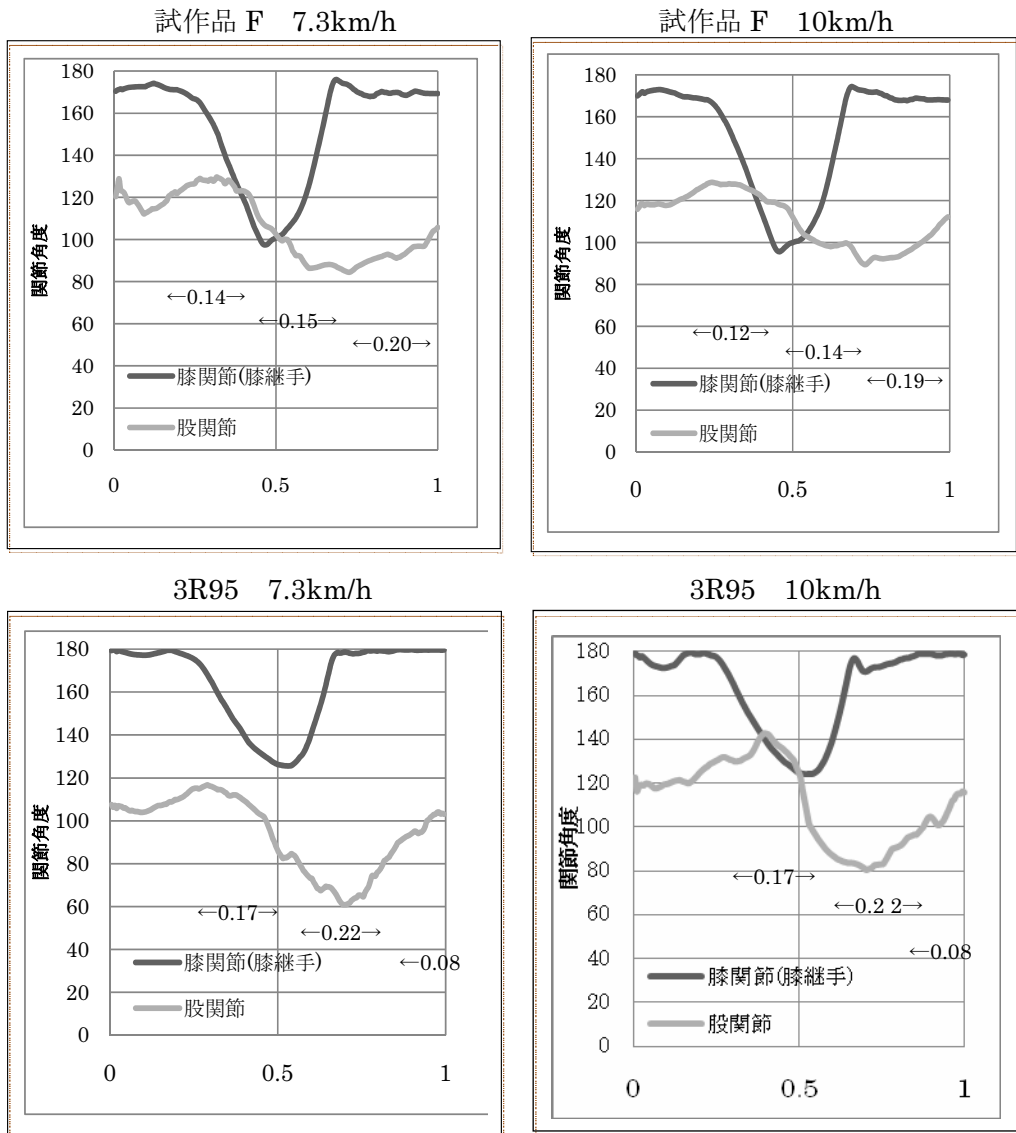


図 13 被験者 Y 膝継手別・速度設定別 遊脚期の計測

	遊脚期所要時間(秒)				関節角度変位(平均)	
	遊脚前期	遊脚後期	立脚移行期	合計	膝関節	股関節
試作品 F 7.3km/h	0.14	0.15	0.20	0.49	79°	45°
試作品 F 10km/h	0.12	0.14	0.19	0.45	79°	39°
3R95 7.3km/h	0.17	0.22	0.08	0.47	54°	57°
3R95 10km/h	0.17	0.22	0.08	0.47	55°	62°

図 14 被験者 Y 膝継手別・速度設定別 義肢側関節運動と所要時間



《2-2》 関節角度変位と運動効率

試作品 F と 3R95 の、それぞれ速度変化を伴う 2 事象について、被験者 Y の下肢関節運動に着目 (図 13. 14)

《3-1》 ストライドとケイデンスの関係

抽出した事象は各被験者それぞれが異なる膝継手と設定で、最速疾走と最遅疾走を比

較したものである。ストライド長とケイデンスの関係は走行速度が増加すると、本来どちらも増えていく関係にあるが、被験者 M の全事象でストライド長・ケイデンスともに増加しているのに対して、被験者 Y の結果は試作品 F の事象でのみストライド長・ケイデンスともに増加する結果となった。(図 15. 16)

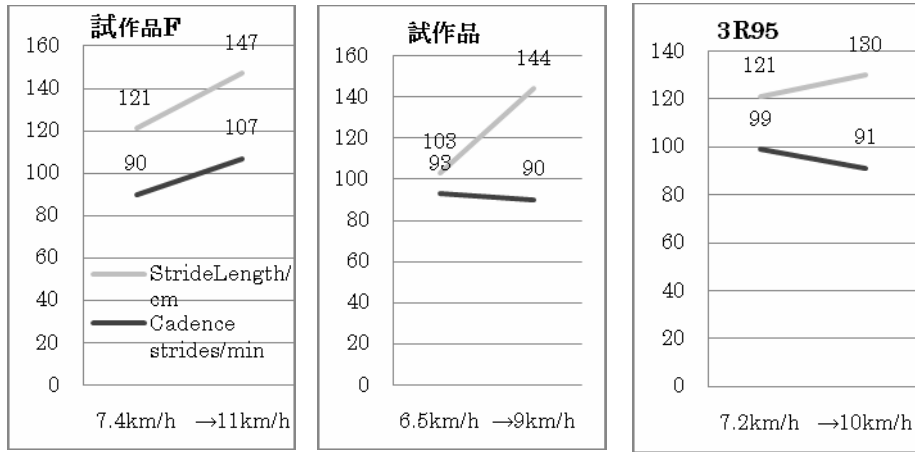


図 15 被験者 Y 速度変化に伴う ストライド長・ケイデンスの関係

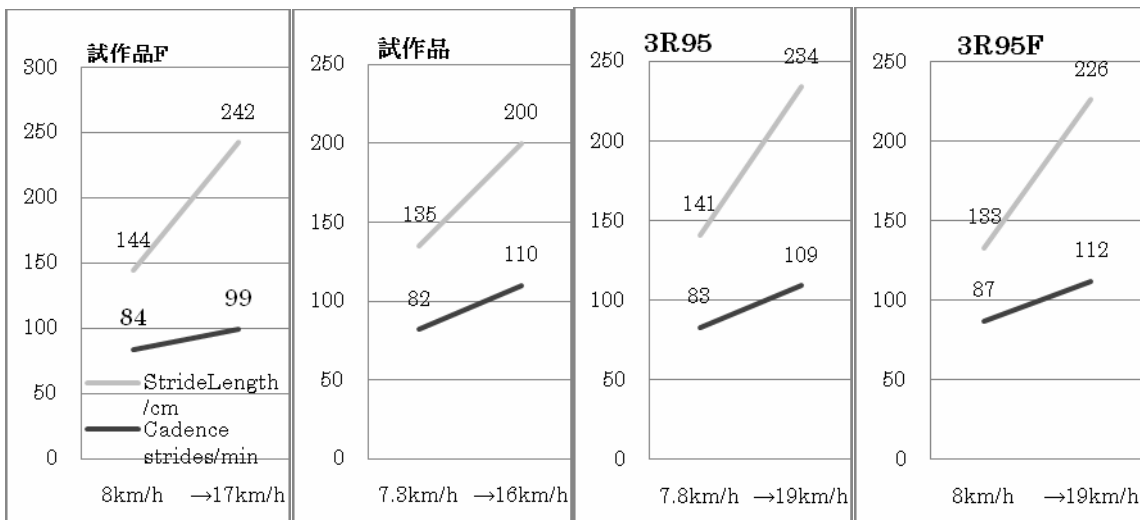


図 16 被験者 M 速度変化に伴う ストライド長・ケイデンスの関係

《3-2》被験者 M 13km/h 疾走全事象の結果
 走行速度を決定づける要素はストライド長
 とケイデンスだが、同じ速度条件ではスト
 ライドが増加するとケイデンスが減少し、
 ストライドが減少するとケイデンスが増加
 するトレードオフの関係にある。(図 17-18)

