平成１１年度
新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書

新規産業育成即効型国際標準開発事業
身体形態特性データの計測・
データベース化手法に係る標準化

平成１２年３月

社団法人　人間生活工学研究センター

平成11年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書
新規産業育成即効型国際標準開発事業
開発項目「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」

要約
本事業の目的は、人体三次元計測手法に係る研究、計測結果を記述する手法に係る研究、計測されたデータをデータベース化する手法及び統計処理する手法に係る研究を行い、これらの成果を基に人体三次元形状データに関する国際標準規格を創出することにある。

本事業を進めていく途上において、この分野における海外の状況を調査した結果、人体三次元形状処理手法に関する研究はすべて研究途上にあり、それぞれの研究機関が独自の手法で研究を進めていることが分かった。これらについて世界的にコンセンサスを得ることは現在のところ不可能であり、また手法の標準化は独創性の発揮を阻害する。従って形状データ処理手法に関する標準化については本事業の目標からは外すことにした。そのため本事業で標準化提案する規格は人体三次元形状データの記述方法に関する研究の結果得られる形状データのデータフォーマットを核とし、製品設計・空間設計に必要な人体寸法データ、特徴点データ、画像データ等をすべて格納可能となる三次元人体計測データ・ファイルフォーマットとした。なおこの規格は国際標準化するには時期尚早であるという理由から技術報告書としての提案を予定している。

重要語
人体計測、三次元計測、国際標準規格、ファイルフォーマット、寸法データ、形状データ、特徴点データ、画像データ

SUMMARY

The purpose of the present project is to conduct studies on three-dimensional human body measurement; the method of describing measurement results; the method of developing a database using measurement data; and the method of statistical data processing. Results of these studies are to be used to establish an international standard on three-dimensional human shape data.

In the course of the project, the state of relevant studies conducted outside Japan was investigated. As a result, it has been found that studies on the method of processing three-dimensional human body shape data are being promoted independently by different research institutes. At present, it is impossible to build up a consensus on the method among these institutes. Additionally, standardizing the method may stifle the creativity of researchers. We have therefore decided to exclude the standardization of body shape data processing method from the scope of the project.

Our conclusion is that the standard proposed in the project should be based on the human body shape data format, obtained through a study on the method of describing three-dimensional body shape data. And it should provide for a data format for three-dimensional human body measurement, which can store all data required for product or space design (e.g. data on human body sizes, landmarks and texture). According to our plan, this standard will be proposed in the form of a technical report, since it is yet too early to set out establishing the standard as an international standard.

KEYWORD
Anthropometry, Three-dimensional Measurement, International Standard,
File Format, Size Data, Shape Data, Landmark Data, Texture Data

目次

1. 研究概略 ---- 1
1.1 はじめに ---- 2
1.2 業務実施計画 ---- 4
1.2.1 研究開発の目的 ---- 4
1.2.2 実施計画の細目 ---- 4
1.2.3 実施計画日程 ---- 10
1.3 研究体制 ---- 11
1.3.1 研究組織及び管理体制 ---- 11
1.3.2 研究者氏名及び人員 ---- 12
1.3.3 業務管理者の所属氏名 ---- 14
1.4 設置委員会 ---- 15

2. 形状データを寸法データで表現する方法の研究開発 ---- 17
2.1 形態を表現する主要人体寸法を得る方法 ---- 18
2.1.1 人体3次元形態分布を取得する方法の開発 ---- 18
2.1.2 人体3次元形態分布を取得する方法の応用例 ---- 34
2.1.3 形態分布軸を表現する人体寸法を選定する方法の開発 ---- 36
2.1.4 製品設計を考慮した分析 ---- 38
2.2 主要人体寸法と三次元形態を関連づける方法 ---- 39
2.2.1 重回帰分析による推定 ---- 39
2.2.2 項目の選定 ---- 40
2.2.3 推定式 ---- 44

3. 形状データの記述方法に関する研究開発 ---- 46
3.1 人体形状データ記述の背景 ---- 47
3.2 体形状記述方法の検討 ---- 49
3.2.1 人体表面形状の再構成 ---- 49
3.2.2 円筒射影とドロネー網を用いたポリゴンメッシュの構成法 ---- 53
3.2.3 円筒射影の人体への適用 ---- 61
3.2.4 シミュレーション実験による検証 ---- 66
3.3 体の座標軸の決定と分割方法 ---- 76
3.3.1 座標軸の設定 ---- 76
3.3.2 プレモデリングインタフェース ---- 76
3.3.3 画面表示サンプル ---- 83

3.4　形状データの記述方法 ---------- 86
3.4.1　形状データ記述の概要 ---------- 86
3.4.2　ファイルフォーマットの大まかな仕様 ---------- 86
3.4.3　提案フォーマットの特徴 ---------- 89
3.4.4　提案フォーマットの仕様 ---------- 93

4.　人体形状データベースの構築手法の研究開発 ---------- 102
4.1　人体形状データに係わる国内外における活用状況に関する調査 --------- 103
4.2　数値表現形状データの階層構造化モデル ---------- 105
4.3　階層構造モデルに従った、具体的データベースの構築 ---------- 106
4.3.1　属性データ項目 ---------- 106
4.3.2　寸法データ項目 ---------- 106
4.3.3　形状データ ---------- 108
4.3.4　特徴点データ ---------- 108
4.3.5　画像データ ---------- 108
4.4　人体形状データベースに必要な諸機能の実現法 ---------- 109
4.4.1　検索機能 ---------- 109
4.4.2　寸法データに体する統計処理機能 ---------- 109
4.4.3　形状データに対する統計処理機能 ---------- 110
4.5　国際標準としての提案を検討するため、諸外国における人間の形態データ計測実体の把握と標準化動向の把握 ---------- 110

5.　人体計測における不確かさの評価に関する研究開発 ---------- 111
5.1　人体の形状測定実験 ---------- 112
5.1.1　測定実験方法と原理 ---------- 112
5.1.2　測定の不確かさの検討 ---------- 118
5.1.3　まとめ ---------- 127
5.2　体動揺の計測 ---------- 129
5.2.1　体動揺の計測 ---------- 129
5.2.2　体動揺の 1/f ゆらぎによるモデル化 ---------- 135
5.2.3　体動揺の形状測定への影響 ---------- 139
5.2.4　まとめ ---------- 143
5.3　人体の形状測定方法への提言 ---------- 145
5.3.1　高速な人体形状測定方法 ---------- 145
5.3.2　体動揺の抑制方法 ---------- 149
5.3.3　トレーサビリティの確保 ---------- 149

5.3.4 不確かさ評価方法のまとめ ---------- 151
5.3.5 国際規格における不確かさの導入 ---------- 152
5.4 結論 ---------- 154

6. 今後に向けて ---------- 155
6.1 研究成果概略 ---------- 156
6.1.1 形状を寸法データで表現する方法の研究開発 ---------- 156
6.1.2 形状データの記述手法に関する研究開発 ---------- 156
6.1.3 人体形状データベースの構築手法の研究開発 ---------- 156
6.1.4 人体計測における不確かさの評価に関する研究開発 ---------- 156
6.2 国際標準化への問題点 ---------- 156
6.3 国際標準化へのアプローチ ---------- 157
6.3.1 国際規格骨子作成並びに国際標準化活動計画立案 ---------- 157
6.3.2 国際標準化の進捗状況 ---------- 157
6.4 最後に ---------- 157
6.5 参考文献 ---------- 158

付録1 技術委員会議事録 ---------- 159
付録2 調査委員会議事録 ---------- 193
付録3 海外調査報告 ---------- 212
付録4 国際標準化に向けた人体三次元形状データ活用に関する実体調査報告 241
付録5 ISO Technical Report Draft (案) ---------- 294

1．　研究概略

１．１　はじめに

人にとって使いやすい製品の設計、人間中心設計には基本的な要素として人体寸法が欠かせない。近年、人体寸法計測において、時間の短縮化及び測定の簡略化などの理由から三次元スキャナーによる寸法計測が行われるようになってきた。実際日本においては（社）人間生活工学研究センター（以下 HQL と記す）が 1992 から 1994 年にかけて行った人体計測データベース構築のための寸法計測において非接触三次元スキャナーを用いた計測を行っている。この時点における三次元人体計測は単なる寸法計測の迅速化が主な目的であった。これまで様々な製品設計や空間設計において人間工学的視点を投入した安心・安全で使いやすい製品開発のために人体寸法が活用されてきた。これに加え最近ではコンピュータによる三次元設計が普及してきたこともあり、人体の形状データを三次元のまま直接、製品設計に活用できる環境が整備されてきている。そのため HQL においても寸法データだけでなく、三次元の形状データ提供に関する要求が増加しつつある。このような背景から今後、世界において人体の三次元形状計測を含む大規模な人体計測測定が行われることが予想される。そして現在、アメリカ・イタリア・オランダでは CAESAR（Civilian American and European Surface Anthropometry Resource）-Project という三次元形状計測を含む人体計測が総計１万人規模で実施されている。

人体三次元形状データを製品設計・空間設計等に応用してゆく場合には、形状データの様々な加工処理が必要である。しかし、この処理には多くの場合、人体寸法データや特徴点座標データ、あるいはテクスチャー画像データなどを必要とする場合が多い。しかし現在、これらのデータは個々のユーザーがそれぞれの目的に応じ、別々のデータとして様々なフォーマットで使用されている。今後インターネットを利用した電子商取引などにより、国境を超えた経済行為が拡大すると、自国以外の様々な国における人体形状の把握が人間工学的視点に立った製品設計において重要さを増してくると思われる。それに伴い国際間において人体形状データのデータ交換を始めとする、計測データの流通が加速度的に増大すると予想される。現在、ISO 及び CEN において、人間の形態特性に関する規格として、「設計のための基本人体寸法計測法」(ISO-7250)が正式規格として制定され、また「人体寸法データベースの構成要素」（WD-15535）及び「製品等評価のための人体寸法的視点からの被験者選定法」（NP-15537）が新規規格として提案されている。しかし、人体の三次元形状データに関する規格は現在のところ未だ検討されていない。本事業の目的は、人体三次元計測手法に係る研究、計測結果を記述する手法に係る研究、計測されたデータをデータベース化する手法及び統計処理する手法に係る研究を行い、これらの成果を基に人体三次元形状データに関する国際標準規格を創出することにあった。

しかし、本事業を進めていく途上において、この分野における海外の状況を調査してみると、人体三次元形状処理手法に関する研究はすべて研究途上にあり、それぞれの研究機関が独自の手法で研究を進めているのが現状である。これらについて世界的にコンセンサ

スを得ることは現在のところ不可能であり、また手法の標準化は独創性の発揮を阻害する。従って形状データ処理手法に関する標準化については本事業の目標からは外すことにした。そのため本事業で標準化提案する規格は人体三次元形状データの記述方法に関する研究の結果得られる形状データのデータフォーマットを核とし、製品設計・空間設計に必要な人体寸法データ、特徴点データ、画像データ等をすべて格納可能となる三次元人体計測データ・ファイルフォーマットであるとの結論に達した。なおこの規格は国際標準化するには時期尚早であるという理由から技術報告書としての提案を予定している。

１．２　業務実施計画

１．２．１　研究開発の目的

現在、ISO 及び CEN において、人間の形態特性に関する規格として、「設計のための基本人体寸法計測法」(ISO-7250)が正式規格として制定され、また「人体寸法データベースの構成要素」(NP-15535) 及び「製品等評価のための人体寸法的視点からの被験者選定法」(NP-15537) が新規規格として提案されている。

これらはいずれも人体の「寸法」に係る規格であるが、今後は人体の「形状」データについての国際規格化が進むと見られ、米国を中心として計画されている CAESAR 計画 (Civilian American and European Surface Anthropometry Resource Project；1 万人規模の欧米人の人体形状データの計測とデータベース化プロジェクト) はその先駆けとなるものである。「人体形状」は、国籍、民族などにより微妙に異なり、人種依存性が高く、欧米人を中心とした規格化がなされると、それがアジア人種に適用できる保証はない。こうした状況の中で我が国から人体形状データベースの構成法に関する提案を行うことは、このような国際的な流れの中で我が国がイニシアティブを取り、国際規格制定に積極的に貢献することから、極めて重要である。

人体形状は一般に画像データとして表されるが、このままではデータの比較、分布把握などの面で取り扱いが極めて困難である。そこで本事業は、これらの問題を解決し、その結果を国際標準化へ繋げていくための研究開発を実施するものである。

１．２．２　実施計画の細目

（１） 研究実施事項（手法・手段）

①形状を寸法データで表現する方法の研究開発　　（通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所（以下、「生命研」という。）との共同研究）

ここでは、人体形状を表現するための主要身体寸法を得る方法論の開発、及び、主要身体寸法から人体の三次元形状を再構成する方法論の開発を行う。なお、この研究には新たに 3 次元形状処理ソフトを必要とする。

①－１、形態を表現する主要身体寸法を得る方法

ａ．三次元形態の相互類似性に基づいて身体形態分布を取得する方法の開発

ｂ．身体形態分布軸を表現する身体寸法を選定する方法の開発

ｃ．胴体部形態を例に、三次元形態分布を取得し、それを表現する主要身体寸法を取得

ｄ．製品設計応用を考慮して身体寸法項目を追加

e．選定された身体寸法の相互の統計的関係を検討

三次元の形態を寸法で表現するには、「三次元形態の特徴がどの寸法に現れているか」ということと「設計にはどの寸法が必要か」という点を考慮して寸法項目を選び出す方法が有効であろう。三次元形態の特徴が、どの寸法に現れているかは、従来のような寸法に基づく主成分分析では十分な結果が得られない。そこで、河内らが提案している三次元形状モデルと Free Form Deformation 法に基づく形態間距離（形態間相互の類似性評価指標）を利用して三次元身体形態の分布構造を取得し、その分布軸を意味する身体寸法を探し出す方法論を開発する。その実証例として、実際に１００例程度の胴体部三次元形状データをモデリングし、その三次元形態分布構造とその分布軸を表現する主要身体寸法項目を取得する。これに、アパレル応用を念頭に置いた場合の設計に必要な寸法を加え、それらの寸法相互の統計的関係を検討する。

①－２、 主要身体寸法から三次元形態を再構成する方法

a．身体形態分布に基づいて体型を類型化する（＝体型バリエーションモデルを構築する）方法の開発

b．体型バリエーションモデルの変形技術の開発

c．主要身体寸法をパラメータとして、体型バリエーションモデルを変形する方法論の開発

d．胴体部モデルを例に、体型バリエーションモデルの構築

身体寸法から、単純な関係式で三次元形状を再構築することは不可能に近い。そこで、体型のバリエーションを表す三次元ポリゴンモデル（体型バリエーションモデル）を構築し、この体型バリエーションモデルに関係づけられた寸法と、実際に身体寸法の差に応じて体型バリエーションモデルを変形し、身体寸法に応じた個別三次元形態を再構成することを考える。そのため、まず体型バリエーションモデルを構築する必要がある。このために、①－１で得られた形態分布構造に基づいて、体型の分布特徴をよく表す体型（たとえば、太り、やせ、筋肉質など）を合理的に選定し、その体型モデルを得る方法論を開発する。併せて、体型バリエーションモデル（三次元ポリゴンモデル）を変形操作する技術を開発する。これは、三次元ポリゴンだけでなく、NURBS 曲面などにも応用可能な技術を目指す。ついで、①－１で選定した身体主要寸法に応じて、体型バリエーションモデルを変形する方法論を開発し、応用例として胴体部三次元形態について、体型バリエーションモデルを実際に構築するところまでを目標とする。

②形状データの数値表現を基礎とした類型化に関する研究　（京都大学総合情報メディアセンター（以下、「京大」という。）との共同研究）

ここでは、人体の部分形状を直接数値表現化する手法を開発するとともに、その部分形状のつながりとして全身像を表現するモデル化手法を開発する。この手法に関しては京大が独自のノウハウを有しており、これを取り込むことで研究の質的向上を目指す。なおこの研究には専用のハードウェアが必要となる。

②－１、人体の分割とその再構成モデル
人体部位形状の数値表現化に必要な、人体部位の分割法に係る手法の開発。この際、将来の応用を考慮し、分割部位の再構成を視野に取り込んだ形での分割法を検討する。

②-2、各部位の数値表現の方法
分割された人体部位形状を数値表現するための手法の開発を行う。部位形状の数値モデル化に際しては、Heat Flow モデルを利用し、表面形状曲面の曲率を特徴量としたモデル化手法を検討する。

②-3、各部位相互の接続に係る記述手法
分割された部位形状を接続・再構成して全身像を生成する手法の開発。ここでは、人体標準モデルを用い、部分形状の集合から全身像を構成する。なお、人体標準モデルに人体の制約を記述することにより、計測データの欠落部分についても個人形状を推定できる手法を開発する。

②-4、数値表現を基礎とした体型の類型化
再構成された全身 3 次元形状を類型化していくために、それら形状の比較の基準としての類似度尺度が必要となってくる。そこで 2 つの 3 次元形状が与えられたとき、それらの間の点の対応づけを得る方法の開発し、それを元に全身 3 次元形状の類似度尺度の定義を行う。

③　人体形状データベースの構築手法の研究開発

ここでは、本研究開発にに必要となる内外情報の収集・分析及び、データベースの主たる利用者である産業界のニーズに関する調査を行うとともに、HQL が保有する、３万４千人の身体寸法データと身体形状データ具体例として、上記①、②で開発された手法による人体形状の数値表現化を試み、この数値表現された人体形状のデータベース化手法の開発を

行う。

③-1、数値表現形状データの階層構造化モデル
身体形状データベースシステム構築へ向けての初期段階として、数値表現された形状データに対し産業界の様々な活用目的に対応できるよう分類・階層化する研究を行い、今後のコンサルティング業務に充分耐えうる階層構造化モデルを構築する。

③-2、階層構造モデルに従った、具体的データベースの構築
③-1で構築された階層構造モデルに従い、身体寸法データと身体形状データがリンクし立体的な活用が可能な身体形状データベースシステムのシステム設計を行う。その成果を外注し新たなソフトを開発する。一方、新たにデータベースシステムを導入し開発されたソフトを稼動、研究成果の検証を行う。

③-3、人体形状データベースシステムに必要な諸機能の実現法
現在稼動中の身体寸法データベースを参考にし、産業界のニーズに応じた様々の数値表現形状データの統計処理操作に関する検討を行い、それぞれについてその機能の実現法を探り、前述の開発ソフトに組み込んでいく。

③-4、人体形状データに係る国内外における活用状況に関する調査
身体形状データベースに要求される産業界のニーズを把握するために調査委員会を組織し、その活用実態を調査すると共に、シンクタンク等に中小企業を中心とした活用実態や海外における状況調査を外注する。また、形態計測技術及びデータ活用の第一人者であるラフボロー大学のピーター・ジョーンズ名誉教授を招聘し、当委員会の委員や産業界の人間工学関係者との意見交換の場を持つ。

③-5、国際標準としての提案を検討するため、諸外国（欧米、アジア）における人間の形態データ計測実態の把握と標準化動向の把握
アメリカ、オランダ、イタリアが実施する1万5千人規模の3次元形状データを含む人体計測を行うCAESAR計画の実態調査を行う。
世界各国の人体計測データを収集し、それを元にコンサルティングを行っているフランスパリ大学中にあるLAA（人体計測応用研究所：ＨＱＬと国際協力プロジェクト進行中）の実態調査を行う。
上記以外に進行している計測計画についての調査を行う。
これらの調査はシンクタンクへの外注以外に関係担当者が関連施設の視察を行う。

④人体計測における不確かさの評価に関する研究開発（東京大学工学系研究科（以下「東大」という。）への再委託研究）

ここでは形態計測だけでなく寸法計測も含めた人体計測手法の検討を行う。特に、測定の不確かさの評価に関しては、人体計測特有の条件である測定対象の問題と、測定者を含めた測定手順の問題について検討し、標準化を行う場合に問題となる事項の整理を行う。次に新しい手法として、CT 装置を利用する方法、機械的な三次元測定機を使用する方法、画像計測技術を利用する方法などの手法のうち、いくつかを実際に人体を対象として行い、従来手法との比較などを行う。また、いくつかの手法を評価して、測定の不確かさの評価手法を確立する。

（2）国際標準化への展開方法

① 国際規格の現状

現在、ISO TC159/SC3 において、人間の形態特性に関する規格として、「設計のための基本人体寸法計測法」(ISO-7250)が正式規格として制定され、また「人体寸法データベースの構成要素」(NP-15535) 及び「製品等評価のための人体寸法的視点からの被験者選定法」(NP-15537) が新規規格として提案されている。NP-15537 は人体寸法データの統計量を基本とし、形態的側面からのモノの適合性評価を行う際の適切な被験者群の選定法についての規定である。ここでは 主に、寸法データに基づくパーセンタイル値を基本とした被験者選定手法の規格化を提案しているが、人体形状は多次元の寸法データデータで表現する必要がある（例えば洋服等のサイズ表現には身長、胸囲、ウェスト囲、胴囲などの組み合わせで規定)。これをパーセンタイル値など 1 次元の統計量で特定することは困難であり、新たな定量的形態表現法（形状を 1 次限的数値で扱う手法）の確立が必要とされている。

②本研究開発における国際規格の内容

上に述べたように、NP-15537 は単にパーセンタイル値を基本とした被験者選定を提案しているが、その実行のためには本事業が目指す形状数値表現手法が不可欠となる。特に、世界的な流れである、モノ作りの現場での人体形態データに関しての寸法データから形状データへのニーズの変化への対応の意味からも本事業での形状数値表現法の確立が必要とされる。

③国際標準化へのアプローチ

人体形状は一般に画像データとして表されるが、この形態ではデータの比較、分布把握などの面で取り扱いが極めて困難で、形状の特性化法の確立が望まれている。本事業では、「人体形状」を「人体寸法データ」から再現するための手法及び、それに基づく「人体形

状データベース」の構成法に係る規格化を目指す。なお、国際標準化に際しては、(財) 日本規格協会と連携をとりつつ実施する。

（3）委託業務実施場所

社団法人 人間生活工学研究センター
大阪府大阪市北区堂島一丁目2番5号　堂北ダイビル3F
TEL： 06－6346－0234　　FAX： 06－6346－0456

京都大学総合情報メディアセンター
京都府京都市左京区吉田本町
TEL： 075－753－5995　　FAX： 075－753－5965

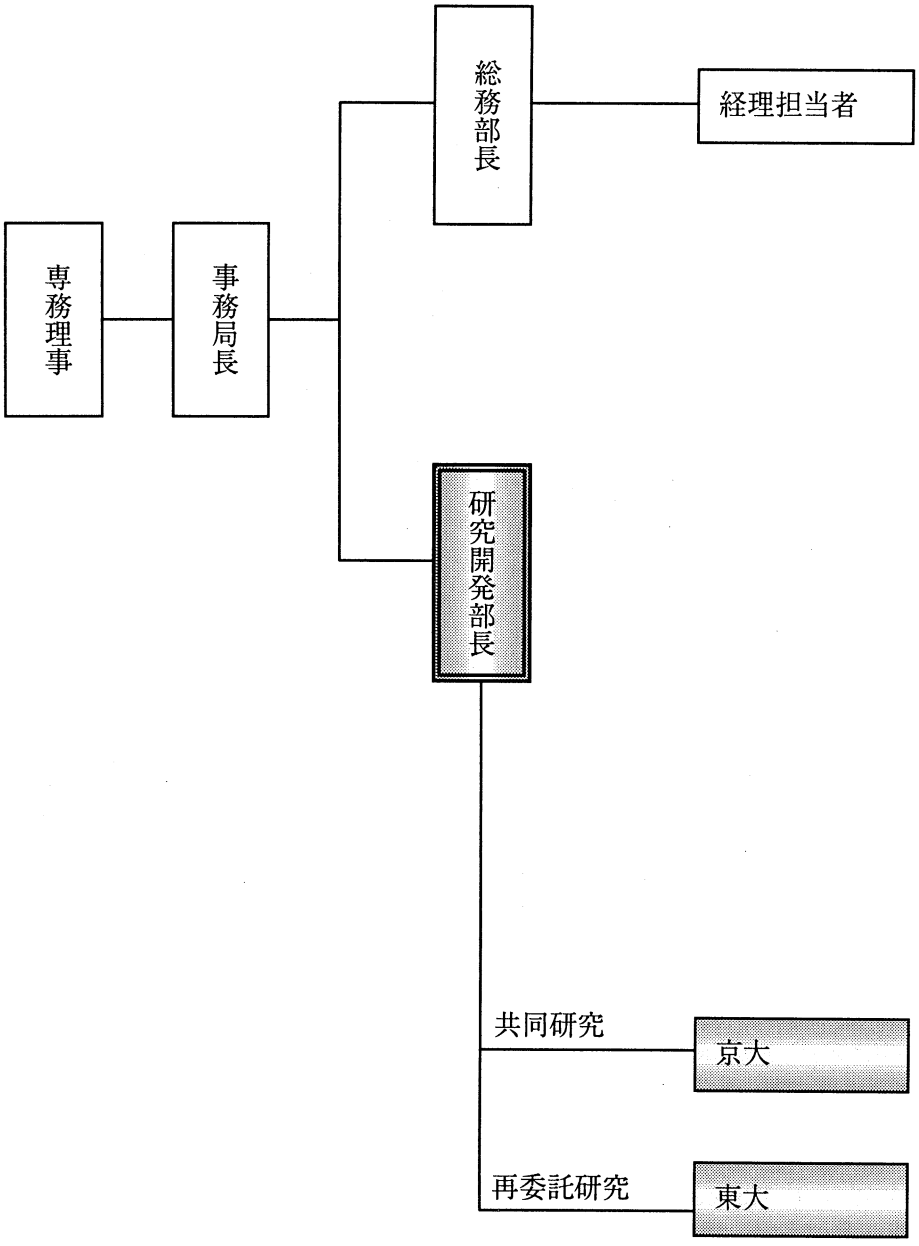
通商産業省 工業技術院 生命工学工業技術研究所
茨城県つくば市東1丁目1番
TEL： 0298－54－6657　　FAX： 0298－54－6770

１．２．３　実施計画日程

研究開発項目	平成11年									平成12年		
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①－1、形態を表現する主要身体寸法を得る方法		→	→	→	→	→						
①－2、主要身体寸法から三次元形態を再構成する方法				→	→	→	→					
②－1、人体の分割とその再構成モデル		→	→	→	→							
②－2、各部位の数値表現の方法			→	→	→	→						
②－3、各部位相互の接続に係る記述手法				→	→	→	→					
②－4、数値表現を基礎とした体型の類型化					→	→	→	→				
③－1、数値表現形状データの階層構造化モデル				→	→	→	→	→				
③－2、階層構造モデルに従った、具体的データベースの構築					→	→	→	→	→	→		
③－3、人体形状データベースシステムに必要な諸機能の実現法				→	→	→	→	→	→			
③－4、人体形状データに係る国内外における活用状況に関する調査			→	→	→	→	→	→				
③－5、国際標準としての提案を検討するため、諸外国（欧米、アジア）における人間の形態データ計測実態の把握と標準化動向の把握		→	→	→	→							
④　人体計測における不確かさの評価に関する研究開発		→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
⑤　国際規格骨子作成並びに国際標準化活動計画立案									→	→	→	→
調査委員会		○					○					○
技術委員会		○		○		○		○		○		○
報告書作成									→	→	→	→

１．３　研究体制

１．３．１　研究組織及び管理体制



１．３．２　研究者氏名及び人員

研究者一覧

氏名	所属・役職（職名）
吉岡 松太郎	社団法人人間生活工学研究センター 研究開発部 部長
大矢 高司	社団法人人間生活工学研究センター 研究開発部 主任研究員
土田 一雄	社団法人人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員
津熊 貴子	社団法人人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員
畠中 順子	社団法人人間生活工学研究センター 研究開発部 研究員

研究者に関する変更内容を以下に示す。

（１）１）変更事項

研究員追加

深澤暢子　　社団法人　人間生活工学研究センター
　　研究開発部　研究員

（１）２）変更理由

津熊研究員が都合により当該事業の担当業務すべてを遂行することが困難となり、その未遂行部分の業務を担当するため。

（１）３）変更が開発研究に及ぼす影響及び効果

なし。

（１）４）変更期日

平成１１年８月３０日

（２）１）変更事項

研究員追加

石山誠一　　社団法人　人間生活工学研究センター
　　研究開発部　研究員

渡辺寿恵　　社団法人　人間生活工学研究センター
　　研究開発部　研究員

（２）２）変更理由
吉岡部長、大矢主任研究員が都合により当該事業の担当業務すべてを遂行することが困難となり、その未遂行部分の業務を石山が担当し、その補助的業務を渡辺が担当するため。
（２）３）変更が開発研究に及ぼす影響及び効果
なし。
（２）４）変更期日
平成１１年１０月１日

（３）１）変更事項
研究員削除
大矢高司　　社団法人　人間生活工学研究センター
　　研究開発部　主任研究員
研究員追加
狩屋嘉弘　　社団法人　人間生活工学研究センター
　　研究開発部　研究企画担当部長
（３）２）変更理由
大矢主任研究員が10月より新たな委託事業を担当することになったため、当該事業の担当業務を遂行することが困難となり、その業務を交代担当するため。
（３）３）変更が開発研究に及ぼす影響及び効果
なし。
（３）４）変更期日
平成１１年１１月１日

１．３．３　業務管理者の所属、氏名

業務管理者　事務局長　　森本 茂男

TEL： 06－6346－0234　　FAX： 06－6346－0456

業務管理者の変更内容を以下に示す。

（１）１）変更事項

業務管理者削除

森本 茂男　社団法人　人間生活工学研究センター
事務局長

業務管理者追加

正木 真一　社団法人　人間生活工学研究センター
事務局長

（１）２）変更理由

社団法人　人間生活工学研究センター事務局長が７月から森本 茂男より正木 真一へと交代したため。

（１）３）変更が開発研究に及ぼす影響及び効果

なし。

（１）４）変更期日

平成１１年７月１日

1．4　設置委員会

本事業に関する総合的な調査を行うための調査委員会と本事業を円滑に推進していく為の技術委員会を設置する。各委員会は下記のメンバーで構成される。

調査委員会

	氏名	所属及び役職
委員長	佐渡山亜兵	信州大学　繊維学部　感性工学科　教授
委員	足立和隆	筑波大学　体育科学系　講師
	恒屋修一	（株）ワコール　人間科学研究所 形態動態研究グループ　副主事
	山西哲司	（株）ヤマニシ（靴型制作）　社長
	青柳孝信	アルケア（株）（補装具）　取締開発部長
	石本明生	積水化学（株）（住宅設備）主席技術員
	松岡敏生	三重県工業技術センタ　製品開発グループ　研究員
	茶屋原義樹	通商産業省　製品評価技術センター　近畿支所長
	河内まき子	通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所 室長
	美濃導彦	京都大学　総合情報メディアセンター　教授
	高増　潔	東京大学　工学系研究科　助教授
	持丸正明	通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所 主任研究官
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ	森田健太郎	通商産業省　生活産業局　生活文化産業企画官付 企画班長
	荻山久雄	新エネルギー・産業技術総合開発機構　基盤技術研究開発室長
	山村修蔵	日本規格協会　技術部 部長
事務局	吉岡松太郎	（社）人間生活工学研究センター　研究開発部　部長
	土田一雄	（社）人間生活工学研究センター　研究開発部　課長
	津熊貴子	（社）人間生活工学研究センター　研究開発部

調査委員会は人体形状データ計測及びその活用に関する国内外の状況を調査・把握分析すると共に、この研究開発の進捗状況をチェック・評価し、最終結果を国際標準化へスムーズに繋げていくための検討を行う。

技術委員会

	氏名	所属及び役職
委員長	河内まき子	通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所 室長
委員	美濃導彦	京都大学　総合情報メディアセンター　教授
	福嶋茂信	京都大学大学院　法学研究科　助手
	持丸正明	通商産業省工業技術院生命工学工業技術研究所 主任研究官
	高増　潔	東京大学　工学系研究科　助教授
調査委員会 委員長	佐渡山亜兵	信州大学　繊維学部　感性工学科　教授
事務局	吉岡松太郎	（社）人間生活工学研究センター　研究開発部　部長
	土田一雄	（社）人間生活工学研究センター　研究開発部　課長
	津熊貴子	（社）人間生活工学研究センター　研究開発部

技術委員会では共同研究先、委託研究先での研究進捗状況の情報交換を密に行い、その結果をスムーズにデータベースシステム開発へと繋げていく。一方、開発されたシステムを用いた研究結果の検証も技術委員会を通じて各研究先へフィードバックされる。このような技術委員会を通じた連携により研究開発の質の向上を目指す。

設置委員会に関する変更内容を以下に示す。

（1）1）変更事項

調査委員会オブザーバー追加

鈴木一重　　社団法人　人間生活工学研究センター
　　専務理事

（1）2）変更理由

ISO の国際事務局（ISO/TC159/SC3=人間工学のうち人体測定と生体力学）の事務局長を担当し、寸法データに関する国際標準化にも深く関わっていたので、これらに関連する当該事業の調査委員会オブザーバーとして参画することが有効と判断したため。

（1）3）変更が開発研究に及ぼす影響及び効果

なし。

（1）4）変更期日

平成１１年７月１日

２．形状データを寸法データで表現する方法の研究開発

２．１　形態を表現する主要人体寸法を得る方法

人体のかたちの個人差や集団分布は、主として人体寸法によって分析されている。本来は、３次元的な人体形態として扱うべきであるが、３次元形状計測が困難であったことと、計測された形状データを分析する手法が確立されていないことが障壁となっていた。計測技術の進展により、なんとか実用的に利用しうるような人体３次元形状計測システムが市販されるようになったが、人体３次元形態を分析する方法論の確立が遅れているのが現状である。これは人体形態の多次元的な取り扱いが難しいことに起因する。人体寸法は基本的に１次元の量で、個々の人体寸法で個人差や集団分布を扱うのであれば、単純な統計処理でことが足りる。また、複数個からなる人体寸法項目のセットとして分析する場合には、多変量解析が有効である。複数の人体寸法項目セットを多変量解析の１つである主成分分析法で処理すれば、互いに独立な主成分（総合特性値：分析に利用した人体寸法項目の重み付き線形和）を得ることができる。これが人体寸法の多次元的な特性を考慮したときの分布軸に相当する。しかしながら、複数の人体寸法項目に基づく多変量解析は、３次元人体形態の分析法として十分ではない。いくら人体寸法項目を増やしても、個々の項目は単一の寸法量でしかないわけで、形態特徴を反映しきれないためである。特に、主成分分析においては、分析に利用しなかった項目（特性）は無視されるため、主成分分析で得られた結果が、本来の意味での３次元形態特性を反映しているかどうかの保証はない。

人体寸法データベースの国際標準規格案（ISO NP-15535）では、データベースに含まれているデータの特性を表す統計量として、平均値と標準偏差を記述するように推奨している。ユーザは、この統計量を見るだけで、内部のデータの分布状態に関する大まかな特性を知ることができるわけである。人体３次元形態のデータベースを構築する際にも、このような統計量の記述が必要になると思われる。上記の主成分分析法は、統計結果が計測された項目に大きく依存してしまうため、このための方法論としては不適であろう。すなわち、分析に利用した人体寸法項目セットの中から主要寸法を見つけだすのではなく、人体３次元形態そのものを分析して、その集団分布特徴を表す人体寸法を見いだすアプローチが必要になる。そこで、本研究では、1995年に生命工学工業技術研究所で開発したＦＦＤ法に基づく人体３次元形態分析技術をベースとして、人体の３次元形態の集団分布傾向を人体寸法と関連づける、さらには人体寸法項目のみから３次元形態の集団分布のどこに位置するのか（＝大まかにどういう３次元形態であるのか）を推定する方法論の開発を行った。

２．１．１．人体３次元形態分布を取得する方法の開発

（１）概要

本手法は、人体の３次元形態を直接分析して、その集団分布を取得し、分布を表す軸の特徴を示すような人体寸法項目を選定するためのものである。先にも述べたように、あら

かじめ複数個の人体寸法項目を主成分分析で分析し、主成分軸を得る方法とは根本的に異なっている。本手法の流れを図１に示す。まず、人体の３次元形状を計測し、解剖学的特徴点の対応に基づいてこれをモデル化する。次に、コンピュータグラフィクス技術の１つである Free Form Deformation 法（FFD 法）を用いて、２つの３次元形態間の距離を計算する。集団に対してこの方法を適用し、全被験者相互の距離を計算することで形態間距離行列を得ることができる。得られた距離行列を統計処理の１つである多次元尺度法で分析することで、３次元形態の分布図が得られる。この分布図の軸の得点と人体寸法との関係を相関分析で調べることで、３次元形態分布を表す主要な寸法項目を選定することができる。

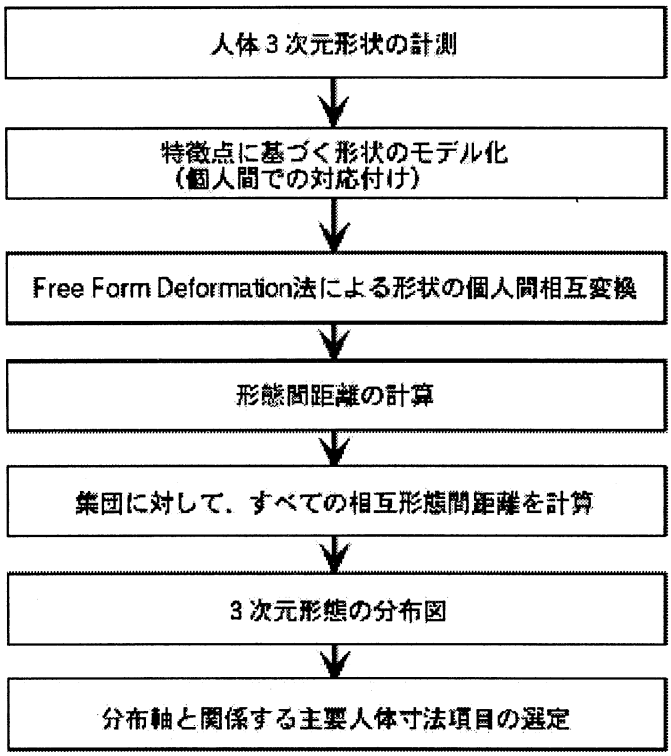


図１　開発した手法の流れ

（２）形状データのモデル化

１）モデル化の必要性

本手法では、比較する２つの３次元形態間でデータ点の対応が付くように、形態データを再構成する必要がある。この手順をモデリング（モデル化）と呼んでいる。被験者の身体サイズは様々なので、３次元形状スキャナーでとったままのデータは、被験者によってデータ点数が異なっている。また、人体寸法計測や運動計測では人体の形状を個体間で対応づけるために様々な解剖学的特徴点が使われるが（保志，1991）、これらの多くは体表からふれることができる骨格の突起や稜にあり、手でさわればどこにあるかわかるが、スキ

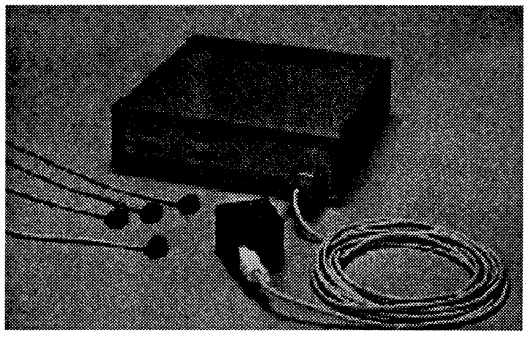
ャナーで取り込んだ後では人体表面上のどこにあるかがわからない。人体表面の3次元形状だけでなく、あらかじめ特徴点の位置にマークをつけてそれらも同時に計測し、特徴点位置を基準としてデータを再構成することにより、これらの問題点を解決することができる。

モデル化の方法は二通りある。ひとつは、特徴点位置がわかるように取得された人体部位の石膏模型や頭骨など、実体の上に鉛筆やレトラライン等を使って断面や線などを入れることによってデータ点を決定する。データ点の位置は、図2のように3次元デジタイザで入力する。もうひとつは、被験者の表面形状と特徴点の位置を非接触式3次元スキャナで計測する。この表面形状データから特徴断面を計算し、一定の方法でそれを分割するようなモデリング専用のソフトウェアを開発する方法である。どちらがより適切かは、分析しようとする部位、被験者数、要求される精度に依存する。

以下に実例を示すが、モデリングを行う際には以下の点を注意するとよい。

a）解剖学的に対応づけられる特徴点は、必ずモデルに含める。
b）製品設計や製品との適合に必要な体型分類に特徴点は、必ずモデルに含める。
c）曲率の大きな部分（局所的にカーブしている部分）はデータ点をふやす。
d）それ以外の部分はあまり不均等にデータ点を配分しない。
e）個体間で幾何学的矛盾がおきないようにする。

a）はFFD法による分析の基本コンセプトであり、人工物の3次元形状ではなくヒトの3次元形態である意義がここにある。b）については2．1．4節で述べる。c）については、局所的に曲率の大きい部分はデータ点をふやさないと、3次元的形状を表現しきれないためである。e）は、データ点の相対的位置関係が個体間で異なると、形態変換がうまくいかないためである。



Polhemus社製3SPACE
FASTRACK

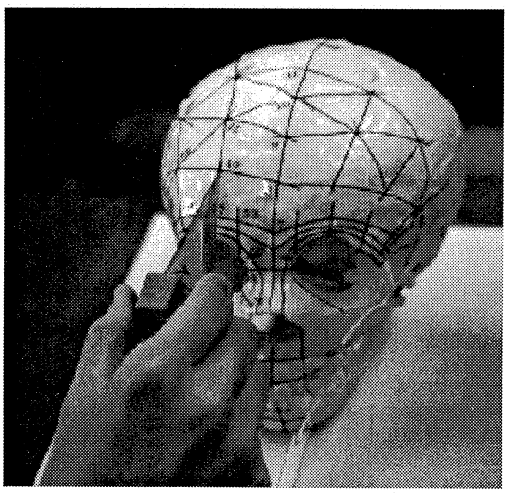


図2．頭骨上でモデリングしたデータ点の3次元デジタイザによる入力

2）足部形態のモデル化

両足に均等に体重をかけた静止直立時における右足石膏模型を作成した。このとき、あらかじめ足の特徴点位置に水性マーカで印をつけておき、型どり剤に転写された印をさらに石膏上に転写することにより、石膏模型上の特徴点位置がわかるようにした。得られた足型石膏模型上で、図3に示すように特徴点に基づく14断面×12～13点の計174点にデータを再構成した。基準となる断面は断面1（下腿と足背の移行点高さ×1.2のレベルでの水平断面)、断面4（踵部の接地点と下腿と足背の移行点をとおる断面で、ヒール囲の測定部位に相当する)、断面8（足長の50%の位置における、足軸に直交する垂直断面)、断面10（脛側中足点と腓側中足点をとおる垂直断面)、断面14（足先点から1cm後方の位置における足軸に直交する垂直断面）で、これら以外の断面は基準断面間を均等に分割するように決めた。各断面上のデータ点は、腱の走行、表面形状の変曲点、屈曲しわなどを参考に決めた。全データ点および特徴点位置を、3次元デジタイザにより入力した。

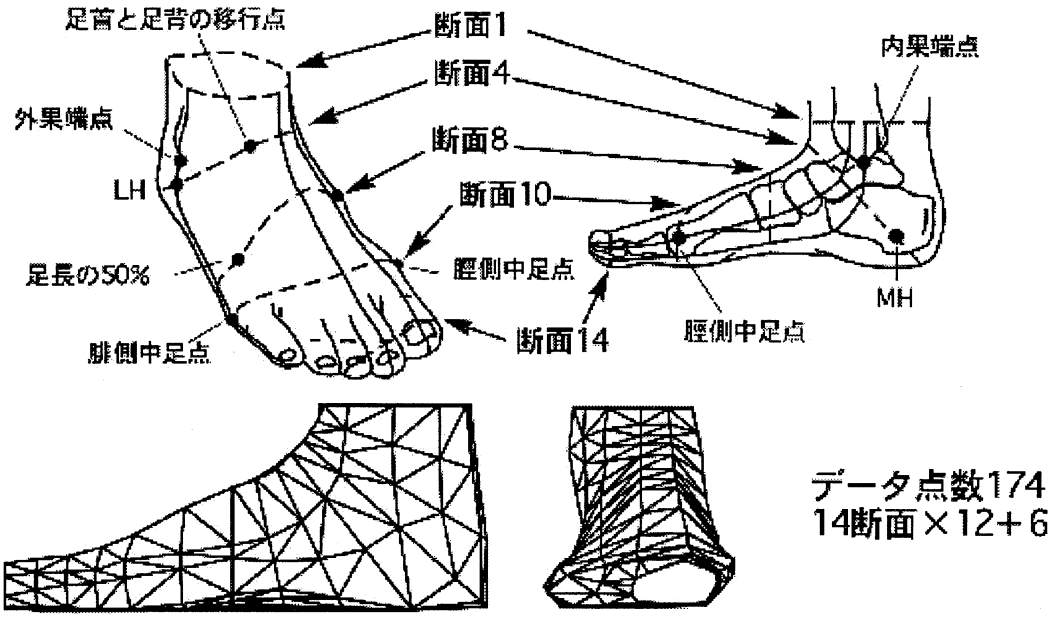


図3．足部形態のモデル化

3）頭骨形状のモデル化

現代人頭骨は、解剖学的特徴点位置、縫合、歯などを基準にして、図4左に示すように合計179点にデータを再構成した。このうち72点が特徴点あるいは縫合などによって容易に定義できる点である。それ以外の点は、特徴点間の表面距離を等分割するように決めた。頭骨の左半分をモデル化し、図2のように3次元デジタイザを用いて計測した。右半分のデータは左半分を反転して作成した。頭骨は完全には左右対称ではないのに片側のみ計測したのは、化石標本では土圧のために一側が変形していることが多いためである。ネアンデルタール人頭骨は図4右のように161点にモデル化した。データ点数が少ないのは頭蓋

底が保存されていないことによる。なお、両者の形態を比較するために、現代人については161点のモデル化も行った。

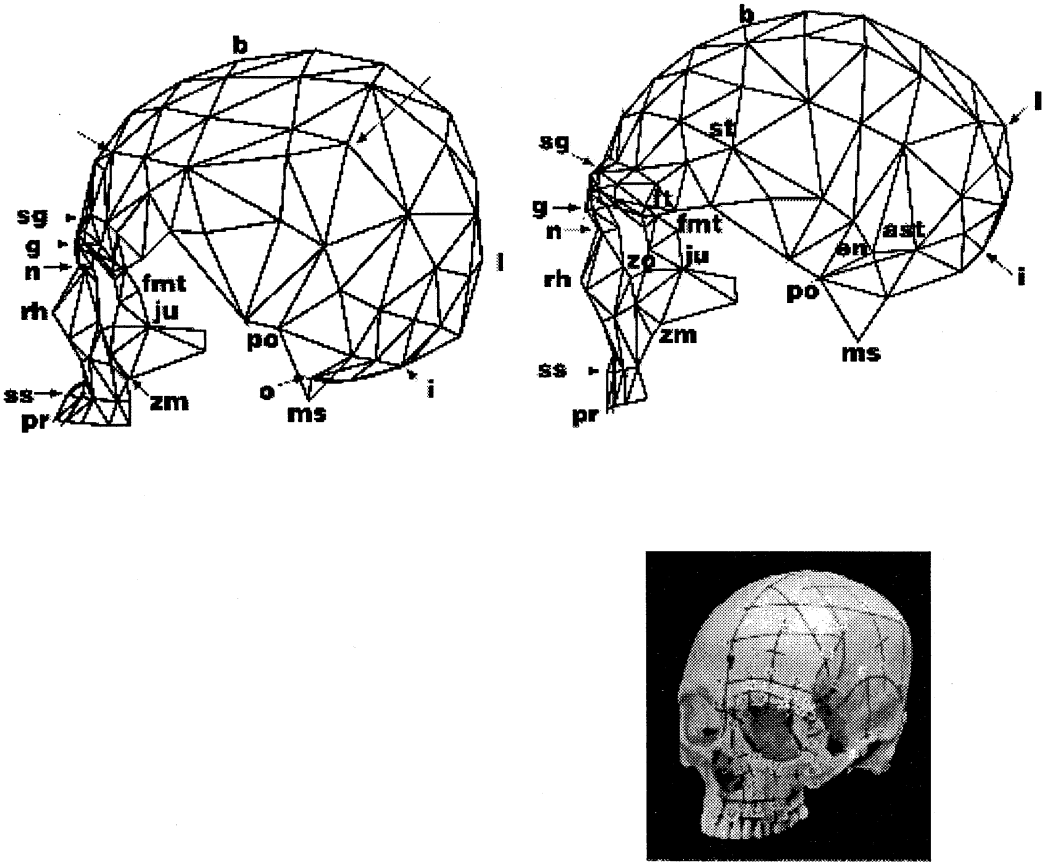


図4．頭骨形態のモデル化

4）体幹部形態のモデル化

全身の表面形状を、レーザーを利用した非接触式3次元スキャナ（浜野エンジニアリング社製Voxelan）で計測した。データ点の個体間対応づけは特徴点をとおる水平断面を基本とする。頚部から股下より10cm下方までの範囲を、図5のような特徴断面をもとにモデル化した。肩峰点を通る断面、頚付根断面、最上断面は、水平断面ではなく、傾いている。各断面の図心から放射線状にデータ点をサンプリングした。放射線方向に計測データ点がない場合は近傍のデータ点から直線補間して算出した。各特徴断面は正中と左右の4方向の間を、断面形状の複雑さに応じて4～16分割にサンプリングした。図5に示すとおり、データ点の数は約550に減っているが、体型の特徴は十分に反映されている。

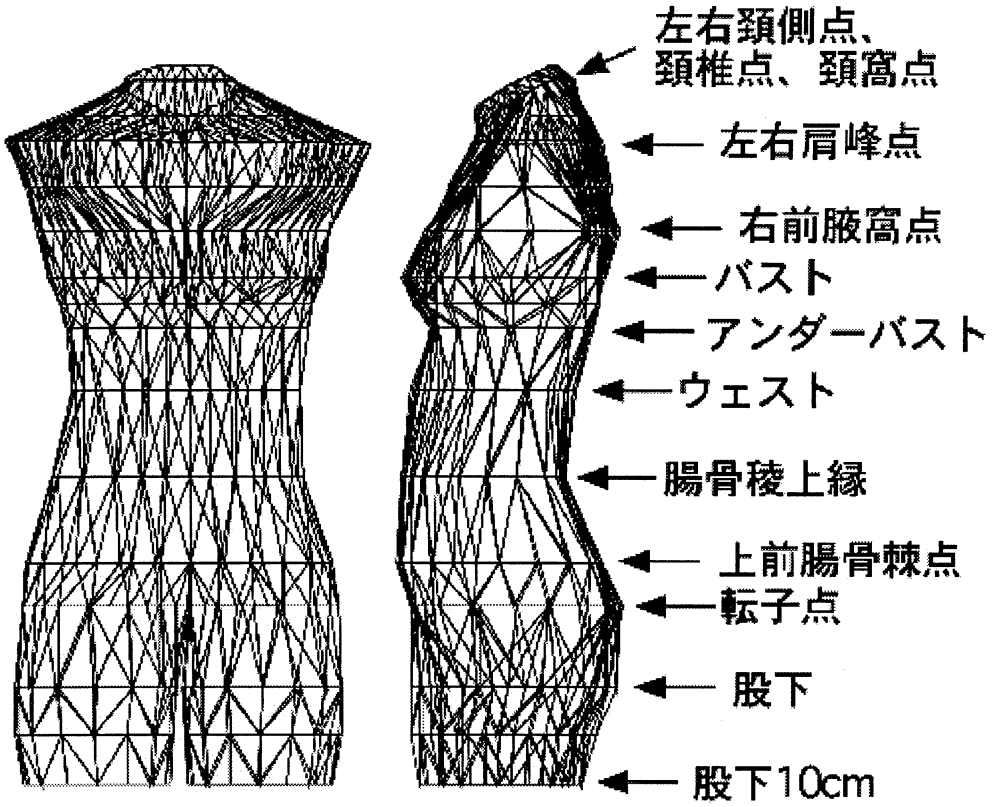


図５．体幹部形態のモデル化

（３）FFD 法を用いた形態変換

１）Bernstein 多項式による FFD 法

FFD 法とは、Sederberg らによって提案された形態操作手法で、３次元形態データを定義している空間全体をある関数で変形させることによって、その空間内に定義されているすべてのデータを変形させる方法論である（Sederberg, 1986）。３次元データが数式で表現されている必要がないため、身体形態のような自然形状にも適用することができる。

この空間を変形させるための関数として、FFD 法では Bernstein 多項式を用いている。これは Bezire 曲線に利用されているものである。FFD 法は３次元空間内の XYZ 座標軸の各軸方向に沿って関数変換を施すのであるが、説明を簡単にするため、ここでは一次元のみ（X軸上）とし、０から１までの範囲について考えることにする。３次の Bernstein 多項式の制御点の座標を p0=0、p1 = p2 = p3 = 1 とする。このとき、０から１までの座標の範囲で任意の点 p の座標 x は、FFD によって式(1)の xf に変換される。

式(1)

$$xf = (1-x)^3 \cdot p_0 + 3(1-x)^2 x \cdot p_1 + 3(1-x)^2 x \cdot p_2 + x^3 p_3$$
$$= 3(1-x)^2 x \cdot p_1 + 3(1-x) x^2 \cdot p_2 + x^3$$

FFD 法を適用しようとすると、この式による x から xf への変形をまず受けることになる。これを初期変形と呼ぶことにする。本来の FFD 法の目的は、このあと p1、p2 の制御格子点（以下、制御点）位置を変化させ、軸方向に変形させることである。しかし、実際には p1、p2 を全く動かさない状態で、軸方向に変形が生じてしまう。p1、p2 にどのような値を取っても、xf=x とならないからである。この様子を図 6 上段に示す。細い縦線が変形前、太い縦線が FFD 法で制御点を設定した後の初期変形状態を示している。両者は微妙ではあるが、明らかに異なっている。このときの、初期変形量を縦軸にとってグラフ化したものが図 6 下段である。したがって、Bernstein 多項式による FFD 法では、制御点を設定したとき、制御点を全く動かさない状態で変形が生じてしまうことがわかる。Computer Graphics のような場合では大きな問題ではないが、本研究で目的としている身体形態の変形では精度上、大きな問題となる。すなわち、既存の FFD 法では、（2） 1）に掲げた要求仕様の a）が満足されないことになる。

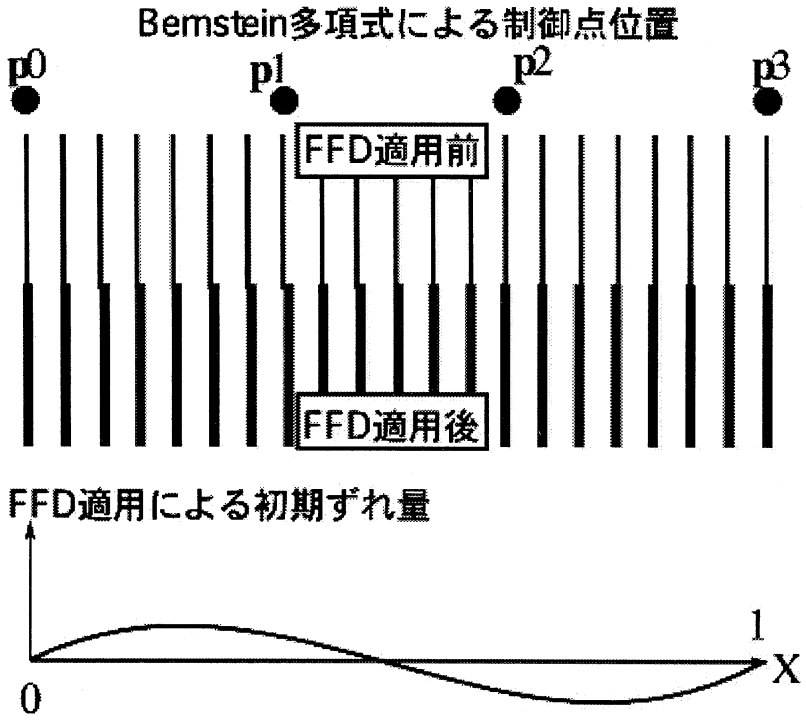


図 6．Bernstein 多項式による FFD 法の初期変形

2）B-spline による変形操作手法（Mochimaru, 1995）

そこで、制御点設定時の初期変形をなくすために、FFD 法の Bernstein 多項式を B-spline 関数に変更した。B-spline 関数による変換式を式(2)に示す。

式(2)

$$xB = \frac{(1-x)^3}{6}p_0 + \left(\frac{1}{2}x^3 - x^2 - \frac{2}{3}\right)p_1 + \left(\frac{-x^3+x^2+x}{2} + \frac{1}{6}\right)p_2 + \frac{x^3}{6}p_3$$

ここで、p0=－1、p1=0、p2=1、p3=2 とおくと、 となる。すなわち、B-spline 関数による変形操作手法では、初期制御点を上のように設定すれば、初期変形が全く生じないことになる。さらに、Bernstein 多項式の場合と異なり、制御点の移動によって局所的な変形操作を行うことができる。これらの変形操作を図 7 に示す。B-spline 関数の導入により、（2）1）に掲げた要求仕様の a）を満足できるようになった。なお、3 次 B-spline 曲線を用いるため、外側の 2 つの制御格子点は移動させることができない。

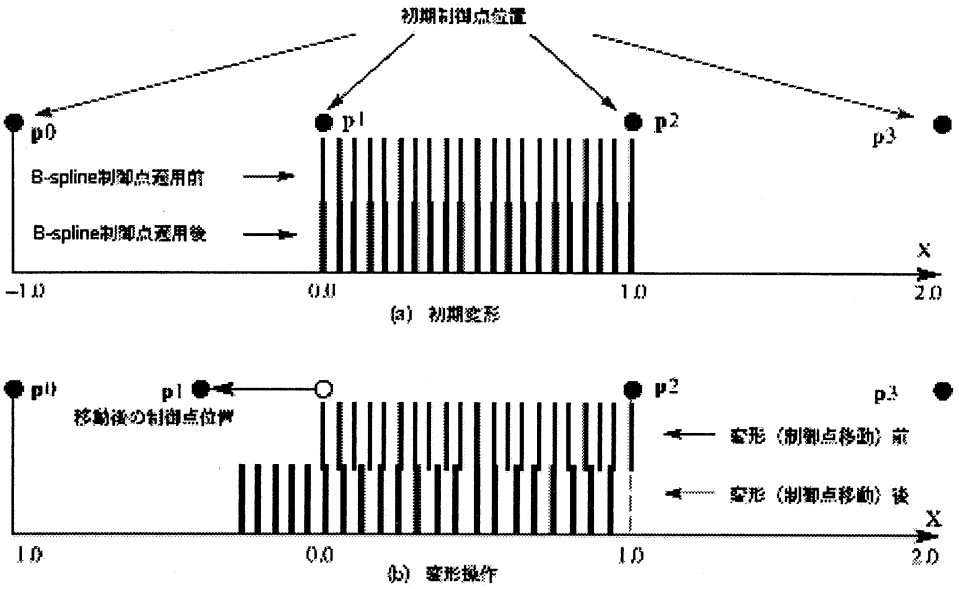


図 7．B-spline による形態操作

3）制御格子点の設定

制御点は、原則として変形対象の形態よりも大きな範囲に移動可能な格子点が設定されていなければならない。ただし、変形対象から大きく離れた格子点は、実質的に対象形態を変形させる効果が小さく意味がない。そこで、移動可能な制御点の最外郭点をどの程度

の位置に配置すれば効率的であるかを試行錯誤的に検討した。この結果、移動可能な格子点間の最大幅が、変形対象の軸方向の最大寸法より 10%程度大きくなるように設定するとき、少ない格子点移動量で対象形態を目標形態によく一致させることができることが分かった。また、制御点の数は、移動可能な制御点の総数が変形対象となる形態データ点の総数の 1.2～1.3 倍程度になるように、かつ 3 軸方向の格子点間隔がほぼ等しくなるように設定した。制御点数が多いほど局所的な変形が可能になり、形態をよく一致させることができるが、制御点の移動量を後述する方法で自動計算するために、制御点数について上記のような制約が加わる。また、格子点間隔を 3 軸方向でほぼ等しくするのは、3 軸各方向の形態一致度を同程度にそろえるためである。

4）格子移動量の自動決定

制御点を移動させることにより内部の対象形態を変形し、目標形態に一致させることができる。しかしながら、多くの制御点を手作業で適宜移動させることは困難であり、また、客観性、再現性の面で問題がある。そこで、制御点の移動量を自動計算する方法論を新たに開発した。

すべての格子点の 3 軸方向の移動量を未知数とし、下式(3)の評価量を最小にするような格子点移動ベクトルを、準ニュートン法によって計算した。

式(3)

$$E = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\left\{\left\{\left(C_{i,j,k}-C_{i-1,j,k}\right)-\left(D_{i,j,k}-D_{i-1,j,k}\right)\right\}^2+\left\{\left(C_{i,j,k}-C_{i+1,j,k}\right)-\left(D_{i,j,k}-D_{i+1,j,k}\right)\right\}^2\right.$$
$$+\left\{\left(C_{i,j,k}-C_{i,j-1,k}\right)-\left(D_{i,j,k}-D_{i,j-1,k}\right)\right\}^2+\left\{\left(C_{i,j,k}-C_{i,j+1,k}\right)-\left(D_{i,j,k}-D_{i,j+1,k}\right)\right\}^2$$
$$\left.+\left\{\left(C_{i,j,k}-C_{i,j,k-1}\right)-\left(D_{i,j,k}-D_{i,j,k-1}\right)\right\}^2+\left\{\left(C_{i,j,k}-C_{i,j,k+1}\right)-\left(D_{i,j,k}-D_{i,j,k+1}\right)\right\}^2\right\}$$
$$+w\sum_{n=1}^{N}\left(Po_{(n)}-Pt_{(n)}\right)^2$$

I,J,K はそれぞれ X,Y,Z 軸方向の格子点の数、C(i,j,k)は i,j,k 番目の移動後の制御点座標（未知数）、D(i,j,k)は初期位置である。N は形態データ点数、Po(n)は n 番目の対象形態データ点座標で C(i,j,k)の関数である。Pt(n)は変形目標形態の n 番目データ点座標、w は重みである。座標には x,y,z の 3 軸成分があるが、それぞれ(3)式の評価量 E を計算し、独立に最適解を求めた。右辺第 1 項は、6 近傍に隣接する制御点との間隔を初期状態のまま保持しようとする項で、第 2 項は 2 つの形態を一致させる項である。すなわち、格子をできるだけ歪ませることなく、対象形態をできるだけ目標形態に一致させるような制御点の移動量を計算することになる。なお、重み w は経験的に 2000 とした。第 1 項は、制御点のずれ量の 2 乗が I×J×K×6=1350 だけ加算されたもので、第 2 項が形態のずれ量の 2 乗を形態データ点数分加算し、重み w を乗じたものであるから、重み w=2000 は、制御点のずれ量：形

態のずれ量≒√250：√1≒15:1 程度で最適化していることに等しい。

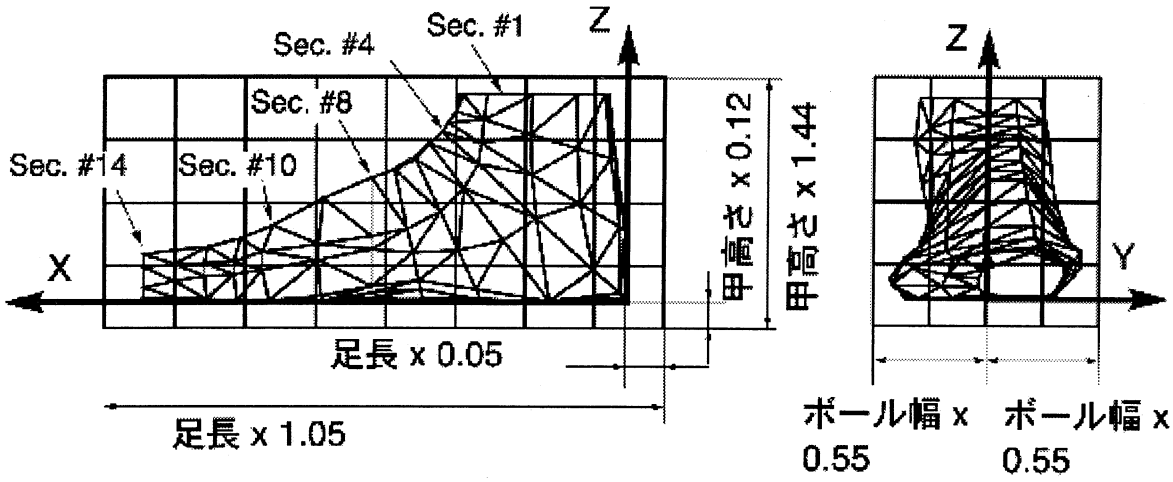


図８．足部座標系と制御格子点の定義

図８に、足部形態について制御格子点を設定した例を示す。座標系を以下のように定めた。脛側中足点(MT), 腓側中足点(MF)の中点と踵点を通る直線を足底面に投影したものをＸ軸、足底面に垂直な方向をＺ軸、ＸとＺ軸の外積によって決定される左右方向軸をＹ軸とした。座標原点は、踵点を足底面に投影した点とした。

足長方向、高さ方向、幅方向とも、最外郭制御点の幅がデータの最外郭点間の幅の 1.1 倍に相当し、左右均等幅になるように設定した。有効格子点数はＸ軸方向に９（移動できない格子点を含めると 13)、Ｙ軸方向に５、Ｚ軸方向に５で合計 225 である。形態データ総点数 174 の約 1.3 倍に相当する。各軸方向の格子点間隔は約 30mm になる。

3.2.2 に示した方法を足部形態に適用した場合の計算結果例を図９に示す。計算された制御点を対象形態に適用することにより、対象形態が目標形態に近い形態に変換されることが分かる。変形した対象形態と目標形態とのずれは、データ点あたり約１mm であった。

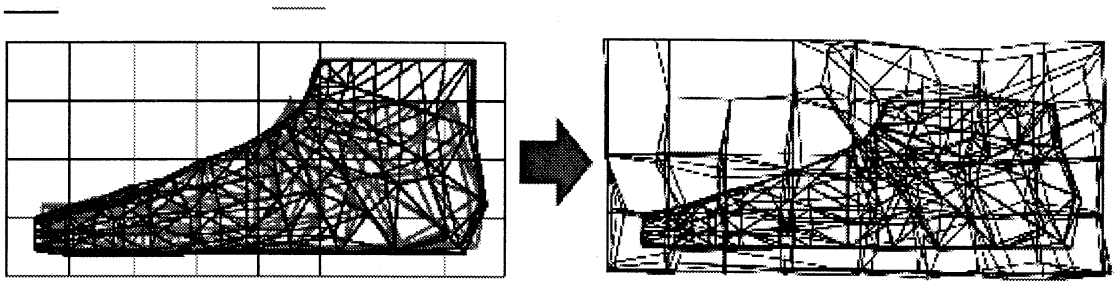


図９．足部形態を変換する制御格子点位置計算結果の例

（4）形態間距離の計算（持丸, 1997）

初期形態と目標形態がよく似ていれば、図１０右下に示すように両者を一致させるための制御点の動きは少なく、両者の違いが大きければ、図１０左下のように制御点を大きく動かさないと両者は一致しない。制御格子点の移動量は初期形態を目標形態に変換する関数であると同時に、２つの形態の非類似度（距離）を表すことになる。

計算された制御点の移動量をもとに、対象形態と目標形態との形態間距離を下式(4)によって定義した。これは、各制御点の初期位置からの移動ベクトルのノルムを合計したものである。

式(4)

$$N=\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sqrt{\left(\sum_{a=1}^{3}\left(C_{(i,j,k,a)}-D_{(i,j,k,a)}\right)^{2}\right)}$$

ここで、C(i,j,k,a)は i,j,k 番目の変形後の制御点の a 軸の座標値、D(i,j,k,a)は制御格子点初期位置の a 軸座標値である。空間を大きく歪ませないと変換できないような形態同士は距離が大きく、空間をほとんど歪ませることなく変換できるような形態同士は距離が小さいことになる。

本手法ではデータ点の対応がつくように形態をモデリングをしているため、形態データの対応点を結ぶベクトルでも同じような距離を計算することができる。しかしながら、形態表面の対応点を直結する方法では、距離値がモデリングの方法論に大きく依存するばかりでなく、モデリングデータが密に分布している部分の相違が大きく評価されてしまうことになる。FFD の制御格子点という空間の歪関数をもとに計算する場合では、２つの形態を変換する空間の歪の大きさとして評価するため、対象形態のモデリング方法や、モデリングデータの部分的な粗密には影響されにくく、空間全体の歪特徴を定量化することができる。

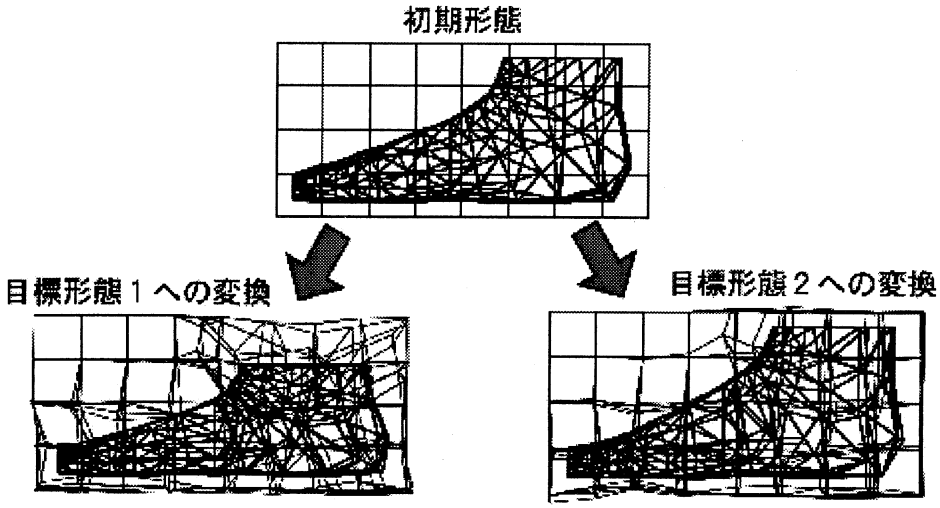


図１０．初期形態と目標形態が似ていれば制御格子の移動は小さく、似ていないと大きい

（５）形態間距離行列から３次元形態分布図を得る方法

総当たり式に計算した形態間距離行列から、多次元尺度法により被験者となった個体の散布図を得ることができる。多次元尺度法では個人差の大きな順に互いに無相関ないくつかの変異軸（尺度）が抽出され、各個体のそれぞれの尺度における得点が計算される。これらの軸の意味を解釈することによって、対象とした部位の３次元形態では、どのような特徴で個人差が最も大いか、２番目に大きな個人差を持つ特徴は何かを明らかにすることができる。これらの尺度における得点に基づいて描かれた個体の散布図によって、３次元形態の分布の状況を視覚的に表すことができる。以下に、足部形態の例を示す。

