

図 17. FREEFORM によるモデル修正  
(前額面)

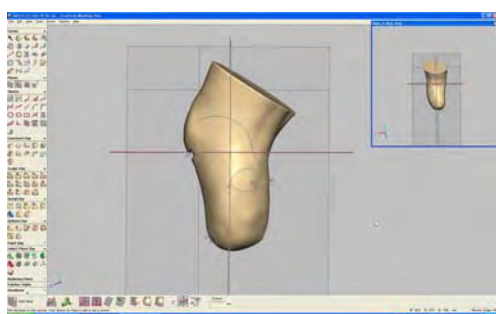


図 18. FREEFORM によるモデル修正  
(矢状面)

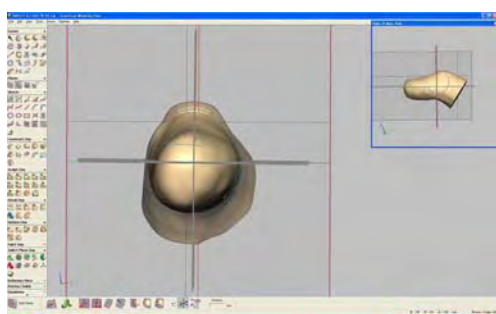


図 19. FREEFORM によるモデル修正  
(下面)

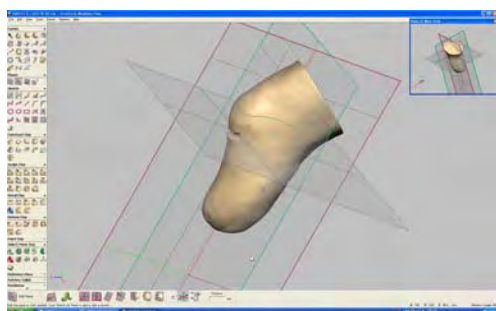


図 5.13 FREEFORM によるモデル修正  
(斜視図)

### 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。

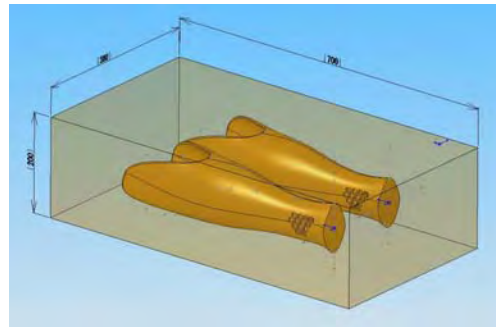


図 8.1 概念モデルの造形エリア内最適製作配置

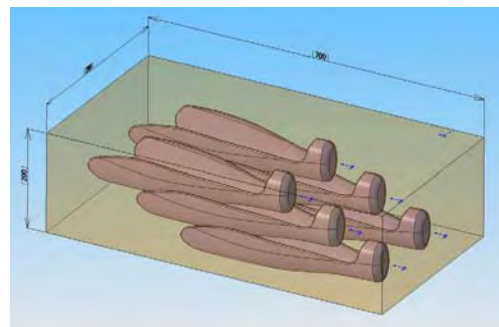


図 8.2 サンダル義足試作品の造形エリア内最適製作配置

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。

サンダル義足のシェルの外注加工費は、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

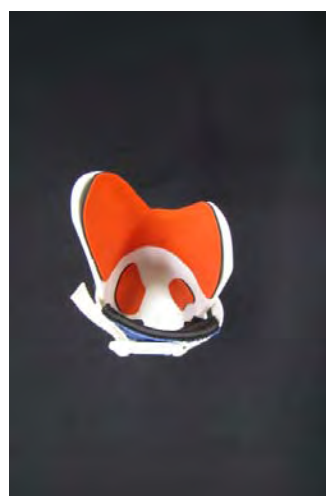
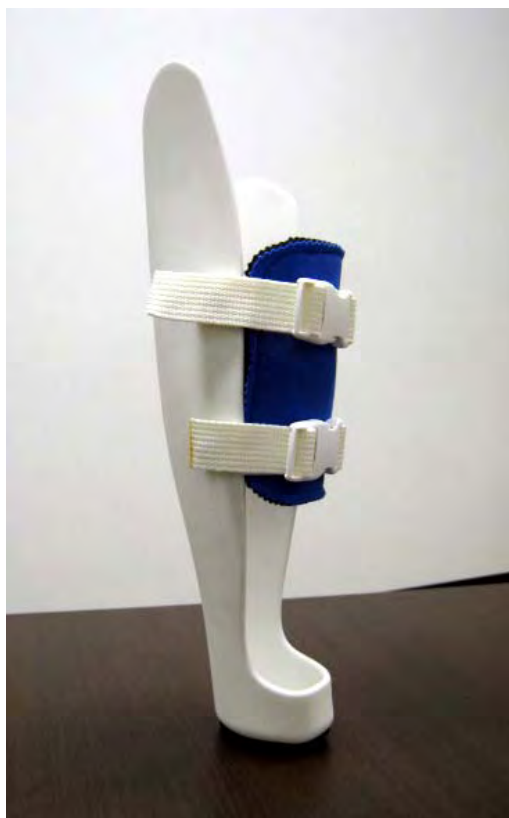
▽▽	普通寸法差	C 級		
区分	A ±	B ±	C ±	
1 以下	4 以下	0.05	0.1	0.3
4 以上	10 以下	0.07	0.2	0.5
10 以上	30 以下	0.1	0.3	0.7
30 以上	50 以下	0.2	0.5	1.2
50 以上	100 以下	0.3	0.8	2.0

