

システム開発

17 - F - 13

精密な人体形状相同モデル化システムの開発と
製品設計への適用に関するフィジビリティスタディ
報 告 書

- 要 旨 -

平成18年3月

財団法人 機械システム振興協会

委託先 社団法人 人間生活工学研究センター

KEIRIN



この事業は競輪の補助金を受けて実施したものです。

序

わが国経済の安定成長への推進にあたり、機械情報産業をめぐる経済的、社会的諸条件は急速な変化を見せており、社会生活における環境、都市、防災、住宅、福祉、教育等、直面する問題の解決を図るためには技術開発力の強化に加えて、多様化、高度化する社会的ニーズに適応する機械情報システムの研究開発が必要であります。

このような社会情勢の変化に対応するため、財団法人機械システム振興協会では、日本自転車振興会から機械工業振興資金の交付を受けて、システム技術開発調査研究事業、システム開発事業、新機械システム普及促進事業等を実施しております。

このうち、システム技術開発調査研究事業及びシステム開発事業については、当協会に総合システム調査開発委員会(委員長:政策研究院 リサーチフェロー藤正 巖氏)を設置し、同委員会のご指導のもとに推進しております。

本「精密な人体形状相同モデル化システムの開発と製品設計への適用に関するフィージビリティスタディ」は、上記事業の一環として、当協会が社団法人人間生活工学研究センターに委託し、実施した成果をまとめたもので、関係諸分野の皆様方のお役に立てれば幸いです。

平成18年3月

財団法人 機械システム振興協会

はじめに

わが国のものづくり産業において製造や流通の市場がグローバル化した今、国内企業が安価で豊富な労働力を有する中国等アジア諸国に生産拠点を移転させることは、必要かつ当然の流れである。特に、労働集約型産業の衣服・繊維・靴・眼鏡業界でこの傾向が顕著である。一方、製品の機能・種類を絞り込み、海外で安く大量に生産することで圧倒的低価格を実現し、大量に流通させることで利益を得るビジネス戦略が岐路に差しかかっていることも現実である。衣服・繊維・靴・眼鏡の業界では、わが国は欧州のようなブランド力を有しておらず、デザインやキャラクタによる高付加価値化には自ずと限界がある。わが国が得意とする計測・情報通信技術を駆使した、新たな付加価値戦略が求められている。

ところでここに、大量生産・大量流通により品質の安定した低価格の製品が手に入るようになった反面、サイズやデザインは画一的で、消費者は自分の体型に合った衣服・靴・眼鏡を製造・流通側が提示する範囲の中で選択せざるを得ず、必ずしも自分の好みに合ったものが手に入るとは限らないという状況がある。これは第二次大戦後のわが国の高度成長がもたらした、体格の変化（高身長化）、寿命の変化（高齢化）、ライフスタイルの変化（ニーズの多様化）が大きな要因となっている。

このような状況を打開するため、平成14年度に「オンデマンドサービス・製造技術に関する調査研究」を実施し、消費者個々人の体型に適合し要望に応じた製造・流通を行う高付加価値戦略を提言した。その調査研究では、アンケート調査からオンデマンドサービス・製造に対する消費者の期待は大きく、量産品の平均1.5倍の価格であれば購入の意思あり、との結果を得ている。また、オンデマンドサービス・製造によって、わが国に約1兆円の製品・サービス市場の創生と、約8万人の雇用創出が見込まれることが試算されている。

本フィージビリティスタディ(以下スタディという。)は、その平成14年度に実施した「オンデマンドサービス・製造技術に関する調査研究」の次フェーズとして、消費者個々人の人体形状に応じたサービス・製品を即時に提供する、機械システムを中心とした「オンデマンドサービス・製造技術」のコア技術・システム（精密な人体形状相同モデル化システム）を開発することを目的として、また当該開発システムから生成されるデジタルモデルの製品設計への適用の有為性・有効性を評価することも目的として実施したものである。

平成18年3月

社団法人 人間生活工学研究センター

序

はじめに

[目次]

1 . スタディの目的	1
2 . スタディの実施体制	5
2.1 実施体制	5
2.2 調査開発委員会	6
3 . スタディの要旨	7
第1章 現状の技術サーベイランス	7
1.1 計測技術	7
1.2 オンデマンド製品の設計・製作工程モデル化例	8
1.3 計測データの活用例	14
1.4 まとめ	17
第2章 精密な相同モデリング	18
2.1 人体形状計測装置の高精度キャリブレーションと データ貼り合わせサブシステムの開発	18
2.2 人体の標準となる粗い全身標準相同モデルの開発	21
2.3 細分割曲面とデータフィッティングによる 精密な人体形状相同モデル自動構成サブシステムの開発	27
2.4 三次元形状サンプルの相同モデル化作業	31
2.5 精密な人体形状相同モデルからの自動採寸サブシステムの開発	43
2.6 まとめ	44
第3章 精密な相同モデルと適合靴試作	45
3.1 精密な相同モデル	45
3.2 オンデマンド製品の設計・製作における精密な相同モデル	46
3.3 適合靴の試作	47
3.4 試作靴の適合評価	50
3.5 まとめ	55
第4章 スタディの今後の課題及び展望	56
4.1 残された技術課題	56
4.2 波及効果と展望	57
おわりに	58

1. スタディの目的

オンデマンドサービス・製造技術とは、衣服や靴、メガネと言った着装型のファッション製品を消費者個人の人体形状データに応じて提供するビジネスである（図1-1）。消費者は店舗などで自分の体形を計測し、それを登録する。製造元は消費者個人の体形に応じて個別に製品を設計・製造したり、あるいは、登録・蓄積された人体形状データベースに基づいて効率的にサイズ設計した商品の中から、消費者個人に適合するものを選定・推奨して提供する。このビジネスを通じて、店舗などで計測した消費者個人の体形データを匿名データとして人体形状データベースに蓄積していく仕掛けを構築するところに特徴がある。消費者自身も、自分の体形を登録することによって、他店でのショッピングに利用したり、電子商取引で活用することも可能になる。

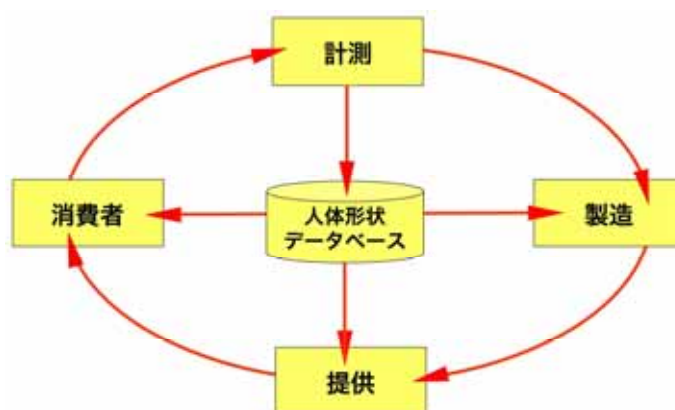


図1-1 オンデマンドサービス・製造技術

このようなビジネスモデルの実現に向けた課題はいくつかあるが、特に、店舗等で消費者個人の体形を計測し、それを再利用可能なかたちで蓄積するところに最大の技術課題が残されている。計測技術に関しては、より自動化の進んだ、コンパクトで低価格な計測装置が求められている。また、利用技術については、計測データから人体寸法を計算・取得するソフトウェアや、寸法だけでなく3次元形状そのものを統計処理したり、比較するような技術が必要となる。近年、このような仕様を満足するような計測装置や、採寸ソフトウェア、形状統計処理ソフトウェアなどが開発・市販されるようになってきている。計測装置については、ランドマークの自動検出技術を備えた簡便な計測装置が市販されはじめ、また、平成17年度採択の中部経済局地域新生コンソーシアムでは「オンデマンド市場創成のためのヒューマンメトリクス計測技術」として全身を1秒以下で計測する300万円以下のコンパクトな計測装置の開発が進められている（図1-2左）。また、これらの計測データからさまざまな人体寸法を自動的に計算するソフトウェアも国内外で市販されるようになり、そのソフトウェアを組み込んだ計測装置も市販されている。さらに、3次元人体形状を統計処理するソフトウェアも市販され始めている（図1-2右）。このような流れの中で、計測装置で取得した人体形状データの記述形式（図1-2中）が混在し、データのポータビリティ（互換性）が顕在化し始めている。採寸ソフトウェアや統計ソフトウェアは特定の計測装置との組合せでしか動作しないものが多く、人体形状データの共有の障壁になり始めている。

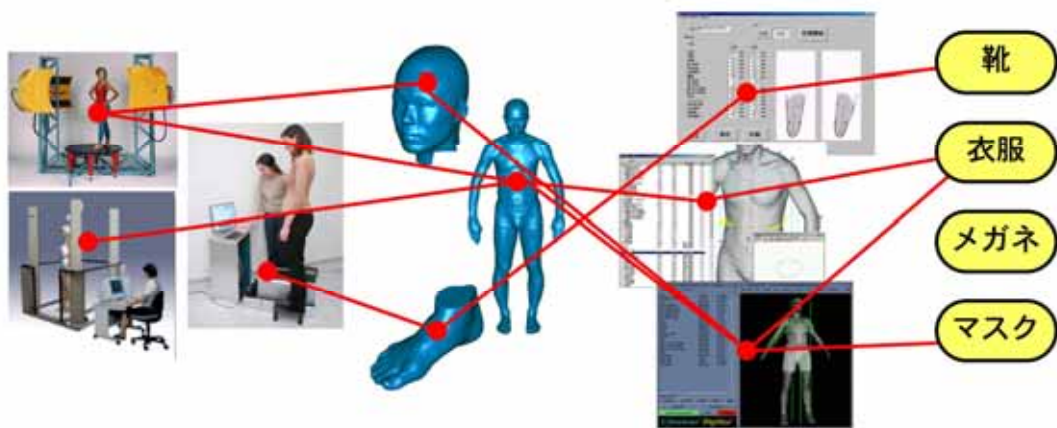


図 1 - 2 人体形状計測装置 - 人体モデル - 採寸ソフトウェアの現状

本スタディでは、このような人体形状データのポータビリティの問題を解決するために、さまざまな計測装置で得られたデータを、採寸可能で統計処理可能な人体モデルとして記述する方法を開発する。さらに、このような方法で得られた人体モデルが、オンデマンド着用品ビジネスにおける適合製品設計の基礎情報として有用であることを、実際の着用品試作試験を通じて確認することを目的とする。このために、本スタディでは、互換性の高い標準的な人体形状データ記述形式として「精密な人体形状相同モデル」を提案する（図 1 - 3）。

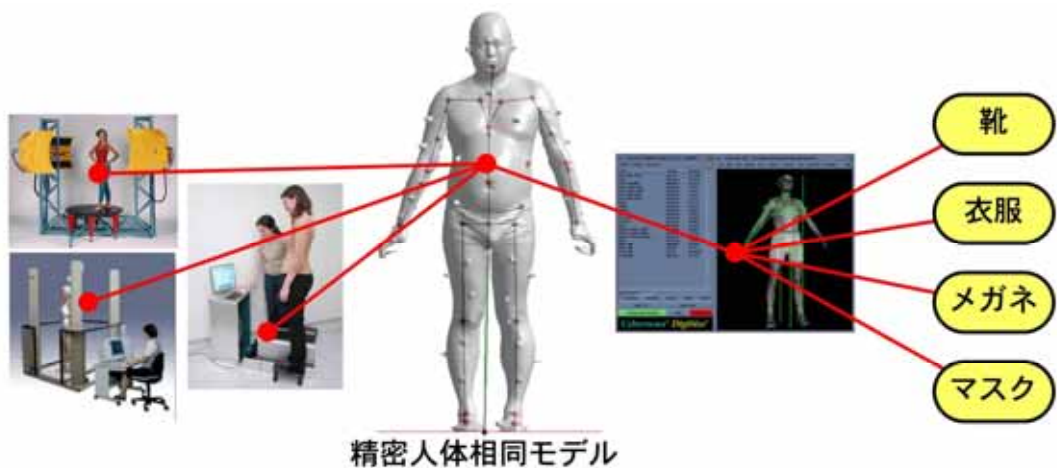


図 1 - 3 精密な人体形状相同モデルによる標準的な人体形状データ記述

従来、人体形状データを記述するには、汎用ポリゴンモデル表現、Nonuniform Rational B-Splines (NURBS) などの汎用曲面表現が利用されてきた。十分なポリゴン数や曲面数で表現すれば、そのデータから改めて断面周囲長などを採寸することができる。ただし、これらの汎用表現は、人体だけでなく自動車でもコーヒーカップでも表現できるような一般的なもので、逆に、人体特有の解剖学的な相同性を表現することができない。そこで、解剖学的な相同性を重視した人体形状相同モデル表現が提案されてきた。これは、産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターなどで開発され、利用されてきたもので、数百万点からなる汎用ポリゴンモデルで表現された人体形状データを、百点未満の解剖学的特徴点(ランドマーク)に基づいて、どの個人でも同一点数・同一幾何学構造のポリゴンモデルとして再表現する方法である。一般的に、ポリゴン数は数百点から数千点レベルになる。

このような人体形状相同モデル表現を利用すれば、平均形状の計算や形状分布図の作成、分布図上に存在する任意の仮想形状の合成などが実現でき、3次元形状レベルでの統計処理が可能となる。しかしながら、産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センター(DHRC)が提唱してきた数百点レベルの人体形状相同モデルは、そのモデルから周囲長などを採寸するには不十分な解像度であった。この人体形状相同モデルは、人体形状をランドマークを通る断面で分割し、さらに断面内を周長分割するような方式であり、10倍以上の精密化には技術的な限界があった(図1-4上)。

これを解決するために、断面分割とは異なる精密相同モデル化技術が提案されている。これは、あらかじめ用意したGeneric Model(標準的な人体モデル=数百ポリゴンレベル)の頂点にランドマークを定義し、個別に計測された詳細な点群データ(数百万点)とランドマーク(百点未満)に、Generic Modelのポリゴンを分割しながらフィットさせていく技術である。DHRCでは東京大学先端技術研究所・鈴木宏正研究室の協力を得て、足部についてこの技術を適用し、採寸可能な精密さで、解剖学的な相同性を保持した精密な足部相同モデリング技術を開発した(図1-4下)。ポリゴンの分割には細分割曲面技術(subdivision surface)を用いた。本スタディではこの技術を全身的な相同モデリングに拡張するための研究を行う。

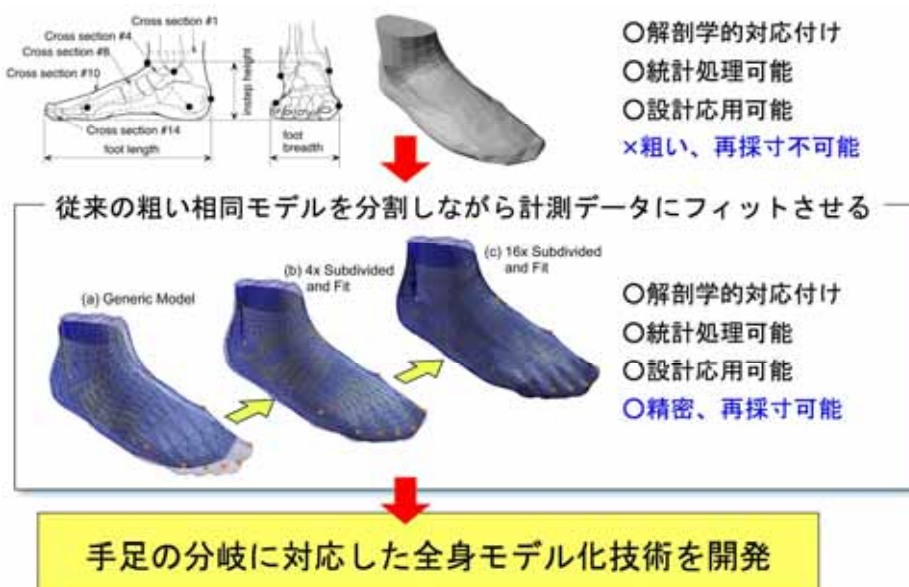


図1-4 細分割曲面に基づく精密な相同モデリング

足部の精密相同モデリング技術を全身データに適用する場合の最大の技術的困難性は、姿勢の違いにある。足部では形状はひとかたまりの一体構造として扱うことができるが、全身の場合は手足の開き角度などがデータごとに異なり、形状データの中にリンク構造(骨格)を入れて被験者ごとの姿勢の違いに対応する必要がある。本スタディでは、ランドマークの対応情報からおおまかに姿勢(内部のリンクの関節角度)を変化させ、それに応じて体表面をなめらかに変形した後に、足部と同様の方法で計測された点群データにフィットさせる技術を開発する。入力データとして、点群データ(数百万点のX,Y,Z座標の羅列)と、ランドマークデータ(X, Y, Z, ランドマーク名称)を用いており、これらは一般的にいかなる人体形状計測装置でも得られる情報量である。したがって、本スタディの成果は、特定の人体形状計測装置に依存することなく汎用的に利用できる。精密さと相同性を兼ね備えているため、計測した生データを用いることなく、相同モデルから直接採寸したり、相同モデルであるのでそのまま3次元形状統計処理を行うことができる。すなわち、本スタディで開発する精密な人体相同モデル化技術は、混在する人体形状計測装置と処理ソフトウェアの仲立ちをする人体形状データ記述形式として標準的なものになりうる。

本スタディでは、このようにして得られた精密人体相同モデルが、採寸や統計処理だけでなく、図1-1に示した製品設計においても有効な情報であることを確認するための、適合製品試作試験を行う。全身の精密相同モデリング技術と並行で研究を進めるため、すでに開発が完了している足部の精密相同モデルを用いた適合靴の試作・試履試験を実施する(図1-5)。着用品のフィット感の向上には、体表面の3次元形状だけでなく、皮膚組織のコンプライアンスや感覚感度、経験、嗜好などさまざまな因子が関与する。本スタディはそのうちの体表面形状の個人差を考慮するための技術開発であるが、提案者らの経験に基づけば、これを考慮するだけでもフィット性は大幅に向上する。このことを客観的に確認することが、試作・試履試験の目的となる。

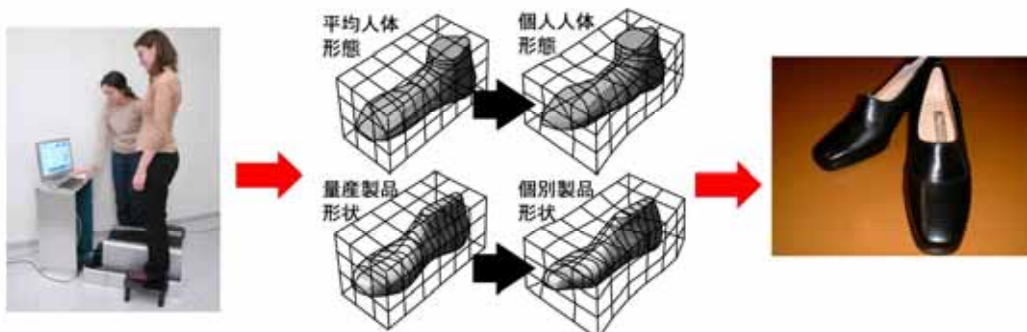


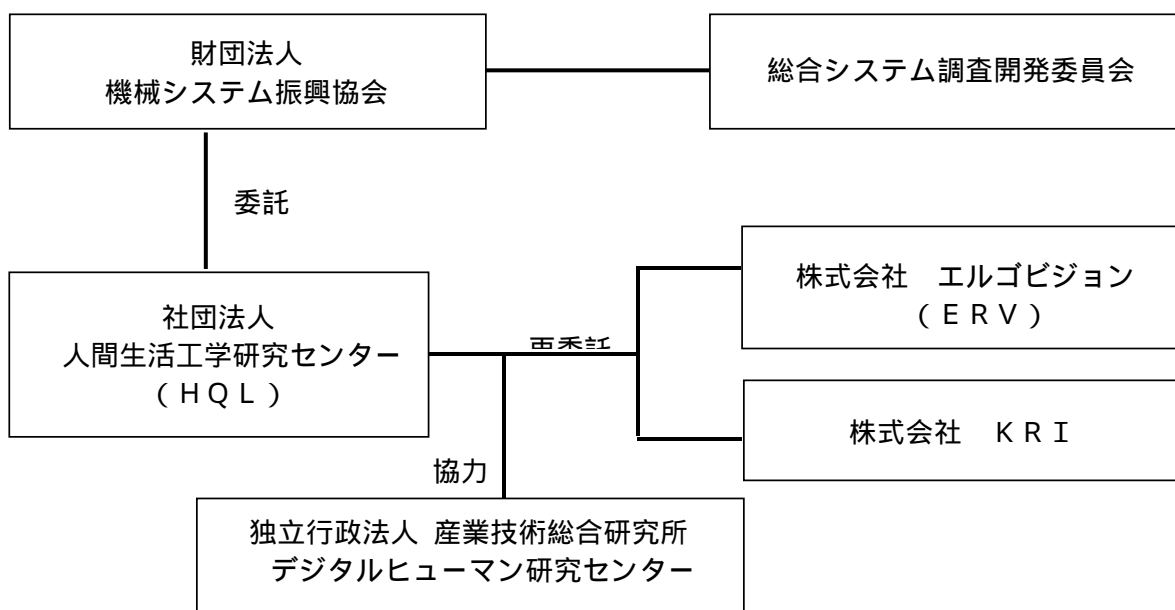
図1-5 足部の精密相同モデルに基づく適合靴の試作・試履試験

2 . スタディの実施体制

2.1 実施体制

(財)機械システム振興協会内に総合システム調査開発委員会を設置し、(社)人間生活工学研究センターは、再委託先の(株)エルゴビジョンと(株)KRIと協力してフィージビリティスタディを実施した。