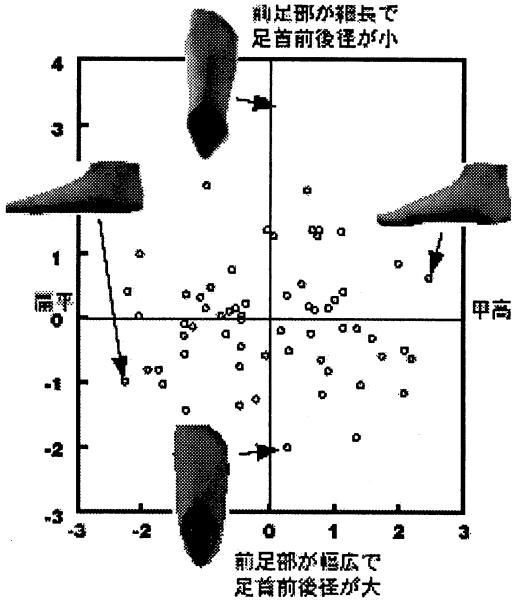


図１１．多次元尺度法による足部の３次元形態間距離行列の分析結果

（6）方法論の評価

1）形態間距離の方向依存性

本来、距離という指標は測定する方向に依存しない量である。そこで、提案した形態間距離が測定方向に依存するかどうかを評価した。形態間距離は、形態Aを形態Bに変換したものと、逆向きに形態Bを形態Aに変換したものとが求められる。制御格子点の動きは逆向きになり、ふたつの形態間距離は、完全には一致しない。逆向きの距離がどの程度一致するかを、足部形態と現代人頭骨について検討した結果を以下に示す。どちらの例でも順方向と逆方向に計算した距離間の相関係数が非常に高く、両者の違いの絶対値は距離の絶対値およびそのばらつき（標準偏差）に比べて非常に小さいことから、提案した形態間距離が測定方向にほとんど依存しない指標であることが確かめられた。

a）足部形態の例

右足に病的な異常を持たず、足長が228～242mmの範囲にはいる成人女性63名について本節（2）の2）で述べた方法で右足石膏模型を作成し、モデル化を行った（図3）。足長を235mmに基準化した形態データに対して、9×5×5の格子点を定義し（図8参照）、初期形態のデータ点が目標形態のデータ点にできるだけ一致するように格子を変換させ、格子移動量の総和として距離を定義した。全被験者について総当たり式に形態変換を行った。

順方向に変換した格子点から計算した距離と、逆方向に変換した格子点から計算した距離との相関を求めた。総当たり式の被験者の組み合わせは 63C2＝1953 で、順方向に計算した距離と逆方向に計算した距離の相関係数は r=0.96 であった。また距離の差の絶対値の平均値は 4.94 であった。これは 3906 通りある形態間距離の平均値 104.5（標準偏差 22.0）に比べ、非常に小さい。

b）頭骨の例

現代人頭骨10体（インド人男性6体、インド人女性2体、日本人男性2体）を、本節（2）の3）に述べた方法でモデル化した（図4）。脳頭蓋の大きさを表す値（（頭骨最大長＋頭骨最大幅＋頭耳高）÷3）が一定になるよう、大きさを基準化した形態データに対して、7×5×7の格子点を定義した。

総当たり式の被験者の組み合わせは 10C2＝45 で、順方向に計算した距離と逆方向に計算した距離の相関係数は r=0.97 であった。また距離の差の絶対値の平均値は 4.93 であった。これは 3906 通りある形態間距離の平均値 136.5（標準偏差 23.6）に比べ、非常に小さい。

2）入力誤差が距離に与える影響

寸法計測データから定義される形態間の距離には、マハラノビスの汎距離、ペンローズの size distance と shape distance などがある。いずれも計測誤差に影響されることが知ら

れている。計測者内誤差（同じ計測者が同じ被験者をくり返し計測したときの差）の方が計測者間誤差（異なる計測者が同じ被験者を一度ずつ計測したときの差）よりも大きい。上記2例のように、データ点の3次元座標値を3次元デジタイザで入力する場合にも、入力時の誤差が距離に影響を与えると予測される。そこで、右足石膏模型と頭骨を用いて、2つの点から入力誤差が形態間距離にどの程度の影響を与えるかを検討した。ひとつは、全く同じ個体であるならば、2回の計測データ間の距離は0になるはずなのに、計測誤差によってその値が0からどれほど離れるか、という点である。もう一つは、AとBの距離は一定であるはずだが、Aを2度測ったときの値A1とA2とすると、A1とBの距離とA2とBの距離はどれほど離れるか、という点である。

a）同一個体間の距離への影響

成人女性1名の右足石膏模型を資料として用いた。計測者1がこの模型を1回（以下F1-1)、計測者2が2回（以下F2-1、F2-2と呼ぶ)、合計3回データ入力した。これら3回のデータを別々の個体とみなし、それらの間の距離を、本節（6）の1）で用いた63個体間の距離と比較した。

計測者2の2度の試行間（F2-1とF2-2）の距離は19.3、20.8であった（正方向と逆方向)。計測者1と計測者2の試行間の距離（F1-1とF2-1およびF1-1とF2-2の距離）は28.3～33.0であった。同じ計測者の2度の試行の方が、異なる計測者の試行間の距離よりも近い。しかし、これらはいずれも63個体間の距離（平均値104.5、標準偏差22.0）と比べると非常に小さく、異なる個体間の距離の最小値（53.4、55.2）の半分程度である。

b）他の個体との距離への影響

現代インド人成人男子の頭骨1個体を用いて、計測者内誤差が形態間距離に与える影響を検討した。1つの頭骨のデータ点を1名の計測者が2度入力して（以下S1-1、S1-2)、それぞれを異なる個体とみなして別の現代インド人成人男子頭骨1個体（以下S2）との距離を計算した。2通りの距離の差を、現代インド人成人男子頭骨6個体間の距離のばらつきと比較した。この結果、2度の計測による距離は124.00（S1-1とS2の距離）および123.97（S1-2とS2の距離）で、その差は0.03であった。6個体の頭骨間の距離は、平均134.3、標準偏差16.8で、計測誤差の影響は非常に小さい。

3）形態間距離の有効性

提案した形態間距離が、実際に生物学的な意味をもつことを確認するために、互いの類縁関係が先験的にわかっているデータ間の距離を計算し、距離が類縁関係を再現するかどうかを検討した。このための資料として、本節（6）の1）で用いた現代人頭骨10体（インド人男性6体、インド人女性2体、日本人男性2体)、およびこれら現代人とは明らかに類縁関係の異なるネアンデルタール人成人男子1個体（Amud-1の頭骨のレプリカ）を用い

た。

現代人どうしの距離は現代人とネアンデルタール人との距離よりもはるかに近いと予測される。同じ現代人でもモンゴロイドである日本人とコーカソイドであるインド人とでは顔面形態が明瞭に異なっており、日本人の顔の方が扁平である。また、男性と女性の頭骨も眉間隆起や眉上弓、乳様突起は男性で発達しており、前頭隆起は女性の方が発達しているなど、形態的な差異があり、頭骨だけから正しく性別を判定できる確率は80%程度といわれている。したがって、現代人どうしでは、インド人男性間の距離、日本人男性間の距離、インド人女性間の距離は、いずれもインド人男性と日本人男性との距離よりも近いと考えられる。人骨の個体識別では、まず人種を鑑別し、ついで性別を鑑別するのが一般的手順となっている。モンゴロイド系の集団の方が顔面がのっぺりしているため、コーカソイド系の女性の方がモンゴロイドの男性よりも男性的にみえることもあり、この順序を逆にすると、個体識別の精度が落ちるためである。したがって、日本人男性とインド人女性との距離が、日本人男性とインド人男性の距離、あるいはインド人男性とインド人女性の距離と比べて大きいか、小さいかについては予測し難い。

今回提案した方法による距離の計算結果は以下のとおりであった。

ネアンデルタール人と現代人の距離：平均値 234.7（標準偏差 15.0）

現代インド人男性頭骨間の距離：平均値 134.3（標準偏差 16.5）

現代日本人男性頭骨間の距離：平均値 79.0（N=2）

現代インド人女性頭骨間の距離：平均値 86.2（N=2）

現代インド人男性と現代インド人女性の距離：平均値 145.5（96.9～177.0）

現代インド人男性と現代日本人男性の距離：143.6（97.9～168.8）

現代インド人女性と現代日本人男性の距離：124.7（105.3～145.7）

ネアンデルタール人と現代人の距離は現代人相互の距離よりもはるかに大きく、現代日本人男性どうし、現代インド人女性どうしの距離は、他の集団間の距離に比べるとかなり小さい。インド人男性間の距離は、これにくらべると大きく、ばらつきも大きい。現代インド人男性と現代日本人男性あるいは現代インド人女性との距離は同程度である。現代日本人男性と現代インド人女性の距離は、これよりもやや小さい。このように、形態間距離の大小関係は類縁関係からの予測とほぼ一致する。なお、ここでは脳頭蓋の大きさでデータを基準化したため、男性頭骨と女性頭骨の違いが過小評価されている可能性がある。

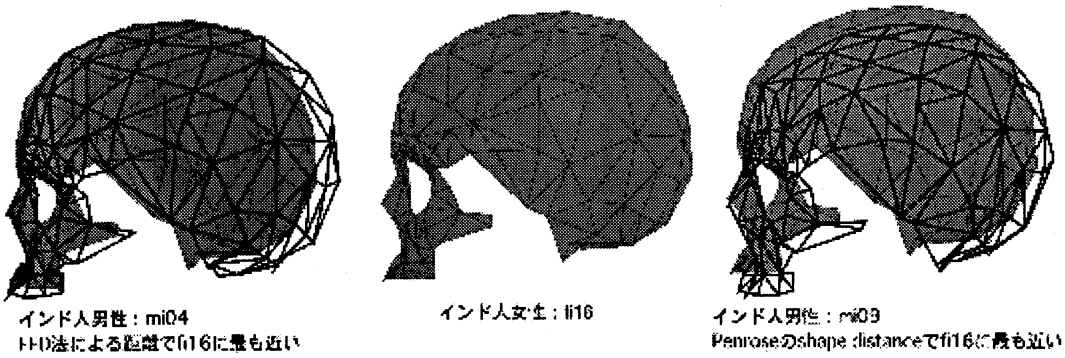


図１２．インド人女性頭骨に最も似ているインド人男性頭骨

左：FFD 法による形態間距に基づく

右 Penrose の shape distance に基づく

注）Penrose の shape distanceCZ2＝｛CH2－CQ2｝×r÷（r－1）。ただし　CH2＝平均平方距離＝(Σd2）÷r、CQ2＝size distance＝(Σd)2÷r2、r：変量の数、d：標準化された平均値の差。

図１２左下は、FFD 法を利用した形態間距離において図１２中央のインド人女性頭骨 fi16 に最も近かったインド人男性頭骨 mi04 である。両者は額の湾曲や顔面の小さい点が非常によく似ている。図１２右下は、21 項目の寸法から計算された Penrose の shape distance においてインド人女性頭骨 fi16 に最も近かったインド人男性頭骨 mi09 をである。FFD 法による形態間距離の方が、寸法に基づいた形態間距離よりも形状の類似性をよく反映していることが、直感的にわかるであろう。

２．１．２．人体３次元形態分布を取得する方法の応用例

（１）頭骨の分析

２．１．１．節（６）の１）ｂ）で計算した 11 個の頭骨間の形態間距離行列を多次元尺度法により分析して（Macintosh 版 SPSS 使用）３次元解を得た。図１３は、第１および第２番目の分布軸における 11 の頭骨の得点をもとに描いた散布図である。第１軸ではネアンデルタール人が現代人から大きく離れており、第２軸では現代インド人男性が現代日本人男性、現代インド人女性から離れている。２．１．１．節（６）の３）で述べた頭骨間の距離関係が、わかりやすく示されている。

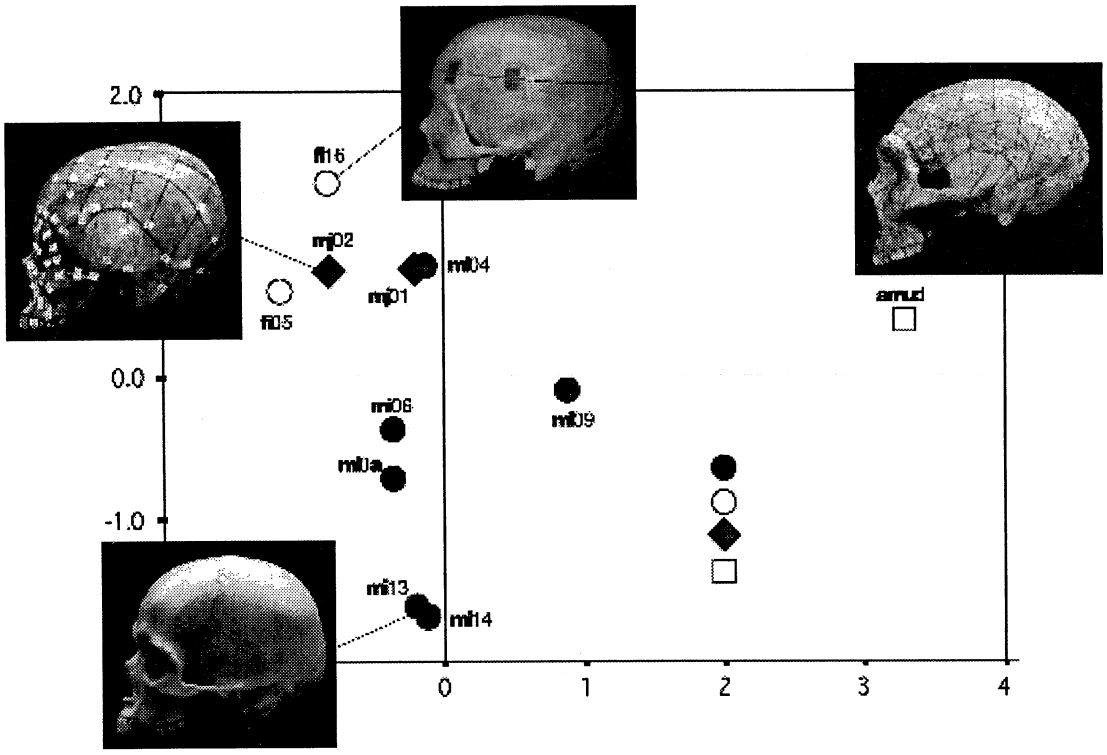


図１３．多次元尺度法による頭骨３次元形態分布

（2）足部形態の分析

2．1．1．節（6）の1）a）に示した日本人女性63名の右足部形態について計算された形態間距離行列を多次元尺度法で分析し、4次元解を求めた。第1軸と第2軸に基づく3次元形態分布図を図14に示す。第1軸は図14中に示すとおり甲の低い扁平な足と甲の高い足を対比させる軸である。第2軸は脛側中足点より前方の指の部分が細長くて足首の前後径が短い量感の小さい足と、指が短くて足首の前後径が大きい足を対比させるもので、足の前後方向のプロポーションと関係している。分布軸の解釈方法については、次節2．1．3．で述べる。

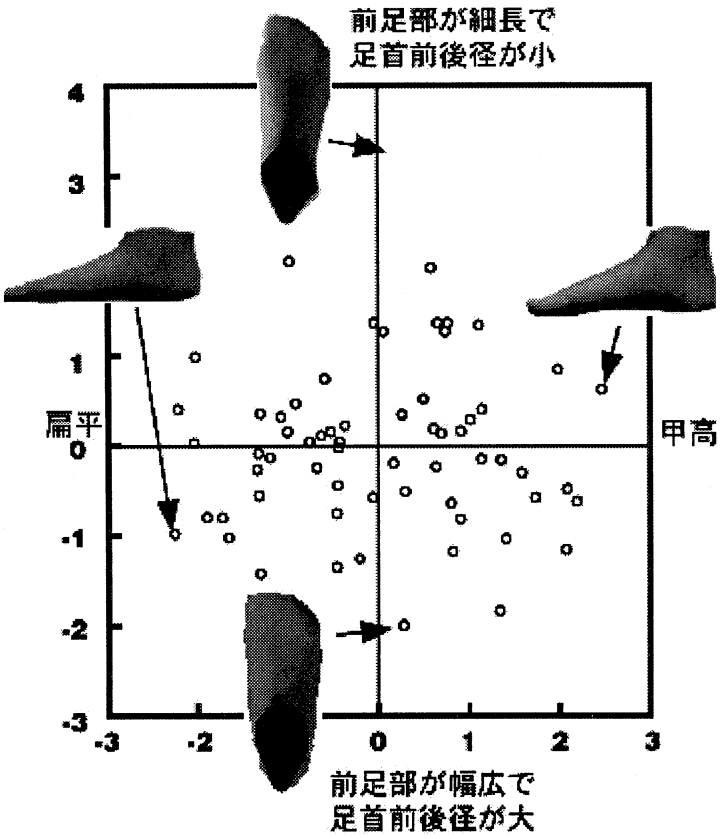


図14．多次元尺度法による足部3次元形態分布

（3）体幹部形態の分析

旧 JIS の 9AR サイズに相当する日本人青年女性 7 名（19～21 歳）の体幹部形態を、全身形状計測システム（浜野エンジニアリング社製 Voxelan）を用いて計測した。被験者は（株）ワコールの提唱するゴールデンカノン（柏谷, 1998）に近く、全身的な体型バランスの良い者で、着用前後で形状・寸法変化が少なく、身体に適合し、体型を美しく整える下着（ブラジャーとガードル）を着用した状態で、計測を行った。得られた形状データを形状処理ソフトウェア（メディックエンジニアリング社製 3D-Rugle）で合成し、さらにテクスチャ画像を利用して、手動で解剖学的特徴点の座標を取得した。合成した形状データと解剖学的特徴点座標に基づいて、1．1．1．節（2）の4）に従いモデル化を行った（伊藤, 1997）。上下、左右、前後方向に 11×8×7 の制御格子点を設定し、総当たり式に形態変換を行った。計算された形態間距離行列を多次元尺度法で分析し、2 次元解を求めた。第 1 軸と第 2 軸に基づく 3 次元形態分布図を図１５に示す。第 1 軸は、主として「鳩胸・出尻－下腹部張りだし」の特徴を表している。被験者の 7 名は胸囲・胴囲・殿囲の寸法バランス及び身長方向のプロポーションバランスが整った者だけを選定したのであるが、3 次元形態にはばらつきがあることが分かる。

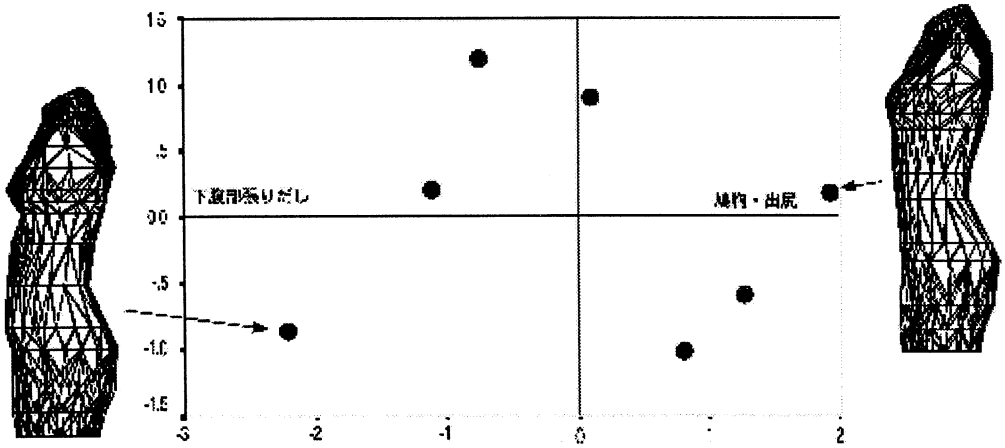


図１５　多次元尺度法による体幹部 3 次元形態分布

2．1．3．形態分布軸を表現する人体寸法を選定する方法の開発

（1）形態分布軸の解釈

1）観察

FFD 法による 3 次元形態分析は、複数の人体寸法項目の主成分分析のように分析に利用した寸法項目から答えを探すのではなく、3 次元形態そのものから分布軸を見つけだすことができる。その反面、見つけだされた分布軸がどのような意味を持っているのかを解釈するのが難しい。これに対して、主成分分析法では、各主成分軸が分析に利用した人体寸法項目の重み付き線形和になるため、解釈が容易である。

FFD 法では、まず、観察による分析が有効である。分布軸の特徴を知りたければ、分布軸に沿って人体形状がどのように変化するかを観察することからはじめる。特に、各分布軸で大きな得点をもつ個体と小さな得点をもつ個体の形態を比較することにより、その分布軸がどのような特徴における個人差を代表するかを推測できる。実際には、個々の形態は、分析対象である分布軸以外の軸に対して異なる得点（座標）を持っているため、分布軸の表す特徴以外の「個性」を多く持っている。しかし、分布軸方向に形状を順番に比較することで、分布軸の持つおおまかな特徴を捉えることができる。

2）相関分析

観察によっておおまかな形態特徴を把握したら、次いで、その形態特徴をよく反映しそうな人体寸法項目と分布軸の得点との相関係数から、解釈結果を確認することができる。ただし、形態の特徴は単純な人体寸法と高い相関を得られない場合が多く、必要に応じて、傾斜角度や曲率（松山, 1998）、中心軸の屈曲角度（Mochimaru, 1997）などの2次元的な形態特徴を活用する必要がある。

（2）応用例

応用例として、足部形態分布軸の解釈と、そこから得られる主要人体寸法について述べる。第1軸は図14中に示すとおり甲の低い扁平な足と甲の高い足を対比させる軸である。第2軸は脛側中足点より前方の指の部分が細長くて足首の前後径が短い量感の小さい足と、指が短くて足首の前後径が大きい足を対比させるもので、足の前後方向のプロポーションと関係している。どちらも靴の JIS 規格で決められているウィズ（足囲サイズ）とは無関係の形状特性を表す。図には示さないが、第3軸は足首の内側への倒れ具合と、第4軸はつま先形状と関係していた。

第1軸の両端にある扁平足や甲高足の群に属する足は、中心部のいわゆる標準的な足とは形が大きく異なっており、既存の靴が適合しないケースが多いと思われる。同じ足長を持つ足の場合、JIS 規格では、足囲 and/or 足幅によるバリエーションのみによって靴型（靴）のタイプ分類がなされている。しかし、第1軸（扁平足－甲高）で標準的な群の中で足囲が E（標準的なウィズ）の足と B（かなり狭いウィズ）の足との距離よりも、足囲サイズは同じだが第1軸の両端にいる足の間の距離の方が大きい。すなわち足囲の違いによる形の相違より扁平足による形の相違の方が大きく、形態の適合性に関して言えば扁平、甲高の特性を反映した靴の設計開発は、足囲のグレーディングよりも重要であるといえる。

注）足長が同じで足囲サイズ（ウィズ）が異なる場合、ウィズが1段階異なると足囲が6 mm 異なる。したがって、ウィズが E と B では足囲が 18mm 異なる。

第1軸の得点は甲の高さと高い相関をもつが、土踏まずの高さ、深さ、舟状骨のオーバーハング、スケルトンの後方屈曲角度とも低い相関をもち、これが表す形態は単純なもので

はない。扁平な足は甲が低いだけでなく、回内傾向があり、舟状骨が張り出して土踏まずが低くいという一連の傾向をもっている。

２．１．４．製品設計を考慮した分析

（１）形状データのモデル化について

形状データのモデル化については、２．１．１．節（２）で述べたが、そこで、「ｂ）製品設計や製品との適合に必要な体型分類に特徴点は、必ずモデルに含める」という留意点をあげた。たとえば、モデル化の目的が、２．１．１．節（２）の３）に示したような「頭骨の形態分布」という学術的なものであれば、モデル化はあくまでも解剖学的特徴点のみに基づけばよい。これに対して、２．１．１．節（２）の２），４）に示したように、「靴の適合性向上」「衣服の適合性向上」のような製品設計応用を目的としている場合には、人体形態と製品とのフィット性を左右するポイントや、あるいは製品の設計上欠かせないポイントをモデル化に考慮しなくてはならない。

２．１．１．節（２）の２）の足部形態モデリングでは、２つの点で靴設計応用を考慮している。第１は、ボール囲に相当する断面をモデリングに加えている点である。靴には既存の Sizing System があり、足長サイズ、足囲サイズが用いられている。足囲サイズとは、人体足部のボール囲周囲長のことであり、靴設計応用を踏まえた場合、このボール囲をモデルに組み入れることはきわめて重要である。第２は、足部座標系の定義である。足部モデルの座標系は、足底面をＸＹ平面とし、踵点をＸＹ平面に投影した点を原点、足幅の中央の点を通る軸をＸ軸、足部前方に向かう方向を正方向とした。これは、足と靴が踵で合わせられること、および足幅の中央を通る軸であれば、靴や靴型でも同等の定義ができることを考慮している。足部座標系のＸ軸として、第２指先端を通る軸を設定する場合もあるが、この定義では靴や靴型で同等の座標系を定義できなくなる。

２．１．１．節（２）の４）の体幹部モデリングでは、衣服設計との対応を考え、衣服の頸回り線、袖回り線に相当する、頸側点、腋窩点のような特徴点を加えている。このような特徴点は、骨の突出部位ではないため特徴点の同定も難しく、学術的・解剖学的な重要性もさほど高くないと考えられるが、衣服設計や衣服とのフィット性を考えた場合不可欠なポイントである。

（２）類型化について

以上３例にように、３次元形態の個体差を反映する散布図を描くことができる。たくさんの３次元形態を、似たものどうしを集めていくつかの群に類型化しようとするとき、散布図は役にたつ。図１２の頭骨の例では、11 個体の頭骨は現代人とネアンデルタール人に分かれ、現代人はインド人男性とそれ意外に分かれる。第３軸まで考慮すると、日本人男性とインド人女性が分かれる。このように、対象とした集団が均一でない場合は、明らかにグループに分かれるが、図１３の足部形態の例のように生物学的に均一な集団を対象と

する場合、散布図自体が明瞭な群を示すことはない。均一な集団では身長のような人体寸法は正規分布をし、明瞭な群に分かれることはないのと同様である。したがって、製品設計への応用を考えて類型化をする場合は、形態の個体差だけでなく、生産による制限（類型の数をいくつにしぼるか）や販売のための戦略（分布のどの範囲をターゲットにするか）が重要になる。

2．2．主要人体寸法と三次元形態を関連づける方法

前節で成人女子63名の足部形態を例として、3次元形態間の距離を定義し、複数の3次元形態の散布図を取得する方法について述べた。例に用いた63名以外の被験者がいるとき、厳密に言えば、3次元形態のモデル化、他個体との距離計算、多次元尺度分析等、すべての分析をしなければ、前節で得られた4つの互いに独立な3次元形態特徴量に基づくマップの中のどこにその被験者が位置するかを知ることはできない。一々このような作業をすることは、手間がかかるため現実的でない。そこで、最初の分析に用いた63名と同じ属性をもつ（ここでは成人女性）任意の被験者について、3次元形状を測らずに、簡便に測れる寸法などの項目からマップ上の位置を推定する方法論を開発した。

2．2．1．重回帰分析による推定

マップ上の位置を推定するとは、4つの互いに独立な3次元形態特徴量の得点を推定することに他ならない。寸法間の関係は一般に直線的なので、ここでは線形重回帰を用いた。項目選定の手順は以下の通りである。まず各特徴量と相関が高い項目をできるだけ多く見つける。ここでは、各軸の解釈に用いた項目を用いる。次に、ステップワイズ重回帰法により、これらの項目の中から各特徴量を推定するに最も適切な項目セットを選びだす。

サンプル数が、母集団を代表するに十分なだけあればこれだけの手順で済むが、63名の被験者は、足長が23.5 cm付近の日本人成人女子全体を代表するに十分とはいえない。サンプル数が少ない場合、サンプルの偶然の偏りのため、そのサンプルに最適化された推定式が、母集団全体にとってはうまく適合しない場合がある。このような、サンプルの偏りの影響をとり除くため、ブートストラップ法を用いることにした。ブートストラップ法とはコンピュータ統計学の一手法で、元のサンプルから仮想データ群を作り、それら仮のデータ全体の妥当性から、ある統計量の妥当性を評価することを目的としている。具体的には手持ちのサンプル（ここでは63名）から、重複を許して同じサイズ（ここでは63名）の仮想サンプルをランダムにたくさん抽出し、得られた多数の仮想サンプルから得られた統計量（回帰係数や相関係数など）の平均値を、求める統計量として用いる。仮想サンプルが非常に多ければ、それらの統計量の平均値は、母集団の統計量に近付くことが知られている（ダイアニコス・エフロン, 1983）。ここでは、ブートストラップ法を2段階に用いた（Mick, R. and M.J. Ratain, 1994）。具体的には以下の手順で分析をした。

1）手持ちサンプルから600のブートストラップサンプルを作る。
2）各サンプルについて、最初に選定した全項目を用いてステップワイズ重回帰分析を行う。
3）全項目の中から、50%以上（300以上）のサンプルで選ばれた項目を選択する。
4）手持ちのサンプルから新たに600のブートストラップサンプルを作る。
5）各サンプルについて、3）で選定した項目を強制投入した重回帰分析を行う。
6）600のサンプルについて得られた回帰係数の平均値を、最終的な係数とする。
重回帰分析はSPSSを用いて行った。

2．2．2．項目の選定

比較的簡単に計測できる項目として、以下の19項目を計測した。図16に各項目を示す。
1）足長
2）内不踏長：踵点から脛側中足点までの足軸への投影長
3）外不踏長：踵点から腓側中足点までの足軸への投影長
4）足先長：脛側中足点と腓側中足点を結ぶ線と足軸の交点から足先点までの足軸への投影長
5）甲の移行点長：踵点から甲の移行点までの足軸への投影長
6）足幅：脛側中足点と腓側中足点の距離
7）半足幅内：脛側中足点から足軸までの距離
8）半足幅外：腓側中足点から足軸までの距離
9）踵幅：踵点から足軸にそって足長の16%の位置で、足軸に直交するように測った幅径
10）足囲：脛側中足点と腓側中足点を通る周長
11）甲の移行点高：床面から甲の移行点までの高さ
12）外果端高：床面から外果下端までの高さ
13）内果端高：床面から内果下端までの高さ
14）外果高：床面から外果最凸点までの高さ
15）内果高：床面から内果最凸点までの高さ
16）ボール高：床面から脛側中足点と腓側中足点を通り床面に垂直な断面の最高点までの高さ
17）第1指側角度：足の輪郭図の内接線と母指接線が成す角度。母指の外反の程度を表す。
18）第5指側角度：足の輪郭図の外接線と小指接線が成す角度。小指の内反の程度を表す。
19）足首足軸示数：足の輪郭図に内果端点と外果端点の位置をおとし、内果端点位置から足軸までの距離の、（内果端点から足軸までの距離＋外果端点から足軸までの距離）に対する割合（%）。足首部の内側への傾斜の程度を表す。図16のa÷（a＋b）（%）。

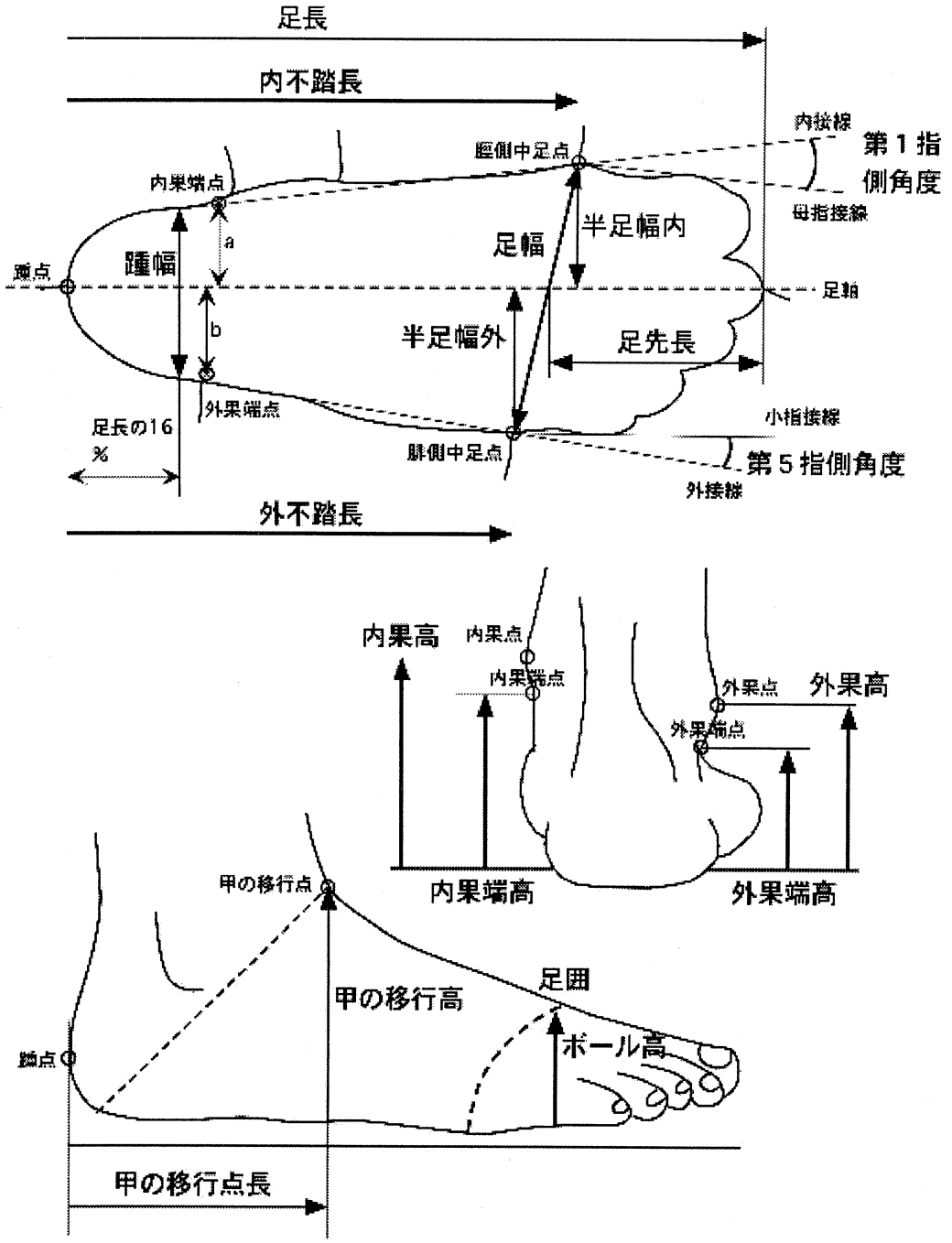

足長
内不踏長
内接線
第１指
側角度
母指接線
脛側中足点
内果端点
a
踵幅
踵点
足幅
半足幅内
足軸
b
半足幅外
足先長
外果端点
小指接線
足長の16
%
腓側中足点
第５指側角度
外接線
外不踏長
内果高
内果点
内果端点
外果点
外果高
外果端点
内果端高
外果端高
甲の移行点
足囲
甲の移行高
ボール高
踵点
甲の移行点長

図１６

3次元形状データは足長で基準化して用いたので、足長比（%）ないし寸法間の示数（%）および2つの角度項目の合計23項目を用いて、ブートストラップ法によるステップワイズ重回帰分析を行った。

1）内不踏長／足長
2）外不踏長／足長
3）足先長／足長
4）甲の移行点長／足長
5）足幅／足長
6）踵幅／足長
7）足囲／足長
8）内果端高／足長
9）外果端高／足長
10）内果高／足長
11）外果高／足長
12）甲の移行点高／足長
13）ボール高／足長
14）（内果高－外果高）／足長
15）（内果端高－外果端高）／足長
16）足幅／足囲
17）足先長／足幅
18）踵幅／足幅
19）不踏長比＝外不踏長／内不踏長
20）半足幅比＝半足幅内／半足幅外
21）足首足軸示数
22）第1指側角度
23）第5指側角度

分析の結果、4つの3次元形態特徴量それぞれについて、600のブートストラップサンプルのうち50%以上のサンプルで採択された項目は、以下のとおりであった。

形態特徴量1（尺度1得点）：5項目（図17）

外不踏長／足長　甲の移行点高／足長　ボール高／足長　外果端高／足長　足首足軸示数

形態特徴量2（尺度2得点）：4項目（図18）

踵幅／足長　甲の移行点長／足長　足先長／足長　内果高／足長

形態特徴量3（尺度3得点）：3項目（図19）

甲の移行点高／足長　足首足軸示数　（内果端高－外果端高）／足長

形態特徴量4（尺度4得点）：4項目（図20）

甲の移行点高／足長　甲の移行点長／足長　半足幅比　（内果端高－外果端高）／足長

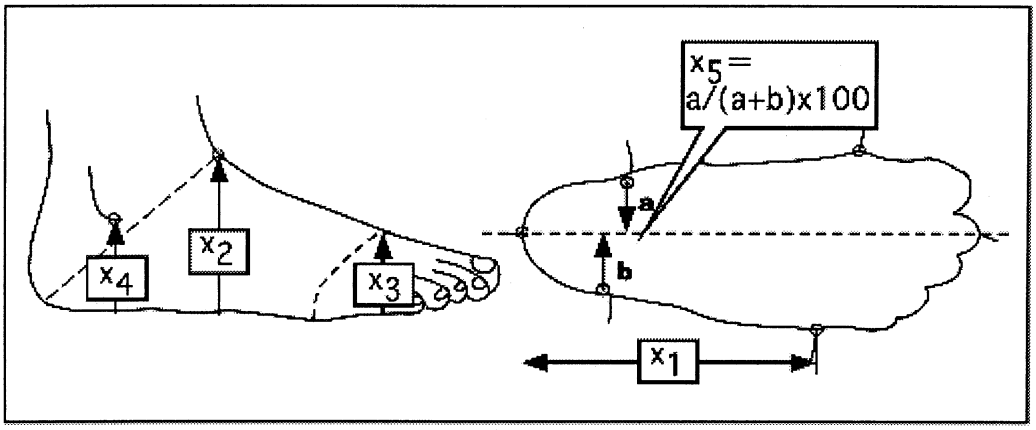


図１７

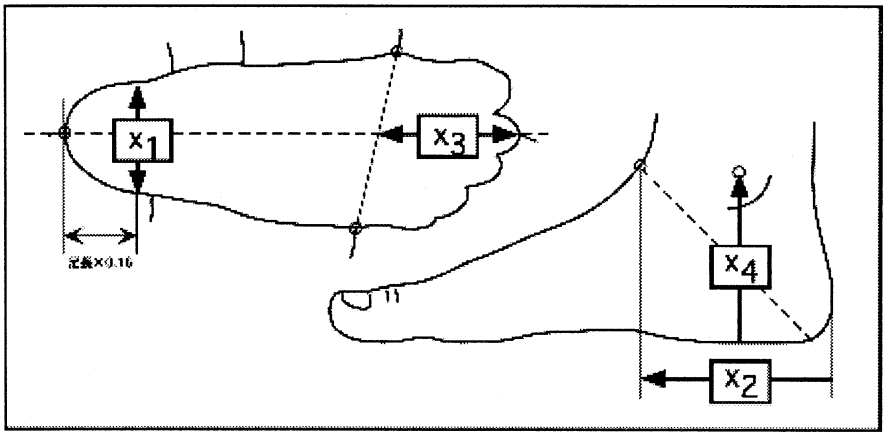


図１８

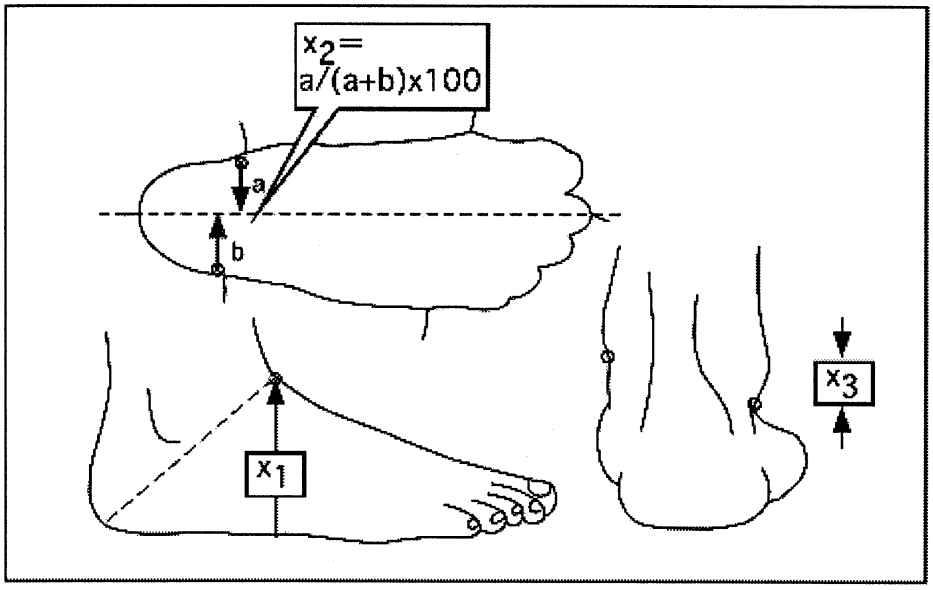


図１９

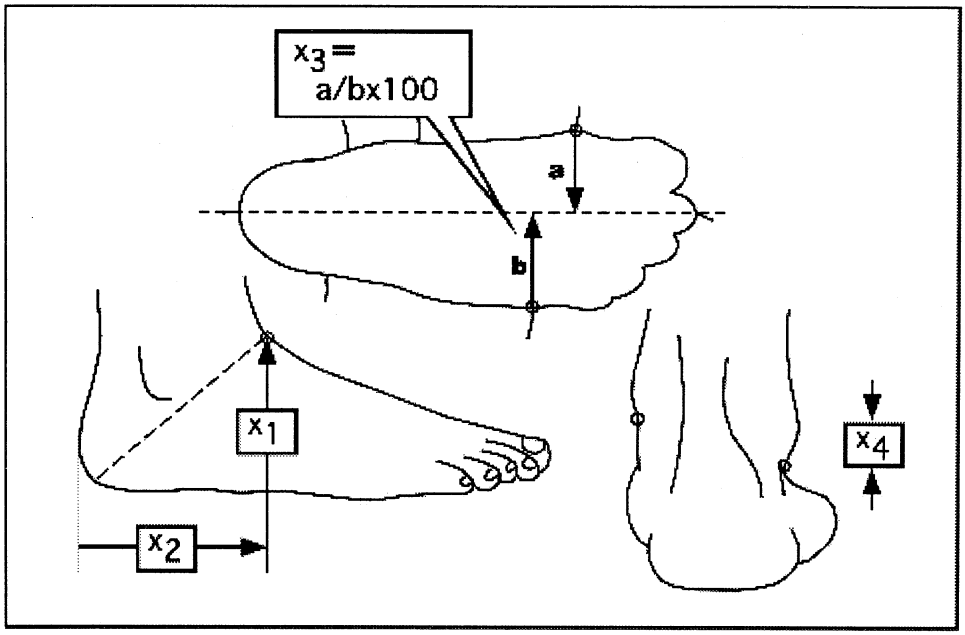


図２０

２．２．３．推定式

１．２．２で選定した項目を用いて、新しい 600 のブートストラップサンプルそれぞれについて強制投入方式の重回帰分析を行った。各項目に対する係数および定数の平均値を求め、最終的な推定式を求めた。得られた式は以下の通りである。

形態特徴量１（尺度１得点）＝0.1539×［外不踏長／足長］＋0.4414×［甲の移行点高／足長］＋0.1818×［ボール高／足長］＋0.1855×［外果端高／足長］－0.0607×［足首足軸示数］－26.8407

重相関係数＝0.92

形態特徴量２（尺度２得点）＝－0.1676×［踵幅／足長］－0.3301×［甲の移行点長／足長］＋0.3013×［足先長／足長］＋0.1574×［内果高／足長］＋3.5709

重相関係数＝0.86

形態特徴量３（尺度３得点）＝－0.2952×［甲の移行点高／足長］－0.1430×［足首足軸示数］＋0.2292×［(内果端高－外果端高）／足長］＋16.1077

重相関係数＝0.85

形態特徴量４（尺度４得点）＝0.0776×［甲の移行点高／足長］＋0.1844×［甲の移行点長／足長］＋0.0634×［半足幅比］＋0.1867×［(内果端高－外果端高）／足長］－16.6671

重相関係数＝0.86

重相関係数は 0.85～0.92 であり、推定精度は形態特徴量 1（尺度 1 得点）ではかなりよく、形態特徴量 2 ～形態特徴量 4 ではややよい。これらの式を使うことにより、3 次元形状を測ることなく、比較的容易に手で計測できる項目から、3 次元特徴量マップ上の位置を推定することができる。

謝辞

筑波大学体育系応用解剖学研究室の高井省三教授に現代インド人頭骨標本の、東京大学理学部人類学教室の木村賛教授に現代日本人頭骨標本の、東京大学博物館人類・先史部門の赤沢威教授に Amud 1 頭骨レプリカの使用許可をいただいたことを感謝する。また、人体体幹部の 3 次元形態データについては、文化服装学院形態機能研究所の伊藤由美子先生にご提供いただいた。深甚なる謝意を表する。

3．形状データの記述手法に関する研究開発

３．１　人体形状データ記述の背景

計算機の高速化が進む昨今、コンピュータグラフィクスの需要はますます高まっている。最近では、人体を仮想的に計算機上に表現し、服飾、寝具、乗り物の座席など人体にフィットする製品を対象とした試着あるいは設計のシミュレーションが実用化されつつある。これらの応用においては、精密な人体形状のデジタルデータを獲得することが要求されている。

形状データの獲得にはこれまでCAD等を利用した形状のモデリングが主流であった。しかし、人体のような自由曲面形状の場合は、非接触三次元計測器を用いて直接計測する方法がより有力である。このような計測器から直接得られるデータは、本来離散的な点群データである。このため、計算機上で点群データから物体表面を再構成する必要がある。

人体の三次元計測においては、データが欠損するという問題がある。大まかには、二通りの欠損の仕方がある。第一は、股下、腋下など姿勢によって非常に近接する場合である。二本の脚が一本の棒状の物体として計測される場合など、近接した箇所の計測は困難である。第二は、脚の裏、あるいは顎の下などにおいて、計測器の設置位置が原因で欠損が生じる。さらに、頭頂のように人体が近接していない箇所についても、かなり大きく欠損する場合がある。これまでは適当に再構成された表面に対し、人手で人体形状らしく復元していた。しかし、このための作業は非常に労力がかかるものであり、これらの作業の自動化、あるいは、半自動化による軽減が望まれていた。

点群データから物体表面を自動的に再構成する方法には、主に、曲面フィッティングを用いる方法と、ドロネー網を利用する方法とがある。曲面フィッティングは、点群データに対してパラメトリックに記述された曲面を当てはめることで、物体表面を近似的に表現する。曲面フィッティングには、B-Spline 曲面フィッティングや接平面による近似、Active Net の利用などの手法が提案されている。これらの手法では、物体表面の連続性などの幾何学的な性質を仮定して物体の形状を近似するため、精密な人体形状を獲得する目的には不適当である。

このような近似を用いない方法としては、三次元ドロネー網を用いて、点群の位置情報を保持したままポリゴンメッシュを構成することで表面を再構成する方法がある。ドロネー網はもともと二次元平面上で用いられる手法であり、これまで主に理論的な面での研究がなされてきたが、三次元空間内の点群にドロネー適用した従来研究もある。しかし、三次元空間中にドロネー網を作成すると、物体の内部に面を生成するという問題があることが分かっている。さらに、ドロネー網は注目点の近傍に存在する複数の点からポリゴンメッシュを構成するため、凹面領域が存在する形状の場合、凹面領域を埋めるポリゴンメッシュが構成される問題がある。

人体を対象とした場合、股下や直立姿勢の際の腋下などでこのような問題が生じる。Amentaらは、三次元ドロネー網の適用結果に対し、クラスト（外皮）と呼ぶ領域を抽出することでこの問題の解決を図った。しかし、この手法では、凹面領域において点群が密である必要があるため、一般的な点群データには利用できない。

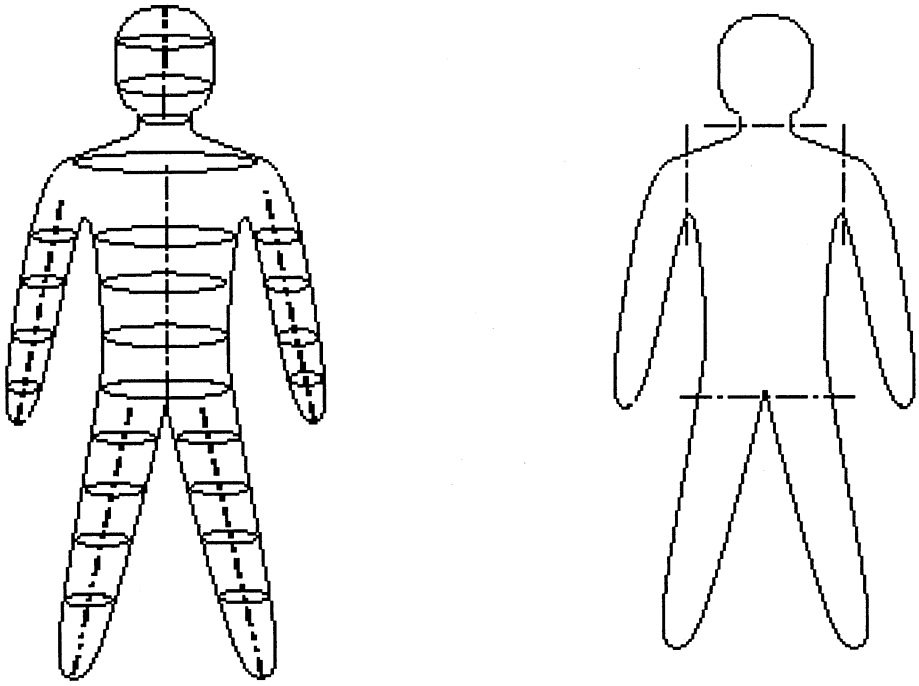
そこで、ここでは人体の構造を利用しながら二次元ドロネー網を用いて表面を再構成する手法を提案する。人体は手と足の指を考慮しないとすると、大まかに頭部・体幹部・四肢から構成されており、これらの形状はほぼ円筒形であるとみなすことができる。このような大きな部分をそ

れぞれ一つの体節とし、体節ごとに計測データのポリゴンメッシュを構成する。これによって股下、腋下などの箇所にも、本来存在しない表面を構成することはない。

ここでは、対象とする人体について、関節の位置や個々の体節の大まかな向きが既知であるとする。なお、関節の位置や体節の向きの情報だけは、マニュアルでオペレータが入力するとする。本報告書ではこのような体節への分割の情報については与えられるとし、このとき人体の点群データから二次元ドロネー網を用いて表面の再構成を行う手法を提案する。すなわち、体節ごとに適切な二次元平面に射影し、二次元平面上でドロネー網を用いてポリゴンメッシュを構成する。すなわち、各体節が円筒形に近いことを利用して、基本的に、体節ごとに点群データを円筒面に射影する。腕や脚の湾曲によって単一の円筒面に射影することが困難である場合には、自動的に複数の円筒面に分割する。また、体節の端部、あるいは三つ以上の体節が交わる部分(股下や肩)のように、円筒面の軸に対して垂直な面が存在する領域に関しては、半球面に射影する。射影した円筒面及び半球面を二次元平面とみなし、二次元ドロネー網を作成する。ドロネー網で獲得した二次元平面での各点の接続関係を元の三次元空間における各点の接続関係とすることで、表面形状を再構成する。

本報告書内では、さらに、このような表面の再構成を実現するための、人体の基準軸の設定、切断情報の入力インタフェース、人体形状記述のためのフォーマットについても述べる。

注) 当初の計画では人体三次元形状の類型化についても研究予定だったが、これは第2章で詳述されているためここでは割愛し、人体形状データの記述方法を中心に述べることにした。



(a) 全身の形状　　(b) 体節への分割

図21　人体形状と体節への分割

3．2　体形状記述方法の検討

3．2．1　人体表面形状の再構成

ここでは、人体形状を円筒で近似する場合の問題点を抽出し、解決方法の概略について述べる。

（1）人体表面形状の再構成の問題点

三次元点群データが表す物体形状が凹面を含む場合、三次元ドロネー網を用いて物体表面を再構成することにはいくつかの問題がある。ここでは対象を人体に限定する。人体の頭部・体幹部・四肢のように、およそ単一の円筒形に近い形状である部分をそれぞれ一つの体節と考え、体節と体節の切れ目の情報を与える。体節ごとに処理することによって、体節間に生じる凹面に対して本来存在しない表面を構成する問題を解決する。

各体節については、凹面が含まれることもあるが、基本的に点群が各体節の軸の周りに放射状に分布することを利用して、この問題を解決する。

対象とするデータには、三次元計測器から得られた、ほぼ直立姿勢の人体形状の点群データを用いる。計測器によっては複数方向からの計測結果が存在するが、複数方向からのデータは十分

位置あわせされているとする。さらに、各体節の大まかな向と位置が分かっているとする。さらに、多少の欠損があっても構わないとする。ここでは、位置に関しては、全身のデータを体節に分割したときの情報を用い、向きに関しては、人体の上下方向に近いと仮定した。

図 21(a)に示すように、人体は大まかに頭部、体幹部、四肢から成る。各体節の表面は、円筒面に近い形をしており、それぞれ主軸の周りに分布する。ここでは一つの体節を一つの円筒状であるとみなすことのできる最小限である、頭部、体幹部、四肢の六つの体節に分割する(図 21 (b) 参照)。

分割した各体節の点群データを円筒面に射影し、二次元ドロネー網を作成することでポリゴンメッシュを構成する。ドロネー網は点間のユークリッド距離(以下、単に距離とよぶ)の大小関係から求まる位置関係をもとに構成される。このため、ドロネー網から正確なポリゴンメッシュを構成するためには、三次元直交座標系における点間の位置関係が、射影後も保存される必要がある。

しかし、体節に対して単一の軸を設定できない場合や、軸を設定しても位置関係を保存した射影が不可能な場合がある。第一に、各体節は必ずしも直線状ではない。例えば四肢は、膝、肘、手首、足首のような可動部分をもち、ほぼ直立姿勢をとったときでさえ、かなりの湾曲を含む。ここでは、直線の軸から、折れ線状の軸に拡張することで、この問題を解決する。

第二に、三つ以上の体節が交わる部分(例：首から肩にかけての部分)と体節の端部に関しては、射影する円筒面の軸に垂直な面が存在するため、位置関係を保存して円筒面に射影することが不可能である。これに対しては、図 22 に示すように、円筒面の両端において半球面への射影を併用することで、この問題を解決する。

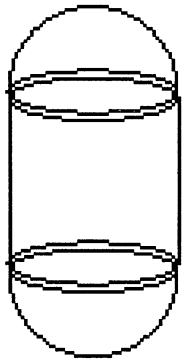
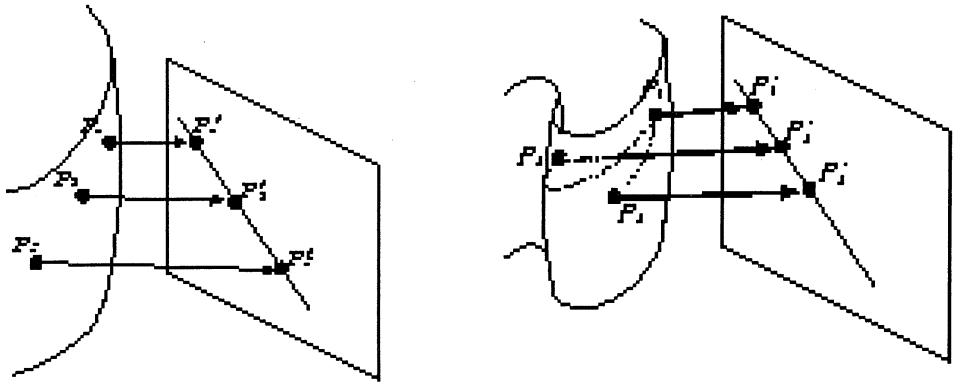


図 22 射影する円筒面および半球面



(a) 必要条件を満たす射影　　(b) 必要条件を満たさない射影

図 23　射影の制約条件

（2）　二次元射影の制約条件

円筒面射影のための条件を明らかにした上で、この条件を満たさない場合の解決方法について説明する。

点群が円筒状に分布すると仮定した場合、近傍の 3 点

P1 (x1, y1, z1)、*P2 (x2, y2, z2)*、*P1 (x3, y3, z3)* に関して以下の条件を満たす必要がある。

*P1*が *P1'(u1, v1)* に、*P2*が *P2'(u2, v2)*に、*P3*が *P3' (u3, v3)*にそれぞれ射影されるとする

(ここでは *XYZ*三次元座標系との混同を避けるため、*UV*二次元座標系を用いる)。

射影した平面上で三点 *P1'*、*P2'*、*P3'*が同一直線上にあるとする。このとき、以下の必要条件と十分条件が成立する。ある物体表面上の点 *P*、*Q*について、*LS(P, Q)* は、表面距離とする。

【必要条件】（図 23(a)）

LS(P1 P2)>LS(P1 P3) ならば *P1'P2' > P1'P3'* である。

【十分条件】（図 23(b)）

常に *LS(P1 P2) × P1'P3' = P1'P2' × LS(P1 P3)* が満たされる

さらに、この必要条件を満たすためには、点群が円筒状に分布しているとすると、以下の条件を満たせばよい。以下では、この必要条件を「射影の条件」と呼ぶ。

【円筒面投影の場合の必要条件】

点群の任意の一点と射影した点を結ぶ線分は、対象とする形状の表面を貫かない。

すなわち、データ点と射影した点を結ぶ線分が対象とする形状の表面を貫く場合、射影する点と貫いた表面の点との距離に基づく位置関係が逆転し、前述の必要条件を満たさないからである。

人体の場合、頭部・体幹部・四肢の六つの体節に分割することで、基本的には、この射影の条件を満足する円筒面に射影することが可能である。しかしながら、腕部、脚部などは、湾曲により射影の条件を満足する軸を設定することができない場合がある。また、股下や肩など円筒面の軸に対して垂直な面が存在する領域では、そもそも円筒面に射影することが困難である。

本手法では、これらの二つの問題を解決するために、それぞれの問題に対応した二つの手法を用いる。

湾曲の問題に対しては、射影する円筒面の軸を折れ線に拡張し、複数の円筒面に射影する。股下や肩の部分に対しては、円筒面ではなく半球に射影することで、距離に基づく位置関係が保存される二次元平面への射影を行う。

（3） 手法の概要

まず、レンジセンサ等で計測された人体表面の点群データを各体節に分割する。ここでは直立姿勢をとっているので、下から上への向きをZ軸正方向とし、正面方向をX軸正方向とする三次元直交座標系を用いる。以下のそれぞれの体節間を平面で分割する。

- 頭部と体幹部の接合部
- 体幹部と左腕部の接合部
- 体幹部と右腕部の接合部
- 体幹部と左脚部の接合部
- 体幹部と右脚部の接合部

頭部及び脚部はXY平面に平行な平面で、腕部はXZ平面に平行な平面で分割する。これらの平面はユーザがマニュアルで与える。

次に、分割した各体節に対してポリゴンメッシュの構成を行う。ポリゴンメッシュの構成は以下のように行う。

① 各体節の点を円筒面または半球面に射影する。
   (a) 単一の円筒面への射影が困難な場合には複数の円筒面に射影する。
   (b) 体節の端が閉じている場合にはその部分を半球に射影する。
② 射影した円筒面及び半球面を二次元平面と見なし、射影された点に対して二次元ドロネー三角網を作成する。
   (a) 円筒面への射影の場合は、射影後の点を、三次元円筒座標を用いて (r, θ, h) と表し、このうちの θ 成分と h 成分から成る二次元平面においてドロネー網を作成する。
   (b) 半球面への射影の場合は、射影後の点を、三次元極座標を用いて (r, θ, ϕ) と表し、このうちの θ 成分と ϕ 成分から成る二次元平面においてドロネー網を作成する。
③ ドロネー三角網から得られた点の接続関係を、もとの点の接続関係とすることで三角ポリゴンメッシュを構成する。

3．2．2　円筒射影とドロネー網を用いたポリゴンメッシュの構成法

ここでは本手法の基本となる円筒への射影によるポリゴンメッシュの構成法について説明する。

(1)　円筒射影

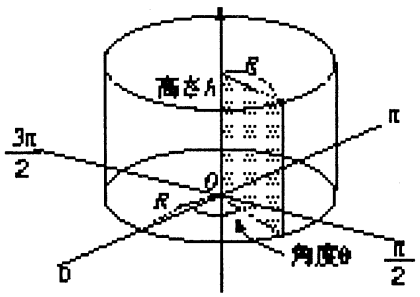
1）円筒軸の位置決め

まず、射影する円筒面の軸を決定する。これまで述べた通り、円筒の軸は再構成する表面を貫かないことが必要である。この条件を満たすように、以下の方法を用いて軸の位置を求める。まず、初期的な軸を適当に選ぶ。ここでは人体の鉛直方向に設定した。そして、軸から各点までの距離ができるだけ均一になるように、軸を求める。

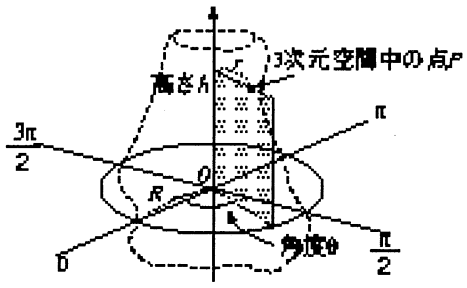
2）二次元平面への展開

決定された軸をもとに点群データを円筒面上に射影する方法を述べる。
各点を軸方向の成分 h (以後、この方向を「高さ」と呼ぶ)と軸からの距離 r 、及び軸に垂直な平面における角度成分 θ $(0 \leqq \theta < 2\pi)$ からなる三次元円筒座標 (r, θ, h) で表す (図 24(a))。角度 $\theta=0$ の方向は適当に与えた。

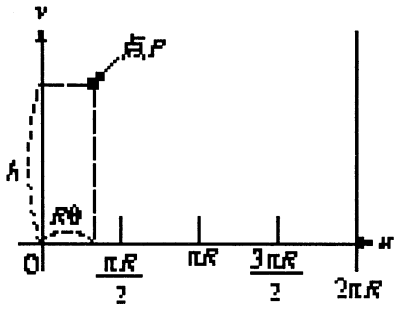
このうちの r を、射影する円筒面の半径 R にしたものが円筒面に射影した点となる (図 24(b))。射影された円筒面上の各点を $u=R\theta$、$v=h$ とする二次元座標で表す (図 24(c))。この射影によって、三次元空間中のポリゴンメッシュの構成は、二次元のドロネー網を作成する問題に帰着する。



(a) 三次元座標



(b) 円筒面への射影



(c) 二次元平面上の座標

図 24　円筒射影と二次元平面上の座標

（2）　ドロネー網の作成

1）ボロノイ図とドロネー網

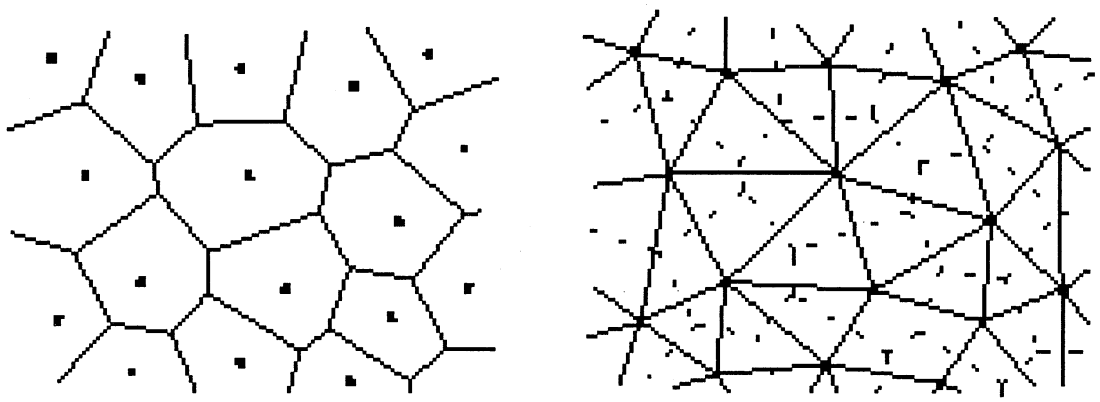
二次元平面上に存在する点群に対するボロノイ図とドロネー網について説明する。

ドロネー網を構成する点群 $Pi=(ui, vi)$ を母点と呼ぶ。

各母点の勢力圏 $V(Pi)$ を、

$V(P_i) = \{P=(u, v) \mid d(P, P_i) < d(P, P_j),\ \forall\, i \neq j\}$

で定義する。ただし、$d(P, P_i)$は点 P と点 P_iの距離を表す。すなわち、母点 P_i からの距離が他の点からの距離よりも小さくなるような点 P の集合が母点 P_i の勢力圏である。平面をこの勢力圏で分割したものがボロノイ図である。一方、ボロノイ図の隣接領域の母点間を結び、グラフ表現したものがドロネー網である。



(a) ボロノイ図　　(b) ドロネー網

図 25　ボロノイ図とドロネー網

また、ドロネー網は次の二つの原理を満たす。

- **外接円原理**

ドロネー三角網を構成する各要素三角形の外接円内に他の母点が入らない。

- **最小角最大化原理**

他のいかなる組み合わせで母点を繋いでも、構成される三角網内における全三角形中の最小角の大きさは、ドロネー網のそれより大きくない。

2）ドロネー網の構成法

ここでは母点を一点ずつ追加してドロネー網を構成する、母点逐次追加法を簡単に説明する。

(a) 初期ドロネー三角形

母点逐次追加法は、既に存在するドロネー網に対して母点を追加し、ドロネー網を更新する手法である。従って処理に先立ち、初期ドロネー網を与える必要がある。

母点を n 個とし、$k = 1, 2, 3, \cdots, n$ として、

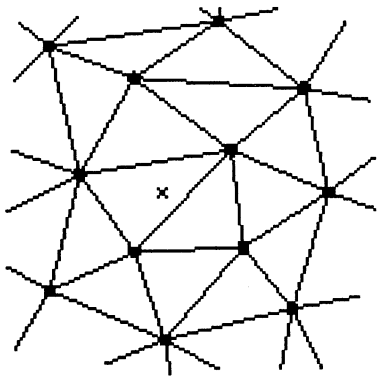
$u_{min} \leqq u \leqq u_{max}$,

$v_{min} \leqq v \leqq v_{max}$,

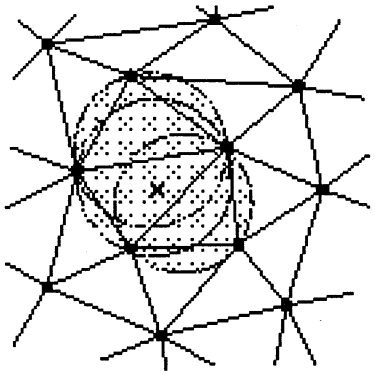
$u_{min} > \forall u_k,\ u_{max} > \forall u_k$,

$v_{min} > \forall v_k$, $v_{max} > \forall v_k$,

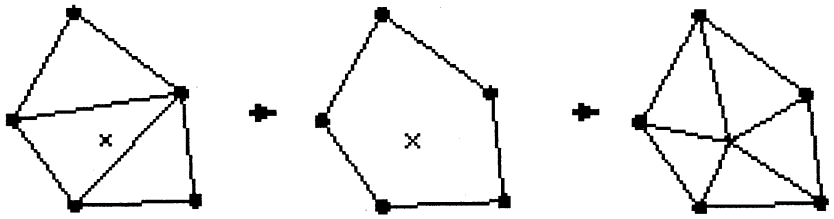
となる u_{min}、u_{max}、 v_{min}、 v_{max} を設定する。
このとき4点P1 (u_{min}, v_{min})、P2 (u_{min}, v_{max})、P3 (u_{max}, v_{min})、P4 (u_{max}, v_{max}) を用いて、三角形P1 P2 P4 と 三角形P1 P4 P3 から構成される初期ドロネー網を与える。



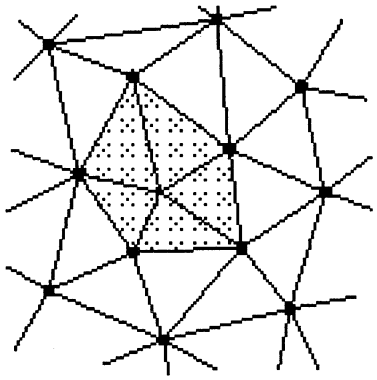
(a) 母点の追加



(b) 三角形の抽出



(c) 該当領域の更新



(d) 更新結果

図26 ドロネー網の更新

(b) 母点の追加

以下の手順でドロネー三角網を更新する。

(i) 母点を追加する（図 26(a)）。

(ii) 追加点を外接円内部に含む全ての三角形を抽出する（図 26(b)）。

(iii) (ii)で抽出された三角形を統合して一つの多角形を形成する。多角形の各辺と追加点によって三角形群を構成する（図 26(c)）。

(iv) 元のドロネー三角網中の 2.で抽出された三角形の部分を、(iii) で得られた三角形群に置き換える（図 26(d)）。

実際には、(ii)の処理は既に存在する全ての三角形に対して判定計算をするのではなく、母点の存在する近傍の三角形に対して判定計算をする。このため、母点を外接円内に含む三角形を定数時間で抽出可能である。また、(iii)、(iv) の処理も一定の計算量で実行できるので、母点を一点追加するのに要する計算量は一定である。

（3） 円筒射影した点に対するドロネー網作成

円筒射影によって作られた二次元平面は、本来円筒の表面を表すものであって、
$\theta=0$ と $\theta=2\pi$ は同じ位置を表す。しかし、これまで述べたドロネー網はこの連続性を失っている（図 27(a)参照）。そこで以下の手順でこの連続性を回復する。

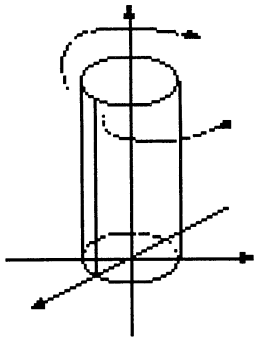
(i) 角度成分 θ が 0 に近い点（$0 \leqq \theta < \theta 0$、$\theta 0$ は定数)は、θ 成分に 2π を加えた位置に新たに母点を追加する。また、θ 成分が 2π に近い点（$2\pi - \theta 0 < \theta \leqq 2\pi$）については、$\theta$ 成分から 2π を減らした位置に母点を追加する (図 27(b)参照)。

(ii) 追加した母点を含めてドロネー網を作成する（図 27(c)）。

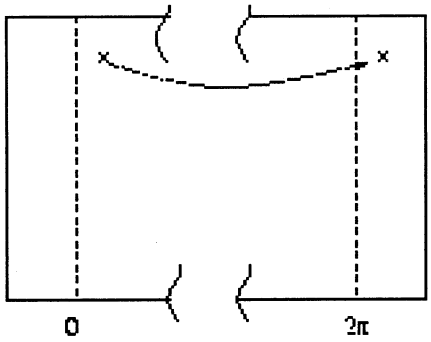
(iii) 構成された三角形で、3 頂点のうち 2 つ以上の頂点が、 (i) で追加された点である。

(iv) 三角形を削除する(図 27(d)参照)。

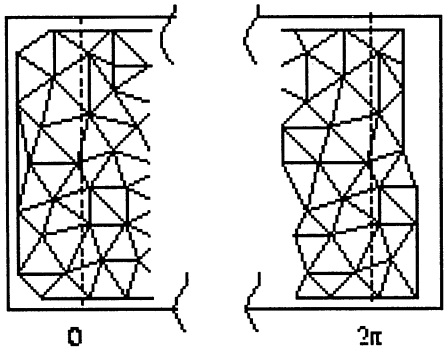
まず (i) によって、角度成分 0 付近と角度成分 2π 付近の点の位置関係を復元する。つづいて(ii)でそれらに対してドロネー網を作成することで点の接続関係を構成する。その際、0 付近および 2π 付近で重複して作成している三角形を(iii)で削除する。作成した点の接続関係をもとの三次元空間中の点に適用することで、三角ポリゴンメッシュを構成する。これらの処理により、円筒上にドロネー網を作成することができる。



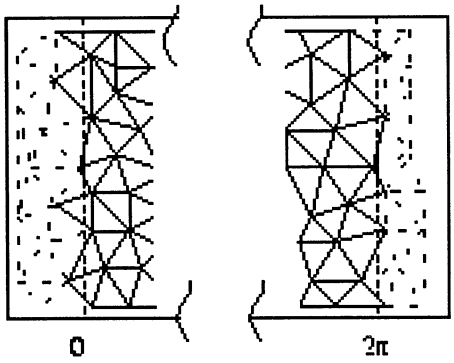
(a)