角度公差 ± 1°

材料	PA	認可	検査	担当者	作業
SCALE	2.5	重量			鈴木
検印番		名称	テストシエル		
材料コード		回数			100108
型式	LAP0C	訂番			
符号		訂番			
		改訂			
		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



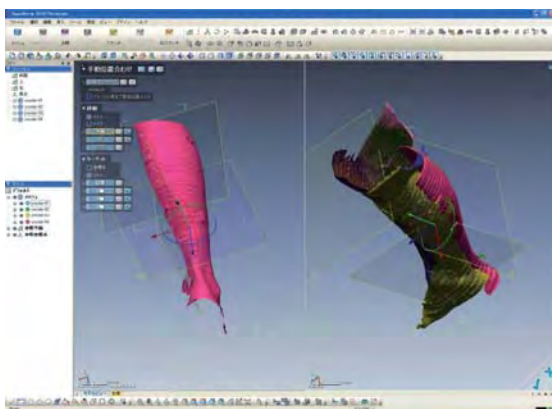
データを結合して形状の微調整



**CAD** データと **cly** データの位置を確認後出力

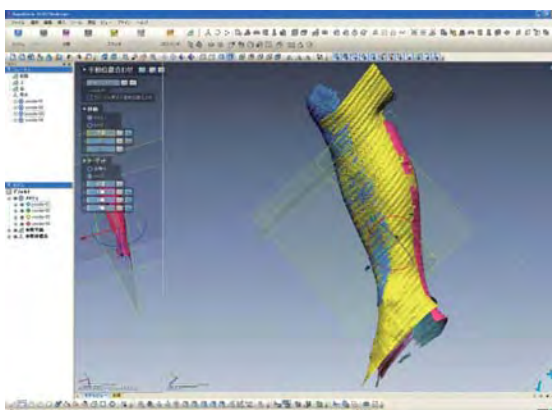
※ スキャンデータは、外用と中用の2種類で作業  
(各データのインポートまで同じ工程です)