	ストライド	ケイデンス
3R95F※	183	100
試作品※	185	100
3R95F※	186	100
試作品 F	187	100
試作品 D※2	187	95
3R95	189	94
試作品※	195	91

図 17 ストライド長・ケイデンスの関係

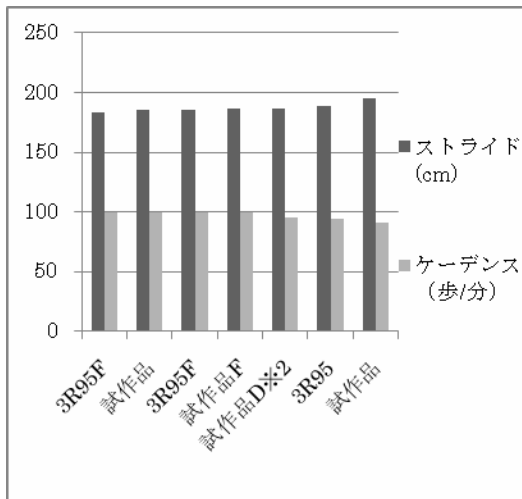


図 18 ストライド長・ケイデンスの関係

※ 複数回試行している事象も記載

※2 ソケット後壁にダンパーを取り付けた事象

《3-3》被験者 M 膝継手別走行限界時のス
 トライド長とケイデンスの関係
 膝継手設定別の最高速度記録時でみた場合、
 ストライドとケイデンスの関係は、同じよ
 うにトレードオフの関係にある。(図 19-20)

	OttoBock 油圧 4	OttoBock 油圧 0	試作品 定摩擦
走行限界 (最高速度)	19km/h	18km/h	17km/h
ストライド (cm)	225	234	242
ケイデンス (歩/分)	115	109	99

図 19 走行限界時のストライド・ケイデンス

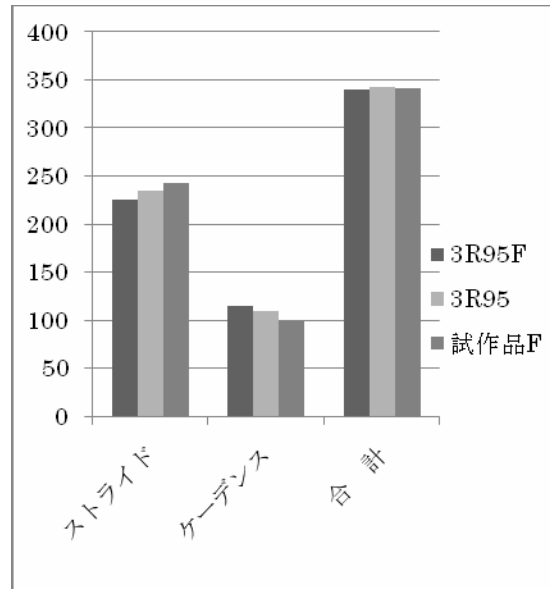


図 20 走行限界時のストライド・ケイデンス

《4》疾走時 各関節の軌跡と運動効率
 被験者 Y 10km/h 疾走時のマーカー軌跡
 各関節に取り付けたマーカーは図のように
 違う軌跡を描いている。(図 21)

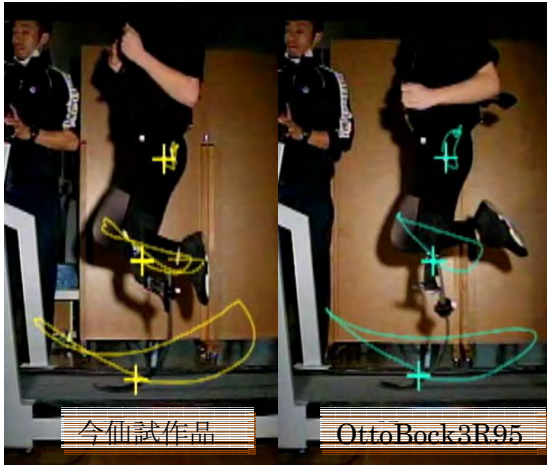


図 21 関節マーカー軌跡の比較

《5》ユーザーの主観的評価
 走る際に使用したい膝継手という観点で、
 ユーザー2名に使用時の印象から順位をつ
 けてもらう作業を行った。(図 22-23)
 回答から以下のように点数換算した。

- 1 位◎ = 4 点
- 2 位○ = 3 点
- 3 位△ = 2 点
- 4 位× = 1 点
- Error = 0 点※

被験者 M の主観で「頑張って走っている印
 象」の境界が 13km/h との意見だったことよ
 り、競技レベル・ジョグレベルを分ける基
 準を 13km/h としている。

※試走不可能な場合を Error とした。

	競技レベル(13km/h 以上)		ジョグレベル(13km/h 未満)	
	被験者 M	被験者 Y	被験者 M	被験者 Y
試作品	× 1	0(error)	△ 2	○ 3
試作品 F	△ 2	0(error)	○ 3	◎ 4
3R95	○ 3	0(error)	◎ 4	△ 2
3R95F	◎ 4	0(error)	× 1	0(error)

図 22 アンケート結果(数字は点数)

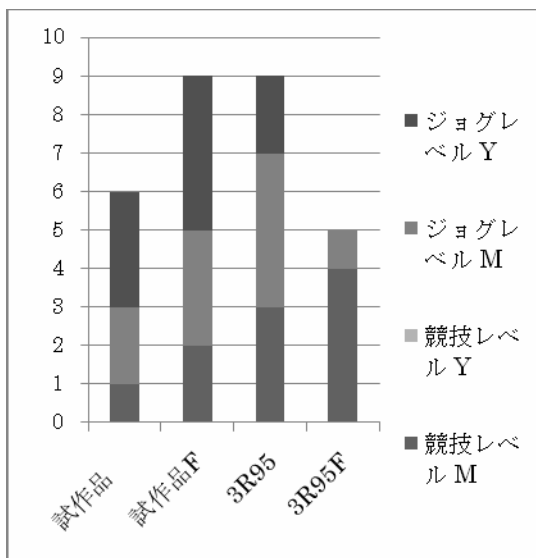


図 23 アンケート結果(点数)の合計

D. 考 察

健全走行の先行研究では、走行時立脚期に
 における膝関節周囲筋の働きは前方への推進
 力の主動作筋ではないとし、遊脚期におけ
 る股関節屈曲に追隨して前方に振り出され
 るとしている。今回主に走行の遊脚期を計
 測したが、これは疾走用膝継手の要件とし
 て、立脚期での推進補助としての機能より
 も遊脚期でのレスポンスの良さや、無理の
 ない自然な走りを再現できる動きの質が求
 められるという理由からである。

レスポンスの良さとは具体的に、遊脚前期

の屈曲しやすさと、遊脚後期に完全伸展に向かう追随性を指す。前者は慣性モーメントを小さくして義肢側遊脚期の板バネクリアランスを良好に保つ指標となり、後者はより速く積極的に板バネ接地を行える指標となる。

つまり、疾走用膝継手に望まれる機能は「屈曲しやすく」「伸展しやすい」ことになる。しかし、同様の膝継手および設定で計測した場合でも、2名の被験者間に歩行限界・走行限界で差が生じたように、膝継手のレスポンスは、部品自体の性能で決まるのではなく、被験者の習熟度の影響で大きく異なることも今回の計測で明らかになった。義足走行のバイオメカニクスに触れた数少ない報告でも、大腿義足走行を成立させる要素として、義足ユーザー自身の習熟度との関わりが大きいとしている。(図 24-25) よって、ユーザーが発揮するパフォーマンスと、膝継手単体の動きの両面を評価の対象として以下に考察する。

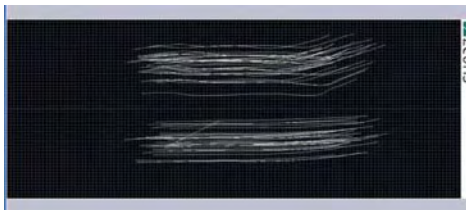
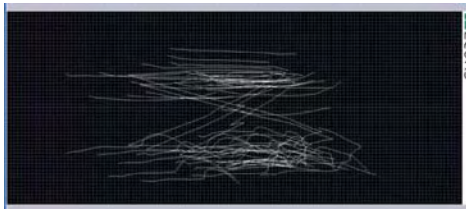


図 24-25 足圧中心の軌跡と被験者習熟度の違い(上：被験者 M 下：被験者 Y)



1. 到達最高速度

被験者 M は 3R95F の測定で最高速度 19km/h を記録した。被験者 Y は試作品の試作品 F

のとき最高速度 11km/h を記録している。絶対的な最高速度は、この 2名の段階で 3R95F が記録しており、疾走速度がより速くなったときの追随性で 3R95 の優位性を示している。

一方、試作品 F は習熟度の低いユーザーとの相性の良さを示しているといえる。また、試作品に関しては定摩擦調整を行うことで、より速く走ることが可能であることが明らかになった。被験者 M が最大の摩擦抵抗 (3.5/3.5 回転) で試走したのに対して、被験者 Y の摩擦抵抗は 2/3.5 回転で、さらに習熟度をあげて、摩擦抵抗を加えた状況で試走したとき、達成速度に変化が現れる可能性がある。(図 9-10)