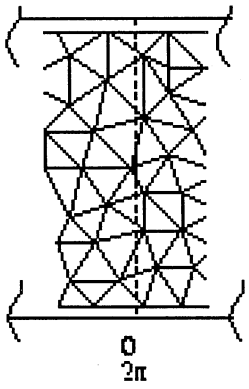
(b)



(c)



(d)



(e)

図 27　円筒への適用

（4）　円筒射影の軸の取り方

軸が前述の射影の条件を満たす場合、円筒射影及ドロネー網を用いて点群から表面を再構成することができる。ドロネー網は点間の距離関係に基づいて構成される。しかし、三次元空間中の点群を二次元平面に射影した場合、点間の距離関係は変化する。ここでは、二次元射影の際、距離関係が変化する条件について考察し、円筒面の軸の取り方と、点間の距離関係の変化との関係について求める。

簡単のため、三次元空間中に次のような4点 $Pi(xi, yi, zi), (i = 1, 2, 3, 4)$が存在する場合について考える。このとき、図28(a)に示すと通り、$P1(0, 0, 0)$、$P2(x2, 0, z2)$、$P3(x3, 0, z3)$、$P4(x4, y4, 0)$，$x2 = x3 < x4$ とし、三角形 $P1P2P3$、三角形 $P2P3P4$ はそれぞれ一辺 l の正三角形であるとする。このとき、

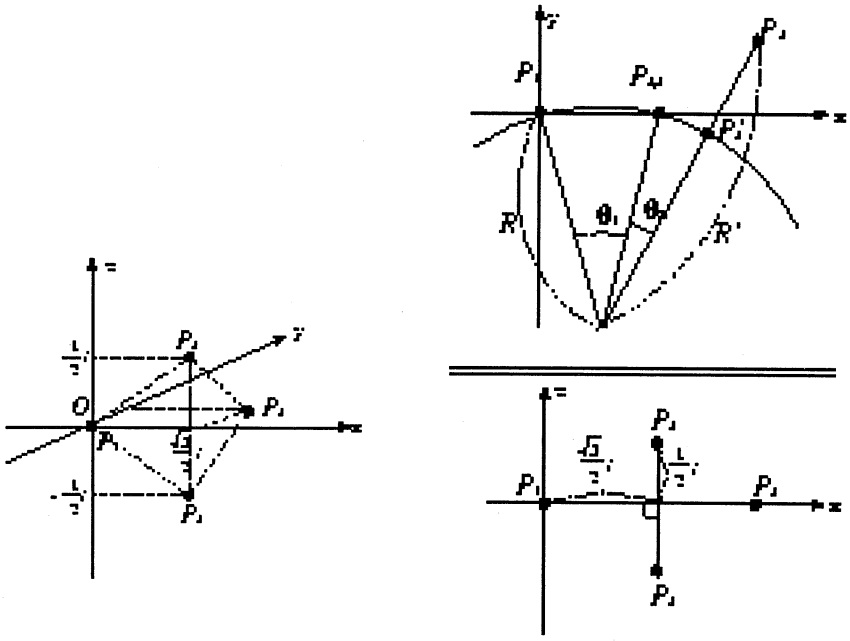
$$x2 = x3 = \frac{\sqrt{3}}{2}l$$

$$z2 = \frac{l}{2}$$

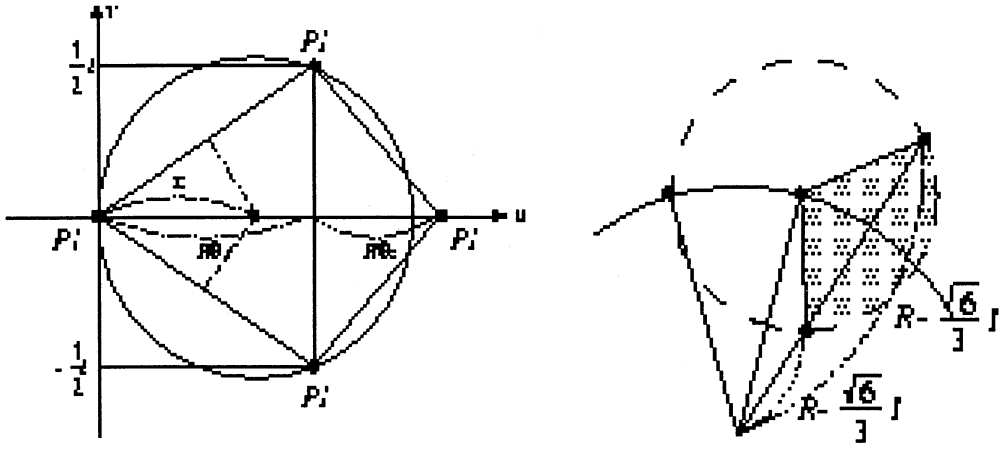
$$z3 = -\frac{l}{2}$$

である。この4点 $P1$、$P2$、$P3$、$P4$ を円筒面に射影しポリゴンメッシュを構成する。

今、ポリゴンメッシュの辺の長さができるだけ均一なポリゴンメッシュが望ましいと仮定する。このとき、三次元空間中で距離 $P1\ P4$ 距離よりも距離 $P2\ P3$ の方が短いことから、三角形 $P1\ P2\ P3$ と三角形 $P2\ P3\ P4$ の二つの三角形でポリゴンメッシュを構成することが望ましい。



(a) 三次元空間中の四点　　(b)軸の決定



(c) 外接円　　(d) 外接円の外になる条件

図 28　射影する円筒とポリゴンメッシュ

まず射影する円筒の軸を定める。軸に対し、3 点 *P1*、 *P2*、 *P3* からの各々の距離（下ろした垂線の長さ）が全て等しい位置に軸を取る。図 28(b)に示す通りこの距離を *R* とし、残りの一点 *R4* と軸との距離を *R'* とする。さらに、射影する円筒の半径を *R* とする。点 *Pi (i = 1, 2, 3, 4)* をこの円筒面へ射影し、さらに二次元平面へ展開した点をそれぞれ *Pi' (i = 1, 2, 3, 4)* とする。このとき、*Pi'* を原点とする二次元直交座標系において、射影した各点の座標が、*P1' (0, 0)*、*P2' (Rθ1, l/2)*、*P3' (Rθ1, -l/2)*、*P4' (R(θ1+θ2), 0)* となるとする。この二次元座標をもとにドロネー網を作成する。

望ましいポリゴンメッシュを構成するためには、*P2'* と *P3'* を結ぶドロネー網を作成しなければならない。このためには、前述の「外接円の定理」により、三角形 *P1' P2' P3'* の外接円が点 *P4'* を含まなければ良い。外接円の中心は各辺の垂直二等分線の交点であることから、半径 *r* は、

$$r = \frac{R^2\theta_1^2 + \frac{l^2}{4}}{2R\theta}$$

と求まる。三角形 *P1'P2'P3'* の外接円内が点 *P4'* を含まないための条件は、

$$R(\theta_1 \div \theta_2) \rangle\ 2\times\frac{R^2\theta_1^2 \div \frac{l^2}{4}}{2R\theta_1}$$

であり、このとき辺の長さが均一なポリゴンメッシュを構成することができる（図 28(c)）。

θ1 が十分小さい場合、$R\theta_1 \cong \frac{2\sqrt{3}}{3}l$ であることから、

$$R(\theta_1 \div \theta_2) \;\rangle\; 2\times\frac{\frac{3l^2}{4}\theta_1^2 \div \frac{l^2}{4}}{\sqrt{3}l}$$

$$\cong \frac{2\sqrt{3}}{3}l$$

$$R\theta_2 \;\rangle\; \frac{\sqrt{3}}{6}l$$

である。ところで、点*P4*は、点*P2*、*P3*、*P4*を頂点とし、一辺 *l* の正三角形をなす位置に存在すると仮定した。$\theta 2$ が上の条件を満たすには、R' に関して以下の条件が必要となる（図28(d)）。

$$R - \frac{\sqrt{6}}{3}l \;\langle\; R' \;\langle\; R + \frac{\sqrt{6}}{3}l$$

つまり、近傍に存在する4点に関して、射影する円筒の軸からの距離が一定であるほど均一なポリゴンメッシュが構成できる。逆に、射影する円筒の軸からの距離が異なる場合、三次元空間中での距離関係が射影によって変化し、均一なポリゴンメッシュを構成できなくなる。

ここまで特別な配置の4点について示したが、近傍に存在する任意の4点についても同様のことが成り立つ。よって、辺の長さがなるべく均一なポリゴンメッシュを構成するには、全ての点に関して射影する円筒の軸との距離が均一になるように軸を取れば良い。

3．2．3　円筒射影の人体への適用

人体の再構成の過程では、人体を円筒状の各体節に分割するが、湾曲した腕部や脚部などは単一の円筒に射影することが困難な場合がある。また、体節の端部あるいは3つ以上の体節が交わる部分（股や肩）は制約を満たすように円筒に射影することができない。本節ではこのような体節に対する表面の再構成法について述べる。

（1）　複数の円筒への射影

腕や脚など体節が湾曲している場合、適切な一本の直線軸を決めることができない場合がある。この問題を解決するために、ここでは、軸を複数の連続した直線である線分（折れ線）に分割する。そして、各線分を軸とするそれぞれの円筒面を考え、適切な円筒面への射影となるように、体節を再分割する。再分割された各々の体節について、これまで述べてきた手法によるポリゴンメッシュの構成を行い、その結果を統合することで一つの体節のポリゴンメッシュを構成する。

これまでの議論から、円筒面の軸が、(1)点群が表す内側に位置する必要があり、(2)点群と円筒面の軸との距離がほぼ等しいことが望ましいということが得られた。

以下ではこれに基づいて軸を適切な折れ線で表すことにより、点群が属する体節を複数の部分に分割する。

(i)　まず、体節全体に対して一本の軸を求める（図 29(a)）。

(ii)　体節を再分割する。すなわち、(i)で取った軸に対して垂直な平面を用いて適当な N 個の部分(これを部分体節と呼ぶ)に分割する。各部分体節に対して軸を設定する。軸は部分体節の断面領域の重心を結ぶ直線を用いる（図 29(b)）。

(iii)　部分体節のうち、体節の一方の端に位置する部分体節に関して、点群中の各点から軸までの全ての距離が閾値以上であったら、隣接する部分体節と併合した後、再び軸を設定する。閾値以下である点が存在したら（軸とデータ点が近づいたら）そこまでを一つの部分体節として、次の部分体節に対して同様の処理を行う（図 29(c)）。但し、閾値は部分体節のデータ点と軸との距離の平均の *1/T* とする（図 29(c)）。

(iv)　手順(iii)を各部分体節に対して行う（図 29(d)）。

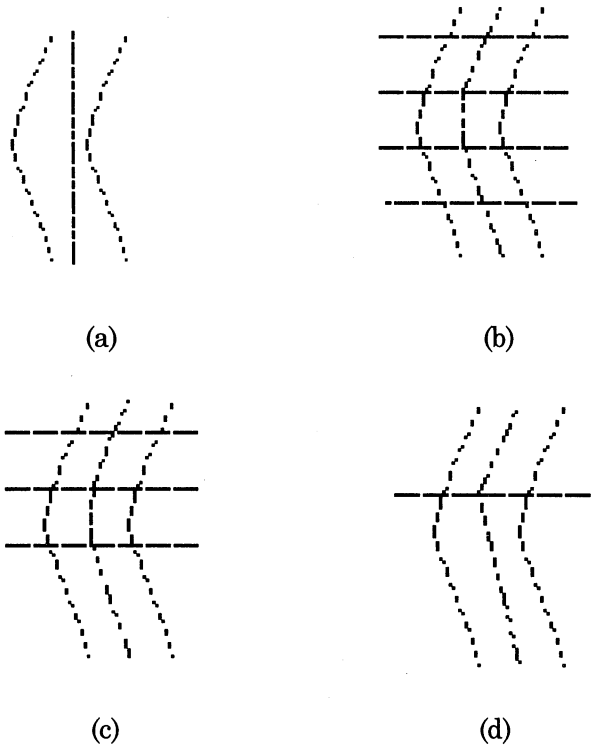


図 29　複数軸の決定

分割した各部分体節に属する点を、その部分体節に設定した軸をもとに円筒に射影する。そして、それぞれの部分体節で独立にポリゴンメッシュを構成する。ポリゴンメッシュの構成はこれまで述べた手法を適用する。

（2）　複数の円筒射影を用いた表面の再構成

分割した各部分体節に対してポリゴンメッシュを構成すると、各部分体節が独立したポリゴンメッシュを構成し、部分体節間の接続が失われる。このため、部分体節間を接続するポリゴンメ

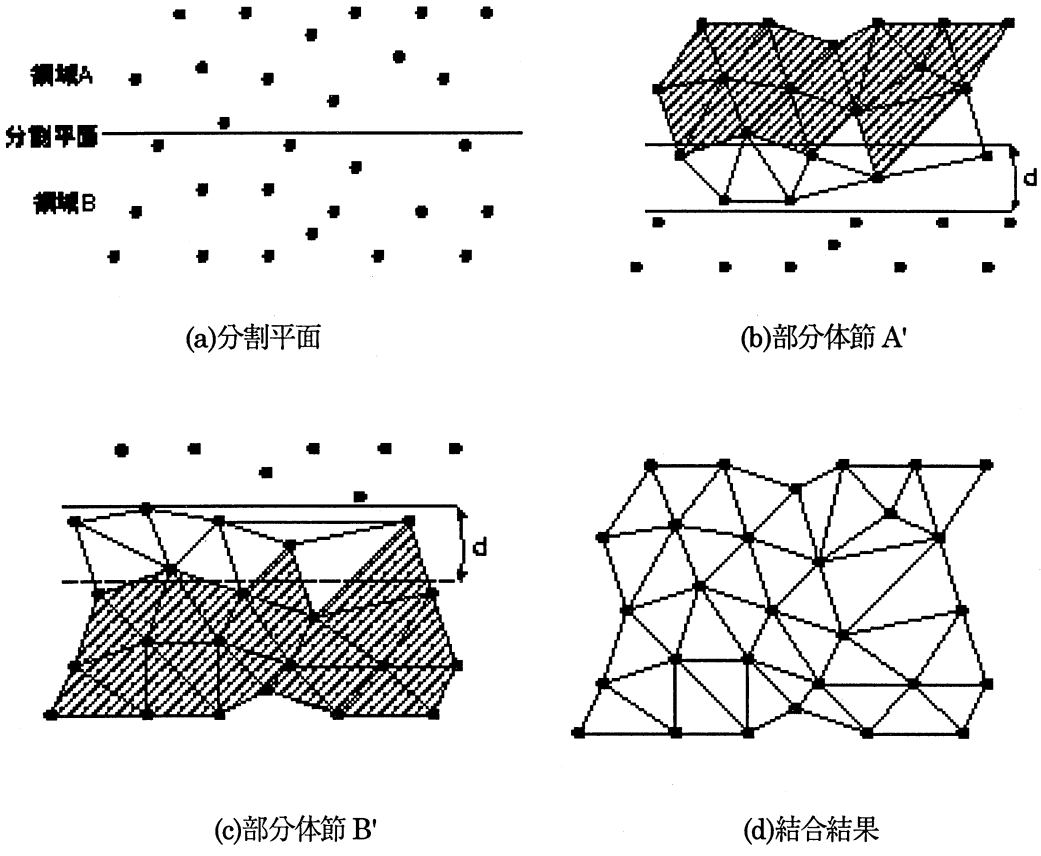
ッシュを構成する必要がある。そこで、二次元平面上に作成したポリゴンメッシュを円筒にする際に用いた手法と同様の手法を取る。具体的には以下の手順で行う。

(i) 分割した平面の両側にある2つの部分体節を部分体節A、部分体節Bとする（図30(a)）。

(ii) 部分体節Aに、部分体節Bから、分割平面からの距離がd以下である点を加え、部分体節 A'とする。部分体節 A'に含まれる点に対してポリゴンメッシュを構成する（図30(b)）。

(iii) 部分体節Bに対しても同様に、分割平面からの距離がd以下である部分体節Aの点を加え、部分体節B'とする。部分体節B'に含まれる点に対してポリゴンメッシュを構成する（図30(c)）。

(iv) 部分体節 A'において、ポリゴンメッシュの三頂点のうち二つ以上がもとの部分体節 Aに含まれていたものを残して、それ以外のポリゴンメッシュを除去する。部分体節B'に対しても同様に、三頂点のうち二つ以上がもとの部分体節Bに含まれていたものを残して、それ以外のポリゴンメッシュを除去する（図30(d)）。



(a)分割平面　(b)部分体節A'

(c)部分体節B'　(d)結合結果

図30　分割した部分体節の結合

（3）　半球面への射影

体節の端部や 3 つ以上の体節が交わる部分(肩、股下)では、そもそも円筒射影をすることが困難である。これらの領域については半球面に射影することで、射影の条件を満たすことができる。

半球面に射影する必要があるのは、分割した体節の端部である。このため、まず前節の手法で体節を分割する。分割した部分体節のうち、体節の両端の部分体節に対して半球面へ射影する必要があるかを判定する。判定は以下の方法を用いる。

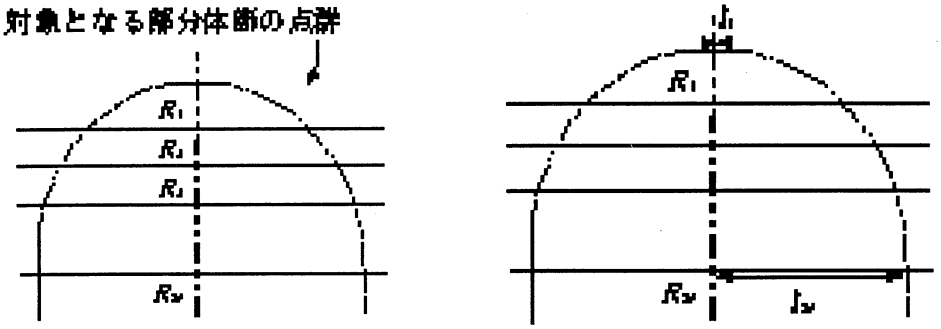
(i)　前節のアルゴリズムにおける手順(ii)で得られた部分体節のうち、体節の端部にあたるものを軸に垂直な平面で M 個の部分に分割する（図 31(a)）。

(ii)　分割された M 個の部分のうち、最も体節の端に近い部分 $R1$ に含まれる点と軸との距離の最小値を $l1$ とする。また、最も遠い部分R_Mに含まれる点と軸との距離の最小値を lM とする（図 32(a)）。

(iii)　$l1$ が lM の a 倍以下であったらその部分体節は閉じていると判断し、半球面に射影する。a 倍以上であったらその部分体節は閉じていないと判断し、円筒に射影する。

半球面への射影は以下のように行う。まず半球に射影する部分体節に対して原点 O および座標軸を設定する。原点 O は、対象となる部分体節の全ての点からの距離が可能な限り均一になるような点にとる。座標軸は、Z 軸を部分体節に対して決定した軸の方向、X軸及び Y軸は Z軸に垂直な方向とする。

半球はこの座標系の XY平面を底面とする（図 32 (a) ）。原点 O を中心とした半球面上に各点を射影する。射影する位置は中心とデータ点を結ぶ線分と半球表面との交点である（図 32 (b) ）。データ点 $P(x, y, z)$ を三次元の極座標 (r, θ, ϕ) で表す（図 32 (c) ）。θ成分と ϕ成分とから成る二次元平面においてドロネー網を作成し、その接続関係から表面形状の三角ポリゴンメッシュを構成する。隣接する部分体節との間のポリゴンメッシュは、前節と同様の手法を用いて構成する。



(a)　部分体節の分割　　(b)最小値の算出

図 31　半球面射影の判定

半球射影及び円筒射影を組み合わせて、点群データからポリゴンメッシュを構成するアルゴリズムを説明する。

(i) 初期的な軸の決定

点群データに対して軸から各点までの距離が可能な限り均一になるように初期的な軸を決定する。

(ii) 分割

体節を部分体節に分割する。ポリゴンメッシュの結合を考慮して部分体節は互いに重なるようにしておく。

(iii) 射影する面の選択

体節の端に位置する部分体節に対して、点と軸との距離から、その部分体節を円筒に射影するか半球面に射影するかを判定する。

(iv) 二次元射影

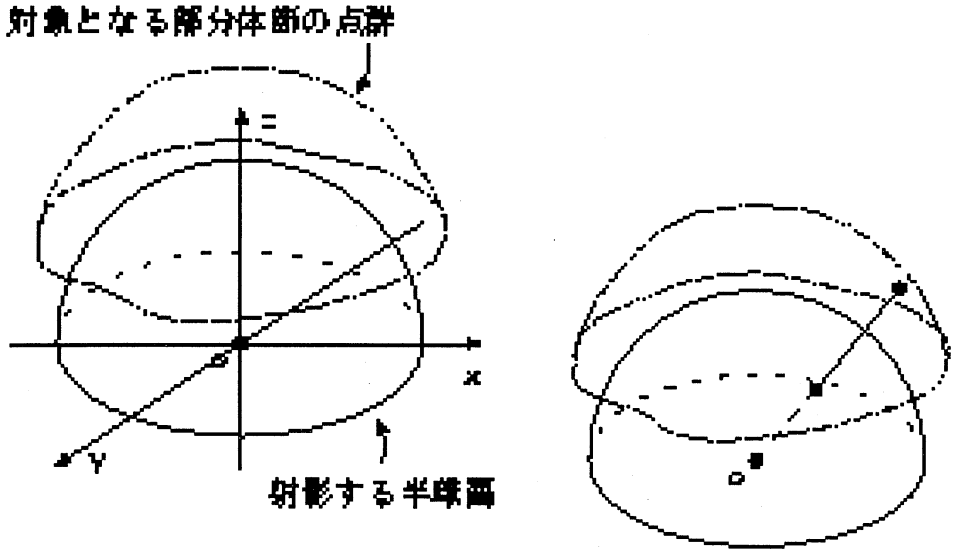
それぞれの部分体節を二次元平面に射影する。体節の端に位置しない部分体節は円筒に射影し、端に位置する部分体節は(iii)で決定した面に射影する。

(v) ポリゴンメッシュの構成

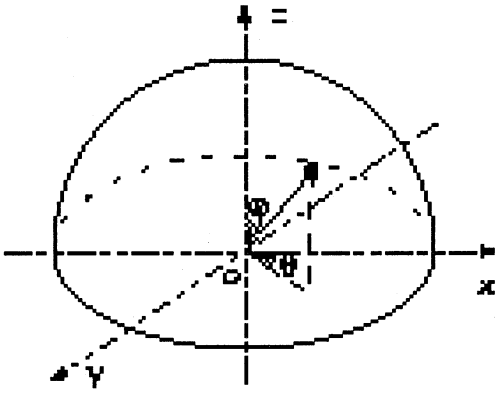
射影した二次元平面上でそれぞれドロネー網を作成する。

(vi) ポリゴンメッシュの結合

前述と同様の手法を用い各部分体節を結合し、表面形状を再構成する。



(a) 座標軸　　(b) 半球面への射影



(c) 二次元座標の決定

図 32　複数軸と半球射影を組み合わせた表面の再構成法

3．2．4　シミュレーション実験による検証

レーザーレンジファインダによって実計測された人体形状の点群データに対し、本手法を適用することで、各体節の表面を再構成する実験を行った。

（1）　実験方法

三次元計測器 VOXELAN HEV-1800HSW(浜野エンジニアリング製)を用いて計測した直立姿勢をとる人体のほぼ全身の点群データを用いた。このデータを体節に分割し、各体節に対して表面の再構成を行った。各体節を構成する点の数を表１に示す。これまでに述べたパラメータについて、実験では $N=8$ とし、点と軸との距離の閾値に用いる値 T を $T=2$ にとった。さらに、

$$d=(hmax-hmin)/4$$

とする。但し、 ri は i 番目の点と軸との距離であり、$hmax$、$hmin$ は、それぞれ、分割した部分体節の高さ成分の最大値、最小値を表す。また、円筒面と半球面の選択に用いる定数に関しては、$M=4$、$a=0.75$ とした。

本手法の有効性を示すため、円筒への射影のみを用いたポリゴンメッシュの構成の結果と、円筒面への射影と半球面への射影とを併用したポリゴンメッシュの構成の結果を比較した。

さらに、ポリゴンメッシュの均一性を調べるため、分割する軸の数を変更し、右腕部に対して構成されるポリゴンメッシュの辺の長さに関する分散を計算した。分割数 N を $N=20$ とし、定数 T を操作することで分割する軸の数を１から２１の間で１１通りに変化させてポリゴンメッシュを構成した。生成したポリゴンメッシュに対して辺の長さの分散を比較した。

（2）　シミュレーション実験結果

複数の円筒に射影して右脚部に対してポリゴンメッシュの構成を行った結果を図 23 に示す。また、右腕部と体幹部に対して複数の円筒および半球面への射影を用いてポリゴンメッシュの構

成を行った結果をそれぞれ図24、図25に示す。股下部及び肩部に対して、円筒面への射影のみでポリゴンメッシュを構成した結果と円筒面と半球面への射影を併用した結果を図26に示す。さらに、軸の分割数を変化させて右腕部に対して構成したポリゴンメッシュの辺の長さに関する分散を表2に示す。ポリゴンメッシュの構成結果に示す通り、各体節の点群データに対して望ましい表面を再構成することができた。

複数の円筒への射影を用いることで湾曲した腕部、脚部に対しても表面を構成した。円筒射影のみでは細長いポリゴンメッシュを構成した股下（図 36(a)）やポリゴンメッシュを構成することのできなかった肩部（図 36(c)）に対しても、半球面への射影を用いることで再構成することができた（図36(b),(d)）。

また、表2から、単一の軸で射影した場合よりも2本の軸を用いることで、辺の長さがより均一なポリゴンメッシュを構成することができることが分かった。処理時間に関しては、およそ10万点のデータに対して5分程度で扱うことができた。

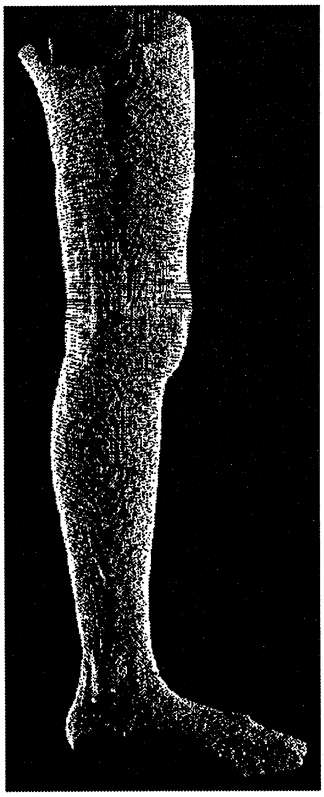
今回の実験では、腕部、脚部の端部に対しては半球面射影を行うことはなかった。脚部の端部(足の裏)については計測データがなかったため円筒射影を行い、腕部の端部(手)についてはあまりに欠損が大きかったため、腕部から除去した。

表1　シミュレーション実験に用いた計測データに含まれる頂点数

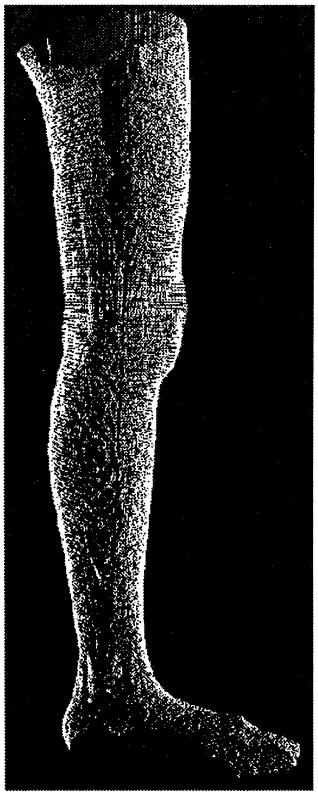
部位	点数
右腕部	24021
左腕部	27694
体幹部	138977
右脚部	53499
左脚部	55315

表2　分散

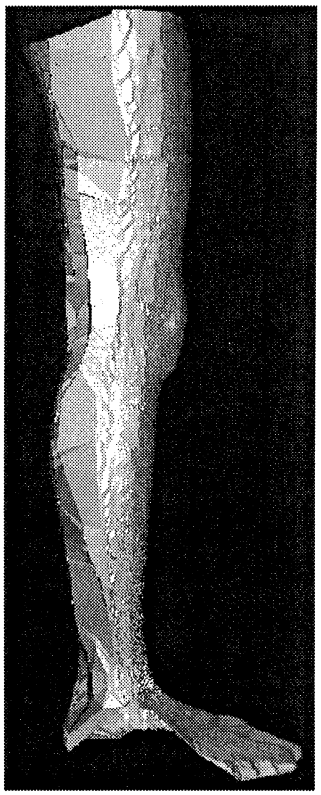
定数T	分割数	分散
1	21	211.39
1.12	20	221.24
1.15	16	222.16
1.2	14	222.66
1.3	12	222.20
1.5	8	232.48
1.7	6	231.34
2	4	219.98
2.2	3	226.67
3	2	229.06
1000	1	376.28



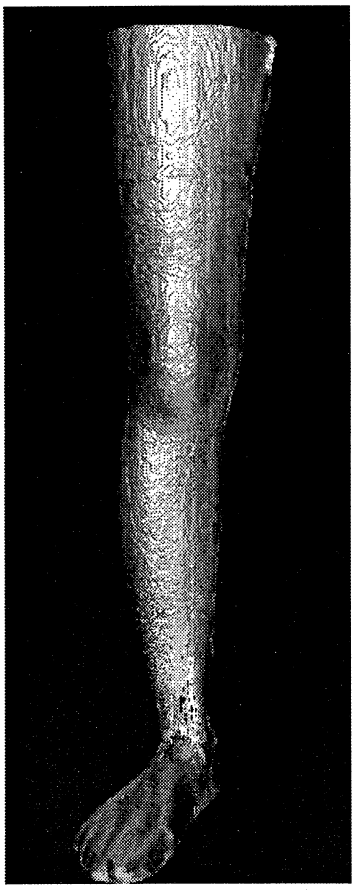
(a) 計測データ（側面)



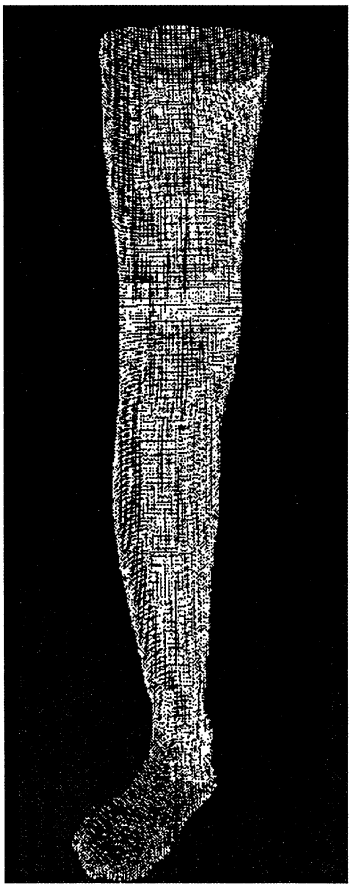
(b) 軸（側面）



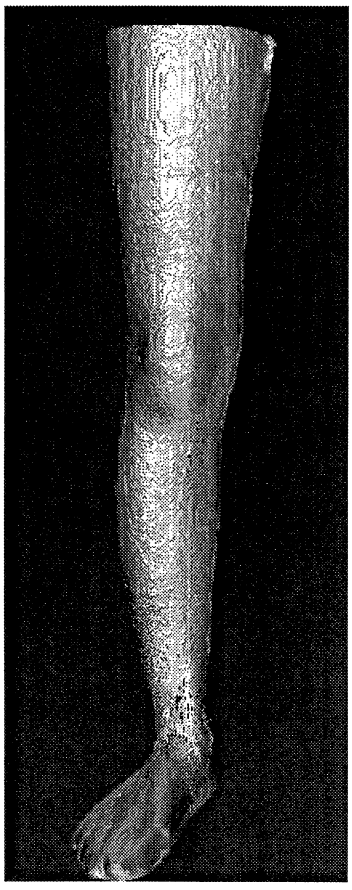
(c) 構成結果（側面）



(d)計測データ（正面）

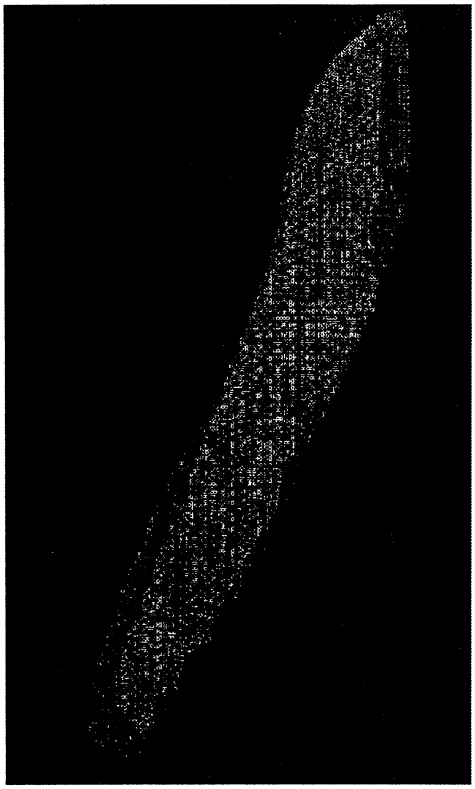


(e)軸（正面）



(f)構成結果（正面）

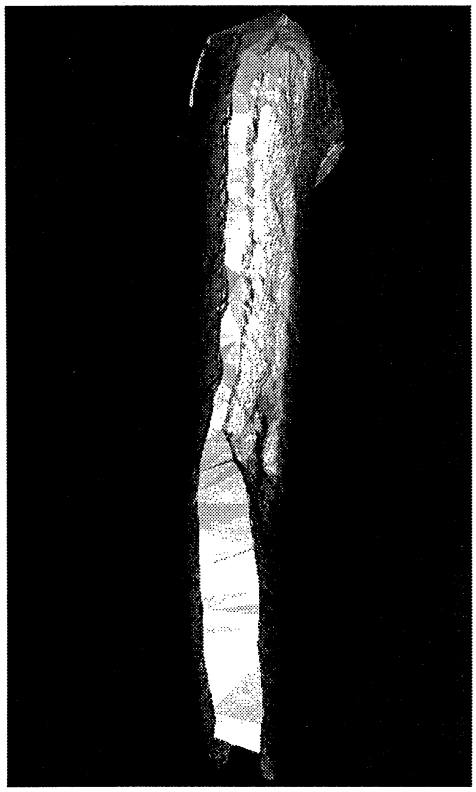
図 33　ポリゴンメッシュ構成結果（右脚）



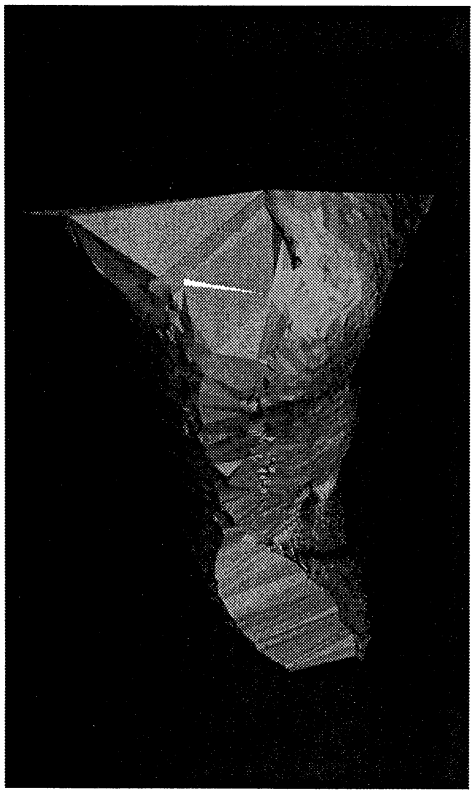
(a)計測データ（正面）



(b)構成結果（正面）

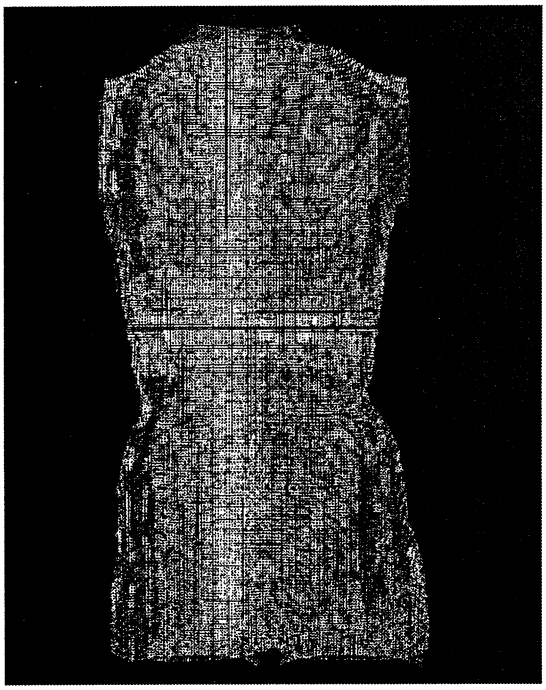


(c) 構成結果（側面）

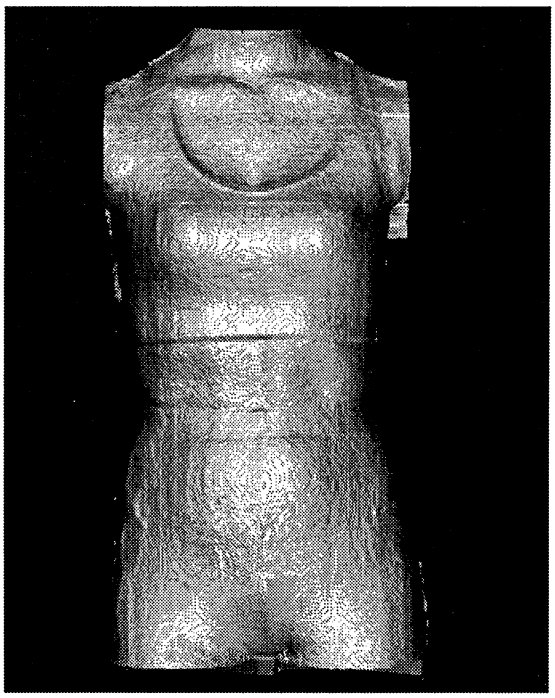


(d) 構成結果（上面)）

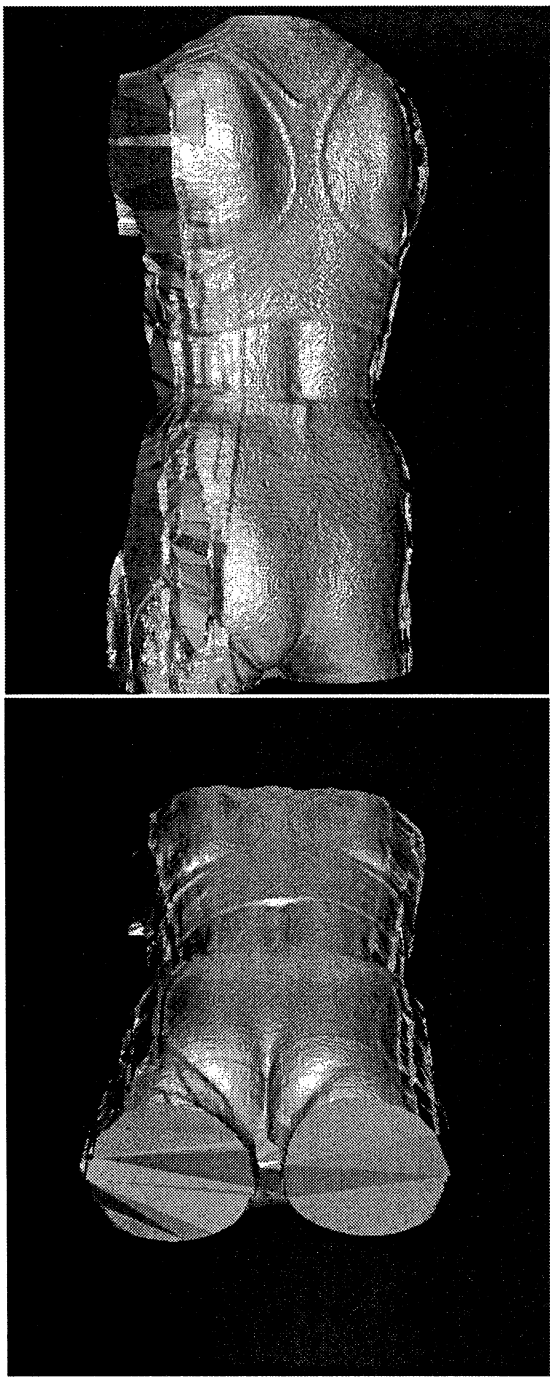
図 34　腕部におけるポリゴンメッシュの構成



(a) 計測データ（正面）

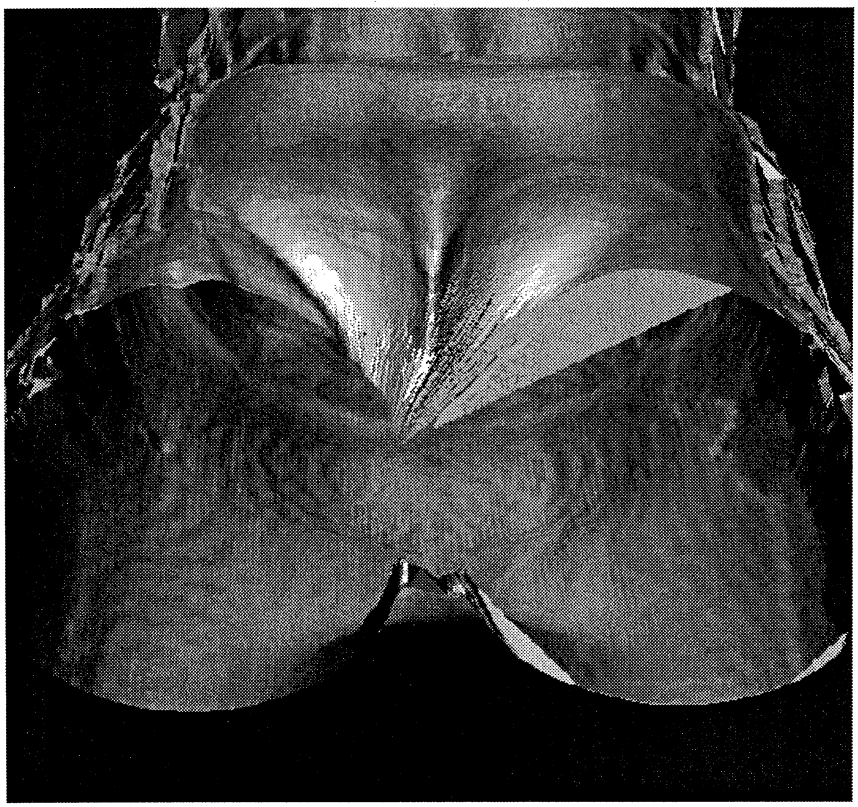


(b) 構成結果（正面）

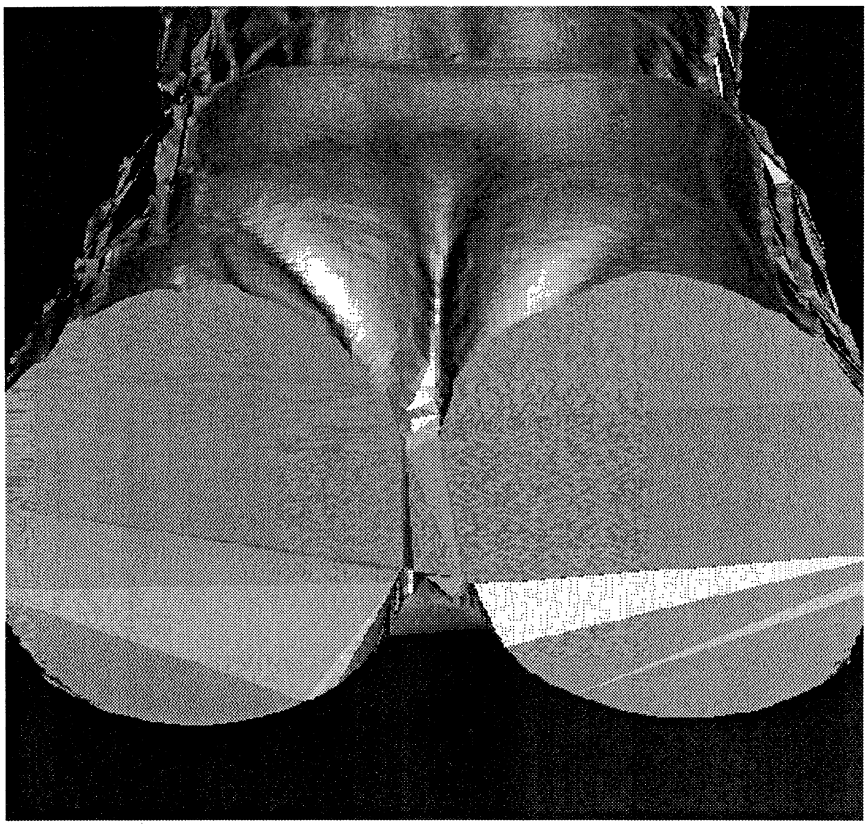


(c) 構成結果（側面）　　(d) 構成結果（股下部分）

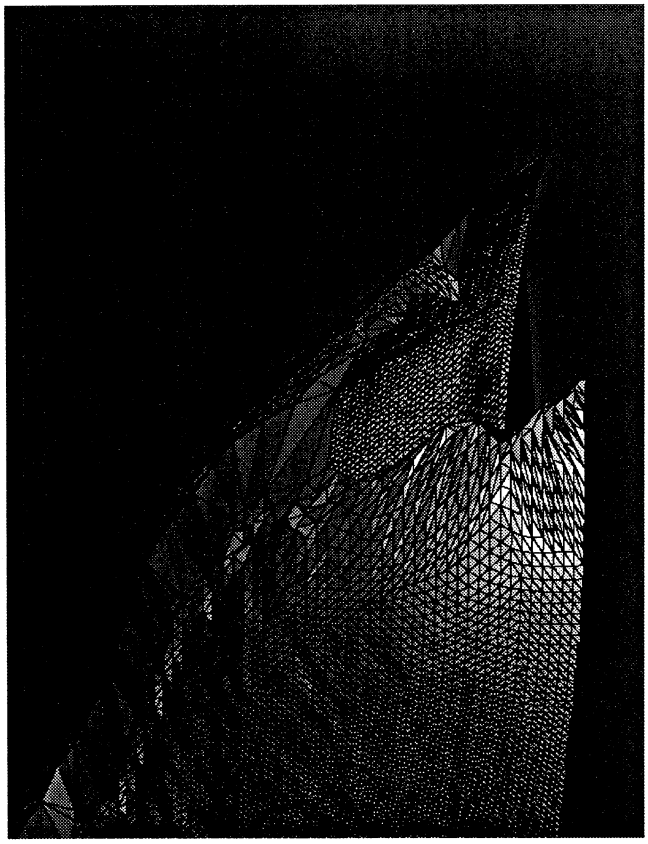
図 35　体幹部におけるポリゴンメッシュの構成



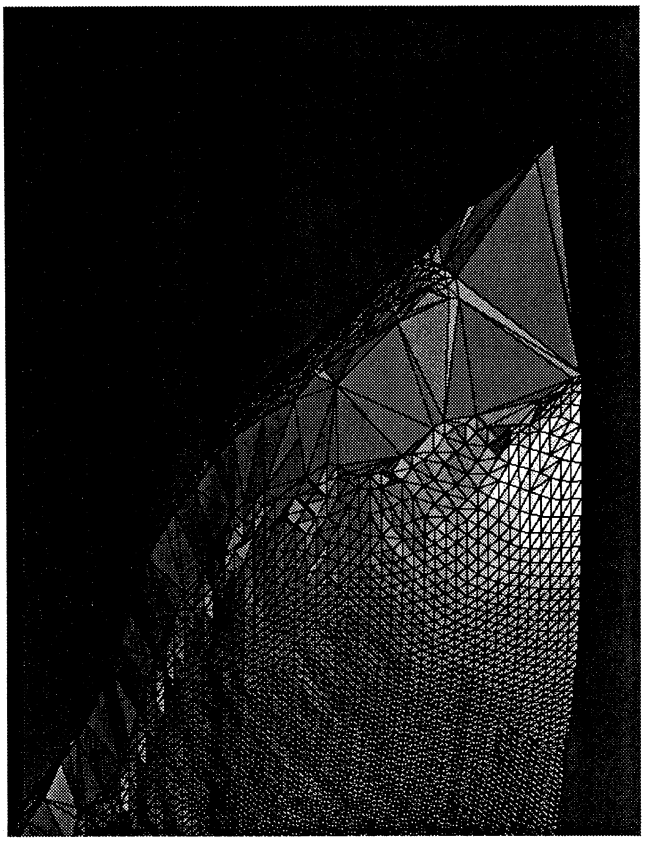
(a) 円筒射影のみによるポリゴンメッシュ構成（股下部分）



(b) 半球面射影併用によるポリゴンメッシュ構成（股下部分）



(c) 円筒射影のみによるポリゴンメッシュの構成（肩部）



(d) 半球面射影併用によるポリゴンメッシュ構成（肩部）

図 36　半球射影の併用によるポリゴンメッシュの構成

本手法では円筒表面等の二次元平面に点群を射影することでポリゴンメッシュの構成を行っている。このため、円筒の軸の位置によって構成されるポリゴンメッシュの形状が変化する。実験結果より、軸を複数に分割し、複数の円筒に別けて射影することで、単一の円筒に射影するよりも辺の長さが均一なポリゴンメッシュを構成することができた。

また、実験結果から、直線上に伸ばした腕部に関しては、軸の数が2本程度を越えると構成するポリゴンメッシュの辺の長さに大きな影響を与えないことが判明した。これは、腕部の湾曲部分が肘付近の一ヶ所しかなく、2本の軸で点群との距離が十分均一にすることが可能であったためと考えられる。

実験では、入力する点群データによっては円筒へ射影した領域と半球面に射影した領域との結合部分にポリゴンメッシュの欠損、交差が見られた。点群の密度によって結合部分に用いる点の数が不十分となるため、対象に応じた定数を定める必要がある。

(3) 本章の結論

人体を関節物体としてとらえ、人体形状の点群データからドロネー網を用いて表面を再構成する手法を提案した。本手法では、人体を各部位に分割することによって本来存在しない表面を構成することなく、人体表面を再構成する。分割した体節を形状に応じてさらに分割し、それぞれの点群を円筒面または半球面に射影する。射影した表面を二次元平面と見なしてドロネー網を作成することによって射影した点間の接続関係を求めるする。求めた点の接続関係をもとの三次元空間中の点の接続関係と見なすことでポリゴンメッシュを構成する。

提案手法の有効性を確認するため、実際の人体計測データを各部位に分割した上、提案手法を適用した。この結果、股下、腋下など単純な三次元ドロネー網を作成する手法などでは表面を再構成することが困難であった部位に対してもポリゴンメッシュを構成することができた。二次元射影を用いることで、不要なポリゴンメッシュを構成することなく表面を再構成できることを確認した。

また、複数の円筒に射影することで単一の円筒に射影するよりも、辺の長さが均一なポリゴンメッシュを構成することができることを示した。さらに、円筒への射影のみを用いて構成したポリゴンメッシュと、半球への射影を併用して構成したポリゴンメッシュを比較し、股下や肩の部分での半球への射影の有効性を示した。本手法を用いて手足の指の表面を再構成する場合は、各指一本ずつをそれぞれ体節と見なす必要がある。

３．３　人体の座標軸の決定と分割方法

３．３．１　座標軸の設定

人体形状に対する座標系は、人体の計測学的な観点から一意に求める。大まかな手順は以下の通りである。

(1) 臀突（臀部の一番突出した点）を含む水平断面を取る。
(2) その水平断面の図心を原点とする。
(3) 水平断面の慣性主軸を計算し、第１軸にＹ軸（被験者の右手の方向を正とする）をとる。
(4) 水平断面に直交する軸をＺ軸とする。鉛直上方を正とする。
(5) (3)、(4)の外積によってＸ軸を決定する。

３．３．２　プレモデリングインタフェース

ラベル付けは、ユーザがＧＵＩを用いることで、マニュアルで行う。ここでは、このためのラベル付けインタフェースについて主に説明する。なお、このラベル付けインタフェースには、次章で述べるファイルフォーマットの読み込み、前章で述べたポリゴンメッシュを生成するための、点群データへの順序情報の付加処理、順序情報を付加されたファイルの書き出しなどの機能も含まれている。ここでは、これらの処理全体をプレモデリングと呼ぶ。

このプレモデリングインタフェースは、DOS/V マシン、Windows95/98/NT 環境下に構築されている。また、このインタフェースを動作させるためには、Open Inventor ライセンスが必要である。

（1）画面の名称

画面の名称は図 37 に示す通りである。

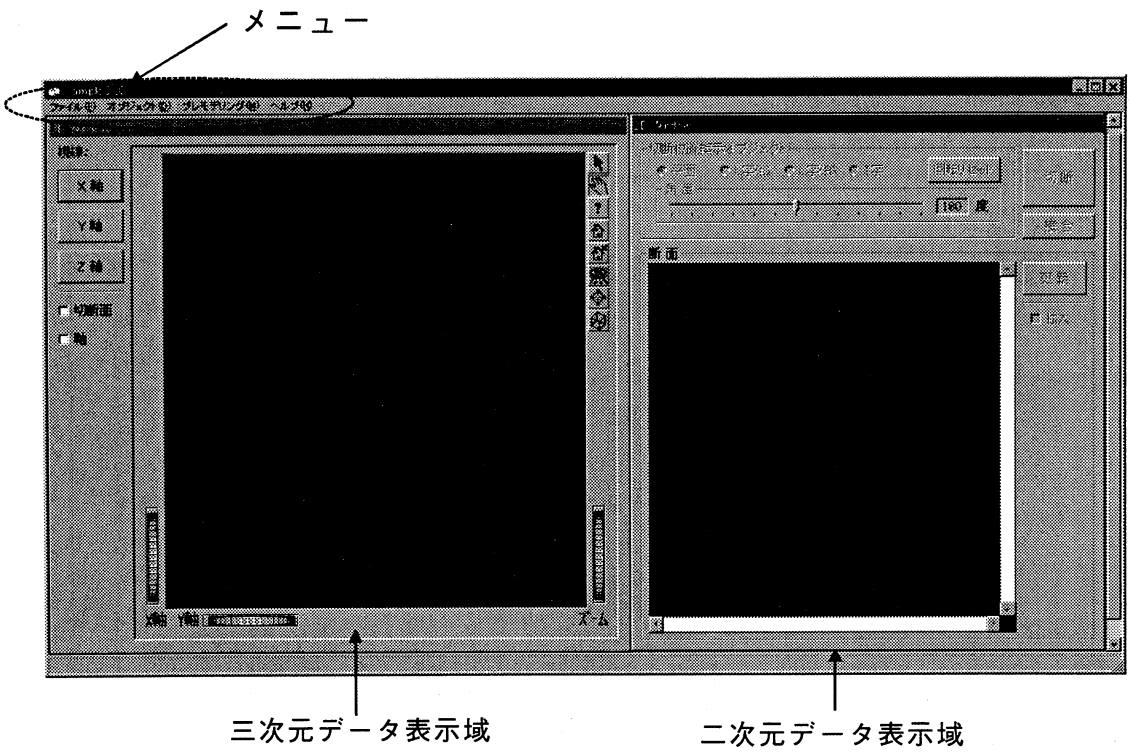


図 37　画面の名称

（2）　操作パネル上のボタン

操作パネルには、図 38 に示すボタンが設置されている。これらのボタンを用い、以下で説明する操作を行う。

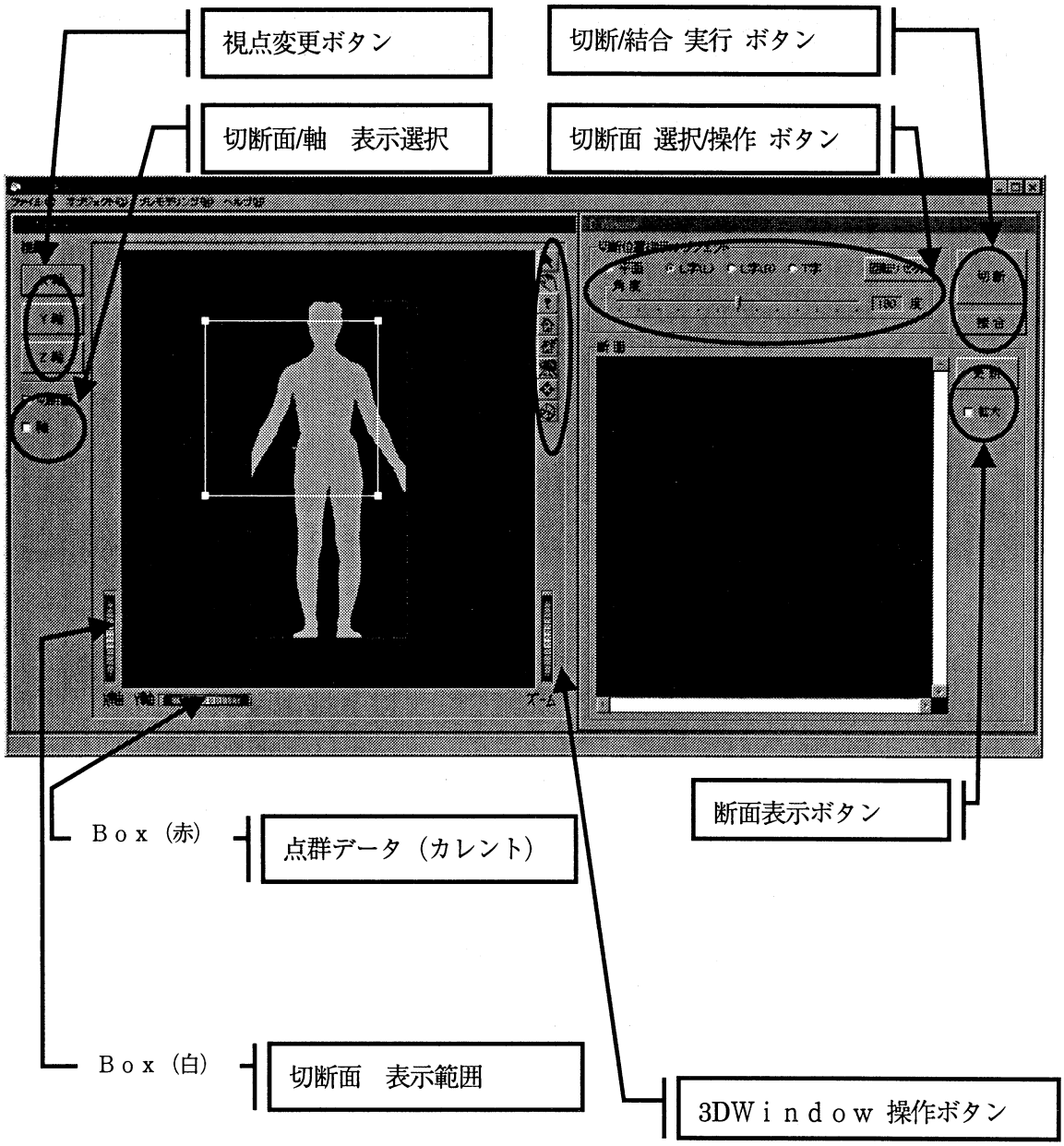
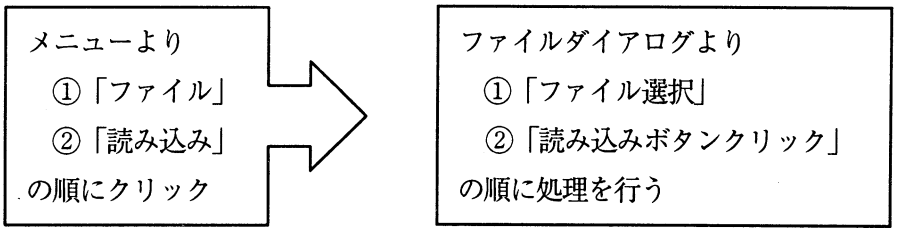


図 38　ボタンの名称

（3）　データの読み込み

点群データの読み込みは以下の手順で行う。

手順：



（4）　点群データの分割

読み込まれた点群データは、一時的に“Ｂｏｄｙ”と呼ばれるラベルとして登録される。“Ｂｏｄｙ”に登録されている点群データを、複数の円筒状の点群データに分割する。

本アプリケーションでは、“Ｂｏｄｙ”の点群データを分割するために、以下の４つの切断面を用意する。この４つの切断面を用いて、ユーザは、点群データの分割を行う。

切断面の種類：

平面　　…　１枚の切断面である。
切断面より上方のデータが切断される
頭の部分を切断するときに使用。

Ｌ字（Ｌ）…　２枚の切断面が、Ｌ字型に組み合わされたものである。
紫色で表示されている部分の角度変更が可能
切断面より左側のデータを切断することが可能
腕の部分（表示データの左側）を切断するときに使用

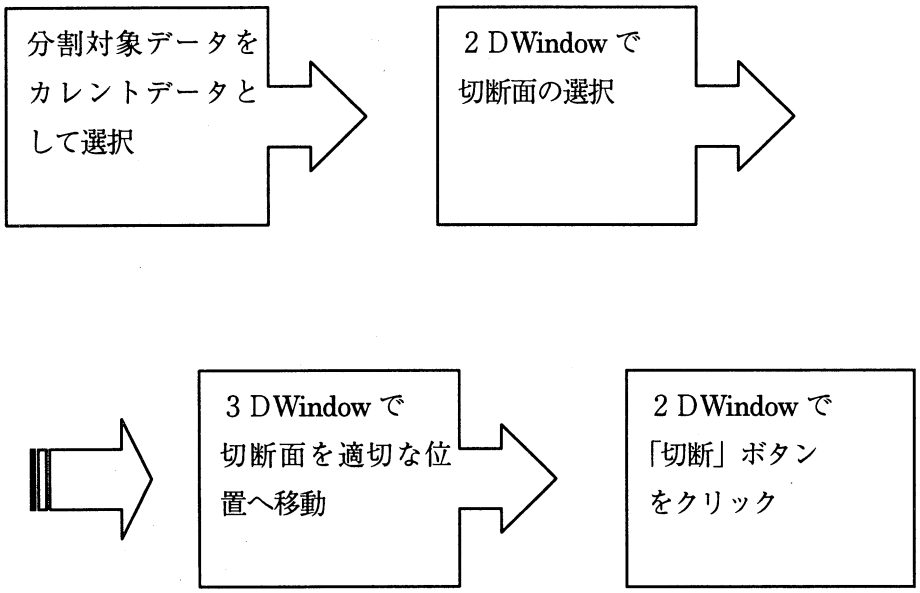
Ｌ字（Ｒ）…　２枚の切断面が、逆Ｌ字型に組み合わされたものである。
切断面より右側のデータを切断することが可能
紫色で表示されている部分の角度変更が可能
腕の部分（表示データの右側）を切断するときに使用

Ｔ字　　…　２枚の切断面が、Ｔ字型に組み合わされたものである。
切断面より右下・左下側のデータを切断することが可能。
紫色で表示されている部分の角度変更が可能
両足の部分を切断するときに使用

（5）　点群データの分割

点群データの分割は以下の手順で行う。

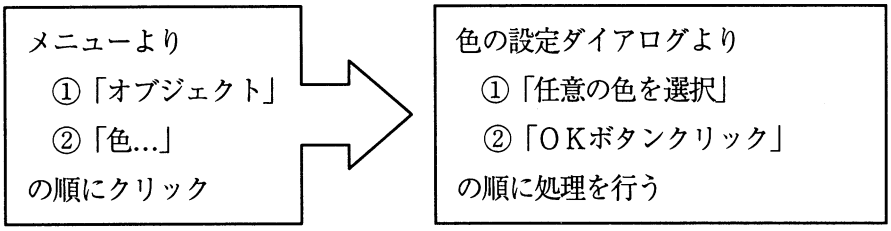
手順：



（6）　分割データの表示色設定

点群データの表示色設定は以下の手順で行う。

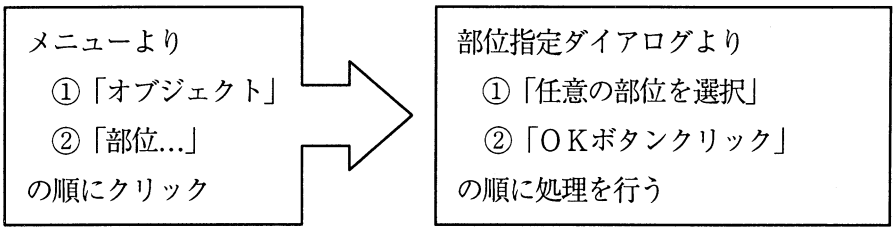
手順：



（7）　分割データの名称設定

点群データの名称設定は以下の手順で行います。

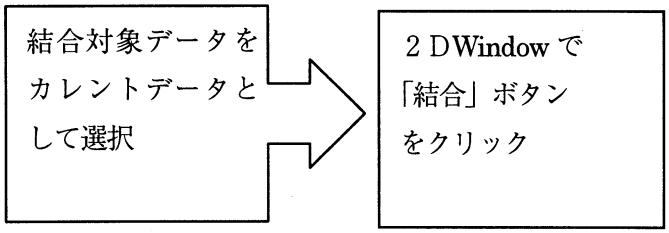
手順：



（8）　分割データの結合

点群データの結合は以下の手順で行います。

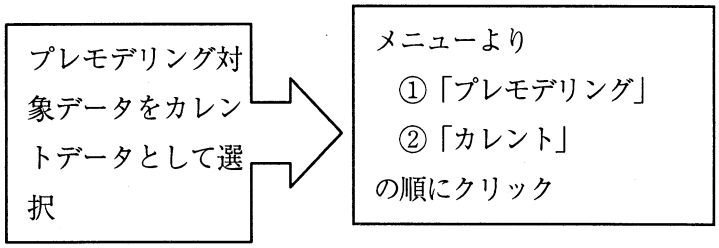
手順：



（9）　プレモデリング（点群データに対しポリゴンメッシュを構成するための順序情報を与えること）

点群データのプレモデリングは以下の手順で行います。

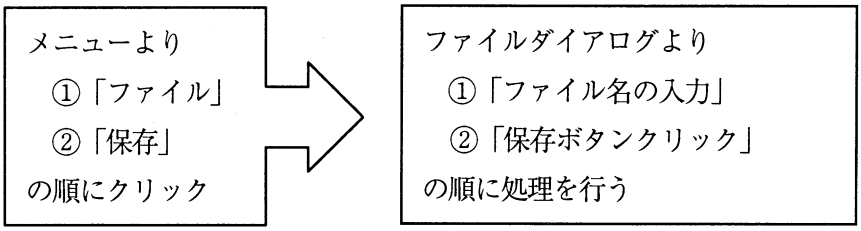
手順：



(10)　データの保存

データの保存は以下の手順で行う。

手順：



3．3．3　画面表示サンプル

以下では実際の操作画面のサンプルを示す。図 39～図 42 は、ラベル付けの操作の模様を示す。図 43，44 は、ラベル付けされた点群に対し、順序情報を与えた結果の表示の模様を示す。