なお、システム開発仕様の策定、開発品・試作品等の評価については(独)産業技術総合研究所デジタルヒューマン研究センターの指導・支援を受け、推進した。



2.2 調査開発委員会

総合システム調査開発委員会は、以下の委員で構成した。

総合システム調査開発委員会委員名簿（順不同・敬称略）

委員長	政策研究院 リサーチフェロー	藤 正 巖
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	太 田 公 廣
委 員	独立行政法人産業技術総合研究所 産学官連携部門 コーディネータ	志 村 洋 文
委 員	東北大学 未来科学技術共同研究センター センター長	中 島 一 郎
委 員	東京工業大学大学院 総合理工学研究科 教授	廣 田 薫
委 員	東京大学大学院 工学系研究科 助教授	藤 岡 健 彦
委 員	東京大学大学院 新領域創成科学研究科 教授	大 和 裕 幸

3 . スタディの要旨

第1章 現状の技術サーベイランス

1.1 計測技術

アパレルや靴のオンデマンドサービス・製造では顧客の人体形状を計測する必要がある。既に人体形状を計測する装置はいくつか商品化されているが、その多くは専門のオペレータが被験者にマーカ―やプローブを取り付ける必要がある。そのため、これらの計測装置を店舗に設置する場合、顧客は脱衣する必要がある上に、専門のオペレータが顧客の体の特徴点を同定しマーカ―を貼り付ける必要があるなど実用の妨げになる要素が多い。

店舗等で計測を行う場合は、顧客にできる限り負担を与えないように、非接触・非拘束で高速かつ精度良く計測する装置が望まれている。加えて販売店では店舗面積当たりの売上が重視されることから、安価で設置スペースを取らないことも重要な要素となる。

現在、着衣のまま非接触で全身の人体形状を計測する装置として Intellifit (Intellifit 社(米)) が商用化されている。Intellifit は、着衣のまま人体形状の測定が可能な点に特長を有する。スキャナは垂直ペン型で、196 の小さなアンテナから低出力電波を送受信する。測定対象の周りを約 10 秒間で回転して電波を送信し、低出力シグナルを受信し、その結果を解析して 3 次元データを構成する。機器の大きさは、直径約 2.4 メートル、高さ約 2.4 メートル、体積 21.3 平方メートルの独立型システムで、分解・移動が可能である。図 3 - 1 - 1 に Intellifit の外観、測定風景、計測データシートを示す。



図 3 - 1 - 1 Intellifit System (左) Scanning Process (右)

(出典: HUMAN BODY MEASUREMENT NEWSLATER Vol.1 No.1 April 2005

Publication of HOMOMETRICA CONSULTING - Dr.Nicola D'Apuzzo,Zurich,Switzerland,
URL:<http://www.homometrica.ch>)

Intellifit はアプリケーションとして、設置店舗が取り扱う商品ラインナップの情報と連動させて、顧客の計測データに最も近い衣服のサイズと種類を表示する機能も提供している。この機能により、顧客は自分の寸法に合う衣服を簡易に探し出すことが可能となる。

1.2 オンデマンド製品の設計・製作工程モデル化例

1.2.1 CAD/CAM インタフェース調査

オンデマンドによる靴の設計・製作では、モデリング・カスタマイズ・パターンニング・裁断・縫製・仕上げといった工程を効率化するため、各工程間でのシステム連携が必須となる。ここでは靴の設計・製作について、システム連携が出来ている代表的な事例を紹介する。

(1) Human-Solutions 社(独)の計測装置と Lectra 社(仏)の CAD / CAM 連携

・計測

Human-Solutions 社製の計測装置 Pedus を用いて足の計測を行い、同社の計測データ解析ソフトウェア ScanWorX を用いて採寸データを取得する。次に、採寸データに一番近い靴型を既存の靴型の中から選択し、NewLast 社(伊)製のデジタイザを用いて靴型データの収集を行う。

・モデリング・カスタマイズ

収集した靴型データを STL / IGES フォーマットに変換して、Lectra 社製の RomansCAD 3D に取り込む。RomansCAD 3D は、靴型向け、アッパパーツ向け、ソール向けに分類される。まず靴のデザインの基となる靴型のモデリングとカスタマイズを行う。次にカスタマイズされた靴型データを基に、靴のソール部およびアッパ部のモデリングとカスタマイズを行う。RomansCAD 3D でモデリングとカスタマイズした、靴型データは NewLast 社製の CNCmilling マシンに、ソール部データはソール製作メーカーに、アッパ部データは Lectra 社製の RomansCAD 2D/SL に送付され、靴型の削り出し、ソール製作、アッパ部パターンニングを行う。

・パターンニング

靴のアッパ部データを RomansCAD 2D/SL に取り込んでパターンニングを行う。パターンニングしたデータを Lectra 社製の DiaminoFootwear に送付して、生地に対する最適な歩留まりになるようマーキングする。

・裁断

素材のマーキング情報を、人工素材であれば Lectra 社製の VectorFootwear、自然素材であれば Lectra 社製の Lumiere2 に送付して裁断を行う。

・縫製、仕上げ

削り出した靴型と製作されたソール、裁断したアッパの各パーツについては、職人によって縫製、組み立てを行う。この工程を自動化する技術は未だ開発されていない。

・CAD/CAM 連携作業フロー

図 3 - 1 - 2 に HumanSolutions 社・Lectra 社による計測器と CAD/CAM 連携システムのフローを示す。

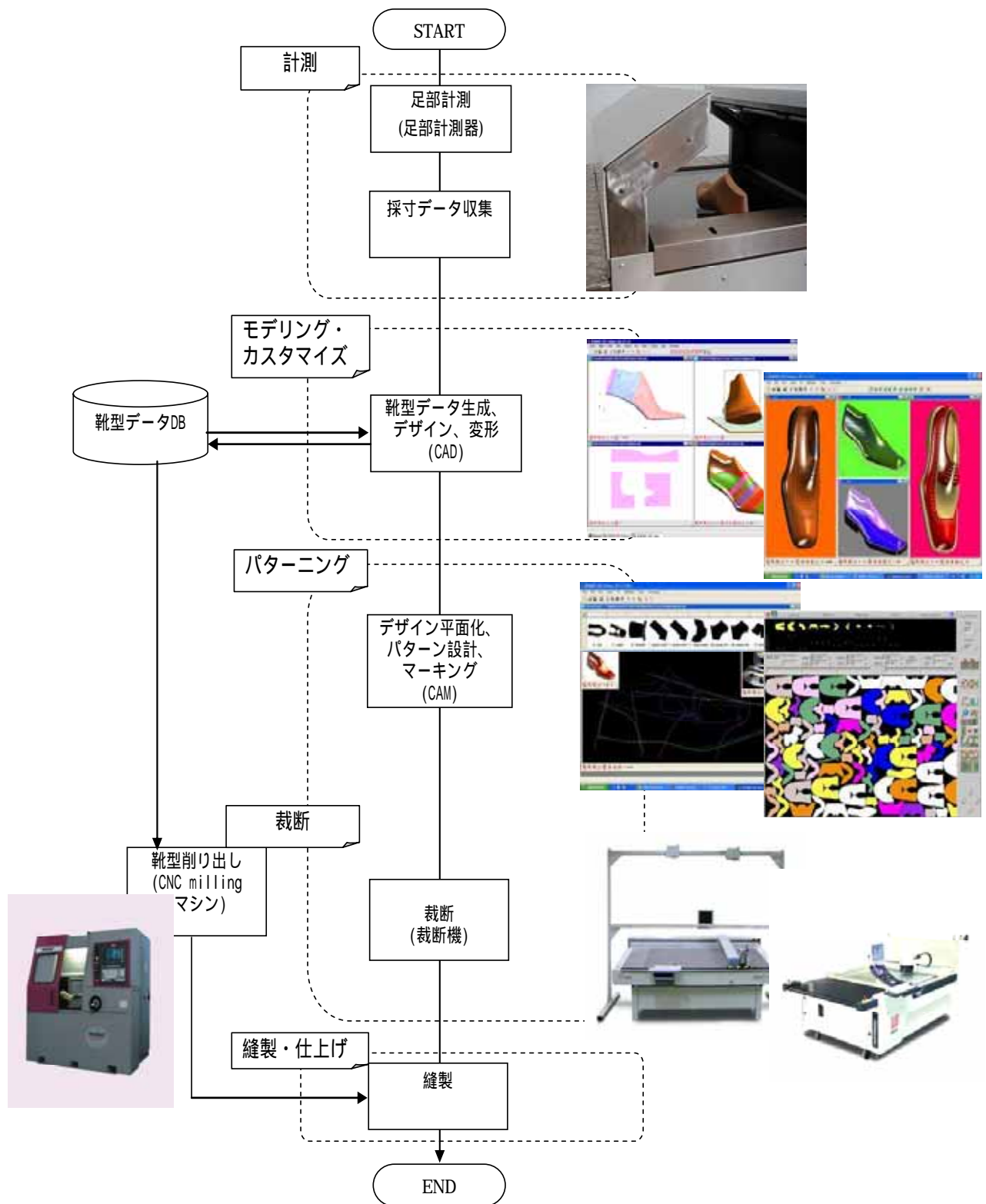


図 3 - 1 - 2 CAD/CAM 連携システムのフロー (Humansolutions, Lectra)

技術課題

HumanSolutions 社、Lectra 社の連携システムは各工程間のネットワーク化は進んでいるも

の、足の採寸データを基にした靴型のモデル化、サイズ・デザインの変更、自然素材の裁断、組み立て等の工程については職人の勘や経験に依存している。

(2) アイウェアラボラトリ社、CSMD 社の CAD/CAM 連携

・計測

アイウェアラボラトリ社製の計測装置 Infoot を用いて足の計測を行い、採寸データを収集し、その採寸データを基に既存の靴型データベースから採寸データに一番近い靴型データを選択する。靴型がデータベース化されていない場合は Immersion 社(米)製デジタイザを用いて靴型データを収集する。

・モデリング・カスタマイズ

選択した靴型データを CSMD 社製のデータフォーマット変換ソフトウェア FotoFit を用いて STL / IGES / VRML / DXF データフォーマットに変換し、CSMD 社製の ShoemasterFORMA に取り込む。ShoemasterFORMA では、取り込んだ靴型データのモデリングとカスタマイズを行う。FORMA で編集した靴型データは必要に応じて TRL 社製 CNC milling マシンで削り出す。一方靴のアッパ部やソール部のモデリングとカスタマイズは、編集した靴型データを基に CSMD 社製の ShoemasterCreative を使用して行う。

ShoemasterCreative でカスタマイズをしたデータは、ソール部は製作メーカーに、アッパ部は CSMD 社製の ShoemasterPower に送付し、ソール製作とアッパ部のパターンニングを行う。

・パターンニング

靴のアッパ部データを ShoemasterPower に取り込み、アッパ部のパターンニングを行う。また、パターンニングにより設計した各パターンを基にそれらが生地に対して最適な歩留まりになるようマーキングを行う。

・裁断

マーキングしたデータについては、抜き型生成のために GRAPHTEC 社製の紙型自動裁断機 FC4200-60 に送付する。紙型自動裁断機は送付されたデータから紙型を裁断する。各パーツの紙型の裁断が終了すれば、それを基に抜き型を生成し、専用マシンで素材を裁断する。

・縫製、仕上げ

削り出した靴型や、製作されたソール、裁断したアッパの各パーツは、職人の手により縫製、組み立てを行う。この工程を自動化する技術は未だ開発されていない。

・CAD/CAM 連携作業フロー

図 3 - 1 - 3 にアイウェアラボラトリ社、CSMD 社による計測器と CAD/CAM 連携システムのフローを示す。

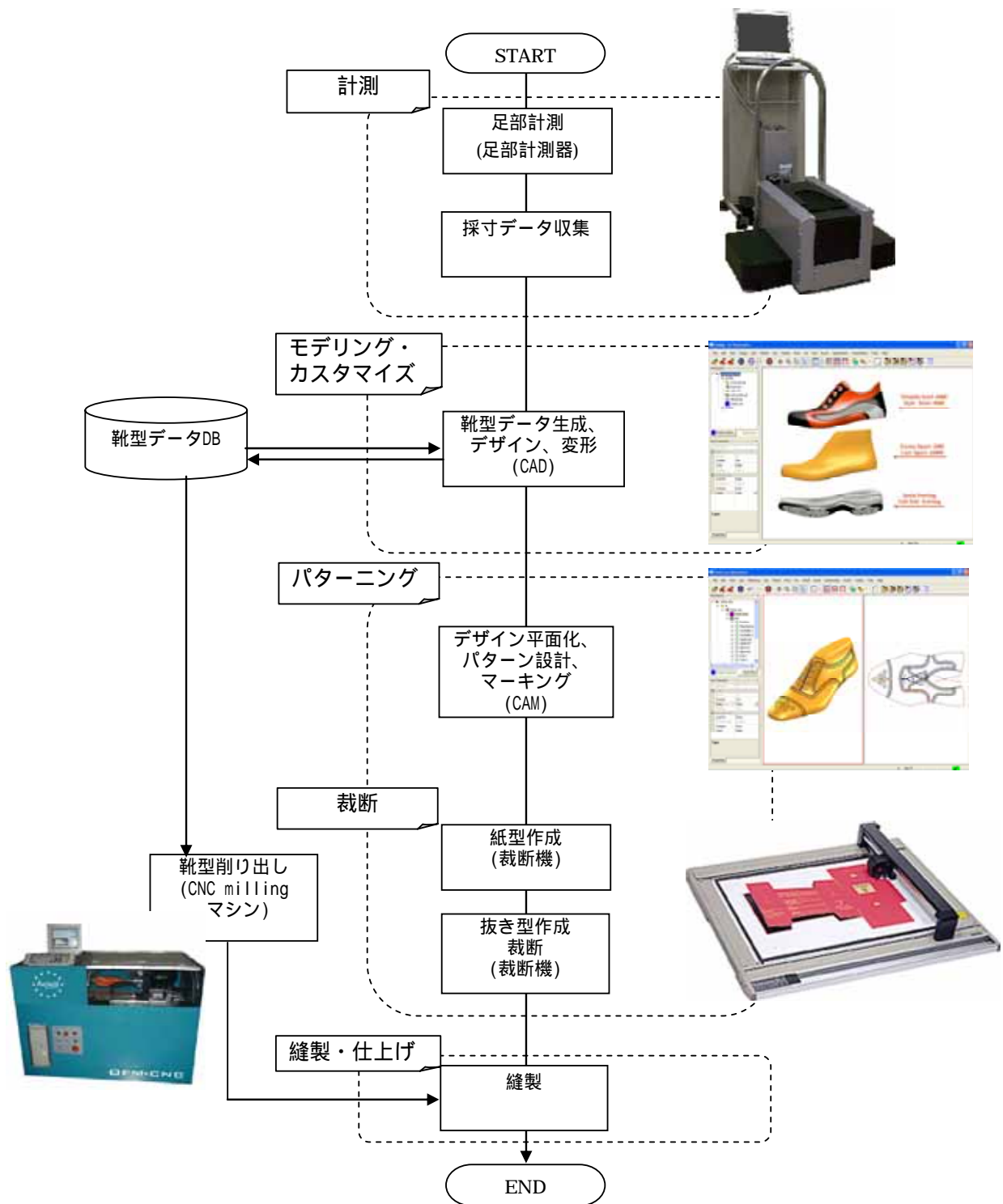


図3 - 1 - 3 CAD/CAM 連携システムのフロー(アイウェアラボラトリ社,CSMD 社)

技術課題

アイウェアラボラトリ社・CSMD 社についても、HumanSolutions 社・Lectra 社の連携システムと同様に、各工程間のネットワーク化は進んでいるものの、足の採寸データを基にした靴型のモデル化、サイズ・デザインの変更、自然素材の裁断、組み立て等の工程について

ては職人の勘や経験に依存している。

1.2.2 海外の技術動向

海外、特に EU において、靴を対象とした各設計・製造プロセス連携に関する国家的なプロジェクトが実施されている。2004 年 10 月に始まった CEC-Euro Shoe は、これまで実施されてきた生産者側の視点によるマス・カスタマイゼーションとは異なり、人間の足に注目した、立つ・歩く・走ることへの快適性の追求、スタイルとファッションへのこだわり、環境に配慮した製品や製法、素材開発を通じて高付加価値な製品を永続的に作り出す仕組みの構築を目標としている。ここでは CEC-made-shoe についてまとめる。

CEC made shoe プロジェクト

プロジェクト名	CEC-MADE-SHOE(Custom Environment, Comfort Made Shoe)
対象	Shoe
代表機関	Confederation Europeenne de l Industrie de la Chaussure(Belgium)
ファンド機関	EC IST FP-6
構成国	Italy, Portugal, Spain, Greece, France, Sweden, Switzerland, UK, Finland, Poland, Germany, Belgium, Netherlands, Slovenia
実施機関	2004/10 ~ 2008/10
URL	http://www.cec-made-shoe.com

・全予算：20.4 百万 EURO (EU 負担分：10.4 百万 EURO)

・プロジェクトの目的

3次元をベースに生産(靴)中心から人間中心へ
足に注目して、立つ・歩く・走ることのコンフォート追求
環境に配慮した製品・製法・素材・組織
スタイルとファッションを考慮したオーダー靴

・参加機関・企業：5 4

・プロジェクト概要

CEC made shoe プロジェクトは、これまで産業主導で行ってきた製品開発を、顧客や社会、経済のニーズといったマーケット主導へ移行させるために、マーケットのニーズ変化をいち早く察知し、変化に対応する製品や製造工程、素材や組織を開発するための計画立案並びにリソース提供が可能で、かつそこで得た知識を産業にフィードバックするサイクルを永続的に営む KPTC(Knowledge Producing and Transforming Community)を確立することを目的とする。KPTC はまた、新たな産業の創出、消費や生産のパラダイムの変革、各企業の積極的投資体質の形成、一般大衆向けの製品から高付加価値で経済的で持続可能な製品や製造工程、素材、組織への変革が永続的に行われる仕組みを目指したものである。図 3 - 1 - 4 に KPTC の概要図を示す。

CEC made shoe プロジェクトには、複数のプロセスが存在して相互に連携し、各々のプロセスで得た知識を相互にフィードバックする構造になっている。CEC-made-shoe では要求生成プロセス (Requirements Process) において、顧客を交えた形で技術や社会展望の傾向をモニタし、全てのプロセスに反映させていく。

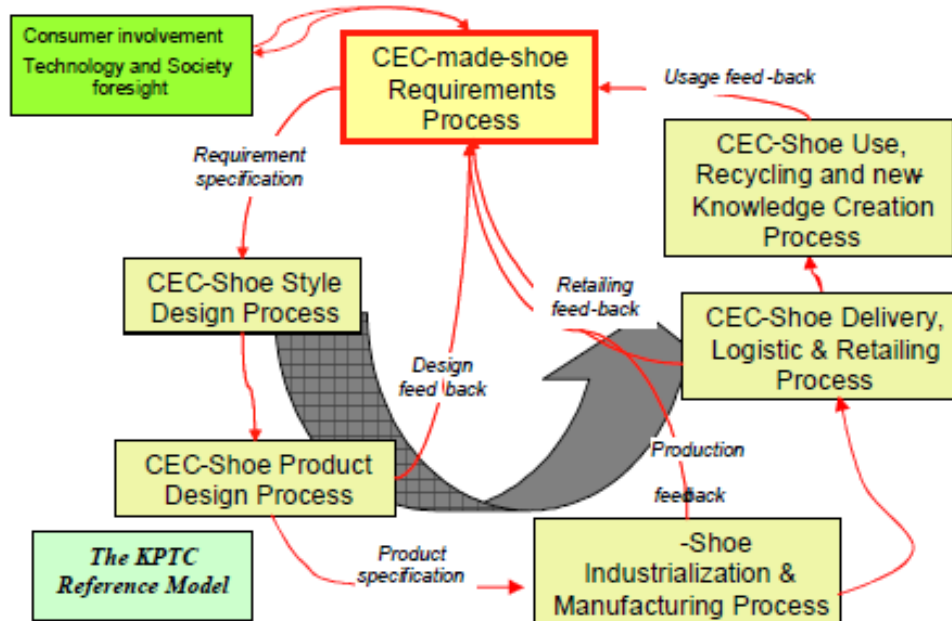


図 3 - 1 - 4 KPTC 概要図

・プロジェクトが目指す成果

CEC made shoe プロジェクトが目指す成果は、100%自然と親和性のある(“eatable”な靴)素材開発、顧客が自分の足に靴を履いているように PC モニタ上に再現するマジックミラー、顧客の履き心地を確認するためのフットウェアグローブの開発などである。図 3 - 1 - 5 にマジックミラーの概念図を示す。



図 3 - 1 - 5 マジックミラー

1.3 計測データの活用例

オンデマンドサービスで計測した顧客の採寸データを販売店と製造メーカー間で共有するシステムの一つに HumanSolutions 社の Retailer/Intailer がある。Retailer/Intailer は、販売店舗用のソフトウェアと製造メーカー用ソフトウェアを明確に分離し、販売店舗では顧客のサイズ情報や嗜好情報収集を支援する機能を、製造メーカーでは各製造工程で顧客情報を共有する機能を提供している。Retailer/Intailer を導入した店舗で計測した情報は、同ソフトウェアを導入した製造メーカーで活用可能となる。HumanSolutions 社ではこの特長を活かし、販売店と製造メーカーを連携させるビジネスを展開している。図 3 - 1 - 6 にそのアーキテクチャを示す。