2. 定常速度での周期走行

被験者 M 13km/h の試作品 F と 3R95・3R95F の比較では、膝継手の全可動域にあたる遊脚前期～遊脚後期で 3R95・3R95F の膝角度変位が大きく所要時間が短い。(図 11) この結果は、膝継手単体の動きとして 3R95 の優位性を示唆するものだが、4 事象の遊脚期所要時間では 0.45～0.46 秒でほぼ変化がない結果となっている。このとき、3R95 立脚移行期の所要時間が比較的長いことから、両脚空中相の時間調節(その場で飛びあがっている)で速度条件に適応する被験者 M 習熟度の高さがうかがえる。

反対に被験者 Y は、速度条件に関わらず遊脚前期～遊脚後期で試作品 F の膝角度変位が大きく所要時間が短いという結果になった。(図 12) 1(到達最高速度)との相関としては、両被験者ともに遊脚前期～遊脚後期の所要時間が少ないものが最高速度を記録する関係にある。

また、試作品 F と 3R95 を比較すると、慣性モーメントの大きな 3R95 の機械的特性に適応しようとして、断端の屈伸運動を頑張る様子が、股関節角度変位の大きさから読み取れる。(図 12) 3R95 は油圧抵抗値がゼロの場合でも、定摩擦機構と比較して粘りがあるため遊脚前期で屈曲しにくい特徴があり、習熟度の低い切断者にとって努力度の高い運動になっているといえる。

膝継手屈曲角度が浅いとクリアランスが保たれず、板バネが地面を擦ることで転倒の危険があるため、分回して危険を回避することになる。(図 26)

また、先行研究では、走行時の運動効率を測る指標として、中低速疾走での足関節部の動きが、図のような軌跡を描くとしてい

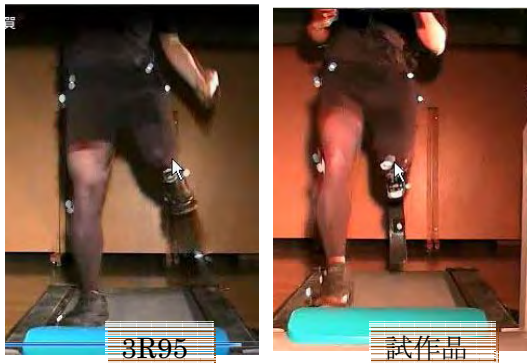


図 26 被験者 Y 遊脚期の比較(3R95 では分回している)

3. ストライド長・ケイデンスの関係

健常走行では、疾走速度の上昇に伴い、ストライド長・ケイデンスがともに高くなるとする報告がある。今回両被験者に計測した速度は図の囲みに相当する。(図 28)

被験者 M の最低速度～最高速度では、全事象でストライド長・ケイデンスともに増加する結果となった。

る。(図 27) この動きは、より慣性モーメントを受けず努力度の少ない走行が可能かどうかを評価するポイントとなる。

被験者 Y 疾走時の関節マーカ軌跡と照らし合わせると、試作品 F の計測で足関節部が理想的な八の字の軌跡を描いている。一方、3R95 での計測時に膝関節・股関節のマーカ軌跡は、楕円に近い軌跡を描いている。これは膝継手の屈曲角度が浅く、早期に伸展に転じるために生じる板バネクリアランス不良を防ぐ代償動作であると推察される。大腿切断者はこのような負の調整を随意制御可能な股関節で行うため、膝の特徴的な軌跡に伴い股関節も効率の悪い動きになっている。(図 21)

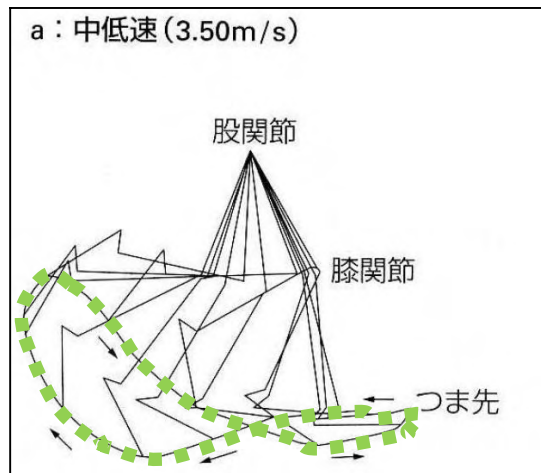
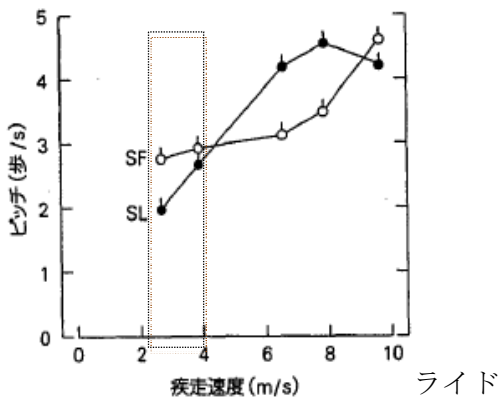


図 27 走行時足関節部の軌跡

被験者 Y は、試作品 F でストライド長・ケイデンスともに増加する結果となったが、他の計測ではストライド長増加に対してケイデンスが下降する結果となった。(図 15) 「ケイデンス＝歩の頻度」の増加を可能にする要素として、断端を素早くかつ持続的に動かす能力が求められる。習熟度の高い被験者 M は膝継手の選択や調整に関わらず、

速く走る戦略として、ストライド長とケイデンスの2つの要素をコントロール出来るだけの多様性を備えていると推測できる。その結果、自らが適応しなければならないトレッドミル環境下においても、速度設定の変化に応じて健常走行と同じような変化を伴い、膝継手を選ばず安定した走行が出来ていると考えられる。一方、断端操作の習熟度が低い被験者 Y は、比較的対応可能なストライド長を大きくすることを優先し、ケイデンス増で対応不可能な要素の代償として空中相を長時間とることで対応している。つまり、唯一ストライド長・ケイデンスともに増加している内容を示した試作品 F は、膝継手の選択により疾走の質が変化するビギナーユーザーにとって、現時点で相性がよく、有用であるといえる。



長とピッチ(ケイデンス)の変化

被験者 M の 13km/h 走行の全事象では、ストライド長が増加するとケイデンス減少し、ストライドが減少すると、ケイデンスが増加するトレードオフの関係にある。

(図 17-18) また、膝継手別の最高速度達成時も同様にストライド長・ケイデンスはトレードオフの関係にある。(図 19-20) そ

れぞれ最高速度の内容をみると、ケイデンスが最も多いのは 3R95F で 115、最も少ないのが試作品 F で 99 という結果となった。健常走行の報告では疾走時最初の上昇はストライド長の増加に起因し、さらに速度が上がると、次にピッチ(ケイデンス)が向上するとしている。ケイデンスの増加は断端屈伸運動の頻度増加が必要となるが、それが困難な場合その場で飛び跳ねて空中相の時間を増やし、ストライド長を増加させる戦略を取りやすいのがトレッドミル走行の特徴である。試作品 F の走行限界 17km/h は、被験者 M の断端制御に対する追従性の限界から、最終的に空中相の時間的調節によってストライド長を増加させた結果と考えられる。

4. 主観的評価

ユーザー主観では、試作品 F と 3R95 が最も得点が高い結果となった。被験者 Y は習熟度の点で選択肢が限られているが、試作品 F を第 1 位としている。客観的評価からも分かるとおり、計測事象全てにおいて試作品 F を最も扱いやすい膝継手として評価しているのが理由だと考えられる。

被験者 M の場合は、用途によって使い分けたいとする意図が見える。被験者 M はいずれの用途でも 3R95 を第 1 位にあげたが、これを前提として、走行レベルにあわせた幅の広い油圧調整が可能であることが理由として考えられる。

E. 結論

《試作品の特長と可能性》

- ・試作品は定摩擦調整によって追従性を改

善できる

- ・全調整を通じて屈曲しやすい特徴は遊脚前期で慣性モーメントが小さく、断端の負荷を軽減すると推測される。
- ・摩擦調整を加えての走行は初心者でも再現性が高く、無理なく疾走できる。その特徴が結果的に最高速度での疾走を可能にしていると考えられる。
- ・上記の特徴は、走行初心者と相性がよく、断端制御が困難な短断端の切断者も扱いやすい可能性が高い。
- ・習熟度の高い義足ユーザーにおいても、軽負荷の持続歩行に適しているといえる。

《試作品の課題》

- ★現状までの定摩擦調整には限界がある
 - ・習熟度の高いユーザーの断端運動に対応できる追従性の限界(達成最高速度の差)
 - ・3.5回転以上の摩擦付加での持続走行による駆体の限界
- ★膝継手調整幅の再考

