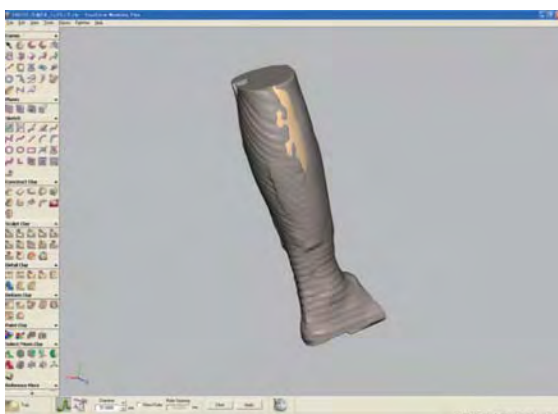
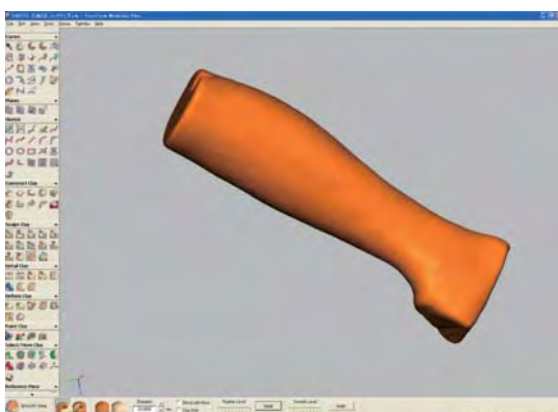