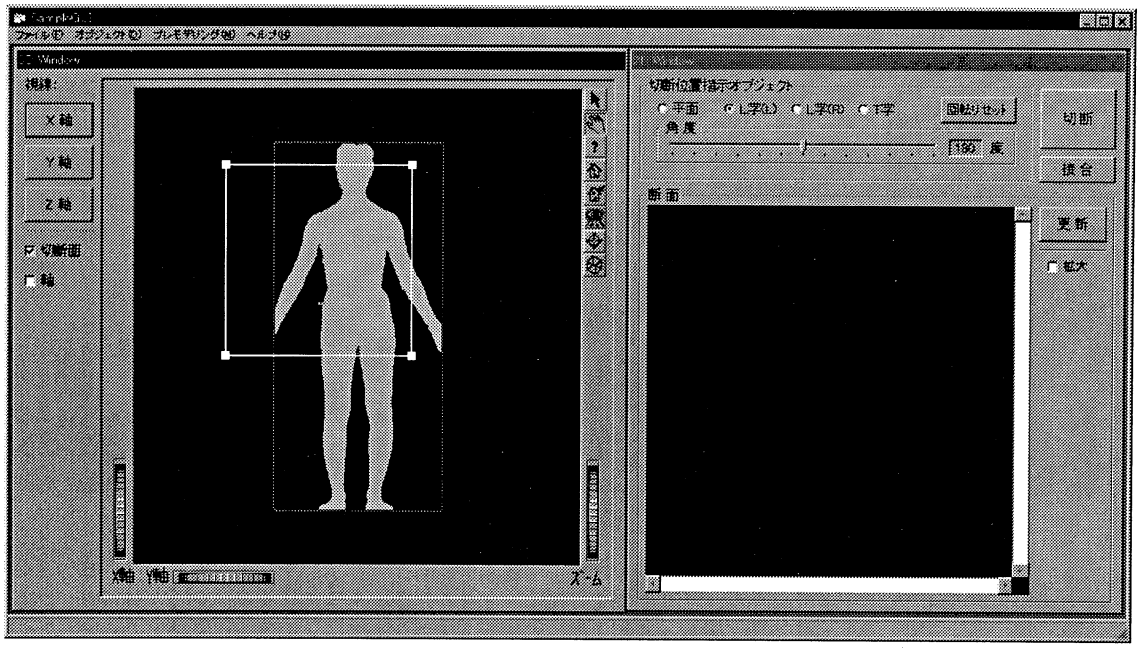


図 39　矩形領域による点群の選択

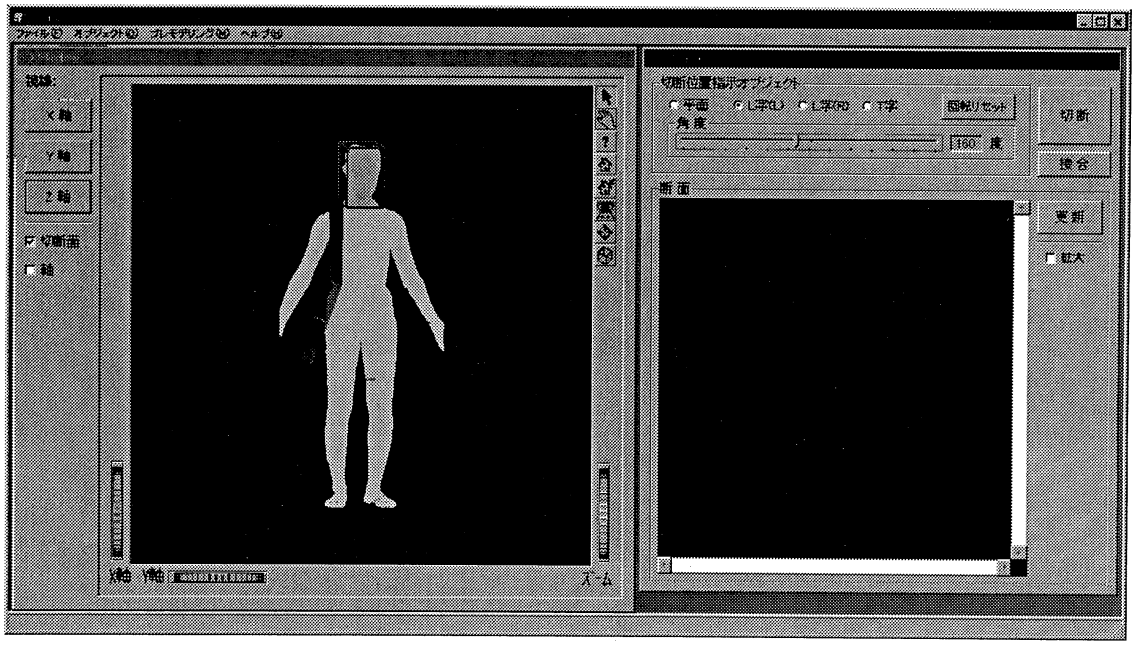


図 40　切断面によるラベル付け（1）

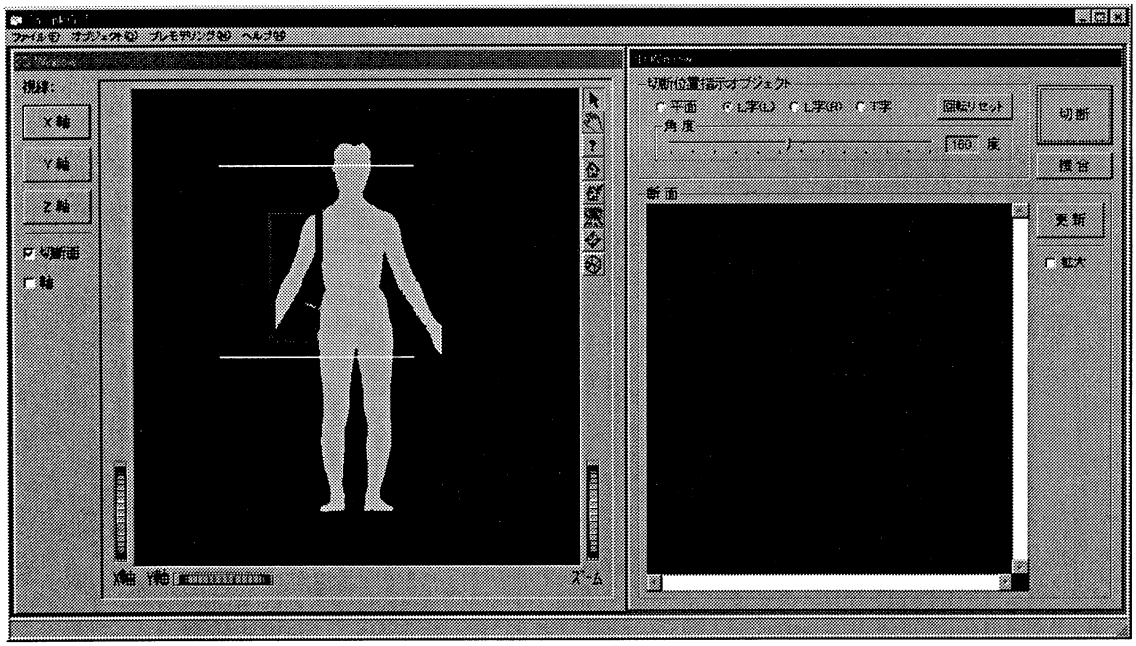


図 41　切断面によるラベル付け（2）

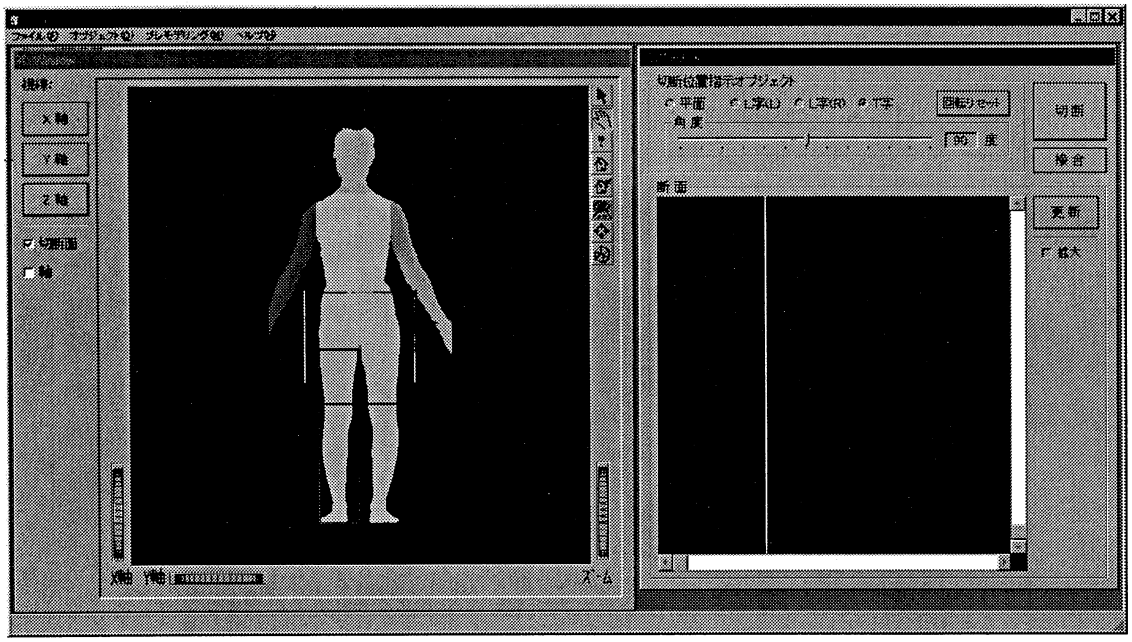


図 42　切断面によるラベル付け（3）

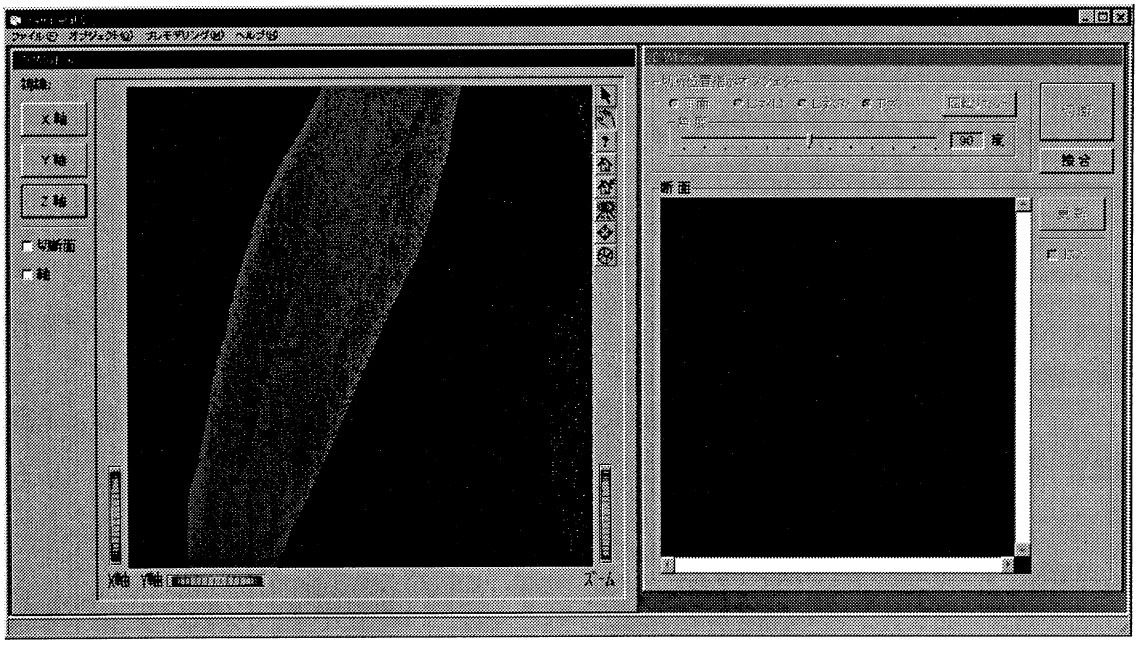


図 43　順序情報を与えた点群情報（ワイヤーフレーム表示）

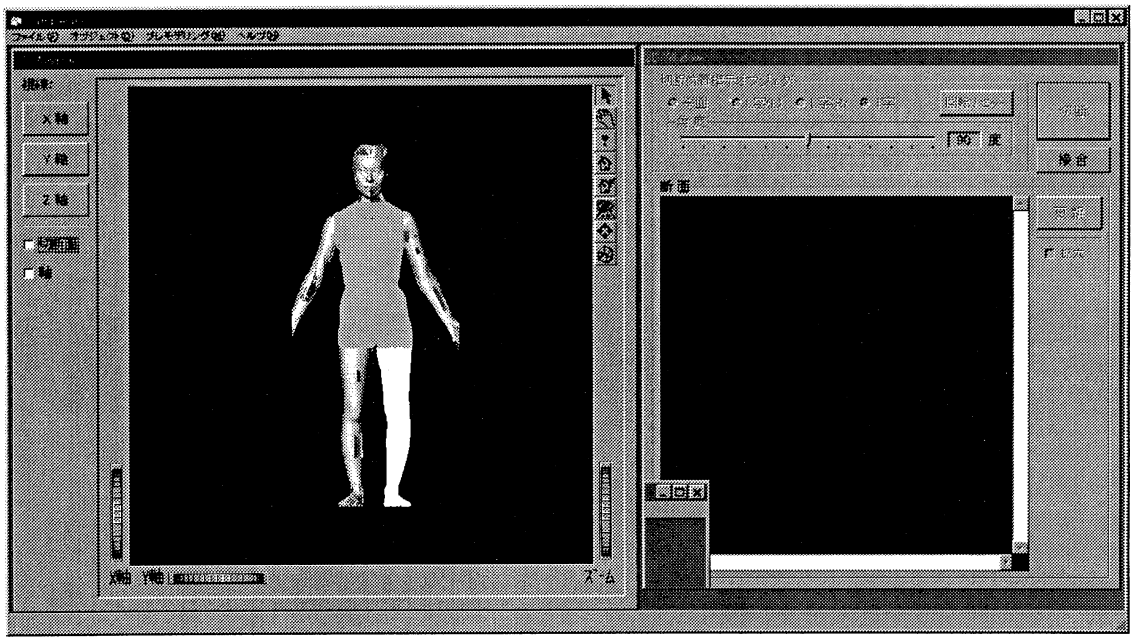


図 44　順序情報を与えた点群情報（シェーディング表示）

３．４　形状データの記述方法

３．４．１　形状データ記述の概要

従来、ＣＧの分野における人体形状データは、見映えのよさ（曲面の滑らかさ）とデータのコンパクト性を追求するデータ表現形式が主流であった。このような典型的な表現形式としては、B-Spline 曲面や NURBS 曲面などのパラメトリック曲面による表現が挙げられる。

しかし、今回主に想定する用途（人体形状データベース作成や、装飾品全般に対する試着、設計シミュレーション）においては、正確なデータの表現方法が必要である。今回、ほとんどすべての計測器、用途において利用可能なファイルフォーマットの制定を目指し、物体形状の基本的情報である「点群の三次元座標」を用いる。

点群データについては、計測方法、計測の精度、ノイズ除去などのソフトウェアによる加工処理によって、さまざまであるといえる。ここでは、以下のような点群データを想定する。

・多少の欠損はあっても構わない
・ノイズは含まれない
・（全周同時計測ではなく）複数方向からの計測の場合、位置合わせと張り合わせの処理が済んでいる。

このような点群データに対し、３章で述べた対話的インタフェースを用いて点群のラベルづけを行い、さらに、３．２で述べたドロネー網を用いた表面再構成を行う。（この表面再構成によって得られる情報が、ここでいう順序情報であり、点群データ情報、ラベル情報、順序情報を合わせて、順序付き点集合とよぶ。）

また、システム構成の点からいえば、３．２および、３．３で述べた二つの処理過程が、一つのシステムとして実装されることとなる。このシステムの入力情報、および、出力情報が、ここで扱う人体形状に関する情報である。本章では、このような人体形状に関する情報を表現するための、ファイルフォーマットについて述べる。

３．４．２　ファイルフォーマットの大まかな仕様

（１）　ファイルフォーマットの特徴

主な特徴は、以下の通りである。

- ファイル検索に非常に重要な情報のみが記されたキーファイルと複数のデータファイルで構成する。
- データ形式（バイナリデータのバイトオーダー、改行コード）は Windows 環境下の形式に準拠する。
- 含まれる情報の種類に応じて、バイナリー形式とアスキー形式のファイルを使い分ける。

（２）　記述可能な情報

基本的には、ここで提案する標準ファイルフォーマットは、順序付き点集合を記述するためのものである。しかし、点群の座標（計測器の出力）だけでなく、計測点、輝度画像、点間の順序関係などの、人体形状データに関する以下の情報を含むことができる：

(i)　点群座標データ
(ii)　人体寸法データ
(iii)　特徴点
(iv)　ラベル情報
(v)　順序情報
(vi)　輝度画像。

これらの情報のうち、点群の座標を必須とし、その他の情報を付加できる形式とする。すなわち、点群の座標以外の情報は、選択的に、かつ、インクリメンタルに含まれる。体節への分割（ラベルづけ）は、最低限必要な分割（頭、胴、右腕、左腕、右脚、左脚、右手、左手、右足、左足）とする。体節への分割（ラベルづけ）は、前章で述べたインタラクティブなインタフェースを用いることで行う。

こうして分割された各体節を複数の円筒が連なったもの（主軸は折れ線となる）とみなし、各体節ごとに、頂点間の関係（ポリゴン情報）、及び、主軸の情報を、順序情報を、前述した手法にもとづき自動的に算出することができる。

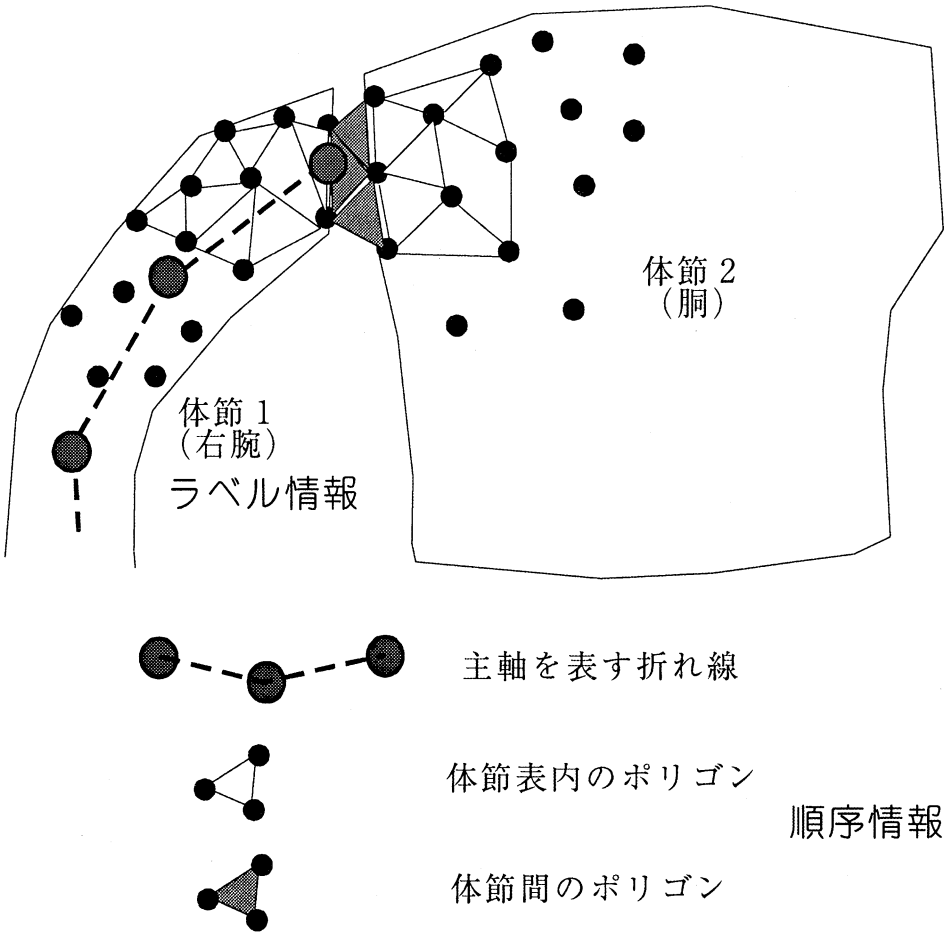


図 45　順序付き点集合

上図 45 に示す通り、結果的に順序付き点集合は以下の情報から構成される。

- （順序付き点集合）＝（点群の座標）＋（体節の分割の情報）＋（順序情報）
- （体節の分割の情報）＝（ファイルフォーマットにおける「ラベル情報」）
- （順序情報）＝（ポリゴンリスト）＋（主軸）＋（体節間の接続）

順序付き点集合は、以下の処理に役立つ。

1．　ポリゴンメッシュデータへの変換
2．　スライスデータへの変換
　　ただし、極端に折れ曲がる部分に関しては、スライスデータが交差する可能性があるため、複数に分割された主軸をさらに再分割する必要がある。
3．　部分的な人体データの切り出し
　　ただし、実際のアプリケーションにおいては、このフォーマットで定義された体節をそのまま使用できるとは限らない。このため、ユーザの用途に応じて、必要な部分を取り出すためのそれぞれアプリケーション固有の処理が必要である。

3．4．3　提案フォーマットの特徴

提案ファイルフォーマットは、静止状態にある比較的精密な人体形状に関する情報を記述することを目的とする。人体の外観に関する情報には、3次元形状の他に、輝度画像や、寸法、特徴点の3次元位置などの情報がある。また、このような情報の一部は、人体形状は姿勢により変化する。本ファイルフォーマットは、次の二点、すなわち、(1) 人体形状に関するさまざまな情報を格納できること、(2) 姿勢によって変化する情報を複数格納できること、が可能である。

（1）　表現可能な情報の種類

提案ファイルフォーマットでは、計測データなどの人体情報を複数のファイルを用いて記述する。ここでは、このような複数のファイルをファイル群と呼ぶことにする。一つのファイル群は、キーファイルと最大四種類のデータファイルからなる。キーファイルは、使用頻度が高い情報のみを記し、残りの情報は、使用目的に応じて四種類のファイルに分類できるデータファイル（人体寸法データファイル、特徴点データファイル、形状データファイル、画像データファイル）に納められる。必ずしも、4種類のデータファイルをすべて含む必要はない。

これら4種類のファイルの拡張子は、それぞれ以下の通りである。

- キーファイル　　拡張子：3da
  (3D Anthropometric data file format)
- 人体寸法(Anthropometry)データファイル　　拡張子：3daa
- 特徴点(Landmark)データファイル　　拡張子：3dal
- 形状(Shape)データファイル　　拡張子：3das
- 画像(Image)データファイル　　拡張子：3dai

これら合計5種類のファイルが含むことができる情報は、以下の通りである。ファイルは、使用目的に応じて、含むデータの種類を変えることができる。

<ファイルの名称と、含まれる情報>

1．キーファイル

2．人体寸法データファイル

(i)　人体寸法　(Anthropometry)

3. 特徴点データファイル

(ii)　特徴点　(Landmark)

4. 形状データファイル

(iii)　点群情報　(Point)

(iv)　ラベル情報　(Block)

(v)　順序情報　(Relation)

5. 画像データファイル

(vi) テクスチャ画像　(Texture)

（2） 異なる姿勢への対応

計測対象の姿勢によって変化する計測データは、一つのファイル群に納めることが可能である。このため、5種類のファイルのうち、以下の3種類のファイルに関しては、複数個取ることができる。最大１０姿勢分のデータを格納可能とする。

- 特徴点データファイル
- 形状データファイル
- 画像データファイル

なお、人体寸法データファイルに関しては、一つのファイル群に対して一つしか存在しない。また、加齢などにより同一でない人体については、同一人物のものであっても、一つのファイル群に収めることはできない。

（3） ファイル名のつけかた

異なる姿勢のデータに関しては、ファイル名で区別する。キーファイルのファイル名の、拡張子を除く部分（キーファイル名）の文字数は最大8とし、'_' を含んではならない。人体寸法データファイルに関しては、キーファイルとは拡張子のみが異なる。その他の三つのデータファイルに関しては、拡張子とファイル名が異なり、キーファイル名に "_（姿勢番号）" をつける。姿勢番号は、"00"～"09"の値をとり、例えば、三姿勢であれば、"00", "01", "02"である。

以上を例で示すと、キーファイルのファイル名を"aaa.3da"としたとき、一ファイル群の拡張子を含めたファイル名は以下のようになる。

- キーファイル　：aaa.3da
- 人体寸法データファイル　：aaa.3daa
- 特徴点データファイル　：aaa_00.3dal, aaa_01.3dal,aaa_02.3dal,…
- 形状データファイル　：aaa_00.3das, aaa_01.3das,aaa_02.3das,…
- 画像データファイル　：aaa_00.3dai, aaa_01.3dai,aaa_02.3dai,…

（4） データファイルのファイル構造

これらのファイルのうち、1. キーデータファイル、2 人体寸法データファイル、および、3 特徴点データファイルは、アスキー形式のファイルであり、残り二つの4.形状データファイルと5. 画像データファイルはバイナリ形式である。

データ形式は、Windows環境をメインに考えられている。すなわち、アスキーの改行はDOS形式（改行コード：0D0Ah）であり、バイナリデータはINTEL形式である。

アスキーデータファイルについては、人体寸法と計測点の各格納エリアの先頭に、各エリアの大きさを表す情報（厳密には、標準的な大きさに対する差分、図 46 中の size_2）が記される。この情報をもとにファイルを読み込む。

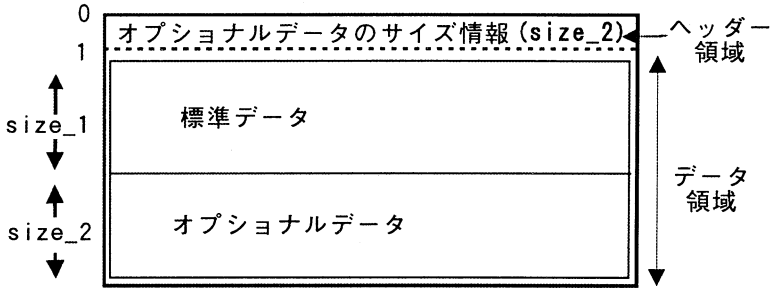


図 46　アスキーデータファイルの内部構造

バイナリデータファイル（形状、画像）については、それぞれのファイルの先頭にヘッダー領域を持つ。ヘッダー長は可変である。各データの格納領域は、ヘッダー領域に書き込まれる二つの情報、すなわち、ファイル先頭からのオフセットと格納領域の大きさを用いて表す。ただし、アスキー形式の人体寸法データファイルは、オフセットなどの情報を行数で管理するのに対し、残る二つのバイナリデータファイル（形状、画像）は、バイト数で管理する。

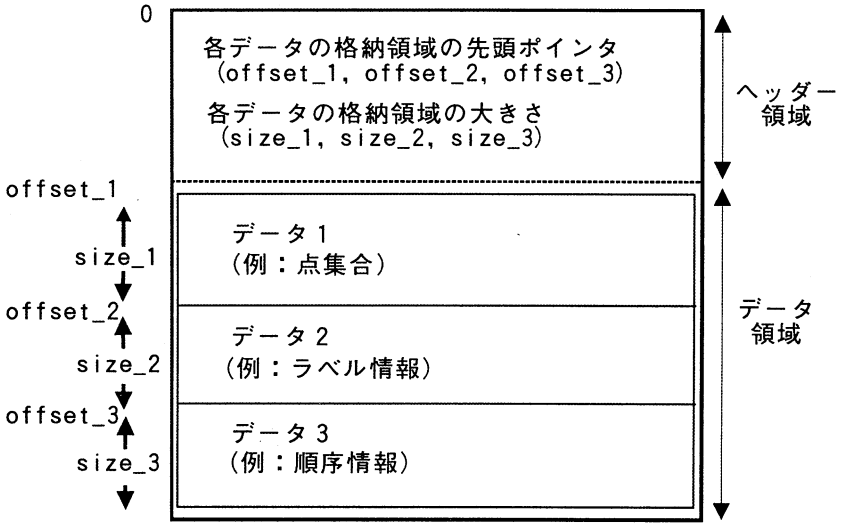


図 47　バイナリデータファイルの内部構造

計測システムから出力される最小構成のファイル群は、ヘッダーと(i) 点群を含むファイルである。用途に応じて、(ii) 人体寸法、(iii) 特徴点、(iv) 輝度画像　に関するファイルを付加することができる。

また、計測システムから出力されたデータに対し、順序情報などを付加する場合、(v) ラベル情報と(vi) 順序情報とが付加される。

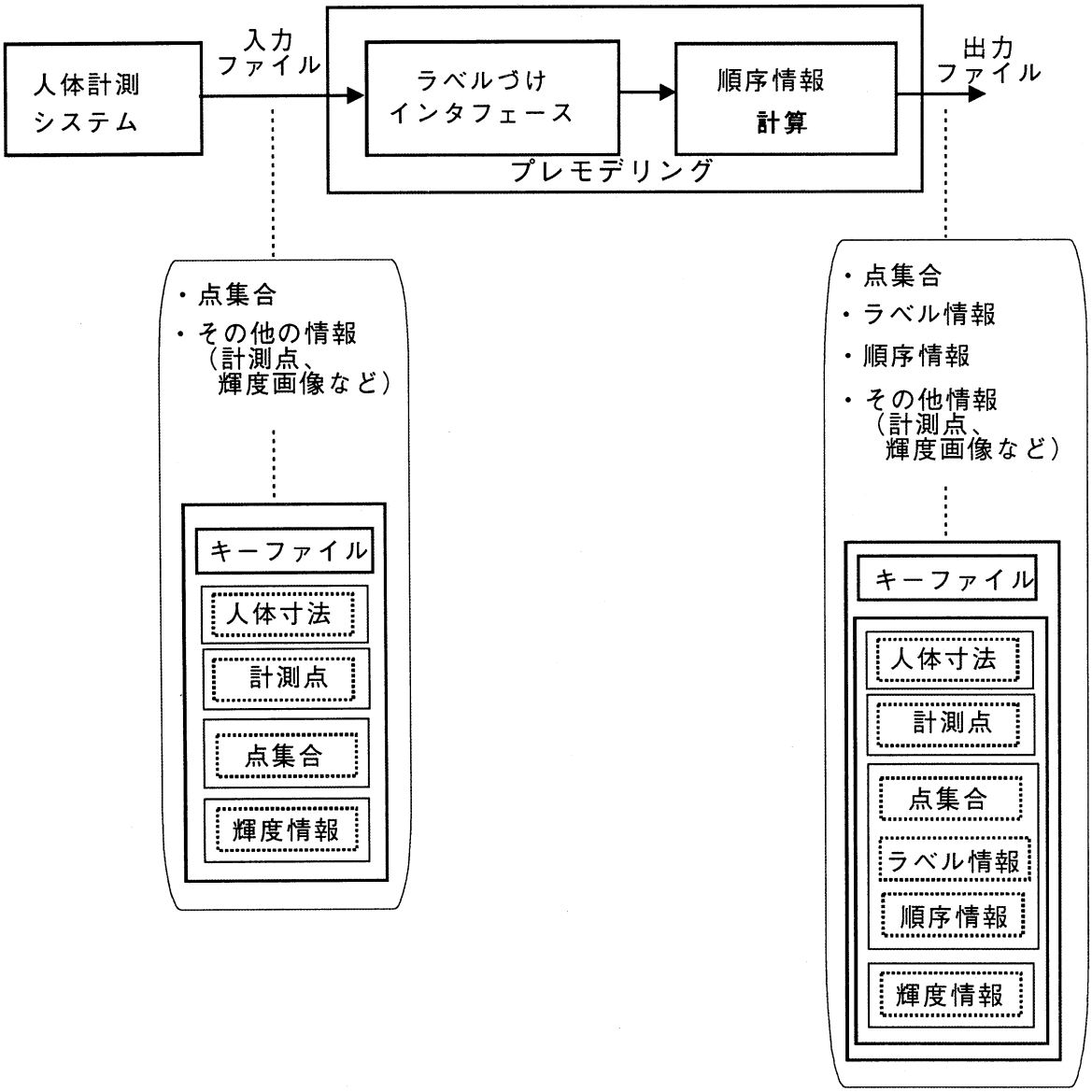


図48　プレモデリングシステムとファイルフォーマットに含まれる情報との関係

３．４．４　提案フォーマットの仕様

以下では、標準ファイルフォーマットを構成する五つのファイルについて、それぞれ説明を行う。

（1）　キーデータファイル（"*.3da"）

1行目に、ファイルの種類とバージョンの情報を書く

例：3D anthropometric data file format Version1.0

"3D anthropometric data file format "までは、固定である。

2行目以下に記述される情報は以下の通りである。ただし、以下の"K_"で始まるラベルは、行番号を表され、別ファイルで定義される。

人体寸法に関するデータについては、

（データ）<TAB> 計測方法 <CR/LF>

という形式で記述する。ただし。計測方法については、マルチン計測ならば 0、３次元形状データから求めた場合は、1である。

その他のデータに関しては、特に記述がない限り、

（データ）<CR/LF>

である。

1. K_ID　　ID<CR/LF>
2. K_Racs　　人種<CR/LF>
3. K_BirthPlace　　出生地<CR/LF>
4. K_PlaceOfMeasurement　　計測地<CR/LF>
5. K_Occupation　　職業<CR/LF>
6. K_School　　学校<CR/LF>
7. K_Sex　　性別<CR/LF>　女性：0、男性：1
8. K_Age　　年齢 <CR/LF>　１０進年齢で記述、例：20.50
9. K_BirthYear　　生年月日<CR/LF> (M/D/Y)　　例：Jan/1/1980
10. K_DayOfMeasurement　　計測年月日<CR/LF> (M/D/Y)　例：Jan/1/1980
11. K_Weight　　体重（kg）<CR/LF>　　例：55.5
12. K_Height　　身長（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
13. K_SittingHeight　　座高（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
14. K_WaistCircumference　　胴囲（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
15. K_Posture_00～K_Posture_09　　姿勢の名称

    下二桁は姿勢の違いを区別するために用いる。

    立位ならば0、坐位ならば1、その他ならば2である。

    なしならば<CR/LF>のみ。
16. K_Part_00～K_Part_09　　部位の有無を示すデータ

下二桁は姿勢の違いを区別するために用いる。

頭、胴、右腕、左腕、右脚、左脚、右手、左手、右足、左足のそれぞれについて、点群データがある場合に1、ない場合に0とするフラグをたて、それぞれ、F_head, F_trunk, F_r_arm, F_l_arm, F_r_leg, F_l_leg, F_r_hand, F_l_hand, F_r_foot, F_l_foot とし、

F_head<TAB>F_trunk<TAB>F_r_arm<TAB>F_l_arm<TAB>F_r_leg<TAB>F_l_leg<TAB>F_r_hand<TAB>F_r_foot<TAB>F_l_foot<CR/LF>

と表す。なしならば、<CR/LF>のみ。

17. K_Info_00～K_Info_09　　データファイルに含まれる情報

三つのデータファイルについて、それぞれ以下のように値をとるフラグをたて、各々、人体寸法データフラグ F_anthropometry、形状データフラグ F_shape、画像データフラグ F_image と呼ぶ。この三つのフラグを以下のように表す。

F_anthropometry<TAB>F_landmark<TAB>F_shape<TAB>F_image<CR/LF>

ただし、各フラグの定義は以下の通りである。

(i) 人体寸法データフラグ F_anthropometry

なし　0

あり　1

(ii) 特徴点データフラグ F_landmark

なし　0

あり　1

(iii) 形状データフラグ F_shape

なし　0

点群データのみ　1

点群データとラベル情報　2

点群データとラベル情報と順序情報　3

(iv) 画像データフラグ F_image

なし　0

あり　1

なしならば、<CR/LF>のみ。

18. K_UserDefine　　ユーザ定義情報<CR/LF>

ユーザ定義情報は、本ファイルフォーマットで定義されていない情報を、ファイル内に記述するために用いる。このときの情報としては、以下の情報を想定している。

- 体節
- 人体寸法
- 特徴点
- 姿勢

ユーザ定義情報は、ユーザが用意する別ファイル内に記述する。ファイル名は、

以下のように記述する。記述フォーマットは自由形式である。

(ユーザ定義ファイル名1)<TAB>(ユーザ定義ファイル名2)<TAB>… <CR/LF>

なしならば、<CR/LF>のみである。

（2）　人体寸法データファイル（"*.3daa"）

人体寸法データファイルについては、箇条書きで以下に説明する。

1）アスキー形式で記述。
2）改行コードはＤＯＳ形式。
3）基本的に、人体寸法を格納する。
4）先行するISO-7250という人体寸法計測標準で定義されている寸法項目のみ（５６項目）を規定する。
5）上記規格で定義されていないような項目については、ユーザがフリーフォーマットで記述可（これは、ISO NP-15535でも同じ考え方である）。
6）基本５６項目に未計測のものがある場合は欠損値として9999を入れておく。人体寸法の計測については原則としてISO-7250のマルチン計測を推奨するが、３次元形状データから計算することも認める。その場合には、計測方法のフラグを１とする（マルチン計測なら０）。
7）３次元形状データから計算した場合には、マルチン計測との比較データを付録としてつける必要がある。ISOに規定されていない計測項目名を追加した場合も同じである。

ファイルの内部は、以下のようになる。

1行目：追加寸法項目数（基本寸法項目６６に追加した項目の数）　<CR>
2行目：体重（kg）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
3行目：身長（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
4行目：腸骨棘高（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
…
56行目：ウェスト囲（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
57行目：下腿最大囲（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>　※ここまでがISO規定
58行目：前腕最大囲（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
59行目：前腕長（mm）　<TAB> 計測方法 <CR/LF>
…

（3） 特徴点データファイル（"*.3dal"）

解剖学的特徴点については、国際標準がない。ISO-7250 で利用されている特徴点のみを選択し、それらのみ（23 項目）を規定する。それ以外の特徴点は、ユーザがフリーフォーマットで記述する。ただし、アルファベット順に並べる。

ファイルの内部は、以下のようになる。

1 行目：追加特徴点数（選択特徴点項目２３に追加した数）<CR/LF>

2 行目： acormiale, l　　左肩甲骨の肩峰外縁の再外側点(ISO7250 2.2.1)<CR/LF>
3 行目： acormiale, r　　右肩甲骨の肩峰外縁の再外側点(ISO7250 2.2.1)<CR/LF>
4 行目： cirvicale　　第７頸椎棘突起の先端(ISO7250 2.2.5)<CR/LF>
5 行目： glabellare　　正中矢状面内における眉間部の最前方点(ISO7250 2.2.9)<CR/LF>
6 行目： iliospinale anterius, l　左上前腸骨棘の最下点(ISO7250 4.1.6)<CR/LF>
7 行目： iliospinale anterius, r　右上前腸骨棘の最下点(ISO7250 4.1.6)<CR/LF>
8 行目： metacarpale radiale, l　左第２中手骨頭の最も橈側の点 (ISO7250 4.3.3)<CR/LF>
9 行目： metacarpale radiale, r　右第２中手骨頭の最も橈側の点(ISO7250 4.3.3)<CR/LF>
10 行目： metacarpale ulnare, l　右第５中手骨頭の最も尺側の点(ISO7250 4.3.3)<CR/LF>
11 行目： metacarpale radiale, r　右第５中手骨頭の最も尺側の点(ISO7250 4.3.3)<CR/LF>
12 行目： orbitale, l　　左眼眼窩縁の最下点 (ISO7250 2.2.8) <CR/LF>
13 行目： orbitale, r　　右眼眼窩縁の最下点 (ISO7250 2.2.8) <CR/LF>
14 行目： pternion, l　　左踵骨の最も後方の点(ISO7250 4.3.6) <CR/LF>
15 行目： orbitale, r　　右踵骨の最も後方の点 (ISO7250 4.3.6) <CR/LF>
16 行目： sellion
　　頭部正中矢状面内における鼻根部の最陥凹点(ISO7250 2.2.19) <CR/LF>
17 行目：stylion, l　　左橈骨茎状突起最遠位点 (ISO7250 4.2.7)
18 行目：stylion, r　　右橈骨茎状突起最遠位点 (ISO7250 4.2.7)
19 行目：thelion, l　　左乳頭の中心 (ISO7250 4.2.16)
20 行目：thelion, r　　右乳頭の中心 (ISO7250 4.2.16)
21 行目：tibiale, l　　左脛骨近位端、内側上縁の点(ISO7250 2.2.29)
22 行目：tibiale, r　　右脛骨近位端、内側上縁の点(ISO7250 2.2.29)
23 行目：tragion, l　　左耳珠の直上の切痕 (ISO7250 2.2.30)<CR/LF>
24 行目：tragion, r　　右耳珠の直上の切痕 (ISO7250 2.2.30)<CR/LF>

順序情報（４）　形状データファイル（"*.3das"）

１）ヘッダー部の記述

(a)　頂点情報

(i)P_Start　頂点情報データ領域の先頭ファイルポインタ　形式：long int

(ii)P_Size　頂点情報データ領域の大きさ　形式：long int

(iii)P_PointNum　頂点数　形式：long int

(b)　ラベル情報

(i)B_LabelStart　ラベルデータ格納領域の先頭ファイルポインタ　形式：long int

(ii)B_LabelSize　ラベルデータ格納領域の大きさ　形式：long int-

(iii)B_PointNum ラベルの個数　形式：long int

デフォルトでは、次の１０個のラベルが定義されている。

0 B_head　頭部

1 B_trunk　胴

2 B_arm_r　右腕

3 B_arm_l　左腕

4 B_leg_r　右脚

5 B_leg_l　左脚

6 B_hand_l　右手

7 B_hand_r　左手

8 B_foot_r　右足

9 B_foot_l　左足

(iv)B_PointNum ラベルに含まれる頂点数　形式：文字列

各ラベルの頂点数（１０進数）を'&'で結合した文字列であらわす。

ラベルが含む頂点がなければ、頂点数を０として表す

例：16&4&30&20&40&0&0

(v) B_SectionStart　切断面データ格納領域の先頭ファイルポインタ　形式：long int

(vi) B_SectionSize　切断面データ領域サイズ　形式：long int

(vii)B_Section　切断面　形式：文字列

一つの切断面は、接することになる二つのラベルの番号を'-'で結合して表す。

例：0-3

こうして表した切断面を'&'で結合した文字列であらわす。

例：0-3&1-2&1-3&...

(viii) B_UnlabeledPointStart

切断面近傍点群のデータ格納領域の先頭ファイルポインタ　形式：long int

切断面方程式のデータ格納領域のサイズ(Byte)

(ix) B_UnlabeledPointSize

切断面近傍点群のデータ格納領域の大きさ　形式：long int

(x) B_UnlabeledPoint　切断面近傍点群　形式：文字列

切断面(x-y) 付近のラベル x 側の切断領域にある点群を、'x-y-x'と表し、ラベル x 側の切断領域にある点群を、'x-y-y'と表す。これらを'&'で結合した文字列であらわす。例：　0-3-0&0-3-3&1-3-1&1-3-3& ...

(ix) B_SectionPointNum 切断面付近にある点群の個数　形式：文字列

B_UnlabeledPoint で定義された並びに従い、頂点数を'&'で結合した文字列であらわす。例：　20&24&33&36&....

(c)　順序情報 (Relation)

ポリゴンの構成情報（いわゆるポリゴンリスト）である。

(i)　R_Start　順序情報データ領域の先頭ファイルポインタ　形式：long int

(ii)　R_Size　順序情報データ領域の大きさ　形式：long int

(iii) R_PolyNum　ラベルごとのポリゴンの個数　形式：文字列

ラベルの番号順（0から）に、切断領域を接合するためのポリゴンの個数を'&' で結合し文字列として記述　例：　8&4&5 ...

(iv) R_SectionStart　切断領域の順序情報データ領域の先頭ファイルポインタ　形式：long int

(v) R_SectionSize　切断領域の順序情報データ領域のサイズ　形式：long int

(vi) R_SectionNum　切断領域ごとのポリゴンの個数　形式：文字列

B-Section で定義された切断面の並びに従い、切断領域を接合するためのポリゴンの個数を'&' で結合し文字列として記述　例：　8&4&5 ...

(vi) R_AxisStart　主軸情報データ領域の先頭ファイルポインタ　形式：long int

(vii) R_AxisSize　主軸情報データ領域のサイズ　形式：long int

(viii) R_AxisNum　ラベル内の主軸の情報　形式：文字列

ラベル内の主軸の情報は、主軸を空間内の折れ線とし、この折れ線の一方の端点、折れ線が曲がる点（個数分だけ）、もう一方の端点からなる点列として表す。この点列を構成する点の個数 R-AxisN を、ラベルごとに'&' でつなぎ合わせて文字列として記述する。　例：　R-AxisN:3$4&2&2&2&3

2）　データ領域の記述

(a)　頂点情報

領域は、1-(a) の(i),(ii)で規定される。

一つの頂点のX，Y，Zの座標値をこの順に記述。

頂点間の区切りなし。

（頂点1のX座標）（頂点1のY座標）（頂点1のZ座標）

（頂点2のX座標）（頂点2のY座標）（頂点2のZ座標）

（中略）

（頂点NのX座標）（頂点NのY座標）（頂点NのZ座標）

(b) ラベル情報

(i) ラベルに属する頂点の情報

頂点番号をラベル１に属するものから順に羅列する。

ラベル間の区切りはなし。

例： （ラベル１の頂点１の番号）(ラベル１の頂点２の番号)…

（ラベル２の頂点１の番号）(ラベル２の頂点２の番号)…

・・・

(ii) ラベルづけ処理におけるの切断面の方程式

ax+by+cz=d

の形で表す。ただし、a,b,c,d は float

3(b)(vii)B_Section で定義された断面の順に、それぞれの a,b,c,d,のデータを float 形式で羅列する。

例： （断面１の a）（断面１の b）（断面１の c）（断面１の d）

（断面２の a）（断面２の b）（断面２の c）（断面２の d）

・・・

(iii) 切断面近傍領域に含まれる点群情報

(b)(ix) B_UnlabeledPoint で定義される切断面近傍領域の順に、それぞれに含まれる頂点番号を long int 形式で羅列してゆく。

例： （近傍領域１の頂点１の番号）(近傍領域１の頂点２の番号)…

（近傍領域２の頂点１の番号）(近傍領域２の頂点２の番号)…

・・・

(c) 順序情報 (Relation)

(i) ラベルごとの順序情報

一つのポリゴンについては、ポリゴンを構成する頂点の個数 polyN(i)の後ろに、ポリゴンを構成する各頂点の番号列 polyN(i,1), polyN(i,2) ,... を long int 形式で記述する。この一つのポリゴンに関する記述を、ラベル内のすべてのポリゴンに対して行う。これでラベル単位のポリゴンリストが得られる。

さらに、ラベルの番号順（０から）に、ラベルごとのポリゴンの構成を示す順序データを羅列する。ラベル間の区切りはなし。

例： （ラベル０のポリゴンリスト情報１）（ラベル０のポリゴンリスト情報２）…

（ラベル１のポリゴンリスト情報１）（ラベル１のポリゴンリスト情報２）…

・・・

(ii) 切断領域の順序情報

順序情報の記述方法は、(i)ラベルごとの順序情報と同じ。

C.1.(b)(vii)B_Section で定義したラベル順に、ラベルごとのポリゴンの構成を示す順序データを羅列してゆく。ラベル間の区切りはなし。

(iii) 主軸（折れ線）情報

各ラベルについて、点列を並べる向きは、身体の中心から末端へ向かう向きとし、体幹部に関しては、上から下（首から腰）へ向かう向きに並べる。

一つの点の情報については点のX、Y、Z座標を順にfloat形式で羅列する。

例：　（ラベル0の軸を表す点1のX座標）　（Y座標）（Z座標）
（ラベル0の軸を表す点2のX座標）　（Y座標）（Z座標）
・・・
（ラベル0の軸を表す点N0のX座標）　（Y座標）（Z座標）
（ラベル1の軸を表す点1のX座標）　（Y座標）（Z座標）
（ラベル1の軸を表す点2のX座標）　（Y座標）（Z座標）
・・・
（ラベル1の軸を表す点N1のX座標）　（Y座標）（Z座標）
・・・

（5）　画像データファイル（"*.3dai"）

レンダリング時において、物体を実物らしく着色する場合、各頂点に直接色情報を与える方法と、輝度画像をテクスチャ画像として使いマッピングする方法とがある。ここでは、より一般的なテクスチャマッピングのみを扱う。テクスチャ画像は2次元とし、複数枚分の画像データを格納可能とする。各画素のデータは、Gray（単色、1値），ＲＧＢの3値、ＲＧＢαの4値のいずれかを選択。各色のデータは256階調であり、0～0FFHの１６進整数値とする。輝度は、0で最小、0FFHで最大である。テクスチャマッピングには、この他に、テクスチャ画像と3次元画像間の対応関係が必要であり、この対応関係についても記述可能である。

1）ヘッダー領域の記述

(a) テクスチャ画像の枚数(T_ImageNum)　形式：long int

(b) テクスチャ画像の格納エリア先頭ポインタ(T_Start)　形式：文字列

16進数で表された番地の文字列。複数枚の場合は&で結合

例：856&F54...&1000

(c) テクスチャ画像の大きさ（バイト数）(T_Size)　形式：文字列

16進数で表された大きさの文字列。複数枚の場合は&で結合

例：100&400&...&100

(d) 各画像ごとの対応情報の格納エリア先頭ポインタ(T_CorrespondenceStart)

形式：文字列

16進数で表された番地の文字列。複数枚の場合は&で結合

例：2856&2F54...&4123

(e) 対応情報に含まれる対応関係の個数(T_CorrespondenceNum)

形式：文字列

16 進数で表された個数の文字列。複数枚の場合は&で結合

例：100&400&...&400

2）データ領域の記述

① 画像情報の記述

実画像データ以外の情報の格納エリアが、1枚分の画像データ領域の先頭部分（１６バイト）である。この先頭部分の最初の１バイト目を相対番地０とすると、以下の情報が格納されている。

(i) 相対番地０：濃淡、ＲＧＢ

00H:Gray , 01H: RGB, 02H: RGBA(RGB＋Alpha 値)

(ii) 相対番地 4～7：X方向ピクセル数 Xsize

データ形式は long int

(iii) 相対番地 8～11：Y方向ピクセル数 Ysize

データ形式は long int

(iv) 画像データの格納方式　（相対番地 16～、17 バイト目以降）

点順序で格納

１画素に含まれるＲ，Ｇ，Ｂ，α値などの各成分は、１バイト。

単なるデータの羅列をおこなう（区切り文字などなし）。

各成分は、最小が０であり、最大が 0FFH である１６進数値で表す。

例（Ｒ，Ｇ，Ｂ，αの場合）：

（画素(0,0)のＲ成分）（画素(0,0)のＧ成分）（画素(0,0)のＢ成分）（画素(0,0)のα成分）

（画素(1,0)のＲ成分）（画素(1,0)のＧ成分）（画素(1,0)のＢ成分）（画素(1,0)のα成分）

（画素(2,0)のＲ成分）（Ｇ成分）（Ｂ成分）（α成分）

・・・・・・

（画素(Xsiz-1,0)のＲ成分）（Ｇ成分）（Ｂ成分）（α成分）

（画素(0,1)Ｒ成分）（Ｇ成分）（Ｂ成分）（α成分）

・・・・・・

（画素(Xsiz-1,Ysize-1)Ｒ成分）（Ｇ成分）（Ｂ成分）（α成分）

② テクスチャマッピングの場合における対応点の記述

物体表面上の点Ｐと２次元テクスチャ画像上の点Ｔの対応は、以下のようにデータを羅列することであらわす。（ただし、それぞれの座標系を仮にＸＹＺ座標系、ＵＶ座標系とする。）

（点ＰのＸ座標）（点ＰのＹ座標）（点ＰのＺ座標）（点ＴのＵ座標）（点ＴのＶ座標）

ただし、３次元座標の座標値は、float 形式、２次元座標の座標値は、long int 形式とする。これを一つの対応関係として、各テクスチャ画像ごとに対応関係を羅列してゆく。区切り文字はない。

注：long int: 4バイト整数、int：2バイト整数であり、float：4バイト浮動小数点　であり、標準的C言語における定義に基づく。

4．人体形状データベースの構築手法の研究開発

4．1　人体形状データに係わる国内外における活用状況に関する調査

調査結果の全容はは、巻末付録の「国際標準化に向けた人体三次元形状データ活用に関する実態調査報告」に記されているので、そちらを参照して欲しい。

ここでは上記調査報告の中から身体形状データベース構築に向けて、特に重要と思われる国内における三次元人体形状データに関する産業界のニーズの部分を引用する。

---

(1) データベースとしてのデータの内容

1）衣料産業において、人体三次元形状データを用いて着装シミュレーションを行うには、服を支える肩、鎖骨周辺の形状が非常に重要であり、従来の人体三次元形状データでは解像度が粗すぎる。データの解像度としては、平均的に 2mm 間隔程度必要である。

2）人体三次元形状データは、精度だけを追求しても意味がない。衣料産業では、生活行動の中で衣服の形状および素材の最適化を計るために、手を挙げる、座る等の姿勢を変化させたときの人体三次元形状データが必要である。

3）女性向け衣料分野では、バスト形状が押しつぶされていない洋服着用時の下着に近い状態での形状データが必要である。

4）人体三次元形状データの解像度ならびに精度要求は、利用対象となる産業分野によって異なるので、共通の汎用人体三次元形状データベースの構築は不可能と考えられる。したがって、例えば履物業界に対応した足の三次元形状データというように、適用分野毎に適した部位の人体三次元形状データを整備すべきである。例えば、首から上の顔と頭部、体幹部から脛まで、足部の三つの部位に分割したデータの整備を検討すべきである。

5）データの規格化に関しては、表面形状の座標値が体のどのへんのデータを示しているかを管理できるようなデータのアドレス管理や人体の解剖学的特徴点におけるランドマークと形状データの対応が必要である。

6）HQL の人体三次元形状データからサーフェスモデルへの変換に多大な労力が必要なので、利用者に多大な労力をかけさせないためにサーフェスモデルに変換後のデータの提供を検討すべきである。

(2) 利用のためのデータ処理

1）人体三次元形状データを基に、任意の寸法値（例えば、体幹部の周囲長、厚み、幅、臀部の頂点の高さ等）の計測処理が可能なデータ処理機能が必要である。

2）ある体型から別の体型の寸法値、断面形状、三次元形状に関する差分の分析が可

能なデータ処理機能が必要である。

3）蓄積された人体三次元形状データから任意の属性の標準体型の三次元データを生成するデータ処理機能が必要である。

(3) データベースシステムを用いたサービス

人体の三次元形状データに関して、利用する企業側において、今後どのような寸法やデータ種類が必要になるか完全に予測することは困難である。そのために、多数の人体三次元形状データを購入し、自社のコンピュータ環境を用いてデータ処理することによって種々の寸法データを得ることができる環境を構築するのが望ましい。しかし、企業の経営体力によってはそのような環境を用意できないところもあるので、将来的にも多様なニーズに応えられるように、人体三次元形状データに対して任意の寸法を取得可能なソフトウェア環境を用意し、希望があれば、指定された属性に対応する特定の寸法の統計値を採寸、集計して提供するサービスを行うデータセンター的機能を期待したい。

これらの中から人体形状データベース構築に関する問題点・要望を以下に抽出した。

（1）データ提供に関する項目

1）応用目的別に必要となる形状データが異なる。
・目的により、必要とする部位が異なる。
・目的により、必要とするデータの解像度が異なる。
2）姿勢を変化させたときの三次元形状データが必要である。
3）全身形状に関しては点群データの部位を示すようなアドレス管理が必要である。
4）形状データには解剖学的特徴点の座標値が必要である。
5）点群データの提供で無く、サーフェイスモデル変換後データを提供して欲しい。

（2）データ処理に関する項目

1）三次元形状データから任意の寸法値を抽出できる。
2）２形状間における差分を分析できる。
3）複数の形状データより標準形状（平均形状）を生成できる。

これらの問題点・要望に留意し、データベース設計を行った。

４．２　数値表現形状データの階層構造化モデル

当該事業を進めていく過程で、人体三次元形状データ活用に関する実態調査の結果や技術委員会・調査委員会で議論を重ねて行く中で、形状データの数値表現化には、コンセンサスの得られる統一的な方法論は存在しないことが分かった。ある手法を用いるにしてもその応用目的に応じて、用いる解剖学的特徴点が異なるなど、応用目的のコンセプトによって個々の処理が異なってくる。従って、形状データをデータベース化するための数値表現化は今回行わないこととした。形状データをデータベースとして格納し、後に検索するための指標値を得るために数値表現化を目指したが、これを行うと偏ったひとつの視点からの指標化となり、不特定の幅広いユーザーを対象とし、知的基盤的要素を持つデータベース構築には不適切であると判断した。

形状データの数値指標化を除いた場合、考えられる三次元人体計測データベースの階層構造化モデルを図 49 のように設定した。これは一人の被験者が 1 回の測定において得られたデータを階層構造化したものである。また格納できる姿勢と部位は合計 10 までとする。

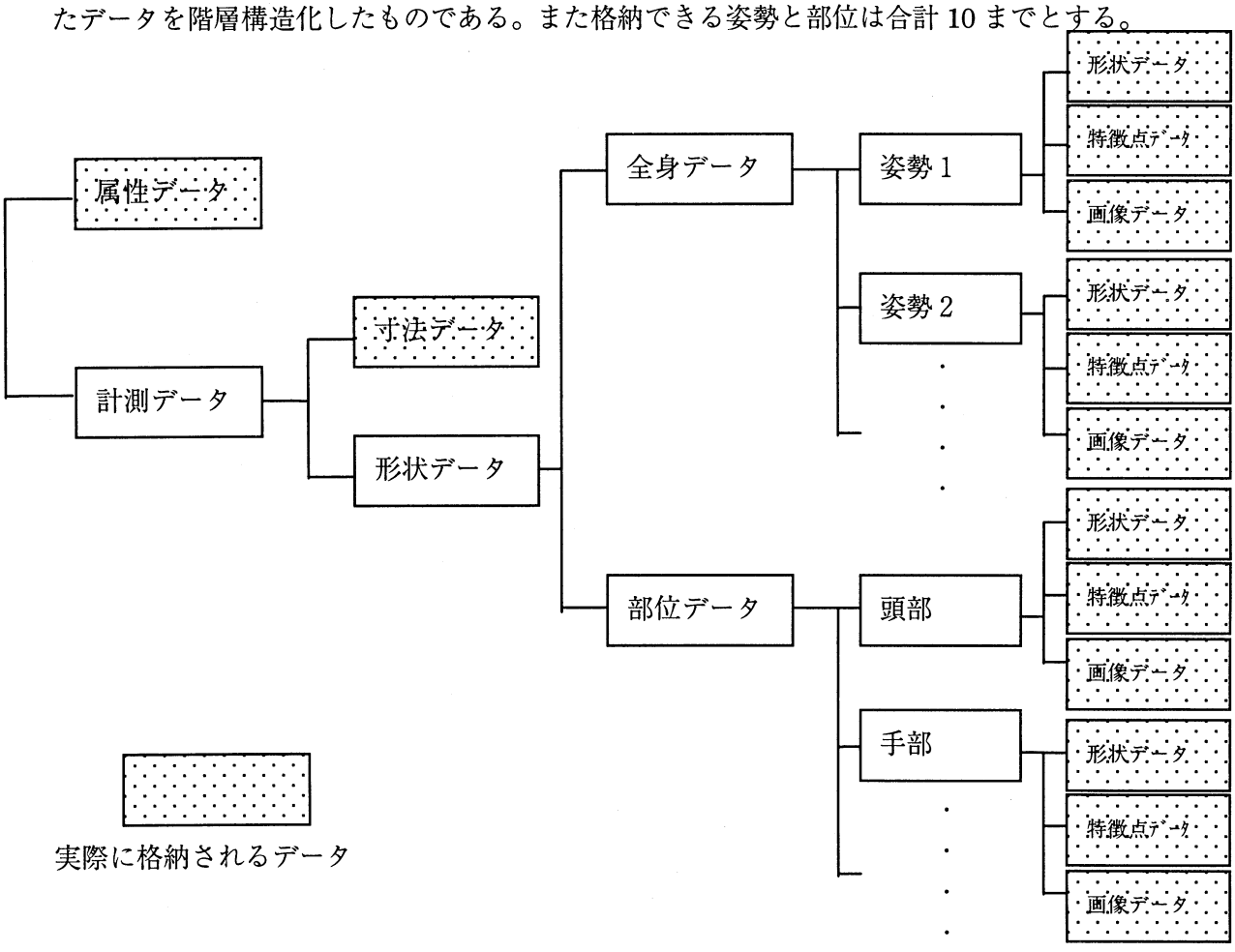


図 49 三次元人体計測データベース階層構造化モデル

４．３　階層構造モデルに従った、具体的データベースの構築

前項の階層構造化モデル図１で示された、実際にデータベースに格納されるデータを基にデータ項目を選定した。この項目選定には、現在国際標準化されているISO-7250「設計のための基本人体寸法計測法」及び規格提案過程の WD-15535「人体寸法データベースの構成要素」を大前提とした。今後HQLの行う人体計測においては少なくともこれらに記載されている項目はデータ項目として選定する事とする。また、形状データ、特徴点データ、画像データは姿勢や部位ごとに各１ファイルづつ格納する。姿勢・部位の合計は10とする。

４．３．１　属性データ項目

WD-15535に規定された10項目を必ず含み、それ以外に計測された項目は適当な名称を付け、11項目目以降に格納される。

ここでは規定された10項目を示す。

０１．被験者氏名あるいは識別番号
０２．性別
０３．計測地（国別、都道府県別）
０４．所属組織・会社（成人の場合）、所属学校・学年（学生の場合）
０５．計測年月日
０６．生年月日
０７．10進年齢（05.と06.より算出される）
０８．人種・民族
０９．出身地
１０．職業（成人の場合）

４．３．２　寸法データ項目

寸法データはISO-7250に規定された56項目を必ず含み、それ以外に計測された項目は適当な名称を付け、57項目目以降に格納される。

ここでは規定された56項目を示す。

０１．体重
０２．身長
０３．眼高
０４．肩峰高
０５．肘頭（下縁）高
０６．腸骨棘高
０７．股下高
０８．頚骨上縁高

０９．胸（部）矢状径
１０．体幹厚径
１１．胸郭幅、立位
１２．ヒップ幅、立位
１３．座高
１４．座位眼高
１５．座位頚椎高
１６．座位肩峰高
１７．座位肘頭（下縁）高
１８．肩峰肘頭（下縁）高
１９．肘頭（後縁）・手首距離
２０．肩峰幅
２１．肩幅
２２．肘間幅
２３．座位臀幅
２４．座面高（膝窩高）
２５．座位大腿高
２６．座位膝高
２７．座位腹部厚径
２８．乳頭位厚径
２９．座位臀・腹厚径
３０．手長
３１．手掌長
３２．手幅（手軸直交）
３３．第２指長
３４．第２指近位関節幅
３５．第２指遠位関節幅
３６．足長（足軸平行）
３７．足幅（足軸直交）
３８．頭頂
３９．頭幅
４０．顔高
４１．頭囲
４２．頭矢状弧長
４３．耳珠間頭頂弧長
４４．壁・肩峰距離

４５．壁・握り棒距離
４６．肘頭後縁・握り棒距離
４７．こぶし（握り棒の軸）高
４８．肘頭（後縁）・指尖距離
４９．座位臀・膝窩距離
５０．座位臀・膝距離
５１．頚囲
５２．乳頭位胸囲
５３．ウエスト囲
５４．手首囲
５５．大腿囲
５６．下腿囲

４．３．３　形状データ

形状データは１つのファイルとしてデータベースに格納する。そのファイルフォーマットは付録「三次元人体計測データファイルフォーマット（案）」中において規定される。なお、形状データ、特徴点データ、画像データは全身データの場合は１姿勢、また部位データの場合は１部位につき、それぞれ１ファイルづつ存在する。最大１０ファイルまでの形状データを格納できる。

４．３．４　特徴点データ

特徴点データは必ずある１つの形状データとリンクした形で存在する。また特徴点データはある１つの形状データにおける複数の解剖学的特徴点座標値が記述されたファイルである。そのファイルフォーマットは付録「三次元人体計測データファイルフォーマット（案）」中において規定される。最大１０ファイルまでの特徴点データを格納できる。

４．３．５　画像データ

画像データはは必ずある１つの形状データとリンクした形で存在し、１つのファイルとしてデータベースに格納する。そのファイルフォーマットは付録「三次元人体計測データファイルフォーマット（案）」中において規定される。最大１０ファイルまでの画像データを格納できる。

以上述べてきたデータ項目を設定したデータベース構造をデータベースマネージメントシステム「オラクル」を用いて構築した。また、本研究事業全般を通して用いた浜野エンジニアリング社製三次元人体計測器「VOXELANE」出力データを規格提案予定の新三次元人体ファイルフォーマットに変換するソフト「フォーマット変換ソフト」を作成した。

４．４　人体形状データベースに必要な諸機能の実現法

４．４．１　検索機能

データベースシステムの一番基本的な機能として検索機能がある。今回設計したデータベースには４．３で示したように１レコードに対し、①属性データ、②寸法データ、③形状データ、④特徴点データ、⑤画像データ　が存在する。しかし、数値表現化、あるいはテキスト化されているデータは①属性データと②寸法データだけである。④特徴点データもテキストデータにはなっているが、検索に使えるような指標化項目を持っていない。従って現在検索に使用できるのは、①属性データと②寸法データだけである。これらについては通常のデータベース検索機能と同じように数値データに関しては条件値を指定、あるいは条件範囲を指定し、レコードを抽出する。またテキストデータに関しては指定されたテキストと一致、あるいはそれが含まれるレコードを抽出してくる事になる。

特殊な抽出機能の１つとしてランダム抽出機能がある。これは目的とする集団レコード数が大きい場合にその集団の分布状態を変化させずにレコード数を縮小させる方法である。この機能実現のためには抽出された集団レコードをID番号順に並び換え、そこから抽出レコード数に応じ、抽出レコードが等間隔順になるよう抽出を行う。

さらに特殊な抽出機能に複数の目的項目値への距離最短レコードランキング抽出機能がある。これはある条件集団から一定条件に近いレコードを順番に抽出してくる機能である。この機能実現のためには目的条件を構成する項目ごとの条件値とレコードにおける値との距離およびその合計値を算出し、この合計値の小さいレコードから順番に指定のレコード数だけ表示する手法を用いる。

以上述べた特殊な抽出機能は今回の事業で作成した「数値解析システム」に搭載されている。

また、③形状データ、④特徴点データ、⑤画像データに関しては現在指標化手法が確立されていないため、データ内容からの検索手段はない。これらのデータに関して何らかの指標化手法の確立は今後の課題である。

４．４．２　寸法データに体する統計処理機能

寸法データに関してデータベース利用者から要求される頻度の高い機能として、統計処理機能がある。これには１項目における統計処理と２項目間における相関処理がある。さらに多項目間にける多変量解析的な処理に関しては頻度として低いため、データベースの処理機能としては組み込まない。

１項目における統計処理機能は抽出されたレコードの目的項目の平均値・標準偏差・最大値・最小値・中央値・５％刻みのパーセンタイル値・ヒストグラム・度数分布表が１枚の図表として出力される。

２項目間における相関処理機能は抽出されたレコードの２項目間における相関係数・回

帰直線・決定係数・散布図・確率楕円・クロス集計表、またそれぞれの項目における平均値・標準偏差・ヒストグラム・尖度・歪度などが１枚の図表として出力される。

これら１項目統計処理機能、２項目間相関処理機能は今回の事業で作成した「数値解析システム」に搭載されている。

４．４．３　形状データに対する統計処理機能

形状データに関し、必要な諸機能は４．１（２）に述べたような、任意寸法抽出機能・２形状間における差分情報の分析機能・統計処理機能などがある。統計処理については本報告書「２．形状データを寸法データで表現する方法の研究開発」において詳しく述べられているが、あくまで特殊な１手法と言うことで、数値データにおける統計処理のような一般的な手法ではない。しかし今後人体計測データを製品設計などに応用していく場合には必要となる機能なので今後この事業で開発された手法をデータベース機能として組み込んでいきたい。差分の分析は特に２つの形状データを座標軸でうまく重ねて表現し、その比較ができる機能であるが、これは今後の課題と言えよう。任意寸法抽出機能についても今回の事業では触れずにきた部分ではあるが、差分分析機能と同様、今後の課題と言える。

形状データの処理に関しては、指標化のための数値化処理が必要と考えるが、今回の事業でその数値化処理は、活用目的に応じて処理操作を微妙に変化させることが分かった。この微妙な処理の部分をどうしていくかが、今後形状データをデータベースとして利用していく上で大きな問題となる。

４．５　国際標準としての提案を検討するため、諸外国における人間の形態データ計測実体の把握と標準化動向の把握

詳細については、巻末付録「海外調査報告」、「国際標準化に向けた人体三次元形状活用に関する実体調査報告」を参照。

要点を以下にまとめる。

・人体三次元計測については欧米では進んでいるが、アジアではその動きはない。
・欧米において、人体三次元人体計測は軍関係を中心にして動いている。
・その１番大きな動きは「CAESER Project」である。
・この「CAESER Project」でも三次元人体計測の形状データを国際標準規格化する動きはまだない。
・コンピューター・グラフィックスの世界では人体アニメーションの規格として「H-anim」という規格を策定中でこれは今後、国際規格化も視野に入れている。
・形状データの研究に関し、特にアメリカ、カナダでは、平均形状を算出するより、２形状の差分を分析する研究が進んでいる。

5．人体計測における不確かさの評価に関する研究開発

５．１　人体の形状測定実験

実際に非接触３次元計測方法の１つである光切断法（レーザスリット光走査方式）を用いて人体の形状測定実験を行い、測定データの変動幅（ばらつき）について調べる。また人体の形状測定データと形状データが既知のマネキンについても測定実験を行い、測定被対象が人体である場合のデータの不確かさの特性について考察する。

５．１．１測定実験方法と原理

（１）測定原理

本測定実験ではレーザースリット光走査方式３次元計測システムを採用する。これはレーザースリット光の走査と画像合成装置であるイメージエンコーダとを組み合わせた非接触の形状計測方式であり、光切断法の光学系とイメージエンコーダを併せ持つシステムである（図 50)。イメージエンコーダとは、CCD カメラから入力される信号に対して画素ごとに輝度のピークホールド処理をリアルタイムで行うことにより、各画素の一定の時間内の最大輝度から構成される最大輝度画像を合成すると同時に、各画素が最大輝度を取ったタイミングで別の信号をその画素に対応する値としてコード化して、コード化画像を生成する装置である。

まず左右からスリット状の微弱なレーザー光を測定対象に走査し、中央の 2 台の CCD カメラによって対象物の凹凸によって生じるレーザースリット光のパターンを撮像する。次にイメージエンコーダを用いてスリット光走査画像をリアルタイムで演算し、測定対象表面の各点ごとに、その点をスリット光が通過した瞬間、すなわちその点が最も明るくなった瞬間のスリット光の投光角度を表す投光角度コード化画像 $\theta(x,y)$ を合成し、この画像に基づいて形状を演算する（図 51)。

なお、測定対象を上から見て左から右に向かう水平軸をＸ軸、測定対象の下から上へ向かう鉛直方向軸をＹ軸、測定対象の後方から前方に向かう水平軸をＺ軸とする。本章では特に断りがなければこの座標系を採用する。

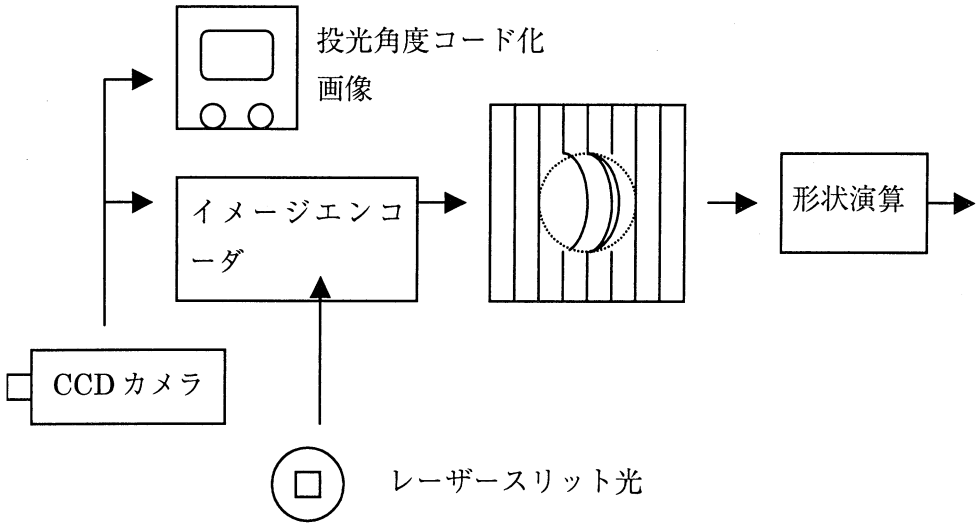


図 50　レーザースリット光走査方式 3 次元計測システム

x_0：レーザースリット光走査回転軸 x 座標
z_0：レーザースリット光走査回転軸 z 座標

$$f(x,y) = z_0 - (x_0 - x) \times \tan\theta(x,y)$$

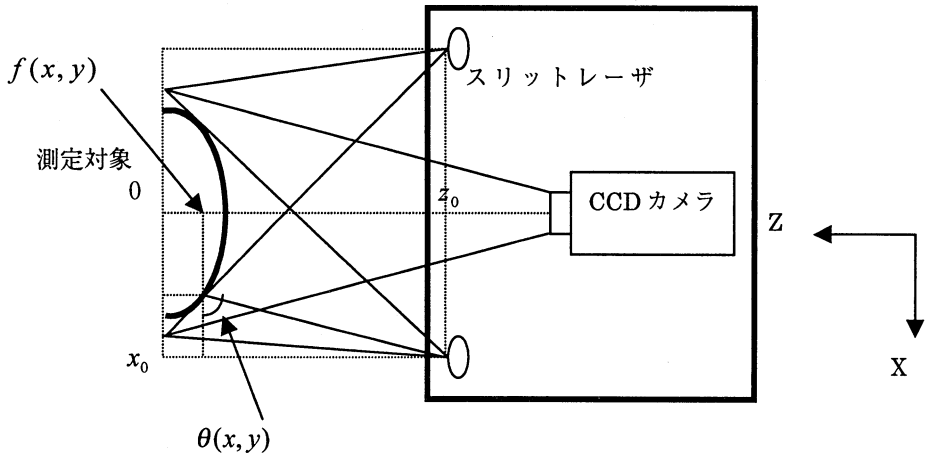


図 51　測定対象の高さ形状 $z = f(x,y)$ の計算

（2）　人体の 3 次元計測装置

レーザースリット光走査方式 3 次元計測装置（図 52）は浜野エンジニアリング製の VOXELAN を採用した。仕様は表 3 に示す通りである。このシステムは検出ヘッド、画像処理部、スキャナードライバ、回転ステージから構成される。検出ヘッドは人体の 3 次元形状と輝度情報を非接触で計測するものであり、2 台の CCD カメラ、8 台のレーザー投光ユニットからなるマルチレーザー方式を採用する（図 53）。画像処理部は撮像した画像から形状の演算を行う。スキャナードラ

イバは画像処理部からの制御により検出ヘッドのコントロールを行う。回転ステージは測定対象の全周を計測するためのものであり、計測方向を自動にて90度ピッチで4方向回転を行う。

この装置の特徴として下の5点が挙げられる。

- 従来の光切断法とは異なりイメージエンコーダ法用いるため、高速度、高精度を実現している。
- 安全なレーザー光（JISクラス2）を使用するため、人体への使用も可能である。
- 測定環境（蛍光燈の下）や色彩等に、影響されない安定した計測が可能である。
- スリットレーザー光は片側4箇所から照射されるため死角になりやすい部位の計測も可能である。
- 回転ステージと測定機の測定中心が光学的に一致しているため前面計測と後面計測の合成が正確に行える。