単体でビギナーから競技レベルまでの疾走に対応する製品を開発すべきか、走行導入用・競技用と、用途によって使い分ける目的で複数設計開発を行うか等を検討する必要性がある。
- ★機構の再考
 - ・定摩擦制御のブラッシュアップを行う
 - ・その他の方法を取り入れる
- ★ターゲットとなるユーザーの再考

《計測の課題》

- ・高齢者や女性、またはより高いレベルにある競技者など、被験者数の幅をひろげて計測する必要性がある。
- ・個別の身体能力に対する膝継手の動きの

違いを計測するためには、断端の筋活動等を解析する必要がある。また膝継手特性が上半身も含めた運動効率にどのように影響するのか計測する必要がある。

- ・今回の測定では義肢側のみ評価を行ったが、健常側下肢の動きも必要に応じて解析する必要がある。
- ・トレッドミル上での義足走行は危険が伴うため、計測前に十分な練習を行い、より再現性の高い計測が行える状況をつくる必要性がある。
- ・計測環境を整えることが難しいが、出来る限り平地走行での定量的評価を行えるとよい。

※今回の計測では、予定していた15名の計測が実施できなかった。これは計測機器の導入が遅くなり、計測に十分な時間を割けなかったことが理由である。

F. 結 語

計測からは、開発された試作品の特徴がある程度明らかになった。少なくとも初心者の走行導入からジョグレベルまでに有用であるとする結果は、障害者スポーツの機会創出を目的とする今研究開発において大きな意味を持つ。より高い競技レベルの調整機能が今後の課題となるが、本来の目的である歩行だけを見ても膝継手の機能は多様化している。幅広いユーザー象に合わせた製品化が進む昨今、疾走用膝継手も運動レベルに合わせた選択肢が必要であろう。

「屈曲しやすさ」「伸展しやすさ」の機能が共存している疾走用膝継手は現時点で存在しないが、この計測結果を踏まえ、今後の開発の一助になればよいと考える。

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

足部カバーに関する機能評価

研究分担者：財団法人鉄道弘済会 義肢装具サポートセンター

梅澤慎吾 岩下航大 宮永豊

研究要旨：予備実験とフィールドテスト結果を踏まえ、足部カバー装着前後の被験者パフォーマンスを計測・評価する

A. 評価の目的

足部カバー試作品は、先行で行われた風洞実験による検証の結果、切断者トップアスリートの100m走に相当する風速では最大30%の風の抵抗低減の結果が得られている。またフィールドテストでは主に下腿義足ユーザーから次の意見が出ている。1. 足部カバーを装着すると接地時に板バネに若干の硬さを感じる。2. 足部カバーを取り付けた事により走行中のブレが軽減し、意図した位置への接地がしやすい。これを受けて初回の計測では、競技レベルにある下腿義足ユーザーを被験者として、速度変化によって疾走時にどのような特徴があるのかを明らかにすることを目的とする。

B. 評価の方法

対象者：1名 被験者S 年齢：19歳
性別：男性 切断部位：下腿切断
義足歴8年 競技歴：約2年

アジアパラユースゲームズ出場

100m走 14秒13 (2位)

200m走 28秒31 (2位)

ジャパンパラリンピック出場

100m走 14秒03 (4位)

200m走 28秒05 (4位)



図1 足部カバー



図2 足部カバー装着時



図3 被験者S 屋外トラック疾走時

測定機器と計測内容

- ①DartFish 二次元動作解析ソフト (図 4)
 ◎矢状面からのハイスピード映像を利用して、以下のことを解析する目的で使用。

- ・疾走時の足部カバー使用前後で板バネ最大撓み量の解析をする。
- ・ソケット末端と板ばね先端部に反射マーカをつけ、疾走時の板ばねの撓みをカシオ EX-F1 にて矢状面のハイスピード撮影(300Hz/s) (図 5)
- ・トレッドミル上の疾走速度は 18・16・13km/h とし、板バネ接地から板バネ離地の最大撓み量を計測 (図 6)



図 4 Dart Fish



図 5 反射マーカ位置

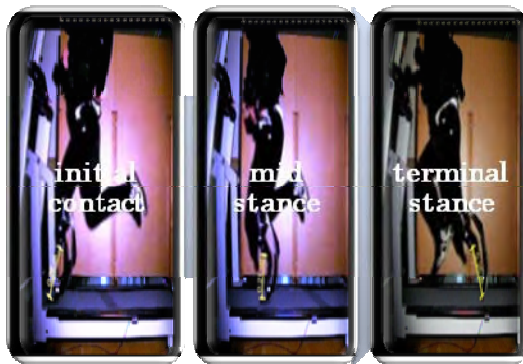


図 6 立脚前期

立脚中期

立脚後期

- ②Zebris FDM-T 足圧センサー付きトレッドミル (図 7)

- ◎足圧センサーからの情報を抽出し以下のことを解析する目的で使用

- ・足部カバー使用前後の遊脚時間の計測をする。その時の情報の抽出は板ばね離地から次の板ばね接地までの時間を計測し 5 回分の平均値をとる
- ・ストライド長(以下 SL)やケーデンス(以下 CA)をはじめとした走行の全体像を解析する目的で使用(100Hz/sec)。床面からの情報として、床反力鉛直成分・足圧分布・足圧中心の軌跡などが記録される。また一方向から映像入力が可能で、今研究では前額面からの映像を記録



図 7 Zebris FDM-T

(足圧センサー付きトレッドミル)

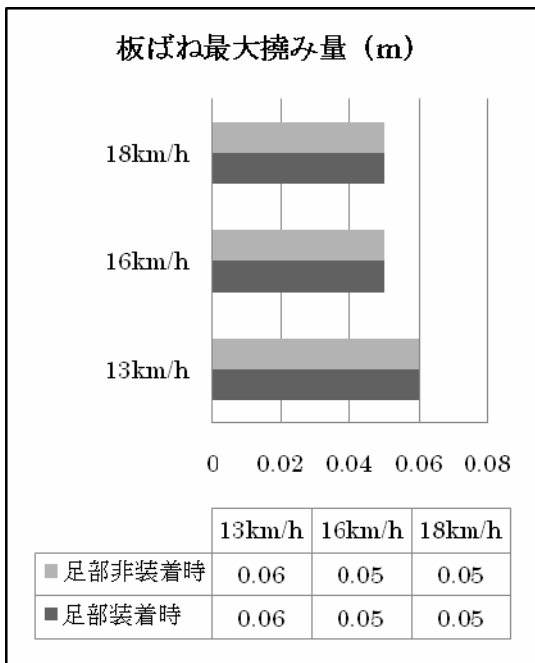
C. 評価結果

①DartFish(二次元解析ソフト)による評価

◎疾走時の足部カバー使用前後での板バネ最大撓み量の解析結果 (図 7)

- ・ 疾走速度 18km/h
板バネ最大撓み量は足部カバー装着時・非装着時共に 0.05m
- ・ 疾走速度 16km/h
板バネ最大撓み量は足部カバー装着時・非装着時共に 0.05m
- ・ 疾走速度 13km/h
板バネ最大撓み量は足部カバー装着時・非装着時共に 0.06m

◎フィールドテスト時の主観的意見の中に足部カバーを取り付けた事により、足部カバーを装着することで板バネに若干の硬さを感じるという意見があった。その事を踏まえた上で、疾走速度変化毎の板バネの最大撓み量変化を計測したが、足部カバーを装着することでの影響は見られなかった。



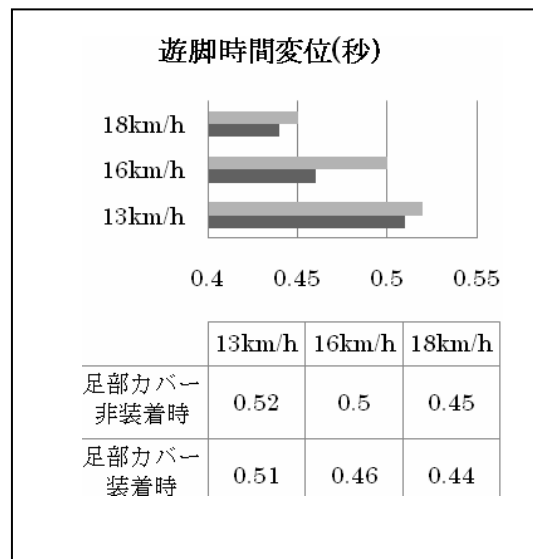
(表 7)

②Zebris FDM-T (足圧センサー付きトレッドミル) による評価

◎足部カバー使用前後の遊脚時間の解析結果。板ばね離地から次の板ばね接地までの時間を計測 5 回分の平均値をとる (図 8)

- ・ 疾走速度 18km/h
足部カバー装着時 : 0.44 秒
足部カバー非装着時 : 0.45 秒
- ・ 疾走速度 16km/h
足部カバー装着時 : 0.46 秒
足部カバー非装着時 : 0.50 秒
- ・ 疾走速度 13km/h
足部カバー装着時 : 0.51 秒
足部カバー非装着時 : 0.52 秒