マージしたデータを **FreeForm** にインポート
します。

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。

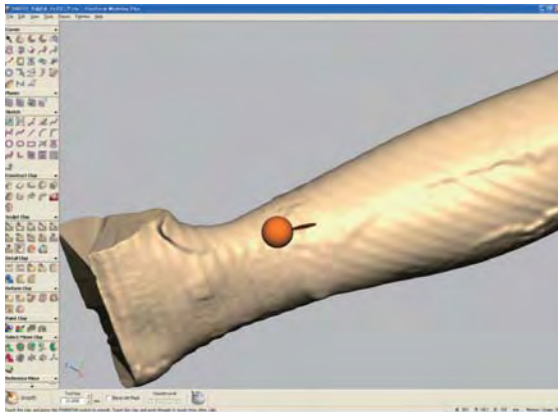


全体的にスムージングをかけます。

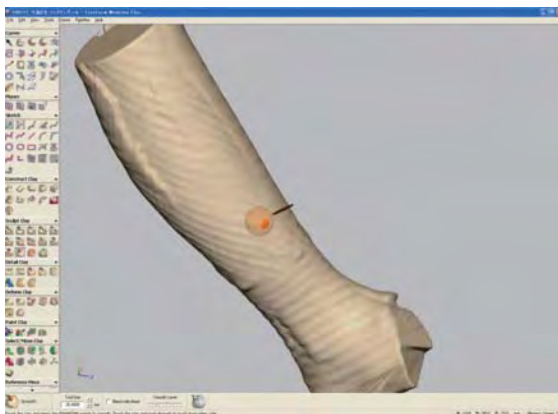
使用コマンド

SculptClay → **SmoothAre**

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



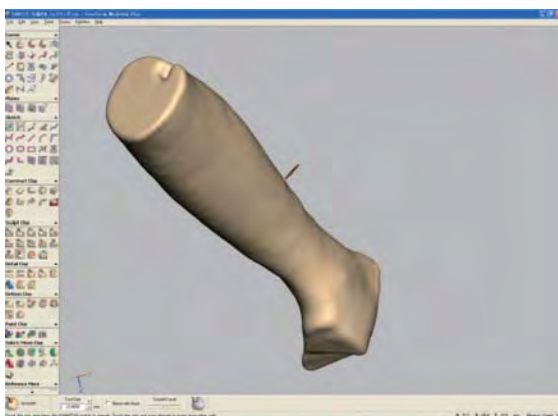
スムージングをかけても綺麗にならない箇所は個別にかけていきます。

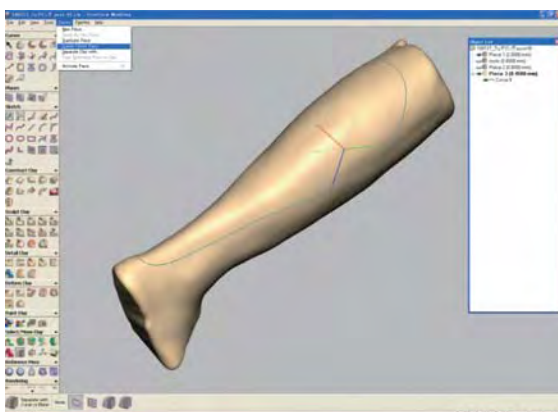


表からだけでなく裏からもスムージングをかけます。

使用コマンド

SculptClay → Smooth





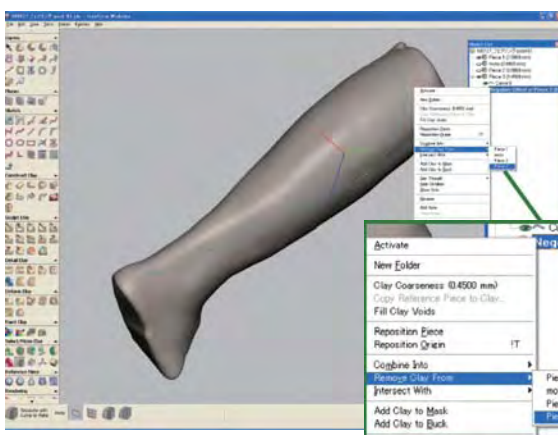
まず1ミリ中に入ったのオフセットピースを作成します。

『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。

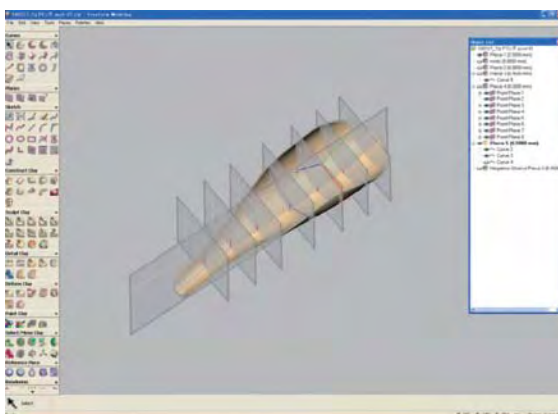
使用コマンド Select/Move Clay → Separate with Curve or Plane