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

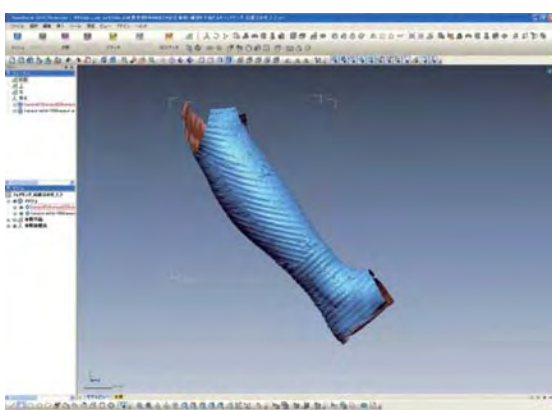


マージをした時になるべく綺麗なデータにする  
ために、形状に関係のないデータを削除し  
ます。

(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。

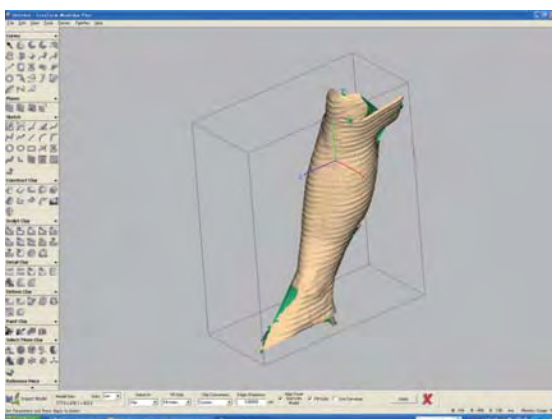
使用コマンド  
ツール→スキャンツール→位置合わせ



マージをして一つの STL データにします。

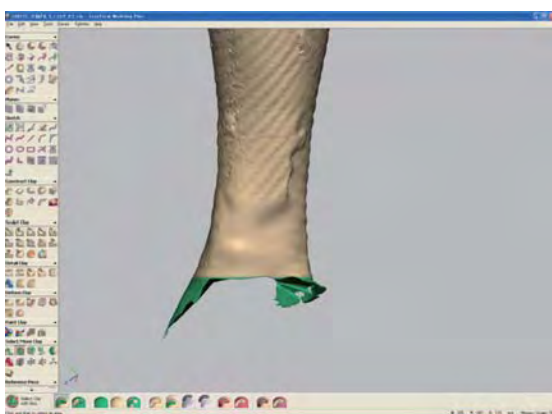
使用コマンド  
ツール→スキャンツール→ポリゴン化/ 合成  
中のデータも同じように、位置合わせをし  
て形状を綺麗にし、マージします。





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。

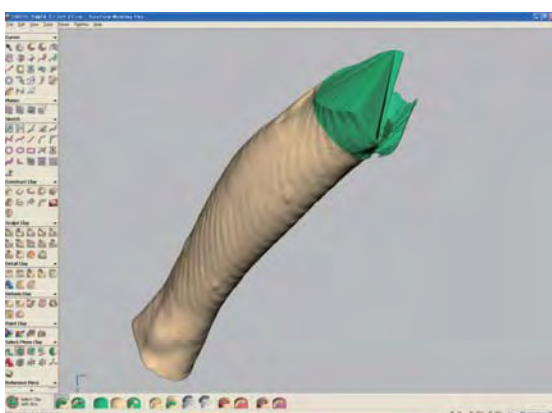
**FreeForm** にデータをインポートした際に大  
きな穴が開いていると無理やり埋め、形状が崩  
れます。

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。

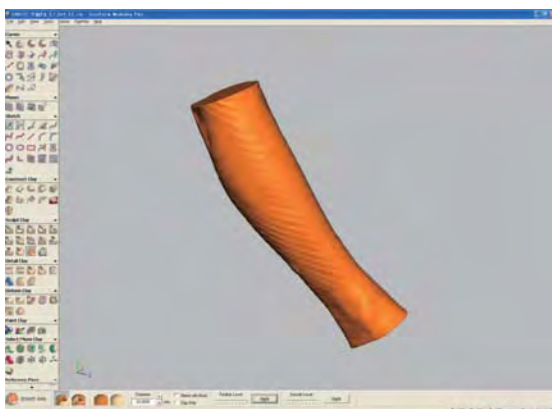
(今回は形状に関係が無かったので削除しま  
した。)