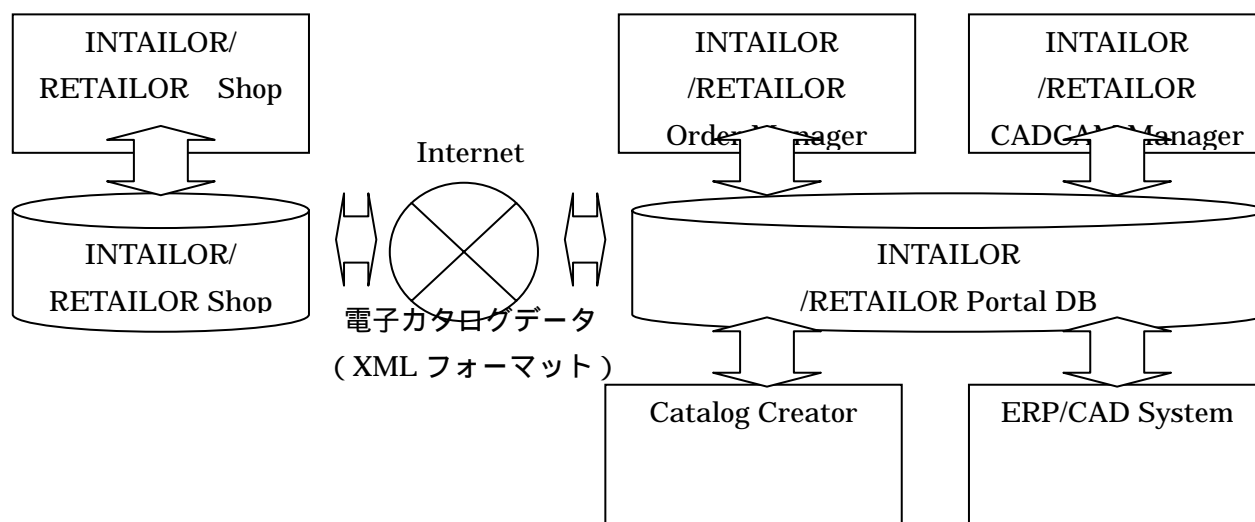


図 3 - 1 - 6 INTAILOR/RETAILOR Software Architecture Overview
(参照 URL : <http://www.human-solutions.com/>)

(1) Intailer/Retailer Shop

Intailer/Retailer Shop は、製造メーカーが生成する電子カタログを基に、店舗で販売する商品のラインナップを決定して販売店用の電子カタログを製作する機能、顧客の人体形状計測装置を制御する機能、製造メーカーに対して人体形状計測データや素材、デザイン等の修正点を含む注文を発注する機能、顧客データベース等の販売店サービス支援機能等を持つ。

Intailer/Retailer Shop の特長は、電子カタログベースで製造メーカーと情報交換するところにある。製造メーカーは電子カタログ作成の際に、カスタマイズ可能なパラメータを設定し、販売店は製造メーカーに対してカスタマイズ注文、採寸情報を送付することで衣服の製造に必要な情報が漏れなく伝わる仕組みとなっている。図 3 - 1 - 7 に Intailer/Retailer Shop の画面表示例を示す。また、Intailer/Retailer Shop より制御できる計測装置(HumanSolutions 社製)を図 3 - 1 - 8 に示す。



図 3 - 1 - 7 INTAILOR/RETAILOR Shop



図 3 - 1 - 8 VITUS/smart

(2) Intailer/Retailer Manufacture

Intailer/Retailer Manufacture は、製造メーカ向けの機能を提供するソフトウェアである。販売店から発注時に送付される、電子カタログデータ、採寸データ、素材やデザイン、色等の各種カスタマイズパラメータ変更値について、既存の CAD / CAM、ERP システムに対して順次流通させる。Intailer/Retailer Manufacture は製造メーカの用途に応じて更に、電子カタログを生成する Catalog Creator、販売店からの注文情報を製造メーカの各部署に流通させる機能を持つ Order Manager、市販されている CAD / CAM へのデータ送受信機能を持つ CAD/CAM Manager の 3 種類に分かれる。図 3 - 1 - 9 に受注した際のデータ流通概要を示す。

販売店から受け取った電子カタログ情報、色・素材等の情報、採寸データは INTAILOR/RETAILOR Order Manager 経由で、製造メーカの各部署に送信される。各部署での処理が終わると、その処理結果とともに次の部署へ情報を流通させることで、製品の注文から製作までの処理工程を支援している。

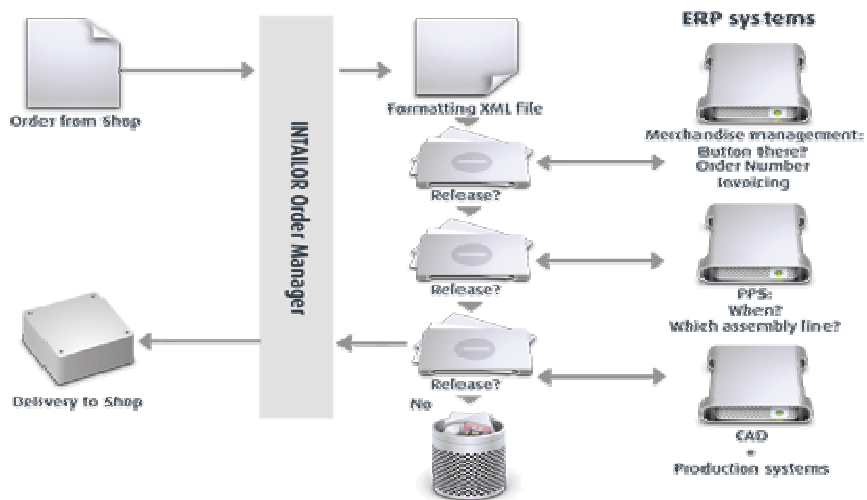


図 3 - 1 - 9 INTAILOR/RETAILOR Order Manager

(3) Retailer

Retailer は、HumanSolutions 社が運用するデータベース ASP を利用するための、販売店向けおよび製造メーカー向けのクライアントソフトウェアである。販売店と製造メーカーは系列会社である必要はなく、製造メーカーの商品のラインナップを電子カタログで HumanSolutions 社が運用するデータベースに登録しておくこと、それを基に販売店で商品を決め、販売店の電子カタログに掲載する仕組みである。販売店の電子カタログに対する注文が発生した場合は、電子カタログ情報、素材、生地等の付加情報、顧客の寸法情報を含んだ情報が製造メーカーに送信される。

図 3 - 1 - 10 に Retailer による情報流通の概念図を示す。

Retailer を導入すると、販売店は HumanSolutions 社が運用するデータベースに登録している製造メーカーの製品から商品ラインナップを選べるようになり、製造メーカーも同様に登録している販売店を販売チャネルとして活用することが可能となる。

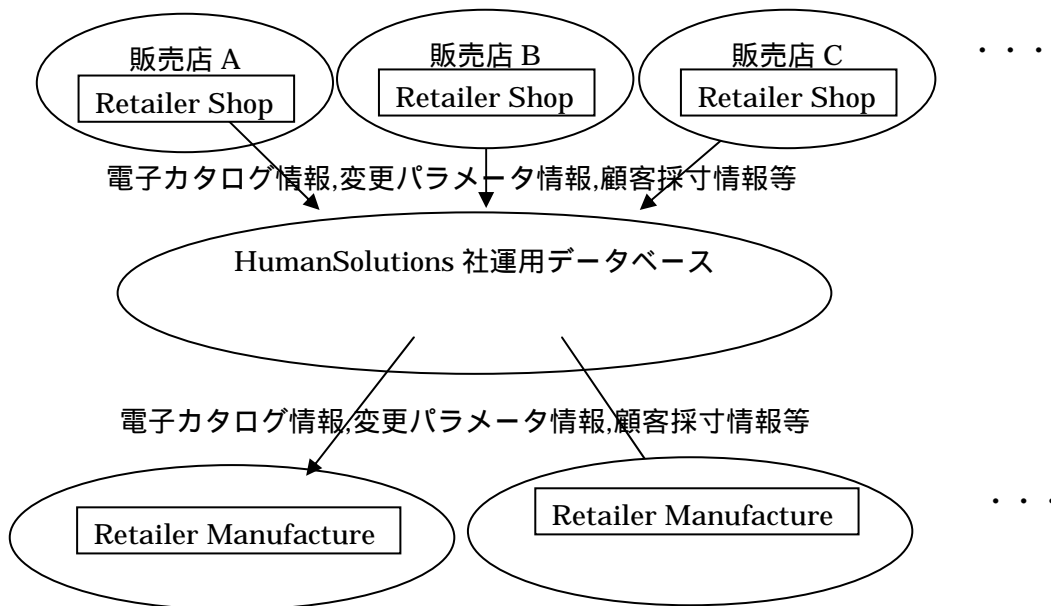


図 3 - 1 - 10 Retailer による情報流通の概念図

1.4 まとめ

本章では、わが国が得意とする人体形状計測技術と、それを活用したオンデマンドサービス・製造技術の現状と動向について整理した。

計測技術では、脱衣を伴わず簡便に個人の人体形状計測が可能な計測装置 intellifit が抽出された。ただし、設置面積やコストに課題は残る。

また、靴のオンデマンドサービス・製造については、HumanSolutions 社の計測装置と Lectra 社の CAD/CAM・裁断機はシステム連携が実用化の域にあること、アイウェアラボラトリ社の計測装置と CSMD 社の CAD/CAM および GRAPHTEC 社の裁断機はシステム連携が可能であることが判明した。しかし靴型の変形、裁縫、仕上げについては、未だこれらの工程を自動化する技術は開発されていない。

最後に、人体計測データの活用例として、複数の販売店と製造メーカをインターネット上で連携させる HumanSolutions 社のデータベースサービスを紹介した。

第2章 精密な相同モデリング

2.1 人体形状計測装置の高精度キャリブレーションとデータ貼り合わせサブシステムの開発

既存の人体形状計測装置から計測された人体の複数方向からの計測点群データを高精度で貼り合わせを行うサブシステムを開発し、統一された座標系での全身の形状の高精度の計測点群データを生成することを実現した。

2.1.1 機能仕様

既存の人体形状計測装置 (VOXELAN) は、8方向からのカメラを使用して人体の3次元形状を測定する計測器である。この計測器の8方向のカメラからの計測点群データの貼り合わせを行うために行うカメラのキャリブレーションは、キャリブレーション用に設置した治具のある特定の平面上の数点を8方向のカメラから計測することにより、カメラ/ワールド座標系の変換パラメータを求め、全カメラの計測点群データを各カメラ座標系からワールド座標系への変換を実施していたと思われる。ただこの手法では、パラメータ算出に使用した位置が、計測空間を完全にカバーする領域を包含しておらず限定的な範囲であることや、共通の位置を8方向のカメラから高精度で求めることが困難であるなどの理由で十分な計測精度を得られていなかった。そこで、厳密なパラメータを算出するための高精度キャリブレーション手法として図3-2-2に示す真球度の高い球オブジェクト(200mm)を作成し、これを図3-2-1のように計測空間内に多数配置し、8方向のカメラから順に撮影する。ただしそれぞれのカメラでは、球の一部しか撮影できないため、十分な面積が計測できた球のみを対象として、球の中心を計算する。カメラ毎の球体の中心位置が高精度に求まることで、カメラ間の相対位置関係を最適に算出することができる。求めた高精度なカメラ/ワールド座標系の変換パラメータを使用することにより、高精度貼り合わせを行うことが実現可能となる。

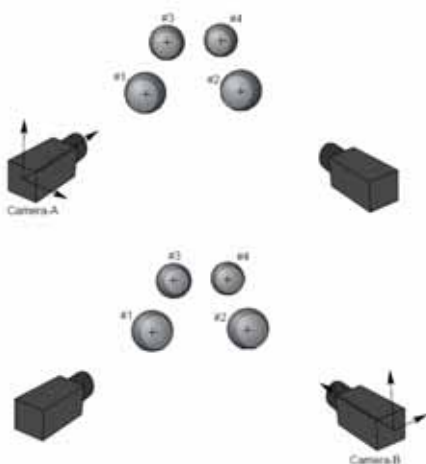


図3-2-1 キャリブレーションのイメージ図



図3-2-2 キャリブレーション用治具イメージ図

2.1.2 サブシステムの GUI

システムへの入力データは、カメラ 8 方向からの計測点群データと計測器 VOXELAN のカメラパラメータファイル 2 つ（表面用と裏面用）であり、出力データは、カメラ 8 方向からの計測点群データをそれぞれ、統一されたワールド座標系へ変換したデータである。

データ貼り合わせサブシステムの画面構成（図 3 - 2 - 3）は、図 3 - 2 - 2 に示すカメラ 8 方向からの計測点群データを選択する箇所とキャリブレーションパラメータ読み込み指定箇所、そして貼り合わせ後のワールド座標系での計測点群データファイル名を指定する箇所からなる。

カメラ 8 方向の計測点群データのフォーマットは、各カメラのローカル座標系での座標値データが X 座標、Y 座標、Z 座標の順に 1 ポイント 1 行で格納されており、GUI 上の ASC File1,2,3,4 欄が表面の計測点群データ、ファイル 5,6,7,8 欄が裏面の計測点群データである。出力データのフォーマットは、入力点群データと同じ各計測点の座標値のみのデータ形式か各計測点の隣接関係をもとに三角ポリゴンを形成し、その情報を付加したデータ（OBJ 形式）のいずれかを選択することが可能である。

実行ボタンにより貼り合わせが行われ、8 個の入力点群データが統一されたワールド座標系に変換される。

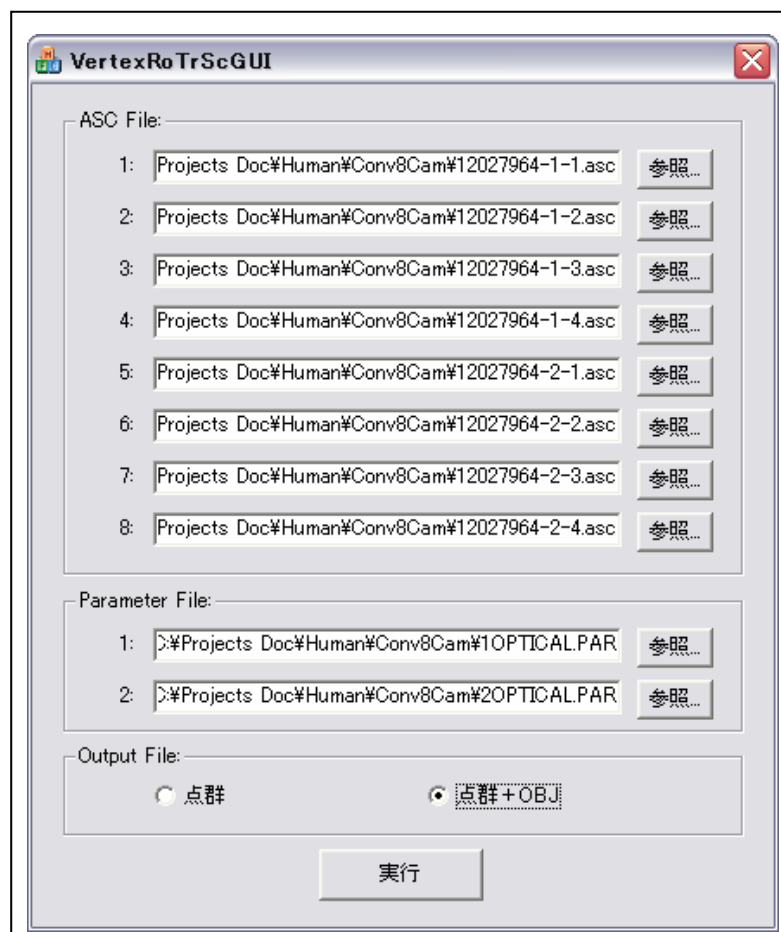


図 3 - 2 - 3 データ貼り合わせサブシステムの GUI

2.1.3 精度検証

実施したキャリブレーションによるデータ貼り合わせの精度について報告する。

キャリブレーション時の球体オブジェクト設置位置（球体中心位置）について、計測した8台各々のカメラの計測値から変換パラメータを使用して、統一したワールド座標系での座標値（理論上は全て一致する）を算出した。球体配置範囲と位置については、ワールド座標系 X 方向に、300mm～600mm の範囲で 100mm ピッチに配置、Y 方向には、-200mm～600mm の範囲で 10～20,30mm の間隔で配置、Z 方向には、-600mm～470mm の範囲で 10～20,30mm の間隔で配置し、全 215 ポイントで全カメラでの算出位置による誤差を検証した。代表的な点での平均値を表 3 - 2 - 1 に示す。上の表は、各ポイントでの標準偏差を算出したものである。下の表は、評価対象のポイントによる平均値である。標準偏差（1）は、X 方向：2.25mm, Y 方向：1.52mm, Z 方向：2.68mm に収まっている。

表 3 - 2 - 1 データ貼り合わせサブシステムの精度

標準偏差（1）		全点での平均値		（単位：mm）	
ワールド座標系（X）	ワールド座標系（Y）	ワールド座標系（Z）	X,Y,Z 座標平均		
2.254	1.520	2.483	2.085		

各ポイント毎の貼り合わせ誤差（抜粋）			
ポイント番号：09-05-03			
カメラ番号	ワールド座標系（X）	ワールド座標系（Y）	ワールド座標系（Z）
31	514.403	350.261	-47.127
30	514.836	348.946	-47.720
21	514.481	349.738	-47.598
20	516.349	351.159	-47.644
11	512.387	350.619	-48.578
10	514.333	348.022	-48.375
01	516.053	351.617	-43.207
00	514.468	349.782	-48.320
平均値	514.664	350.018	-47.321
標準偏差	1.131	1.092	1.620
ポイント番号：05-05-04			
31	411.162	-44.143	39.624
30	410.195	-43.525	40.875
21	411.747	-43.173	40.264
20	404.307	-40.746	37.458
11	409.788	-46.315	38.070
10	411.846	-42.239	37.947
01	411.204	-41.717	46.276
00	410.197	-43.251	39.277
平均値	410.056	-43.139	39.974
標準偏差	2.285	1.574	2.629

参考として従来の貼り合わせ結果を表3 - 2 - 2に示す。標準偏差 5mm であった精度が今回の手法により、2mm に向上したことになる。

表3 - 2 - 2 従来のデータ貼り合わせ精度

標準偏差 (1)		全点での平均値	
ワールド座標系 (X)	ワールド座標系 (Y)	ワールド座標系 (Z)	X,Y,Z 座標平均
5.128	4.770	5.207	5.035

各ポイント毎の貼り合わせ誤差 (抜粋)			
ポイント番号 : 09-05-03			
カメラ番号	ワールド座標系 (X)	ワールド座標系 (Y)	ワールド座標系 (Z)
31	609.731	347.177	-47.598
30	613.092	340.114	-42.772
21	602.667	352.918	-37.266
20	609.899	349.431	-39.609
11	612.486	341.539	-47.056
10	601.889	341.139	-49.035
01	601.018	347.190	-33.929
00	600.651	350.998	-45.203
平均値	606.429	346.313	-42.808
標準偏差	5.018	4.539	5.066

2.2 人体の標準となる粗い全身標準相同モデルの開発

人体の標準となる粗い全身標準相同モデルを作成し、合わせて全身のランドマーク情報を構築した。表面形状に関しては、湾曲の強さでデータ点の粗密を変えるなどの形状幾何学的な面を考慮して作成した。(標準となる粗い全身標準相同モデルを以後 GenericModel と呼ぶ)

2.2.1 標準となる粗い全身標準相同モデル (GenericModel) の特徴

開発した GenericModel の主要スペックであるが、頂点数 : 4194、メッシュ数 : 8398、単位 : mm、座標系 : 身長方向足先から頭頂方向に Y 軸プラス、左手方向に Z 軸プラス、腹から背中に向けて X 軸プラスにとり、原点位置を H|Anim2.0 の仕様での呼称である Humanoid_Root に設定した座標系とした。その他特徴として、モデルのポリゴン構成は、XZ 平面に対し左右対称で三角パッチのみで構成した。作成した GenericModel を次の図3 - 2 - 4に示す。また、湾曲の強さでデータ点の粗密を変える工夫を施した例を図3 - 2 - 5に示す。上腕部や胴体中央部などの箇所では湾曲が小さくメッシュを比較的粗めに作成した。一方、腋の下および顔面などで、湾曲が大きく表面形状の細かな起伏がある箇所はメッシュを細かく作成した。