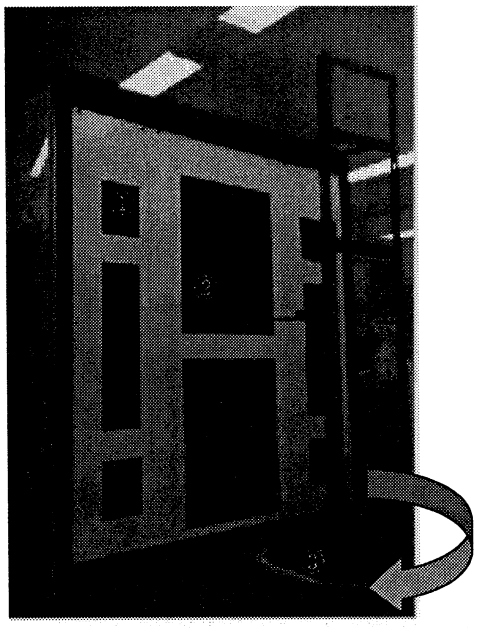


図52　人体3次元計測装置（VOXELAN）

表３　VOXELAN の仕様

測定サイズ	測定面位置	約 650 mm（検出ヘッドガラス前方より）
	測定範囲	1800 mm × 750 mm
	測定深度	600 mm
測定精度		1.5 mm
測定時間		約 25 秒／全周
データ処理時間		約 40 秒／全周
出力データ		形状データおよび輝度データ
出力データ数		138240 点（576×240）
レーザ光源		半導体レーザ　波長 670 nm（JIS クラス 2 以下）
外形寸法		1800 mm × 2900 mm × 2200 mm
制御用パソコン		NEC 製 PC-9821 シリーズ

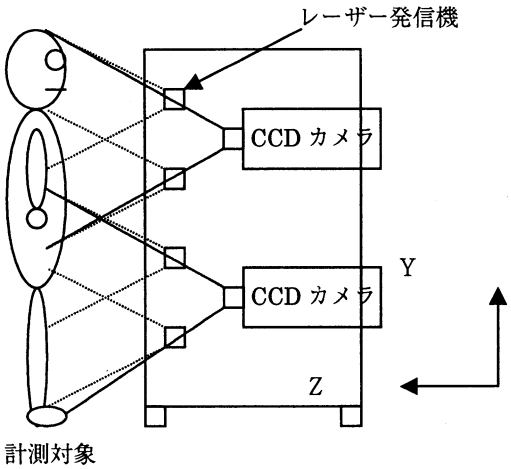


図 53　マルチレーザー方式

（３）　人体の３次元形状測定方法

まず人体の正面データを取得する。レーザースリット光を人体表面の両側からスキャンし形状データの張り合わせ合成を行う。このようにして立体形状（距離データ）とグレイスケール画像（輝度データ）を得る（図 54)。1 面のデータを得るのに約 8 秒を要する。回転ステージを 90 度ずつ回すことにより、人体の左側面、背面、右側面のついても順次同様のデータを得る。図 55 に、断面図作成用のデータ処理ソフトウェアを示す。

こうして得られたデータは２．５次元フォーマット（1 格子 3.1287mm）であるため汎用性をもたせるために３次元データへと変換する。これにより、断面図（図 56）やモアレ表示（図 57)、ワイヤーフレーム表示（図 58）が可能となる。

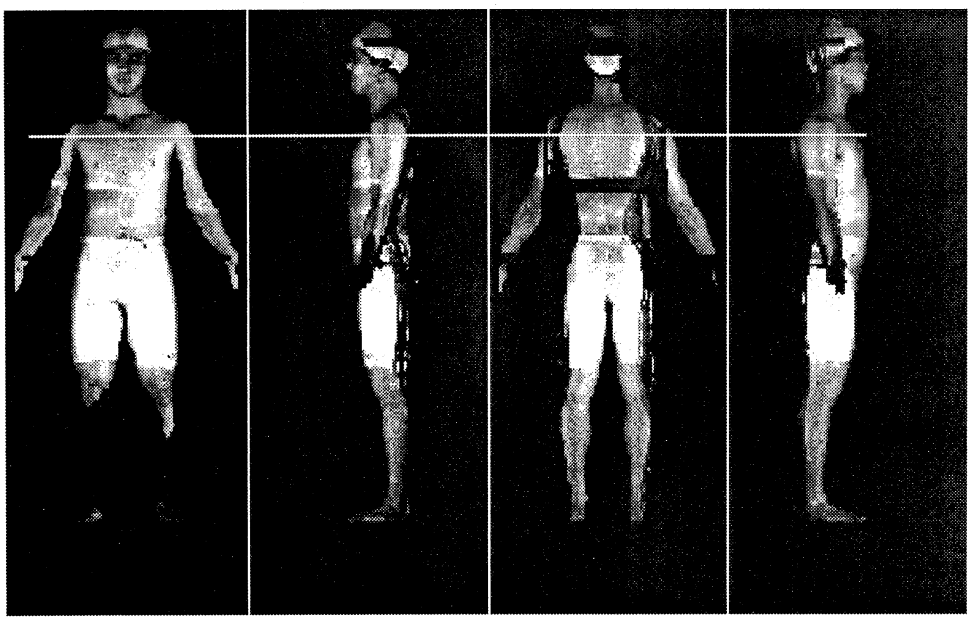


図 54　4 面の輝度画像



図 55　断面図作成アプリケーション

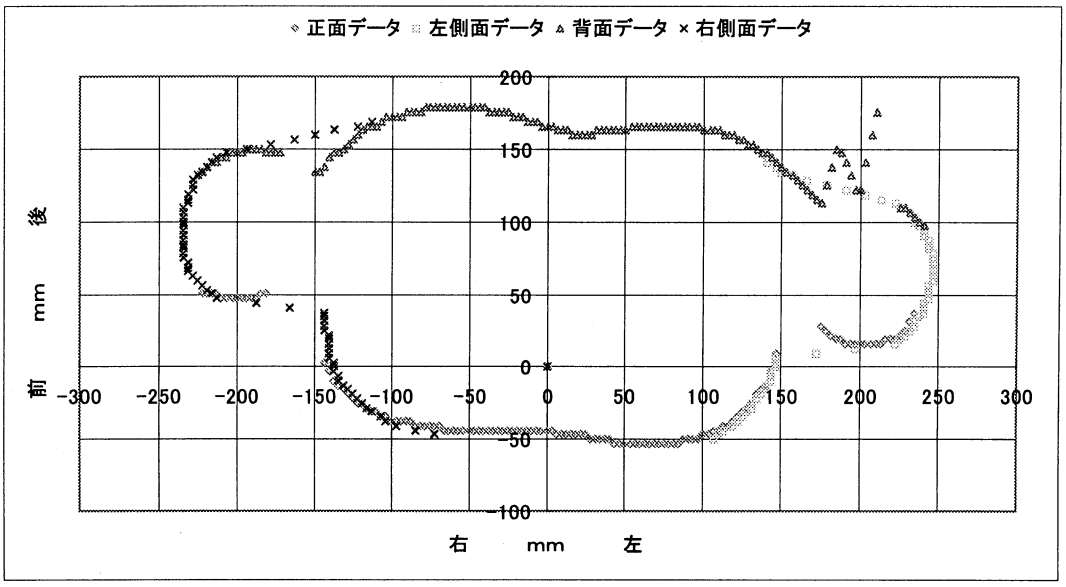


図 56　断面図の作成（輝度画像白線部分）

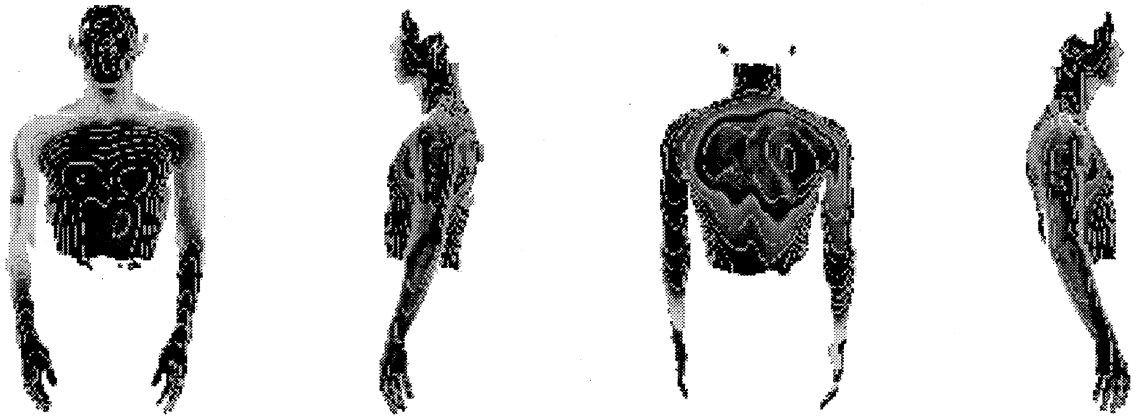


図 57　モアレ表示

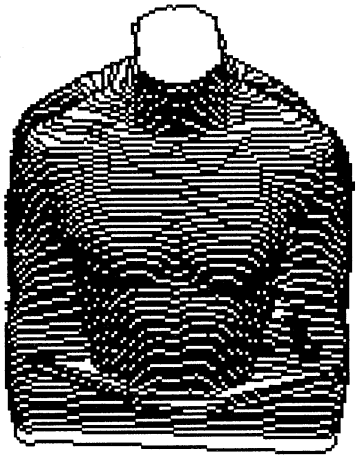


図58　ワイヤーフレーム表示

5．1．2　測定の不確かさの検討

（1）形状データの不確かさ（形状データのばらつき）

前述したレーザースリット光走査方式3次元計測装置を用いて、2 日にわたり人体の3次元形状測定実験を3回ずつ行い、測定のばらつきに起因する測定の不確かさについて調べた。形状データのうち特徴的な地面からの高さが110cm と 140cm の断面を調べることにより、測定の不確かさを考察する（図 59)。それぞれの断面における正面、右側面、背面、左側面の形状データ（距離データ）については図60から図67のようになった。

このうち光切断ではデータの信頼性の低い端のデータを切り捨て、また被測定者の初期位置によるずれを特徴点を基準に補正したうえで形状データを比較する。このため平均形状に対する偏差を計算することでばらつきを評価した（図68から図75)。1日目の1回目のデータを濃い青色で、2回目のデータをピンクで、3回目のデータを黄色で、2日目の1回目のデータを水色で、2回目のデータを紫色で、3回目のデータを茶色でプロットした。なおX軸と重なっている直線部分は無効データである。またこのデータをもとに形状データの標準偏差を求めた。(表4参照)

表5は図68から図75に示した各高さ、方向の平均データからの偏差のばらつきを計算したものである。それぞれ標準偏差をmm単位で示している。有意水準はおよそ10 mm である。

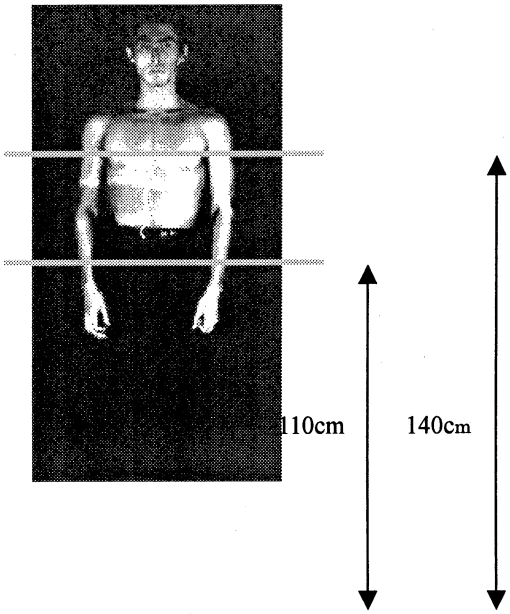


図 59　測定の不確かさ解析に用いる断面

表 4　データと図の対応

測定位置	測定方向	形状データ	平均からの偏差
110 cm	正面	図 60	図 68
	右側面	図 61	図 69
	背面	図 62	図 70
	左側面	図 63	図 71
140 cm	正面	図 64	図 72
	右側面	図 65	図 73
	背面	図 66	図 74
	左側面	図 67	図 75

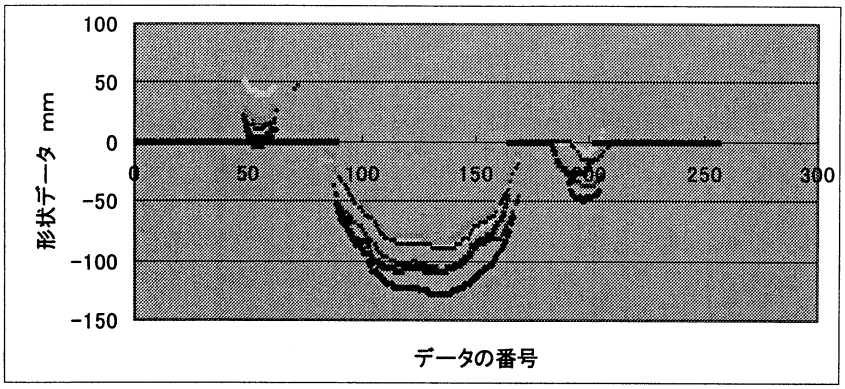


図 60　正面

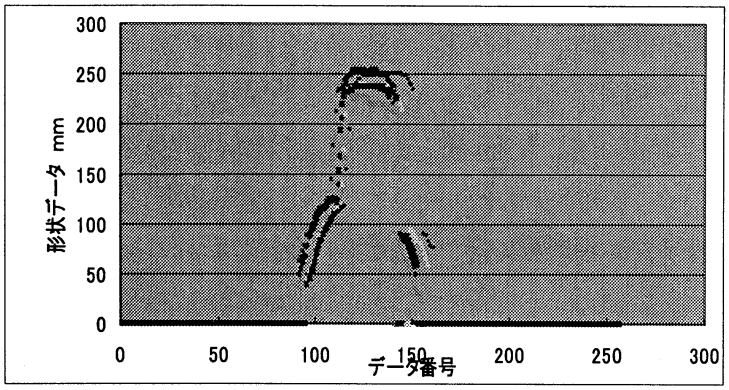


図 61　右側面

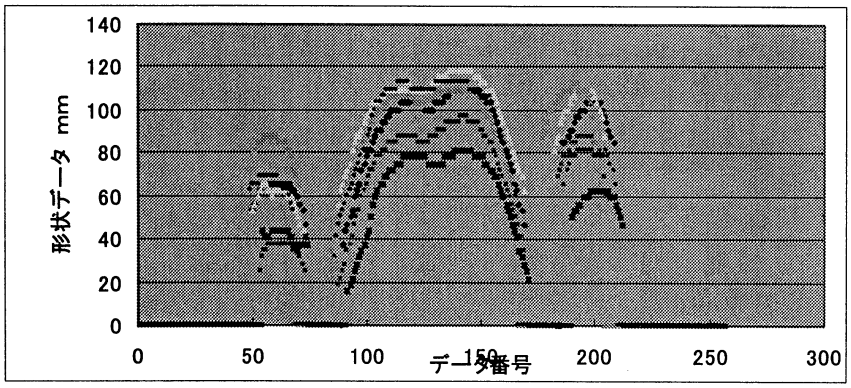


図 62　背面

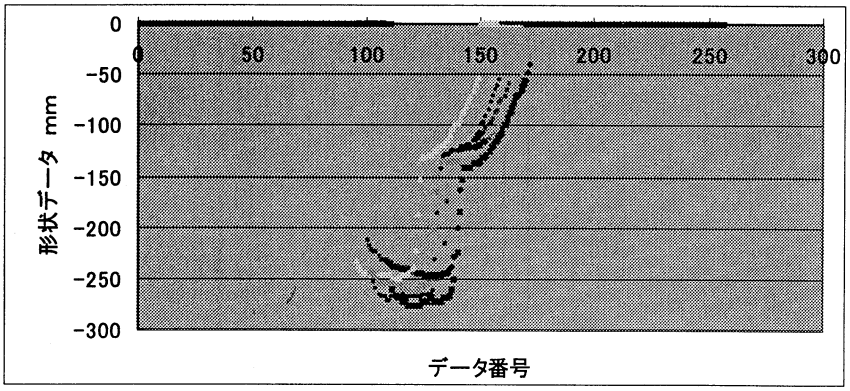


図 63　左側面

図 60～図 63　110cm の高さにおける正面、右側面、背面、左側面の形状データ

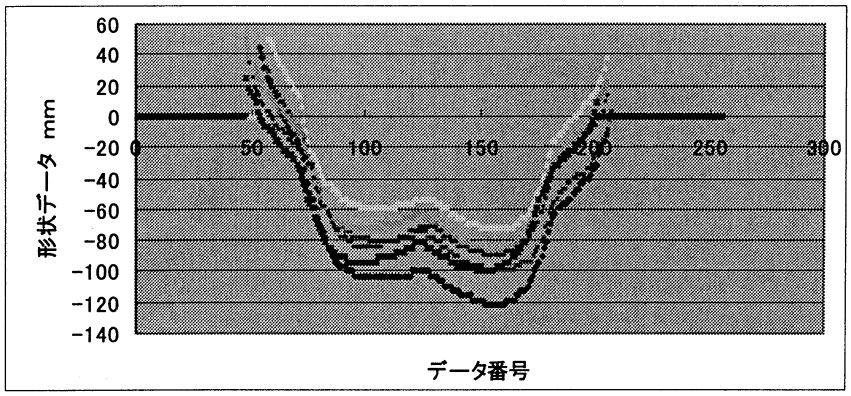


図 64　正面

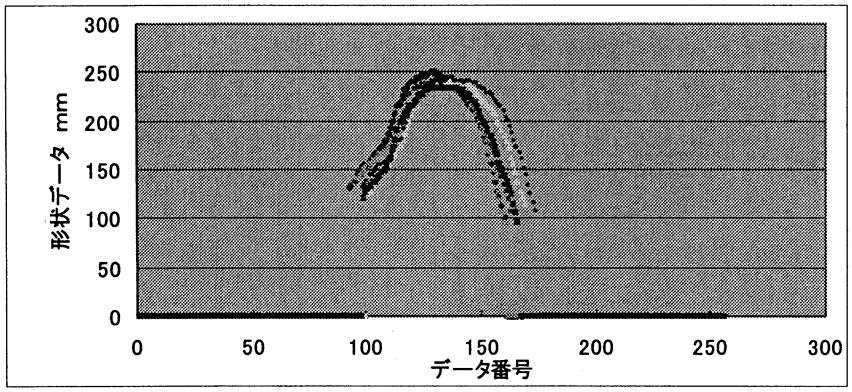


図 65　右側面

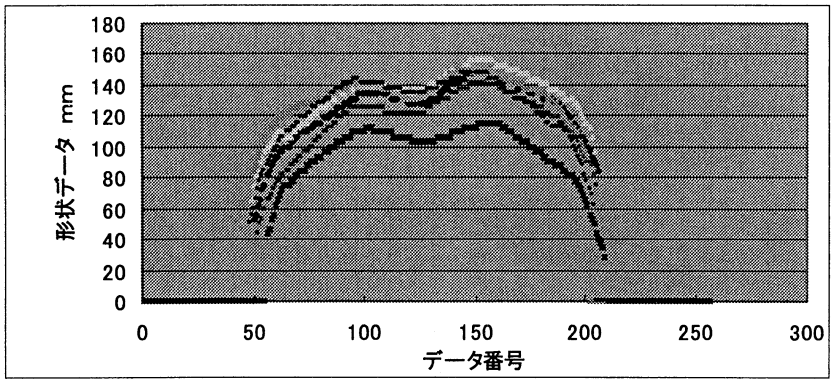


図 66　背面

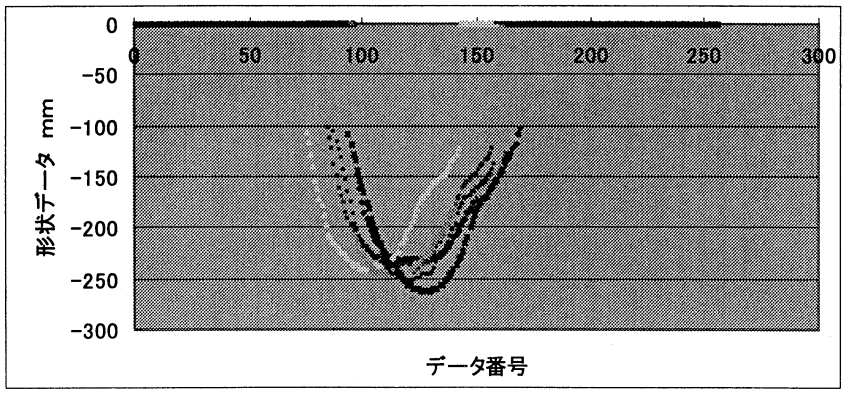


図 67　左側面

図 64～図 67　140cm の高さにおける正面、右側面、背面、左側面の形状データ

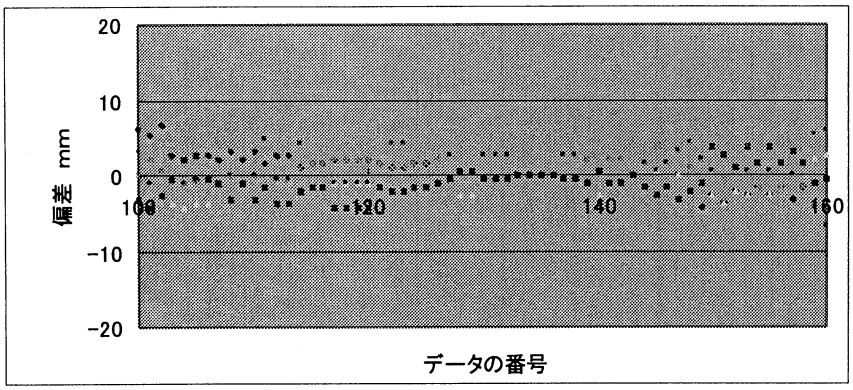


図 68　正面

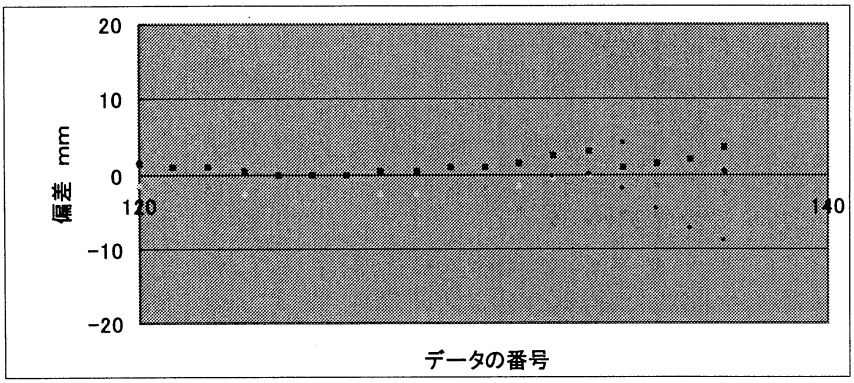


図 69　右側面

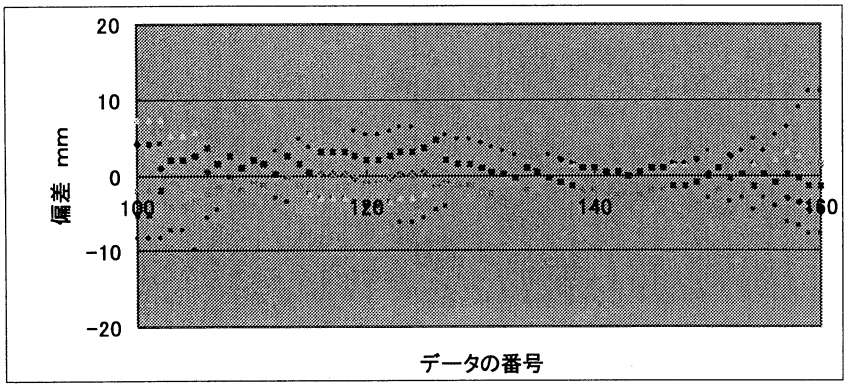


図 70　背面

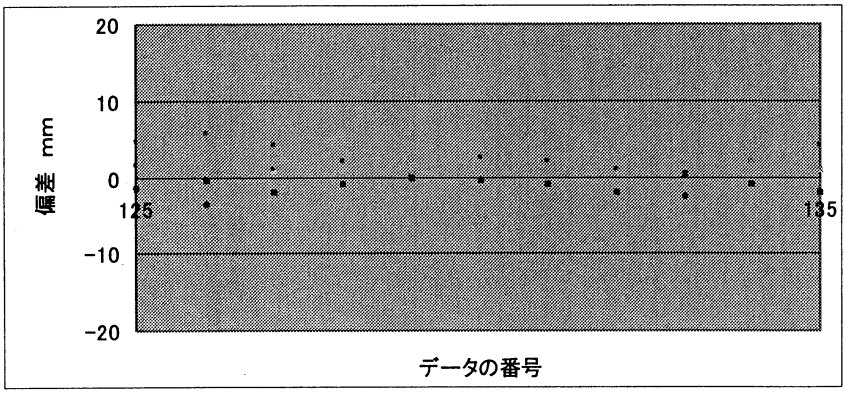


図 71　左側面

図 68～図 71　110cm の高さにおける正面、右側面、背面、左側面の形状データの偏差

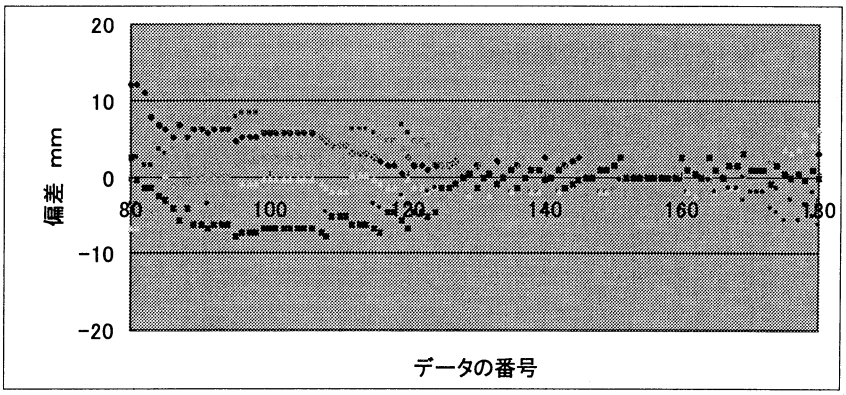


図 72　正面

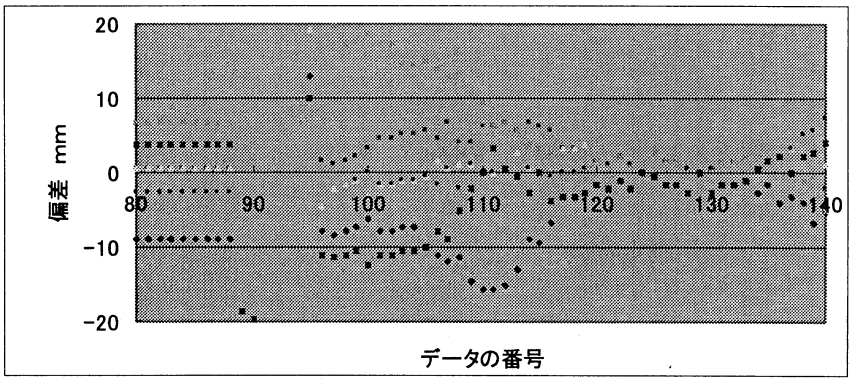


図 73　右側面

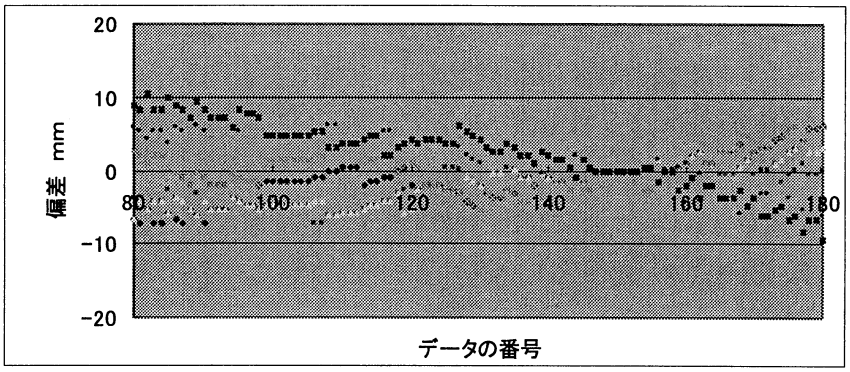


図 74　背面

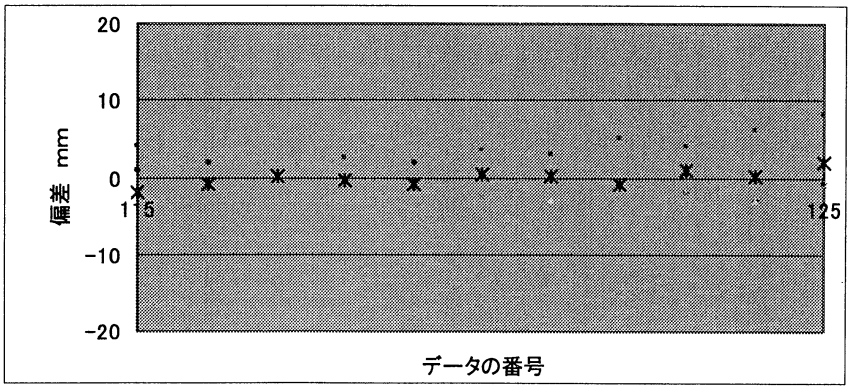


図 75　左側面

図 72～図 75　140cm の高さにおける正面、右側面、背面、左側面の形状データの偏差

表5　形状データの標準偏差 (mm)

高さ	方向	1日目			2日目			全体
		1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	
110 cm	正面	22.5	17.8	14.0	12.4	20.2	16.9	20.0
	右側面	7.1	11.4	13.2	24.5	8.5	15.1	19.3
	背面	16.9	27.0	26.0	12.1	19.2	43.6	29.2
	左側面	56.9	103.8	21.6	25.8	70.9	88.1	53.8
140 cm	正面	27.7	32.9	18.7	20.6	33.1	29.3	34.2
	右側面	48.5	31.2	14.6	61.9	42.2	19.9	52.3
	背面	30.9	26.3	29.3	27.2	45.2	37.3	37.1
	左側面	54.4	51.9	25.0	11.1	22.9	13.0	45.4

（2） 測定機の誤差による不確かさの推定

測定機の誤差による不確かさの影響を評価するために、形状データをあらかじめ3次元測定機により測定したマネキンについても形状測定実験を行った. 使用したマネキンを図76に示す。図77に使用した三次元測定機を示す。三次元測定機は、JIS B 7440-2 によって校正されているため、トレーサブルと言ってよい。また、測定精度はミクロンオーダなので、今回の使用では測定精度を考慮する必要はないと考えられる。

図78は、マネキンを三次元測定機で測定してるようすである。三次元測定機で値付けられたマネキンを前節と同じ方法でレーザースリット光走査方式3次元計測システムで測定し、そのデータの比較を行った。図79は、マネキンの特徴的部位の断面について比較したところである。この比較の結果、マネキン測定による測定誤差は、2.5次元データフォーマットで形状を得ると生じる量子化誤差（格子1個の大きさ　約3.12 mm）より小さいものと判断してよい。

よって測定機器の誤差による不確かさは、２．５次元データの格子の大きさである量子化誤差3.12 mm と推定することができる。正確には、量子化誤差が一様分布と仮定できるので、$2\sqrt{3}$ で割って、不確かさの標準偏差は、0.9 mm となる。

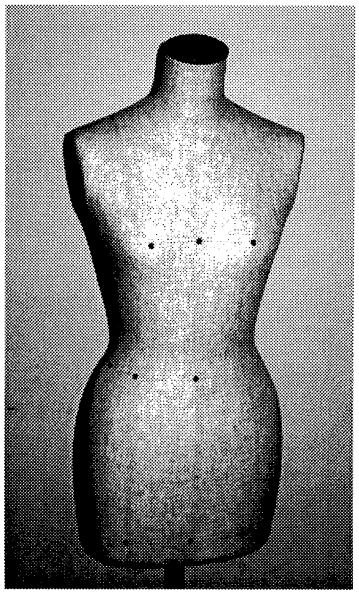


図 76　測定機の誤差評価に用いたマネキン

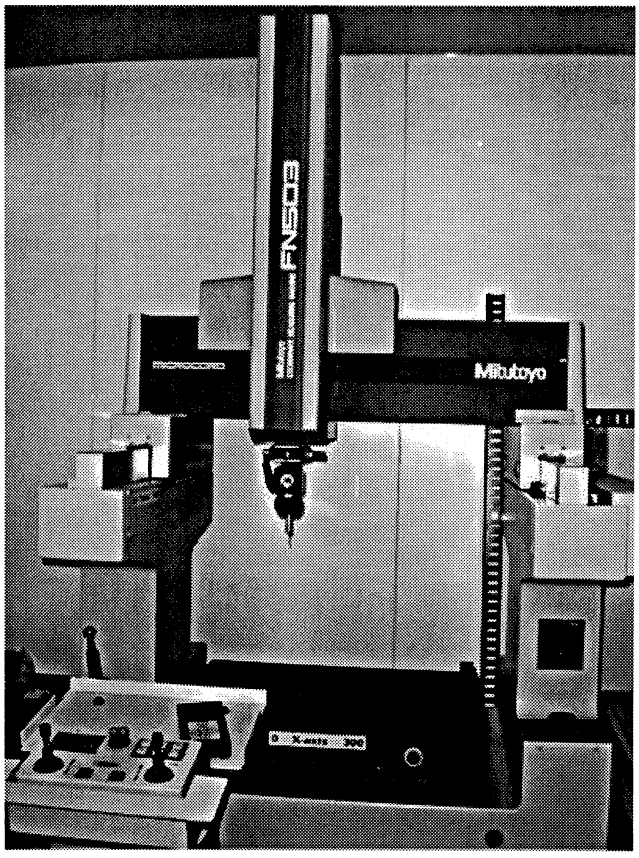


図 77　三次元測定機 FN503（ミツトヨ製）

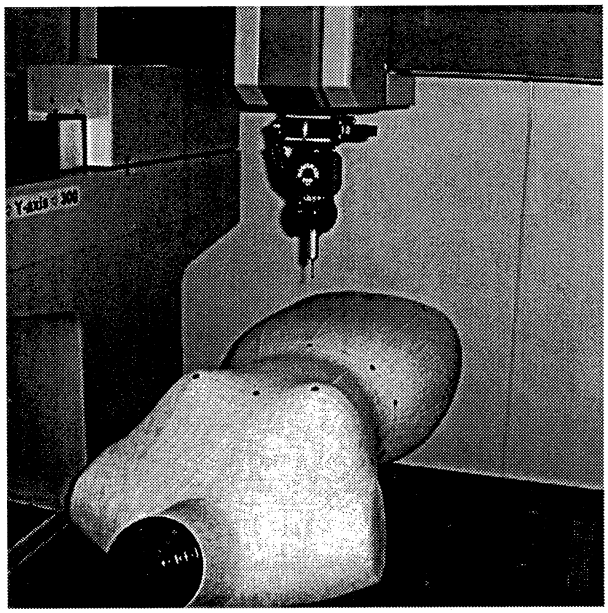


図 78　マネキンの測定

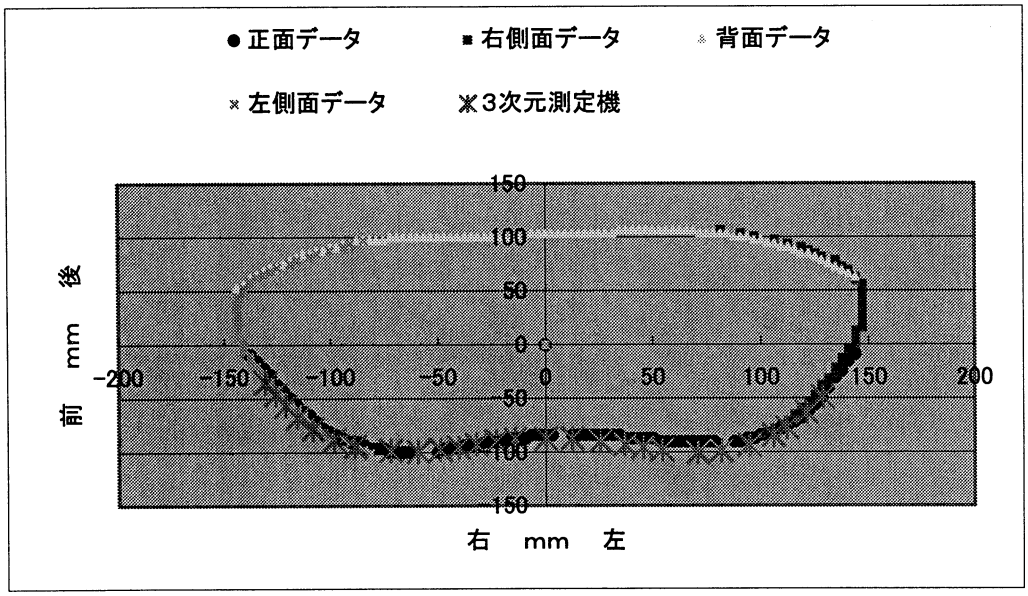


図 79　マネキンデータをもちいた誤差測定

（3）測定誤差の考察

レーザスキャンによる測定では、1 面の測定には約 8 秒かかり、また回転ステージが回転する時間を入れると 4 面全体の測定には、約 1 分全体の測定にかかる。このため測定装置および測定対象の時間的な変動による測定の誤差は大きな量となると推測される。しかし、マネキンの測定結果を見ると、それぞれの面のデータをつなぎあわせ、補正などをソフトウェアで行っていることもあり、ステージの回転時に生じる誤差の低減が行われている（図 80）。

このようなデータ処理によって、測定データにゆがみが生じることが予測されるが、マネキンや人体のような比較的なだらかな対象においては、マネキンの測定結果を三次元測定機の測定結果と比較したように、量子化誤差以内の誤差で収まっている。

このことから、人間を測定したときの誤差が標準偏差の平均で 10 mm 以上、最大で 20 mm 以上であることは、人体による影響とみなすことができる。人体の影響としては、以下の要因が考えられるが、マネキンとの比較、実際の測定の経験から、一番重要な要因は、人体の体動揺と考えられる。

1）体動揺の影響
2）呼吸などの影響
3）体重が重いことによる影響
4）皮膚などの表面による影響
5）体温などの温度による影響

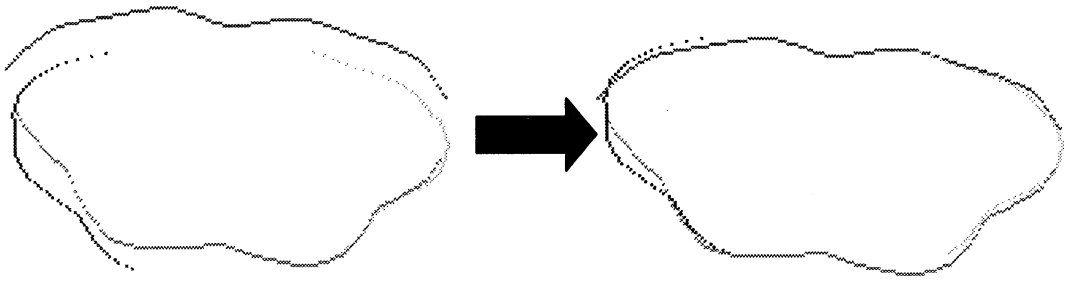


図 80　補正による誤差の低減

5．1．3　まとめ

レーザスリット光走査法による人体形状測定を行い、その不確かさについて検討した。人体を 2 日間にわたり各 3 回づつ測定することで、人体形状測定のばらつきを評価した。さらに、三次元測定機で値付けられたマネキンを測定することで、測定装置の精度を評価した。以上の測定実験から、人体の形状を測定するにあたりその測定誤差のほとんどは体動揺に起因するものであることが分かった。

データ処理やデータ補正により測定の誤差を低減することはできるが、体動揺による誤差は最終的に残ってしまう。このため人体形状の測定の不確かさを調べるには体動揺の計測、考察が欠欠かせないものとなる。本節の結果をまとめると以下のようになる。

1) レーザスリット光走査法の測定データのばらつきは、標準偏差で 10 mm から 20 mm である。
2) マネキンを用いた測定から測定機器のばらつきは、標準偏差で 0.9 mm である。
3) 人間を測定した場合の不確かさの主な要因は、体動揺の影響であることが推測される。
4) 人体形状測定の不確かさを評価するには、体動揺の計測の必要性がある。

５．２　体動揺の計測

本節では人体の形状測定において、不確かさの主な原因となる人体の体動揺について調べる。まず、測定中の呼吸、拍動等の体動揺をレーザー距離計により計測し、計測データの周波数解析等を通じて体動揺による形状データの変動幅を求める。次に、測定時間と体動揺による測定の不確かさの相関関係について調べ、人体形状を測定する際の精度と測定時間の関係を求める。さらに人体の形状測定方法についての考察を行う。

５．２．１　体動揺の計測

（１）計測方法

人体の特徴的個所を３箇所（膝、腿の付け根、胸のあたり）を抽出し、それぞれ時間に対する前後方向、左右方向の変位をキーエンス社製のレーザー距離計（可視光レーザー式変位センサ）で測定する。レーザ距離計の使用を表６に、写真を図 81 に示す。図 82 に示す測定個所に対して、距離計測は１秒間に 10 回サンプリングし 61.2 秒間行った。最初の 10 秒間のデータは切り捨て得られた 512 個のデータを体動揺のデータとして用いる。

表６　可視光レーザー式変位センサ（LB-1000）

基準距離		80 mm
測定範囲		±15 mm
光源	種類	赤色半導体レーザ
	波長	670 nm クラス B
	出力	最大 3 mW （平均 1.5 mW）
スポット径		1 × 2 mm（基準距離にて）
直線径		0.25 % of F.S.
分解能		8 μm
応答性		915 Hz

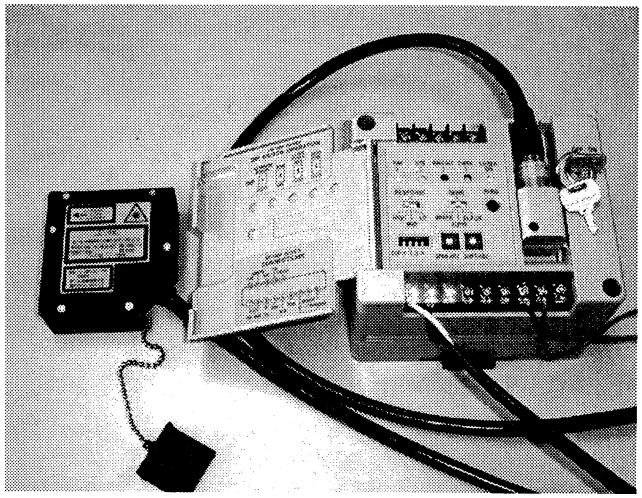


図 81　レーザ距離計（LB-1000、キーエンス）

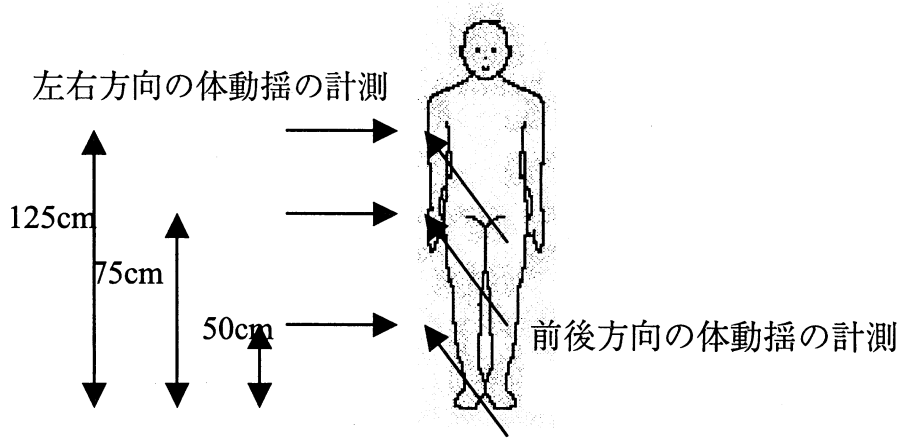


図 82　レーザー距離計により変位を計測する特徴的部位

（2）　計測データ

計測結果を以下に示す。計測は前述した 3 箇所に対してそれぞれ 3 回づつ行った。青点は 1 回目の計測結果、赤点は 2 回目の計測結果、黄点は 3 回目の計測結果である。図と計測個所の関係を表 7 に示す。例えば、図 83、図 84 は膝の前後の動きと左右の動きの変位を時系列によって測定したものである。

次に、時系列で測定したデータをフーリエ変換することで、体動揺の周波数的な振る舞いを検討した。膝の動きに対して、図 85、図 86 は前後および左右の動きをフーリエ解析し、理論的に無意味な 5 Hz 以上の周波数成分を切り捨て、体動揺を構成する波の周期と振幅の関係を示したものである。

また、後で示す図 96、図 97 は各々を周数数と振幅の常用対数をとりグラフ化したものである。常用対数のグラフには、それぞれの測定における周波数と振幅の関係を対数グラフ上で 1 次式で

近似した場合の回帰直線が表示してある。この回帰直線の傾きと切片を求めることで、5.2.2 における 1/f ゆらぎのモデル化が可能になる。1/f モデルについては、3.3 節で詳しく述べる。

表 7　体動揺のデータと図の関係

測定位置と高さ	動きの方向	距離データ	フーリエ変換データ	周波数データの対数グラフ
膝　50 cm	前後	図 83	図 85	図 96
	左右	図 84	図 86	図 97
腿の付け根　75 cm	前後	図 87	図 89	図 98
	左右	図 88	図 90	図 99
胸のあたり　125 cm	前後	図 91	図 93	図 100
	左右	図 92	図 94	図 101

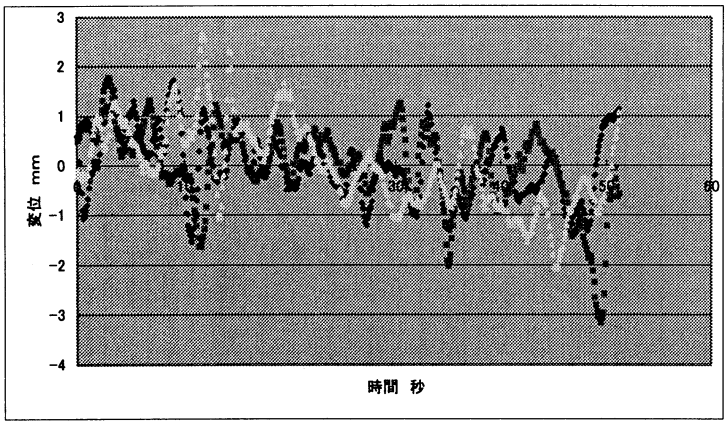


図 83　膝の前後の動き

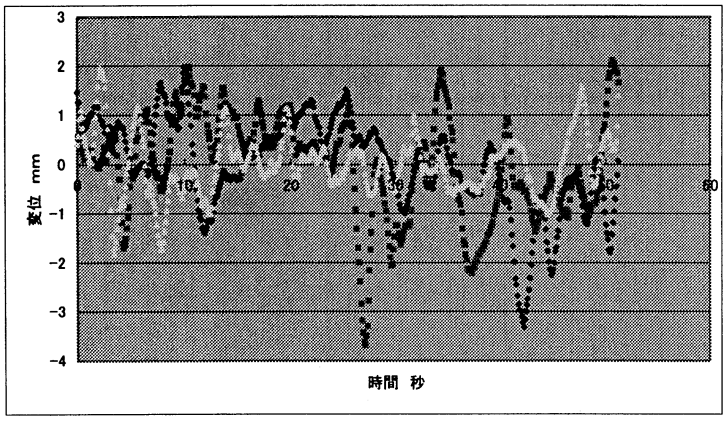


図 84　膝の左右の動き

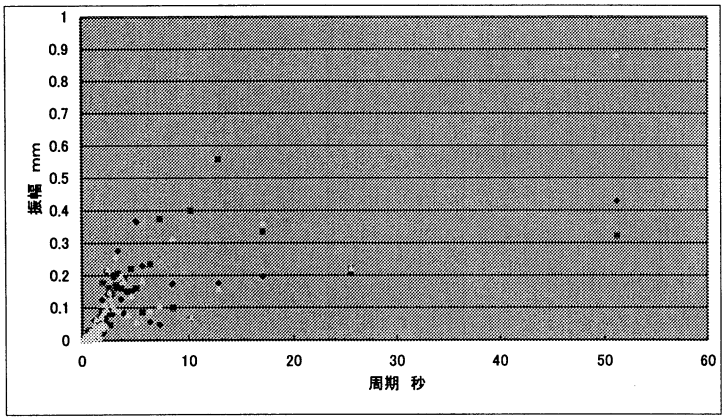


図 85　膝の前後のフーリエ解析

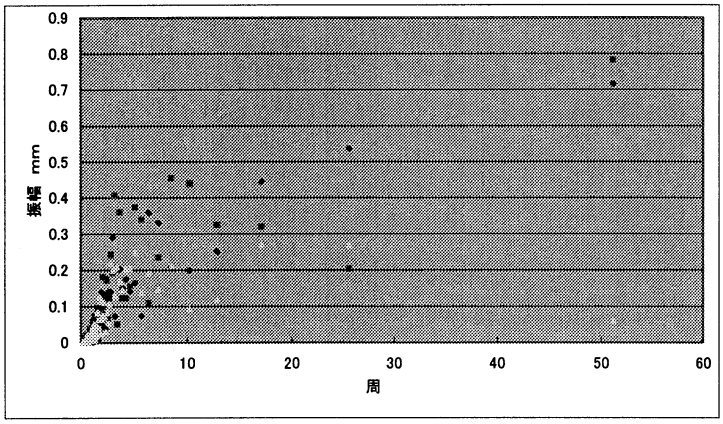


図 86　膝の左右のフーリエ解析

図 83～図 86　膝の動きのデータおよびそのフーリエ解析

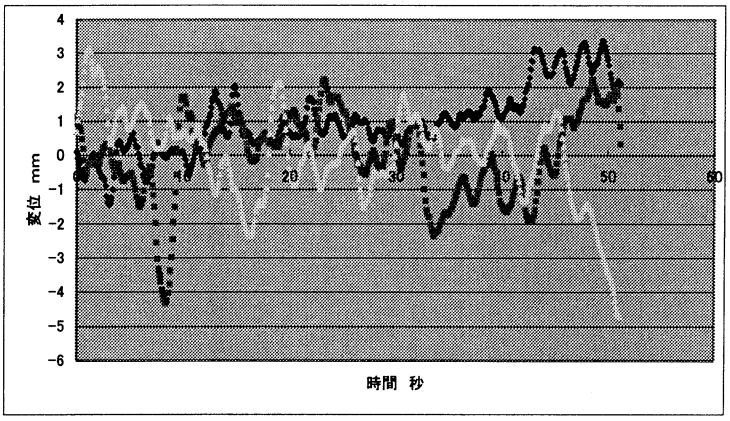


図 87　腿の付け根の前後の動き

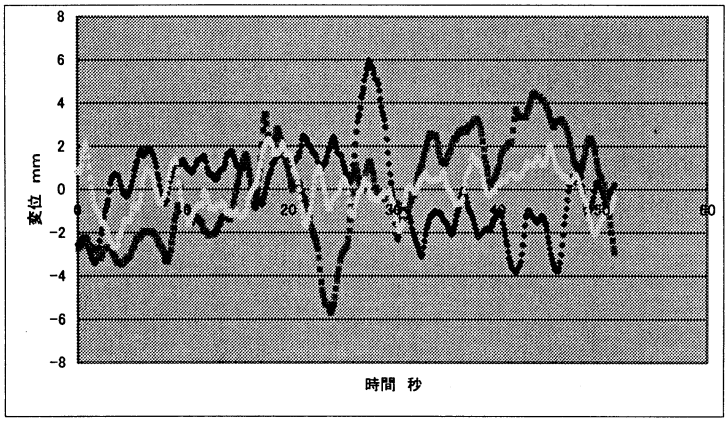


図 88　腿の付け根の左右の動き

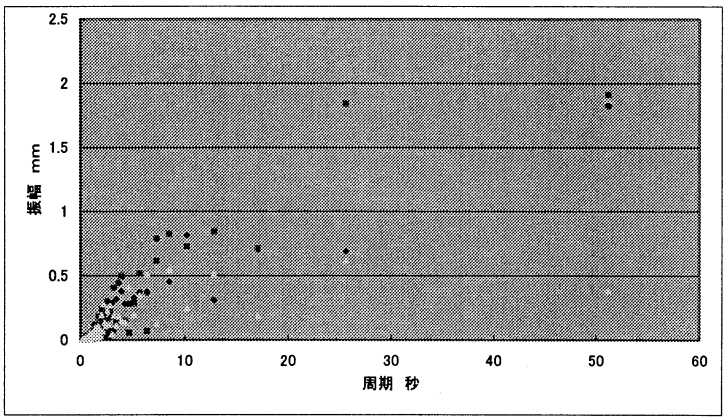


図 89　腿の前後のフーリエ解析

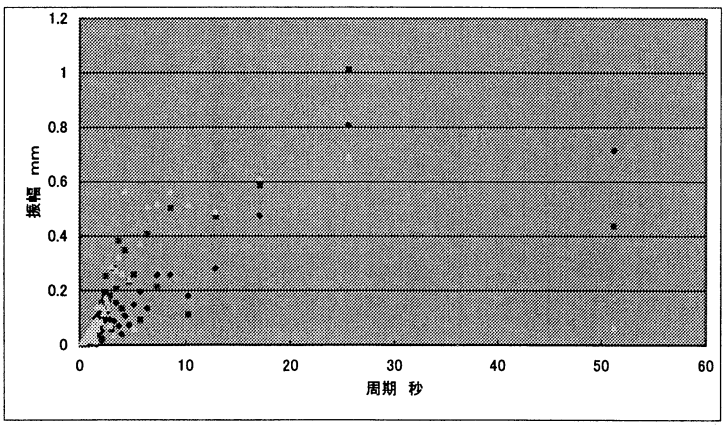


図 90　腿の左右のフーリエ解析

図 87～図 90　腿の付け根の動きのデータおよびそのフーリエ解析

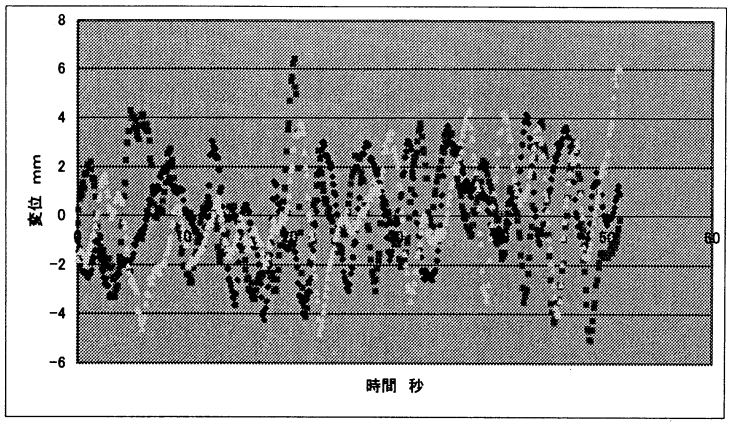


図 91　胸のあたりの前後の動き

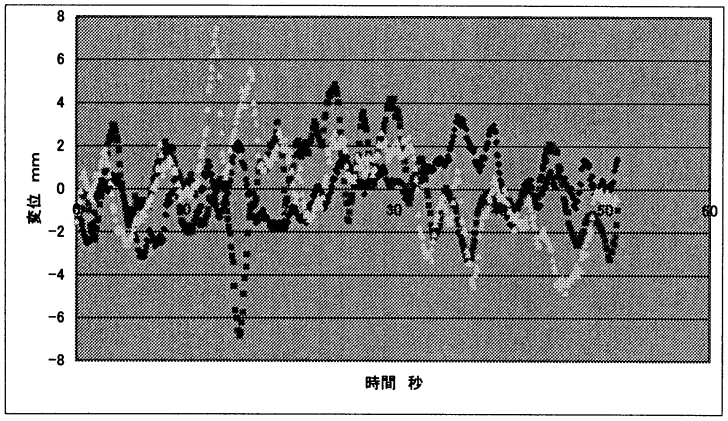


図 92　胸のあたりの左右の動き

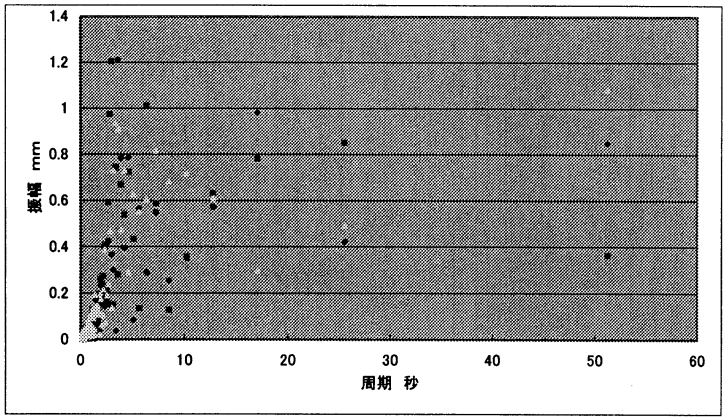


図 93　胸の前後のフーリエ解析

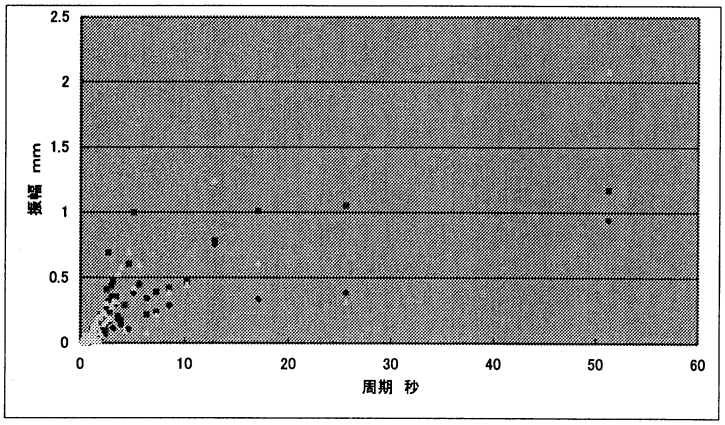


図 94　胸の左右のフーリエ解析

図 91～図 94　胸のあたりの動きのデータおよびそのフーリエ解析

５．２．２　体動揺の 1/f ゆらぎによるモデル化

（１）　1/f ゆらぎの特徴

自然界のものは不規則な動きを含んでおり、それそのものの本来の規則的な動きに対するずれであるゆらぎが存在する。ゆらぎは予想できない動き、変化であるが、ある範囲内で不規則さを生じる。また、不規則であるがゆえにそのものの動きを、全く別のものにさせてしまう程度ではない。

このようなゆらぎに対して、1/f ゆらぎを仮定してモデル化することが広く行われている。前節のデータに対しても、1/f ゆらぎを用いてモデル化することを考える。ここで 1/f ゆらぎとは以下に示す特徴を持つ（図 95)。

- 規則的な動きとでたらめな動きのちょうど中間である。
- 低い周波数でパワーを持ち高い周波数では現れない。
- フラクタルのような自己相似性を持つ。

生体のニューロン（神経細胞）は生体信号として電気パルス（電気信号）を発射しており、細胞の発射間隔は 1/f ゆらぎをしている。そのために生体のリズムは基本的には 1/f ゆらぎをしており、人体の動揺についても同じことがいえる。

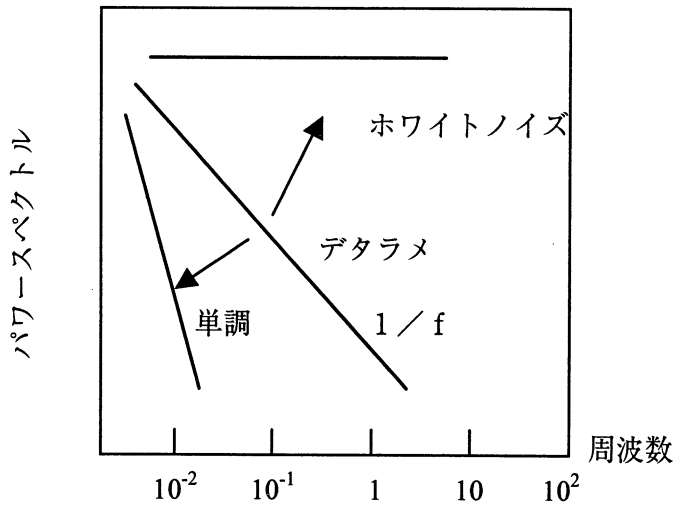


図 95　1/f ゆらぎの特徴

（２）　体動揺のモデル化

以上の考察と実験データから、体動揺をモデル化する（サンプリング周波数 10Hz)。図 83 から図 94 で示した体動揺の動きとそのフーリエ解析のデータに対して、それを対数グラフとしてプロットした結果を図 96 から図 101 に示す。1/f ゆらぎによるモデル化のために、対数グラフには回帰式を示した。また、回帰直線の傾きと切片を表 8 に示す。

表よりどのデータの回帰式の傾きもほぼ –1 であり、体動揺は 1/f ゆらぎに近いことが分かっ

た。簡単のため体動揺を 1/f ゆらぎとし周波数解析で得られた回帰式の切片を −1.5 とすると、体動揺を構成する波の振幅 A は波の周期 T を用いて次のように書ける。

$$A = 10^{-\frac{3}{2}} \cdot T = 10^{-1.5} \cdot \frac{1}{f} \tag{1}$$

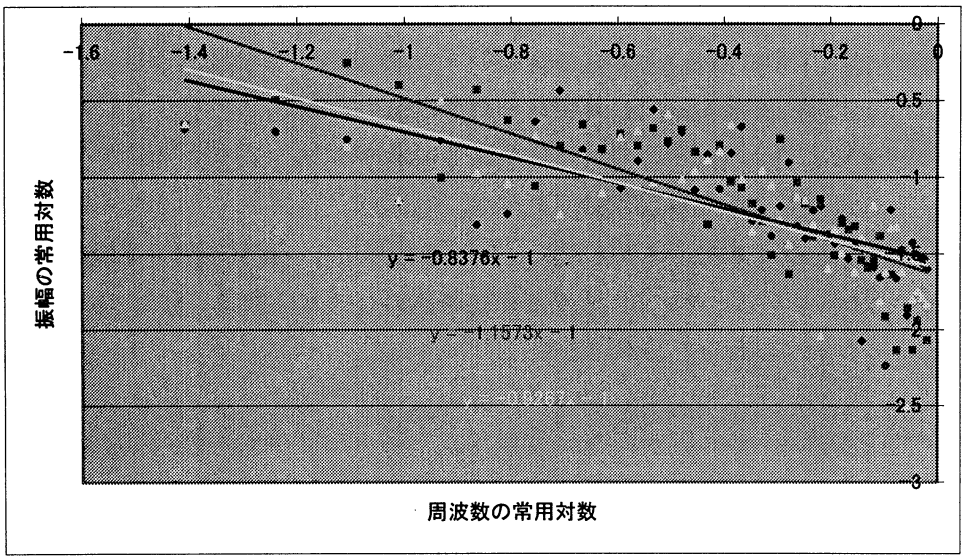


図 96　膝の前後の周波数解析

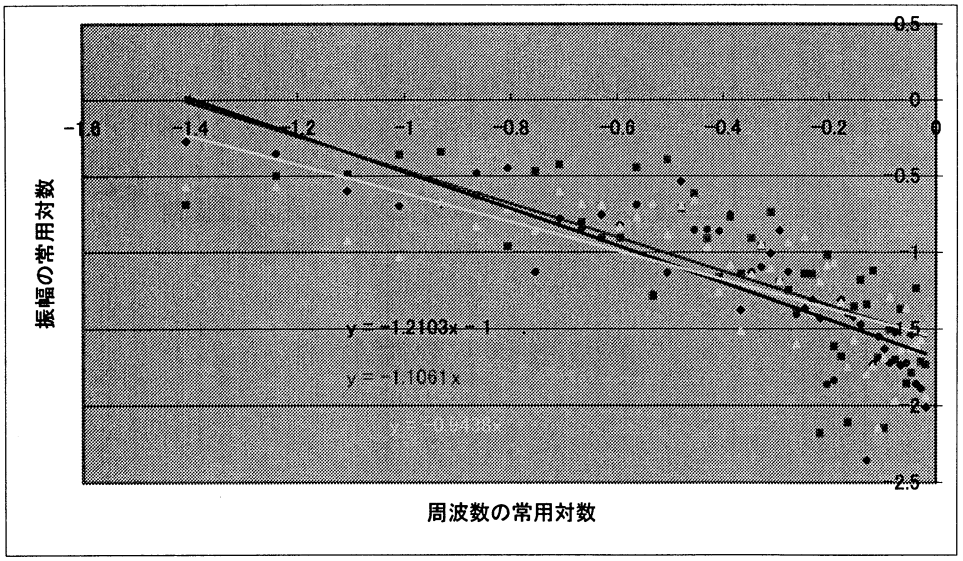


図 97　膝の左右の周波数解析

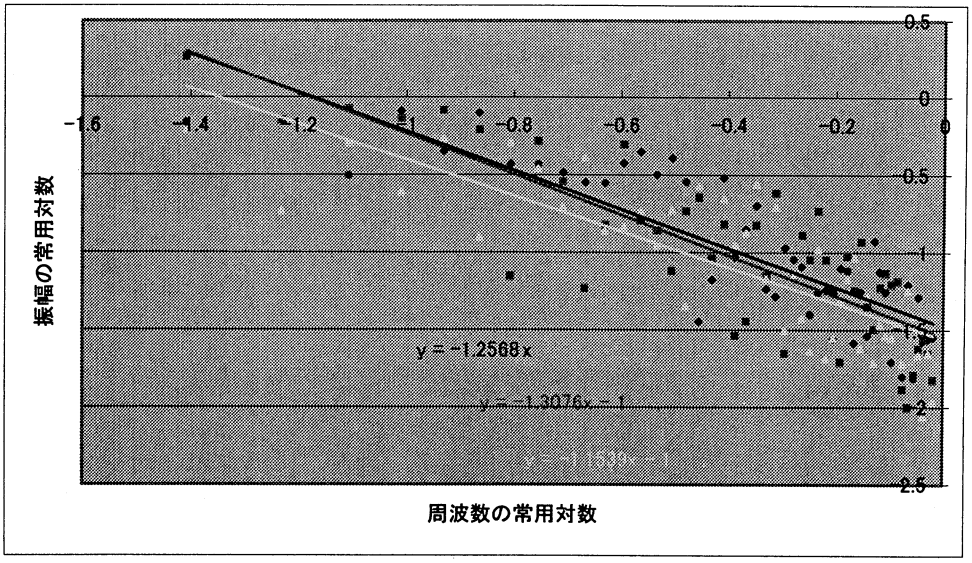


図 98　腿の前後の周波数解析

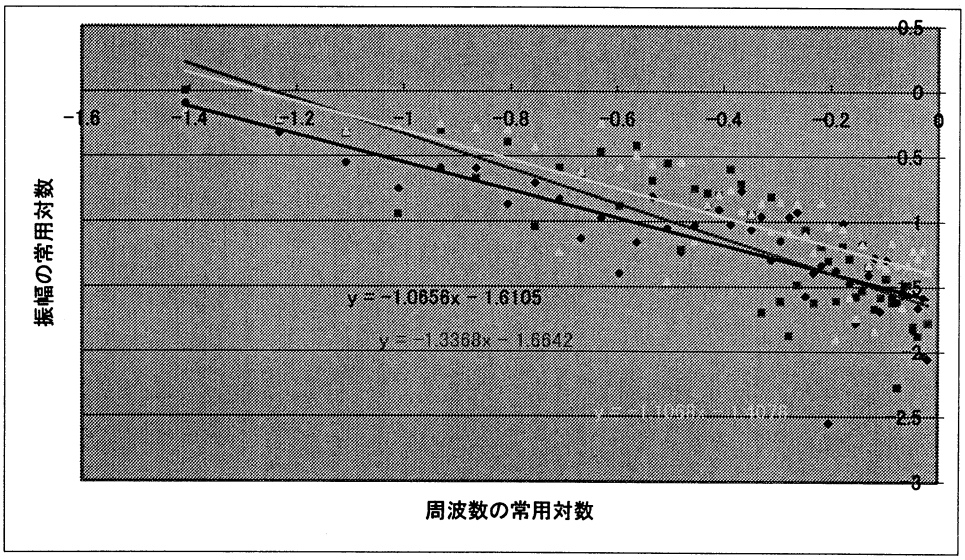


図 99　腿の左右の周波数解析

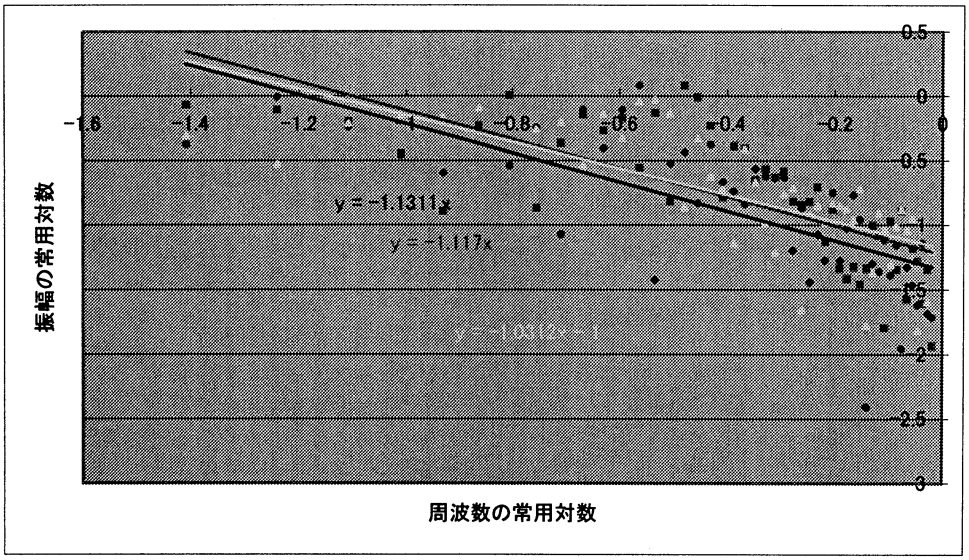


図 100　胸の前後の周波数解析

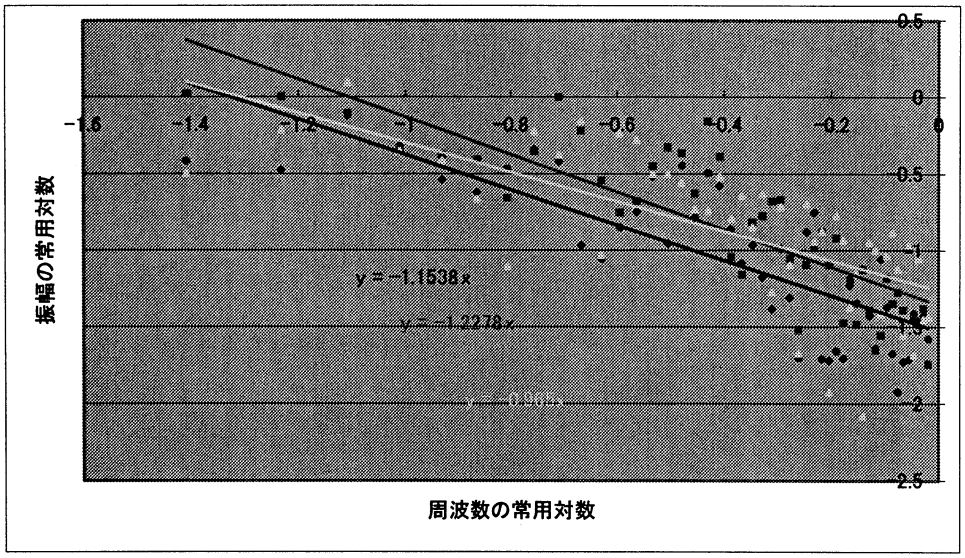


図 101　胸の左右の周波数解析

表８　周波数解析で得られた直線回帰式の傾きと切片

場所	方向	１回目		２回目		３回目	
		傾き	切片	傾き	切片	傾き	切片
膝	前後	–0.84	–1.54	–1.16	–1.64	–0.93	–1.59
	左右	–1.21	–1.68	–1.11	–1.57	–0.94	–1.56
腿の付け根	前後	–1.26	–1.48	–1.31	–1.54	–1.15	–1.56
	左右	–1.07	–1.66	–1.34	–1.66	–1.11	–1.41
胸部	前後	–1.13	–1.35	–1.12	–1.23	–1.03	–1.18
	左右	–1.15	–1.53	–1.23	–1.36	–0.97	–1.26