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。

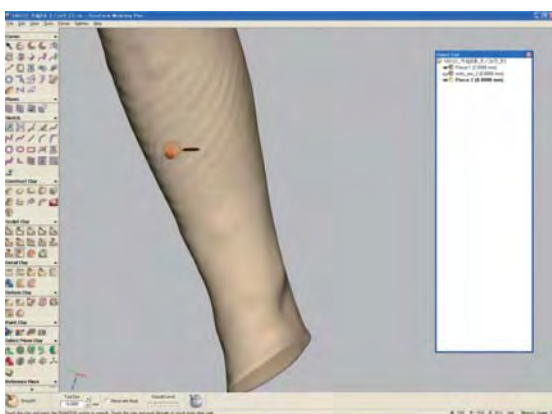


全体的にスムージングをかけます。

使用コマンド

SculptClay → SmoothAre

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

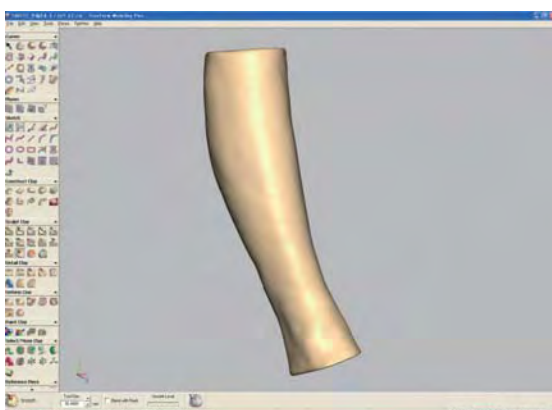


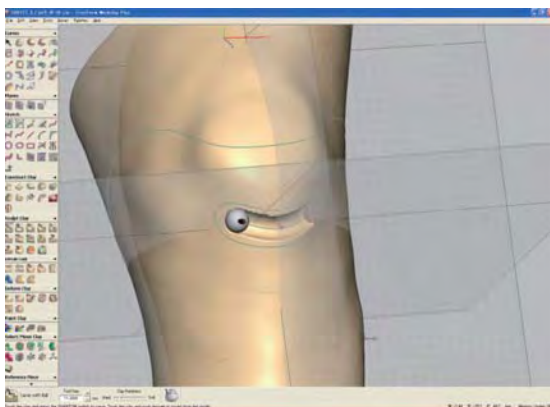
スムージングをかけても綺麗にならない箇所は個別にかけていきます。

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



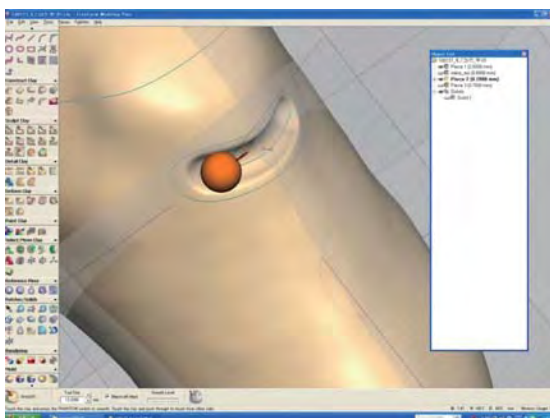


中用のデータを修正していきます。

使用コマンド

**Sculpt Clay** → **Carve with Bll**

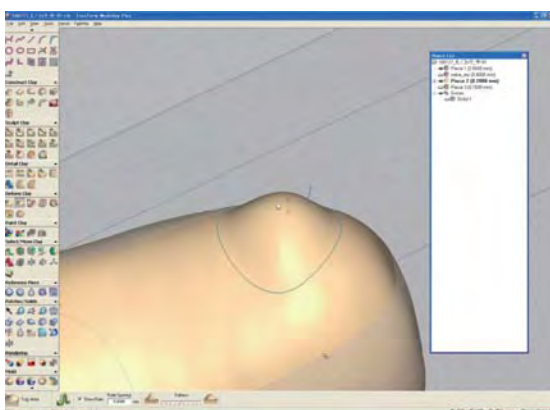
カーブに沿ってミゾを掘り込んでいきます。



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**