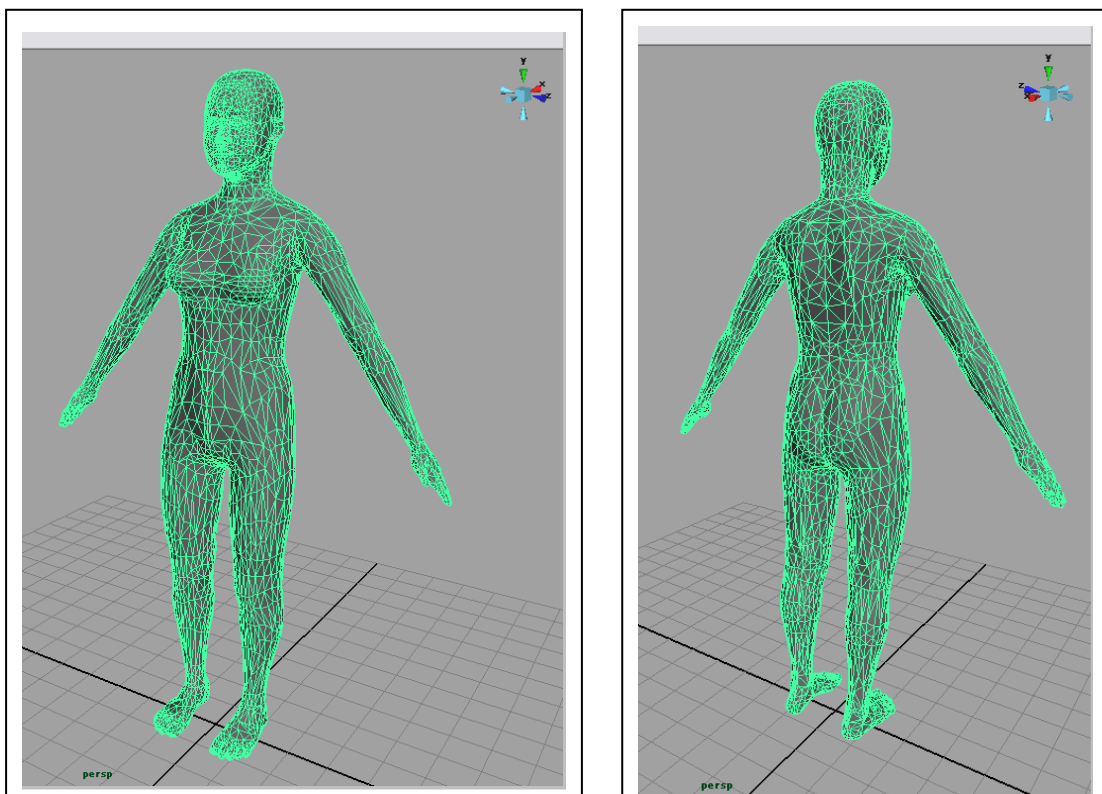


図 3 - 2 - 4 GenericModel 全体概観

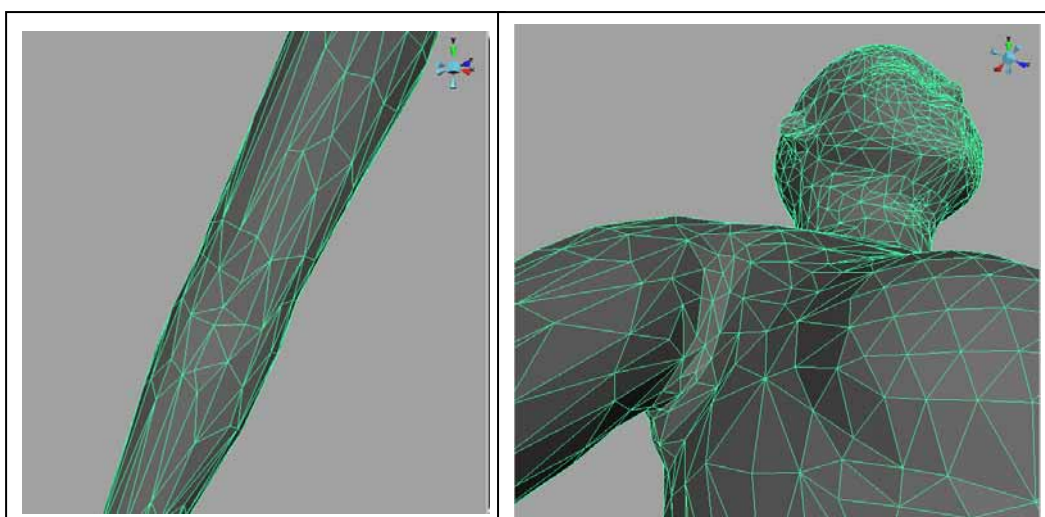


図 3 - 2 - 5 GenericModel 細部特徴

2.2.2 ランドマークの仕様

全身から 36 箇所の特徴点をランドマーク情報として設定した。なお、設定にあたっては DHRC の教示を受け、解剖学、形質人類学に基づき実施した。設定位置については次の図 3 - 2 - 6、表 3 - 2 - 3、図 3 - 2 - 7、表 3 - 2 - 4 参照のこと。

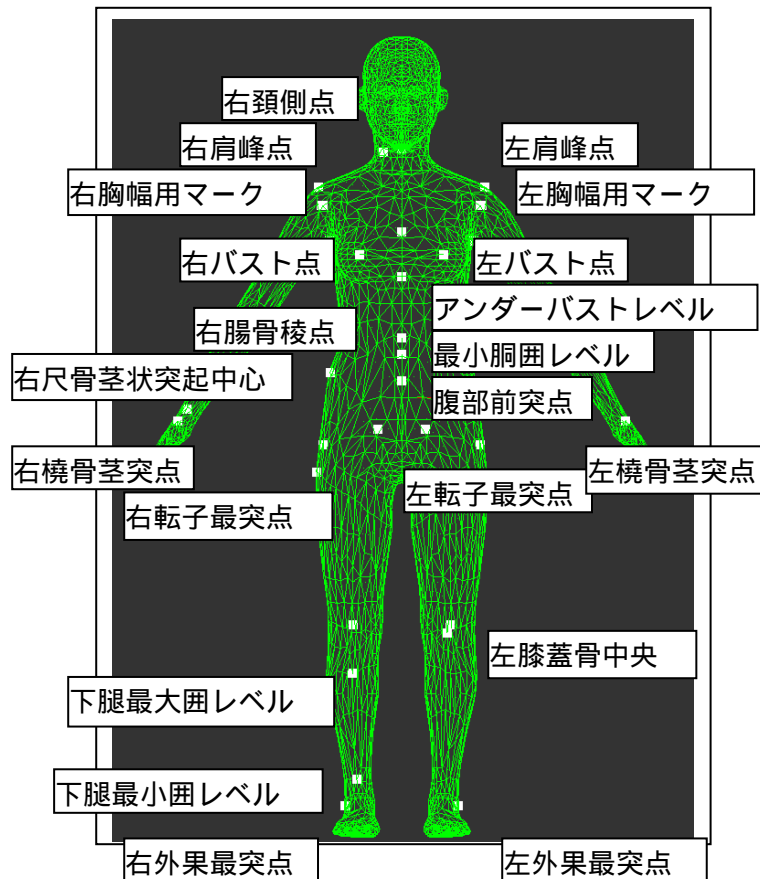


図 3 - 2 - 6 正面ランドマーク情報（位置）

表 3 - 2 - 3 正面ランドマーク情報（説明）

ランドマーク名称	説明
右頸側点	僧帽筋前縁と頸付根線の交点
右（左）肩峰点	肩峰の外側縁上で、肩部分の前後径の中央の点
右（左）バスト点	バスト部の最も前方の点
右腸骨稜点	腸骨稜上で、最も外側にある点
腹部前突点	ウエストレベルより下方で、正中線上で腹部が最も前方に突出した点
右（左）転子最突点	大腿骨大転子の最外側突出点
右尺骨茎状突起中心	尺骨茎状突起のふくらみの中心
右（左）橈骨茎突点	橈骨茎状突起の遠位端
右（左）外果最突点	外果のふくらみの最突出点
アンダーバストレベル	乳房付根の最下点
最小胴囲レベル	正面から見て胴の幅が最も狭いレベル
殿溝レベル	殿溝の最下縁の高さ
下腿最大囲レベル	下腿周長が最大になる位置
下腿最小囲レベル	くるぶしより上方で、下腿周長が最小になる位置

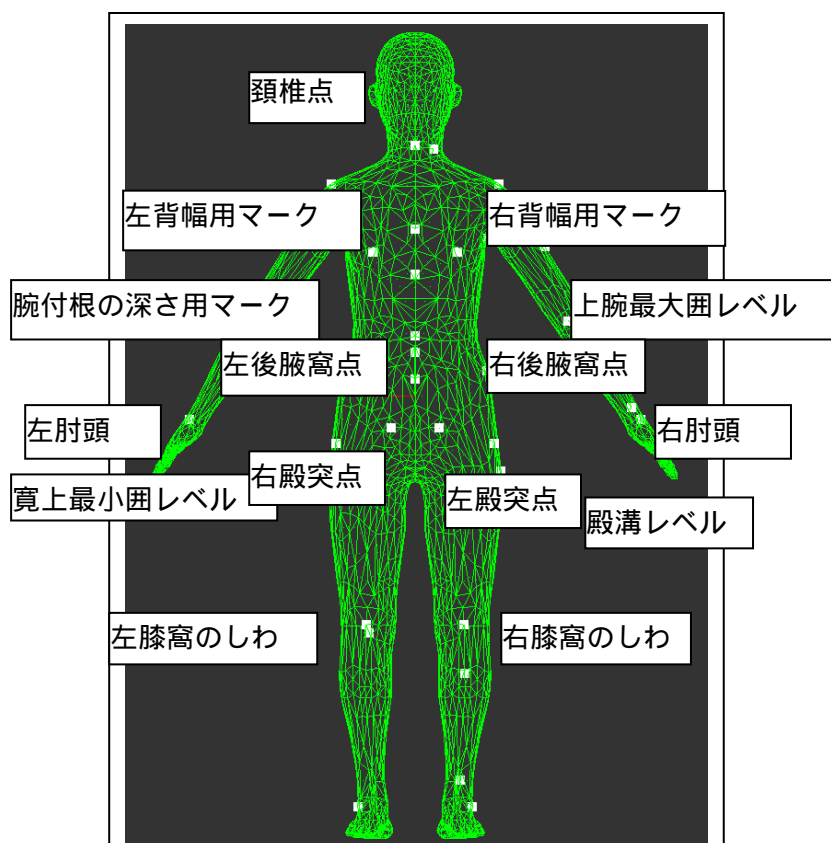


図3 - 2 - 7 背面ランドマーク情報（位置）

表3 - 2 - 4 背面ランドマーク情報（説明）

ランドマーク名称	説明
頸椎点	第7頸椎の棘突起の先端
右（左）後腋窩点	後腋窩裂の下端の点
右（左）殿突点	臀部の最も後方の点
右（左）肘頭	肘を90度に曲げたとき、最も後方にある点
右（左）膝窩のしわ	膝窩のしわの上で、幅の中央の点
殿溝レベル	殿溝の最下縁の高さ
上腕最大囲レベル	上腕周長が最大になる位置
寛上最小囲レベル	肋骨下縁と腸骨稜上縁の中央のレベル

2.2.3 関節、骨格の仕様

GenericModel から計測点群データへのフィッティングにより精密な人体形状相同モデルを作成する際に、GenericModel と計測点群データとの位置、スケール、姿勢合わせを行うため、姿勢変形操作が必要となる。その操作を今回の開発においては、市販の CG ソフト (Maya) を利用して実施した。そのための準備作業として、前述の表面形状データに関節および骨格の設定を実施した。関節および骨格の構成は H|Anim2.0 の仕様に従った。その仕様を図 3 - 2 - 8 に示す。なお、今回の開発において、回転を許す関節について、図 3 - 2 - 8 の枠で囲った箇所に限定し、姿勢変形を実施することにした。

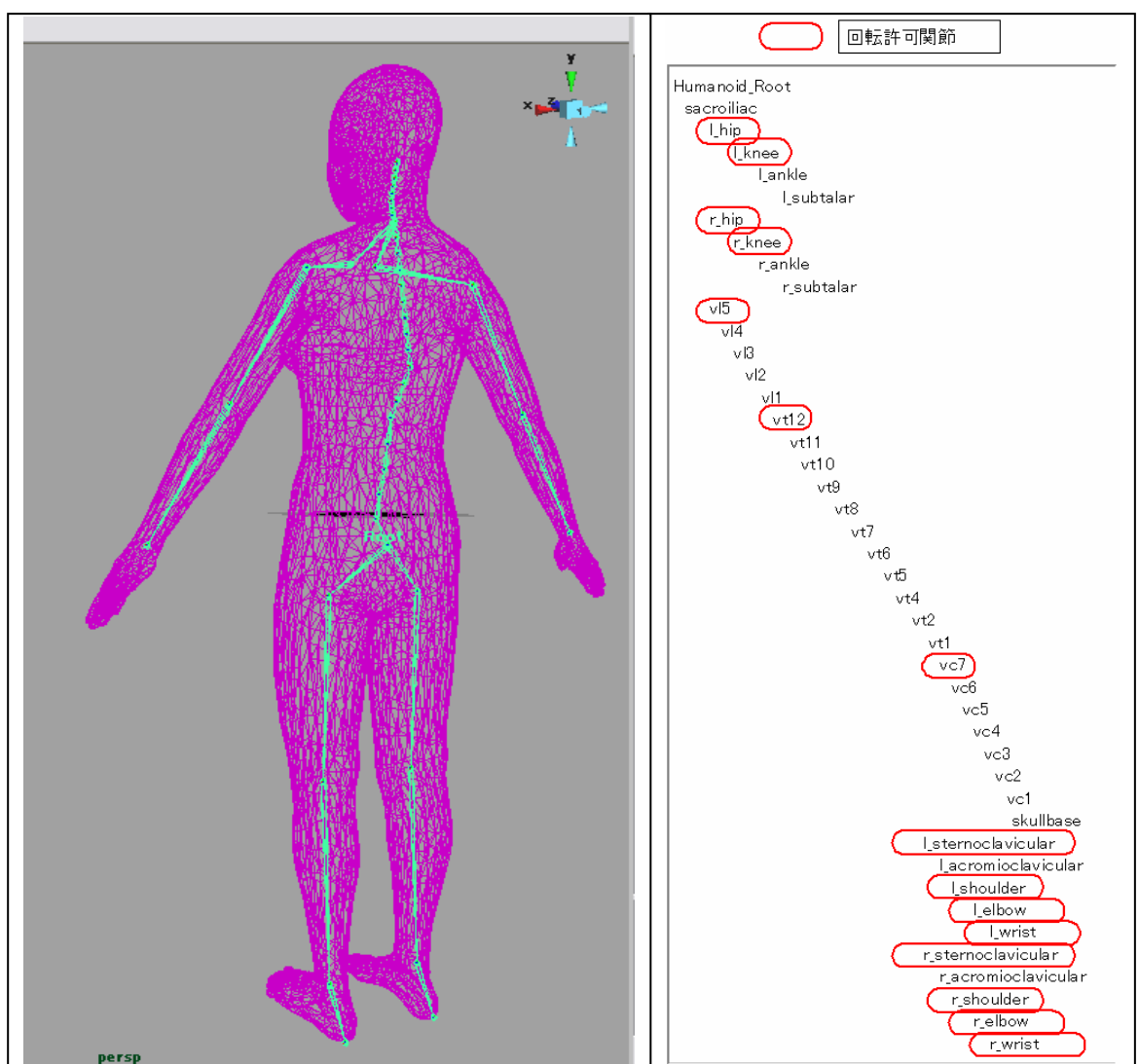


図 3 - 2 - 8 関節、骨格の構成図

2.2.4 粗い全身標準相同モデル作成手順

GenericModel の表面形状を前述 2.2.1 の仕様に従い、市販の CG ソフト (Maya 等) で作成する。メッシュ構造が左右対称になるように、まず左半身を作成し、CG ソフトの機能により、XZ 平面に対しミラーの右半身モデルを作成し、全身の表面形状を整備する。

ランドマーク定義情報を前述 2.2.2 の仕様に基づき、人体表面形状を構成する頂点の中から最も近い点を選択し設定する。設定した情報は、ランドマークマップファイルとして作成し、精密な人体形状相同モデルを作成処理の際に入力するデータとなる。

GenericModel の姿勢を計測点群データの姿勢へ近づけるため、姿勢変形の操作を行えるように関節、骨格の設定を前述 2.2.3 に従い市販の CG ソフト (Maya) を使用して実施する。関節と骨格だけのモデルを図 3 - 2 - 8 の右図の構成に従い作成し、これに上記 の表面形状をバインドする処理を CG ソフト上の操作で実施する。

関節の回転などの姿勢変形により、表面形状も変形されるが、その変形時の表面形状を現実の人の皮膚の変形に近づけるように、スキニングの設定作業を実施する。これも市販 CG ソフト (Maya) 上での作業である。設定は、関節毎に影響を与えるメッシュについてその影響の割合を指定することで行う。実際には関節を回転させてスキンの変形具合を目視でチェックし、現実の人の表面の形状変化に近い状態にまでチューニングを実施する。

またスキニングの設定情報についても、CG ソフトの機能を使って、上半身で左右対称となる設定になるようにする。完成した GenericModel を図 3 - 2 - 4 に示す。

後述の自動構成サブシステムを利用して精密な人体相同モデルを作成することになるが、サブシステムへの入力データとして、上述の GenericModel が必要となる。ただシステム上、データ形式を OBJ 形式にする必要があり、CG ソフトの操作でこの変換作業を実施する。また、システムで扱える OBJ 形式は、全体として 1 つのオブジェクト (グループ化されていない) にする必要がある。

2.3 細分割曲面とデータフィッティングによる精密な人体形状相同モデル自動構成サブシステムの開発

標準となる粗い全身標準相同モデル(GenericModel)を前述の貼り合わせ後の計測点群データにフィッティングさせ精密な人体形状相同モデルを生成するサブシステムを開発した。本サブシステムにおいて対象計測点群データの選択や、フィッティングに関する各種条件を設定することが可能となっている。なお、本機能は、DHRC 提供の HBM ライブラリを使用して実現した。

2.3.1 サブシステムの概要ブロックフロー

システムは、図 3 - 2 - 9 のとおり、大きく 4 つの機能から構成される。まず 前述の GenericModel の形状データ、および特徴となるランドマークの設定情報、そしてモデル化対象となる計測器からの各人の計測点群データと前記のランドマークの計測データを入力する機能、次に フィッティング等パラメータを設定する機能、そして 精密な相同モデル生成機能により、各人の相同モデルを生成する機能である。また、大量の計測データから相同モデルを自動生成する 自動構成用バッチ実行環境も装備する。

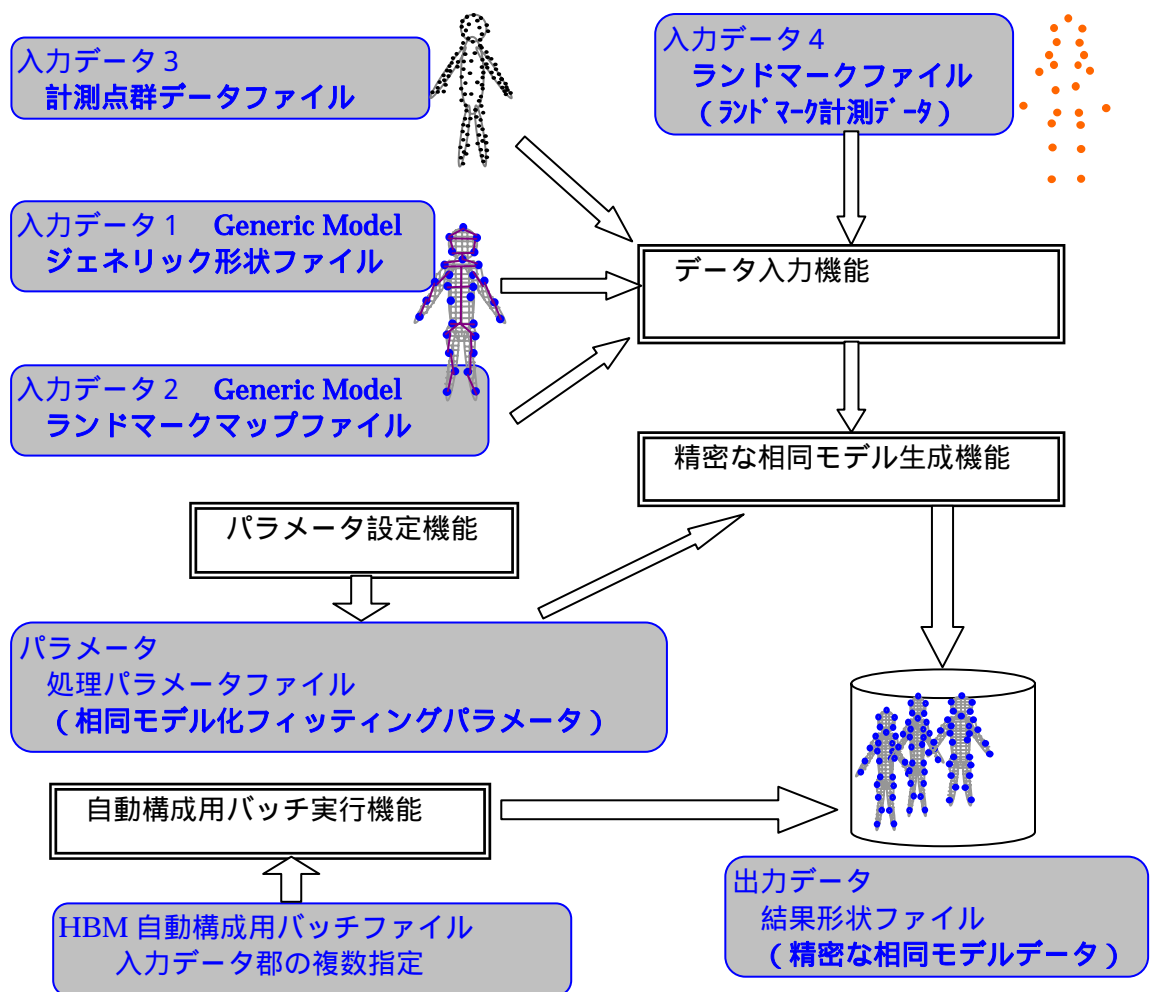


図 3 - 2 - 9 精密な人体形状相同モデル自動構成サブシステム概要フロー

2.3.2 入出力データ・パラメータ仕様

精密な人体形状相同モデル自動構成サブシステムの入出力データ形式について規定する。

(1) ジェネリック形状ファイル

前述 2.2 で説明した GenericModel の形状ファイルで、ファイル形式としては、WaveFrontOBJ 形式と呼ばれるもので、データ点座標部、データ点の接続情報部(ポリゴン情報)のみからなる。全体として1つのオブジェクト(グループ化されていない)のみのサポートとなる。データ点座標部は、以下の図3-2-10のような「v」で始まる頂点指定部で、スペース区切りの浮動小数点形式で1行に1つのデータ点である。データ接続情報部は、図3-2-10のような「f」で始まるブロックで、データ点座標部に記述したデータ点の順番をそのまま頂点番号として、どのような頂点番号の組み合わせでポリゴンが形成されるかを記述するものである。ポリゴンは三角形のみを対象とするものである。