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。

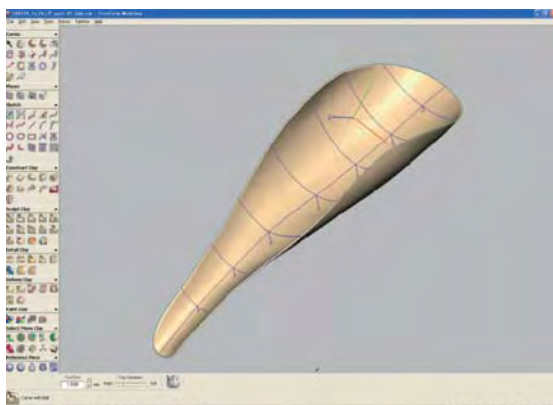
どちらか一方のクレイにカーソルをあてボタンを押し選択します。



クレイに断面をとっていきます。

使用コマンド

Planes → Create Plane

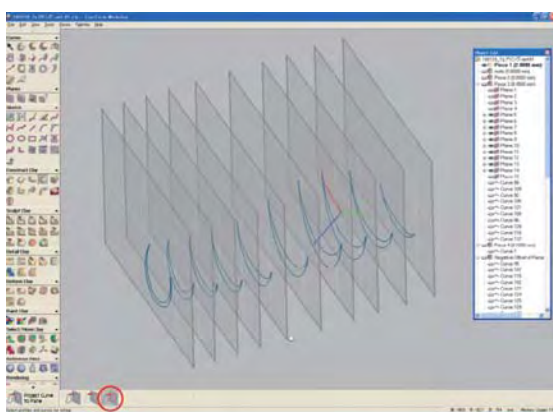


クレイに厚みをつけていきます。

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。

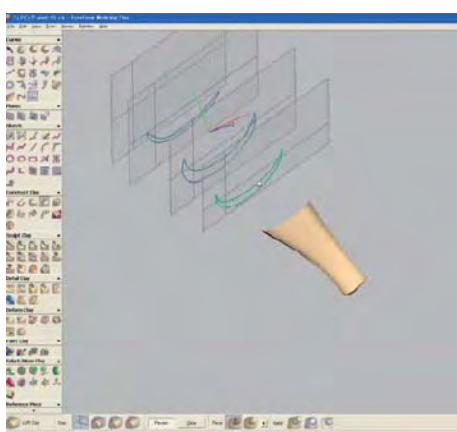
使用コマンド

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

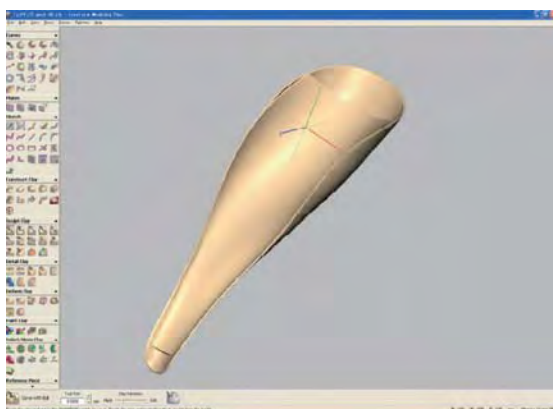
クレイにしたいスケッチ断面を端から順番に選択していきます。

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)

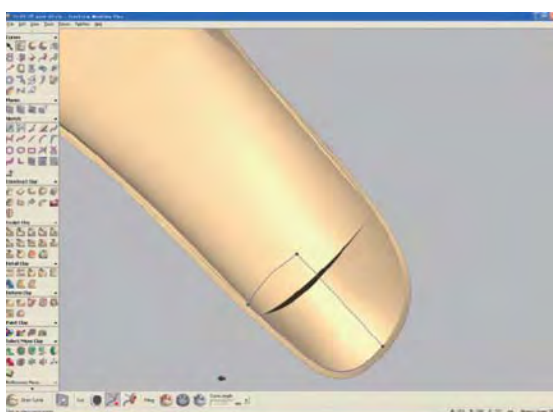


前にブーリアンした外側と、ロフトで作成した新しいクレイを合体させます。

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。

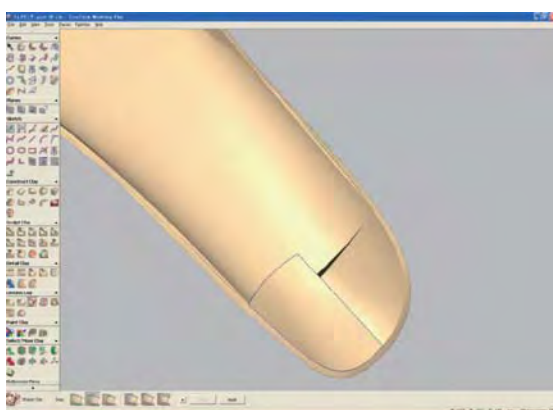


厚みの足りない部分を作成していきます。

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。

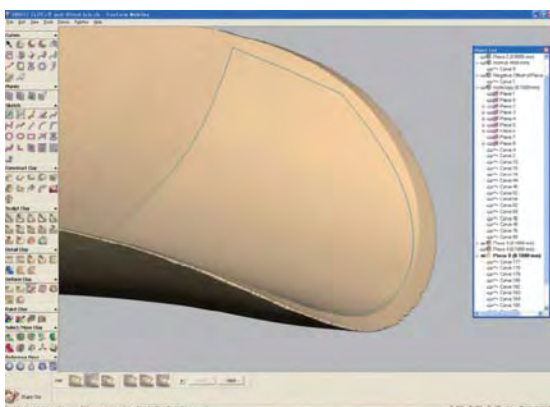
使用コマンド

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

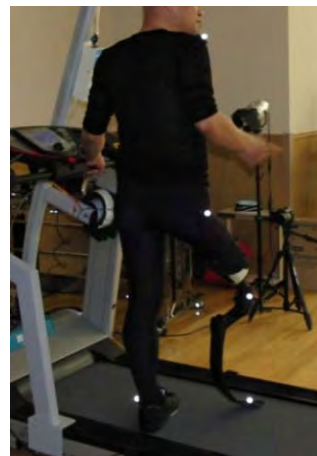
《1》対象 大腿切断者2名

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

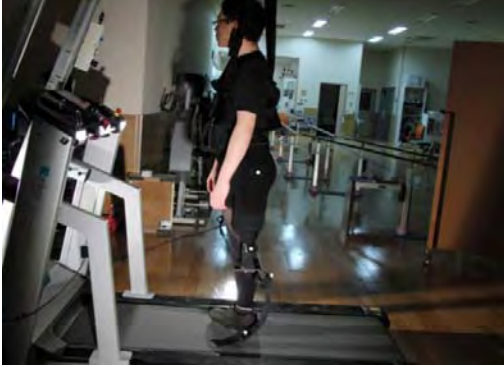
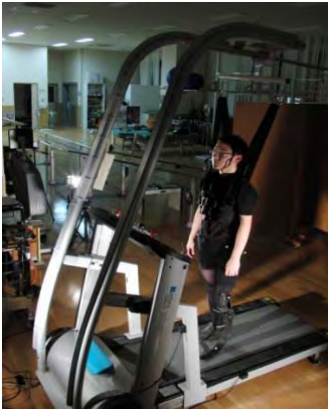