◎足部カバー装着により走行中のブレが軽減し、意図した位置への接地がしやすいという主観的意見があった。そのことを踏まえた上で、疾走速度変化毎の足部カバー装着時・非装着時の遊脚時間を計測。結果、疾走速度 18・13km/h では 0.01 秒、16km/h では 0.04 秒足部カバー装着時の遊脚時間が短くなるという結果が得られた。



(表 8)

◎疾走速度変化毎のストライド長(SL)とケイデンス(CA)の解析結果。(表9・10)

疾走速度変化毎のストライド長(SL)

- ・疾走速度 18km/h
 - 足部カバー装着時 : 249cm
 - 足部カバー非装着時 : 257cm
- ・疾走速度 16km/h
 - 足部カバー装着時 : 243cm
 - 足部カバー非装着時 : 246cm
- ・疾走速度 13km/h
 - 足部カバー装着時 : 218cm
 - 足部カバー非装着時 : 214cm

疾走速度変化毎のケイデンス(CA)

- ・疾走速度 18km/h
 - 足部カバー装着時 : 102 strides/min
 - 足部カバー非装着時 : 99 strides/min
- ・疾走速度 16km/h
 - 足部カバー装着時 : 91 strides/min
 - 足部カバー非装着時 : 90 strides/min
- ・疾走速度 13km/h
 - 足部カバー装着時 : 84 strides/min
 - 足部カバー非装着時 : 86 strides/min

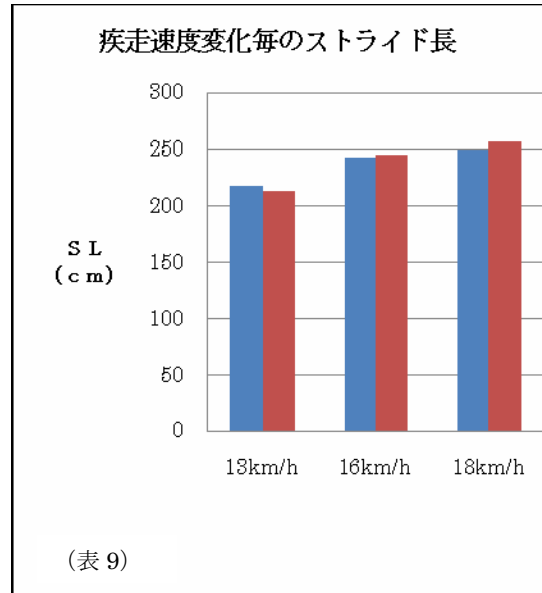
◎疾走速度変化毎のストライド長(SL)

13km/h 装着時 SL 増加、非装着時では SL 低下。16・18km/h では非装着時の方が SL 増加、非装着時では SL 低下の結果が得られた。疾走速度が上がるにつれ、装着時では SL が若干ではあるが低下する傾向がある。

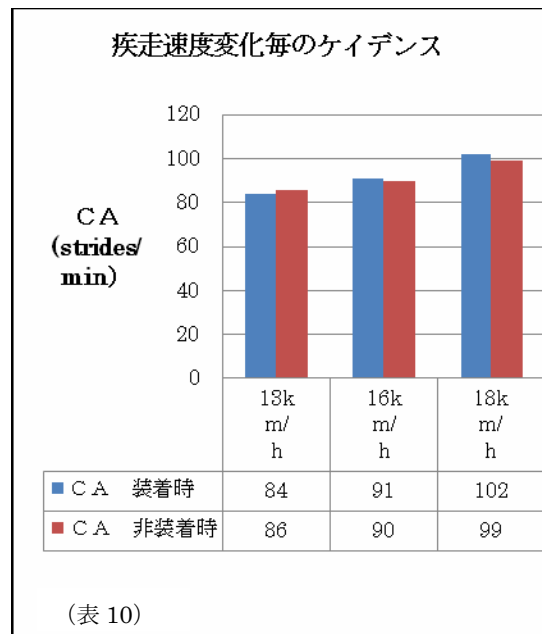
◎疾走速度変化毎のケイデンス(CA)

13km/h では装着時 CA 低下、非装着時増加
16・18km/h では非装着時の方が低下し、装着時は増加する結果が得られた。疾走速度

が上昇するにつれ装着時のケイデンスは減少傾向にある。疾走速度毎のストライド長(SL)とケイデンス(CA)の関係は反比例の関係にある。



(表 9)



(表 10)

D. 結 論

本測定ではフィールドテスト結果と予備実験で行った足部カバーの風の抵抗低減効果を踏まえた上で実際にアスリートLVにある下腿義足競技選手に装着し評価を行った。以下被験者1名での測定結果をもとに考察し今後の課題と展望を述べる。

1. 立脚相評価

フィールドテスト時の主観的意見の中に足部カバーを取り付けた事により、足部カバーを装着することで板バネに若干の硬さを感じるという主観的意見をもとに、疾走速度変化毎(18・16・13km/h)の板バネの最大撓み量変化を計測した。結果としては18・16・13km/hg 毎の足部カバー装着前後の最大撓み量に差はなく主観的意見とは違う結果が得られた。

2. 遊脚相評価

足部カバー装着により走行中のブレが軽減し、意図した位置の接地がしやすいという主観的意見をもとに、疾走速度変化毎(18・16・13km/h)の板バネ離地から次の板ばね接地までの遊脚時間と、ストライド長とケイデンスの関係性を計測した。疾走速度変化毎の足部カバー装着時・非装着時の遊脚時間の計測結果は、疾走速度 18・13km/h では0.01秒、16km では0.04秒足部カバー装着時の遊脚時間が短くなるという結果が得られた。

一般健常者のトレッドミル疾走は一定速度で回転しているベルト上を走るため、股関節の伸展動作が少ない状態で走行できる。健常者でのトレッドミル疾走ではピッチ走

法(ケイデンスを減少)よりストライド走法の方が同じ速度設定の場合、楽に走ることができる。また股関節屈曲動作は大きく蹴り出しその場で飛び跳ね、ストライド長を増加させる戦略を取りやすい。一方、義足競技者は設定速度に合わせた板バネ接地をしなければならず、板バネクリアランスを良好に保つ意識も働くため健常者よりも意識して股関節・膝関節の屈曲動作(蹴り出し)を行わなければならない。環境としては健常者と比較して難易度は高く、平地疾走と比較しても本人の潜在能力が100%発揮される可能性は低い。

足部カバー装着時のケイデンスとストライド長の関係は、疾走速度が上昇するにつれ、ケイデンスが若干の増加傾向にあり、ストライド長は減少傾向にある。この結果は走行中のブレが軽減し、より早く板バネ接地が行えている可能性を示唆するものである。100分の1秒の記録を争うアスリートLVのユーザーにとって、遊脚時間の短縮は重要な意味をもつ。今回は被験者1名のみでの測定結果だが、仮にこの結果を受けて、同レベル以上の義足競技者を計測し、同様の結果を得られるならば、足部カバーの有用性を見出せる可能性がある。

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

切断者スポーツクラブでの実用評価

研究分担者 義肢装具士

白井二美男 沖野敦郎 齋藤拓 大野祐介 稲垣邦彦 坂井優之

研究要旨：本研究では、疾走用膝継手・足部カバーの評価のため、今仙技術研究所が開発済みのモジュール型スポーツレクリエーション用義足パーツを用いた義足を製作、走行初心者からアスリートまでの試走行を試み、その組立、調整、使用感、耐朽性について調査した。

A 実用評価の目的

近年、義肢パーツの開発は進み、様々な部品が誕生している。しかし、スポーツ動作に対応可能な部品のほとんどが海外製のため非常に高価であること、また疾走用膝継手や疾走に特化したパーツは世界的に見ても存在していない。義足での疾走動作については日常義足パーツを流用しているのが世界的にも一般的な現状である。

本調査では、今仙技術研究所が国内メーカーでは初めて開発中の疾走用膝継手・足部カバー実用性を評価することを目的とする。

B 実用評価の方法

1. 被験者の採型・仮合わせ・適合を行い、今仙が推奨したアライメントでスポーツ用義足を製作した。被験者はトレッドミル上と屋外グラウンド（東京都障害者総合スポーツセンター）にて走行指導を受ける。その際、板バネの強度選択・長さ・アライメントの決定を行う。

また、他社膝継手（油圧式）・疾走用膝継手（定摩擦）の走行最大速度の計測を行う。

被験者数、片大腿切断者 8 名、片下腿切断者 7 名（両下腿切断者 1 名）計 15 名。

2. スポーツ用義足製作例

以下に製作したスポーツ用大腿義足、下腿義足を掲載する（図 1～6）。



図 1 被験者 A



図 2 被験者 B



図 4 被験者 F



図 3 被験者 C



図 5 被験者 I



図 6 被験者 J

C. 実用評価の結果

1. 疾走用膝継手について

2ヶ月足らずの短期間でのスポーツ用義足の製作、適合、試歩行、試走行を行った。今まで切断後、走行動作を断念していた被験者も含め、本研究に参加した被験者全員が走行可能となり、満足度は非常に高かった。しかし習熟時間が足らず安定した走行を得られた被験者は限られた。大腿義足5名(A・B・C・D・H)、下腿義足5名(I・J・K・M・N)。