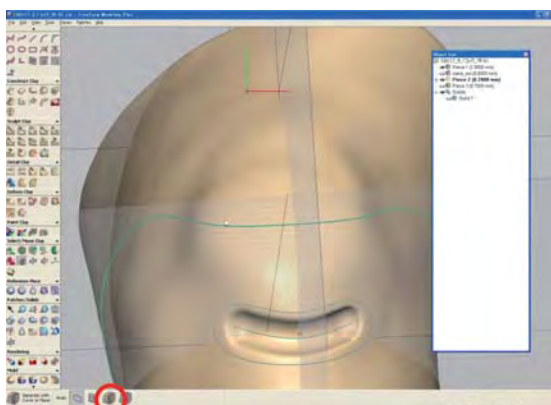
カーブの内側を外側の曲率に合わせて形状を持ち上げます。

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。



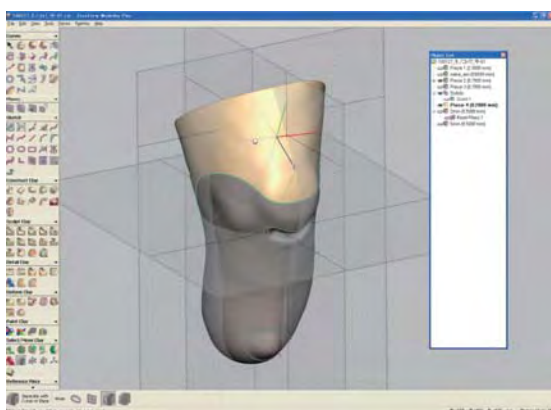
カーブに沿ってクレイを切り離します。

使用コマンド

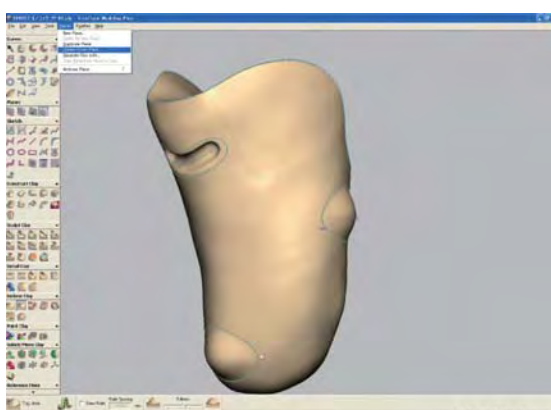
Select/Move Clay → Separate with Curve or Plane

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。



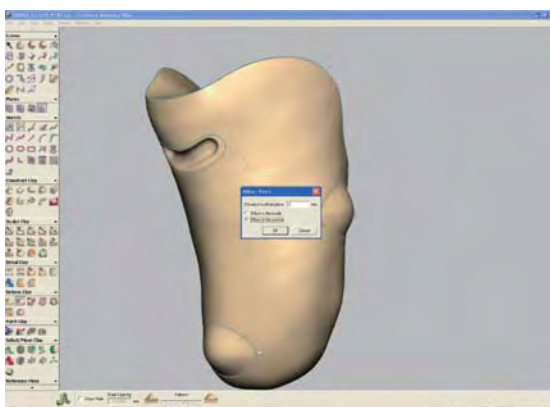
クレイが切り離されました。



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

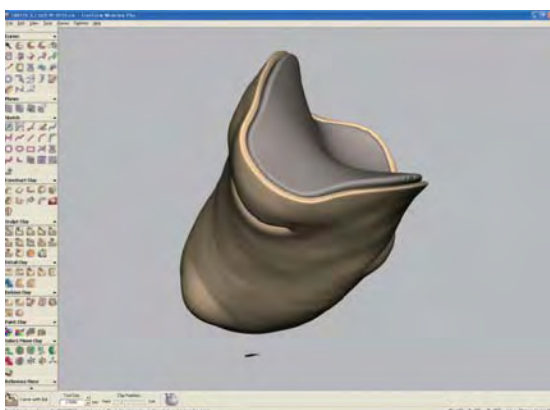


画面の真ん中に『Offset Piece』という項目が出てきます。

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。)