図 3-4 被験者 Y の測定



《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。

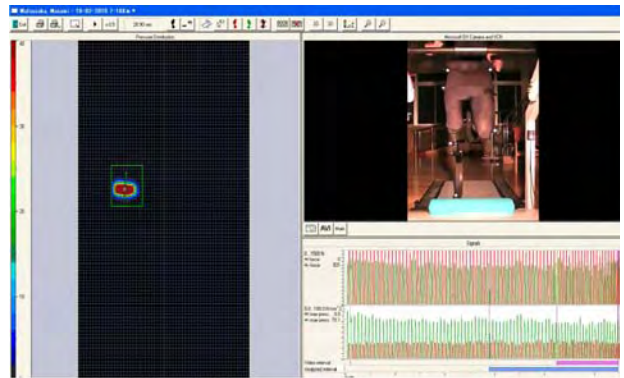


図 5 Zebris FDM-T

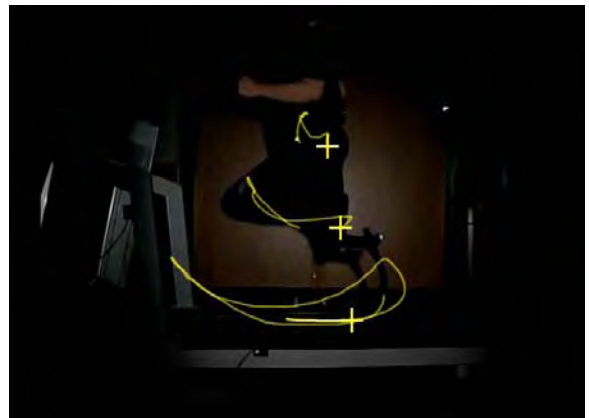


図 6 Dart Fish

※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

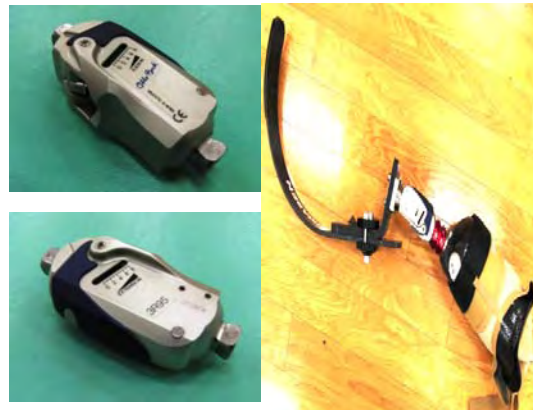


図8 3R95 使用の疾走用義足

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。

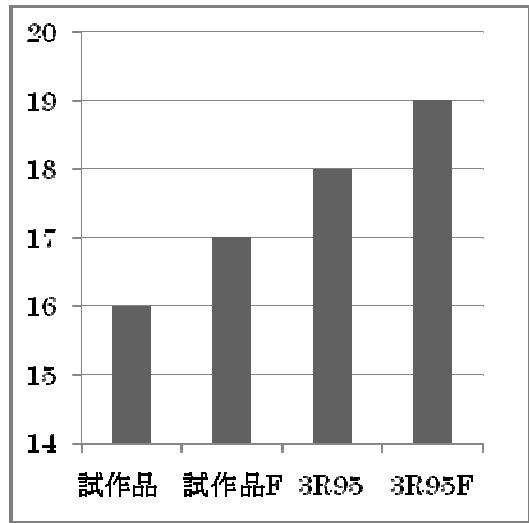


図 9 被験者 M 膝継手別最高速度 (km/h)

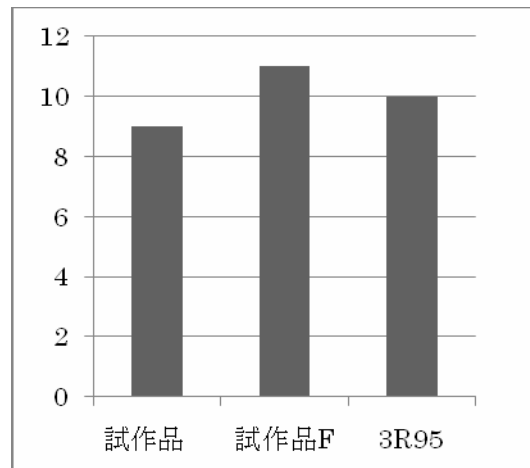


図 10 被験者 Y 膝継手別最高速度 (km/h)