５．２．３　体動揺の形状測定への影響

（１）　計測時間とデータ変動幅の考察

測定中の呼吸、拍動、体動揺による影響については、人体が周期 T、振幅 A の単一の正弦波で動いていると仮定すると、時間 t で計測される場合のデータの変動幅 D の最大値 D_{max}、最小値 D_{min}、期待値 D_{exp} は以下のようになる。図 102 で、t が短い場合は測定範囲が狭く、位相の条件によってデータの変動幅が変化する。一方、t が長い場合は、データの変動幅がそのまま測定結果の変動幅となる。

$t<T$ で

$$D_{max}=\begin{cases}2A\sin\dfrac{t}{T} & 0\le t<\dfrac{T}{2}\\ 2A & \dfrac{T}{2}\le t<T\end{cases} \tag{2}$$

$$D_{min}=A\left(1-\cos\frac{t}{T}\pi\right) \tag{3}$$

$$D_{exp}=\frac{2A}{\pi T}\left(\pi t+T\sin\frac{t}{T}\pi\right) \tag{4}$$

$t>T$ で

$$D=2A \tag{5}$$

図 103 に、体動揺の周期 T と測定時間 t の比 t/T と測定データに含まれる体動揺の影響を示す。上記の計算より明らかなように、測定時間が短いほど測定に対する影響は現象する。

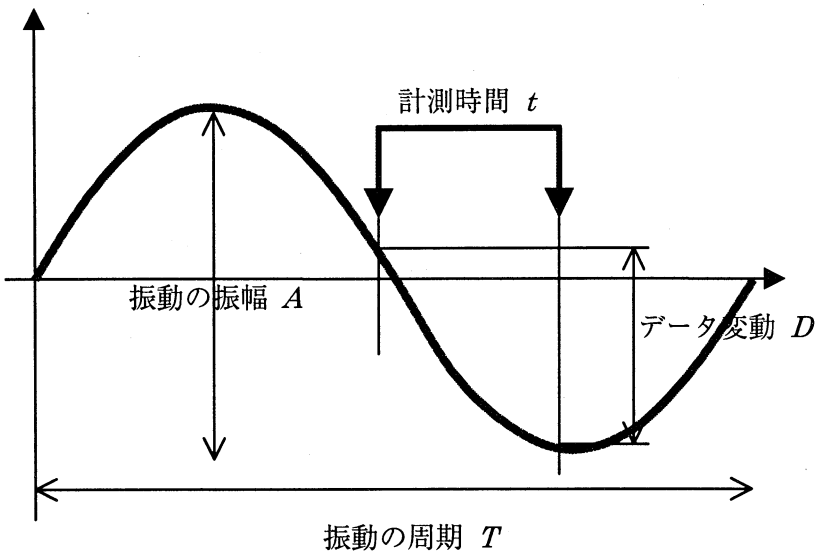


図 102　振動周期と計測時間の関係

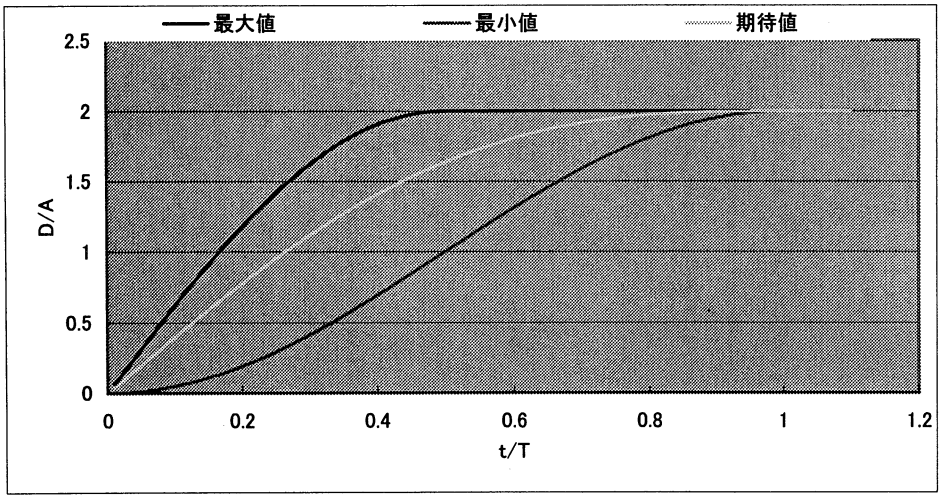


図 103　計測時間 t に対するデータの変動幅 D

（2）　1/f ゆらぎでモデル化した体動揺とデータ変動

前節で体動揺が単純な振動とした場合の、データ変動との関係を定式化した。次に、5.2.2 で提案した 1/f ゆらぎもモデルをこの結果に導入する。

式（2）から（5）に、3.3 節で得られた体動揺の一つの周波数成分（式（1））を代入すると、体動揺を構成する波の一つの周波数成分によるデータの変動幅 H の最大値 H_{max}、最小値 H_{min}、期待値 H_{exp} と周期 T との関係は以下のようになる。

$t < T$ で

$$H_{\max} = \begin{cases} 2 \cdot 10^{-\frac{3}{2}} \cdot T & t < T \leq 2t \\ 2 \cdot 10^{-\frac{3}{2}} \cdot T \sin \dfrac{t}{T} \pi & 2t < T \end{cases} \tag{6}$$

$$H_{\min} = 10^{-\frac{3}{2}} \cdot T \sin \frac{t}{T} \pi \tag{7}$$

$$H_{\exp} = \frac{2 \cdot 10^{-\frac{3}{2}}}{\pi} \left(\pi t + T \sin \frac{t}{T} \pi \right) \tag{8}$$

$t > T$ で

$$H = 2 \cdot 10^{-\frac{3}{2}} \cdot T \tag{9}$$

以上の計算を、計測時間 t が 8 秒、4 秒の場合についてグラフ化するとそれぞれ、図 104 と図 105 になる。以上から体動揺を構成する波の周期が計測時間より長くなると、周期に対するデータの変動幅の関係を示すグラフの勾配が緩やかになる。このことより計測時間を短くすればデータの変動は小さくなる。

図 104 および図 105 の評価は、それぞれ固有の周波数成分に対する評価である。ここで、体動揺の種々の周波数成分を、全て足し合わせて評価することで、測定結果の評価が可能となる。具体的には、それぞれの周波数成分の位相間に相関がないことを仮定して、式（6）から（9）で計算される変動を積分する。

計測時間が 0.5 秒 1 秒、2 秒、4 秒、8 秒、16 秒のときについて計算した結果が、図 106 のようになる。2 章の人体形状測定で使用したレーザスリット光走査法の結果が、計測時間が 8 秒で、ばらつきの標準偏差が 10 mm 程度であったことと、定量的にもかなり一致した結果を得ることができた。

図 106 によれば、体動揺の人体計測に与える影響を 5 mm 以下にするには、計測時間を 0.5 秒以下にする必要がある。さらに、影響を 1 mm 以下にするには、計測時間を 0.1 秒以下にする必要がある。このように、体動揺の影響を減らすには、かなり大幅に計測時間の減少が必要であることが推定される。

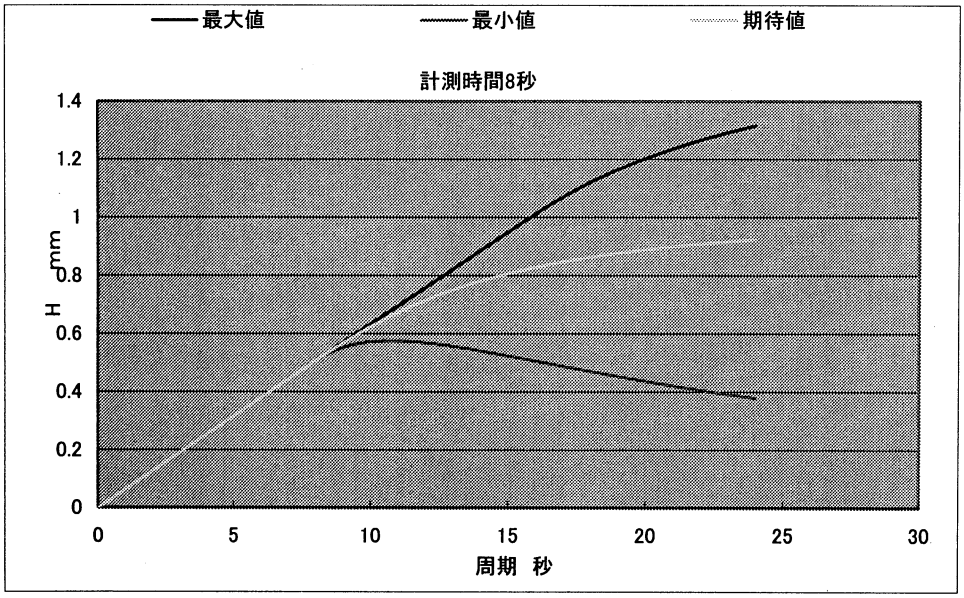


図 104　体動揺を構成する 1 つの波によるデータの変動（測定時間 8 秒）

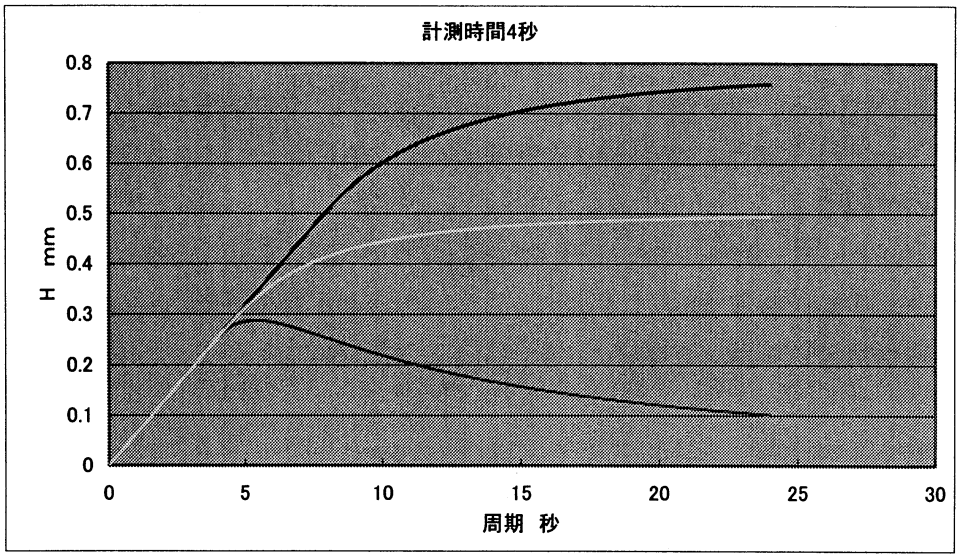


図 105　体動揺を構成する 1 つの波によるデータの変動（測定時間 4 秒）

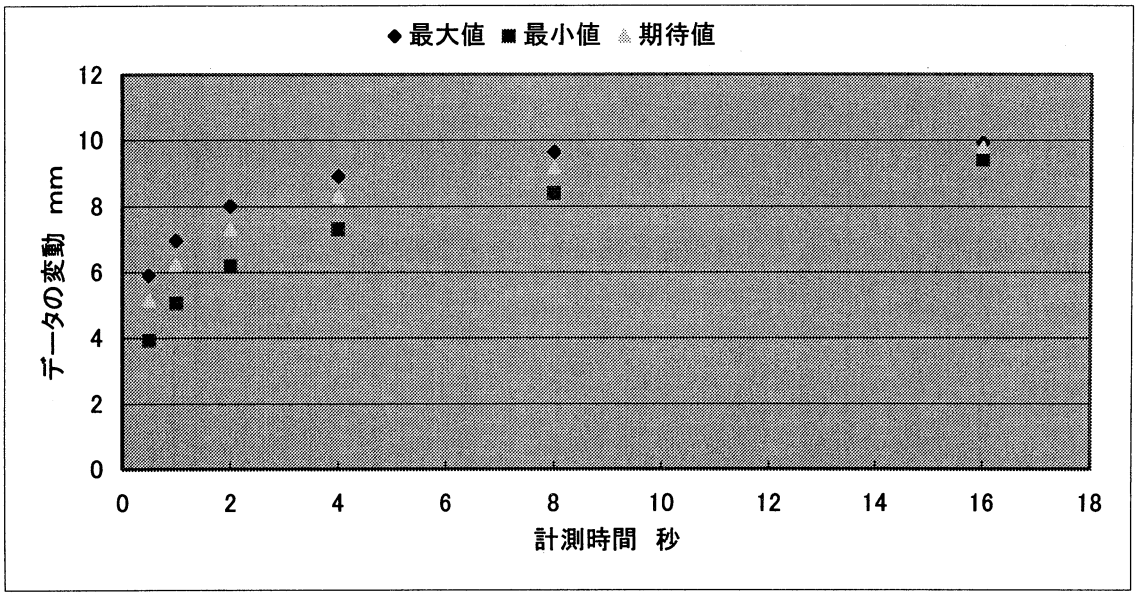


図 106　計測時間に対するデータの変動

5．2．4　まとめ

この章では人体形状の不確かさの大きな原因である人体の体動揺を計測し、そのデータをもとに体動揺モデル化した。体動揺は、測定場所、被測定者、測定環境によって大きく変化するが、ここでは、簡単のために 1/f ゆらぎを用いてモデル化した（式（1））。実際の体動揺のデータは、1/f モデルとかなり一致した。

つぎに、体動揺が計測データにどのように影響するかを検討した。各周波数成分がランダムに計測データに影響する場合について、体動揺が計測データに与える影響を計測時間をパラメータとして導出した（式（6）～式（9））。この式が 2 章での実験結果と定量的に一致することを示した。この式によれば、計測データへの影響を 1 mm 以下にするためには、計測時間を 0.1 秒以下にするといった、かなり大幅な計測時間の減少が必要なことが推定される。

しかし、実際の影響をきちんと評価するためには、本章の実験およびモデル化は不十分と考えられる。かなり高速で体動揺を三次元的に測定する手法を開発することが、体動揺の評価を定量的にきちんと行うためには必要である。

また、実際にはこのような大幅な計測時間の減少が難しいと考えられるため、現実的な対応としては、体動揺を抑える方法を工夫することで、測定への影響を小さくすることが考えられる。被測定者を固定したり、測定中に体動揺をモニタリングして、そのモニタリングにより被測定者に体動揺を減らすようにしてもらうことが可能である。さらに、測定中に体動揺をモニタリングすることで、測定データを補正するようなことが考えられる。

以下に、本章のまとめを示す。

(1) 人体形状の不確かさの大きな原因である人体の体動揺を、レーザ距離計によって計測した。

(2) その計測データをもとに、1/f ゆらぎを利用して、体動揺モデルを作成した。

(3) 体動揺が、計測データにどのように影響を与えるかを評価する式を導出した。
(4) 体動揺のモデルと評価式を利用して、体動揺が実際の計測に与えている影響を導出し、実験データとの一致を確認した。
(5) 体動揺モデルにより、人体計測を高精度化するには、大幅な計測時間短縮が必要であることが分かった。
(6) 現実的な対応として、体動揺を減らす工夫が必要である。

5．3　人体の形状測定方法への提言

5.1 の人体形状測定実験および 5.2 の体動揺の測定実験を通して、人体形状の測定の不確かさには、体動揺の影響が一番大きいことが分かった。本節では、このことを踏まえて人体形状測定における問題点とその解決方法について整理する。

以下のことのついて検討する。

- 高速な測定方法の提案
- 体動揺の抑制方法の検討
- トレーサビリティ確保の方法
- 不確かさ評価方法のまとめ
- 国際規格における不確かさの導入

5．3．1　高速な人体形状測定方法

（1）レーザ走査方式とパターン投影方式

人体のような複雑な三次元形状を絶対測定するには、大きく分けてレーザ走査方式とパターン投影方式が考えられる。それ以外の方法としては、相対測定と基準点を組み合わせる方法なども考えられるが、測定のロバスト性や評価の容易さを考えると、この 2 つの方式が一番有力であると思われる。

5.2 の検討によれば、体動揺の影響を抑えるには測定時間を大幅に高速化することが必要である。レーザ走査方式とパターン投影方式を比較すると、測定精度ではレーザ走査方式のほうが有利であるが、測定時間だけを考えればパターン投影方式が有利である。

5.2 の結論を重視して、パターン投影方式でどこまで高速化が可能か検討をする。

（2）パターン投影方式の測定時間

図 107 にパターン投影方式の基本的な構成を示す。液晶プロジェクタなどのプロジェクタによりパターンを投影し、そのパターンを CCD カメラなどで入力する。その結果によって三角測量により測定物の三次元形状を測定する。

パターン投影方式で絶対測定を行う方法としては、時系列パターンの投影方式が実際によく使われている。図 108 にバイナリーパターンによる時系列パターンを示す。この例では 3 つのパターンを投影することで、測定空間を $2^3 = 8$ 分割することができる。液晶プロジェクタなどの光量が、最近劇的に明るくなっているが測定のロバスト性を考えて、図 109 のような反転パターンも投影して差分を取ることが行われる。この場合では、6 枚の投影 8 分割することになる。

反転パターンを使う場合、測定空間を 256 分割するには 16 パターン、512 分割には 32 パターンが必要となる。ここで、問題となるのは液晶素子の応答特性である。液晶素子で安定にバイナリーパターンを投影するには、0.1 秒程度が必要とされているので、256 分割には 1.6 秒、512 分

割では 3.2 秒の測定時間が必要となり、5.2 での検討のように 0.1 秒というような高速性には問題がある。

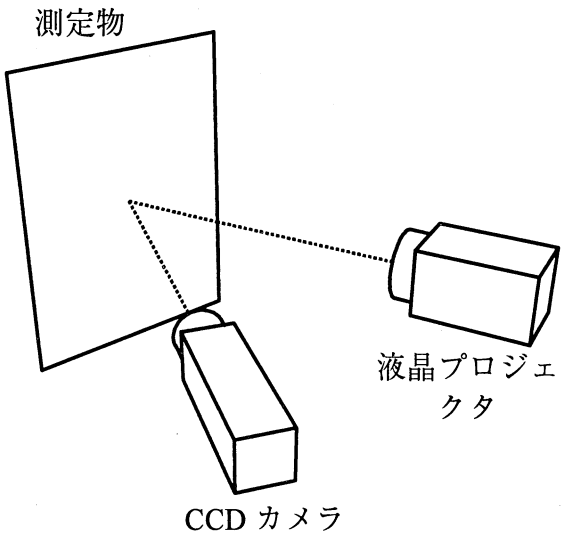


図 107　パターン投影法の基本構成

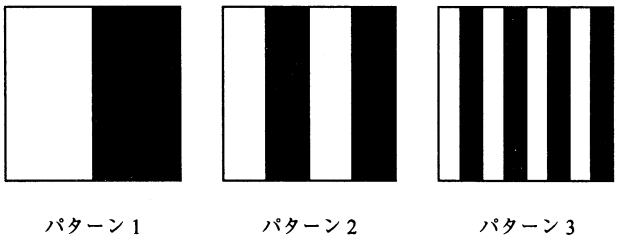


図 108　時系列パターン

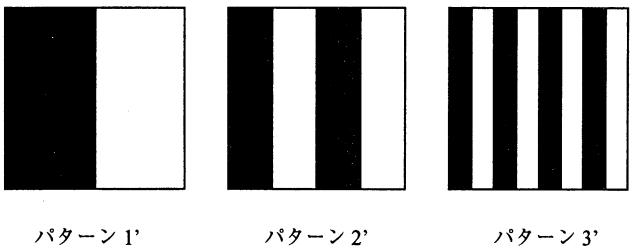


図 109　反転パターン

（3）パターン投影方式の高速化

1）自己参照パターンの利用

パターン投影方式を高速化するには、2つの方法が考えられる。1つは、投影パターンの枚数を減らす方法である。図110および図111は、自己参照パターンとグレースケールを組み合わせた方式で、ロバスト性を保ちながら、n 枚の投影に対して、測定空間を $n!$ 空間に分割可能である。このパターンを利用すれば、6枚の投影で720分割が可能である。この方法の問題点は、グレースケールを使用するため、CCDカメラおよび液晶プロジェクタのダイナミックレンジおよびSN比に影響されることである。このため、ロバストな測定を優先させるには、バイナリーパターンのほうが有利である。

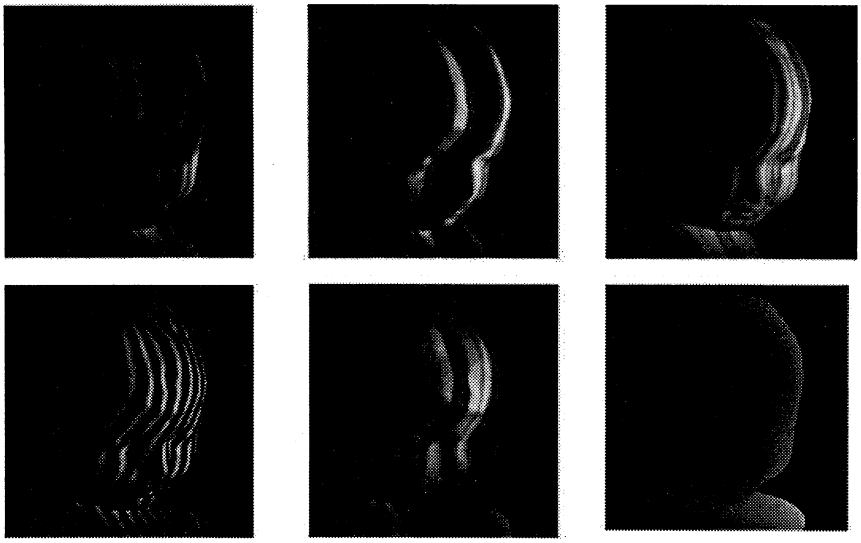


図110　自己参照パターンによる測定例
（5つのパターンで120分割する、右下の画像は計算した距離画像）

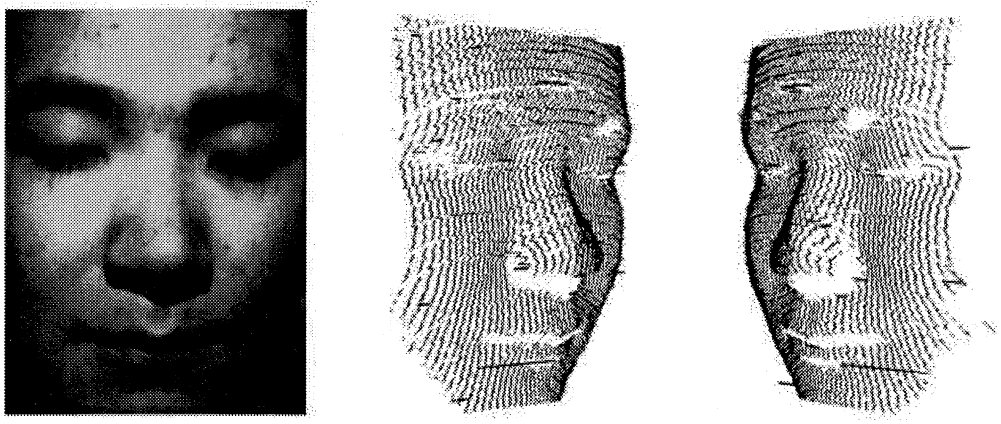


図111　自己参照パターンによる顔の測定例

2) DLP 方式のプロジェクタの利用

もう一つの高速化の方法は、プロジェクタを高速化することである。液晶プロジェクタに対して、図 112 に示す最近開発された DLP（デジタル・ライト・プロセッシング）方式のプロジェクタは、図 113 のような微小なミラーを半導体プロセスで作った DMD（デジタル・ミラー・デバイス）素子を利用している。DMD 素子は、素子レベルでは 5 kHz 以上の応答性があると言われている。DMD 素子を利用したプロジェクタは、コントラストも高く光量の損失も少ない。さらに、大量生産されることで価格も急激に安くなることも期待できる。

このような新しい方式のプロジェクタと比較的安価な高速ビデオカメラを組み合わせることで、500 フレーム程度の高速なプロジェクションと画像入力が可能になる。この場合、20 枚のパターンを投影したとしても、0.1 秒以下の高速測定な三次元絶対形状測定が可能になると考えられる。

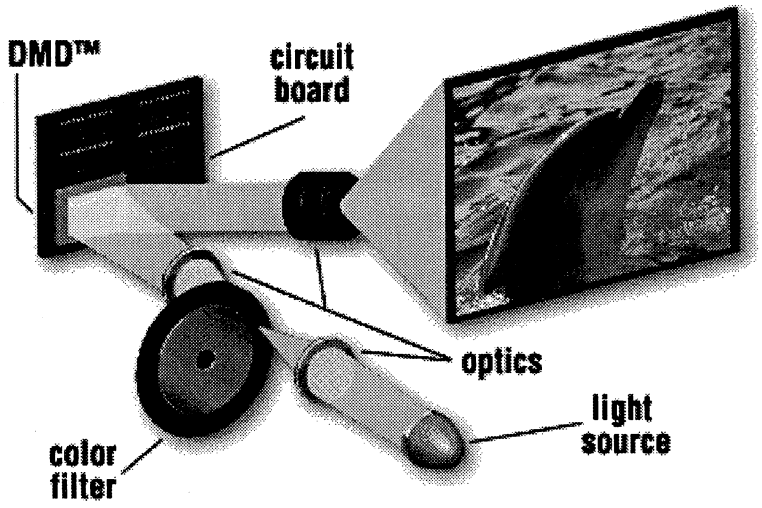


図 112　DMD 素子を利用したプロジェクタの構成例

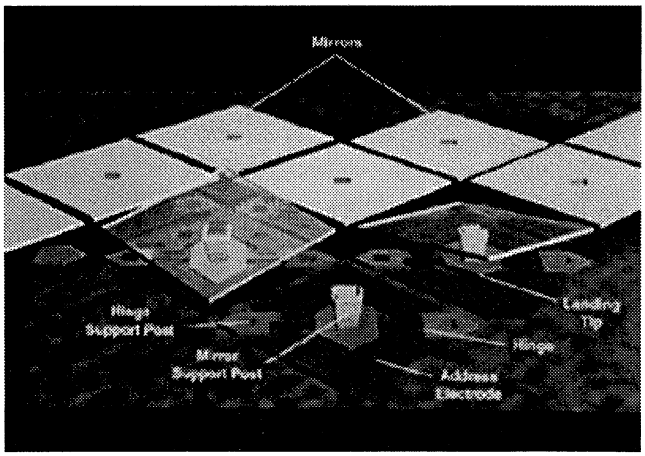


図 113　DMD 素子の構造

5．3．2　体動揺の抑制方法

5.2 の検討で述べたように、かなり高速な測定を行わないかぎり、体動揺の影響を除去できない。そこで、体動揺そのものを抑制する方法の検討が必要である。体動揺を抑制する方法としては、以下のような方法が考えられる。

1）　被測定者の体を固定する。

2）　被測定者の体動揺を計測し補正する。

3）　体動揺をモニタリングして、体動揺が少ないときに測定を行う。

4）　体動揺のモニタリングを被測定者に示し、自分で動きを抑えてもらう。

以上のような方法は、測定の自由度という点や、すべての被測定者に対応できるかという点で、問題があると考えられるが、何らかの方法で体動揺を減らすことができれば、測定時間に対する制約をかなり緩和することが可能となる。特に、体動揺をモニタリングして、測定値の補正を行うような方式では、体動揺のモデル化がうまく行えればかなり有力な方法になると思われる。

実際に被測定者の体をフレームで固定した予備実験では、体動揺をかなり少なく抑えることに成功している。

5．3．3　トレーサビリティの確保

（1）アーティファクトの測定

三次元測定機などの複雑で三次元的な測定を行う測定機では、トレーサビリティをいかに確保するかが重要である。図 114 は、三次元測定機の校正に利用するアーティファクトの例である。これらは、レーザ測長機などを利用したトレーサブルな方法で、穴間距離やボール間距離、ボールの三次元的な位置などが値付けられている。このようなアーティファクトを利用して、三次元測定機を校正することが行われている。このようなアーティファクトは、主に寸法測定を対象に考えられている。

一方、図 115 には、三次元自由曲面用のアーティファクトの例を示す。三次元自由曲面の測定に関しては、アーティファクトおよび校正方法もまだ確立されているとは言えない。

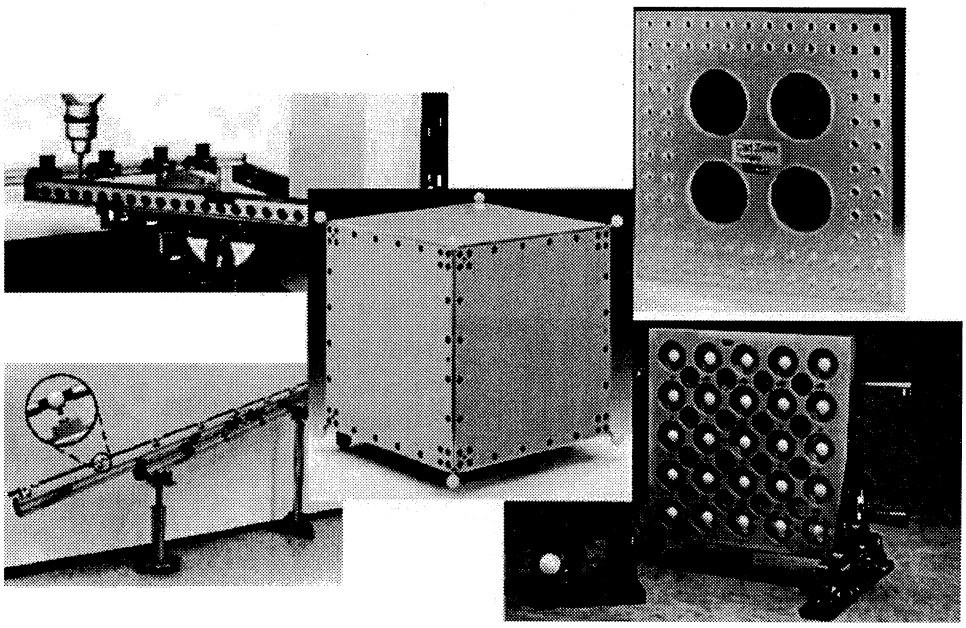


図 114　三次元測定機の校正用アーティファクト

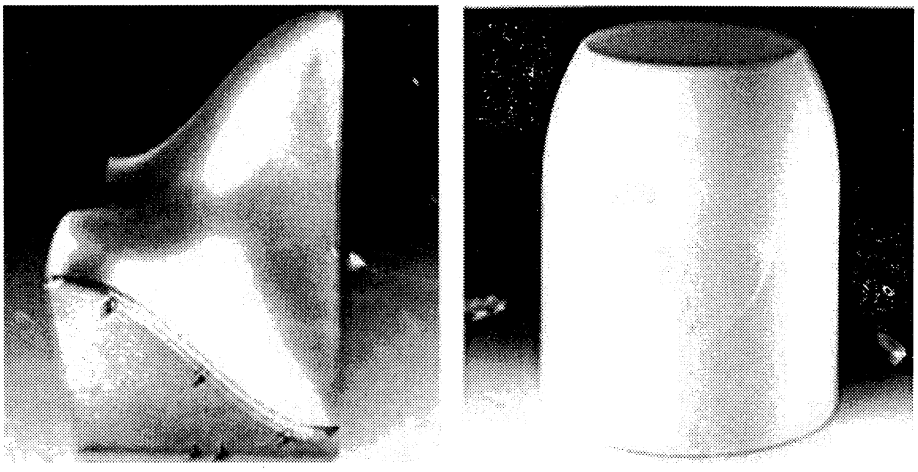


図 115　三次元自由形状用アーティファクト

（2）　人体測定用のアーティファクト

人体測定用装置のトレーサビリティを確保するためには、アーティファクトが必要である。人体は自由曲面のため、図 115 のようなタイプのアーティファクトと 5.1 で利用したようなマネキンの形をしたアーティファクトである。どちらにせよ、人体と類似の曲率を持ったアーティファクトを作成し、トレーサブルな方法で値付ける必要がある。

値付けの方法としては、トレーサブルな方法で校正されている三次元測定機を利用する方法しか考えられない。三次元測定機の校正については、JIS B 7440-2 が利用できる。また、ISO/TC 213/WG 10 では、より高度な三次元測定機の校正方法について、国際規格化を進めているため、その成果が利用できる。

人体測定用のアーティファクトとしては、以下の条件を考慮すべきである。

1）　曲率、寸法が人体に近い値や範囲を持っている。

2）　素材の表面性状が人間の皮膚に近い。

3）　三次元測定機で値を付けた場所が測定しやすい。または、その場所が後から判別しやすい。

4）　熱膨張係数が小さい。

5）　たわみなどの影響を受けにくい。

アーティファクトの材料は、かなり考慮する必要がある。プラスチックなどの利用では、熱膨張の影響やたわみの影響を考慮すべきである。普通のプラスチックでは、熱膨張係数が、10^{-4} から 10^{-3} オーダであるので、1 m のアーティファクトは 5℃の温度変化で 0.5 mm から 5 mm 近く寸法が変化する。また、プラスチックは熱伝導率が低く、剛性も低いため、熱や力によるたわみも無視できない。そこで、グラファイトなどの材料を用い、内部構造を強化したようなアーティファクトが必要である。

形状についても、人体の形状に近いマネキンが必ずしも適しているとは言えない。人体は、曲率がなだらかに変化しているため、測定データと値付けられたデータとの比較が簡単ではない。このため、比較結果が測定精度を反映しているとは言えない場合がある。そこで、図 72 のような人工的な形で、うまく曲率変化や寸法を設定することで、より測定精度の評価がやりやすい形を考慮する必要がある。

5．3．4　不確かさ評価方法のまとめ

（1）　不確かさの要因

これまでの検討で、人体の形状の測定結果に対する不確かさ評価の基本的な方針が明らかになった。まず、考慮すべき不確かさの要因をあげる。要因としては、大きく分けて測定装置のばらつきに関するもの、測定装置のかたより（校正によるかたより）に関するものおよび人体に関するものに分けられる。さらに、環境の影響も考える必要があるが、これは、測定装置のばらつきの中に入っているとすることができる。

不確かさの要因をまとめると以下のようになる。

1）測定装置のばらつきによる不確かさ

- ✧　測定装置の精度、量子化誤差
- ✧　環境（温度、振動など）の影響

2）測定装置の校正の不確かさ

- ✧　校正に使用したアーティファクトの値付けの不確かさ
- ✧　校正作業のばらつき

3）人体の体動揺による不確かさ

- ✧　測定時間による不確かさ
- ✧　振動などの影響

（2） 不確かさの評価方法

前述した不確かさの評価方法については、これまでに説明した。簡単にまとめると、測定装置のばらつきによる不確かさについては、第2章で示したような実際の測定の繰り返しによって明らかにできる。つぎに、測定装置の校正の不確かさについては、第2章で行った値付けしたマネキンの測定などのように、4.4節で提案した人間測定用のアーティファクトを作成し、値付けすることで測定の不確かさを評価できる。

最後に、一番大きな要因となる人体の体動揺による影響であるが、体動揺の影響を評価するには、4.2節で提案したような高速測定技術を確立する必要がある。体動揺を含めた高速な人体の絶対測定を行うことで、今後の不確かさ評価が確実なものになると考えられる。

不確かさの評価方法をまとめると以下のようになる。

1）測定装置のばらつきによる不確かさ：
実際に人体を繰り返し（条件を変えて）行うことによって評価できる。

2）測定装置の校正の不確かさ：
値づけられたアーティファクトを測定することで評価できる。

3）人体の体動揺による不確かさ：
高速測定技術を確立し、体動揺のモデル化を行うことで評価できる。

5．3．5 国際規格における不確かさの導入

（1） 国際規格の動向

現在、国際規格において測定の不確かさ評価の基本方針は、GUM（Guide to the expression of Uncertainty in Measurement）に基づいて行うことが定められている。このため、人体形状の測定に対しても、GUMを参照し、GUMの手法に従って測定の不確かさを考慮すべきであることを規定する必要がある。つぎに重要なことは、取引や測定結果の利用方法である。不確かさを含んだデータによって、判断を下したり取引を行うときには、不確かさの扱いを規定することが必要である。機械計測では、ISO 14253-1 を1998年に制定しこれに基づいて行うことを規定している。ISO 14253-1 は現在JIS化作業中であり、2000年度中にJIS化されることが予定されている。

また、不確かさや測定において、用語の使用方法は非常に重要である。これらに関しては、GUMおよびVIM（International vocabulary of basic and general terms in metrolgy）に基づくことが必要である。

（2） 三次元測定機における国際規格への不確かさの導入例

例として、三次元測定機の精度評価規格である ISO 10360-2 を見てみる。この規格では、ISO/TC 213/WG 10 により改正作業が行われ、測定の不確かさへの対応を行った。具体的には、用語として「誤差の範囲」というような言葉を止めて、「最大許容誤差（maximum permissible error）」を使うようにした。

さらに、測定の不確かさについては、「taking into account the uncertainty of measurement according to ISO 14253-1」という記述を加えることで、ISO 14253-1 に基づいて測定の不確かさを取り扱うことを規定している。しかし、このような記述だけでは、具体的にどのようにして不確かさを求め

るかは明確でない。そこで、ISO/TC 213/WG 10 では、新たに三次元測定機の測定の不確かさを求める指針となる規格を計画し、現在その作成中である。

（3） 人体形状測定への不確かさの導入方針

以上のような状況から判断して、最初は、人体形状測定においても、用語と測定の不確かさの取扱方法を GUM もしくは ISO 14253-1 に従うように規定することが望まれる。さらに、将来的には人体形状測定における測定の不確かさ評価の指針となる規格を制定することが望ましい。

5．4　結論

本報告では、人体形状測定における測定の不確かさの問題を実際の形状測定実験を通して検討した。

まず、5.1 および 5.2 の実験により以下のことが分かった。

1）レーザスリット光走査方式の人体形状測定機による人体の繰り返し測定により、測定装置のばらつきによる測定の不確かさを評価できた。

2）三次元測定機で値付けたマネキンの測定により、測定装置の精度を評価した。

3）上記の実験より、測定の不確かさの最大の要因は、人体の体動揺であることが分かった。

4）レーザ距離計により、体動揺を測定し、1/f ゆらぎにより体動揺をモデル化できることを示した。

5）体動揺の形状測定データへの影響を評価して、影響を抑えるには高速測定が不可欠であることを示した。

この結果から、5.3 において以下の提言を行った。

6）高速な人体形状測定方法として、自己参照パターン投影の手法および DMD 素子を使用したプロジェクタの使用を提案した。

7）体動揺の抑制方法として、被測定者の固定、体動揺のモニタリングなどを提案した。

8）人体形状測定のトレーサビリティの確保の方法として、アーティファクトの使用を検討し、アーティファクトの条件を示した。

9）人体形状測定の測定の不確かさの評価方法をまとめた。

10）　国際規格における不確かさの導入方法として、GUM および VIM に従った用語の使用、GUM および ISO 14253-1 に基づく測定の不確かさの扱いが必要であることを示した。さらに、将来的には人体形状測定における不確かさの評価指針となる規格の制定が望ましいことを示した。

6．今後に向けて

6．1　研究成果概略

6．1．1　形状を寸法データで表現する方法の研究開発

足部形態・体幹部形態の形状データを用い FFD（free form deformation）法により形態間距離を算出、この形態関間距離行列を多次元尺度法を用い分析、三次元身体形態の分布構造を取得した。この分布構造を基に線形重回帰分析を用い、分布軸を寸法項目で記述できる方法を確立した。

6．1．2　形状データの記述手法に関する研究開発

計測された人体三次元点群データを頭部・胴・右腕・左腕・右脚・左脚にパーツ分割しラベル付けを行い、その後分割された部位形状を人間の形状であるという制約を入れ、パラメータ記述する。具体的には計測された点群情報に順序情報を付け加える。この部分の順序情報計算作業を自動で行うソフトウェアを開発した。

6．1．3　人体形状データベースの構築手法の研究開発

形状データに関する産業界のニーズを把握するための調査を行った結果、主に任意の寸法値が抽出できる機能、２つの形状差分の分析機能、標準体型生成機能を必要としていることが分かった。一方人間工学的製品設計に適用可能となるような、順序付き点集合の形状データを含み、さらに人体計測データ、特徴点データ、画像データを格納できる新たな人体計測データベースを構築した。

6．1．4　人体計測における不確かさの評価に関する研究開発

人体形状計測においては、計測機・環境による不確かさより、人間の動きによる不確かさが大きいことが分かる一方で、レーザ変位測定機により人間の動きを測定、それを１／ｆゆらぎで近似できた。これらの結果から人体形状計測の標準化を行うにはｉ）測定の高速化手法、ii）アーティファクトの利用、iii）体動揺の抑制方法、iv）不確かさの評価手法、などを検討すべきであるとの結論に達した。

6．2　国際標準化への問題点

現在、国際標準化を検討しているのは、三次元人体計測データ・ファイルフォーマットであり、これに関する技術的な問題点は本事業ですべて解決されたと考える。

残る問題点はファイルに格納するデータや条件についてコンセンサスが得られるかどうかという点である。具体的項目を以下に列挙する。

・計測姿勢

・計測部位

・計測寸法項目
・計測特徴点

これらについては、今後、各国、各機関によって行われる人体計測の計測目的によって異なる事が予想される。この点をどのように折り合いをつけ、規格案として構築していくかが当面最大の問題点である。

また、このファイルフォーマット規格を普及させるためにはこのフォーマットを活用できる環境を整備する必要がある。そのためにはこのフォーマットで処理が可能なソフトウェアを無償で配布するなどの手段が考えられる。この部分に関しては他事業との連携で進めていきたいと考える。

6．3　国際標準化へのアプローチ

6．3．1　国際規格骨子作成並びに国際標準化活動計画立案

国際標準化については、ISO/IEC 専門業務用指針に基づき国際規格名、適用範囲など骨子についてまとめるとともに、今後の国際標準化活動についてスケジュールを含めた計画を立案する。

6．3．2　国際標準化の進捗状況

本事業の研究成果を踏まえ、また国際規格としては時期尚早にある事から今回は、ISOの技術報告書として「三次元人体計測データ・ファイルフォーマット」を提案したいと考えている。

現在、国際標準化プロセスの「②規格案適用範囲・タイトル作成」の状態にある。現状における提案用技術報告書は付録7．5にある「技術報告書ドラフト（案)」を参照。

6．4　最後に

本事業を終了するに当たり、研究成果を国際標準化へ繋げなげることはいかに困難であるかを痛感した。特に今回の人体三次元形状データに関する処理方法については、当初、本事業で開発した成果を標準化すれば良いと単純に考えていたが、これを行うと、企業間における競争力を剥奪する事に繋がり、ひいては産業界全体の活性化を奪うことになりかねない。特に製品設計に係わる核となるプロセス領域の標準化は下手をするとどれでも同じ商品になる可能性を孕んでいる。従って、今回は結局、形状データのファイルフォーマットの提案という事で決着させた。消費者にとり都合良く、生産者にとっては利益を生み出せる標準化という行為は一歩間違うと逆に自分たちを拘束し、技術の発展を阻害する恐れがあることを痛感した。このような事を引き起こさないためにも、国際標準化には多数の国々の異なった意見を調整しながら行われていくプロセスが多く含まれている。この点を肝に命じながら今後の提案作業を行いたい。

6．5　参考文献

保志宏, 河内まき子, 江藤盛治, 1991：生体計測法, 人類学講座, 別巻1, 雄山閣.

T. W. Sederberg, 1986: Free-From Deformation of Solid Geometric Models, Proceedings of ACM SIGGRAPH'86 in Computer Graphics, 20(4): pp.151-160.

Mochimaru, M., Kouchi, M., Fukui, Y., Yamazaki, N., 1995 : Local Deformation of Human Body Form for the Shoe Last Design. 6th International Conference of Human-Computer Interaction, p96.

持丸正明・ 河内まき子・ 福井幸男・堤江美子, 1997: FFD による形態間距離に基づく足部三次元形態の特徴分類, 人間工学, 33(4): pp.229-234.

柏谷久美, 1998：現代女性のための美の指標－ゴールデンカノン－, 日本機会学会誌, 101(958): pp.656-658.

伊藤由美子, 持丸正明, 河内まき子, 1997：衣服用人台設計のための3次元体幹形態の分類と平均化, 日本人間工学会第38回大会, 33(特集号): pp.182-183.

M. Mochimaru, M. Kouchi, 1997：Automatic calculation of the medial axis of foot outline and its flexion angles, Ergonomics, 40(4): pp.450-464.

松山容子, 山崎生美, 渡邊敬子, 片瀬真由美, 高部啓子, 1998：日本人若年女子背面形状の3次元計測と解析　－衣服適合の要因として－, 日本家政学会誌, 49(1), pp.69-76.

ダイアニコス, P.・B.エフロン, 1983: コンピューターがひらく新しい統計学, 日経サイエンス, 7月号: pp.58-75.

Mick, R. and M. J. Tatain, 1994: Bootstrap validation of pharmacodynamic models defined via stepwise linear regression. Clinical Pharmacology & Therapeutics, 56: pp.217-222.

付録１　技術委員会議事録

平成１０年度新規産業育成即効型国際標準開発事業
「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」
第１回技術委員会 議事録

●日　時：平成１１年６月２２日（火）１４時３０分－１６時３０分
●場　所：大阪ＨＱＬ大会議室
●出席者：委員長：河内まき子（通産省　工業技術院　生命工学工業技術研究所　室長）
委員：美濃導彦（京都大学　総合情報メディアセンター　教授）
福嶋茂信（京都大学大学院　法学研究科　助手）、
持丸正明（通産省　工業技術院　生命工学工業技術研究所　主任研究官）
高増　潔（東京大学　工学系研究科　助教授）
佐渡山亜兵（信州大学　繊維学部　教授、
委員長の意向により調査委員会委員長として参加）
オブザーバー：松本　亮（(株) ｵｰｼﾞｽ総研　ｼｽﾃﾑﾌﾟﾛﾀﾞｸﾂ事業部　課長代理）
廣瀬尚三（(株) ｵｰｼﾞｽ総研　ｱﾄﾞﾊﾞﾝｽﾄﾌﾟﾛﾀﾞｸﾂ事業部）
事務局：吉岡松太郎（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部　部長）
土田一雄　（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部　課長）
津熊貴子　（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部）

１．「身体形態特性データの計測・データベースに係る標準化」の概要説明（ＨＱＬ・土田）

２．国際標準化事業の概要説明（生命研・持丸）

人体寸法計測の現状について
・古典的な方法の説明
解剖学的な特徴点をマーキングしてマルチン計測器で計測
得られたデータは統計処理され、平均値・標準偏差・パーセンタイル値等を算出する。
古典的な人体計測の規格として…ISO-7250
そのデータベースの規格として…NP-15535
・新たな方法の説明
解剖学的特徴点をマーキングして三次元計測器にて身体をスキャンし、形状データを得る。
その形状データより人体寸法を算出。一方で形状データよりモデリングを行い、体系分類などの統計処理後、コンピューターマネキンに適用していく。コンピューター上にて人間に適合した製品・環境を設計していく。

今回はこの新しい人体計測方法（三次元計測器で身体をスキャンし、形状データを統計処理していく）に関する新たな規格を提案していく。この新たな国際標準化について具体的な方法論、例えば計測器はこれでなければならないとか、モデリング法は必ずこれだとか、統計処理は必ずこれだとか言うことはなかなか標準化には結びつきにくい。ここが今日の討議の焦点になってくる。

現在欧米で行われている新しい人体計測法による人体計測プロジェクトに CAESAR プロジェクトがある。これは SAE（自動車工業会）が中心となって、 計測はアメリカ、オランダ、イタリアで行われる。ここで規格化が行われている可能性がある。SAE が先行して規格化が進むと、本事業では無視できない存在となる。このあたりの事情については調査しながら、この事業を進めることにする。

3．この事業を取り巻く、国際標準の現状（生命研・河内）

人体寸法に関する ISO 規格

ISO-7250：工業デザインのための基本人体測定項目

今回の特徴点を決める時に考慮しなければならない。

NP-15535：人体測定データベース

ISO-72590 に即した計測データをどうデータベース化するか

ISO-14738：機械作業上設計のための人体測定学的要求事項

例えば、マンホールを設計するとき、肩幅に一定の余裕を持たせた寸法とすることが規定されている

今回この事業で重要視したい項目に「データの信頼性について」があるが、ISO-7250 については精度に関する記載はない。ISO-14738 についてはデータの信頼性について特記する事項があれば記載する記入欄がある。これら寸法に関する規格 3 セットは本事業にて無視するわけには行かない。

形状データに関する ISO 規格

CEN/TC122Work Item：コンピューターマネキンに関する規格

コンピューターマネキンは自動車・飛行機・軍隊が中心。自動車工業界等を中心に規格が決められて、デファクトスタンダードになってしまうと、これに従わざるを得なくなってくる。三次元形状データ規格に関して、CAESAR 計画でもし規格が先行しているとこれに従うことになるかも。例えば、着衣条件、計測時の姿勢、どの特徴点にマークを貼って計測するか、など。寸法を同時に測るとすればどこを計るか。

4．討議内容（別紙）

5．決定事項

1）最終的な提案内容について

信頼性、トレーサビリティに関する項目を付け加える。

３次元身体形状の具体的な利用目的を決めず、利用者が目的に応じて利用できるような身体形状情報を、提供するデータベースを想定する。このため、身体の節への分割位置は決めない。必要に応じて分割できるように、特徴点セットの位置の情報をもたせる。表面形状データベースについては、データを圧縮して保存する方法の標準化にとどめる。

提案内容は以下のようになる。

1-1）計測方法について

・目的（データの想定利用範囲）
・用語の定義
・計測機器：最低限必要な基本仕様項目。装置の精度、再現性等の評価
・計測姿勢
・計測項目（算出項目／手計測項目）
・マーカ位置
・計測方法
・信頼性、トレーサビリティ

1-2）データベースについて

・目的（データの想定利用範囲）
・用語の定義
・データベースの表書き
　被験者の属性（NP-15535 を継承）
　信頼性の記述
　データ項目（人体寸法項目、形状項目）
　各項目の統計値
・データベースのフォーマット：３次元形状データの記述方法
・３次元形状データの統計処理法

2）研究内容について

各研究項目の内容と担当は以下のとおりとする。

2-1）3次元形状データの計測方法

計測姿勢、計測項目、マーカ位置については、CAESARプロジェクトの調査結果もふまえて、調査委員会において決定することとする。

2-2）3次元形状データ計測方法の信頼性評価

・3次元形状計測装置の機械計測精度の検証（高増）
・体動揺、呼吸による五さの検証（高増、河内）
・3次元形状計測装置から算出した人体寸法と、手計測した人体寸法とのずれに関する検証（高増、美濃、河内）
・特徴点などのマーキングの誤差の検証（マーキングのずれなどによる寸法計測誤差についての検証とする）（河内）

2-3）3次元形状データの表現方法

・個体間で解剖学的な対応がつき、かつ少数のデータで全身の表面形状を表現できるような方法論の開発（美濃）
・3次元形状計測装置で得られた点群データと特徴点位置データを、上記の方法でモデリングできることの実証（美濃）
・モデリングの信頼性の評価方法（美濃）

2-4）3次元形状データの統計処理方法

・形状データ間の距離の計算法（河内）
・複数（50例程度）データについて距離を計算し、個体分布のモデル化を行う（河内）

3）今後の予定

・3次元人体表面形状のモデリングに関する研究をすすめるためには、きれいな3次元形状データが必要なので、次回技術委員会において、数例の計測を行う。
・身体座標系を決定する必要がある。
・報告書は担当分を日本語で提出する。HQLにて規格案作成および英訳を行う。
・モデリング等のソフトウェアについては、アルゴリズムの公開にとどめる。

4）全体スケジュール

研究開発項目	平成11年						平成12年		
	7	8	9	10	11	12	1	2	3
①-1、計測姿勢の検討 ①-2、体に付けるマーク位置の検討 ①-3、計測装置の検討	→	→	→						
②-1、機械計測精度の検証 ②-2、体動揺・呼吸による誤差の検証 ②-3、機械計測より算出した人体寸法とマルチンで計測した身体寸法のズレの検証 ②-4、特徴点などマーキング誤差の検討		→	→	→	→	→			
③-1、表面形状を表現する方法論の開発 ③-2、モデリング可能性の実証 ③-3、モデリングの信頼性評価法		→	→	→	→	→			
④-1、形状データ間距離の計算法 ④-2、個体分布のモデル化	→	→	→	→	→	→			
⑤-1、ISO原案、TCの作成 ⑤-2、ドキュメントの英訳 ⑤-3、形状データを付加した引退計測DBの仮構築		→	→	→	→	→	→	→	→
調査委員会 技術委員会	○ ○	○ ○		○ ○		○		○ ○	
報告書作成							→	→	→

以上

（別紙）

討議内容

（持丸）どういったISO原案を提案するか。提案する項目で抜けている項目や必要ない項目などがあれば意見を頂きたい。

（高増）JIS-8500とISO-7250の整合性は？

（河内）JIS-8500の方が古いため、ISO-7250の項目の一部が抜けている。ハーモナイゼーションのため来年度改訂の予定。

（高増）規格において言葉の定義がはっきりしない。垂直とある場合、いったい何に対して垂直なのかの記載がない。「信頼性、トレーサビリティ」を加えていきたい。

（持丸）一般に国際規格の中で「信頼性・トレーサビリティ」はどう記述されるのか。

（高増）測定器の場合、キャリブレーションの仕方を記述。ひどい場合は「トレーサブルな方法でキャリブレーションをしなさい」という記述。

（持丸）計測対象に気を使わねばならないことはあるか。

（高増）最近、そのような動きが出てきた。規格の中では「測定の不確かさに考慮して測定しなさい」といような記述。

（河内）人体計測の場合、どういう記述になるか。

（高増）難しい問題だ。

（持丸）ISO-7250を提案している先生の中にも「他人のデータは信用できないよね」という人がいる。本人がマークをつけたのでなければ信頼できない。これではデータベースにならない。

（高増）ひとつのやり方は、誤差に効いてくる要因をいくつか挙げてそれにはどういう注意を払うべきかを記述する。マーカを取り付ける位置の誤差をどのように推定したかを示す。などが考えられる。

（持丸）今回の研究成果を規格としてまとめていくには戦略が必要と考えられる。標準と言うことを考えると、計測機器に関してはこれでなければだめだとか決めることは標準と相反する。そうでなくて最低必要事項を記載していくか、こういう装置を使いましたという精度・信頼性を記述していくか、といような作戦を考えなくてはいけないのではないか。計測姿勢・計測項目・マーカ位置についてはCAESAR計画で使われているものを調べ、親委員会である調査委員会で決定するようにしたい。計測方法についてもあまり厳密には決めない。データの信頼性をどう記述していくかは先ほどの内容でいくか、定量的な内容にするか。次にデータベースの項目だが、データベースのフォーマットをどうするか。これは重要な問題である。データベースフォーマットの記述方法のひとつは「モデリングの最低必要事項の記載」です。これに対し、生命研が考えている案は、モデリングではなく「データの圧縮」という考え方です。不可逆圧縮と考えて、ある計測データを何らかの方法で圧縮する。この圧縮されたデータは元に戻すと（完全には元に戻らない

が)、最初のスキャンデータとなり、これをそれぞれ使う立場でモデリングを行うことが可能となる。完全にモデリングの方法論まで持っていかずにその一歩手前で人間の形態特性に合わせた形で情報量を減らすという操作を行う。また、全身データを部位パーツへどうやって分割するかについても難しい問題である。最近のコンピューターマネキンの状況を見ると分割しないのが最近の流行であるようだ。生体内の関節点位置さえ分かれば良いわけである。外側の形状を剛体だと言って分ける必要はない。このあたりの事情も含めてモデリングを考えなければいけない。統計処理については、体型の分類とか形をベースにした処理方法が考えられるが、具体案を提案するのがよいか、考え方を示すにとどめるのがよいか考えあぐねている。モデリングの内容と方針について議論したい。

(美濃) モデリングは何をしたいのかという目的が定まらないと方法は決定できない。この標準化はいったい何を目的にするのか、そこを明らかにしないとモデリングの話はできない。分割するにしても「動かしたいから分割する」という目的がはっきりしないと分割方法が考えられない。統計処理に関してもすべて同じで、何がしたいかと言う目的をまずはっきりしてもらいたい。ここが決まらないとテクノロジーの話にならない。

(河内) この目的はコンピューターマネキンにあるのではないか。

(美濃) コンピューターマネキンとは何か。サイズが決まればいいのか。

(持丸) コンピューターマネキンそのものの利用目的は何かという問題がある。

(美濃) 標準的な人を表現できればいいのか。

(河内) 標準的な形状だけでなく、分布の端にいるような形状も表現したい。

(美濃) 姿勢が変わらなければコンピューターマネキンではないのか、姿勢は変わらなくともコンピューターマネキンなのか。

(持丸) 今のコンピューターマネキンの目的はコクピット設計である。飛行機・自動車において、そこに座らせて体を動かすことが要求される。関節、指さえも動かなくてはならない。あるいは 日本人向けの自動車コクピット設計する際、日本人を仮想的に座らせてみる、ということもある。基本はこの辺に目的がある。従って、今のコンピューターマネキンは形よりも寸法を重視している。それはこれらの状況はすべて着衣した状態での話である。ヌードボディは必要としない。

(美濃) するとマルチン計測のデータがあれば事足りるのか。

(持丸) そうです。今 CAESAR 計画を実施しているのに既にコンピューターマネキンがあると言うのはマルチン計測で十分と言うことです。コクピット以外では工場のラインの負荷計測に使われている。この作業姿勢による腰の負担の問題になると力学的な問題が絡んでくる。例えば、節の中心がどこにあるかということが問題となってくる。とにかく目的をはっきりさせないとこの後の議論がしにくい。ISO-7250 も目的ははっきりしていない。……ちょっと発想を変えてみましょうか。美

濃先生は研究ベースから現在どんなモデリング法を考えていらっしゃるのか。

(美濃) 個人計測をきっちりしたいと考えている。仮想空間の中に自分が入らなければならない。その人らしい体型、その人らしい動きで他人が見ればそれは誰だ、と言うのが分かるような人体モデルを考えている。見てそれらしく見える正確さ。これもひとつの目的である。2 番目は衣服設計、中でも下着設計に使えるような精度を持った個人形状を考えている。どうしたらこれを簡単にできるか。1 番目は直立して立ったものが勝手に歩けるようにするために部位分割を自動でできるようにしなければならない。そして標準モデルとのマッチングをうまくやっていく。2 番目は計測データが一部しかない時にどうやって全体形状を推定していくか。そのためには体型がどうなっているか。またどこを計れば良いかと言うのは、統計的に分散の大きなところを計るのが得策だが、それはどこか。個人形状に近づくための効率の良い方法は、と言うようなこと今は手がけているところ。モデリングに関しては先ほど話に出たように人体の形状であるという制約だけで、データを圧縮していくということで本当に良いか。標準だからそれで良しとするのか。

(持丸) もう少し進めるとパーツに分けて圧縮すると言うことが考えられる。これならば目的が明確でない場合でも何とかなるか。

(美濃) 本来は明確にしなければならない。アプリケーションのドメインを決めると言うことは制約を持ちこむと言うことである。その制約でも一番ゆるい制約である「人間の体である」という制約だけを持ちこんでデータ圧縮することはできる。今回の場合どこまで制約を持ちこむか。

(持丸) これに関しては今日どうしても決めねばならない。私の意見としてはパーツに分けるところまではやって、自動車・飛行機・下着ぐらいを目標にして「人間の体である」という制約だけでデータの圧縮をするのが落としどころかなと考えている。あるいはもう少し目的をはっきりさせるか。

(河内) コンピューターマネキンを目的に入れることには異論はないか。動くことを前提にするか。

(持丸) そうすることにしよう。従ってパーツに分けるところまでは行う。

(美濃) 私は動くことを前提にしたくない。動きも色々あるから。

(佐渡山) 衣服とコクピットでは全く違う。

(持丸) 比較的粗大な動きを元に関節を分ける。可能ならば関節点を記述してやるのはどうか。モデルは分かれていないが、脊髄のデータ点は拾えるよ、とか…実際には無理か。

(美濃) 分割の方法だけでも色々ある。例えば肩をどこで切るかと言った時にも様々。肩関節について言えば、数通りの分割法がある。

(持丸) コンピューターマネキンは関節情報によって表面の情報が動くようになっている。

(高増) 関節のデータは寸法データからできているのか。

（持丸）それは各社秘密である。

（持丸）美濃先生に聞きたいのは、例えば動くとした時に分割法の具体案はこの場では決めないことにして、体を分割して形状データを人間の体を前提として圧縮する方向性で子の研究をスタートできるか。

（美濃）外見の三次元形状データだけを、つまり計測データをなんらかのパーツに分けて簡素記述するというイメージか。形の記述だから軸をどうするかの問題が出てきて胴体など関節を考えると記述が複雑になる。とりあえずばっさり切ってしまえばそれなりに記述方法はある。

（持丸）研究として徐々に進めていくことはできるか。

（美濃）切る場所を指定しないなら、形の上から切りやすい場所と言うのがある。関数近似がどうすればうまくできるかと言う観点から。

（持丸）切る位置は今日決められないが、何らかの形でコンセンサスをとって決めなければならない。それは多分関節の位置になると思う。

（美濃）その時に表面だけの記述がどうなってもいいかということがある。それで良いと言うことにするのか。

（持丸）要するにパカッと穴があいてしまう。

（美濃）計測データの姿勢はひとつでとるのか。

（持丸）それも決めなければならないが、基本的には姿勢はひとつで、姿勢を変えるのはモデリングでということになる。

（美濃）そうするとどの程度の精度でデータが採れるか、と言うことになる。穴があいていなければいいのか。測定誤差の問題は。

（持丸）穴があいたときにふさがなければならない。

（美濃）他の人がふさいだ時に計測データとどれくらい一致するか。

（河内）CAD マネキンで特定の姿勢をとったときに寸法が再現されるかどうか確認することが提案されている。ひざが開いたら寸法が計れない。

（美濃）寸法が計りたいなら穴が空いていても寸法が計れれば良い。関節の形をかなり正確にして作らねばならない。そうなると大変だ。

（持丸）標準化だけを考えるならば圧縮だけでいいような気がする。関節をどう記述するかはコンピューターマネキンの話で実際の計測には関係のない話である。

（高増）関節の話とそれをどう表面データと関連付けるのかという話はコンピューターマネキンの話。

（持丸）計測データの圧縮のみがこのプロジェクトの必要最小条件なのかなと思う。要するに形状データとサーフェイスの特徴点データがついたものがパーツごとに圧縮されている。

（吉岡）今の話は部品レベルにすると言うことか。

（持丸）部品ごとにはする。パーツには分けて、動くことも前提にするが、その先は考え

ない。

（高増）そうなるとパーツに分ける必要もないのでは。

（美濃）基本的にはサーフェイス記述して特徴点が貼りついていればよいのでは。

（持丸）このプロジェクトだけ考えると合理的なひとつのアウトプットかなという気がする。マネキンができるわけではなく、データの記述の仕方が決まるだけのこと。

（吉岡）記述方法が決まった時に最初河内さんが言っていた「分布の真中にいる人と周辺にいる人の違い」が形としてわかるようになるのか。

（持丸）記述する場合に個体間の対応付けは無視してしまうのか。特徴点をノード点とするとか、そう言うことを配慮するのか。

（美濃）もともと特徴点がついていれば対応はとれているはず。手がかりは与えられているので分類しようと思えばそれはできることになる。

（持丸）最終的に動くものは想定しているが、今回のプロジェクトでは計測データを圧縮する、というか表現し直すにとどまる。これの利点は目的を限定しない点である。つまり、将来的には動かす、対応はついている、人間である、ということしか制約をつけない。ひとつはＤＸＦのような人間形状データ保存フォーマットというようなイメージか。

（吉岡）形状データの規格化と言うことを考えるとこのようなものでいいのかなと思う。

（持丸）比較に関してはこの中でできる。コンピューターマネキンができるわけではない。

（津熊）発想の原点がコンピューターマネキンにあると寸法だけで事足りるが、ＨＱＬのユーザを見ると大抵がアパレル。CARSAR 計画でも形状は何に使うのかということになるとヘルメットの設計と聞いている。ＨＱＬのユーザを考えると高齢者の体型は寸法だけでは表現しきれない事実がある。高齢者マネキンの作成にはは寸法だけでなく形状データが必要である。目的はここらへんにあるのではないかと言う気がする。

（持丸）計測データをどうアプリケーションに使うのかということは目的オリエンテッドである。つまり草履屋が足をモデリングするのとブーツ屋が足をモデリングするのでは訳が違う。それを標準化していくということは非常に難しいのではないかと言う気がする。そこで、後の目的オリエンテッドの所はユーザに任せて、ここはその前段階としてデータは皆が使えるようにしよう。しかしどう使うかはユーザでそれぞれ開発しなさい、という位置付け。現実的にこのあたりしか落とせないのではないか。

（河内）最終的に動かせるかどうかは考慮したほうがいい。

（持丸）しかし、それが節分割をしなければいけないかということにはならない。それはユーザが勝手にしなさいというスタンスになる。動けるようにするには関節点にマークがついていれば良いと言うことになる。基本的には採った形状を表現する互換フォーマットをつくるということにする。

（河内）もう一度問題点を整理しましょう。
（吉岡）ひとつ気になるのが、「全身部位パーツ項目への分割法」だが、これはやらないという認識でいいのか。
（美濃）これはやらない。動きに応じて変わってくるのでやめておいたほうがいい。手がかりだけは与えておいて。
（吉岡）他の項目についてはすべて入っていることになる。極端に言うと我々が持っている寸法データのデータベースのように知的基盤的意味合いが強く、それを使って何かを作ろうとする時にはそれだけではだめで別途計測をしなければならない。これと同じようなイメージ。
（美濃）はっきりいうとファイル形式を決めようと言うもの。
（吉岡）後は距離の定義ができれば一応使えるものになるか。
（持丸）ここは分けて考えれば、色々な形状スキャナーから採られる点群データにも対応できるようなアルゴリズムなりを美濃先生のところで考えていただくことになります。
（美濃）いろんな点群データと言うのはどんな種類があるのか。
（持丸）計測器依存である。
（美濃）測定結果のデータ記述形式が決まっているものか。アプリケーションを開発するには入力形式が気になる。
（持丸）ソフトウェア自身どこかの計測器に依存して開発するしかないかと思う。基本的にそこのスキャナーも点群データなので点群が処理できればよい。
（美濃）人体全体の点群データ、姿勢は固定な訳か。
（持丸）はい。
（美濃）パーツ分割というか、この辺のデータはどの部分だと言うことはわかるか。
（持丸）それはわかる。特徴点はある程度決めねばならないので。例えば１５の特徴点があるとすればそれは別のファイルで提供されることになる。
（美濃）計測データのみでこれが手のデータか、顔のデータか、と言うことが分かるか。
（持丸）わからない。
（美濃）これは難しい問題だ。自動処理と言うことになると。
（持丸）特徴点から類推できないか
（美濃）そう簡単にはいかない。これは今一番人手がかかって大変である。今の計測データを自動処理と言うのは不可能だ。
（持丸）ＨＱＬのデータはひどすぎる。不可能と言うのはデータが汚いからと言うことか。
（美濃）むちゃくちゃだ。
（持丸）新たに計測する。今の一番良いレベルのデータを使う。そうすれば大丈夫か。自動処理できるか。
（美濃）提案としては、自動処理できなくてはいけないのか。

（持丸）完全に自動処理できなくてもプロトコルができれば良い。

（美濃）自動処理はあきらめてインタラクションをする。アウトプット形式を決めてインプットは三次元の点列データであると、そこだけをしっかり決めておいて、入力データから確実に出力データに持っていけるということだけ実現する。それがむちゃくちゃではないことを証明するために実証実験はしなければならない。

（持丸）それで良いと思う。

（河内）実際に美濃先生が研究するにはきれいなデータがなければならない。

（持丸）浜野エンジニアリングの新しい計測器が相模原に入っていますから、そこで計測を行う。早急に手配して、数体計測する。

（高増）規格としてはその出力形式が一番大事。

（河内）記述した時の精度の検証法をどうするかも決めなければならない。また、寸法項目をどうするかについて決めておかねばならない。今後の決定事項を整理する。まず、三次元形状データの計測法で①姿勢、②マーク位置、③どの計測器を使用するかについての検討項目は調査委員会やＳＡＥの動向を調べた上でいうことにする。形状データの表現法について②身体節の分割、③部位パーツにに分割する手法については考えない。①表面形状データ圧縮法、④データ圧縮方法論の実証、⑤データ圧縮法の信頼性の評価法については美濃先生のところで行う。次に三次元形状データ計測の方法の信頼性評価について①機械精度の検証法はどうするか。

（高増）標準物体を計測し、出てきた寸法データを評価することになる。

（持丸）最低限機械の検証はすると言うこと。

（河内）②の体動揺・呼吸による誤差の検証、④特徴点マーキング誤差の検証がもっとも重要になるのではないか。

（持丸）④特徴点マーキング誤差の検証については生命研で担当する。

（高増）②の体動揺・呼吸による誤差の検証、は担当する。

（持丸）③スキャナーより算出する人体寸法とマルチン式計測データのずれの検証は京大・東大・生命研３者合同で行う。座標系を決めなければならない。

（河内）三次元形状データの統計処理方法についての検討項目は生命研の担当とする。

（高増）パーツのデータが欲しいが。

（持丸）新たな計測を行う。

（河内）レポート、ドキュメントは日本語で提出。英訳、規格案はＨＱＬで作成。ソフト開発はどうするか。

（美濃）ソフト開発はせず、アルゴリズムの公開にとどめる。

（河内）成果が出たら順次提出していく。締め切りは12月だが、努力目標。

（持丸）ＨＱＬには、ＳＡＥの動向を調査してもらいたい。

（河内）7月中に計測を行う。

（吉岡）形状間距離は美濃先生の方法を使うか。

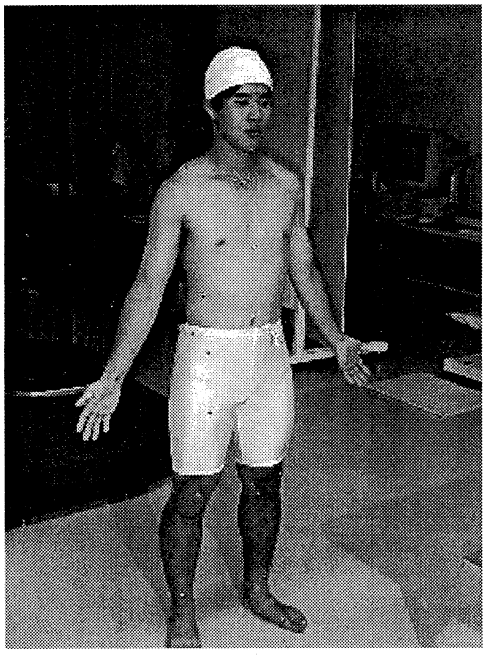
（持丸）そうではなく生命研の方法論を用いる。

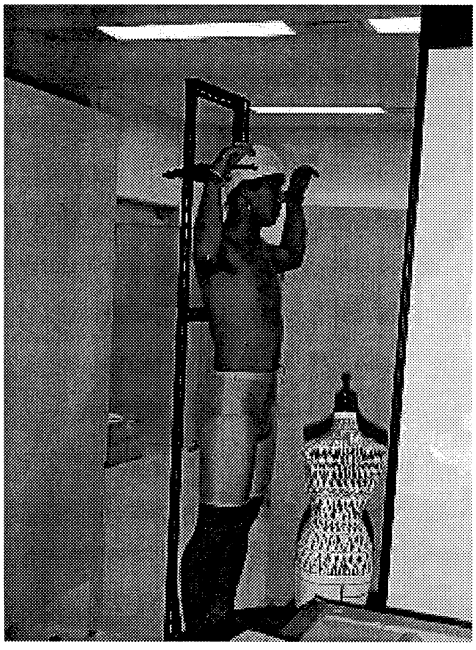
以上

平成10年度新規産業育成即効型国際標準開発事業
「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」
第2回技術委員会議事録