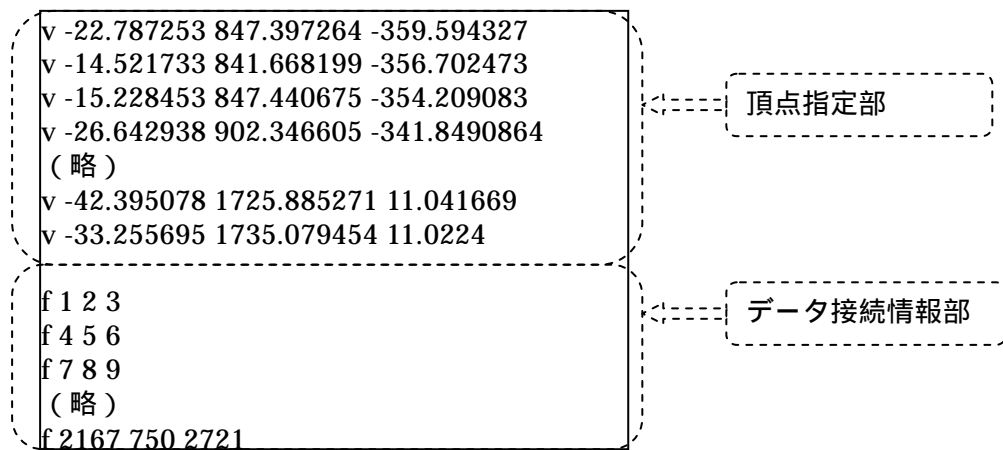


図3-2-10 ジェネリック形状ファイルのフォーマット(例)

(2) ランドマークマップファイル

前述 2.2.2 で説明したランドマークの設定を行うファイルで、ファイル形式としては、図3-2-11に示すように、1行目にランドマーク数、以降はランドマーク点番号とジェネリック形状での対応する点番号を記述する。

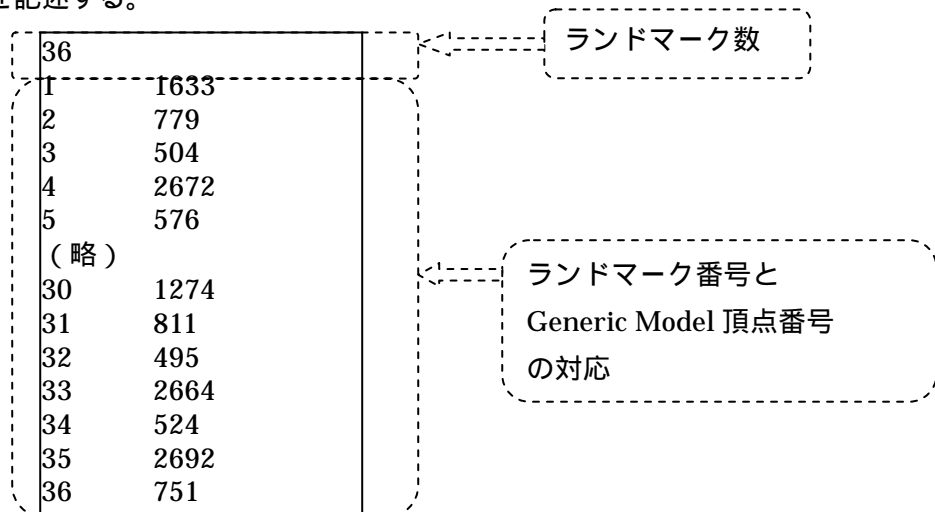


図3-2-11 ランドマークマップファイルのフォーマット(例)

(3) 計測点群ファイル

レーザスキャナ等計測器で計測した点群データファイルで、点群データの X,Y,Z 座標を記述する。データ例を図 3 - 2 - 1 2 に示す。

-28.4740012 824.9999881 400.3800154	← ランドマーク番号と Generic Model 頂点番号 の対応
-30.7919998 829.9999833 399.7950256	
(略)	
16.6909993 834.9999785 -417.3599780	
15.9040000 832.4999809 -417.993009	

図 3 - 2 - 1 2 計測点群ファイルのフォーマット (例)

(4) ランドマークファイル

ランドマーク (特徴点) の計測データの X,Y,Z 座標を記述する。データ例を図 3 - 2 - 1 3 に示す。

76.8	1497.6	17.5	← ランドマークの 計測データの X,Y,Z 座標
41.1	1488.7	-45.9	
67.4	1441	-162.1	
55	1430	196.1	
88.9	1317.7	-145.8	
(略)			
2.6	1413.5	-158	
-9.1	1407.5	189.6	
105.1	1383.7	-141.5	
89.4	1372.6	176.8	
88.5	1306.3	14.7	

図 3 - 2 - 1 3 ランドマークファイルのフォーマット (例)

(5) 結果形状ファイル

サブシステムで生成された相同モデル結果形状ファイルを記述する。ファイル形式は、前述の入力データ形式である WaveFrontOBJ 形式と、Geo フォーマットと呼ばれる MOVIE,BYU 形式、および ppd 形式から後述のパラメータにより設定された形式のいずれかとなる。利用する目的や扱うソフトウェアによって、出力ファイル形式を選択する。

(6) HBM パラメータファイル

サブシステムで使用するファイルに、相同モデルを生成するパラメータを格納したファイルが存在する。フォーマットを図 3 - 2 - 1 4 に示す。まず、入出力データ形式を指定するパラメータを 1 行目に指定する。最初の項目は、入力形式の指定、第 2 の項目は出力形式の指定であり、最後の項目は距離パラメータで点群データのフィッティング時にメッシュの頂点の偏るのを防ぐ効果がある。

2 行目以降は、再分割処理やフィッティング処理の条件を指定する箇所である。

最初の項目は処理の区別で、「 1 」がフィッティング、「 2 」が再分割処理を表す。

さらにフィッティングの場合は、2項目目のパラメータが点群フィッティングの処理重み付け値、3項目目のパラメータが、連続性の適用処理の重み付け、4項目目のパラメータがランドマークフィッティングの処理重み付けを指定するものである。

2	2	5.00				入出力データ形式の指定
1	1.0	1.0	10.0			フィッティング処理条件の指定
2						再分割処理処理の指定

図3 - 2 - 14 HBM パラメータファイルのフォーマット (例)

(7) HBM 自動構成用バッチファイル

サブシステムでバッチ実行の際に使用するファイルで、大量の計測データから相同モデルを自動生成することが可能となる。フォーマットについて図3 - 2 - 15 に示す。

IcpSubd.txt, GM_1_Editted.obj, Result01.obj, LandmarkMap.txt, Trfm1.txt, 1_new.txt
IcpSubd.txt, GM_2_Editted.obj, Result02.obj, LandmarkMap.txt, Trfm2.txt, 2_new.txt
(略)
1 体毎に下記の項目をカンマ区切りで記述する 処理パラメータファイル名, ジェネリックモデル形状ファイル名, 結果形状ファイル名 ランドマークマップファイル名, ランドマークファイル名, 点群データファイル名

図3 - 2 - 15 HBM 自動構成用バッチファイル (例)

2.3.3 サブシステムの GUI

サブシステムの GUI を次の図3 - 2 - 16 で説明する。

精密な相同モデルを1体ごとに個別で作成する場合は、GUIの個別処理で行う。

まず、相同モデル生成パラメータを処理パラメータ項目欄で指定する。パラメータはフィッティング・再分割条件を適用の順番を考慮しながら複数指定することが可能である。最初にパラメータの種類を規定しており、フィッティングか再分割かを選択する。ジェネリック形状ファイル名の項目には、標準となる粗い全身標準相同モデル (GenericModel) のファイルを指定、結果形状ファイル名には生成する精密相同モデルのファイル名を指定、ランドマークマップファイル名には GenericModel のランドマーク定義ファイルを指定、ランドマークファイル名には、ランドマークの計測データファイルを指定、そして点群データファイル名には計測点群データファイル名を指定する。

全ての条件が指定されれば、実行ボタンをクリックすることで処理が開始され、精密な相同モデル形状ファイルが生成される。生成された相同モデルの形状ファイルは OBJ 形式であるので、

市販 CG ソフトで確認し、パラメータの調整を行いながら最終の生成された形状を評価することが可能である。また、事前に確定されたパラメータにより、大量の人体形状の計測データを自動で相同モデル化する自動構成用バッチ実行環境も装備している。指定のフォーマットのバッチファイルを作成し、メニュー画面のバッチ処理の区分から、自動構成用バッチ実行ファイルの選択で読み込ませ実行することが可能である。



図 3 - 2 - 16 HBM 自動構成サブシステムの GUI

2.4 三次元形状サンプルの相同モデル化作業

提案者らが保有する人体形状データベースから、サンプルデータを抽出し、前述の開発したシステムを用いて精密相同モデルを生成する作業を実施し、フィッティング条件、ランドマーク情報を変えての検証など延べ 1000 体分の相同モデル生成作業を実施し、フィージビリティスタディを通して最適と思われる相同モデル生成手順を確立した。

2.4.1 相同モデル作成作業フロー

次の図3 - 2 - 17 に示す作業手順により、相同モデル生成作業を実施する。

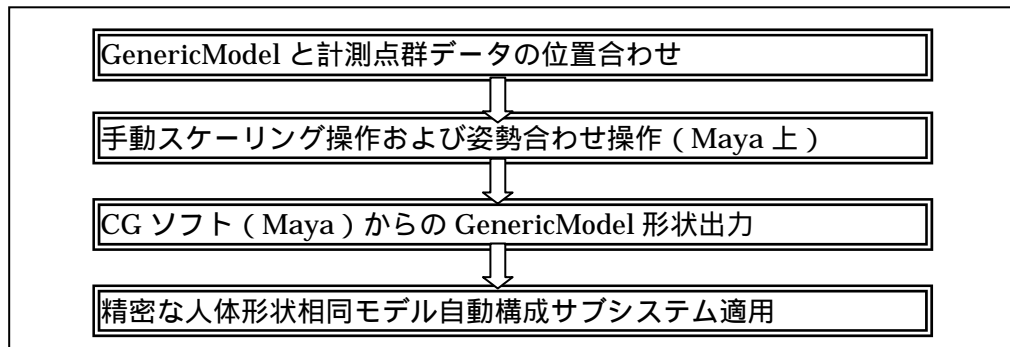


図3 - 2 - 17 相同モデル作成作業フロー

2.4.2 GenericModel と計測点群データの位置合わせ

市販の CG ソフト (Maya) 上に GenericModel データと計測点群データを読み込み全体の位置関係を確認する。位置合わせのイメージを図3 - 2 - 18 で説明する。

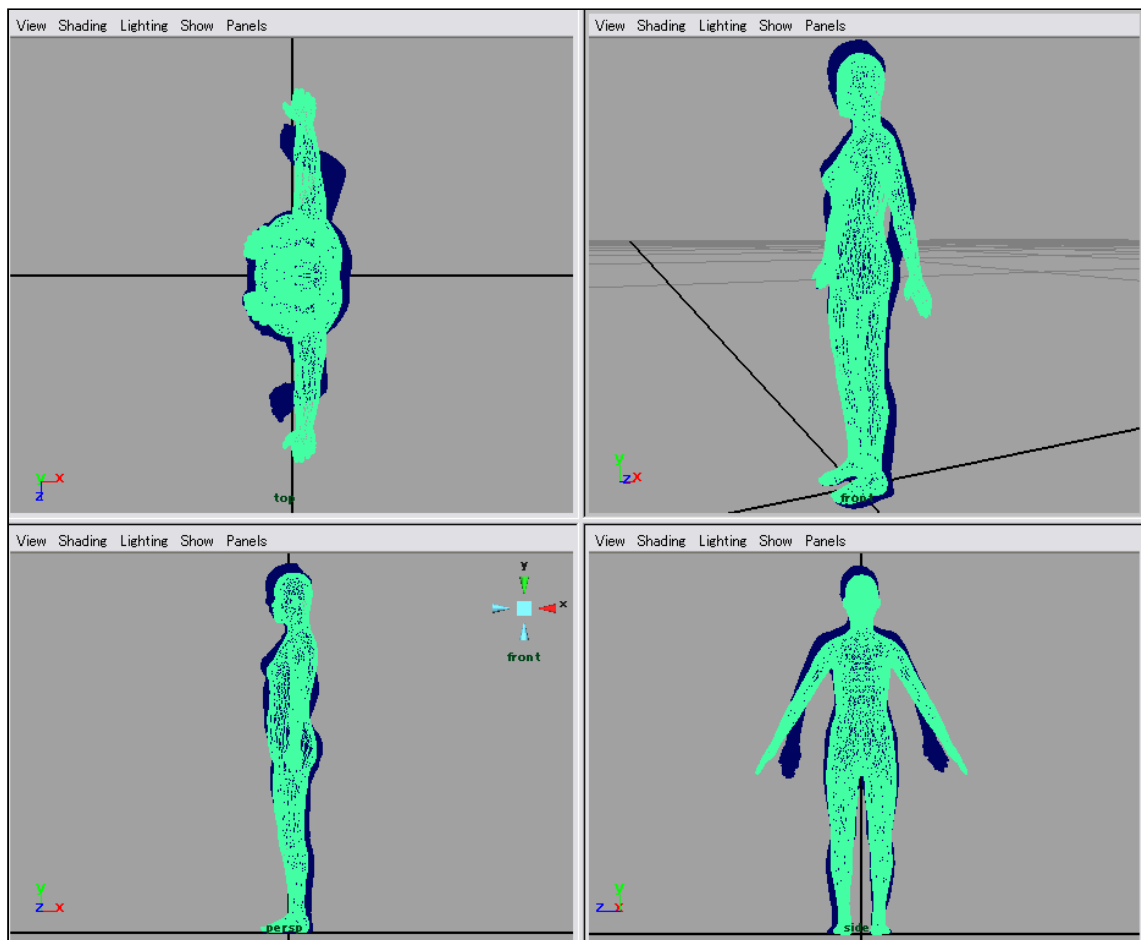


図3 - 2 - 18 GenericModel と計測点群データの位置合わせ

まず、双方の座標系が異なっている場合は、ワールド座標系での回転操作により、座標軸を合わせて全身の向きを一致させる。次に、全身の中心位置となる臍付近の位置（正確には、関節骨構造の Humanoid_Root 点）が両方で一致するように GenericModel 形状を平行移動させる。確認は、三面図表示などで、3方向からの位置関係が合っているかを確認する。あくまで、全身全体の位置関係を合わせる作業を行うものである。

2.4.3 スケーリング操作と姿勢変形操作

身長が異なっている場合や関節間のリンク長が異なっている場合に、スケーリング操作を実施する。これについても市販のCGソフト（Maya）による操作で実施する。

各関節間リンク部の長さをスケール調整の例を図3 - 2 - 19と図3 - 2 - 20に示す。リンク部のスケーリングパラメータ（Scale）の値を変更することで実施する。

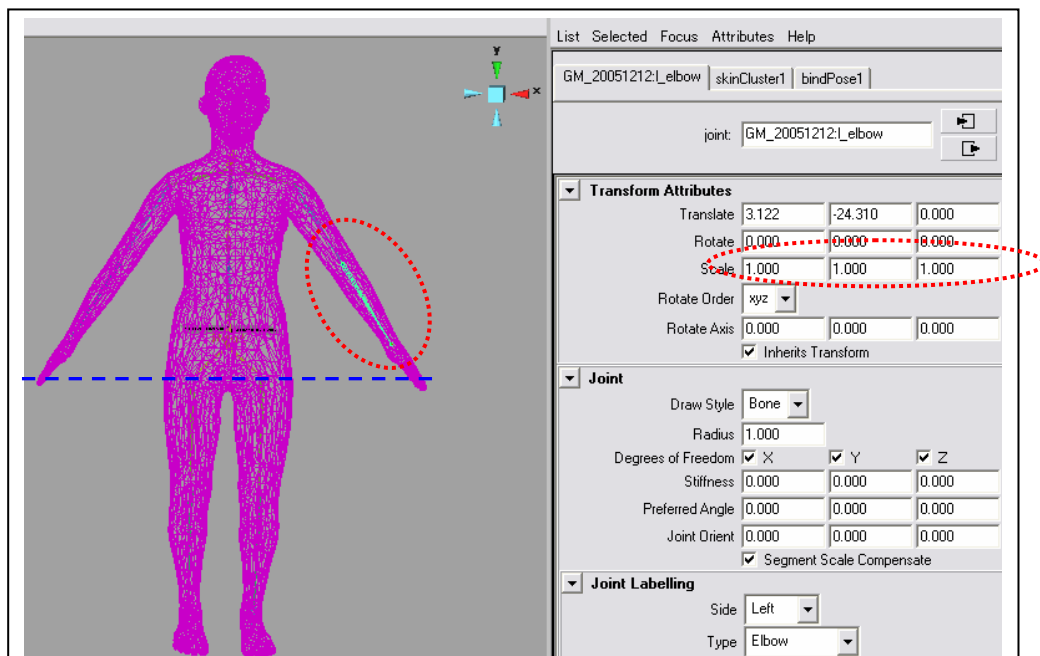


図3 - 2 - 19 スケーリング操作

Scale 値を変更により、左下腕分のリンク長は図3 - 2 - 20のように変化する。

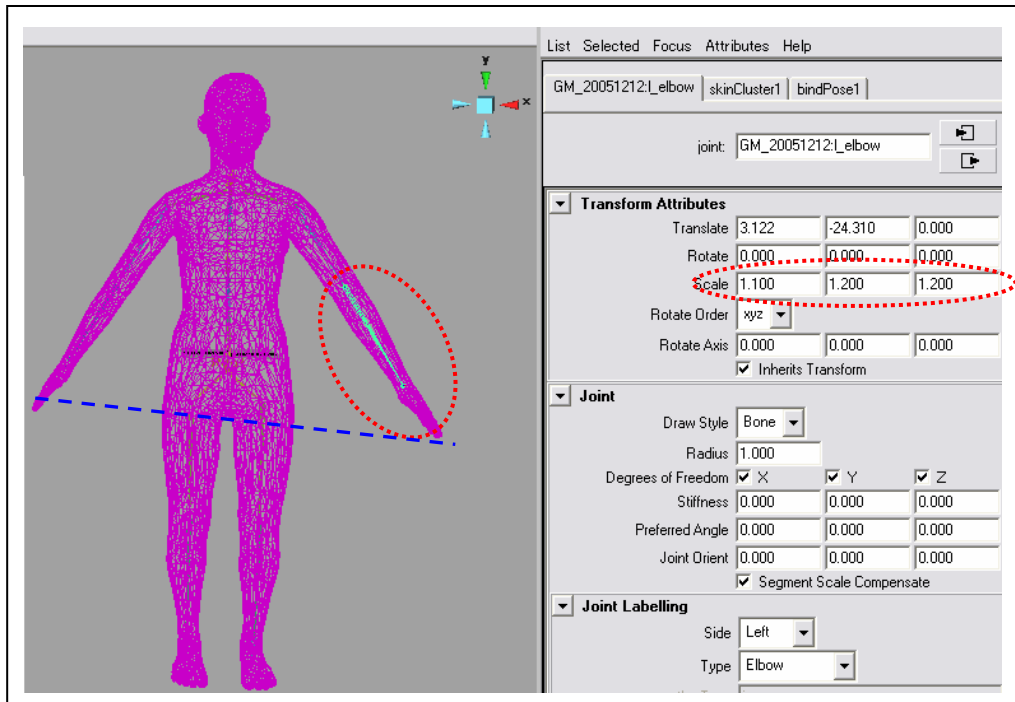


図 3 - 2 - 2 0 スケーリング操作

次に姿勢変形により、関節を回転し、各部の姿勢を一致させる操作を行う。腕部の姿勢を合わせるために肘の関節を曲げる操作を実施する例を図 3 - 2 - 2 1 に示す。