《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)

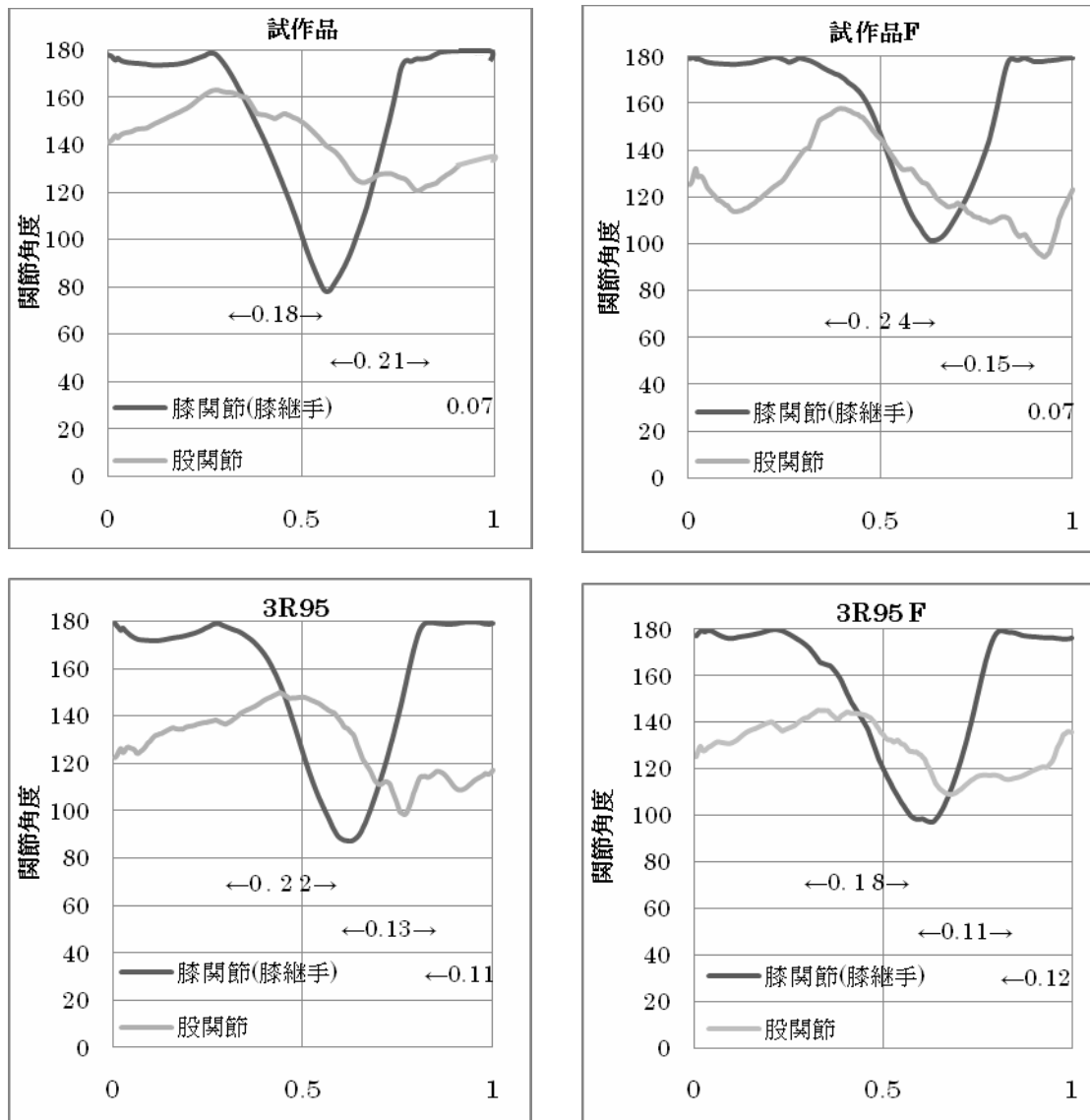
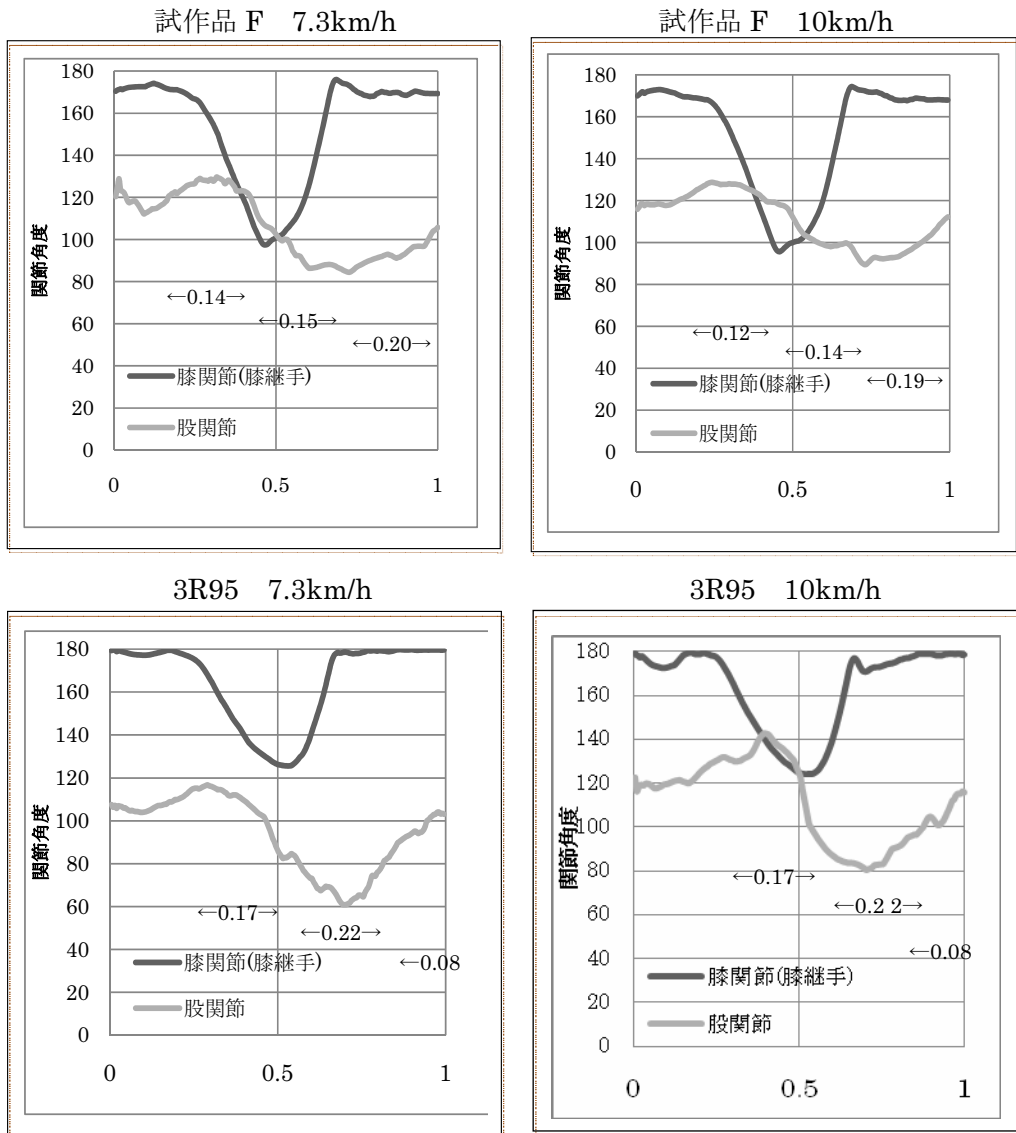