また疾走用膝継手の数が足りず(3個)、習熟させる時間も限りがあったため、屋外計測に至った被験者の数は3名であった。以下に3名のトレッドミル上で計測した走行最大速度を記す(表1,2)

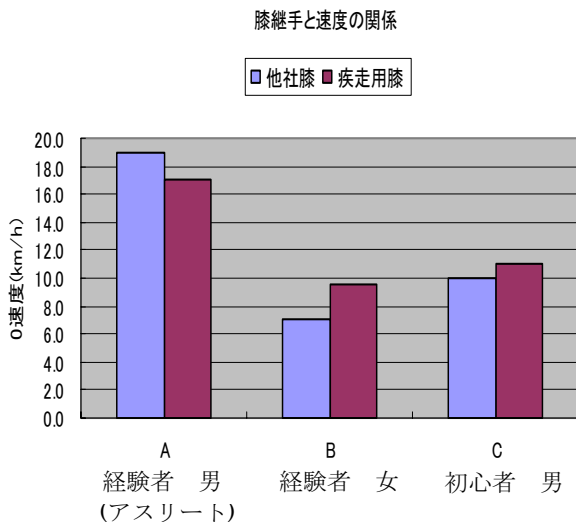
被験者A(男性アスリート)は、疾走用膝での習熟期間が不十分であり、使用経験の長い他社製油圧膝でのスピードには及ばなかったと考えられる。

被験者B、Cは、走行初心者および女性(走行経験者)であり、他社製油圧膝と比べ疾走用定摩擦膝は屈伸抵抗が弱く、遊脚相での膝屈伸が容易なため、筋力が少ない被験者に向いていると考えられる。

表1 膝の違いによるタイム比較

	他社膝	疾走用膝
A	19.0	17.0
B	7.1	9.5
C	10.0	11.0

(km/h)



●初心者にとっては、屈曲抵抗が弱いので、遊脚相で膝が容易に曲がり、SP1100(以下板バネ)と地面のクリアランスを十分得ることができる。(義肢装具士)

●アスリートにとっては、屈曲抵抗が弱いので、義足振り出し時でも膝は屈曲した状態になる。そのまま義足側が接地すると膝折れ現象がおこるので、股関節を大きめに伸展させてターミナルインパクトを確認してから接地させる。(義肢装具士)

●何度か走行していると、膝の屈伸のたびに異音がする。(大腿 A)

●重量がある。競技力を求めるならば軽量化の必要がある。(義肢装具士)

2. 足部カバーについて

●とても軽量で、装着しても重量は感じない。(下腿 J・I・L・M、大腿 全員)

●向かい風時に義足側の足が前へ出やすい。(下腿 I・N・O)

●横風時に不安定感がある。(下腿 O)

●義足接地時に安定感がある。(下腿 I・K)

●足部カバーを装着すると若干ではあるが板バネが硬く感じる。(下腿 I)

●中長距離 400M 走、マラソンなど疲労時に風圧回避の安定感を感じる。(下腿 O)

●安全保護カバーとしての役割もある。(下腿 M)

●もっとカラフルにしても良いと思う。(大腿 B・F)

D. 考察

疾走用膝継手

① 疾走速度が上がるにつれて、膝継手屈曲時にソケットと板バネの間に**屈曲制限ストッパー**を付加させたほうが良い。膝継手に屈曲制限ストッパーを内蔵させると、膝継手屈曲時のストッパーへの衝撃が非常に大きく、股関節に対して遠位部で力が発生する。しかし、ソケット後面または膝継手遠位に屈曲制限ストッパーを取り付けると、股関節に対して近位部

で力が作用するので、股関節屈曲動作中における義肢の操作性への影響が少ない。また、ソケット保護のためにも有効である。屈曲制限ストッパーの取り付け位置については今後の課題である（図7）。



図7 板バネとソケットの接触

- ② 走行初心者にとっては走行動作獲得に今膝継手の定摩擦機構は貢献したが、アスリートにとっては他社膝とは異なり、屈曲抵抗が弱いため、追従性が弱い。
- ③ 膝継手と板バネ組み合わせの構造上、下腿長が42CM以下（身長150CM程度）の場合はコネクタが板バネのカーブ形状に干渉してしまい、組み立てが困難であった。現試作品では、低身長の子供や女性には適応できない。解決策として、膝継手の構造変更、コネクタの変更、**新たな形状の板バネの開発**が必要である。幅広いユーザーを対象とするならば解決すべき課題である。
- ④ 3例とも本実験中の破損はなかった。しかし、装着期間が短く（各合計3時間程度）耐久性については本実験では言及できなかった。また、伸展補助バネと幹部との摩擦音についてはグリース塗付にて解消した。

- ⑤ 疾走用義足にとって、アライメント（角度）調整は競技結果に直結するため、非常に重要である。そのため、板バネのアライメント調整を行うためには、より遠位での調整機構が必要である。

足部カバーについて

- ① 下腿部の振り出し時に板バネにかかる空気抵抗を軽減することを目的に開発された。100M走を20秒以内で走行可能な競技参加レベルの被験者（I.N.O）からはスムーズな下腿部の振り出しが安定感として体感するという感想を得られた。特に向かい風時には絶大な威力を発揮するだろう。しかし、**横風**が吹いた際は義足の左右動揺を誘発する感想もあった。刻一刻と変化する風向きを予測することは難しいが、脱着を容易にすれば各選手の自己判断で、競技場内で足部カバーを取り外しすることが出来る。

- ② 走行速度の遅い初心者では、足部カバーの影響を主観的には感じることはできなかったが、走行速度の速いアスリートでは、足部カバーの影響を若干ではあるが感じる事ができた。本実験期間中は陸上競技のオフシーズンであり、わずか1回程度の屋外フィールドテストではアスリートも十分な速度で走行することはできなかった。陸上競技シーズンインは4月から10月なので、この期間中で複数回の再評価を行うことによって定量的な評価を得ることは可能と思える。

特にトップスプリンターでは100分の1秒の差異が勝敗を決するため、本カバーの効果は非常に重要と考えられる。

- ③ 走行時、板バネのコントロールを失った場合に健足に接触し、怪我をする危険性がある。クッション性のある足部カバーを装着することにより不意の接触に対する**健足の保護**となり、安全性が確保され

た。

また、足部カバーのデザインがやわらかな丸みを帯び、人体に近いやさしいデザインであるため、装着者への受け入れが良好であった。

その他

- ① 板バネを短距離走で用いる場合、健足は主に前足部接地になるため、板バネ接地時に大きな差はないが、長距離走で用いる場合、健足は踵から接地するため、今仙の板バネでは先端接地になり不安定である。また、アスファルトや不整地を走行するロードレース等では、板バネの内外反機能が低いため、断端に加わるストレスが大きい。そこで、フットスタビライザーを板バネに接着し、上記の問題を軽減した（図8）。



図8 フットスタビライザー

- ② 陸上競技用スパイクのピン配列は、人間の骨の配列や荷重バランスに準じた配列になっている。しかし、板バネにはそのようなピン配列は適用されない。現在は世界的にみても義足用（板バネ）スパイクは開発・発売されていないため、市販されているスパイクプレートを分割加工して貼り付けたりしているのが現状であ

る（図9、10）。よりエネルギー効率のよい走行を引き出すには今後、義足走行の科学的解析を行い、板バネに適した**専用スパイクピン**配列を検討する必要がある。

今回、導入した計測器 Zebris はこの機能を有しているため今後継続した調査に臨む予定である。



図9 既成スパイクの貼り付け



図10 加工したスパイクの貼り付け

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

疾走用膝継手、ステップ用膝継手、足部カバーのデザイン

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

研究要旨：疾走用膝継手、ステップ用膝継手、足部カバーの3つのスポーツ用義足パーツを対象としたデザインアプローチを行うことで、スポーツ用義足におけるデザインの有用性を検証する。

A. 研究開発の背景と目的

今までスポーツ用義足は義肢装具士とエンジニアにより主に機能性、安全性、生産性が追求されてきた。保険の適用されないスポーツ用義足を多くの人が使用できるよう、価格を抑える努力も成されてきた。しかし、下肢切断者の感覚的側面、主に使用感や視覚的効果などを考慮したデザインアプローチは未だかつてとられていない。この大きな理由として以下の2点が上げられる。

まず1つ目に医療現場では機能性が最も重視されることから、デザインは必須の物とは認識されておらず、コスト削減を図るため省略されてきた事。そして2つ目に義足は切断箇所に応じたカスタマイズ商品であるため、従来の量産型のデザイン手法では対処することが難しい事である。今回のデザインアプローチを通して、今まで行われてこなかった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する。