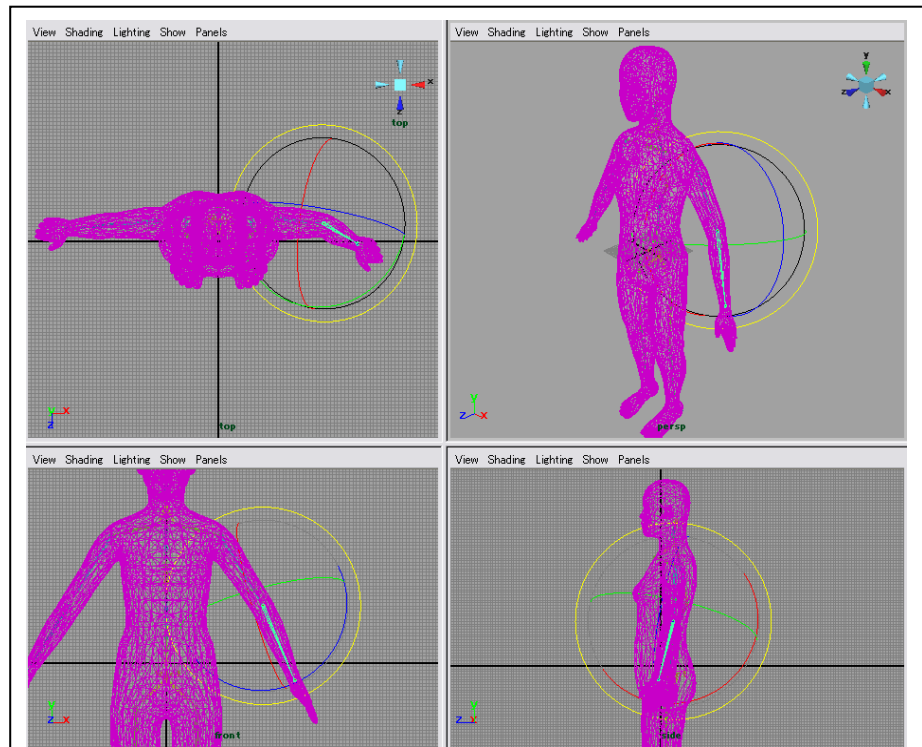


図 3 - 2 - 2 1 関節回転による姿勢合わせ操作

姿勢合わせ後の状態を図 3 - 2 - 2 2 に示す。

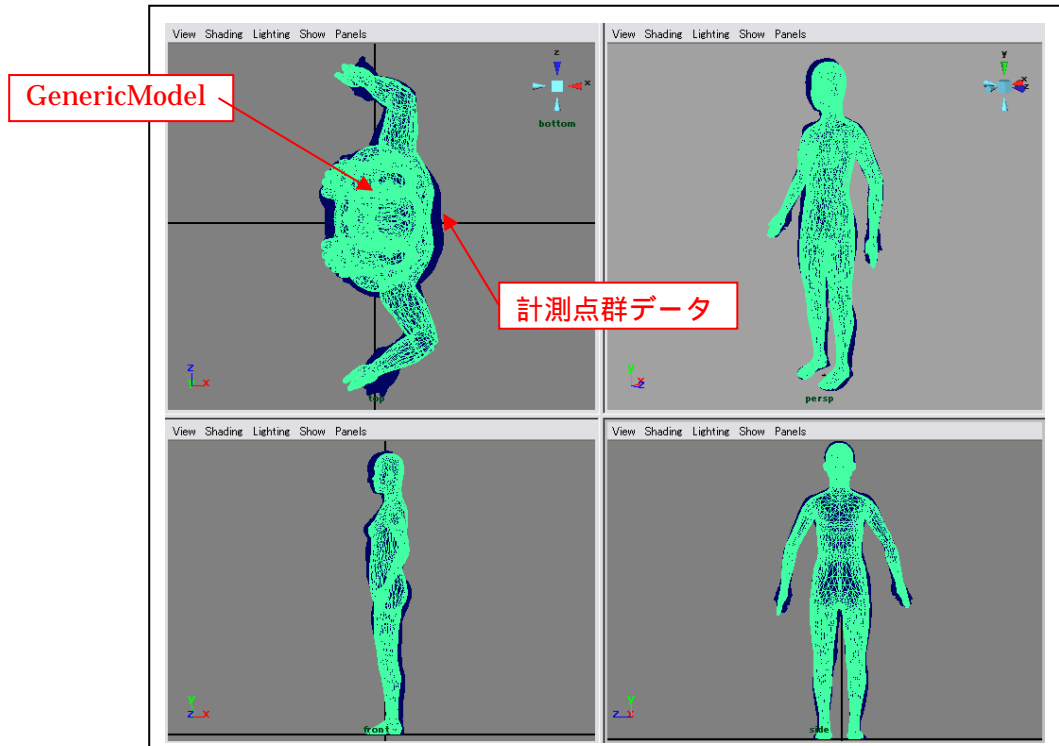


図 3 - 2 - 2 2 関節回転による姿勢合わせ後の状態

2.4.4 CG ソフト（ Maya ）からの GenericModel 形状出力

GenericModel を計測点群データへの位置、スケール、姿勢を合わせが完了すれば、最終的な GenericModel 形状を出力する操作を実施する。出力対象は表面形状のみで、出力ファイル形式は OBJ 形式で汎用の CG ソフトで取り込める形式である。

2.4.5 精密な人体形状相同モデル自動構成サブシステム適用

前述までの操作により、相同モデルを自動生成するための入力データは全て準備できたので、前述の人体形状相同モデル自動構成サブシステムを使用して、精密な全身の人体形状相同モデルを生成する。入力データは、姿勢変形後の GenericModel 形状データファイル、ランドマークマップファイル、計測点群データファイル、ランドマークファイルである。

2.4.6 生成された精密な人体形状相同モデルの評価

提案者らが保有する人体形状データベースから、54名のサンプルデータを抽出し、相同モデル化対象データとした。このデータに対し、以下の条件設定の組み合わせによる評価を実施し、生成された相同モデルを評価し、最適な条件設定を検討した。

ランドマークのパターンについて

今回次の4種類のランドマーク設定情報を作成し、評価した。

A 総点数 36 点のランドマーク情報：

必要なランドマーク情報を全て網羅し設定したパターン

B 総点数 24 点のランドマーク情報：24 点に減らして設定したパターン

C 総点数 16 点のランドマーク情報：16 点に減らして設定したパターン

D 総点数 7 点のランドマーク情報：7 点に減らして設定したパターン

相同モデル化細分化・フィッティングパラメータについて

今回次の6種類のパラメータを作成し、評価した。

A ランドマークフィッティング最優先となる指定

B 点群フィッティング最優先となる指定

C 連続性最優先設定

D ランドマークフィッティングと点群フィッティング

E Dに連続性設定適用

F Eの最適化

上記の条件の組み合わせにより評価を実施した。一体につき 24 パターン (=4×6) 全 54 名分に関し、計 1296 通り (=54×24) について実施した。代表的な組み合わせ例を表 3 - 2 - 5 に示す。

表 3 - 2 - 5 評価パターン

ランドマークのパターン	パラメータ	評価内容
A	A	必要なランドマーク情報を網羅し、ランドマークフィッティング最優先パラメータによる相同モデル化
A	B	点群フィッティング最優先パラメータによる相同モデル化
A	C	点群フィッティングは重視せず、連続性のパラメータ優先で相同モデル化
A	D	ランドマークフィッティングと点群フィッティングを合わせて相同モデル化
A	E	上記に連続性を加えて相同モデル化
A	F	上記のパラメータを最適化して相同モデル化
⋮	⋮	⋮
D	F	ランドマークを最小限に絞り込んで相同モデル化

54 体のモデルについての前述の評価パターンの組み合わせによる処理結果を表 3 - 2 - 6 で示す。評価結果は表 3 - 2 - 6 中に 4 段階評価（×：不良、○：点群およびランドマークの位置ずれ、△：点群がランドマークいずれかの位置ずれ、◇：細部にわたり適切と思われる）で示した。

表 3 - 2 - 6 評価結果の一覧

パラメータのパターン	ランドマークのパターン			
	A	B	C	D
	相同モデル形状の評価	モデルファイル	モデルファイル	モデルファイル
A	×（ランドマーク点のみが計測点へフィット）			
B	×（適切でない点群へフィットしたと思われる箇所がある）			
C	×（GenericModel からほとんど変形していない）			
D	（全体形状の概観は良いが、細部に関しては点群とのずれあり）	（全体形状の概観は良いが、細部に関しては点群とのずれあり。また、フィッティングに使用したランドマーク点を減らした場合、フィッティングに使用しないランドマークの位置が計測点の対応する位置からずれる。）		
E	（全体形状の概観は良いが、細部に関しては点群とのずれあり）	（全体形状の概観は良いが、細部に関しては点群とのずれあり。また、フィッティング対象外のランドマークの位置が計測点とずれる）		
F	（ランドマーク位置の対応、細部にわたる点群データのフィッティング共に良好）	（全体形状は問題ないが、フィッティング対象外のランドマークの位置が計測点とずれる）		

ランドマークフィッティング最優先指定のみでのフィッティングでは、生成された相同モデル形状は、ランドマーク点のみが計測点へフィットし、ランドマーク以外の点のフィッティング度合いの違いが際立った結果となった。

また、ランドマークの数を減らした場合、フィッティング対象外のランドマークの位置が計測点とずれる結果となった。

従って、特徴点を統計処理することを主目的とするような場合に関しては、ランドマーク設定は、削減せずに相同モデル化することで、正確な形状を得ることができると言える。

一方、見た目の形状（表面形状のなめらかさなど）を重視し、特徴点そのものの位置にそれほど厳密さを求めないのであれば、ランドマークを削減しても構わないと言える。

結果の中から、今回評価し最適な場合と思われるランドマーク仕様 A、最適化パラメータ設定

F の設定で、生成された精密な相同モデル形状の代表例を、図 3 - 2 - 2 3 ~ 図 3 - 2 - 2 6 に示す。

また、処理時間に関する評価結果を表 3 - 2 - 7 に示す。

表 3 - 2 - 7 処理時間に関する評価結果

	パラメータのパターン						処理時間：単位[秒]
	A	B	C	D	E	F	
標準体型モデル	27	27	27	36	45	62	
太り型モデル	27	28	27	39	46	54	
	ランドマーク設定による相違はなし						

この表を見てわかるように、パラメータによるランドマーク処理時間に関しては、D,E,->F と品質を良くなるに従い、処理時間を要する結果となった。ただ、ランドマーク設定に関する指定の数に関しては、処理時間の上での差異はない。ただ、モデル生成までの処理時間短縮や生成する相同モデルの品質レベルを考慮するならば、ランドマークの設定数を減らしたり、パラメータの指定を変更することも実用上可能である。

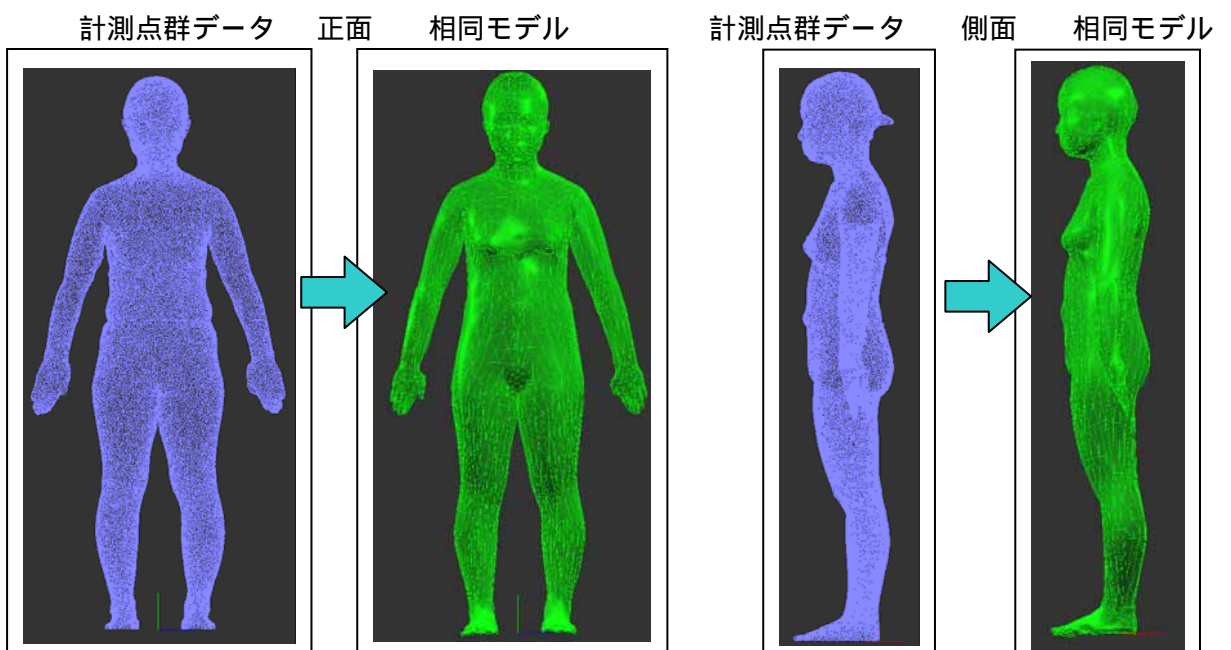
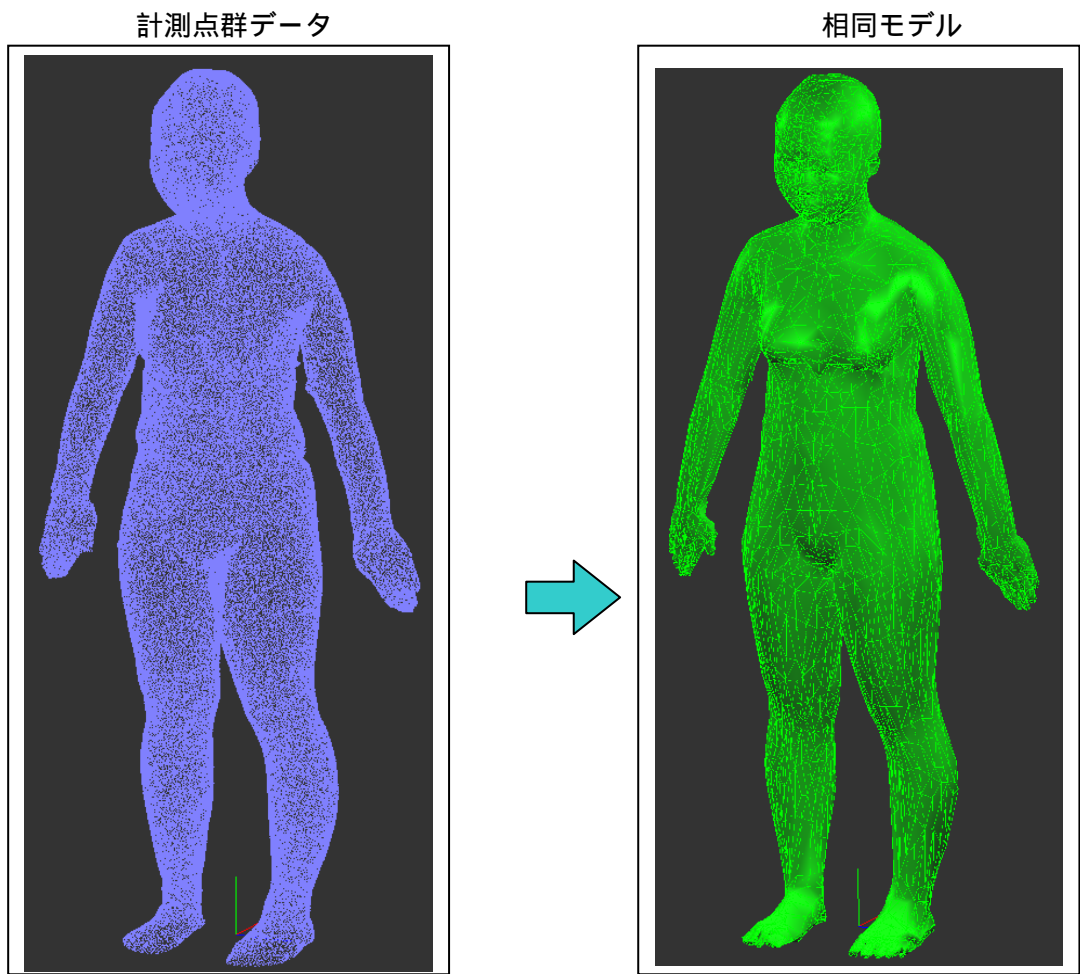


図 3 - 2 - 2 3 最適化設定で生成された相同モデル 1

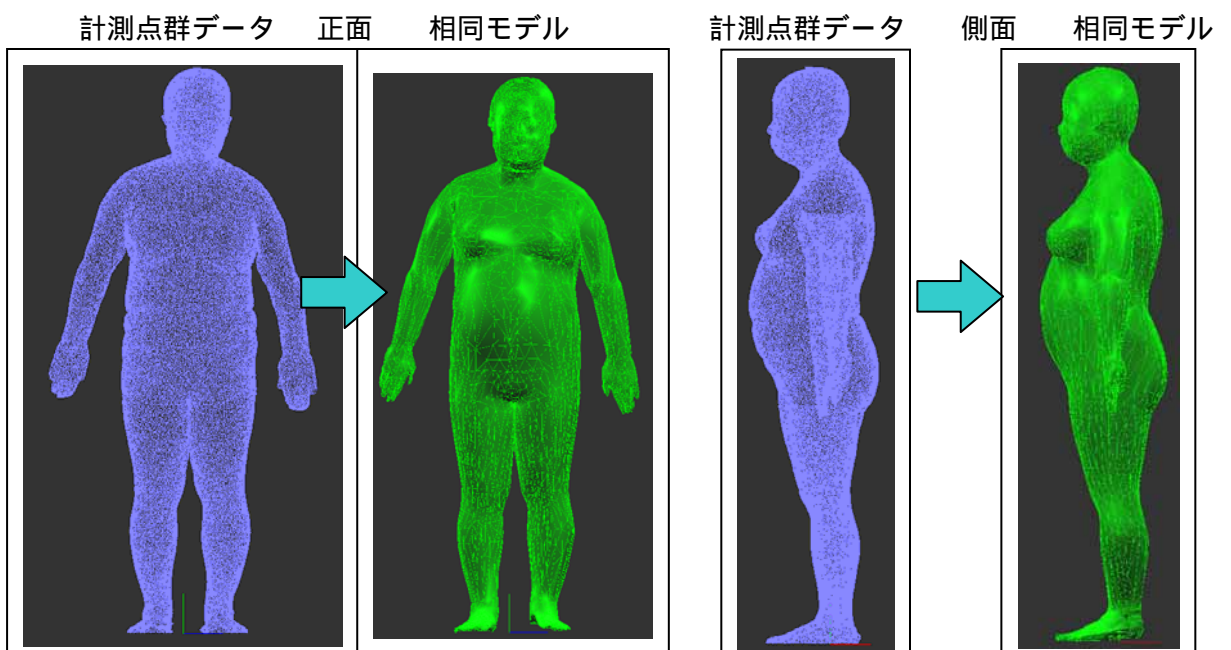
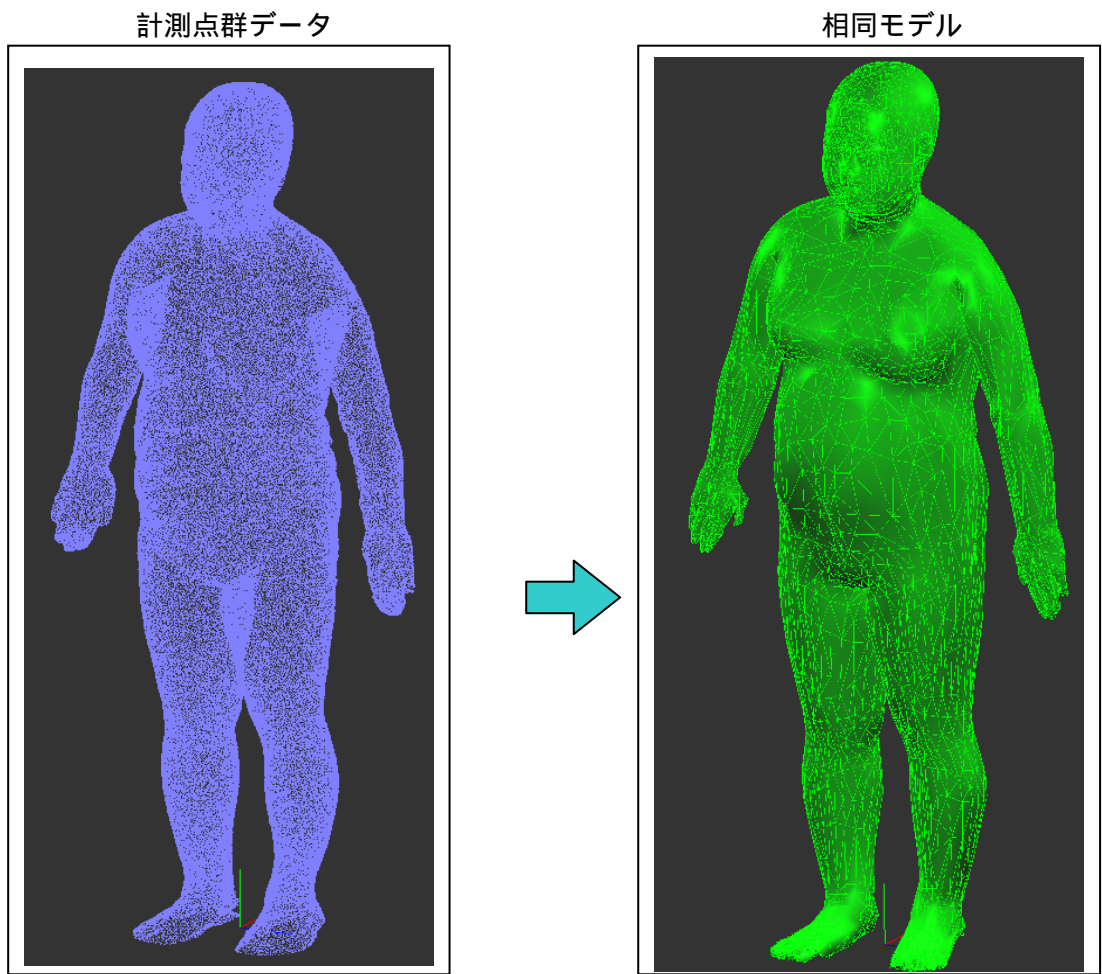