図 13 被験者 Y 膝継手別・速度設定別 遊脚期の計測

	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)

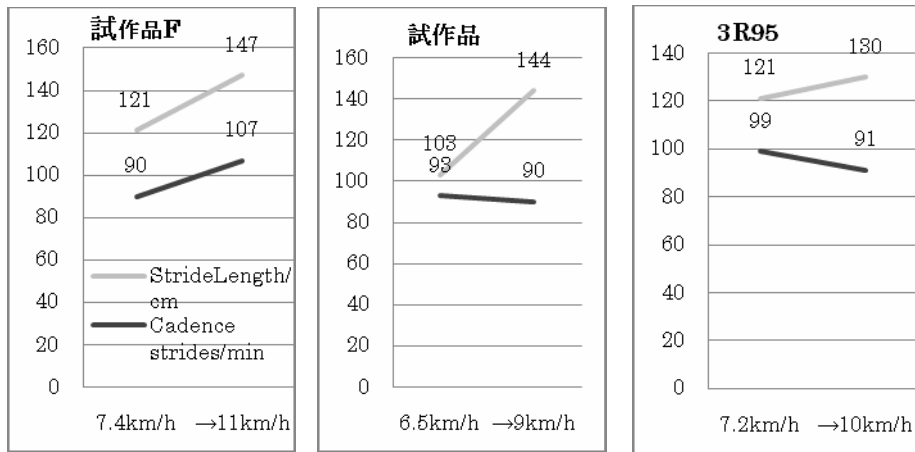


図 15 被験者 Y 速度変化に伴う ストライド長・ケイデンスの関係

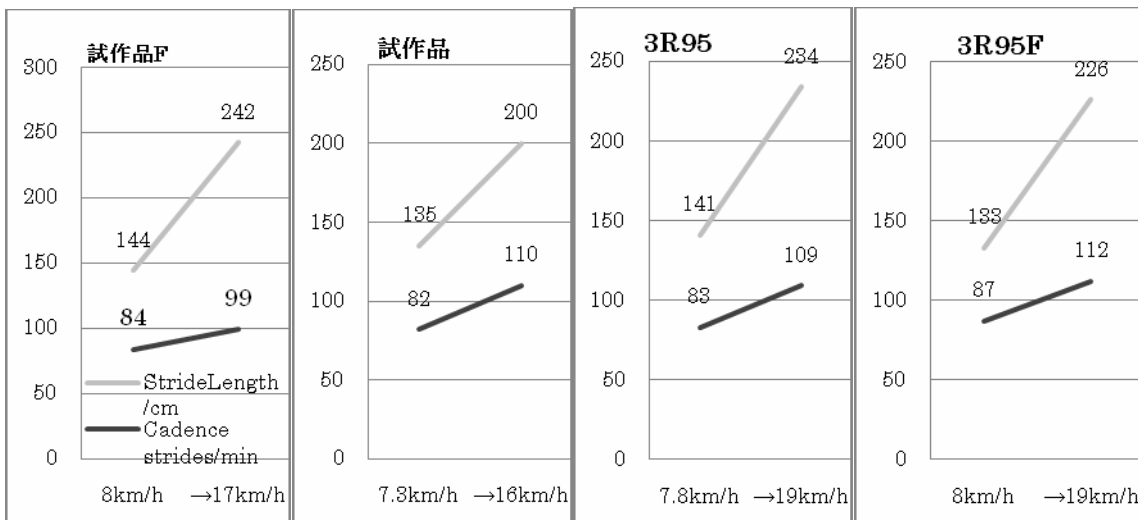


図 16 被験者 M 速度変化に伴う ストライド長・ケイデンスの関係

《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

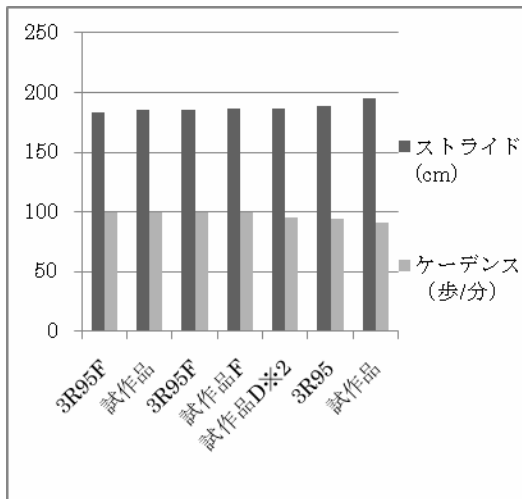


図 18 ストライド長・ケイデンスの関係

※ 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

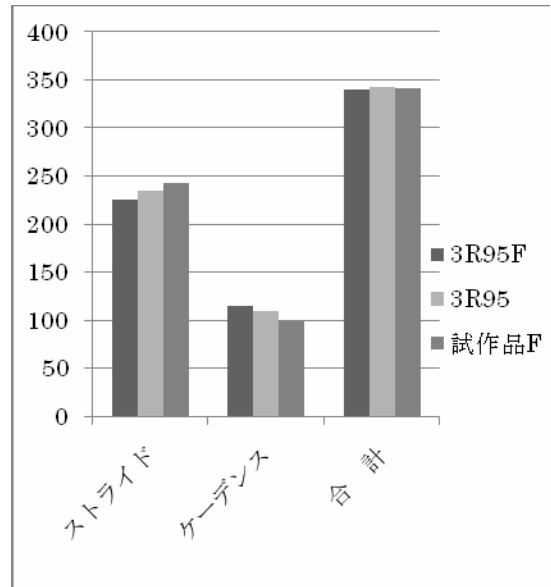


図 20 走行限界時のストライド・ケイデンス

《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)