まず今回のデザインアプローチにおける4項のスタイルテーマを提示する。

1. 選手の体と一体となり、その動きをより美しく見せる流麗なスタイル

鍛え上げられた人体を参考に、全体像と各部品のつながりに緊張感のあるしなやかなラインと、張りのある高品質な連続曲面を与えた。これにより、人体との視覚的な

統一感を与え、運動中の選手をより美しく見せる効果を得ることを目指している。

2. 初心者にも親しみやすく、家族や友人などにも受け入れられやすい、フレンドリーな部品群

鋭利な形状になりがちな機械部品を、柔らかい曲面で包み込むことによって、視覚的な優しさや、触感の親しみやすさを演出し、これからスポーツ用義足を試そうとする人たちや、初めてこれを手にする人たちの気持ちを前向き誘導する効果を目指す。同時に、家族や友人にも受け入れやすさにも配慮し、社会生活の質の向上を目指した。

3. 明るく、かつ高品質間のある色調

日光の下でアスリートの動きをより軽やかに、そして美しく彩るカラーリングを用意した。疾走用膝継手でのシルバー、レッド、ブルーの3つのカラーは、使用者の好みに合わせて選択できる幅となり。義足に「選ぶ」ことの楽しみ、愛着を生み出す。

4. 安全性やメンテナンス性を考慮した詳細形状

指を挟んだり、健足部に衝突してけがをさせたりする事がないよう、細部にわたって安全設計を行い、ボルトの突出や、加工端などが露出しないよう心がけた。アライメントの調整やメンテナンスを容易に

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、より多くの人々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9. 試走風景



図8. 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。



目次

モジュール

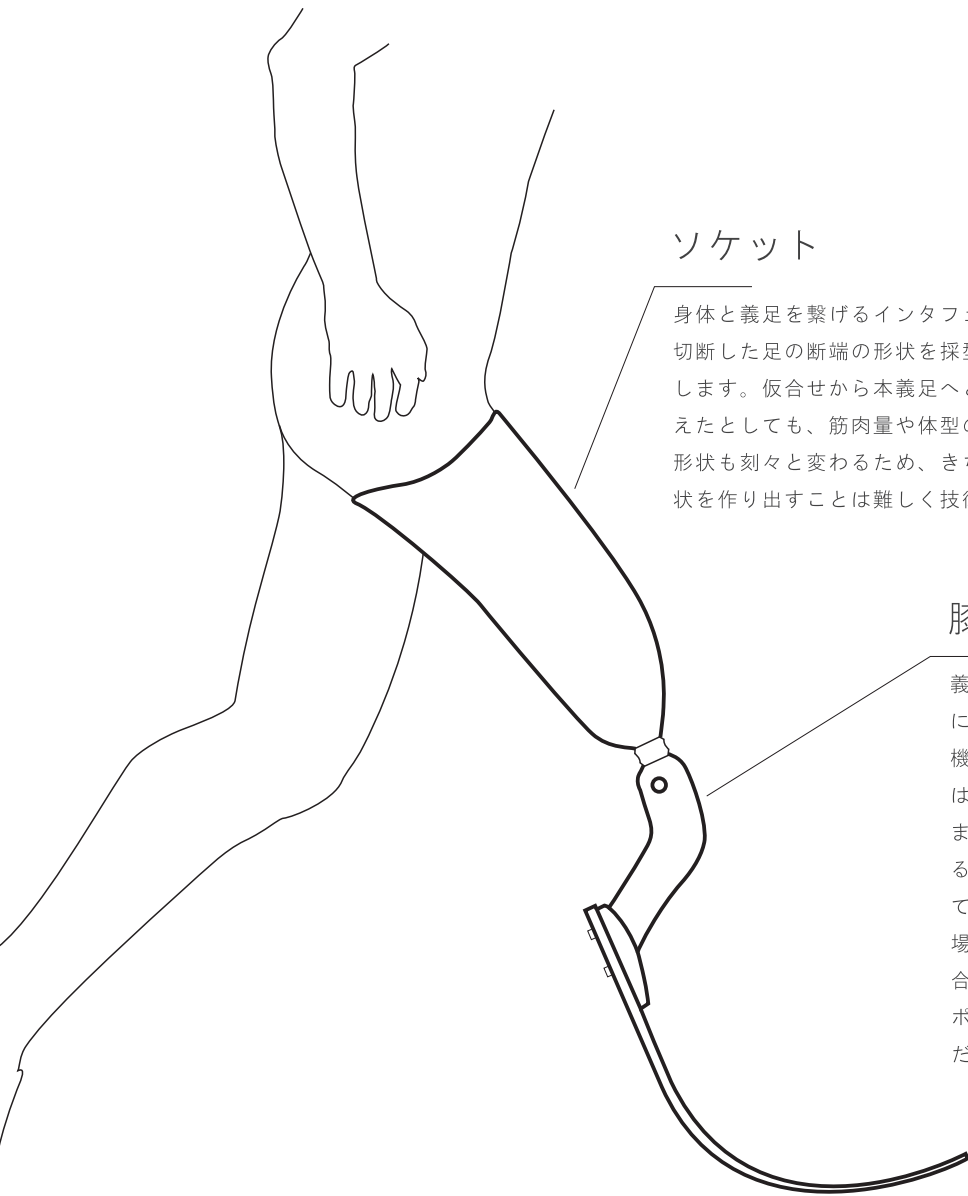
飾られた義足

疾走用大腿義足

「疾走用膝継手とエアロダイナミックカバー」

フィールドテスト

クロスカントリー用膝継手



ソケット

身体と義足を繋げるインターフェース。
切断した足の断端の形状を採型し、それを元に製作します。仮合せから本義足へと適合までの過程を終えたとしても、筋肉量や体型の変化に伴ない断端の形状も刻々と変わるため、きちんとフィットした形状を作り出すことは難しく技術を要する作業です。



ピラミッドジョイント

膝継手

義足は下腿義足、大腿義足、股義足、など切断部位により呼称が異なり、それぞれの義足に求められる機能も大きく異なります。その中でも、大腿義足には膝継手という膝の機能を補完するパーツが組み込まれています。膝継手には、着地時の衝撃を和らげるバウンス機能、歩行時の健足の動きに合わせて滑らかに膝下を運ぶための歩行追従機能が多くの場合備わっています。使用者の活動範囲や体重等に合わせて様々な種類のものが存在していますが、スポーツのような激しい動作に対応しているものは未だほとんどありません。

板バネ

カーボン強化繊維プラスチック製の、走行用足部です。走行時にバネの役割を果たし、跳ね上がるような独特の走行を可能にします。厚みによりカテゴリ分けされており、選手の走り方や体重によって、最も適しているものが選ばれます。

モジュール

走行用義足は主に3つのモジュールパーツで構成されており、ソケットと膝継手の接続はピラミッドジョイントと呼ばれる義足特有の方法が用いられます。

飾られた義足

多くのスポーツ用義足使用者もそれとは別に、通常は日常用の義足を使用しています。日常用義足もスポーツ用義足と同様に様々なパーツより成り立っていますが、組み立ての最後には、健常者の足の形状によく似た、スポンジ状のカバーが上から被せられます。このカバーには膝継手の回転軸に洋服が挟み込まれることや、人にぶつかった際に怪我を防止する、安全面での役割がありますが、それ以上に、欠損した外観を補完する目的が大きいです。しかし、スポーツ用義足は軽量化が強く求められるため、このようなカバーはされることなく、私たちの目の前に現れます。それらの義足には、日常用義足にはなかった、人に見せるための装飾があります。

女性アスリートの義足には、ラインストーンやシールが貼られ、ソケットはカラフルなハイビスカスの模様が入れています。今まで服やカバーの下で隠されてきた機構部品に装飾を加え、個性や美しさを義足そのものに求めています。多くの選手たちがスポーツ用義足のソケットには各々の好みに合わせた模様を入れたり、ステッカーを貼ったりしています。高度な技術を持った義肢装具士の元で手に入れた、速く、高く、躍動することのできる自慢の足。彼らはそれをより魅力的にアピールしようとすることを既に始めています。

隠すものから見せるものへ。そして、人々に賞賛されるものへ。アスリートたちはより美しく躍動できる義足を求めているのです。





疾走用大腿義足

「疾走用膝継手とエアロダイナミックカバー」

「走る」ことを目的に作られた疾走用膝継手。そして、走行時の空気抵抗を軽減し、安定性を向上させるエアロダイナミックカバー。疾走用大腿義足として、短距離陸上競技の新しいパートナーになりうる義足のかたちを生み出しました。身体の曲線と有機的に統合され、躍動する身体と一体になるその形状は、今後スポーツの世界に新たなフィールドが切り開かれていくことを予感させます。



身体とのつながり

身体と義足との連続性。既存の膝継手は構造上、板バネと身体を形状的に分断してしまうものでした。そこで現在多く使用されているモジュール間の接続用部品を取り除き、膝継手そのものに組み込みました。機械的な印象を与えてきたジョイントパーツを含めてデザインすることで、構造を単純化。この疾走用膝継手とエアロダイナミックカバーにより、身体からソケット、膝継手、板バネまでが、なめらかにひとつなぎとなる形状が実現しました。駆け抜けるアスリートが、より魅力的な存在となるかたちを模索しました。