図 3 - 2 - 2 4 最適化設定で生成された相同モデル 2

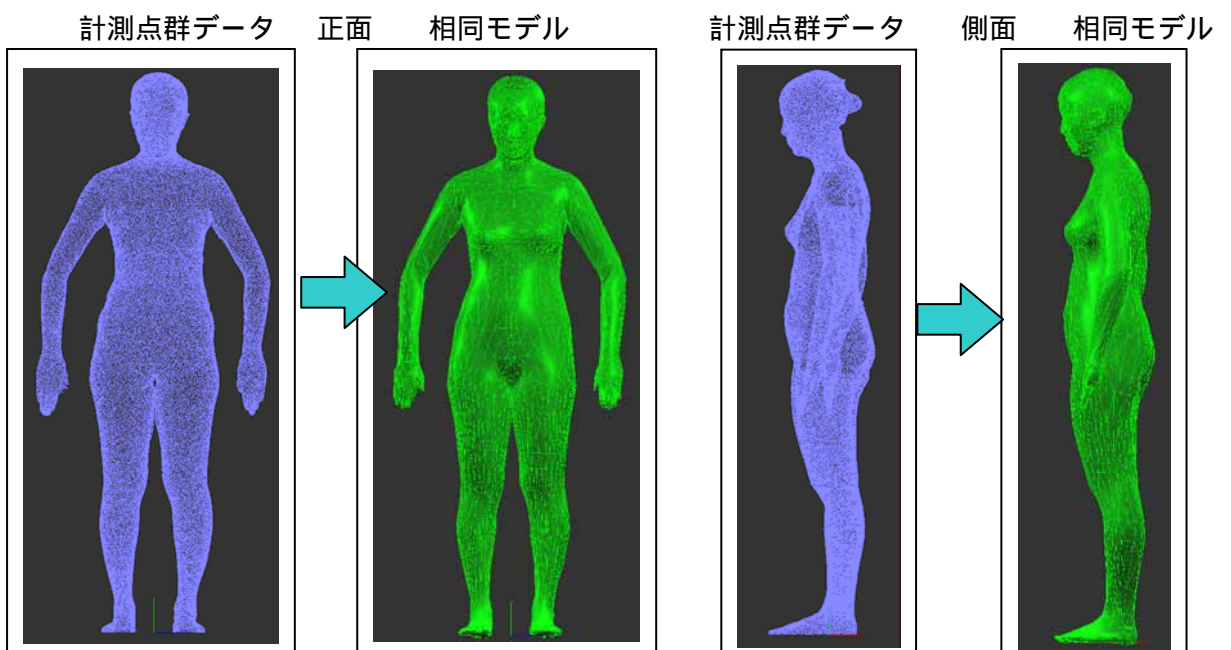
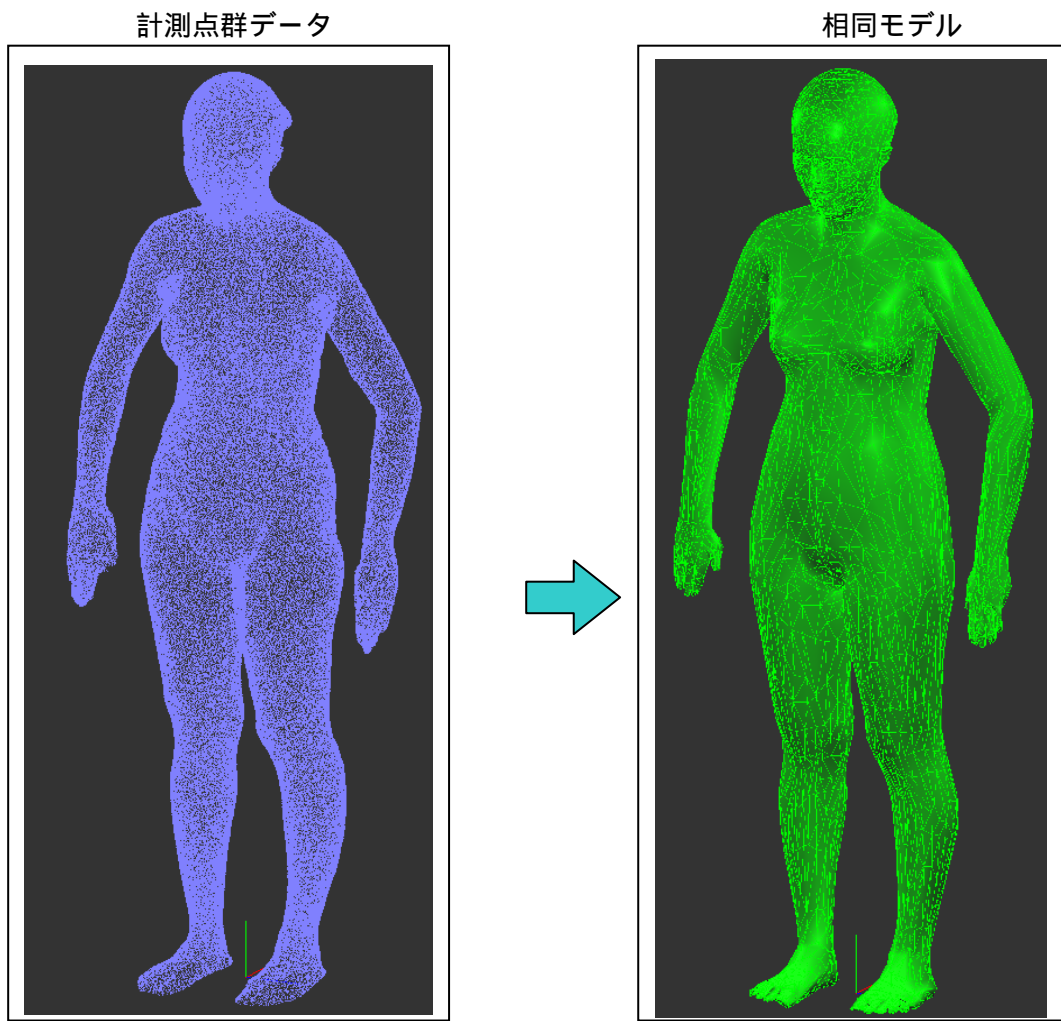


図3 - 2 - 2 5 最適化設定で生成された相同モデル3

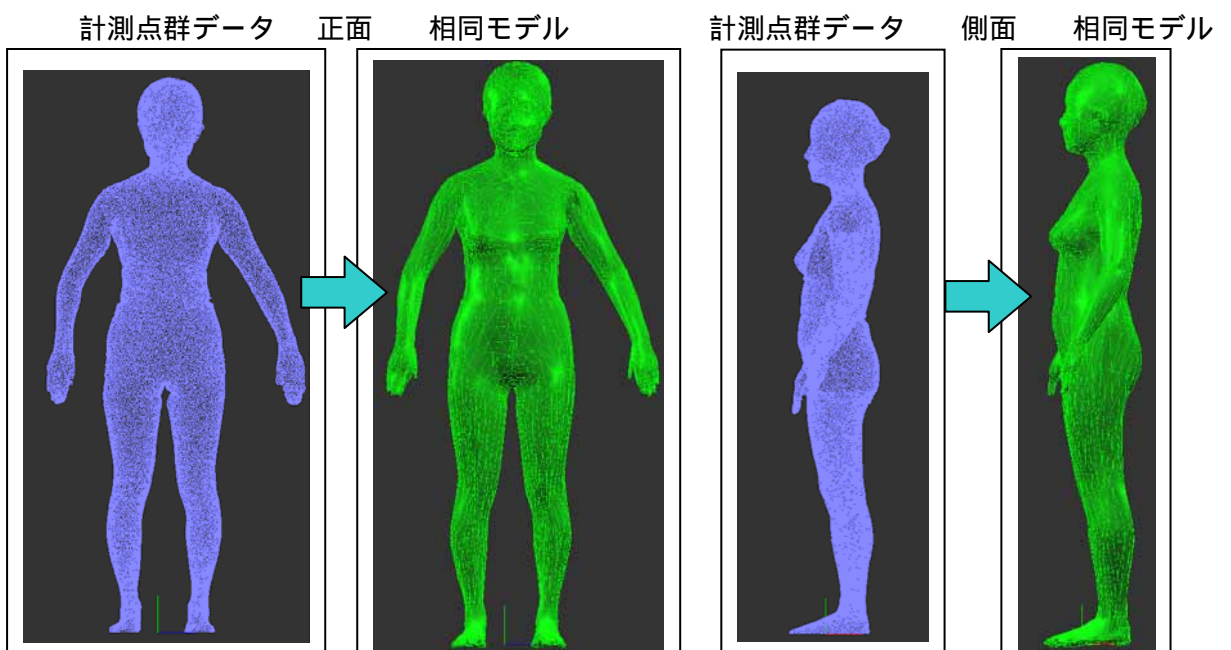
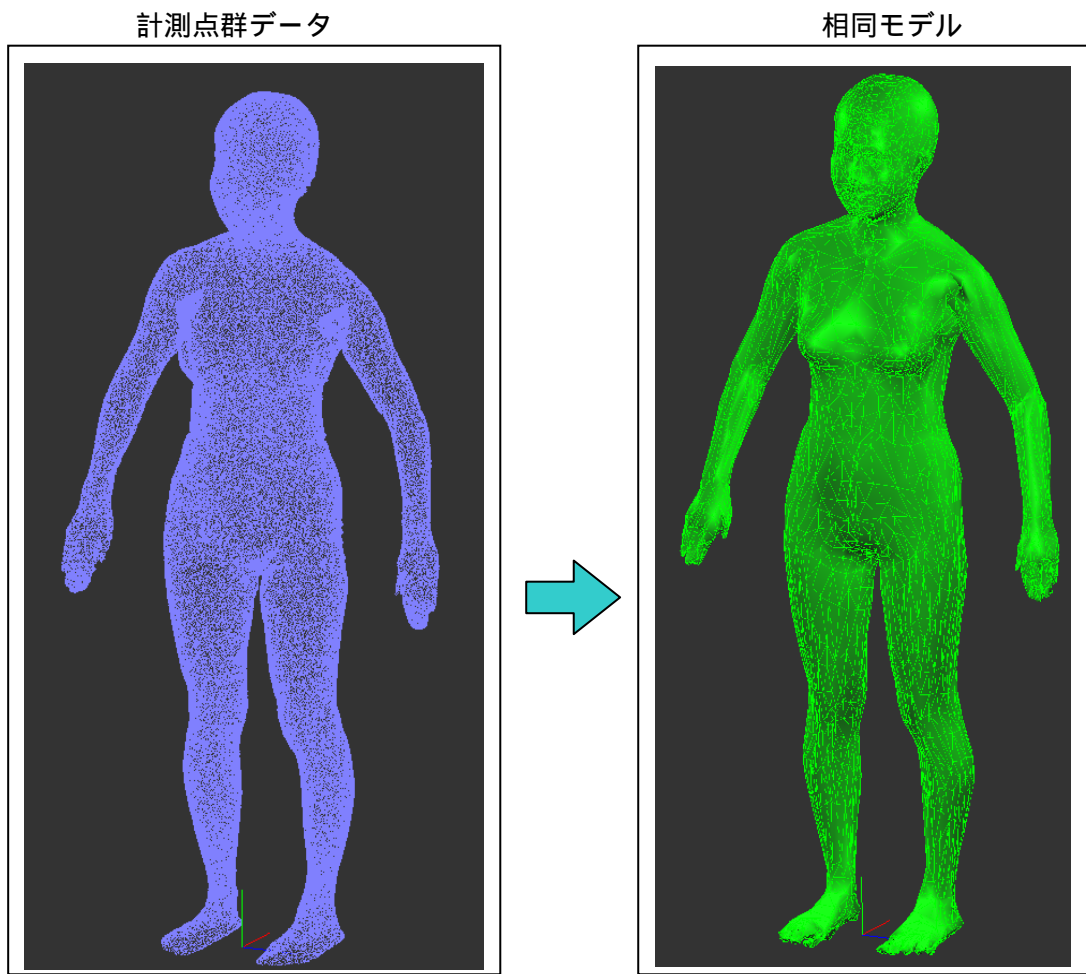


図 3 - 2 - 2 6 最適化設定で生成された相同モデル 4

2.5 精密な人体形状相同モデルからの自動採寸サブシステムの開発

生成した精密な人体形状相同モデルを採寸するサブシステムの開発を行い、ランドマーク点間の距離などを算出することが可能になった。

2.5.1 自動採寸サブシステムの機能概要

採寸対象となる精密な相同モデル形状データを読み込み、ランドマークの2点を選択し、その二次元直線距離を算出する機能を有する。ランドマーク設定情報については、相同モデル生成時に使用したパラメータを適用する。

2.5.2 GUI と操作仕様

距離計測部の GUI を図3 - 2 - 27に示す。GUI の左側ウィンドウにマーキング表示されたランドマークで位置を確認し、始点ランドマークと終点ランドマークを選択し、測定ボタンをクリックすることで距離を計測する操作となる。

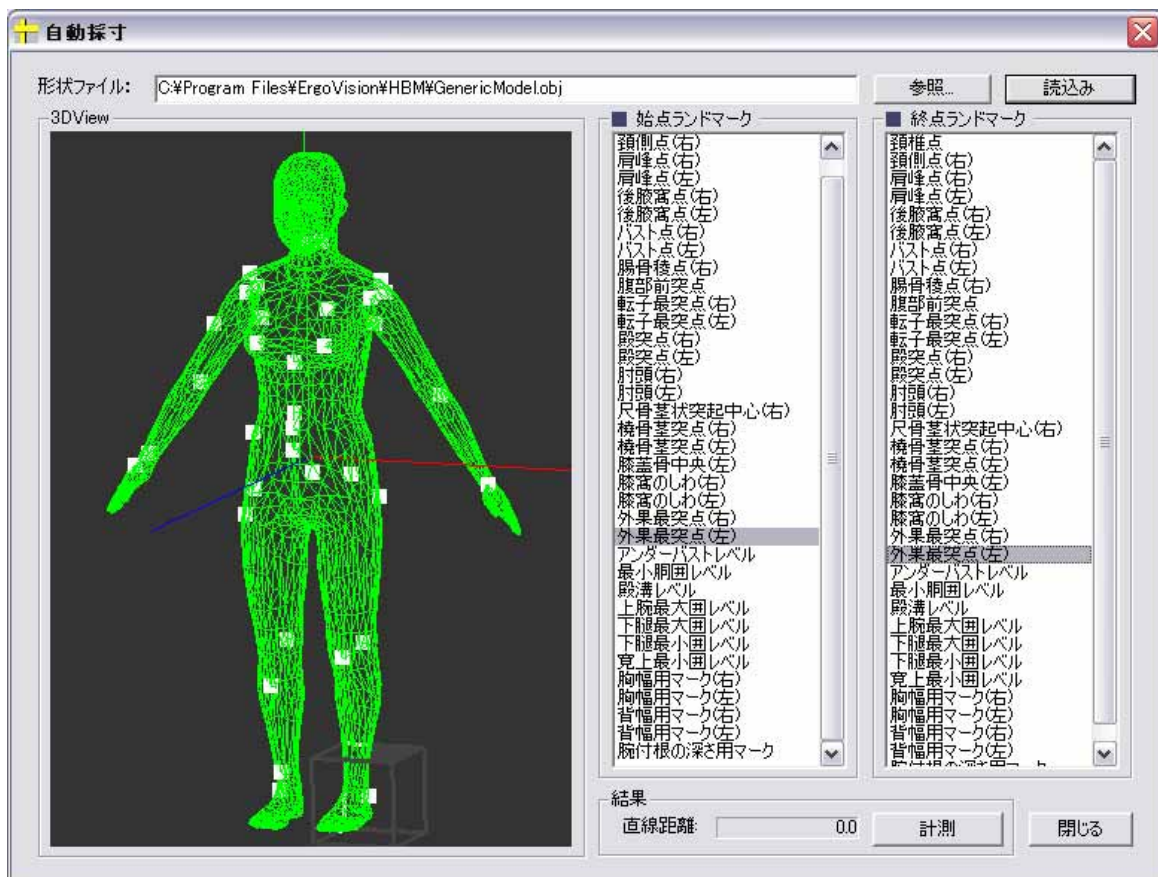


図3 - 2 - 27 自動採寸の GUI

2.6 まとめ

本章の成果内容をまとめると以下のとおりである。既存の人体形状計測装置による人体の複数方向からの計測点群データの貼り合わせを行うため、真球度の高い治具を使用したキャリブレーション方式によるサブシステムを開発し、高精度な貼り合わせを実現した。

次に、人体の標準となる粗い全身標準相同モデルを解剖学、形質人類学に基づき作成し、全身のランドマーク情報を構築した。そしてこの粗い全身標準相同モデルを計測点群データにフィッティングさせ精密な人体形状相同モデルを生成するサブシステムを開発し、様々な計測点群データから相同モデルを生成することが可能となった。実際に、このサブシステムを使用して、提案者らが保有する人体形状データベースから、サンプルデータを抽出し、延べ1000体分の相同モデル化を行い、フィジビリティスタディを通して最適と思われる相同モデル生成手順を確立した。また、自動採寸サブシステムを開発し、生成した精密な人体形状相同モデルを採寸することが可能になった。

第3章 精密な相同モデルと適合靴試作

本章では、消費者個々人の人体形状に応じたサービス・製品を即時に提供する「オンデマンドサービス・製造」のコア技術として位置づけられる“精密な相同モデル”について、その製品設計への適用の有意性・有効性を評価・検証するために、精密な相同モデルを用いて婦人靴の試作を行い、従来技術による既製靴・カスタムメイド靴との適合評価を行った。

3.1 精密な相同モデル

精密な相同モデルとは、粗い標準相同モデルの頂点数を細分割曲面技術で2倍、4倍、8倍と分割し、新たに生成された頂点が計測データ点群に一致するように対応付けする技術である。粗い標準相同モデルの頂点のいくつかはランドマーク点であり実測したランドマークに一致させるため、どの計測データに対応付けさせてもデータ点数は同一で同相、解剖学的対応も満足している。また細分割は4倍、16倍と増やせるため任意の精密さの相同モデルを自在に構成できる。

また精密な相同モデルは細分割のルールさえ決めておけば、細分割したデータを配信する必要はなく、粗いデータのみを配信して受信側で精密な相同モデルを復元することができる。このとき、細分割したデータが実測データに一致するように粗い標準相同モデルの頂点を移動させるため、他者が粗いデータをネット上からコピーしても個人を特定できないという特長がある。このようなデータ圧縮、データ保護の観点から、精密な相同モデルはインターネットを介したサービス・製造との親和性が高いものといえる。

さらに、精密な相同モデルはCAD (Computer Aided Design) やCAM (Computer Aided Manufacturing) 等のデジタル設計技術やデジタル製造技術と組み合わせることによって、製品設計の効率化、製作の迅速化が期待できる。

3.2 オンデマンド製品の設計・製作における精密な相同モデル

3.2.1 オンデマンド靴の設計・製作

オンデマンド靴の全体工程は大きく分けて販売店側の工程と製造メーカー側の工程に分類できる。販売店では顧客の足のサイズや靴の形状、色、素材、柄の嗜好等の情報収集と、納品後のアフターフォロー情報収集がある。一方、製造メーカーでは販売店経由で得た顧客の足部のサイズ情報、嗜好情報を基にデジタル設計を行い効率的に製造する。

設計段階では、足部の計測器から収集したデータと顧客の嗜好情報（デザイン、色、柄）を基に、CAD を用いて靴型と靴の設計を行う。まず、靴の設計のベースとなる靴型を CAD 向けにデジタイザ等を用いて実際の靴型を計測してモデリングする。次に靴型の標準モデルを CAD 上でサイズやデザインを個人向けに調整後、必要に応じて自動削り出しマシンで削り出しを行う。その後、個人向けに調整した靴型を基に CAD 上で靴のアッパやソール等のパーツをデザインし、アッパパーツのパターン設計、グレーディングを行う。

靴のアッパ部のパターンが確定すると、素材の裁断、縫製、仕上げの製作段階に移行する。製作段階では CAM を用いた作業となる。CAD で設計した各パーツデータを素材にマーキングして CAM を用いて素材を裁断する。裁断したパーツを靴型上で順次縫製し、組み立て、仕上げを行う。

以上の作業から、オンデマンド靴の設計・製作段階では、CAD と CAM のシステム連携が重要であることが分かる。

3.2.2 精密な相同モデルを用いた靴型モデルの生成

オンデマンド靴の設計・製作工程の中での主要課題の一つとして、足部の計測データを靴型に反映する手法が挙げられる。靴の製作には靴型が必要であるが、現状では足部の採寸データを靴型に反映する工程は、靴職人の勘と経験に基づく手作業で行われている。

足部の精密な相同モデルから靴型モデルを生成する手法の一つとして、FFD 法 (Free Form Deformation 法) がある。FFD 法とは、計測対象となる物体の周囲に制御格子点を設定し、この制御格子点を動かすことによって内部の物体の形状を滑らかに変形する方法である。つまり、各個人の足部の計測データから生成する精密な相同モデルの個人差を FFD 法によって定式化できれば、それに応じて靴型データの変形が可能となることを意味する。

3.3 適合靴の試作

3.3.1 足部の精密な相同モデルを用いた試作靴

まず、女性の被験者を1名特定し、アイウェアラボラトリ社製の足部計測器（商品名 Infoot）を用いて被験者の足部（両足）を計測する。図3 - 3 - 1に足部計測器の外観を示す。足部計測器はレーザを用いて被験者の足（裸足）をスキャンし、スキャニングデータから専用ソフトウェアで3次元形状を復元する。



図3 - 3 - 1 足部計測器（Infoot）

次に、足部の3次元形状データから寸法データを取得し、その採寸データをキーに既存の靴型データ群の中から最も近い靴型データを標準靴型データとして選定する。標準靴型データをFFD法によって被験者の精密な相同モデルの寸法データに合わせるように変形する。図3 - 3 - 2に試作靴の靴型データを示す。また靴型データから製作した靴型を図3 - 3 - 3に示す。