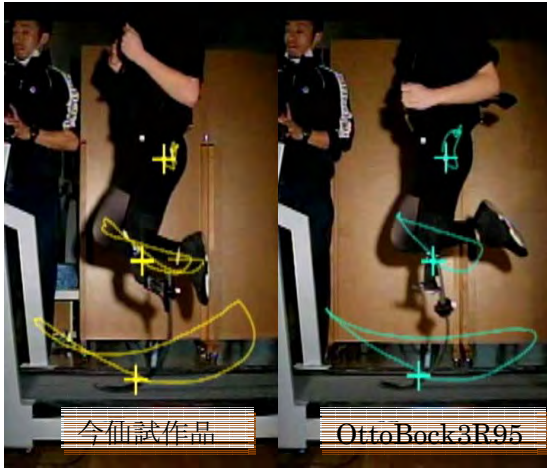


図 21 関節マーカー軌跡の比較

《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)

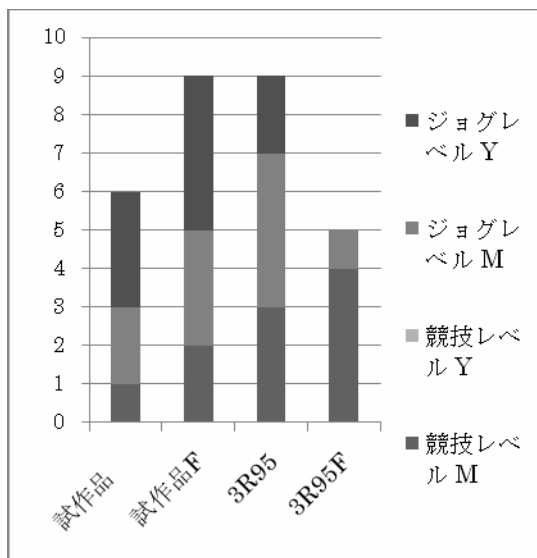


図 23 アンケート結果(点数)の合計

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。

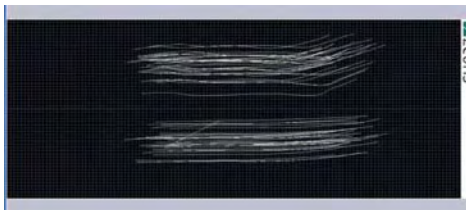
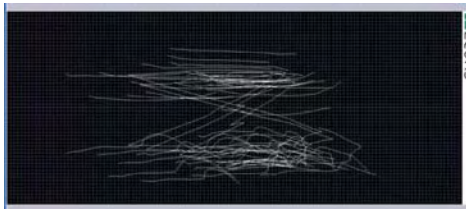


図 24-25 足圧中心の軌跡と被験者習熟度の違い(上：被験者 M 下：被験者 Y)



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

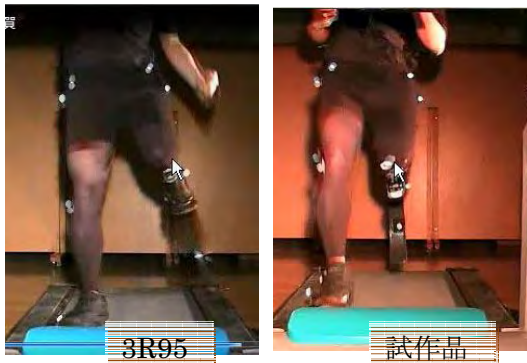


図 26 被験者 Y 遊脚期の比較(3R95 では分回している)

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)

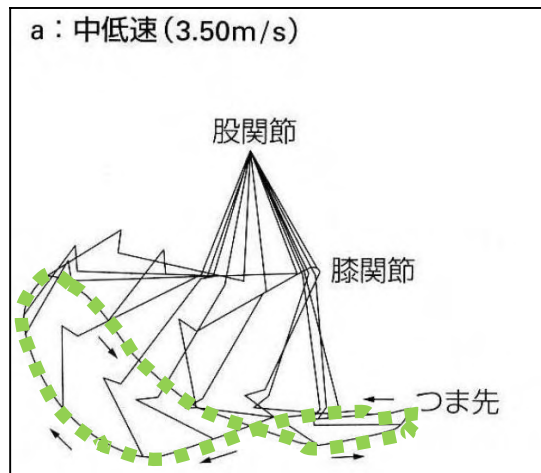


図 27 走行時足関節部の軌跡

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、