日時：平成１１年7月１３日　９：３０～１４：３０
場所：文化服装学院 形態機能研究所
主席者：委員長：河内まき子（生命研）
委員：　福嶋茂信（京大)、
高増　潔（東大)、
持丸正明（生命研）
事務局：吉岡松太郎（ＨＱＬ）
土田一雄（ＨＱＬ）
計測：　伊藤、谷口（文化服装)、矢吹（生命研）
被験者：高井（東大)、遠藤（生命研）
見学者：平木、江並、(東大)、吉内（京大）

今回は今後の研究開発に必要となるデータを取るための計測を行った。
被験者：男性２人
計測姿勢：解剖学的基本肢位（図１）と基本肢位状態で腕のみを横上方に上げた姿勢
（上腕は水平、前腕は垂直　図２）の立位２姿勢を計測。


図１


図２

参考として１人のみ伝統的な座位基本姿勢も計測した。(図３)
体動揺によるブレを解消するため、姿勢を固定する補助具を使用。(図４)

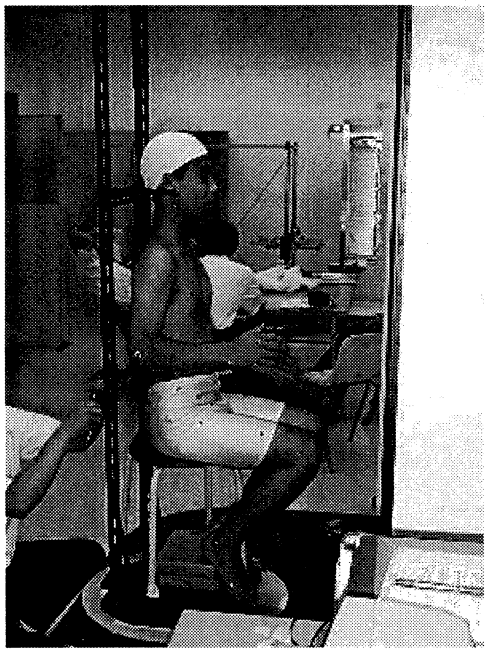


図３

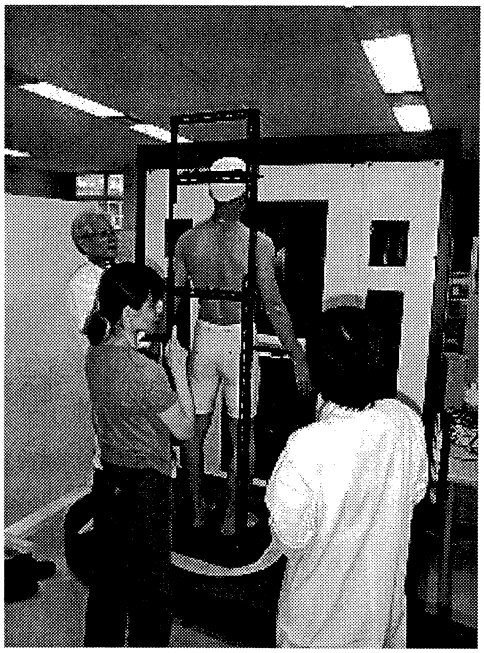


図４

特徴点：CARSAR 計画（資料１）の特徴点８０点を踏襲。(河内委員長がマーク　図５)
マークシールは 1cm 程度の四辺形に対角線を引き、向かい合う一対の三角形を黒く塗り潰したものを使用。(図６、パンツ部分参照)

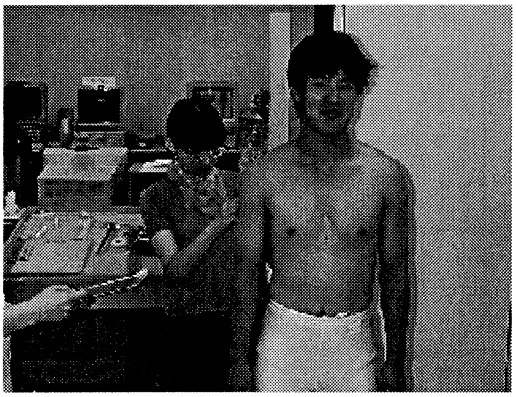


図５

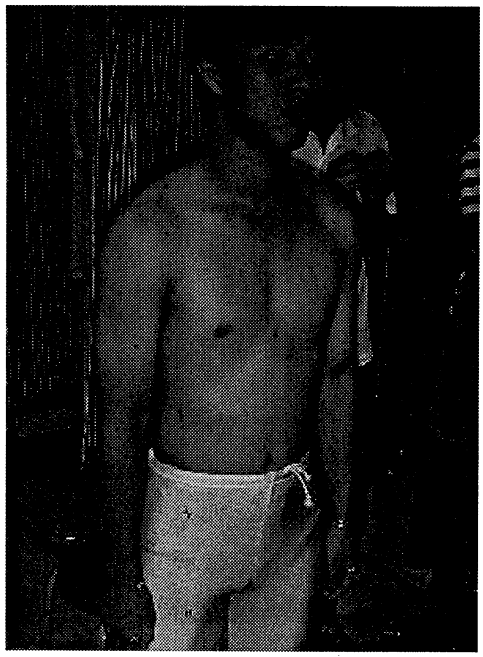
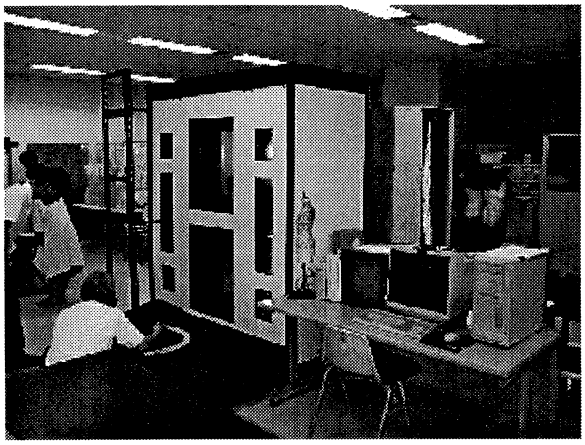
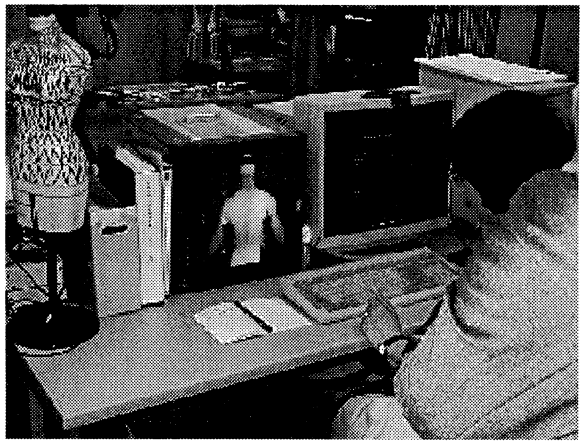


図６

計測器：ボクセラン（浜野エンジニアリング　図７）
計測方向：計測ステージを９０度づつ回転させた４方向
　　計測後、４方向データを貼り合わせた結果、ブレは殆どなく、
　　連続するきれいな横断面が確認された。（図８）


図７


図８

計測データは生命研に持ちかえり、持丸委員により特徴点を入力、必要に応じ、座標を変換した後、２．５次元４面計測データ、３次元点郡データ、３次元特徴点データの３種類を京大、福嶋委員へ送付、pre-modeling（第１回技術委員会では「データ圧縮」と呼んでいたもの）処理の検討を開始する。今回のデータに関し研究素材としての有効性が確認され次第、今回と同様の方法で、女性２人の計測を実施する。（７月末を予定）一方、高増委員は今回のデータも含め体動揺による誤差の検討を開始する。

計測後討論内容

福嶋　きれいなデータを対象にしてpre-modeling（第１回技術委員会では「データ圧縮」と呼んでいた手法）して良いのだろうか。

持丸　汚いデータを使うと泥沼になる。今日ぐらいのきれいなデータを前提にしても良い。計測時には何らかの工夫をしてこれぐらいのデータは取るべきではないか。シーザー計画のデータはどれくらいきれいなのだろうか。高増先生と話していて標準化は採り方のガイドラインでも良いのではないかと考える。汚いデータを工学的に何とかしようではなく、きれいなデータを取るためにはどうしたら良いかを提案していく。例えば、体動揺はこれぐらいあるから、隠れを承知で押さえをつけたほうが良いとか、そういうガイドラインを今回提案できれば良い。使い方をもう一工夫してきれいなデータを取っていく。

福嶋　pre-modeling 開発ソフトの入力形式はどうなるのか？点群データか、2.5 次元距離データか。

持丸　点群データか、テクスチャー付きの２．５次元４面あるいは２面、あるいは円筒座標になる。２．５次元を使うのであれば座標変換はそちらにお願いする。

河内　特徴点か影になって見えなかったりすることがある。すべての特徴点がそろっているということは無理かもしれない。それは問題になるか。

持丸　問題だ。とにかくすべてそろっているということでやっていく。

河内　特徴点は貼り合わせのためではなく、モデリングのためにあるから、ないことは致命的になる。

持丸　今日つけた８０個所の特徴点は最終案ではない。変わる可能性がある。ただ作業としては８０点で進めてもらう。

土田　今後の予定は、今回のデータがＯＫならここで女性を計測する。

持丸　その後、落ち着いて特徴点その他を生命研が検討する。それと同時に福嶋先生の所ではサンプルデータでプログラミングを進めてもらう。また、高増先生の所では体動揺等の検討を進めてもらう。３者並列で作業を進める。生命研で特徴点、座標系の検討が済んだところでバリデーション用のデータを１０人ほど改めて計測する。これは国民生活センターか、岐阜大学のサイバーウェアーを使って採る。これは１０月ぐらいになる。

河内　文化服装学院の都合でここを使えるのが、７月最後の週しかない。

持丸　生命研の作業を早く済ませ、７月最後には女性を採れるようにしたい。今週中にデータを整理して福嶋さんまで送るので福嶋さんはそのデータが使えるかどうか確認して、ＯＫなら７月最終に女性を計測してしまう。

持丸　統計の方法についてはかなり重い。有意義なことは分かるが、少し調査も含めながら進めていく。

土田　Pre-Modeling で形態間距離を入れ込んでいくことはできるか。

持丸　時間が十分ないので余計な制約は入れないで Pre-Modeling を完成してもらうのが良い。統計の話は全体の青写真も含めてデータベースをどう提供していくのか、それに対してどういう統計処理の方法を使えばアプリケージョンまでつながるのかを考えながら進めないといけない。役に立たないものが出来てもしょうがない。

土田　美濃先生には制限を設けずに Pre-Modeling をしてもらうことになる。

持丸　その後可能ならば形態間距離を出してもらってもかまわない。今のところこの制約をつけずに Pre-Modeling してもらい、確実に Pre-Modeling できる部分をやってもらう。この部分で美濃先生とＨＱＬでしてほしいことはソフトウェアとして完成するためのユーザインターフェイスの部分を作りこむことである。

土田　オージス総研に早く美濃先生とコンタクトしてもらい進めるつもりだ。

持丸　インタラクションが必要なのでそこをオージス総研に作り込んでもらうと終わった

後、物になって残るので初年度しては有意義である。

福嶋　今日の２体のデータプログラミングが終わって、整理されてからオージス総研とはコンタクトしたい。

吉岡　統計というのは形態間距離の統計値のことか。

河内　いわゆる平均値、標準偏差とは別物。１変量ではなく、多変量だと誰も納得する方法論がない。

土田　ユーザの要求は個人形状ではなく、２０歳女性の平均形状といったものである。

持丸　さらにユーザの要求を聞くと「足のつめ」まではいらないとか、目的意識がある。それを間違って出すと、これはうちの役には立たないということになる。

河内　標準化の部分とユーザへのデータ提供の部分は分けたほうがいいのではないか。

持丸　標準化というのはあるひとつのデータベースのイメージに対して標準化するのである。一方ユーザにデータを提供するのがデータベースのひとつのイメージだとすると標準化とユーザへのデータ提供は分けて考えることは出来ない。個別データをすべて公開するようなデータベースはない、というのが一般的。従ってこの２者は同時に考えていかねばならない。

河内　形状のデータベースは形状だけで存在することはない。

持丸　寸法とセットになるだろう。

福嶋　基本を元にオプションをかなりつけないと難しいのではないか。

持丸　基本部分を抽出できればよいが。

河内　基本とは何か。

持丸　私も抽象的で良く分からないが。

河内　Jack が持っている基本体型モデルようなものになるのでは。やはり、基本となると全身になる。手とか足だけというわけにはいかないだろう。

持丸　基本的に企業のニーズに応じたアプリケージョン用処理プログラムは用意しないといけないが、それとは別にデータにつけて出すようなものというのが何かあるだろうか。

土田　生命研では足とボディの統計は検討するか。

持丸　それはする。統計の話をするには数が必要で全身では今年は無理、ある程度の方法論をパーツでやるしかない。

土田　提案書には寸法で形状の統計処理をするとあるが。

持丸　それは出来る。「全身を目的なしに」ということができない。ある程度目的を絞れば出来る。今年はガイドラインを示すに留めるか。今年の成果で一番具体的な物は高増先生の結果だろう。検証の仕方はこうしようというのは、ある程度具体性が持てる。それ以外はざっくり押さえるしかない。ガイドライン程度か。記述はしっかり押さえるが。

吉岡　全身像のニーズはないのだろう。

持丸　最終的にアプリケーションに繋がらない仮想的な平均が存在しても何のためにあるのかわからない。

河内　企業が絶対に使いたいというニーズはあるのか。

土田　これから調査予定。

持丸　企業自身が積極的に利用しようという姿勢がないとだめ。アパレル企業にその辺の意識を調査してほしい。ボディの統計量が出たらそれに向けて積極的にアプローチしようと考えているのかどうか、ということとかを。

土田　ボディで統計するとなると全身データをパーツに分ける必要があるが、その方法論は。

持丸　ユーザのニーズを聞きながらそれを作っていかねばならない。「高効率人体計測器の開発」はそこまで考えながら進めなければならない。ただ形状データが計れるだけでなく、全体としてアプリケーションまで効率化するという、そういうイメージを持っていないと前回のＨＱＬ計測と同じで、ただきれいなデータを集めるだけでは使えない。

河内　シーザー計画では分割することを目的に特徴点をつけているようだ。

持丸　計測は最後まで考えてやらないといけない。「高効率人体計測器の開発」は後のアプリケージョンの部分をしっかり考えてやらねばならない。従って今年度はその呼び水になるようなものにしなければいけない。

以上

平成１０年度新規産業育成即効型国際標準開発事業
「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」
第３回技術委員会 議事録

●日　時：平成１１年９月６日（月）１４時００分－１６時００分
●場　所：大阪ＨＱＬ大会議室
●出席者：委員長：河内まき子（通産省　工業技術院　生命工学工業技術研究所　室長）
委員：美濃導彦（京都大学　総合情報メディアセンター　教授）
福嶋茂信（京都大学大学院　法学研究科　助手）、
持丸正明（通産省　工業技術院　生命工学工業技術研究所　主任研究官）
高増　潔（東京大学　工学系研究科　助教授）
佐渡山亜兵（信州大学　繊維学部　教授、
委員長の意向により調査委員会委員長として参加）
オブザーバー：松本　亮（(株) ｵｰｼﾞｽ総研　ｼｽﾃﾑﾌﾟﾛﾀﾞｸﾂ事業部　課長代理）
福田　　（(株) ｵｰｼﾞｽ総研　ｱﾄﾞﾊﾞﾝｽﾄﾌﾟﾛﾀﾞｸﾂ事業部）
事務局：吉岡松太郎（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部　部長）
土田一雄　（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部　課長）
津熊貴子　（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部）

1. モデリングに関する言葉の定義と統計的代表データ（資料 1、討議内容は別紙参照）

○当該事業で新たに登場するモデリングに関する言葉を定義した。

homologous modeling	個体間で対応付けられた人体表面形状のモデリング
human surface model	人体表面形状を多面体･自由曲面で構成したモデル（個体間の対応付けはなくてもよい）
pre-modeling	計測データより記述レベルがあがり、様々な homologous modeling がより容易に可能となるような汎用的 human surface model を作成する手法

○この汎用的 human surface model を人体形状データの国際標準規格として提案する。
○人体形状データベースの表書きになる統計的代表データとして、一般的な人体形状の第 1、第 2 主成分と言われている身長と胴囲を用い、身長を 50%ile、5%ile、95%ile で切り出したときのそれぞれにおける胴囲の 50%ile、5%ile、95%ile をもつ代表サンプル 9 体を用いることを提案。
○この提案は、身長と胴囲という軸で表現されているが、軸の内容、軸の数、パーセンタ

イルの値、等に関して次回調査委員会までに再度検討、再提案を行う。

2. Pre-Modelingの進め方と問題点（資料2,3,4、討議内容は別紙参照）

○入力データ形式は様々な計測器の出力に対処するため計測装置間の最小情報を記述対象とする。
○Pre-Modeling処理は点集合を円筒に投影することを考えているので、全身を円筒と位相同形な部位に分割し、点データに分割部位のラベル付けを行う。
分割部位は、頭、胴、右手、左手、右足、左足、の6部位とする。
○従って入力データ形式は1つの座標系におけるラベル付点集合を基本とする。
○他の有用情報はオプション情報として扱う。
現時点では、特徴点座標、輝度画像データ、人体寸法、計測時のデータ間の位相情報。
○計測時における欠落データは点密度から適当な基準で判断し、欠落情報を記述する。
○出力形式の大きな方針として、データ量の圧縮よりモデリング処理のし易さを優先する。
○現時点での大きな問題点として計測データの汚さがある。
問題点1：水平方向の位置合わせができない。
問題点2：腕と胴の間のデータが消失する。
問題点3：腕と胴の間にノイズ成分が残っている。
これらの問題点は前回の文化服装学院における人が回転するタイプのVOXELANを使う限り生じてくるので、回転しないタイプのVOXELANでの計測データを検討する。
また、他の計測器のサンプルデータを入手しすることも検討する。

3. 海外調査について（資料5）

○北米調査は期間が1週間繰り上がり、10月31日～11月6日までとなる。

4. 次回技術委員会について

○次回の第4回技術委員会は11月下旬の予定。

以上

（別紙）

討議内容

1. モデリングに関する言葉の定義と統計的代表データ

持丸：計測されたデータには 3 種あり点群データ（point cloud）、特徴点（anatomical landmarks）、人体寸法（body dimensions）。通常生命研ではこれらデータを用いてモデリングを行って いる。これを homologous modeling と定義する。homologous と言うのは「個体間で対応がつく」と言う意味。人類学でよく使用する。

河内：「相同」といわれているもので、ここでは名称を定義するためとりあえず便宜的に使用した。

持丸：今回、美濃研で検討している pre-modeling は点群データを基に特徴点なども加味し、人体表面形状を表すもので、human surface model としたい。一般の surface model と言われているものは自動車や土瓶や何でも表すが、ここでは人体表面を表す多面体や自由曲面であると言うことからこの名称を考えた。この場合はまだ個体間の対応付けはなされていなくとも良いとする。これ全体を pre-modeling と呼ぶことにする。資料でいうと左に行くほど汎用的で右に行くほど実用的となる。今回の 3D anthropometry Database としては標準化ということも含めて pre-modeling の段階で留めておいた方が良いと考える。次に統計案について説明する。一番の理想は 3D 平均形状や、パーセンタイル形状、95%確率楕円上形状が出せるのがよいが、これは homologous-modeling に依存し困難である。したがってデータベースの表書きになる統計的代表データは人体寸法を基に出すことにした。これは米国 SAE が用い、コンピュータマネキン国際規格の基本体型として検討しているものである。何を使うかと言うと、一般的な人体形状の第 1、第 2 主成分と言われている身長と胴囲である。資料下真中の図に示した様に身長を 50%ile、5%ile、95%ile で切り出したときのそれぞれにおける胴囲の 50%ile、5%ile、95%ile をもつ代表サンプルを抽出しこの 9 体を形状の代表データとしようというものである。この提案の背景には homologous-modeling に依存する統計の方法論が標準化に載りにくいと言うことがあり、そのためコンセンサスの得られるであろう策を用意しておこうと考えている。

河内：平均形状を出すのではなく代表サンプルを選んで済まそうと言うことである。

美濃：この 9 体を計測すると言うことか。

持丸：いや、データベースにはある程度、数があるものとし、その中から選びだすと言うことである。

河内：検索も寸法を使うと言うことか。

持丸：そうだ。形状での検索ができれば良いが現在のところ寸法を用いざるを得ない。

持丸：もう少し説明すると、形状データベースの基になっている寸法データベースの

NP15535と言う規格はデータ内容と表書きの2種類に分けられる。データ内容は個々の個人データが記述されているもので、表書きと言うのはそのデータセットの国や人種や年齢、性別など、どんな人達を測ったかという情報とそれぞれの項目における平均値や標準偏差、パーセンタイル値等の情報が記述されるわけである。これらのデータベースはフリーで公開されることは殆ど無いと考えられるが、その場合でもこの表書きだけは公開されるであろう。その場合に少し中身が見えるものと言うことでこの案を提案した。

津熊：HQLが形状データを提供する場合も身長で3分類した後、様々な項目の平均値やパーセンタイル値に近い値を持つ人を9タイプ抽出すると言うことをしているがそれと同じようなイメージか。

持丸：もっと簡単である。HQLのやり方は主成分分析的な要素が強いと考えられるが、今回の提案は身長と胴囲に限定した。そのわけは、主成分軸が各国によって違うであろうという点、また計測する項目に関しても各国、計測機関によって異なる為、主成分分析的手法は標準化にそぐわないと判断した。これで抽出される形状データは個人データあり、これが本当に代表値かと言う議論はあるが、コンセンサスの得やすい方法として、一番ローテクなやり方をあえて提案した。

吉岡：相当するデータが無いときにはどうするか。

持丸：あると考えられるが、現在のところその解決法はノーアイデアである。

河内：研究と標準化は相容れないところがある。

持丸：国際的な動向を見ても、形状そのものを統計処理する方法論で確立されたものは無い現状で、これを標準化に持っていくのは困難だ。

吉岡：ここでは身長と胴囲とあるが、この軸に何を持ってくるかはこれからの検討か。

持丸：いや、身長と胴囲に規定したい。

河内：部分形状データはどうするかという問題はあるが、このデータベースは全身を基本に考えており、全身の場合はこの2項目になる。

高増：5%の5%というは非常に少ないと思われる。

持丸：確かに少ない。先程の吉岡さんの指摘もあった様に95%がいいか、90%が言いかと言うことは検討する余地がある。

土田：この抽出されたデータの利用法はどういうことが考えられるか。

持丸：使い方はよくわからないが、これは一つの表書きであり、各国の太った人はこんな太り方をしていると言うことを掴むくらいである。コンピュータマネキンとのリンクを考えると、これが国際規格として通れば各国の代表的体型として組み込まれるので使い方としては分かりやすい。ただコンピュータマネキンは形状データではなく寸法データから作られているので形状データとしての意味は薄まる。

河内：データベースを形状で検索するのではなく、寸法で検索していくことになるのだが。

持丸：形で検索する方法とかはあるのか。

美濃：今のところ無い。類似検索と言うものはある。画像データで類似検索がやっと可能になりつつある。あらかじめ類似度を定義してINDEX化して検索する。今は色ヒストグラムといって色の配色具合で検索するものがある。ただし似ていると言ってもその基準が人によって違うので何ともいえない。「明るいものは」とかいう感性的要素を入れていくと話がさらにややこしくなる。

佐渡山：体型の分類で、我々日本人から見ると胴長･短足ということに目が行ってしまう。ヨーロッパ人と日本人の足の長さの違いといった要素を入れ、もう1軸増やすとより体型の違いが明確になるのではないか。

河内：ラムシスというドイツのコンピューターマネキンでは身長と胴囲とプロポーションという3軸で体型を表現している。

持丸：軸の数、パーセンタイルの値は議論の余地があると考えられる。

吉岡：ソマトタイプは主成分をかけてやっている。

河内：ソマトタイプの第1主成分は皮下脂肪である。

持丸：ソマトタイプは体型分類の一つのやり方だが、ISO7250で規定されていない皮下脂肪という項目が入ってくるので標準化には載りにくい。

吉岡：いやソマトタイプは主成分分析が成功した例として挙げたのだが、先にでてきたように主成分をかけると各国で軸が異なると言う話だったが、軸を決めてかかれば良いのではないか。そうすると分布状態が各国で異なってしまうか。

持丸：今回の提案を基に、軸の内容、軸の数、パーセンタイルの値、等を次回の調査委員会までに検討し、案を練り直し、再度提案することにする。

2. Pre-Modelingの進め方と問題点

美濃：前回の計測データでもらった点群データは使い物にならない。そのため、その前の計測データを使って処理してみたが、貼り合わせや欠落データなど様々な問題点が存在した。これらを解決する前処理を誰がどうするかは重要な問題である。我々はこの前処理が済んだデータを入力形式と考え、その先の処理を研究するので、この入力形式はきれいなデータで欲しい。しかしそれが出来るのかどうか不安である。

持丸：計測に関してはこの前処理の部分がクリアできる計測装置が無いのが現状。明日の計測は前回測定と同じVOXELANだが、最新型で人を回さないタイプのものなので、これを使う。その後は岐阜大に行きサイバーウェアーで計測を考えている。どちらも完全に理想的なデータが取れるかどうかは分からないが、これが現実的な限界である。

美濃：北陸の方でやっている浜松ホトニクスはどうか。

持丸：悪くは無いが腕がとれない。腕の部分が切れた人台のようなデータが得られる。

美濃：どんな計測装置でもデータ処理を出来る様にしなければいけない。

持丸：ここはひとつ業界に活を入れる意味でも、メーカーに対しここまでのデータ出力は

しなさいと提案しても良いかもしれない。

河内：美濃先生に Pre-Modeling をしてもらうためにはきれいなデータが必要だが、計測してもなかなかきれいなデータが得られない。

持丸：現実的な対処として、明日の人を回転させない VOXELAN のデータの様子を見るのと浜松ホトニクスか北陸 STR に頼んで差し支えないデータを提供してもらうことにする。

福嶋：しかし、何をもらってもサーフェースモデラーなどで修正しないと使えないと思われる。

持丸：それをやり始めると標準化そのものにならない。この入力イメージがひとつの標準化である。こういうデータが出力できれば計測器は何を使っても良いという。

美濃：難しい問題ではないと思うが、ノイズをどう処理していくかが問題である。

持丸：私の意見では余計なデータは削りたい。

美濃：それはしよう。統計的な処理を行えば可能だ。ラベル付けのインターフェースの部分で人が介入して処理する。

持丸：良いデータベースを作るのが重要である。少ない数でもきれいなデータ。

美濃：欠落データはどうするか。

持丸：欠落データは放っておいた方が良いというのが正直な気持ちである。

美濃：放っとくのは可能だが、隣の点が遠くなる。

持丸：その部分を何とか記述できないか。その間が平らなのか、欠落しているのかは分かった方が良い。

美濃：解像度の情報が得られれば、解像度に比べ、3 倍以上データが飛んでいるのでここは欠落と言える。リンクに欠落ラベルをつけることが可能。

福嶋：あるいは欠落データを補完し、そのデータに補完ラベルを貼っても良い。処理としてはこちらが楽。後処理も楽。

美濃：ラベル付けも処理する人によって微妙に違ってくる。

持丸：切り方はどうするか。

美濃：円筒位相同形と言う意味では水平に切るのが良い。

河内：切るときに画像データは使えるか。

美濃：使えるが、画像データはオプションなので、オプションをどう扱っていくかが問題である。また、オプションは無いのが前提で、そうなると HQL の中できれいなデータが使えるのではないかと期待している。とにかく我々としては前処理と後処理は全くせず、その間だけを作るつもりだが、それで良いか再確認したい。

持丸：今回、後処理は考えていないので、前処理が問題となる。我々としてはなるべくきれいな計測データをとるが、それを美濃先生の処理に持っていくまでが大変という訳だ。

美濃：前処理には 2 段階あり、ごみ除きとラベル付け。我々はラベル付けされた点群デー

タを入力形式としてそれを処理する。

持丸：我々としてはきれいな計測データを前処理を担当するオージス総研に渡すので、それを基に前処理ソフトを作って欲しい。

オージス：基本的に計測器は何でも良いと言うことだが、できれば 1 社に絞った方が我々としては作りやすい。

美濃：これは提案なので、計測器は 1 社に絞っても良いかもしれない。回し者みたいだが。

河内：今後、10 体程度計測予定だが、これらデータを前処理できるソフトを作ってもらうのが良い。

持丸：一番厄介なのが、我々が一番使いやすい計測器が一番データが汚いという点である。文化服装学院の VOXELAN は人が回転するタイプだから。

オージス：VOXELAN だと人の動かないタイプでない限り、前処理を作るのは無理だと思う。

持丸：とにかく明日、人の回転しない VOXELAN で計測するのでそのデータを早くオージスさんに渡し、検討してもらう。

持丸：ひとつ聞きたいのは、美濃先生の処理で円筒と位相同形にならない場合はどうなるのか。つまり、顎の下とかバストの下とか頭でいうと耳の後ろが計測出来るようになるとそれはどう記述されるのか。

美濃：今のところ考えていないが、複雑な処理にはなるが出来ないことは無い。

福嶋：ラベル付けを拡張することで対処できるのではないか。

持丸：オージスも将来そういう可能性があるということを考えに入れておいて欲しい。

オージス：ラベルが追加できるようにする。

河内：今日、決定することは何か。

美濃：必要なデータの欠落をどう扱うか。余計なデータはインターフェースで除くことにする。

持丸：欠落は欠落として記述するので良いのでは。

美濃：それではそうする。点密度から適当な基準で判断し、欠落情報を記述する。あと、ラベルは何種類にするか。

持丸：問題は首を切るかどうかである。検索を考えると切った方が良い。

美濃：頭、胴、右手、左手、右足、左足の 6 部位にする。

河内：これをどう切るか。

持丸：これは美濃研とオージスと生命研が別途話し合って決める。

美濃：出力形式をどうするか。基本的なことはこちらで考えるが、方針として、データ量を減らすのと、後処理の使いやすさとどちらを優先するか決めて欲しい。

持丸：これは後処理の使いやすさではないか。

河内：やはり使いやすさ優先。

美濃：では使いやすさ優先とする。点の数はどれくらい想定するのか。

オージス：500×500 の 8 面。

美濃：オプションデータとして何を考えるか。

持丸：マーカーの位置、人体寸法、テクスチャー（輝度画像）

美濃：マーカーの位置情報はオプション情報とリンク情報が必要になる。

持丸：人体寸法はリンクさせる必要は無い。輝度データはどう記述するか。

美濃： XYZ の空間座標に RGB の色情報が付く形。

持丸：ちょっと別の話になるが、輝度画像に関してプライバシーの話はどうなるのか。データの著作権や肖像権は誰に帰属するか。

美濃：基本的には被験者本人とそれを加工した人にそれぞれ付いてくる。したがってデータベースを完全にこちらの所有物にしようとする時には、その都度、権利を放棄してもらわねばならない。今後は権利放棄の承諾書をきちんと取っていかねばならないだろう。

持丸：この辺の事情については注意深く真剣に進めていく必要がある。今後、計測時に承諾書を取らねばならない。

美濃：さらに入力時に必要なオプションがあれば連絡して欲しい。

以上

平成１０年度新規産業育成即効型国際標準開発事業
「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」
第４回技術委員会 議事録

●日　時：平成１１年１２月１５日（水）１４時００分－１７時００分
●場　所：大阪ＨＱＬ大会議室
●出席者：委員長：河内まき子（通産省　工業技術院　生命工学工業技術研究所　室長）
委員：美濃導彦（京都大学　総合情報メディアセンター　教授）
福嶋茂信（京都大学大学院　法学研究科　助手）
高増　潔（東京大学　工学系研究科　助教授）
佐渡山亜兵（信州大学　繊維学部　教授、
委員長の意向により調査委員会委員長として参加）
オブザーバー：松本　亮（(株) ｵｰｼﾞｽ総研　ｼｽﾃﾑﾌﾟﾛﾀﾞｸﾂ事業部　課長代理）
福田　　（(株) ｵｰｼﾞｽ総研　ｱﾄﾞﾊﾞﾝｽﾄﾌﾟﾛﾀﾞｸﾂ事業部）
事務局：吉岡松太郎（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部　部長）
土田一雄　（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部　課長）
津熊貴子　（(社) 人間生活工学研究センター　研究開発部）

3. 人体計測データファイルフォーマット（案）について

資料１に基づいて京大・福嶋委員より説明。
・標準ファイルフォーマットは基本的に順序付き点集合を記述するためのもの。
・オプションとして①計測条件、②人体寸法データ、③特徴点、④輝度画像の情報を持つことができる。
・人体形状は体節の集合和で表し、各体節は円柱にマッピング可能な形状とする。

議論
・データはアスキー形式か、バイナリー形式か。
・運動計測器はデファクトスタンダードがDIFFフォーマットで、これはアスキー形式
・アスキーではデータサイズが大きくなる（バイナリーで4MBだとアスキーで40MB）
・ユーザの使いやすさやデータ交換を考えるとアスキー形式。
・ヘッダは会アスキー形式なので大丈夫ではないか。
・マシン間の互換性が保証されればバイナリーでもＯＫである。
・ひとつのファイルに人体寸法データ、特徴点データ、輝度データは必要か、別ファイルにした方がいいのではないか。

・ユーザの立場ではどういう形式が望ましいか、調査委員会で議論し決定する。
・今回、不動小数点と直交座標系をつかうということは合意が得られた。
・データにラベル情報を残しているのは検索に利用するためだが、この分割は便宜的なもので厳密ではない。従って、切断面に近いところは曖昧で利用不可だが、切断面から離れた部位については利用可能である。この点を強調した注意書きを添える必要がある。

2．人体計測における不確かさの評価

資料4に従って東大・高増委員より説明。
・計測の不確かさが分からない測定を品質保証に使うことはできない。
・不確かさを評価するためにはアーティファクトを使い、計測器による不確かさの寄与を評価する。
・人間計測における不確かさでは、大きなテーマとして①計測器の評価、②測定物（人間）の影響の評価、がある。
・文化服装学院のVOXELANを用いて、現在この評価を行っている。
・また別に、東大の測定システムを用いた検討も行っている。

議論
・これらをこの事業で作成する規格にどう反映させるか。
・測定器に関しては絶対寸法の分かっているもの（アーティファクト）を計測、そのデータを添付する、等が考えられる。
・人間の影響については、これが一番大きな不確かさの要因になりうるので、検討を要する。
・人間計測の不確かさを評価するガイドラインを作る。
・絶対的な長さに関しては、何か対策を講じなければならない。
・絶対寸法の分かっている球とか円柱を計測する。

3－1．寸法レベルでの計測誤差

資料5を基に生命研・河内委員長より説明。
議論
・計測者間誤差分散が大きいのはなぜか。→瞳孔間距離に関しては、ノギスで測るとそれを見てしまうため。また内眼角頭頂距離では、特別な椅子に座り資料にある図のように、板を当てそこからの垂直距離を測るため。
・計測者内誤差が大きいのはなぜか。→前方到達距離は手の伸ばし方の指示が計測者によって異なるため。また、胴囲の誤差が大きいのは一番くびれたウエストを見つけるのが

困難なため。
・周囲長に関しては誤差が大きい。

3－2．寸法データから三次元形状を推定

生命研・河内委員長より説明。
・三次元形状を FFD 法にて変形させ、形状間距離を算出する。
・距離行列から散布図を描画する。
・軸の解釈はブートストラップ法を用いた重回帰分析にて行う。
議論
・散布図とその軸の出し方は多次元尺度法を用いる。

4．事業成果の規格化

資料 6 を用いて HQL・土田より説明。
・事業終了後、三年以内に新業務項目提案（NP）を行う。
・内容は当初考えていた三次元データベースについてではなく、個人の形状データに関する記述方法の規格とする。（NP15535 のデータシートに相当するものを提案する）
議論
・この規格に人体寸法や特徴点は必要か。
・これを持たないと形状データの後処理ができなくなる。
・人体寸法データがないと検索できない。
・ファイルにどのデータまで入れるかを検討する。
・ポリゴンの表現法には①VRML、②OpenGL、③DirectX があり、これらの形式へ変換するフィルターを付けた方が良いのではないか。
・セキュリティーに関してはどうか。→別規格があれば良いのだが。
・次回調査委員会までにこの規格案の骨子を提案する。
・NP 提案への手順を調査する。（技術報告書 TR の発行で代替可能かどうかも含めて）

以上

平成10年度新規産業育成即効型国際標準開発事業
「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」
第5回技術委員会議事録

日時：平成１２年2月２８日　１０：００～１２：２０
場所：　虎ノ門アルシュ７階会議室
主席者：委員長：河内まき子（生命研）
　　委員：　美濃　導彦（京大）、
　　福嶋　茂信（京大）、
　　高増　潔（東大）、
　　持丸　正明（生命研）
　　事務局：土田　一雄（ＨＱＬ）
　　津熊　貴子（ＨＱＬ）

１．人体計測データ　ファイルフォーマット（案）について福嶋委員より資料２に従い説明があった。（一部、人体計測データファイルについては生命研より説明あり）内容は以下の通り。
前回の調査委員会での意見を受けて、ファイルを４つに分割することにした。
①キーファイル
②人体寸法データファイル
③形状データファイル
④画像データファイル
この中で①②はアスキーファイル、③④はバイナリーファイル。
拡張子はそれぞれ順に hq0、hq1、hq2、hq3 とする。
それぞれの内容は資料１を参照。

キーファイルについての議論
・この案では形状データ一つに対してキーデータ、人体寸法データ、画像データがついているが、一人の被験者に対して複数の姿勢や複数の部位の形状データがある時にどうするか？
・特徴点データも姿勢や部位ごとにある。従って特徴点データは別ファイルにする。
・キーファイルと人体寸法ファイルは被験者１人に対して１つだが、その他のファイルは姿勢分だけ存在する。
・キーファイルに姿勢情報として 00～09 の 10 姿勢をを予約しておく。
（K_Posture, K_Part, K_Info のあとに 00～09 を付け加える）
・キーデータファイルを読めるようにするならコード化はやめて、言葉で記述したほ

うが良い。
・フラグのコード化もやめて何か考える。
・言語は英語にする。
・生年月日と年齢のみを記述するのでなく、生年月日、計測年月日、10 進年齢（計算できる）を入れる。
・同一人を経時で計測する場合（縦断計測）は考えない。
・キーデータファイルが可変長ファイルになるのは困る。
・ファイル名はコード化の規約を作って管理する。
・拡張子は 4 文字での対応も考慮する。

人体寸法データファイルについての議論
・姿勢についてコード化はできない。定義できるのは自然立位と基本座位のみである。
・他の姿勢を使うときは定義を別のドキュメントに記述する。
・人体寸法データファイルにコメント文を書けるようにしておき、そこに姿勢の定義を記述する。
・外部に定義された文書があるときはそれを引用する。
・人体寸法データファイルは基本的に ISO15535 に従う。つまり計測項目 66 項目までは ISO15535 に従い、それ以外は項目名を定義し（66 項目に使われているのは使用不可、また定義は別ファイルに記述）、アルファベット順に並べる。

特徴点データファイルについての議論
・特徴点データファイルも基本的には ISO7250 に従う。
・23 項目に関しては ISO7250 に定義がある。
・規格案の定義の項目中で記述を行う。

形状データファイルについての議論
・（b）ラベル情報（iii）ラベルの個数でデフォルトでは 6 個のラベルだが、増やすときはどうするか。
・hand と foot ぐらいは用意しておく
・同じく（b）ラベル情報の（iv）ラベルに含まれる頂点数は可変長で良いか。

画像データファイルについての議論
・ビューアーは作るか。
・既存のフォーマットに変換するフィルターや画像を見るためのビューアーは必要である。

全体に関しての議論

・このファイルフォーマットの普及をどうするか。

・既存のフォーマットに対するフィルターを用意する。

・次回のデータを収集するときはこのフォーマットを使わねばならない。

・既存のフォーマットに対する加工ツールが使えるようにするにはフィルターは必要である。

2．人体計測における不確かさの評価

人体計測における不確かさの評価について高増委員より資料3　に従い、説明。

・文化服装学院の VOXELANE を用い、人体形状測定実験を行い、ばらつきの評価を行ったところ、6回の繰り返し測定により 10mm 程度のばらつきが生じた。一方マネキンの測定の場合は機械的なばらつきのみであった。

・人間を測定した場合の不確かさの主な原因は体動揺の影響であることが推測された。

・人体形状計測の不確かさの評価には体動揺の計測の必要性がある。

・1/f ゆらぎを利用して体動揺モデルを作成した。

・このモデルにより人体計測の高精度化には大幅な計測時間短縮が必要であることが分かった。

・現実的な対応には、体動揺を減らす工夫が必要。

・計測器にはアーティファクトを用いたキャリブレーションが必要。

・体動揺の抑制方法には身体の固定やモニタリングを被験者に示し自分自身で体動揺を抑えてもらうなどの方法が考えられる。

・規格における不確かさの評価方法は、GUM に基づくか、ISO14253-1 に基づき、検証を行うのが良いと考えられる。

3．その他

・データファイルの他にドキュメントを添付する。

・提案は人間工学会ではなく、ISO の国際事務局をしている HQL から提案を行う予定。

以上

付録２　調査委員会議事録

平成１０年度新規産業育成即効型国際標準開発事業

「身体形態特性データの計測・データベースに係る標準化」

第１回調査委員会 議事録

●日　時：平成１１年６月３０日（水）１４時３０分－１７時３０分
●場　所：オカモトヤビル 4F 会議室
●出席者：委員長：佐渡山亜兵（信州大学　繊維学部　教授）
委員：足立和隆（筑波大学　体育科学系　講師）
恒屋修一（(株）ワコール　人間科学研究所　副主事）
青柳孝信（アルケア（株）　取締役技術開発部長）
松岡敏生（三重県工業技術総合研究所　研究員）
茶屋原義樹（通産省　製品評価技術センター　近畿支所長）
美濃導彦（京都大学　総合情報メディアセンター　教授）
河内まき子（通産省　工業技術院　生命工学工業技術研究所　室長）
高増　潔（東京大学　工学系研究科　助教授）
持丸正明（通産省　工業技術院　生命工学工業技術研究所　主任研究官、委員長の意向により、技術委員会委員として参加）
代理出席：芦田正安（積水化学工業（株）　情報企画部　部長、）
オブザーバー：千野雅人（通産省　生活産業局　生活文化産業企画官）
新谷裕和（新エネルギー・産業技術総合開発機構　基盤技術研究開発室　主査）
事務局：吉岡松太郎（(社）人間生活工学研究センター　研究開発部　部長）
土田一雄　（(社）人間生活工学研究センター　研究開発部　課長）
津熊貴子　（(社）人間生活工学研究センター　研究開発部）

１．千野生活文化産業企画官挨拶

最近の通産省の動きを紹介すると、技術開発について産業技術戦略の策定を進めている。現在景気が低迷している中で経済活性化の切り札としてこの技術開発は重要である。産官学が一体となり、中長期的な戦略を作っていく作業が始まったところである。その中には13程度の分野があるが、そのひとつに人間生活工学がある。HQL はこの分野の中核となる機関であり、これまでの実績からナショナルセンターとしての実績もかなり積んできている。これからはグローバルセンターとして日本から ISO に企画提案をしてもらい、日本か

らどんどん世界に情報を発信していきたい。所内でもこの国際標準は高い関心を持たれ、この事業には期待しているので皆様のご支援ご協力をよろしくお願いする。

2．「身体形態特性データの計測・データベースに係る標準化」の概要説明（ＨＱＬ・土田）

3．現在の寸法計測、形状計測のおよび標準化の動向（生命研・持丸）

・古典的な人体寸法計測法と関連標準規格の説明

人体寸法的視点からの被験者選定法の規格として…NP15537

解剖学的な特徴点をマーキングしてマルチン計測器で計測

得られたデータは統計処理され、平均値・標準偏差・パーセンタイル値等を算出する。

古典的な人体計測の規格として…ISO-7250

そのデータベースの規格として…NP-15535

・新たな人体寸法計測法の説明

解剖学的特徴点をマーキングして三次元計測器にて身体をスキャンし、形状データを得る。その形状データより人体寸法を算出。一方で形状データよりモデリングを行い、体型分類などの統計処理後、コンピューターマネキンに適用していく。コンピューター上にて人間に適合した製品・環境を設計していく。また現在、コンピューターマネキンに関する規格が日本とCENで策定されつつある。

質問　ISO7250やNP15535の結果を商品に表示として義務付けるということはあるのか。
回答　それはない。

4．技術委員会の決定事項について（生命研・河内）

1）最終的な提案内容について

信頼性、トレーサビリティに関する項目を付け加える。

3次元身体形状の具体的な利用目的を決めず、利用者が目的に応じて利用できるような身体形状情報を提供するデータベースを想定する。このため、身体の節への分割位置は決めない。必要に応じて分割できるように、特徴点セットの位置の情報をもたせる。表面形状データベースについては、データを圧縮して保存する方法の標準化にとどめる。ユーザはこの規格より復元されるデータをそれぞれの目的に応じてモデリング処理する。

提案内容は以下のようになる。

1-1）計測方法について

・目的（データの想定利用範囲）
・用語の定義
・計測機器：最低限必要な基本仕様項目。装置の精度、再現性等の評価
・計測姿勢
・計測項目（算出項目／手計測項目）
・マーカ位置
・計測方法
・信頼性、トレーサビリティ

1-2）データベースについて

・目的（データの想定利用範囲）
・用語の定義
・データベースの表書き
　被験者の属性（NP-15535 を継承）
　信頼性の記述
　データ項目（人体寸法項目、形状項目）
　各項目の統計値
・データベースのフォーマット：３次元形状データの記述方法
・３次元形状データの統計処理法

２）研究内容について

各研究項目の内容と担当は以下のとおりとする。

2-1）３次元形状データの計測方法

計測姿勢、計測項目、マーカ位置については、CAESAR プロジェクトの調査結果もふまえて、調査委員会において決定することとする。

2-2）３次元形状データ計測方法の信頼性評価

・３次元形状計測装置の機械計測精度の検証（高増）
・体動揺、呼吸による誤差の検証（高増、河内）
・３次元形状計測装置から算出した人体寸法と、手計測した人体寸法とのずれに関する検証（高増、美濃、河内）
・特徴点などのマーキングの誤差の検証（マーキングのずれなどによる寸法計測誤差についての検証とする）（河内）

2-3）3次元形状データの表現方法

・個体間で解剖学的な対応がつき、かつ少数のデータで全身の表面形状を表現できるような方法論の開発（美濃）

・3次元形状計測装置で得られた点群データと特徴点位置データを、上記の方法でモデリングできることの実証（美濃）

・モデリングの信頼性の評価方法（美濃）

2-4）3次元形状データの統計処理方法

・形状データ間の距離の計算法（河内）

・複数（50例程度）データについて距離を計算し、個体分布のモデル化を行う（河内）

3）今後の予定

・3次元人体表面形状のモデリングに関する研究をすすめるためには、きれいな3次元形状データが必要なので、次回技術委員会において、数例の計測を行う。

・身体座標系を決定する必要がある。

・報告書は担当分を日本語で提出する。HQLにて規格案作成および英訳を行う。

・モデリング等のソフトウェアについては、アルゴリズムの公開にとどめる。

5．討議

持丸　利用目的を定めないということだが、規格には目的という項目が入っているのでこの辺りの事情について説明する。規格の目的では人間に適合する製品の設計に応用するという利用範囲の広い目的になっている。つまりアパレルもあれば工場の作業環境もある、椅子もあるし、ガスマスクもある。その中でアパレルならインナーであるとか、眼鏡であるとかそういう具体的な目的を決めないと理解してほしい。標準化をするためにあまり具体案を出してもしょうがないと考える。したがって技術委員会としてはモデリングを、具体的にはどういう特徴点を採ってどういう風に形状をきちんとモデル化するかということを決めて、胴体は必ず、こういうモデルにしようとか、顔は必ずこういうモデルにしましょうとかは決めにくいと判断した。無理にここを決めずに採った形状データの記述方法を決めてしまうということにした。計測対象は人間であるということがわかり、さらに特徴点の情報を持った記述法を考える。これはさまざまな計測器の互換フォーマットとなるようなイメージである。それが少しサイズが小さくなり圧縮されればよいかと考えている。

佐渡山　最低限ここまであれば三次元形状が再現できるという意味の圧縮ということで理解してよいか。

持丸　そうだ。

恒屋　圧縮ということが第１回技術委員会議事録 p.4(2-3)に書かれている「少数データで全身の表面形状を表現できる方法論の開発」とは考えにくいし、後で統計処理することを考えると圧縮はモデリングではないのか。

持丸　言葉の使い方の問題がある。ここでは「三次元形状計測装置で得られた点群データと特徴点位置データを上記の方法でモデリングできる」とあるが、これはモデリングではなく先程述べた記述法と理解してほしい。何ポリゴンにするとかいうことではなく、そういうモデリングの一歩手前でひとつ処理するというイメージ。これは人間の身体であるということが最低限わかるように特徴点データを付けた記述法になる。

恒屋　モデリングという話になってこれが規制になるのは困る。しかし他社のデータが使えるようになるのはいい。だからモデリングと圧縮はきちんと区別したほうがよい。疑問なのはモデリングをしないとなると、その後の統計処理との関係はどうなるか、統計処理はまさしく、モデリング法に密接に関わる。統計処理は具体的にどうするのか。

持丸　基本的にはある目的の元にモデリングして個体間の対応付けを行い、その後統計処理になる。モデリングに依存しない統計処理がどこまで提案できるかというのはまだわからない。生命研ではモデルをいじらず、空間をいじる形で個体間の対応付けをする手法を考えている。しかしこれも完全にモデリングに依存しなくはない。ひとつはこのような方法論に持ちこむか、あるいは最終的に統計処理の方法論のガイドラインの提案という形になるかも知れない。

恒屋　統計処理というのはたとえば、平均形状を提示するというイメージか、あるいは三次元データより算出した寸法データの統計処理をすることか。

持丸　前者である。この部分をいかにうまく標準化に持ちこめるかということである。

恒屋　各社それぞれ独自の方法論で統計処理をしているので標準化といわれると困る。

持丸　ひとつはモデリングに依存しない方法論の提案。これがうまくいかない場合は最も基本的な方法で何らかのモデリングを行い、形態間の距離を提案し、これを統計処理しよう、といったガイドラインに近いものを作成する。各社の共通項に近いところでプロトコルの基準というものにしていく。

恒屋　形状データのデータベースということを考えると、点群データのフォーマットを決める方が重要なのではないか。たとえば、点群で持つのか、円筒座標系で持つのか、とか、距離データだけでなく画像データはどうするかとか、ピッチは何ミリに設定するか、というところで共通化してくれる方がよい。

持丸　そういうことは規格化せずに記述の仕方だけを規格化する。というのはテクスチャデータを載せる載せないという議論は難しい。顔が分かるなどプライバシーの問題があったり、計測器によってはテクスチャを撮らないものもあり、それは使えないかという問題がある。技術委員会としては最低限、人間の特徴点データと形状データだけ

を使って、点群データではなく一度記述し直したものを共通フォーマットとして規格化したいと考えている。各社それぞれの計測器にこの共通フォーマットへのコンバーターがついていて、それで変換されたデータをデータベース化して誰でも使えるようにしようというのがこの事業で行おうと考えていることだ。

足立　特徴点のマーカーをまったく付けずに計測することはできないか。マーカーを特定するには熟練を要するため、企業などが計測器を購入してもマーカーを付けられる人がいない。そうならば、計測器で特徴点を特定するようにはできないか。そうすれば、マーカーを付ける人による誤差というものもなくなり、ありがたい。被験者にしても計測前にマーカーを貼り付けられる負荷は大きいと思われる。

持丸　今回それを解決するのは困難だ。開発したとしてもそれを標準化にのせるのも困難である。ただ実際にそのようなことを実施している会社もある。そうなると「特徴点などマーキング誤差の検証（マーキングのずれなどによる寸法計測誤差についての検証）」は方法論であるべきだ。つまり手作業でマークをつけたものも機械的に自動で検出したものもそのズレが検証できるような方法論を作れば、マークを人が付けたか、自動で付けたかは規格化すべき問題点ではなく、そのマークがどれだけ正確かが評価できればよい。

恒屋　形状から骨の位置などが特定できるのか。

持丸　それはできない。評価法として、私の研究所で考えているのはMRIを撮ってしまうことだ。マークをつけてMRIを撮って骨に対してどれだけずれているかを評価する。しかしそれを規格化することはできない。

河内　この話は別のはなしではないか。

持丸　推定したマーキング位置の信頼性を評価するというのはこの事業に入るべきプロトコルである。それを手で付けるか自動でするかはユーザ次第ということになる。

恒屋　特徴点の指定位置などは画像データがないとわからないででは。

持丸　採れなくはない。もぐさのような少し出っ張ったものを形状で認識することはできる。

佐渡山　マークを付ける場合の繰り返しによる誤差というのは日によっても変わるものなのか。

河内　変わる。

佐渡山　またマークを計測するところでも繰り返しによる誤差が出てくるが計測する立場ではこの誤差はどう評価するのか。

高増　一般に反復、再現性というのはいろいろな評価法がある。この検証方法を考えるのがかなり重要な位置を占める。

佐渡山　こんな誤差があるということをデータベースにつけて記述することが大事である。

持丸　理想的にはそうだ。このデータはオペレータが数回繰り返した結果こうでしたということが記述できればよい。そうでない場合、こういう点に気をつけて計測しようと

いう注意が載るだけになるかもしれない。

高増　最終的にデータベースは使う人のことを考えるのが重要である。どうやってデータを作るかは置いておいて、そのデータをもらった時にユーザの使いやすい情報があるようにしたい。データの作り方は技術が進歩すれば変わるものなので、標準化でいえば、そういう観点が重要である。

青柳　規格化されている寸法項目は56項目だが少なくないか。

河内　作業スペースの設計化ということを考慮しているので、５６項目になっている。これさえあればすべて済むというものではない。

恒屋　三次元だと数多く寸法は採れるがマルチンの場合だと少なくなってしまうのではないか。

河内　どれぐらい必要かというのはデータベースによる。

青柳　測定項目が多いと体型分類が増えるのではないか。

河内　CAESAR計画では80点の特徴点を採ることになっている。

持丸　提案していくには80点をひとつの目安に議論していくと考えられる。最低必要部位と推奨部位があると思うがISOで80点つけることになったら誰もつけたくないのではないか。

青柳　体型分類はどうすのか。

持丸　分類は統計処理の一環としてこのような分布になるという方法論をどう標準化に結びつけられるか、検討の一例として行いたい。

青柳　イメージとしてはこの位の種類になるというのはあるか。

持丸　分類はしない。分類は目的次第ということになるため。

吉岡　個体間の距離の定義ができれば、その距離をベースとして統計を出していくことはできる。個体間の形の定量化を行い、その個体間の形の差をなんらかの形で数値的に表現できれば、その数値を指標に統計量に持っていくことができる。それは順序をつけることができるから。その順序の中で類型ができるという考え方だ。

恒屋　何でもできるということで規格化すると寸法データから出せる体型分類と変わらないのでは。三次元形状特有のデータを利用したことをやろうとするとモデリングしないということと矛盾してしまう。

持丸　答えは出さない。モデリングを決めればそれに沿った統計の結果が出てくる。

恒屋　モデリングはしないということではなかったか。

持丸　モデリングはしない。モデリングの部分は標準化しないが、研究として統計処理をするには必ず、モデリングしなければならない。

恒屋　圧縮化の次に統計処理の標準化を行うのか。つまり次にモデリングの標準化が来るのか。

持丸　そうではない。

恒屋　そうでないとしたらここでモデリングの話が出るのか。

持丸　計測があり、モデリングがあり、統計がある。ここではモデリングだけを除いて標準化しようとしている。

恒屋　でも統計をするならモデリングが必要ではないか。

持丸　そこをどうやって提案するかがみそである。モデリングに依存しない統計法を出すか、依存するならモデリングの方法論を規定しないで、統計のガイドラインだけ提案するかという形にする。

佐渡山　時間がないので質問・疑問があれば、事務局まで連絡することにし、今日はここまでで終了する。

6．講演「三次元全身デジタル計測：世界的動向」

（ラフボロー大学、ピータージョーンズ名誉教授）

今日の話は、三次元人体のイメージングがどこに端を発しているか、また現在どういう方向に進みつつあるかについて概説する。なぜ我々が人体の三次元のイメージングに興味を持ち始めたかというと、世界各地の様々なセンターにおいて人体の測定値に関して非常に膨大なデータベースを様々な科学者が保有しているという状況に至ってきたからである。伝統的な形での人体測定データの収集ということになると大変時間と労力がかかる。我々としてはこれを迅速、自動化するために最先端の技術を使うことを考えた。このことが三次元計測に力を入れていく理由になった。この技術的な発展について説明する。まず光源が、発光ダイオードからレーザーダイオードへと進化してきた。機械工学的には三次元のスキャニングは静的な画像を撮るところから始まり、シルエット、垂直なスキャニング、回転という形に進んできた。現在スキャナーは急速に進歩している。スキャナーのメーカーとしては、イギリスでは我々の研究グループ、アメリカではサイバーウェアー、日本のIKK、フランスではテルマット、日本の浜松、ドイツではバイトロニック、イギリスに戻ると、チューリングファラデイ・インスチチュート、3Dのスキャナーズ・リミテッド、ウィック＆ウィルソン、などがある。忘れてはならないのが、三菱、後で詳しく説明するCAESAR計画に関わっている。計測器に関し、コストを考えた選択肢を示す。コスト的には4万ポンドから15万ポンドになる。解像度は2mm以下。計測スピードは20秒以下を望む。スキャナーの計測ポイントは多ければ多いほうが良い。テクスチャー画像は重要である。それ以外では機器の携帯性の問題、どれくらいのスペースに収まるかという問題などがある。これらを考慮すると私はドイツ、テックマスの「バイタス3Dボディースキャナー」を選ぶ。

これからは世界的動向ということで、誰が何をしているかについて説明する。まず、NATO、AGARD、そしてCAESAR計画がある。CAESARは今も続いているものでアメリカではサイバーウェアーのスキャナーを用いて3000人を計測している。アメリカ、オランダ、イタリアそしてギリシャなどが参画し、また自動車業界や衣料業界などが参画している。アメリカ、オランダは計測中、イタリアは2000年1月開始予定、ギリシャは予備的な話し合い

が始まっている。トルコに関しては現在検討中で、女性の中には特定の衣服によってスキャニングされたくないという話が出ている。次にアメリカのNatick、これは軍隊関係だが、ここでは軍事用の衣服を対象にしている。もうひとつの共同計画としてはNatickとサイバーウェアー、オハイオ大学、ボーイング社が連携しているのがある。企業が関わっているものでは、パブリック・テクノロジー・マルチメディア社があり、仮想の「マイモデル」というものを作っている。ドイツではテックマスのヒューマンモデリングという部門がラムシスというマネキンのプロジェクトを持っている。イギリスのおいては三次元に関するコンソーシアム（いくつかの会社が集った企業体）がある。ここに参画している共同体としては、ランマ大学、ロンドン大学、サリー大学、ノッティンガムトレント大学、スコットランドに在るチューリング・インスチチュートがある。これからこれらをひとつづつ見ていく。

まず、Natickだが、ここの責任者は私の生徒であったDr.ペン・リーである。サイバーウェアーのスキャナーを使っている。研究分野としては三次元のボディースキャンを使ってサーフェイスカバレッジなどを行って、特定の衣服などを対象とした研究をしている。酸素用マスク、保護用ヘルメット設計のために頭部の測定値、顔面の測定値などの抽出も行っている。ここでの応用は特別な機器の設計、シミュレーションなどが目的だ。ここでの関心の中心はシステムの統合である。すなわちシステムが日本のもの、アメリカのもの、あるいはイギリスのものであれ、それを統合的に扱うにはどうするか。また計測値に関しては自動的に抽出してアパレルなど様々な用途への応用も考えている。こうした研究者たちのグループが関心を持っているのが、アーティファクトをどれだけ低減できるかという点と、そのためのアルゴリズムのソフトウェアー作成である。スキャニング時には衣服やアクセサリー等、様々なアーティファクトが出てくるが、これをどうやってうまく抑えていくか、ということが大きな関心となっている。三次元に関する計測の結果を如何に管理するかといったツールにも関心が注がれている。HQLでもやっていると思うが、どうやって3万人のデータを蓄積、管理、分析、統計をするかということで、そのためのツールが必要となる。

一方ボーイング社の人間工学部門のディレクターであるDr.マイク・ビフェルノにとって、今関心があるのが、仮想のマネキンのための三次元のスキャンで、これに力を入れている。ボーイング社のマネキンは特別な姿勢が要求される。単なる、立位や座位ではなく、特別な職場環境における特別な姿勢が要求される。またここでは三次元スキャンを使うことでそれをコンピューター・マネキンに適用していくことを研究している。

企業の動向はというと、パブリック・テクノロジー・マルチメディア社ではサイバースペースアーキテクトという人々を雇っている。ここは大企業を顧客とし、その主な客にはAT&Tとかランズエンド（洋服関係の通販大手）とかJCペニーがある。ここは人体計測のデータやスキャンデータを使いバーチャルなモデルをその人なりに作っていくということをしている。この会社はCAESARのパートナーでもある。

もうひとつ企業の活動内容としてはドイツのテックマス社がある。ここは最新の三次元スキャナー。バイタスを作った。この会社は人間工学的なモデル、人間に適用できるデザイン設計に関心があり、ラムシスというマネキンも開発している。バイタスを使って情報を蓄積し、また芸術品などのレプリカ測定なども行っている。仮想現実などもこのバイタスを使って行われている。さらにプロトタイプ作りの迅速化も行っている。その他三次元関係の分野においてバイタスが活用されている。これらを行っている部門はヒューマンモデリング部門である。特に力を入れているのが人間工学的な商品作りである。さらにシミュレーションにも力が入れられている。これは人体計測、生体力学、生理学関係のシミュレーションである。自動車メーカーの 60%がテックマス社のヒューマンモデリングシステムを使っている。

次にイギリスについてだが、これは最近できたばかりの組織で、三次元人体のスキャニンググループと言われている。このグループはハイレベルの人体計測関係の研究者が集り、98 年 11 月に発足したばかりである。自分たちのことを「e-people」と呼んでいる。三次元計測に関し、モーションキャプチャーや、その処理に関係した他のグループと連携を取っている。このグループはノッテンガムトレント大学にあるコンピューター・クロージング・リサーチセンターが中心となっていてスティーブン・グレイ教授がその指導に当っている。彼らの研究対象は衣料関係の産業のみに目を向け、商業ベースに乗った研究だ。彼らが使っているのはフランスの「SynCad Ⅱ」というテックマスが作ったシステムである。これは二次元のシステムで、ここでシルエットを採り三次元のシステムへと変換する。もうひとつこのグループに参画しているのが Dr.スティーブン・クランプトンである。この人は 3D スキャナーリミテッド社の社長も兼ねている。彼らが作っているのは三次元の人体スキャニング用のブースで、「IQ ネット」と呼ばれて、スペインのレム・インフォグラフィカ社と共同で作っている。この 3D スキャナー社とスペインのレム・インフォグラフィカ社が会社を作ったのが、AVATAR Me リミテッドです。この会社の目的は人間のアニメーションに特に力を入れている。この用途は様々考えられる。映画、フィルム、あるいは衣料関係にも使うことができる。

もうひとつイギリスの会社でウィックス＆ウィルソン社があり、ここの責任者はロバート・ブラッシュという人がディレクターを務めている。この会社はまた別の三次元のブースを作っている。これは全身の三次元形状データを取得することを目的にしている。ここではストラクチャードライトを使っている。データフォーマットの中には多角形ポリゴンであるとか色の情報なども入っている。今まで述べてきたいろいろなコンソーシアムの中には、色々なグループがあるが、その中で一番重要なのがロンドン大学のグループで、ここはバーナード・バクストン教授が責任者をし、ローラ・デッカー、フィリップ・テルボらの研究者を擁している。ここでは浜松がスポンサーとなって、資金の供与など行っている。浜松のスキャナーは 4 万ポンドと安価であり、スキャニングヘッドが 4 台、スピードは 10 秒ほどで、色はないが現在取り組み中とのことである。計測ポイントは 10 万ポイン

トである。色々な分野での用途があるが、ロンドンにある子供病院において薬物投与のモニタリングを行うのに使われている。薬を投与する場合の投与量に関しては子供であれ幼児であれ成人であれ体表面積や体重をベースにしてどれくらいの投与量にするかが決められているので、三次元を使い正確な寸法を出せれば、正確な投与量に結び付けられる。

私の研究について話すと、86 年に全身のスキャナーを作った。当時は部分計測しかできないものしかなかった。当時ハロゲン光源を使い、高い解像度が得られた。しかし回転ということもあり、データの捕捉には時間がかかり、約 30 秒であった。しかし、技術の進歩が早く、99 年にはこれを使うことを中止した。

ここでごく最新の情報を提供する。イギリスにおいて三次元の電子商取引の研究センターが設立されている。このグループの目的は全国規模でサイズに関しての調査をすることである。これは一般消費者に注文仕立ての衣服・衣料のサービスをするため。また一般消費者に対して仮想の衣料のサービスも行う。重要なのはこれらが業界主導で行われていることで、イギリスの大手の衣料品メーカーがここに係わっている。日本のワコールでも同じようなことを考えているのではないか。この三次元の電子商取引の研究センターには 3 つの専門化のセンターが設けられている。1 番目のグループは先程出たロンドン大学の「e-people」と自分たちを呼んでいるバクスター教授のグループである。ここでは仮想の衣料品などを対象としている。このグループの目的は全国規模のサイズ調査の技術・論理を準備することにある。サイジング規格化のため、すべてのソフトウェアーはここで書かれる。また全国規模のデータベースの分析・解析をすべて行う。さらに三次元のスキャニングに関してすべての論理上の組織立てなども行う。衣料品会社が資金を提供することで 2 万から 3 万人規模のサイジングの調査を行う。イギリスのブリティッシュホームストアーズという会社がこのプロジェクトの指導的立場にある会社である。2 番目はこのブリティッシュホームストアーズという会社がノッテンガムトレント大学に対しても資金を提供し、同じような全国規模の 2-3 万人規模のサイジング調査を行う。3 番目のグループが力を入れているのがカスタムメードの衣料品に関連するものだ。このカスタムメードというのは一人一人のパイロットに合わせた衣料品を準備するということである。このカスタムメードの衣料品の提供に関しては二次元あるいは三次元のスキャニングサービスを使う。ML ライフガード・イクイップメント社がこのグループの指導的立場に在る会社である。さらに防衛省。DTCA これは国防省の下部組織だが、特別なサービスを担当している軍人等のための衣服・衣料などを担当する部門である。この ML ライフガード社においては三次元のスキャニング機器を導入する。特に新しいユーロファイター戦闘機を対象としたパイロットのための機器や、そのスキャニング用の装置などを導入する。

以上

平成１０年度新規産業育成即効型国際標準開発事業

「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」

第２回調査委員会 議事録

●日　時：平成１２年１月２４日（月）１４時００分－１６時４０分
●場　所：HQL 大会議室
●出席者：委員長：佐渡山亜兵（信州大学　繊維学部　教授）
委員：足立和隆（筑波大学　体育科学系　講師）
石本明生（積水化学工業（株）情報企画部　部長、）
松岡敏生（三重県工業技術総合研究所　研究員）
茶屋原義樹（通産省　製品評価技術センター　近畿支所長）
河内まき子（通産省 工業技術院 生命工学工業技術研究所　室長）
持丸正明（通産省 工業技術院 生命工学工業技術研究所　主任研究官、）
代理出席：福嶋茂信（京都大学　法学研究科　助手）
井上英明（アルケア（株）　取締役技術開発部長）
オブザーバー：本田信夫（積水化学工業（株）情報企画部　部長、）
春日桂一郎（新エネルギー・産業技術総合開発機構
基盤技術研究開発室　主査）
豊田治孝（オージス総研 ｱﾄﾞﾊﾞﾝｽﾄﾌﾟﾛｸﾞｸﾂ事業部）
事務局：正木真一　（(社）人間生活工学研究センター　事務局長）
土田一雄　（(社）人間生活工学研究センター　研究開発部　課長）
津熊貴子　（(社）人間生活工学研究センター　研究開発部）

１．ISO 新規業務項目提案（NP）内容について

資料３に基づき、事務局より ISO 新規業務項目提案（NP）内容が当初考えていた「３次元人体形状データベース」から「３次元人体形状個別データの記述方法」へと変更した経緯について説明。理由は３次元形状データを計測・処理する方法は使用目的によって異なり、たとえ標準化を提案してもコンセンサスが得られないと考えられ、また個別形状データを集めたデータベースに関してもデータの記述法以外は同様にコンセンサスが得られないと判断したため。

2．人体計測データ　ファイルフォーマット案について

資料4に基づき京大 福嶋さんより標準ファイルフォーマットと順序付き点集合について説明。基本的な情報としては計測器より出力される「点群の三次元座標」で、少しの欠損が合っても良い、ノイズは含まれない、複数方向からの計測の場合、位置合わせと張り合わせの処理が済んでいる事が望ましい。標準ファイルに変換する手順は対話的な処理により体節に分割しラベル付けを行い、順序情報を付加する。

現時点でのファイルフォーマットは、①複数ファイルではなく単一ファイル、②アスキーとバイナリーの両方に対応、③大きさよりは分かりやすさを重視。ファイルに含むことができる情報は①点群座標データ②計測条件③人体寸法データ④特徴点⑤ラベル情報⑥順序情報⑦輝度画像。

この標準ファイルは以下の処理に役立つ。

①ポリゴンメッシュデータへの変換

②スライスデータへの変換

③部分的な人体データの切り出し

質疑

・体節の主軸の折れ方は関節に対応しているか？

→　そうではない、便宜上のものである。

・ポリゴンに特徴点は入るか？

→　現在は入れていない、入れる時は点群に特徴点を入れる。

・座標系はどうなっているか？

→　現在は計測器の座標系である。合理的には人体の特徴点から決めるのが良い。
　　必須な点群データだけから座標系を決めるのは困難。

3．ファイルフォーマット内容討議

生命研　持丸委員よりファイルフォーマット仕様の要点について資料5を用いて説明後、委員の意見を収集する。

利用目的・スコープは①研究者間で相互に流通させるための互換フォーマット②大規模データベースにおける配布・公開フォーマット③電子商取引における流通フォーマット、の3つが考えられる。

・ニーズが高いのは②ではないか、という意見が大勢。

コンセプトでは自由度、拡張性、データサイズ、プラットフォーム依存性、地域性、計測器依存性などを議論。自由度に関しては固定するか、ユーザの選択に任せるか、だがクラスを公開すれば問題ないかも知れない。拡張性については、データに空き領域を作るかどうかと言うことである。データサイズは配布の方法に依存すると考えられる。