最後に、製作した靴型を基に専門の靴職人により婦人靴（プレーンパンプス）の製作を行った。なお靴の製作にあたっては、寸法以外の仕様（デザイン、素材、製造メーカー等）を別途選定した既製靴に合わせた。図3 - 3 - 4に精密な相同モデルを用いて試作した靴を示す。



図3 - 3 - 2 足部の精密な相同モデルを用いた試作靴の靴型データ



図3 - 3 - 3 靴型（試作靴）



図3 - 3 - 4 試作靴

3.3.2 カスタムメイド靴・既製靴

精密な相同モデルを用いた試作靴の比較対象として、被験者の足部の採寸データに合った既製靴（JIS規格品）を選定するとともに、専門の靴職人によるカスタムメイド靴の製作を行った。

（1）既製靴（JIS規格品）の選定手順

足部の精密な相同モデルを用いた試作靴と同一の被験者の足部を採寸し、その寸法データ（足長、足囲）を基にJIS規格の靴のサイズ分類を行い、その分類に合致した既製靴を選定した。またデザインは寸法データが忠実に反映されるプレーンパンプスとした。図3 - 3 - 5に選定した既製靴を示す。



図3 - 3 - 5 既製靴

(2) カスタムメイド靴の製作

足部の精密な相同モデルを用いた試作靴と同一の被験者の足部を採寸し、足部の寸法データを基に既存の靴型の中から最も近い靴型を選定して、足部の寸法データに合わせて靴型を改修した。改修した靴型を図3-3-6に示す。この靴型を用いて専門の靴職人により靴を製作した。このとき、寸法以外の仕様（デザイン、素材、靴製作メーカー等）は、選定した既製靴に合わせた。図3-3-7に製作したカスタムメイド靴を示す。



図3-3-6 靴型（カスタムメイド靴）



図3-3-7 カスタムメイド靴

3.4 試作靴の適合評価

3.4.1 靴型サイズ比較

精密な相同モデルを用いた試作靴と、選定した既製靴、カスタムメイド靴の靴型データについて、靴のサイズ分類のために JIS S 5037 で規定されている足長と足囲の長さに関する比較を行った。

(1) 靴型データの足長、足囲定義

靴型データの足長は靴型モデルの爪先から踵部までの長さ、足囲はボウル部の断面の周長とした。図3-3-8に靴型データの足長と足囲を示す。

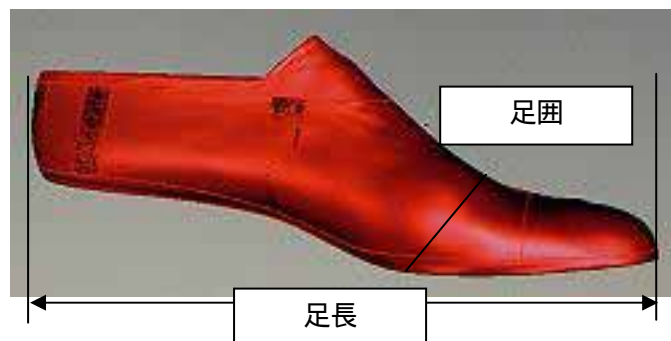


図3-3-8 靴型データの足長と足囲

(2) 靴型データ収集

精密な相同モデルを用いた試作した靴、選定した既製靴、カスタムメイド靴の靴型データの比較を行うために、スキャナを用いてそれぞれの靴型データを収集した。図3-3-9に選定した既製靴の靴型データ、カスタムメイド靴の靴型データを示す。



図3-3-9 靴型データ(既製靴(右) カスタムメイド靴(左))

(3) 靴型データの比較

3種類の靴型データについて、足長と足囲の比較結果を表3-3-1および図3-3-10に示す。比較結果から、足長については3種類とも24.3~24.4mmでありほとんど差がなく、足囲については既製靴とカスタムメイド靴はほとんど差がないが、精密な相同モデルを用いた試作靴は被験者の足部の形状特性が足囲に反映された寸法となっている。

以上の観点から、精密な相同モデルを用いた試作靴は足長、足囲について、既製靴、カスタムメイド靴よりも個人適合性が十分反映されていることが判明した。

表 3 - 3 - 1 靴型データの比較結果

靴の種類	足長(cm)	足囲(cm)
試作靴	24.4	20.8
カスタムメイド靴	24.3	20.2
既成靴	24.4	20.1

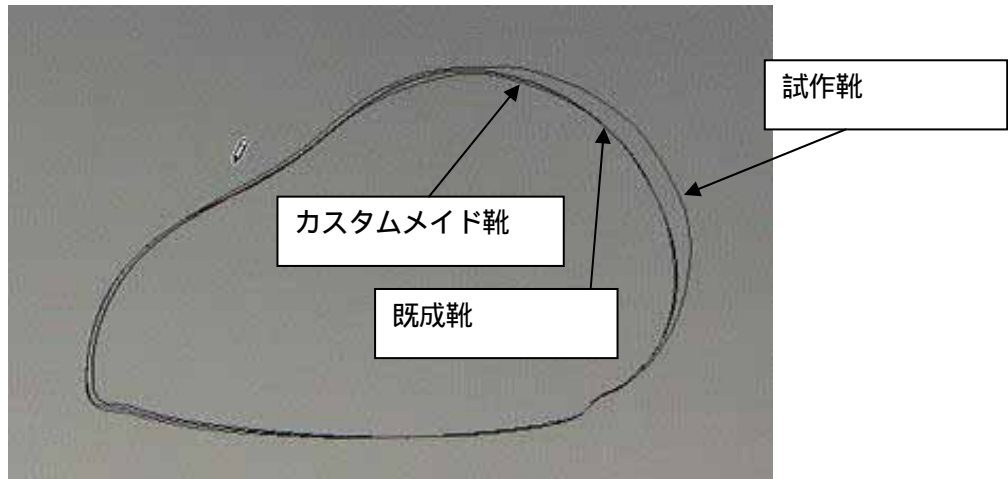


図 3 - 3 - 1 0 3種類の靴型データの足囲の比較断面図

3.4.2 官能評価

精密な相同モデルを用いた試作靴、選定した既製靴、カスタムメイド靴に対して、JIS Z 9080「官能評価分析 方法」で定める2点試験法を用いて官能評価試験を行った。

(1) 評価方法

評価方法は、被験者1名を特定して、精密な相同モデルを用いた試作靴、選定した既製靴、カスタムメイド靴についてJIS Z 9080「官能評価分析 - 方法」で定める2点試験法を用いて行った。「試作靴と既製靴」、「試作靴とカスタムメイド靴」、「既製靴とカスタムメイド靴」の3通りの一対の組合せで、靴の種類は被験者に呈示せず、静止時と歩行時における評価項目を相対評価した。

表 3 - 3 - 2 に官能評価仕様を示す。

表 3 - 3 - 2 官能評価仕様

被験者数	1名
評価対象	靴(3種類)
試験方法	2点試験法
評価仕様	静止時：試作靴と既製靴と試作靴とカスタムメイド靴、既製靴とカスタムメイド靴の一対の組合せについて、相対評価を行う。 歩行時：試作靴とカスタムメイド靴の組合せについて、カスタムメイド靴を基準とした相対評価を行う。

(2) 評価項目

精密な相同モデルを用いた試作靴、選定した既製靴、カスタムメイド靴の履き心地を評価する項

目として、東京都立皮革技術センターでのヒアリング結果、靴職人によるフィッティング作業で実際に確認されている項目等を参考に、評価項目を設定した。表3-3-3に官能評価項目を示す。

表3-3-3 官能評価項目

評価項目
親指の圧迫感
小指の圧迫感
爪先の圧迫感
トップラインの圧迫感
土踏まずと靴底のフィット感
踵と靴のフィット感
足全体と靴のフィット感

(3) 評点

静止時の官能評価の評点は5段階とし、良いにはプラス、悪いにはマイナスの評点とした。静止時の官能評価評点を表3-3-4に示す。また歩行時の官能評価の評点は、2種類のうちのどちらか一方を基準靴として5段階評価とした。歩行時の官能評価評点を表3-3-5に示す。本研究では歩行時の官能評価は試作靴とカスタムメイド靴について行い、基準靴としてカスタムメイド靴を選定した。

表3-3-4 静止時の官能評価評点

評点	内容
2	良
1	やや良
0	普通
-1	やや悪
-2	悪(耐えられない)

表3-3-5 歩行時官能評価評点

評点	内容
2	基準靴と比較して、良
1	基準靴と比較して、やや良
0	基準靴と比較して同等
-1	基準靴と比較してやや悪
-2	基準靴と比較して悪

(4) 評価手順

まず、試験者は3つの組合せからランダムに1つを選択し2種類の靴を被験者に渡す。ここで渡される靴の種類は被験者には明示しない。2種類の靴を渡された被験者は、静止時について履き比べを行い各靴の相対評価を行う。次に、試験者は未実施の組合せから1つをランダムに選択し同様の評価を行う。

全ての組合せの評価を終えると、試験者は3種類の靴の順位付けを行って上位の2種類の靴を、靴の種類を明示せずに被験者に渡す。2種類の靴を渡された被験者は歩行時の履き比べを行い、試験者が指定した靴を基準とした相対評価を行う。最後に3種類の靴について全体評価を行う。

(5) 評価結果

・静止時

表3-3-6に試作靴と既製靴・カスタムメイド靴の官能評価結果を、表3-3-7に既製靴とカスタムメイド靴の官能評価結果を示す。

表 3 - 3 - 6 官能評価結果（試作靴中心）

評価項目	評点結果			
	試作靴	既製靴	試作靴	カスタム靴
親指の圧迫感	-1	-2	2	-1
小指の圧迫感	0	-1	2	1
爪先の圧迫感	0	-1	2	0
トップラインの圧迫感	0	0	0	0
土踏まずと靴底のフィット感	0	0	0	0
踵と靴のフィット感	1	0	1	1
足全体と靴のフィット感	1	0	1	0
評点合計	1	-4	8	1

表 3 - 3 - 7 官能評価結果（既製靴、カスタムメイド靴）

評価項目	評点結果	
	既製靴	カスタム靴
親指の圧迫感	-2	-1
小指の圧迫感	-1	2
爪先の圧迫感	-1	0
トップラインの圧迫感	0	0
土踏まずと靴底のフィット感	2	0
踵と靴のフィット感	2	1
足全体と靴のフィット感	2	0
評点合計	1	2

評価の結果、静止時の3種類の履き心地は評価の高い順に、試作靴、カスタムメイド靴、既製靴となった。

・歩行時

静止時の官能評価試験結果を受けて、歩行時の相対評価を行った。表3 - 3 - 8に結果を示す。

歩行時の評価結果は、静止時とは異なりカスタムメイド靴が試作靴よりも履き心地が良いという結果となった。評点結果から、五つの項目について試作靴の評価が劣っていることが分かる。その要因は、試作靴は足に対する靴の“締め付け”がゆるいため歩行時では靴内で足が前にずれ、爪先の圧迫感が増して踵のフィット感が薄れたことによると考えられる。

表 3 - 3 - 8 官能評価結果（歩行時）

評価項目	評点結果
	試作靴
親指の圧迫感	-1
小指の圧迫感	-1
爪先の圧迫感	-1
トップラインの圧迫感	0
土踏まずと靴底のフィット感	1
踵と靴のフィット感	-1
足全体と靴のフィット感	-1
評点合計	-4

(6) 官能評価結果の考察

試作靴、既製靴、カスタムメイド靴について官能評価を行った結果、静止時では評点の高い順に試作靴、カスタムメイド靴、既製靴となり、歩行時では逆にカスタムメイド靴が試作靴を上回った。これは足に対する試作靴の“締め付け”がゆるく、歩行時に靴内の足の位置が前方にずれることが原因であると考えられる。足部の精密な相同モデルと FFD 法を用いて製作した靴は一定水準以上の履き心地を確保する一方で、歩行時等で足が変形する場合の履き心地には改善の余地を残す結果となった。

以上を総括して、精密な相同モデルを用いて試作した靴は、歩行時の履き心地という面ではカスタムメイド靴にやや及ばないが、既製靴と比べて履き心地には格段に優れていることが実証できた。これは精密な相同モデルを適用する製品設計が一定水準を超える品質を確保できる可能性を示唆するものである。また、歩行時の履き心地を改善するためには“動的で精密な相同モデル”の開発が必要となり、これは今後の課題といえる。

3.5 まとめ

消費者個々人の人体形状に応じたサービス・製品を即時に提供する「オンデマンドサービス・製造技術」のコア技術として位置づけられている精密な相同モデルの製品設計への適用の有意性・有効性を評価するために、精密な相同モデリング技術と現状オンデマンドサービス・製造技術の製品設計工程で主に用いられている CAD/CAM とのインタフェースの適合性に関する調査を行った。また、精密な相同モデルの有用性を評価するために、相同モデルを用いて婦人靴の試作を行い既存技術(既成靴、カスタムメイド靴)との比較を行った。

その結果、足部の精密な相同モデルについては、FFD 法を用いることで既存の CAD / CAM とのインタフェースに対して親和性を確保でき、足の計測から靴型、靴の設計、アップパーツの裁断までの一連の工程の効率化に貢献することが判明した。また精密な相同モデルを用いて試作した靴は、歩行時の履き心地という面ではカスタムメイド靴にやや及ばないが、既製靴と比べて履き心地には格段に優れていることが実証できた。

これらの結果から、精密な相同モデルを適用するオンデマンド製品の設計は、高い個人適合性を担保することができ、一定水準を超える品質を確保できるという可能性を示唆している。

第4章 スタディの今後の課題及び展望

オンデマンドサービス・製造ビジネスを具現化するための基盤技術として、さまざまな市販人体形状計測装置で取得した点群データ・ランドマークデータを、精密な人体相同モデルとして記述するための技術を開発した。この精密相同モデルを用いて、採寸と形状統計処理が実現できることを示した。また、足部の精密相同モデルをベースに試作靴を開発し、試履試験を行った結果、人体表面形状モデルの個人差を考慮するだけで、フィット性が向上することが確認できた。本章では、この開発成果に基づき、残された技術課題とその解決の見通し、ならびに、本スタディの成果の波及効果と展望について述べる。

4.1. 残された技術課題

残された技術課題には2つのものがある。第一は本スタディの成果が実用レベルに達するまでの技術課題であり、第二は本研究で目標に掲げた「オンデマンドサービス・製造ビジネス」の具現化に至るまでの残された技術課題である。

第一について残された技術課題は、処理の効率化・自動化である。本スタディでは技術的な実現性を確認することが中心であったため、一部の処理には手動作業工程が残されており、効率的なデータ処理が実現できているわけではない。特に、Generic Modelの姿勢を変形する処理については、汎用コンピュータグラフィクスソフトウェア“Maya”を利用しており、手間とコストの低減の点からも、この姿勢変形の部分の自動化が求められる。技術的には、対応するランドマークの距離の総和を最小化するように、内部リンクの関節角度を最適化するものであり、“Maya”で行った処理を自動化するに過ぎない。技術的な実証は完了しているので、この部分をソフトウェアとして実装していくことになる。また、この処理工程以外にも、体形によっては自動処理がうまくできないなどの問題が生じる可能性がある。本スタディのサンプルデータ1000体の処理では見いだせなかった問題を、今後、(社)人間生活工学研究センターなどの有する大量の人体形状データ(数千体以上)に適用しながら発見し、解決を進めていく必要がある。

第二については、本スタディのみですべてが解決されるわけではなく、簡便で低価格・省スペースの形状計測装置の開発、個人情報保護に配慮した人体形状データベースの開発、人体形状モデルに応じた適合製品設計技術・製品推奨技術の開発などを並行して進めていく必要がある。特に、本スタディに関わる部分としては、人体形状データベースにおける人体形状データ記述形式の標準獲得がある。データの記述形式に関して、国際的なコンセンサスを取りデジュール標準を獲得することはきわめて難しいことから、フォーラム標準、あるいは、事実上標準の獲得に向けて戦略的な活動を行うことになる。具体的には、第一の課題に挙げた効率化・自動化を進めて、本研究で開発した技術をソフトウェアとして製品化するとともに、国内外の人体形状データベースを処理して、統計処理可能な精密相同モデルデータベースを構築する活動を進める。海外データベース管理機関への売り込み、ビジネスモデルの構築、データ利用契約などを行政・研究機関、産業界とが連携し、戦略的に推進する必要がある。

4.2. 波及効果と展望

本スタディの成果は、第一には人体形状データベースの統計処理サービスビジネスに展開できる。人体寸法データに比べ、3次元人体形状データの利用が進まないのは、統計処理・代表化の技術が確立していないことによる。すなわち、身長であれば非常に簡単に平均値や標準偏差を取得できるのに対し、全身形状の平均値や分布の周辺に位置するはずの仮想形状を計算することが難しいと考えられてきた。本研究で開発した精密相同モデリング技術は、これを解決するもので、人体寸法の多次元統計量などで目的に応じたグループを構成できれば、そのグループの3次元人体形状データの分布図、平均形状、分布図上の任意の位置の仮想形状を合成でき、さらに、分布状況からその代表形状を持ちうる人数構成比を推測できる。この技術によれば、従来、個別データを提供するしかなかった人体形状データベースのサービスにおいて、はじめて、統計処理サービスを実現できる。これは、世界的にも希有なサービスであり、産業上のインパクトは大きいと考えている。

第二の技術展開は、人体形状統計情報に基づく新しい人体計測技術の開発である。人体形状は数百万点からなる体表面の点群データとして計測されているが、その個人差を精密相同モデルによって主成分分析すると、独立した形状特徴軸（主成分）は多くとも100次元程度になる。すなわち、個人の体形データを表現するには数百万点の情報ではなく、100程度の形状特徴量（主成分）があればよいということになる。そこで、レーザースキャンなどで数百万点のデータを計測するのではなく、Generic Modelを100次元の形状特徴軸に基づいて変形し、撮影した画像にフィットするようなモデルを探索するという新しい計測方法が考え得る。Model-based Visionをさらに進めたHuman-statistics-based Visionと呼ぶべき方法論である。したがって、人体形状データベースが本スタディの技術に基づいて精密相同モデル化されれば、その主成分分析結果を使い、より簡便で低価格の人体形状計測装置が開発できることになる。たとえば、レーザースキャンを用いずに、多視点の画像情報から輪郭線や特徴点を抽出して、Generic Modelをその画像特徴にフィットするように変形させて形状復元する装置が考えられる。これは、「Body Scanner」ではなく「Body Capture」とも呼ぶべきもので、大幅な計測時間の短縮とコストの低減が期待できる。カメラのキャリブレーション技術さえ確立できれば、たとえば、携帯電話で体形のデジタル画像を多方向から撮影し、それからテクスチャ付きの3次元体形情報を復元できる。このような計測技術のイノベーションは、4.1で述べた「オンデマンドサービス・製造ビジネス」の実現にも大きく寄与することになる。

おわりに

平成14年度に実施した「オンデマンドサービス・製造技術に関する調査研究」の次フェーズとして、消費者個人個人の人体形状に応じたサービス・製品を即時に提供する、機械システムを中心とした「オンデマンドサービス・製造技術」のコア技術であり、システムである「精密な人体形状相同モデル化システム」を開発することを目的として、また同システムから生成されるデジタルモデルの製品設計への適用の有為性・有効性を評価することを目的として、本スタディを実施した。

本スタディの中では、数百ポリゴンからなる全身のGeneric Model（標準的な人体モデル）を定義し、またその頂点に百点程度のランドマーク（解剖学的特徴点）を定義し、個別に計測された被験者個人の数百万点からなる詳細な3次元人体形状データ（点群データ）とランドマークに、そのGeneric Modelのポリゴンを分割しながらフィットさせていく「細分割曲面に基づく精密な相同モデリング技術」を開発した。この精緻化技術は、一体構造として扱える足部については既に開発済みであったが、上肢、下肢という分岐のある全身については、被験者データ毎の上肢・下肢の開き角度の違いや分岐部分での表面曲率の不連続性と計測データの誤認識という困難への対応という技術的課題があった。ここでは、それを姿勢変形と形状変形との2段階に分けてフィッティングを行うことでその技術的課題を克服した。

本手法で用いる入力データは、点群データ（数百万点のX,Y,Z座標の羅列）と、ランドマークデータ（X, Y, Z座標, ランドマーク名称）のみであるので、本手法は、特定の人体形状計測装置に依存することなく汎用的に利用できるものとなった。また精緻化されたモデルは、精密さと相同性を兼ね備えているため、計測した生データを用いることなく、相同モデルから直接採寸したり、そのまま3次元形状統計処理を行うことが可能となった。すなわち、本スタディによって、開発された精密な人体相同モデル化技術は、どのような人体形状計測装置についても適用可能な「標準人体形状データ記述形式」となりうるという大きな展望と成果を得た。

また本スタディでは、このようにして得られた精密人体相同デジタルモデルが、製品設計においても有効な情報であることを確認するため、足部の精密相同デジタルモデルを用いた適合靴の試作と試履試験を行い、体表面形状の個人差を考慮するだけでもフィット性は大幅に向上しうることを示した。

以上のとおり、本スタディによってオンデマンドサービス・製造の世界の実現に向かって大きく前進することができたことを喜びたい。

- 禁無断転載 -

システム開発 17 - F - 13

精密な人体形状相同モデル化システムの開発と製品設計への適用に関する
フィージビリティスタディ報告書

- 要旨 -

発行 平成18年3月

発行者 財団法人 機械システム振興協会

〒108-0073 東京都港区三田一丁目4番28号

電 話 03 - 3454 - 1311

社団法人 人間生活工学研究センター

〒541-0047 大阪市中央区淡路町三丁目3番7号

電 話 06 - 6221 - 1651

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ上記にご連絡ください。