疾走用膝継手





人が「疾走」するために

人が走るとき、義足には想像以上の強度や安全性が求められます。なめらかな形状の内部には、様々な機能部品が重量やサイズを試行錯誤したうえで組み込まれています。身体の構造とそれらの部品が一体となり、正確に連動することで、初めて「疾走」することを可能にするのです。



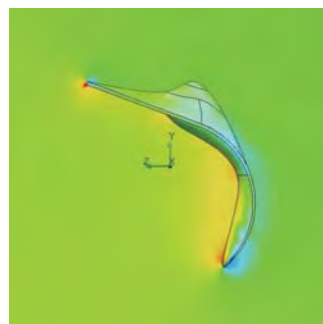
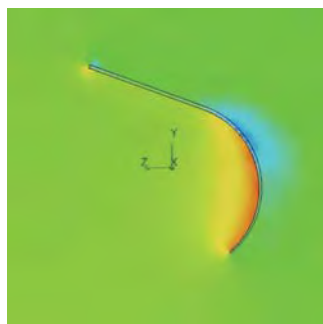
エアロダイナミックカバー

板バネの平面形状は走行時に空気の乱れを生じさせます。これが走行の妨げになるのではないかと考え、板バネの前後に貼付ける立体形状のエアロダイナミックカバーを開発しました。軽量化と板バネの着地時のたわみを考慮し、素材は軟質ウレタンフォームを採用。従来のスポーツ用義足とは大きく異なる外観の足が生まれました。

試用した方々からは「足が丸くなった感じがする」「着地時に音がしなくなった」という意見を得られました。流体的効果、板バネの静振効果が得られたと考えられ、アスリートたちをより速く、高く躍動させる存在となることが期待されます。

流体シミュレーション

コンピュータ上で流体シミュレーションによる解析を行いました。対地速度は15m/sを想定、走行時の最大加速度となる膝屈曲角度で、どのくらいの負荷が変化するのか、エアロダイナミックカバー有り無しの両方から測定しました。その結果、カバーが有る場合では、無い場合に比べて約1N、100g重程度の抵抗が軽減していることが確認できました。





1.



2.



3.



4.

フィールドテスト-大和スポーツセンター

フィールドテスト

本プロジェクトでは、開発したものを義足使用者の方々に試用してもらいフィールドテストを数回行いました。本研究室では疾走用膝継手、エアロダイナミックカバーの試走に参加し、評価プロセスにも関わりました。得られた意見により今後さらなる発展を目指します。



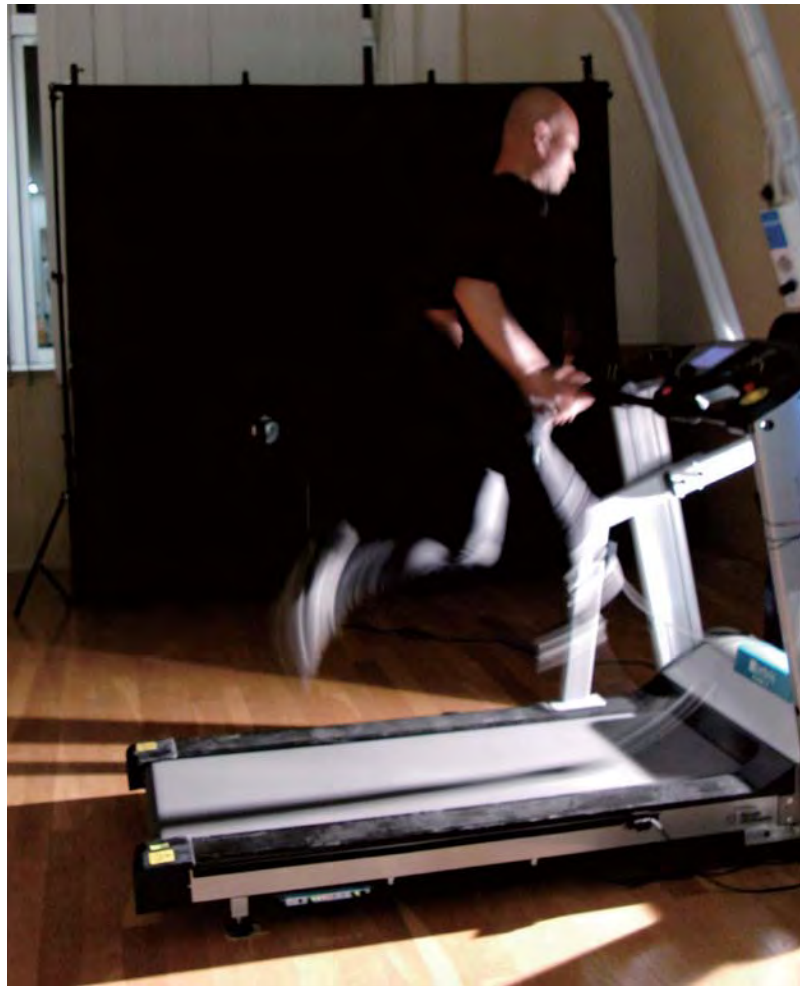
5. 切断者スポーツクラブ ヘルス・エンジェルスー東京都障害者スポーツセンター



6.



7.



8.

1.2.3.4. エアロダイナミックカバー・疾走用膝継手試走 (大和スポーツセンター)

5.6. 切断者スポーツクラブ ヘルス・エンジェルス (東京都障害者総合スポーツセンター)

7.8. トレッドミル走 (鉄道弘済会)





瀧上賢治選手

クロスカントリー用膝継手

2010年バンクーバーパラリンピックの出場者でもある瀧上賢治選手は、日本で唯一の大腿義足クロスカントリースキープレイヤーです。この競技では、滑走時に膝の屈曲角度をある一定のまま維持するロック機構が、膝継手に必要とされます。そのため、グローブをはめた手でも容易に角度を調節し、固定できるようにするためのインターフェースの開発を本研究室では行いました。凹凸や部品同士の隙間を減らした設計は、身体と膝継手とがなめらかに結合する外観を得られるだけでなく、悪天候下での耐性やメンテナンス性、アクセス時の安全性の向上に繋がっています。

美しい義足

Sports Prosthetic Project 2009 - 2010

制作

山中 俊治, 檜垣 万里子, 辻 勇樹, 田中 舞
根岸 岳, 鈴木 秀佳, 妹尾 優香里, 坂本 弥光
神山 友輔, 村松 充
(慶應義塾大学 山中俊治デザイン研究室)

共同研究

長縄 正裕, 鈴木 光久, 大塚 滋, 大蔵 史景, 黒岩 成一, 今井 伸一, 伊藤 智昭, 渡辺 学, 後藤 学, 芥川 雅也 (今仙技術研究所)
臼井 二美男, 坂井 優之, 稲垣 邦彦, 沖野 敦郎, 齋藤 拓, 大野 祐介, 梅澤 慎吾, 岩下 航大 (鉄道弘済会)

協力

切断者スポーツクラブ ヘルス・エンジェルズ
厚生労働省 平成21年度障害者保健福祉推進事業 (障害者自立支援機器等研究開発プロジェクト)

Shunji Yamanaka Design Laboratory

<http://yam.sfc.keio.ac.jp/>

慶應義塾大学大学院 政策・メディア研究科

〒252-8520 神奈川県藤沢市遠藤 5322

慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス デルタ S110

Phone:0466-49-3478 Fax:0466-47-5041



美しい義足

Sports Prosthetic Project

2009 - 2010



1.



2.



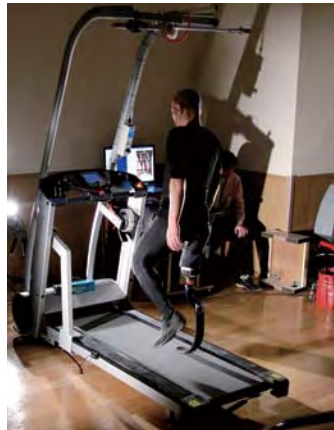
3.



4.



5.



6.

- 1, 疾走用大腿義足
- 2, 疾走用膝継手
- 3, エアロダイナミックカバー
- 4, クロスカントリー用膝継手
- 5, 「切断者スポーツクラブ ヘルス・エンジェルス」練習会
- 6, 疾走用膝継手トレッドミル走行実験（鉄道弘済会）

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。

*この研究は「スポーツ用義足の膝継手、板バネ等の開発」として、株式会社今仙技術研究所および財団法人鉄道弘済会と共同で、平成 21 年度障害者自立支援機器等研究開発プロジェクトに採択されました。

株式会社 今仙技術研究所
<http://www.imasengiken.co.jp>

財団法人 鉄道弘済会 義肢装具サポートセンター
<http://www.normanet.ne.jp/~limfitce/>

慶應義塾大学大学院 山中俊治デザイン研究室
<http://yam.sfc.keio.ac.jp/>