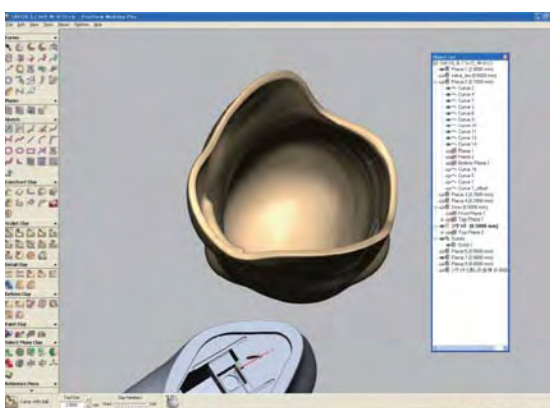


先ほど、7ミリオフセットしたクレイを2ミリオフセットしたクレイでブーリアン (差) をします。

使用コマンド

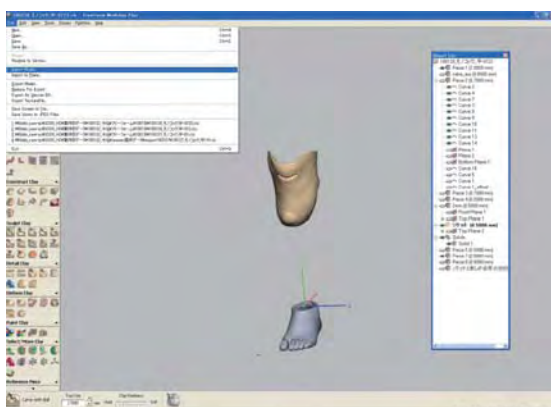
オブジェクト→2ミリオフセットしたクレイ

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

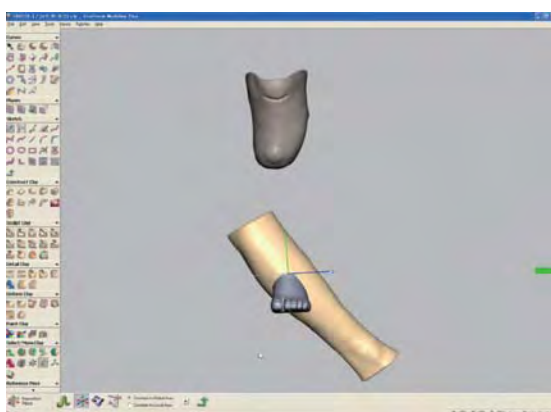


リムーブ(ブーリアン)が出来た状態です。

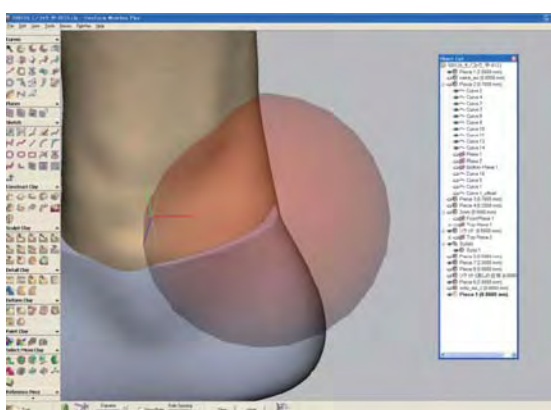
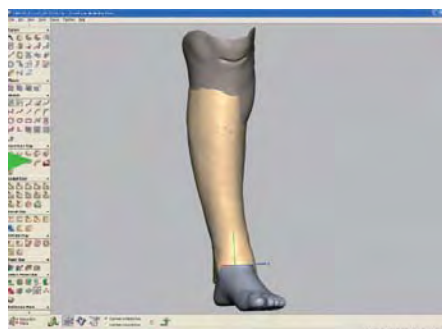




『File』から『Import Model』でスムージングをかけたモノコックの外の足をインポートします。



『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。



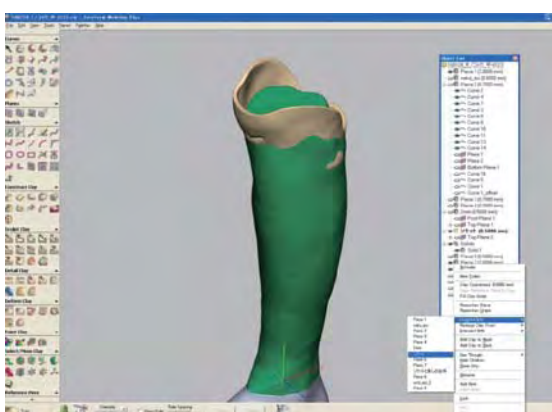
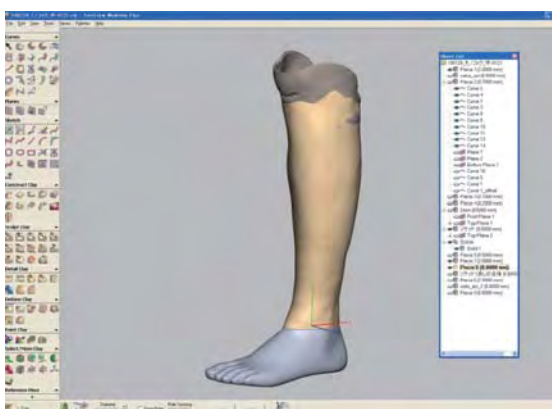
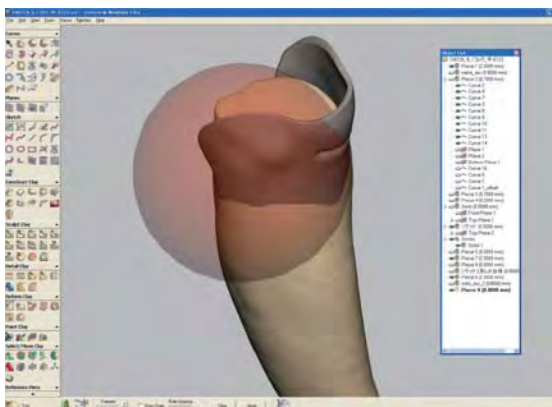
CADデータの足やソケットの形状に合わせていきます。

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。

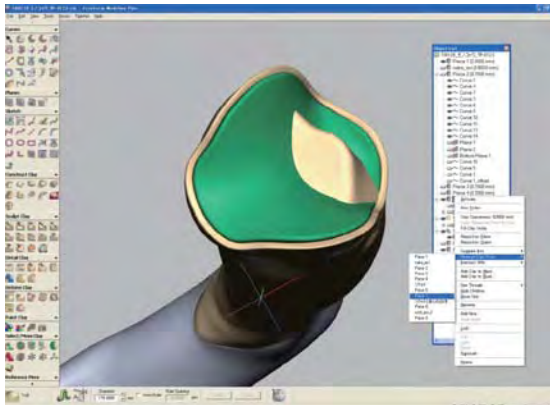
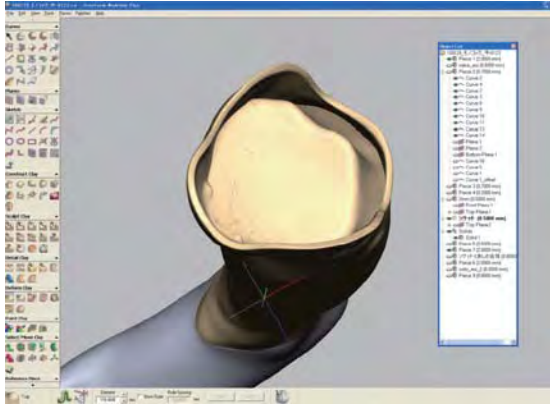




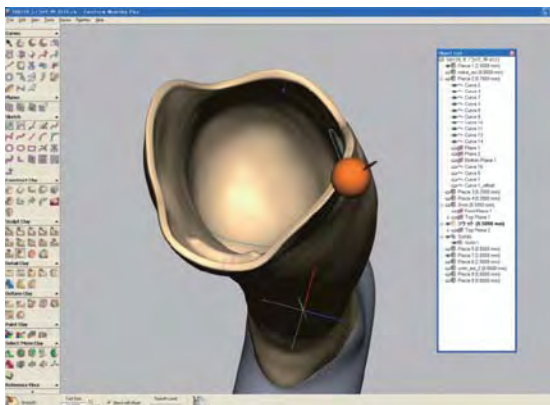
形が合ったソケットと足を合体させていきます。

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)

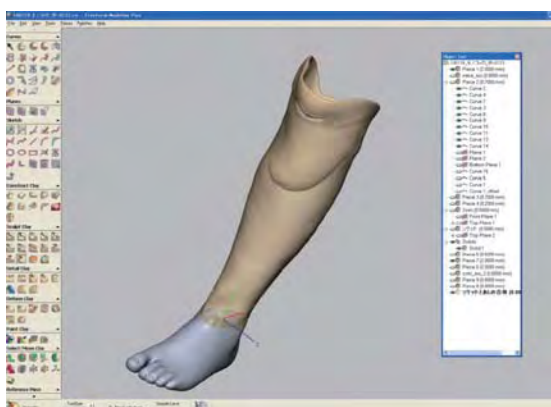


合わせたことにより、ソケットの中が埋まっ  
てしまいましたので、先ほどと同じように、  
2ミリオフセットしたソケットのクレイでリ  
ムーブします。

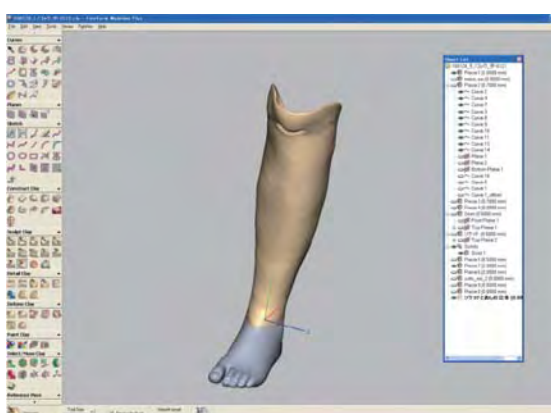


角を丸めていきます。

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。

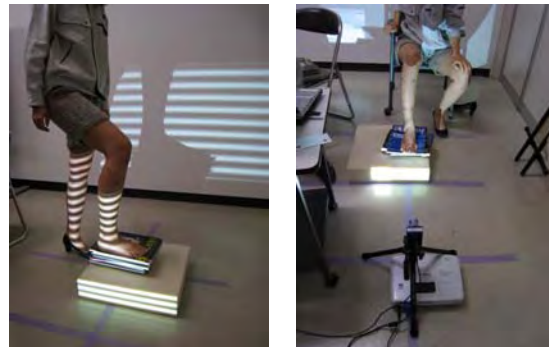


図1 三次元デジタイザによる採型

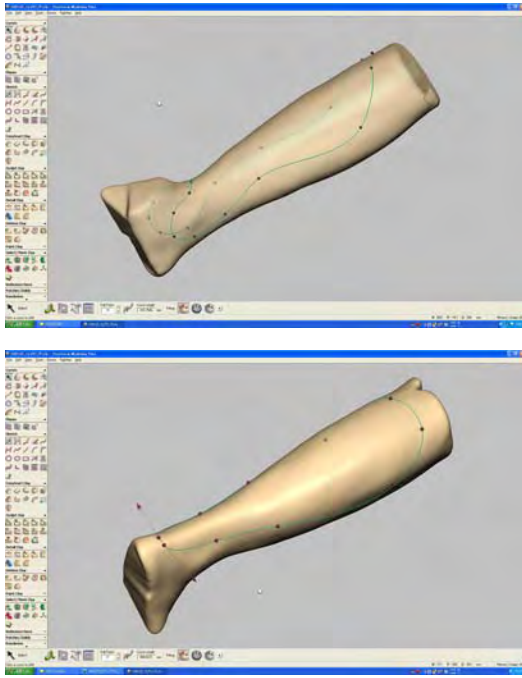


図2 Rapid Form と Free Form によるモデリング加工

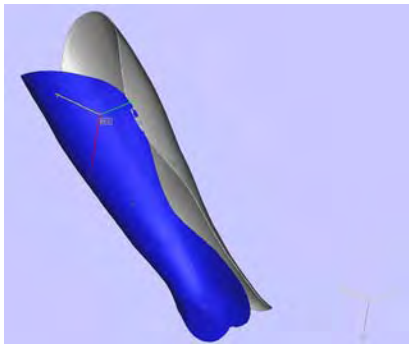


図3 中間データ

#### 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



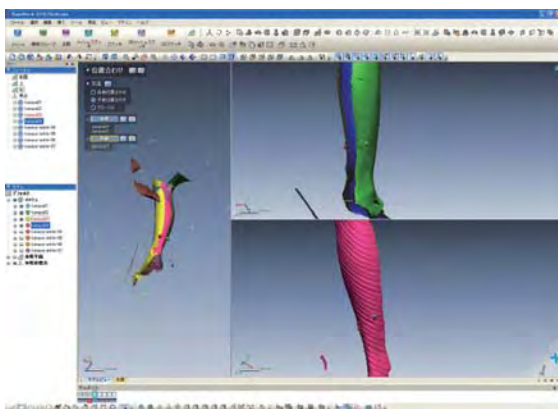
全体をスムージング、形状の微調整



最終形状への作り込み

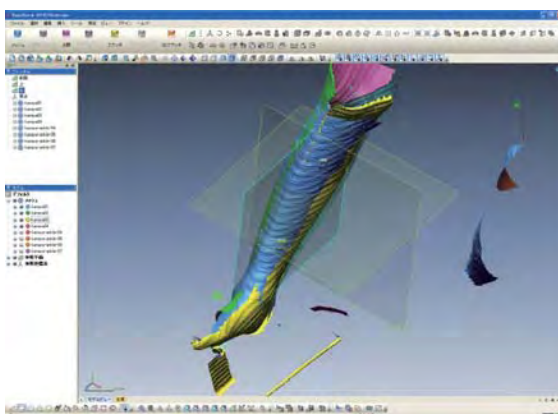
※ 最終形状は足の脛と脹脛の2種類を作成。両方とも同じ作り方です。

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。

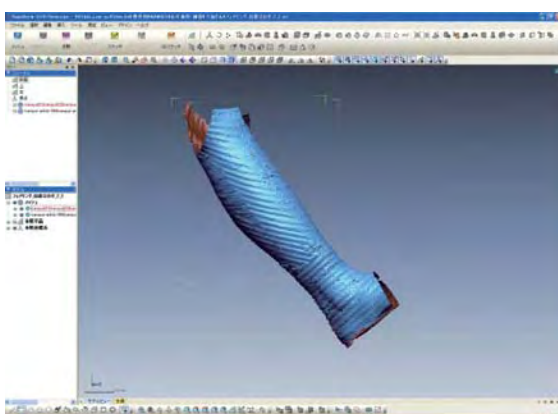
使用コマンド  
ツール→スキャンツール→位置合わせ



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