・記述内容はコード化が望ましい。

・データ配布に関してはキーデータだけを配布して欲しい人は本体データを採ってくるようにしたらどうか。
・このISO提案はTC159にするのか？　使用目的を何にするのか？
　→　人間工学分野での使用を想定している。
・メーカーが使いやすいフォーマットが一番
・自由度と拡張性に関しては多少自由度が犠牲になっても使いやすい方が良い。
・一般的なハードで解析できるような軽さやﾌﾟﾗｯﾄﾌｫｰﾑ依存性にして欲しい。
・自分たちで計測することは無いので計測器依存性がないようにして欲しい。
・軽いキーデータと重い本体データに分ける仕様で考えたい。
・キーデータには個人属性、基本人体寸法があればよいか。
・キーデータに入れる人体寸法はISO7250に準拠した手計測データで無ければならないか。
・三次元計測時の姿勢と手計測の姿勢は異なる。身長で数cmの差が出る。
・本来ならば三次元計測の計測法の規格がなければいけない。
・利用する側からは従来の手計測寸法データが必要である。
・原則として手計測データをキーデータに入れることにするか。スキャンデータと両方乗せるか。
・ISO7250の項目をすべて記述する事にするか、必須項目と推奨項目に分けるか？
　→　１０項目適度の必須項目を絞った方がいいのでは。これは手計測で計る。
・その10項目は重要度の高いもの・スキャナーでは計れないものを中心にしてはどうか。
・何が必須項目で必要か？
　→　身長・体重・座高・胴囲などか。
・後は生命研で検討する。
・計測法に関してはフリーフォーマットで記述する。
・方法論で規定せず、パフォーマンスで記述する。つまり手計測とスキャナー計測との付け合わせを記述する。
・同じ言葉に対しては同じ計測条件でないとまずいのではないか。
・ISO7250項目は絶対手計測で計る。
・スキャナーで計測した項目は頭にE-を付けるなど項目名で判別できるようにする。
・画像データは必要か？顔を出すのはまずいような気がするが。
・顔データに関するニーズはあるのでHQLでは切り出しデータで対応している。
・セキュリティーと違法コピーに関しては考えなければいけない項目だが現状では対処していない。
・手計測とスキャナー計測の記述は別々に記述する。
・現状ではスキャナー計測は手計測の代わりとして使っているのが現状で、形状データをそのまま処理する方法論は普及していない。
・今後はメールで意見を集め、生命研の方で預かり、フォーマットの型式をまとめ、後に

委員会に諮ることにする。

以上

平成１０年度新規産業育成即効型国際標準開発事業

「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」

第３回調査委員会 議事録

●日　時：平成１２年３月１０日（金）１４時００分－１６時００分
●場　所：虎ノ門アルシュ７階会議室
●出席者：委員長：佐渡山亜兵（信州大学　繊維学部　教授）
委員：足立和隆（筑波大学　体育科学系　講師）
河内まき子（通産省 工業技術院 生命工学工業技術研究所　室長）
持丸正明（通産省 工業技術院 生命工学工業技術研究所　主任研究官）
高増　潔（東京大学　工学系研究科　助教授）
石本明生（積水化学工業（株）情報企画部　部長）
松岡敏生（三重県工業技術総合研究所　研究員）
茶屋原義樹（通産省　製品評価技術センター　近畿支所長）
代理出席：福嶋茂信（京都大学　法学研究科　助手）
井上英明（アルケア（株）　取締役技術開発部長）
オブザーバー：本田信夫（積水化学工業（株）情報企画部）
福田卓蔵（日本規格協会）
事務局：吉岡松太郎　（(社）人間生活工学研究センター　研究開発部　部長）
土田一雄　（(社）人間生活工学研究センター　研究開発部　課長）

４．ISO　技術報告書ドラフト（案）について

資料２に基づき、事務局より「三次元人体計測データ・ファイルフォーマットに関する技術報告書」というISO　技術報告書ドラフト（案）について説明。

この事業成果については３月７日に行われた研究連絡会において、新規業務提案とするには研究内容が開発途上にあることを理由とし、ISO の技術報告書として提案することでNEDO、工業技術院、日本規格協会の了解を得た。今後は HQL で ISO 技術報告書ドラフト案としてまとめ、日本人間工学会の TC159/SC3 委員や広く海外の関係機関へ送付し意見をもらう。また、来年度より始まる実際の三次元計測においてこのフォーマットを使用、実使用における使い勝手を検証し、さらにフォーマットのブラッシュアップを図る。これらの検討を経た後にISO 提案を行う予定。

この議題に関する議論は以下の通り。

・ISO 提案した後はどうなるか。
・TC 参加国の投票により 2/3 以上を獲得すると正式な ISO の技術報告書となる。
・この事業の委員会はここで終わるがその後はどうするか？
・HQL で対応していく予定。
・この案を国内委員や各国に投げると様々なコメントが返ってくる事が予想される。例えば、なぜ新しいフォーマットが必要か？とか圧縮はどうなっているか？セキュリティはどうなっているか？などである。これらについては現在答えが用意されていない。そこをどうするか。
・基本的には HQL が主体となって協議委員会などを設け、進めていくことになろう。
・この後の検討を経た後に ISO への提案となるのか？
・そうなるであろう。来年度の計測を経て実績を積んだ後に提案予定である。

5．人体計測データ　ファイルフォーマット案について

資料 3 に基づき京大 福嶋さんより標準ファイルフォーマットについて説明。

本データファイルフォーマットでは複数のファイルを用いて記述する。ここではこれらをファイル群と呼ぶ。一つのデータ群はキーファイルと 4 種のデータファイルである。その 4 種とは、人体寸法データファイル、特徴点データファイル、形状データファイル、画像データファイルである。ファイル群のうちキーファイル、人体計測ファイルは 1 つだけだが、特徴点・形状・画像データファイルは複数存在できる。これは複数の姿勢を計測した場合である。また、キーファイルと人体寸法データファイル、特徴点データファイルはテキストファイルで可読とし、あとの形状データファイル、画像データファイルはバイナリーファイルである。テキストデータはなるべくコード化を排し、名称をそのまま記述する。

この議題に関する議論は以下の通り。
・民族などのデータは入れなくて良いのか？
・WD15535 に記述される属性項目は１０項目あり、これらはキーデータに加えることにする。
・拡張子は 3 文字で大丈夫か？
・これは現在、Windows95,98、Mac ともに大丈夫である。
・データ拡張子に Scanning という表現が出てくるが、将来 Scanning 以外の方法も出てくることが予想されるのでこの表現はいかがなものか？
・なんらかの考慮をし、拡張子を変更する。
・形状データに関しては、電子商取引には向いていない。あくまで研究者が扱えるデータを想定している。
・このままではデータを見られないのでビューアーが必要である。あるいは DXF とか VRML へのコンバーターが必要である。

・画像データに関する肖像権の問題やセキュリティーの問題は現在、考慮していない。これはこのデータが研究目的に使われるであろうと言うことから意図的に無視している。
・エンドユーザの方々はこのフォーマットを利用する場合にどんなコンバーターやフィルターが必要と考えるか？
・DXF か、IGES か、VRML へ変換できれば良い。
・データとしてはこのまま渡して、変換ツールを一緒に渡すのが良いと思われる。
・変換ソフトも必要だが、ビューワーがあった方が利用価値がある。
・ビューワーとしての仕様として提案したいのは、三面表示、視点移動、拡大・縮小の機能の他に、点・面・線の表示が選べること、そして選んだ物の情報が表示できること、例えば座標位置や2点間の長さ等が出せること。2形状間の差分情報が抽出できること、2形状間の比較ができること、重ねて見られる機能や断面がとれる機能があること。レジストレーションができること、これは2形状の誤差が最小になるように位置関係を抽出するような機能である。あとは点の削除ができること。これらを兼ね備えたビューアーがあれば理想的である。あくまでも希望であるが。
・メジャーリング機能を一緒に付け加えた方がいい。
・このビューアーはフリーで配布する事がこのフォーマットを流通させるためには重要である。

3．最後に

本調査委員会の最後として HQL 吉岡部長より挨拶。

今回の事業成果を踏まえつつ、来年度より三次元計測器の開発プロジェクトや計測プロジェクトが立ちあがるので、これらのプロジェクトと連携しながら今後積み残した作業を詰めたいと考える。ISO の提案については技術報告書となるか、正式な新業務項目提案となるかは今後の状況を踏まえながら検討したい。また、皆様のお力をお借りする場合が出てくる可能性もあるので、そのときには、またご協力をお願いしたい。

以上

付録３　海外調査報告

平成10年度新規産業育成即効型国際標準開発事業「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化」の一環として世界における人体三次元計測の実状とその応用について調査するために、欧州および北米の研究機関、企業を訪問した。ここにその結果を報告する。

調査概要

欧州（イギリス、オランダ、ドイツ）

訪問日程

10月11日（月）　ロンドン大学（イギリス）
10月12日（火）　CCR社（イギリス）
10月13日（水）　3Dスキャナーズ社（イギリス）
10月15日（金）　TNO（オランダ）
10月18日（月）　テックマス社（ドイツ）
10月19日（火）　インターカマ国際見本市（ドイツ）

訪問メンバー

河内まき子　（通産省工業技術院生命工学工業技術研究所　10月15日まで）
持丸　正明　（通産省工業技術院生命工学工業技術研究所　10月15日まで）
土田　一雄　（人間生活工学研究センター）

北米（アメリカ、カナダ）

訪問日程

11月01日（月）　米空軍CARD研究所（アメリカ）
11月02日（火）　トータルコンタクト社（アメリカ）
11月03日（水）　米陸軍ソルジャー・システム・センター（アメリカ）
11月04日（金）　DCIEM、セーフワーク社（カナダ）

訪問メンバー

美濃　導彦　（京都大学総合情報メディアセンター　11月03日まで）
土田　一雄　（人間生活工学研究センター）

1．ロンドン大学　コンピューターサイエンス部門
(Department of Computer Science, University College London)

1-1.訪問先所在地

Department of Computer Science,
University College London
Gower Street
London WC1E 6BT, UK

1-2.連絡先

Philip Treleaven
Tel : +44 0171 380 7288
Fax : +44 0171 387 1397
e-mail : p.treleaven@cs.ucl.ac.uk

1-3.訪問日時

1999 年 10 月 11 日（月）　12:00～17:00

1-4.訪問先面会者

Philip Treleaven, Laura Dekker, Jennifer Bovcourd、(Bernard Buxton)

1-5.訪問先概要

UCL は 72 の学部よりなり、学生は 1 万 6 千人（日本人学生は 180 人)、コンピューターサイエンス部門をはじめとして特にリサーチ関係は企業とタイアップし、研究費を出してもらいながら研究を進めている。このように企業からの予算と国からの予算で研究費と人件費の大部分をまかなっている。授業料は収入の主要ではない。企業からの研究費は、実際にかかる経費＋40%で計算しており、上乗せ分が大学にはいる。また、UCL の学生は企業を興す教育も受けており、研究者が単に研究のみに止まらずに、その成果を産業育成に繋げて行く方針で大学運営が行われている。そのため大学よりベンチャー企業が創出される例も多く、学生もそれを目指す風土がある。このような教育方針は全国 110 ある大学のうち先進的な 10 程度の大学で行われている。またコンピューターサイエンス部門では軍との共同研究も行われており、研究における制約の低さを強く感じた。

1-6.打ち合わせ内容

Philip Treleaven　教授より UCL を簡単に案内され、伊藤博文、井上馨らが名を刻まれた「THE UCL JAPAN MONUMENT」（近代日本の基礎を築いた開拓者が UCL を訪れ記念として建立されたもの）を紹介される。その後、図書館下のレストランにてランチをご馳走になる。

研究室に戻った後、Laura Dekker 女史より浜松ホトニクスの 3D スキャナーのデモを行ってもらい、それを見学する。

会議室にてPhilip Treleaven教授より「Centre for 3D Electronic Commerce」について説明を受ける。目的は主に4つ、「Clothes Retailing」「Health and Medicine」「Fitness」「Entertainment」でUCLは主に最初の2つに関係する。またこのプロジェクトは大きく3つの分野に分かれる。「National Sizing Survey」「Custum Clothing Service」「Virtual Clothes Shopping Service」である。

「National Sizing Survey」については以下の通り。

・プロジェクト構成

計測データを（Range Data)、計測器に依存しない共通のフォーマットに変換し（Body Representation - Hardware Independent)、さらに、それをセキュリティ付きのデータベースに構築する（Secure Database)。この段階では、全てのデータが格納されている。このデータベースをアクセス権に応じて参照させることで、セキュリティを保持する（Access Interface)。さらに上位の階層で、かたちとサイズの分析（Shape and Size analysis software)、計測器のベンチマーク試験（Technical Proofing Survey)、着衣の検討や計測項目の検討などの予備調査（Logistic Proofing Survey）を行い、National Sizing Surveyにつながる。



左端よりPhilip Treleaven, Bernard Buxton, Laura Dekker, Jennifer Bovcourd

・予備的調査

計測項目は、100名程度の準備被験者を使って検討を進めている。必要な計測項目を、服飾系の専門家が抽出し、その重要性について各企業にコメントを求めている。主として、ISO 8559に準拠している。この結果抽出された項目について、（1）今すぐ自動計測できるもの、（2）数ヶ月で実現できそうなもの、（3）2年程度かかりそうなもの、（4）自動計測がきわめて困難なものに分類し、（4）についてはマニュアル計測する。

・データの収集

目標は、30,000人（成人男女各10,000人、子供10,000人）の人体形状計測。成人の年齢層は16歳から95歳以上。子供は生後3ヶ月から15歳までを考えている。British Standard for Industry（BSI）の主導で進めている。BSIはDTI（英国の通産省）の組織である。計測には、20ポンドの商品券をあげている。結果的に、この商品券＋50ポンド程度の買い物をしていくことが多いようで、計測を実施する店舗からも喜ばれている。

・データの公開

収集したデータは、有償で公開する予定である。Internetの Security機能を活用し、プライバシーの保護とデータの違法アクセスに対処する。違法ディジタルコピーについては、ビデオイメージにwater markをつけることで対処する予定である。データの権利については、個人の特定ができなければ問題ないと考えている。肖像権のようなものは議論されていない。顔についても、point cloudなら問題ないと判断している。そして、なによりも、ユーザにbenefitがあるのだからいい。英国のElite Agencyと言う会社は、実際にVirtual Modelを販売しているが、問題になっていないようだ。

またここで使用している計測機器については以下の通り。

・浜松ホトニクスとの連携について

PET（Positron Emitted Tomography）の開発で、UCLと浜松ホトニクスが協力関係にあった。また、Prof.Trelaeven教授らは、効率的なパターンカットでテキスタイル関連産業との伝手があった。この状況で、浜松ホトニクスの方から、北陸STRの人体形状計測器がアパレル産業にもっと活用できないかという打診があり、e-Center構想につながった。

・自動的特徴点検出について

L.Dekker女史がprincipal investigator。体表面形状データのなめらかさを数段階に調整し、表面の曲率に基づいて、山型、窪地型、鞍型をマッピング。このパターンから第1段階の特徴点を検出。次にその特徴点に基づいて、より難しい特徴点の検出範囲を決め、その範囲内で、形状データのなめらかさを変えながら特徴点を検出していく。特徴点に基づいて計測する寸法で評価。手計測との突き合わせで、誤差はおおかた10mm以下であるが、姿勢や軟部組織の影響を受けやすい部位では、20mm以上のずれがある。body swayの影響は小さいと考えている。CAESAR Projectの検証では、20secで30mm

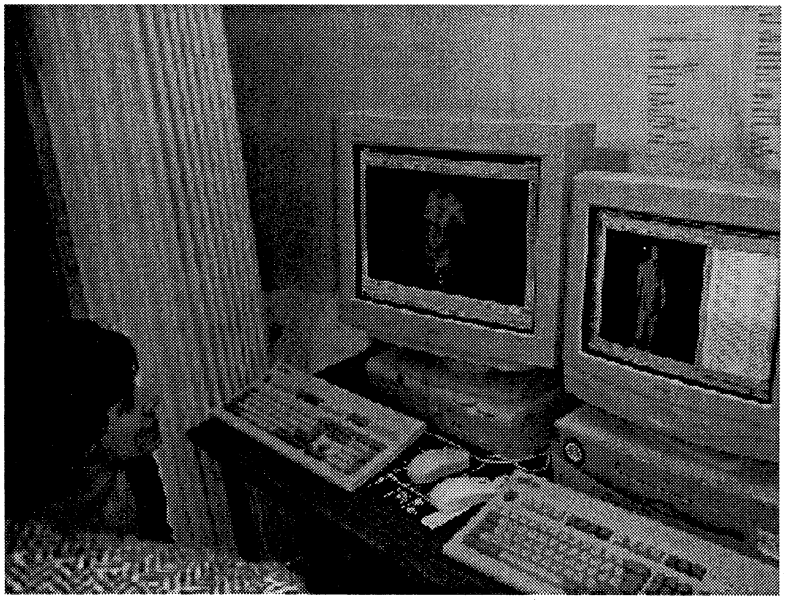
の頭部の動揺が観察されている。10sec だからその半分程度に収まっているはずだと考えている。modeling は、point cloud にポリゴンを貼付け、それと相同の landmark を記述するという形式。テクスチャはない。データの記述方式については、できるだけ計測器独立のものを検討している。現在は、ポリゴンマッピングは計測器に依存している。

・その他、計測器について

フランスのTelmatというメーカのものが有名だ。ソフトウェアはすぐれている。Telmatは、Mark & Spenser に試験的に計測器を納品し、実際のサイズフィットに使っている（先週、終了してしまった）。そのほか、Techmath、Cyberware、Inspeck-3D など Benchmark 試験をしたいと思っている。ベンチマーク試験は、主要寸法について、3D Scanner から自動計測した場合と、マルチン計測した場合を比較するようなプロトコルを考えている。

最後に我々から HQL が行った全国規模の身体計測と現在進めているプロジェクト 3D データの標準化及び新規 3D スキャナー開発の説明を行った。

一連の議論の中で今後、3D 人体計測について共同研究のような形で進めていきたいとの提案があり、その第一段階として情報交換を行うこととした。UCL からはスキャナーのベンチマーク試験の提案を、こちらからは 3D データの標準化案を、内容が決まり次第、送ることとした。



人体三次元形状を表示しているコンピューターディスプレイ

2．コンピューター・クロージング・リサーチ（CCR）社
（Computer Clothing Research Ltd.）

2-1.訪問先所在地

3.2 Clarendon Park, Clumber Avenue,
Shenwood Rise, Nottingam NG5 1AH, UK

2-2.連絡先

Stephen Gray
Tel : +44 0115 848 4982
Fax : +44 0115 848 4981
e-mail : stephen.grey@ccr.ntu.ac.uk

2-3.訪問日時

1999 年 10 月 12 日（火）　13:00～15:00

2-4.訪問先面会者

Stephen Gray

2-5.訪問先概要

CCR は 7 年間ノッティンガム・トレント大学の中にあったが、2 年前会社申請を申し出た。そして 1999 年の 8 月 1 日より会社となった。Stephen Gray 教授は持っている時間の 75%を CCR での仕事に、25%はノッティンガム・トレント大学の教授としての仕事に使っている。社員は１０人、借金もなく成功しているビジネスの例といえる。

その顧客には Marks & Spencer、0asis、などイギリスのアパレル業界リテイラーの主要な会社が名を連ねている。中心的な業務は顧客独自のサイズ・形を定義してくれという要求に応じ、データを収集し、分析し、製品を作るのに必要な結果を提出する事である。

2-6.打ち合わせ内容

①Sizing Survey Business について

・CCR では、データの収集（collection）、その統計解析（analysis）、製品設計に活用できる情報提供をビジネスとしている。UK サイズで 6～32（32 では腰回りが 150cm にもなる）、年齢で 15～90 歳までの女性 12,000 人をすでに計測し、それぞれの顧客にデータを渡している。主として年齢、サイズ、身長をキーにして被験者を選び出すが、正規分布状に被験者を選んだのでは、肝心の分布の端の方が人数が少なくなり統計処理に耐えられない。といって、分布の端が十分な数になるまで正規分布状に集めるのでは、コストパフォーマンスが悪い。そこで、実際の人口分布とは関係なく、それぞれのサイズや齢層でフラットな被験者数が集まるように努力する。

・テープメジャーによる手計測、2D シルエット計測、3D 形状計測の 3 つのステップで行っている。全ての被験者について、この 3 つ全てを実施しているわけではない。3D

形状計測については、12,000 人のうち 3,000 人について実施した。また、このような人体計測に加えて、市場調査的な質問も行っている。収入（income）とか、色の好み（preference）であるとか、要望（asipiration）、自分のサイズをどの程度だと思っているか（perseption）など。計測には約 1 時間を要する。30 人の計測オペレータを同時に使って、1 日に 100 人程度の計測を実施する。手計測は多くの場合 20 項目程度で、これに必要なマーキングと計測とで 20 分程度を要する。被験者には 20 ポンドの商品券を配る。この被験者費用も含めて、一人あたり 50 ポンド～100 ポンドでデータ収集・分析業務を受注している。基本的に政府の行う全国調査ではなく、各 Retailer が独自に行い独自にサイズ標準を用意している。たとえば、顧客の 1 つである oasis では、このデータに基づいてズボンのサイズを見直した結果、ズボンの売り上げが２０％伸びた。

②National Sizing Survey について

・主として BSI から委託される計測ビジネスのひとつである。ただし、CCR にとっては、必ずしも大きなプロジェクトではない。8 つの retailer から 50%、BSI から 50%が出資されている。

・計測手順は、（1）被験者の着替え、（2）手作業によるマーキング、（3）手作業による寸法計測、（4）2D 輪郭線計測（Telmat 社 Symcad を使用）、（5）3D 形状計測（Wicks & Wilson 社 Triform を使用）

・2D 輪郭線計測については、前面と側面の 2 枚を撮影し、自動的に輪郭線上の特徴点位置を検出して、個体間の対応付けや平均化処理を行っている。実用的に利用されているのは、前面輪郭線から得られる肩の傾斜角度である。これが、型紙のカットに反映されるようになっている。3D 形状計測については、現時点では、体表面に貼り付けたランドマークに基づいて断面形状を抽出し、それを前後に分割して、前身ごろ、後ろ身ごろの比率を計算することで、パターンメーキングに反映している。Triform というスキャナは、白色光を格子状のパターンにして身体表面に投光し、4 台のカメラで形状計測する装置である。得られたデータは、数 100 万点の point cloud＋カラーテクスチャである。

・このままでは、データが重すぎるので、25,000 点程度までデータを減らしている（一般的な polygon reduction 法）。さらに、特定の水平断面を指定し、その近傍データを抽出して、2 次元断面形状を Spline 関数でパラメタライズしている。

・自動的特徴点抽出については、「まだ実用段階ではない」。適用範囲が狭く、精度も十分ではない。BMI の平均付近をカバーすれば、人口比率の大半はカバーできるかも知れないが、現実的には、先に述べたような正規分布ではなくフラットなサンプリングを行っているため、信頼に足る精度で自動計測できるのは 30%にも満たない。自動的特徴点抽出は、UCL でも行っているし、CCR でもトライしている。世界的にも 4～5 つの機関がトライしている。AI や知識工学的アプローチでいずれ解決されなくてはならないが、いまはまだ実用段階ではない。先に述べた 2 次元輪郭線の自動特徴点抽出にお

いても、59 個の landmark のうち、実用上問題ない精度であるものは3つしかない。これが現実である。

③ 3D Scanner requirements について

・完全な3次元人体計測（隠れる部分がないこと）
・消費者に受け入れやすい技術であること（つまりX線CTのように害があるという印象を与えない技術であるという意味）
・計測時間が短いこと
・PCとの連携が容易であり、計測ソフトウェアが整備されていること。また、ユーザが3D point cloud データにアクセス可能であること。
・可搬型（VANに載る程度）。また、一般のドアから搬入可能で、通常の家屋の天井高程度で利用できる大きさであること。
・50,000 ポンド以下の価格（理想的には 25,000 ポンド以下）。日本円で言うと、900万円以下に相当するか。
・オペレーションが容易であること
・校正やセットアップが容易であること
・実用上十分な精度であること
・外観が美しいこと
・米国人の背の高い被験者も計測可能であること
・自然立位だけでなく、いくつかの異なる姿勢でも計測可能であること

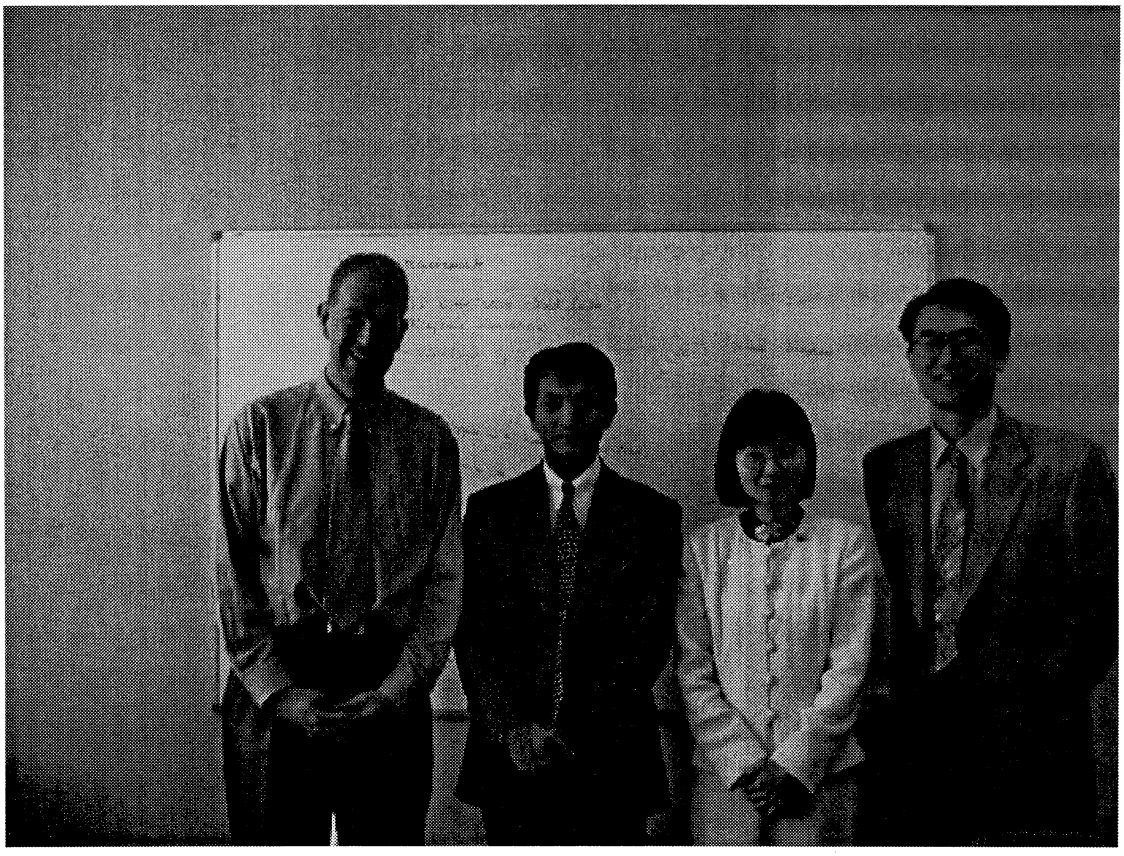
④Landmark について

・landmark は手作業で見つけだすが、そのためのオペレータ育成を行っている。
・２週間のトレーニングコースがあり、独自のカリキュラムとテキストを用意している。講師１人、学生 10 人、被験者モデルが４人という構成で、チームを作り、９時から５時まで１０日間トレーニングを行う。
・最終的に、評価用のモデルを計測した結果が、expert の計測結果±5mm に収まったもののみが計測の expert として採用される。だいたい通過率は8割である。単にマークの貼り方や、器具の扱い方だけでなく、被験者への接し方など総合的に教授するシステムになっている。
・ちなみに、人体計測や解剖学に関する先験的な知見や経験があるものよりも、なにも知らない学生の方が合格率が高い。
・テキストを見せてもらったが、これは生命研で作成したものとよく似ていた。

⑤Sampling について

・被験者のサンプリングは、Landmark の貼付けと同じように Professional な仕事であり、CCR 社の重要なノウハウである。
・先にも述べたように、被験者のサンプリングは正規分布に従って行うのではなく、サイズや年齢のカテゴリーに対して同程度の人数を集めるように行う。これが一番効率が

よく、コストパフォーマンスが高い。
・サンプリングは、あくまでも１対１の個人依頼で集める。大学や施設などにお願いして、まとめて集めるようなことはしない。



左端が Stephen Gray 教授

３．３Ｄスキャナーズ社、アバターム社
（3Dscannars Ltd.、Avatarme Ltd.）

3-1.訪問先所在地

South Bank Technopark,

90 London Road, London SE1 6LN,　UK

3-2.連絡先

Stephen Crampton

Tel : +44 207 922 8822

Fax: +44 207 922 8899

e-mail : stephen.crampton@avatarme.com

3-3.訪問日時

1999 年 10 月 13 日（水）　13:00～14:45

3-4.訪問先面会者

Stephen Crampton

3-5.訪問先概要

３Ｄスキャナーズ社は 1991 年に設立された会社で、自動車業界を中心に様々な工業応用のための、ロンドンにある高速レーザースキャニングシステムの開発企業である。１秒間に 25000 点の３次元位置を計測できる装置を持っている。3D 計測は主に３つの分野で①形状のキャプチャー、②人間のキャプチャー、③環境のキャプチャーである。世界中 30 ヶ国以上に製品を提供し、工業技術やマーケティングアチーブメントにおいて数々の賞を受賞している。その経営方針は中心になる技術に集中し、パートナーもこれに集中させることである。年商は約 500 万ドル。

４年前から人間をスキャンするようになり、1999 年５月に人間をスキャンするためのみに会社を設立した。それが「Avatarme 社」である。Avatarme とはサンスクリット語でヴァーチャルヒューマンを表している。Avatarme 社では人体のコンピュータモデルを自動的に生成するための人体形状スキャナを開発し、SIGGRAPH に出展して話題となった。この３次元スキャナーを 2000 年１月１日からミレニアムドームで発表し、15 万～25 万人をスキャンする予定である。

3-6.打ち合わせ内容

①H Anim 規格について

・人体の digital modeling については、H-Amin という規格がある。

・http://www.ece.waterloo.ca/~h-anim/spec1.1

・MPEG-4 の規格化と委員メンバーはオーバーラップしており、H-Anim の規格は大部分がそのまま MPEG-4 に組み込まれている。

・人体を記述する際の関節の位置、名称、座標系、人体寸法、質量など物理特性をまと

めて表現するための構造体規格である。
・体表面形状表現については、VRML にしたがって記述することになっている。この場合、節分割は行わず、全身の体表面形状を、そのまま統一座標系で記述するだけである。これをどのように節分割して、アニメーションするかは利用者各自が考えることである。
・標準化作業においては、H-Anim や MPEG-4 との関連を持たせるべきであろう。
②標準化について
・Landmark を手作業で見つけだすこと自体が難しく、オペレータ間のばらつきも多い。この見つけ方の方法を標準化する方が有意義ではないか？実際には、Landmark があっても人体寸法を形状から計算するのはかなり難しいと考えている。
・アパレル産業への応用をふまえて標準化を図るのであれば、体型や寸法などを産業界で理解できる方法（＝利用価値のある方法）で提供しなければ意味がないだろう。
・3 次元形状データを設計に活用できるようなソフトウェアと方法論が存在していない。まずは、これを整備するのが先決ではないか。
③Body Scanner について
・4 台のカラーカメラで、4 方向から撮影し、その輪郭線形状に既存の Virtual Human Model をフィットするように変形させ、テクスチャをマッピングするだけである。スキャンはきわめて簡単である。
・計測姿勢は解剖学的基本姿勢ではなく、手掌を回内させた姿勢としている。これは、子供に説明しやすいからである。
・スキャナは 170,000 US$。
④手持ち型の Hand 3D Scanner について
・いまは精密なデータを時間をかけて収集しているが、逆に粗いデータ感覚で素早く収集することも不可能ではない。ただし、ニーズがあるだろうか？そもそも手持ちでスキャンすること自体、人体計測には不向きである。体動揺の影響が大きい。
⑤ユーザの権利について
・ユーザには自分の avatar を読み出すためのキーを配布する。
・ユーザはこのキーを使って、自分の avatar を internet から読み出して、ゲームに登場させることができる。「貴方自身がレイラになれる」
・avatar そのものは、原則として他人には公開しない。アクセスには個人に配布されたキーが必要であり、また、専用の読み込みソフトウェアが必要である。ソフトウェアは著作権で保護されている。ユーザ個人が、自分の avatar を配布する場合についてはこの限りではない。
・収集した avatar の集合体を商売に利用するつもりはない。ただし、学術目的に限定するのであれば、1000 体くらいの avatar 集合体を安価で売ることも検討している。

4．TNO 人間工学研究機関

(TNO Human Factors Research Institute)

TNO is the abbreviation for the official Dutch name:

Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek.

The English name is:

the Netherlands Organization for Applied Scientific Research.

4-1.訪問先所在地

Kampweg 5,　P.O.Box23

3769 ZG Soesterberg, Netherlands

4-2.連絡先

Hein A. M. Daanen

Tel : +31 346 356 402

Fax: +31 346 353 977

e-mail : daanen@tm.tno.nl

4-3.訪問日時

1999 年 10 月 15 日（金）　13:00～15:00

4-4.訪問先面会者

Hein A. M. Daanen

4-5.訪問先概要

TNO 人間工学研究機関では 5 年前から人体 3D データ計測を始めた。これは NATO の仕事の一環として行った。人間工学研究機関のヘッドである Daanen 博士が 4 年前にアメリカのライトパターソン空軍基地に 6 ヶ月ほど滞在し、そこから 3D 人体計測に関する基礎的な技術を学び、そこで CAESAR 計画実行に関する話がまとまった。

4-6.打ち合わせ内容

当日はシーザープロジェクトにおける実際の計測を行っていたので、これを見学しながら、その具体的内容について話を聞いた。

①CAESAR Project：概要

・6 人の女性オペレータを採用し（パートタイム）、月曜から土曜日まで週 6 日間の計測を実施している。

・28 のパートナー会社が出資している。ただし、出資額の大半は米軍並びに NATO 軍である。

・オランダでは 2000 人の計測を予定している。現在、200 人の計測を終えた。1 日、7 人の計測を行っている。これをさらに効率化して 12 人まで行きたい。

②CAESAR Project：具体的方法

(1) 被験者の募集

Mail Order 会社に委託し、年齢・サイズを指定して被験者を探してもらい、400,000人にメールを送った。そのうち、約２％から回答が来た。Mail Order 会社の協力は無償。そのかわり、Mail Order 会社に被験者として協力してくれた人の、人体寸法データを無償提供する。（この部分の、被験者の個人情報や権利関係については不透明）

(2) 手順

ビデオ（３分）を見せて説明

質問票に回答してもらう

更衣

まゆ墨でマークつけ

手計測

３Ｄ計測用マーク貼付け

３Ｄスキャン

更衣

謝礼を渡す。ここまでで１時間

(3) 被験者の同意（agreement）

ビデオを見せて作業内容と趣旨、計測は女性オペレータのみが行うこと、プライバシーの保護、政府に申請して許可をもらっていることを説明。以上を説明した上で、同意書に署名してもらう。個人データ（氏名、住所など）は企業には行かない。なお、国内法の関係から、US とオランダでは、被験者同意書の書式や内容が異なっている。

(4) 着衣

・Jantzen（ブラジャー）、ヘインズ（パンツ）に専用の計測着を作らせた。グレーの綿製

・体を締め付けたり変形させたりしないように、配慮した。

・10(A-J)のサイズを用意し、洗濯して繰り返し利用している。

・ブラジャーは女性用、パンツ（５分丈）は男女兼用である。

・キャップはナイロンストッキング様の素材でできている。洗って再利用する。

・このための予算として$3,000～$4,000 を計上している。

(5) マーカの貼付け・手計測

・72 の計測点にまゆ墨でマークをつける（線）。

・40 項目を手計測。形状から計算しにくいものが中心。

・計測器はアントロポメータ、桿状計、触角計、巻尺、TNO で開発した大型の座標計（高さ、リーチなどを測る）

・専門のオペレータ２名が組になって計測を行う。計測者が読み上げ、記録者が復唱しながら紙に記録するとともに、その場で PC に入力していく。

・72 の計測点にマーカをはる。うち 62 は白い円形シール、10 はゴム製の飛び出しマ

ーク。飛び出しマークを貼るのは、acromion など、3次元スキャナで検出しにくいポイント。

(6) 専用の人体寸法計測装置

・坐位寸法や股下高などは、専用の寸法計測装置を活用して計測。

・オランダ空軍の人体寸法計測のために開発した装置で、大型の2次元ディジタイザ。プローブの水平位置と高さを、エンコーダで検出し、コンピュータで記録する仕組み。

・手計測との突き合わせ検証も済んでいる。

(7) 計測姿勢

・立位（両足を少し開き、手掌は回内位：手の甲を前面に向ける。足と手の開き具合は、一定になるよう厳密にチェック。手計測の場合も3D計測の場合も同じ姿勢）

・坐位1。座るイスは高さが調整できるもので座面は平板。背筋を伸ばし、両腕を曲げて広げ、左手は手を広げ、右手は握るという姿勢。膝は直角に曲げる。

・坐位2。計測装置に対して90度横向きに座り、手は膝の上に置く。

(8) 被験者には

・$5

・スリッパ

・プレゼント

・人体寸法リストおよび全体分布のどの辺に位置するかを提示。

(9) 計測者の訓練

・計測者の素質としては、性格が重要。オープンで親切であること。

・同じモデルを全員に測らせる。測った値に一定の傾向がある計測者には、どのように測り方を変えるべきかをDaanenが指示する。計測期間中に定期的にチェックするとのこと。

・いまのところ、習熟時間には差があるものの、応募してきた計測者候補全員が最終試験にパスしている。

③CAESAR Project：データの活用

(1) アプリケーション分野

・バックパック（背面形状にフィットするバックパック設計）

・ヘルメット

・マスク（ガスマスク、戦闘機の酸素マスクなど）

・ビデオアート

・靴

・コンピュータマネキン

(2) ファイル形式

・形状データは原則としてpoint cloud。特徴点データは、単純なTAB区切りのASCII Textファイルで、1行ごとに、ランドマークの名称<TAB>X座標<TAB>Y座標<TAB>

Z座標が格納されている。データ量は膨大で、1人あたりで80MBytesにもなる。
・閲覧用にPolygon reductionとテクスチャ画像圧縮を行ったデータを用意する。このサイズは1体当たり数100KBytes程度。
・これらのデータフォーマットなどを標準化として提案する意向はない。データフォーマットはCAESARプロジェクトに特化したものであり、これを標準としても、他のプロジェクトの妨げになるだけだと考えるからである。
(3) ソフトウェア
・Polygon Reductionなどのデータ前処理は、Polyworksというソフトウェアで行っている。Polygon Reductionの方法は、一般的なコンピュータグラフィクスの方法であり、人体形状に特化した手法ではない。
・データの閲覧や、アクセスには、専用のソフトウェアを開発している。Cleopatraという。これは、CanadaのNRCに開発委託している。
(4) 形状データ分析方法
・3次元の統計処理手法についても検討している
・ヘルメットやマスクの設計の例
・さまざまな人体寸法値に加え、いくつかの形状特徴量を計算し、それを合わせて統計処理を行う。
・形状特徴量としては、たとえば、人体の3次元形状を特定の平面（水平面など）に投影したときの2次元図形から、図形の形状特徴量を計算するなどの方法を用いている。（この処理には、Parametric Technology Corp.社製のCAD Software Pro/Engineeringなどを活用している）
・その統計処理結果に基づいて、ヘルメットやマスクを設計、試作し、それを実際に人体にかぶせて形状計測を行う。
・もとも人体と共通する特徴点で座標系を一致させ、ヘルメットやマスクの内壁と体表面の距離の総和で適合度を評価する。
・評価結果が思わしくなければ、形状特徴量を見直す。これを繰り返すことで、少ないサイズで幅広いユーザに適合するようなヘルメットを開発することができた。
(5) データの販売
・データはSAEから販売される。
・全計測データ（人体寸法、3次元形状、特徴点位置、閲覧ソフトウェア）で、40,000 US$。

５．テックマス社
(TECMATH.)

5-1.訪問先所在地

SAUERWISESEN 2

D-67661 KAISERSLAUTERN GERMANY

5-2.連絡先

Rainer Trieb

Tel : +49 6301 606-300

Fax: +49 6301 606-309

e-mail : trieb@tecmath.de

5-3.訪問日時

1999 年 10 月 18 日（月）　13:00～16:00

5-4.訪問先面会者

Rainer Trieb,　Guido Hansen

5-5.訪問先概要

TECMATH 社はカイザーラウテン大学数学科が技術発展してできた会社である。1986 年より有限会社として開始し、現在 80 名の社員とアメリカ、ベルリン、ミュンヘンに支社を持つまでになった。基本的には数学的方法論を用いたソフトウェア会社である。ただし現在ではハードウェアもかなり手がけている。全身 3D スキャナーだけでなく、3D フットスキャナー、アパレル用輪郭システムなどがそれである。TECMATH 社には４領域があり、１つはラムシスに代表される Human Modeling 部門、２番目は書類の整理システムや放送内容の検索システムを電子的に行う Digital Medeia 部門、3 番目は意志決定システムや判断システムを電子的に行う Knowledge Management 部門、4 番目はオンラインによる電子商取引の安全性を保証するシステムを開発する Transaction 部門である。中でも会社の主要部門はやはり Human Modeling 部門である。ラムシスはドイツ国内の自動車産業すべての会社に導入されている、また全世界では 75%の自動車会社に導入されている。

5-6.打ち合わせ内容

三次元計測システムは２つある。一つは動きの計測システムであり、これは人間工学的モデリングと係わってくるものであり、ラムシスに繋がる。もう一つは人体寸法の計測システムであり、これは個々の洋服の仕立てに応用していくことを考えている。ラムシスが何をしているか説明すると、一つはいろいろなタイプの人間をコンピューター上でシミュレーションできるということ、次にはＦ１で使われるようなアニメーションに応用できること、三番目にはこれは現在研究中であるが、バイオメカニックのモデルとしての応用、ということである。ラムシスの元になっているデータはドイツの 6000 人の

計測データである。そのうち3分の1は旧東ドイツで集められた。このデータをクライル博士が統計し、ラムシスに組み込んでいる。また、日本のＨＱＬのデータや韓国、北アメリカ、南アメリカなど様々な民族のデータも扱っている。ラムシスの応用としては車関連の部品の設計、作業行程デザイン、また医学領域においては身体にとっての負荷評価等に使われている。テックマスが提供している三次元計測器はVITUSといい、サイバーウェアーと同等の性能で価格は半分である。体動によるノイズは大きな問題だが、この計測器は上から下へと水平にスキャンしていくので断面形状は安定している。マークをした特徴点などの自動認識はできるし、マークがなくとも寸法抽出などは自動ですることができる。脇の下など陰になる部分についてはやはり問題であり、手を挙げるなど姿勢で対処することを考えている。現在ある三次元計測器でこれを計れるものはない。ラムシスの寸法はデータベースから計算される。形を決めるには3つのパラメーターを用いる。それは身長と周囲長、そしてプロポーション（これは身長と座高の比で表す）である。また一方で三次元計測器から得られる個々の人間のデータも使うことができる。スキャナーから計測される100万ポイントの点群は1200パラメータに落とされ、また表面の計測だけでなく隠れている骨に関するデータも計算されて出てくる。これはモデルを基礎としたデータ解釈と呼ばれる。テックマスには三次元計測器の他にもっと簡単な輪郭計測システムがある。これは3つの姿勢（前2、横1）をCCDカメラで撮影し、寸法を計測する。正確さには若干かけるが手軽で価格も安いので、軍隊の軍服支給システムへ応用したり、洋服の小売店に導入され、オーダーメイドや既製服のサイズ選びに使われている。実際ケルンにある紳士服の店に導入されていて、そこで話を聞くと、オーダーメイドでスーツやジャケット、Ｙシャツを作成し、6ヶ月で約300人の利用があった。またテックマスではそのほかに三次元フットスキャナーも開発し、提供している。これは主にその人に合った靴の型を探す目的に使われている。足の三次元データから新たな靴の設計、あるいは型の設計をしていく研究はまだ始まったばかりである。このように三次元データは寸法計測や服のサイズ選びに使われる応用が主で、データから直接製品設計する手法はこれからの開発テーマである。

6．インターカマ国際計測・自動化技術見本市

6-1.訪問先所在地

デュッセルドルフ見本市会場

6-2.訪問日時

1999年10月19日（火）　10:00～12:00

6-3.訪問先概要

世界３０カ国から1500を越える企業がインターカマ99に展示参加し、プロセス技術の分野での画期的な製品ソフトを発表する。さらにインターカマでは、研究活動と実際の産業のインターフェースとして、ドイツを始めヨーロッパの各大学や研究機関が開発し、まさに産業界に応用される寸前の技術も発表される。見本市会場内では出展各企業がその製品の応用を十分説明するセミナーも多数予定され、99年度からは国際計測制御学会も同時に開催され、計測・自動化技術のの動向が世界的な視点に立脚して効果的に把握できる。

6-4.訪問内容

内容が多岐に渡るので、こちらの目的である三次元計測器を中心に検索を試みた。検索キーワードとして「3D」「Dimention」「Antro-」「Scan」「Body」で検索をした結果、「Scan」という項目でのみ15社ヒットした。このヒットした会社のブースを訪問してみたが人体の三次元計測機器を扱っているところは一つもなかった。ただ三次元計測器としてはフランスのInstitut Physikalische Messtechnikという研究機関が3Dスキャナーを開発していた。ここの計測器は15cm立方というごく小さな物を対象としており、これを人体には応用可能であるとは説明していたが、実際の人体計測に用いるにはまだノウハウが蓄積されていないようであった。計測器の会場をくまなく探したが他には人体計測どころか、三次元計測器を扱っている会社をも探し出すことができなかった。



7．CARD 研究所
（Computerized Anthropometric Research and Design Laboratories）

7-1.訪問先所在地

2255 H Street Building 248

Wright Patterson AFB OH 45433-7022, USA

7-2.連絡先

Kathleen Robinette

Tel : (937)255-8810

Fax : (937)255-8752

e-mail: kath.robinette@he.wpafb.af.mil

7-3.訪問日時

1999 年 11 月 1 日（月）　　10:00～17:00

7-4.訪問先面会者

Kathleen Robinette

7-5.訪問先概要

人体計測は Harry G Armstrong がパイロットの最適な姿勢と体重の推奨をした 1936 年より空軍の研究において非常に重要な位置を占めている。キャリパーやテープメジャーを使い 2 点間の距離を測る計測方法は設計のためのモデルを作る制作者やグラフィックアーチストによって使われてきた。今日の近代的な戦闘システムはより正確で細かな計測技術を要求する。3 次元のコンピューターグラフィックスは体のサイズと形の情報をミリメーターの正確さで表示でき、また 3 次元スキャナーにより頭からつま先まで人間の表面の正確なデータが計れるようになった。CARD Lab.はこの 3 次元データを分析する特殊な方法を開発している。その結果は戦闘用ヘルメットや手袋、フライトジャケットなどの設計に応用されている。またその構成は生理学的人類学者、ソフトウェアエンジニア、電子工学エンジニア、人間工学エンジニア、物理学者、生理学者、統計学者などからなるユニークな研究チームである。

7-6.打ち合わせ内容

HQL より前回の人体計測の概要と問題点、現在取り組んでいる三次元人体計測における標準化について説明した後、Robinette 女史より CAESAR 計画についての説明があった。中心になる推進者は Kathleen Robinette、Dannen(TNO)、Eric Pawetto(NRC)、である。18 歳から 65 歳までの民間人の 3D データを計測する大規模なサーベイとしては最初のものである。トータルコストは 600 万ドル。その 75%は空軍が出している。残りは民間のパートナーとなる会社からの出資である。産業界からは子供を測ってほしいという要望はあるが、8 歳の子供では測定中静止していることが困難であるため、正確な 3D データが得られない。また、軍が大半を出資している関係で子供の計測は見送

った。3D スキャナーとしては Cyberware 社と Vitronic 社のものを使用している。オートランドマーキングの手法は 25%のエラーがでるので現在半自動システムにしている。マーカーをつける人のトレーニングは数週間行いテストで合格した者のみ実務を行う。知識のある者よりない者の方が良い。ランドマークのステッカーは立体的な物も用いる。スキャナーで検出できるためである。ランドマークは関節点を同定するためでもあり、後のモデリング処理に必要。被験者は大まかに 20 分の説明と 20 分の手計測、20 分の 3D 計測の約 1 時間拘束される。データはすべてパソコンに入力される。計測は 3 ポーズ。腕を少し開いた形の立位、自然な座位、両手を直角に曲げて上に上げた状態の座位、の 3 つである。座位は自動車会社が座った姿勢のデータを望むために入れた。データ量は 1 姿勢あたり 8 MB である。データの所有権に関しては事前に承諾書をとることで対処している。このデータを解析するソフトは「クレオパトラ」という。形とサイズで個人データをサーチできる。統計的な解析に関して 3D データの平均値は出すことはできるが実際には存在せず、意味がないと考える。5-90%tile 値を様々な寸法で絞り込んで行くと最終的にはデータが存在しなくなる。また 3D データの平均で製品を設計してもフィットしない。具体例としていすの設計を考えると平均値で設計したものは全員が使えなくなる可能性が高い。パーセンタイル値はこの平均値を大きくしたり、小さくしたりしているだけである。従って製品設計にパーセンタイル値を用いるのは好ましくない。実際 1～99%tile 値で作られた服は 30%の白人、80%の黒人、90%の女性にはフィットしない。3D スキャニングの利点とは体と製品とのフィット性を確認できるところにある。このフィット性のずれを検出し、製品を改良していくのである。そして多くあるサイズを減らしていき、最終的には製品によるが、1 サイズですべての人にフィットさせることができると考えている。人体計測のサーベイは 1939 年より行われており、データはインターネットで入手可能である。海外での計測データも集めている。これら軍事研究の民間への技術転移については内容によっては制限される物もあるが人間工学に関しては大丈夫である。我々は空軍用の飛行機や車や服製品設計の支援はしているが実際に制作するのは民間会社であり、その点からも技術転移は行われていると言える。民間のアパレル会社については CAESAR 計画のパートナーになっているアパレル会社もあることから技術転移は可能だが、まだ会社内のコンピューターレベルが追いついていないと感じる。

8．トータルコンタクト社
(Total Contact, Inc.)

8-1.訪問先所在地

62 N. Maple St. Germantown, OH 45327、USA

8-2.連絡先

Jennifer J. Whitestone

Tel: (937)229-6621

Fax: (937)229-7281

e-mail: jjw@totalcontact.com

8-3.訪問日時

1999年11月2日（火）　10:00～12:00

8-4.訪問先面会者

Jennifer J. Whitestone

Joseph A. McKenzie

8-5.訪問先概要

昨年3月にTotal Contact社として新しいビジネスを初めてもうすぐ2年になる。Jennifer J. Whitestone、Joseph A. McKenzieさんは娘と父で、もう一人の従業員と計3人でこの会社をやっている。目的はCARD Lab.の研究を産業へ応用していくためである。Jennifer J. Whitestone女史は8年間CARD Lab.にいた。主な事業はBURN MASKであり、これは顔に火傷を負った患者がリハビリ用に顔につけるマスクの製造販売である。

8-6.打ち合わせ内容

HQL人体計測とその事業内容の説明と3Dに関する今回のプロジェクトの説明を行った後、Total Contactの概要を聞く。Burn Maskは火傷患者がその傷の腫れを防止するためにつけるもので、一日2 3時間、約2年間着用する。これはサーマルプラスチック製であり、ここだけが制作している。それまでは石膏で型をとっていたが、時間がかかる上、顔表面の正確な型が取れなかった。そこで3Dスキャナー（サイバーウェアー社製）を用い、非接触で正確な顔表面データをとることを考えた。今までに約30人のマスクを作っている。マスクは一体15万円程度。スキャナーはバルチモアのジョンホプキンス大学Baby Medical Centerにもある。近々ボストンの小児科にも設置予定。3Dスキャナーを用いた計測はマスクの作成だけでなく、火傷の傷の膨れ具合だとか快復の状況のモニタリングにも応用できる。

サイバーウェアーのスキャナーを使っているのはメンテナンスがいらないのとデータの確実性が理由である。去年の3月時点で世界中のスキャナーメーカーを探し、いろいろとコンタクトしたが、早いスキャナーは信頼性に欠けた。新しいスキャナーへの要

求事項は信頼性、廉価、カラーテクスチャー画像が採れること、解像度は 1mm 必要。体幹部は 3mm でも良いが頭や手は 1mm が必要である。

Burn Mask 以外の応用は、やけどということで消防署との関係が強いことから、消防士用のヘルメットの設計やハーネス（高所作業用の安全ベルト）の設計に 3D スキャンデータを使用している。

ジェニファーさんが以前所属していた空軍の CARD Lab.の技術はなかなか民間に出ていかない。軍事技術の民間転移は難しい問題である。双方にフラストレーションがたまっている。そのような状況下このフランシスカン病院の医師であるミッチェル氏はこの病院の中に小さなベンチャー企業を育てる試みをしている。いわゆるインキュベーター（孵卵器）である。この援助のお陰で会社を興すことができた。現在病院の中には会社が２つあり、現在３つ目が入ろうとしている。我々の経営方針としてベンチャーキャピタルは使わない。政府からのグラントを使うようにしているが、国からのプロジェクトの話が来てもすべて受けずに内容によって選ぶようにしている。将来的には医療分野に絞って展開していきたいと考えている。当面各州に１つずつスキャナーを設置したいと思っている。これからも医療分野ですることは沢山ある。



Jennifer J. Whitestone 女史と Joseph A. McKenzie 氏

9．ソルジャー・システム・センター
（US Army Soldier System Center）

9-1.訪問先所在地

AMSSB-RSS-E(N)

Natic, MA 01760 USA

9-2.連絡先

Brian D. Corner

Tel: (508) 233-5317

Fax: (508) 233-5527

e-mail : bcorner@natic-amed02.army.mil

9-3.訪問日時

1999 年 11 月 3 日（水） 13:00～15:00

9-4.訪問先面会者

Brian D. Corner

Peng Li

Miyo Yokota

9-5.訪問先概要

US Army Soldier System Center はマサチューセッツ州 Natic にあり、Natic Lab.として知られている。Natic は 21 世紀の戦闘を担う陸軍のリーダー的存在である。研究としては食料、被服、シェルター、装備品などについて兵士ができる限り使いやすいように設計し、供給する事にある。Natic では個々の兵士を完全な武器のプラットホームと見なし、また兵士をシステムとして捉えている。Natic の使命は致死回避能力、動作能力、生存能力、支持能力や生活能力といった戦闘時における能力を高めることにある。中心となる技術は被服技術、バイオテクノロジー、空中落下技術、食品科学などである。Natic は兵士たちの環境や状態を効果的に改善していくことに貢献している。この努力によりアメリカの兵士たちは世界中のどこにおける戦闘でもベストな食料、衣服、装備品を手にすることができる。

9-6.打ち合わせ内容

①三次元計測器

ここにある三次元計測器はサイバーウェアー社製であり、価格は約 4000 万円、エアクラフトアルミで出来ている装置の支持台が 2000 万円、カメラの部分が 2000 万円である。体動によるぶれは出ない。17 秒間で身体は動くが、横スキャンのスライスデータとして撮るので大して影響は出ない。（TNO、ハイン・ダーネンの体動についての論文が参考になる）陰になる部分についての計測は非常に難しい。対処方法としてはデータのない部分を B スプラインなどを使って補完する。人体のランドマークは自動で認識し

ている。その方法は形状の凸凹をベースに身体のマキシマムポイント（一番出たところ、一番へこんだところ）を自動的に計測する。一般には難しいので胸の部分とか乳首の先端とかをコンピューターに教え、ここがＹ方向にでているとかいう情報で先端を見つけてランドマークを計測する。要するに形状で一番とんがった部位をランドマークとして認識させている。太った人ではそのランドマーク認識は難しい。腹も出ているし、足もくっついてしまっている。どちらかというと痩せた人を選んで計測している。陸軍では太りすぎはいないので問題はない。このランドマーク自動認識の正確さの評価はブライアン・コーナー本人が何度もこのスキャナーで測りその安定性を確かめている。それは計測のゆらぎや経時における変化を調べることでこの自動抽出データが正しいことを検証したからである。

②データの応用について

私たちはここにあるデータをヘルメットやユニフォームや戦闘スーツの設計に使ってはいるが、一般の民間製品には応用しておらず、あくまでも陸軍のための研究しか行っていない。具体的なことを言えば、戦闘用バックパックや防弾チョッキの設計に応用している。それはバックパックのフレームと身体のランドマークとの関係であるとか、これを装着した場合身体の体積が増えるので、これを装着したまま車に入れるかといった車の扉の設計を研究している。また防弾チョッキに関してはこれで身体のどの部分がカバーできるかをマネキンに着せて、評価分析を行っている。このマネキン作製にはは3D データの平均は用いない。トラディッショナルな寸法データの多変量解析（主成分分析）を用いている。200 箇所程度計測しているが、その中の 20 カ所のデータを用いている。単に平均やパーセンタイルを出すのではなく、大きな体型、小さな体型、太った体型、細い体型、といったプロポーションが異なる体型をグルーピングし、それを基にマネキンを男性９タイプ、女性９タイプ作製している。これらのマネキンに先ほどの防弾チョッキなどを着せて評価分析を行うわけである。



三次元スキャナーを操作する Brian D. Corner 氏

１０．DCIEM（オペレーショナル人間工学グループ)、　セーフワーク

(Defence and Civil Institute of Environmental Medicine,
Operational Human Engineering Group)、
(Safework : Genicom Consultants)

10-1.訪問先所在地

DCIEM
1133 Sheppard Ave. West, P. O. Box 2000
North York, Ontario, Canada M3M 3B9
Safework : Genicom Consultants
3400 de Maisonneuve Blvd West
1 Place Alexis Nihon, Suite 1430
Montreal, Quebec, Canada, H3Z 3B8

10-2.連絡先

Pierre Meunier (DCIEM)
Tel : (416)635-2093
Fax : (416)635-2104
e-mail : pierre.meunier@dciem.dnd.ca
Robert Carrier (Safework)
Tel : (514)931-3000
Fax : (514)931-2118
e-mail : info@safework.com

10-3.訪問日時

1999 年 11 月 5 日（金）　13:00～15:00

10-4.訪問先面会者

Pierre Moeunier (DCIEM)
Robert Carrier (Safework)

10-5.訪問先概要

Genicom Consultants は 1984 年に設立され、人間工学分野での北アメリカのリーダーとなった。1989 年にコンピューターマネキンの Safework のプロトタイプが発表され、1992 年に販売を開始した。Genicom Consultants と Safework は兄弟会社である。

DCIEM はカナダ政府の組織であり、防衛のための研究機関である。DCIEM が国防省からの研究要請を受けたときに、マンモデリングの部分を Genicom Consultants に委託するという関係を持っている。それは Genicom Consultants がマンモデリングの最先端企業だからである。（今回、三次元計測のことで Safework を訪問したいと連絡した時に、Safework から三次元計測は主に DCIEM が担当しているのでそちらを訪問し

てほしいとの申し出があったため、DCIEMを訪問することとなった。)

10-6.打ち合わせ内容

DCIEMも人体計測を行っており、内容は3Dとトラディッショナルな計測、両方である。人体計測には興味はあるが、我々のクライアントである国防省は応用とその結果を求める。成果の一つはヘルメットの設計についてである。 3Dスキャナーのデータは3種類撮る。それは頭のデータとヘルメットのデータ、そしてヘルメットをかぶった頭のデータである。これらを重ね合わせることでヘルメットの適合性を評価する。この研究に使っているヘルメットは民間会社で実際に販売されている物で、購入するために評価しているのである。この評価に使っている3Dデータは個人データであり、450人の中から代表的な30人を選びだしてきた。この30人は頭の長さと奥行きをキーディメンションとして分布を算出し、その境界及び内部より抽出してきた。頭囲をヘルメットサイズの基準にするのは正しくない。3Dデータを製品に応用して行くには人体だけのスキャニングでは不十分であり、人体に製品を装着した3Dデータが必要である。この研究に用いているスキャナーはサイバーウェアー社製である。カナダで行っている大規模な人体計測はシーザー計画である。カナダは最初の予定には入っていなかったが、新たにカナダで500人ほど計測予定である。これら人間工学に関する技術の民間への技術転移についてはGenicom Consultantsが行っている。ここでの研究に一般商品はなく、すべて軍事関係である。ライセンス契約で開発技術を一般企業に伝えるということも行っている。しかし民間への技術転移は困難なのが現状である。コンピューターマネキンへの3D人体形状データへの応用ということでは、「バーチャルマン」という製品で具現化している。これはコンピューターマネキンである「セーフワーク」の発展型でより正確さとリアルさが増している。現在、クライスラー、ボーイング、ロッキード、などの会社で使われている。「バーチャルマン」の開発について簡単に説明すると、まずプラスチックで出来たマネキンにグリッドを書き込み、測定の基準点を決める、そのほかランドマークは90点取っている。このマネキンに書き込んだグリッドと同等なグリッドを実際のモデルに書き込み、このモデルを3Dスキャニングする。このときのモデルは先ほどのヘルメットの時と同様な手法を用いて、男性7タイプ女性7タイプの計14タイプのモデルを選出し、このモデルにそれぞれ141もの異なった姿勢をとらせ、これを3Dスキャンする。テクスチャーデータからグリッドの位置が分かり、これを基に動いたときの身体表面の変化を算出していく。そうすることで身体が動いたときの体表面の変化を忠実にシミュレーションする事が出来る。この部分をデモで見たが、正直驚いた。コンピューター上のモデルをマウスで動かすとその動きに伴ってまるで撮影した動画を見るように身体の表面形態も動いていくのである。3Dデータの究極の応用を見たような気がした。

フランス LAA

- 日時：１０月２７日（水）、２８日（木）
- 訪問先：フランス パリ第５大学 Laboratory of Applied Anthropology（LAA）
- 面談者：Pr A. COBLENTZ（パリ第５大学 LAA）
  Pr R. MOLLARD （パリ第５大学 LAA）
  Pr P.Y.HENNION（パリ第６大学）
  → LAA と共同で 30 年間 ３次元人体計測についての研究を行っている
  Mr Nicolas BOUCHE（DECATHLON Advanced Research）
  → スポーツメーカー。LAA のユーザーであり、人体計測について最も熱心に取り組んでいる

※ LAA では、解剖学を基本とした人体計測データや動作等のデータを構築し、ユーザーの要望に応じて、コンサル業務を行っている。約２年半前に HQL を訪問され、LAA が HQL 人体計測データを利用したいとの要望があった。

１．人間生活工学研究センターの事業紹介
・ ユーザビリティー・サポート・チーム（UST）の業務内容に非常に関心がある様子。

２．ＮＥＤＯ委託事業の概要説明・討議
「身体形態特性データの計測・データベース化に係る標準化」「高効率人体計測器の研究開発」についての概要 及び 問題点を説明し、討議を行った。

- LAA でも同様の問題を抱えおり、様々な試みを行っている。今後、HQL が事業を進めていく上でも全面的にご協力 アドバイス頂けるとのこと。
- LAA では現在 人体計測を行うとき、CAESAR プロジェクトでアメリカが使用したサイバーウェアのスキャナーを使用しているが、全身計測ではない。
  （全身の場合は直接計測を行い、非接触計測器は主に頭部に使用している。）
- 被験者へのマーキング誤差を解決するために、３ヶ所（肩峰点・転子点・腸棘点）については特に注意している。座位計測時には、転子点・腸棘点をマークし直すこともある。
- LAA で計測を行うときのマーキング個所は 100 ポイントあり、頭部（首から上の部分）だけで 50 ポイントにもなる。
- マーキング個所の選定は 重要なことであり、計測器（計測法）の開発や 計測データの応用時には、是非 参画したい。
- 隠れ部分の計測について、LAA では成功していない。

肥満型の場合は特に、股の間の誤差が生じる。(時には 20mm の誤差)
軍の場合は、スリムになりため その問題がなくなる。

- 形状の平均化について、背中の形状を類型化したところ 3種類あった。この場合大きさについては考慮していない。
- 3次元人体計測器が全ての産業界において万能なものは存在しない！ 2次元データを補完的に使用すべきである。

3．LAA の業務説明

- 内外の人体計測データを保有し、ユーザー（現在は殆どが軍関係）からの要望に応じてデータ提供やコンサルティング業務を行っている。
- 目的に応じて補足計測を行い、時には軍などに出向いて計測を行った。
- 動作計測や人間の重心も計測している。但し、西洋人のみであり、アジアのデータはない。
- ユーザーからの具体例として、エレベーターの囲い網を設計するとき、補足データとして 子供の指の大きさを計測した。
- LAA ユーザーには、自動車工業界のプジョーやシトロエンがいるが、3次元データの利用希望は無い。

4．LAA ユーザー（DECATHLON）の業務内容説明・要望のヒアリング

- スポーツメーカー。店舗数は、フランスが最も多く（181)、スペイン、イタリア、ドイツと続く。
- 主に自転車をつくっている。その他、スキーウェア、ヘルメットの設計。
- 人間のサイズについては、2年前から研究を始めている。
- 形状データについては、CAD 上での身体の部分的なバーチャルモデルを期待する。
- ヨーロッパでは 各国との提携があり、データ収集が可能である。今後はアジアでの展開も発展させたい。
- 形態データ以外の人間特性データについては、文化による、色に対するイメージに取り組みたい。

5．その他

- 人間工学分野の専門家について
  → フランスでは毎年 100 人程度の専門家が生まれている。
  内、30 人程度がコンサル業務を行っているが、自立しているのではなく企業内の業務として 主にソフトウェアの開発に携わっている。

付録４　国際標準化に向けた人体三次元形状データ活用に関する実態調査報告

目　次

1.　はじめに 243

2.　海外の三次元人体形状データ整備状況 244

2.1　シーザー（CAESAR）プロジェクト 245
2.2　LASS 257
2.3　ノッチンガム大学 266
2.4　ロンドン大学 268
2.5　その他 271

3.　国内における人体三次元形状データの利用状況 273

4.　海外における人体三次元形状データ利用状況 277

4.1　自動車関連 277
4.2　航空宇宙関連 284
4.3　医療分野 286

5.　提言 287

5.1　利用者各分野からの要望 287
5.2　人体三次元形状データ計測のありかた 289
5.3　サーフェスモデルへの変換 291
5.4　人体三次元形状有効活用のための研究開発体制 292

6.　おわりに 293

1. はじめに

本報告書は、人体の三次元形状データの国際標準化に向けて、海外における人体の三次元形状データの整備状況、および国内外におけるデータの利用状況についての調査を行った結果について報告するものである。また具体的な利用目的、利用状況、処理内容の調査結果に着目して、三次元形状のデータ構造モデルが満たすべき要件について提言を行う。

2. 海外の三次元人体形状データ整備状況

欧米先進国における３次元人体形状データの整備状況について調査した結果を以下に示す。主な調査対象を以下に示す。

- □ シーザー（米国、オランダ）
- □ HUMAG（英国）

また主な調査方法を以下に示す。

- □ Web サイトの検索
- □ E-mail による質議
- □ 論文収集

2.1 シーザー（CAESAR）プロジェクト

本プロジェクトは米空軍ライトパターソン基地にある CARD 研究所（Computerized Anthropometric Research and Design Laboratory）の研究成果に基づき、米国自動車工業会を通じて立ち上げられた民間の国際的な人体形状測定プロジェクトである。以下に示すように米国、オランダ、イタリアで計測が行われることが決定済みで、米国、オランダでは既に計測が始まっている。イタリアについては実施方法について検討中とのことである。

- ☐ 98/3　米国で計測開始
- ☐ 99/8　2000 体に対する NedScan が Soesterberg で開始
- ☐ 00/6　米国、オランダでの計測終了
- ☐ 00/6　イタリアでの計測開始
- ☐ 01/6　イタリアでの計測終了

発足当初のワーキンググループメンバーを以下に示す。

Kathleen Robinette	議長　米空軍ライトパターソン基地 CARD 研究所
Marc Rioux	オタワ国立研究協会　レーザー走査が専門
Michael vannier	アイオワ大学放射線学教授　3 次元人体表示が専門
Peter Jones	Loughborough 大人間科学部人間生物学 G 名誉教授　解剖学
Hein Daanen	TNO 人間研究所の科学者

(1) 機関名称

- ☐ SAE：Society of Automobile Engineering（米国自動車工業会）
- ☐ USAF CARD Labo（米空軍 CARD 研究所）
- ☐ TNO：The Netherlands Organization（オランダ）

イタリアでの実施機関の検討状況ついては CAESAR プロジェクトのパートナー企業以外には現在非公開である。

(2) 機関所在地

SAE： SAE International, Detroit Branch Office
3001 W. Big Beaver Rd., Suite 320 Troy, MI 48084-3174

CARD： Armstrong Labs 2255 H St AL/CFHD WPAFB, OH 45433-7022

TNO： Department of Work Environment TNO Human Factors Research Institute
Thermal Physiology Department of Work Environment
PO Box 2 3769 ZG Soesterberg The Netherlands

(3) 機関の連絡先・問い合わせ担当者

Mr. Gary Lecuru SAE 産業広報（CAESAR 窓口担当）
Tel: 248/649-0420, ext.3125 Fax: 248/649-0425
E-mail:glecuru@sae.org

Ms. Kathleen Robinette 米空軍ライトパターソン基地 CARD 研究所
CAESAR プロジェクトの実質的な統括責任者
Tel: 937/255-8810 Fax: 937/255-8752
E-mail:Kath.Robinette@he.wpafb.af.mil

Dr. Hein Daanen TNO (The Netherlands Organization)
人間研究所の科学者
Tel: 0346 35640 Fax: 0346 353977
E-mail:daanen@tm.tno.nl
http://www.nedscan.nl.
http://www.casema.net/~daanen

(4) プロジェクト名称

CAESAR：Civilian of American and European Surface Anthropometry Resource Project
オランダのでの活動名称：NedScan

(5) 目的

本プロジェクトは、産業工作機械の配置、自動車設計、被服規格、保護装置設計、安全基準、操縦席の配置など、多くの国々と産業にまたがる人体計測学（Anthropometric）データの必要性に答えるために企画された。

本研究は、高解像度の表面測定技術に拡張された三次元計測技術を駆使した、人体

に関する基本データ構築の一つである。最新の自動表面計測は従来技術に対して、より早く・安く・詳細な形状データを取得することが可能であり CAD や CAM へのデータの利用も容易なものとなる。

計測作業を標準化することにより、測定する人に依存しない、安定した計測結果をもたらす。そしてデータベースが一貫して拡張され、更新されるように文書化、標準化を行う。さらに今回測定対象とならない他の年齢グループや、他の国・地域、また経時的な変化の把握が、今後次に続く研究で追加してゆけるようなものとする。

(6) 計測方法

● 計測装置

北米では1台の Cyberware、欧州では1台の VITUS を使用している。どちらも非接触のレーザー測定機である。北米ではすでに8箇所をまわり、計測を実施しており、さらに年内に2箇所での計測を予定している。(99/9 現在)

□ 米国

・Cyberware (処理ソフト：Cypie)

開発会社：Cyberware, Inc.

2110 Del Monte Avenue Monterey, California 93940

http://www.cyberware.com

・移動に関しては、分解してトラックで運搬する。分解には 4-8 時間かかり、組み立てて調整するには4　5日かかる。これは試験によって確認され、文書化され標準化された手続きである。

□ オランダ (NedScan)

・ドイツの Vitronic の全身スキャナーVITUS を所有している。16 個の depth カメラと 4 個のカラーカメラがあり、一体のスキャンに 20 秒かかる、解像度は 2mm (Cyberware と同等)。

・処理ソフトとして Polyworkssoftware がある。

● 計測対象者

□ 一般測定対象者の抽出

新聞、ラジオ、テレビ、また学校やショッピングセンターで広告を出す。電子メールを発信し、またパートナー企業の従業員に対して、従業員とその家族に告げることを奨励している。

□ 計測対象人数について

体の寸法に影響がおおきな要素として次の3点が分かっている。

・性別　男女
・年代　18-29／30-44／45-65
・民族グループ　白人と非白人
（米国ではヒスパニック系が第３のグループとして認識されている）

これより、イタリア、オランダでは２（性別）*３（年代）*２（民族）＝１２、米国では２*３*３＝１８のサブグループが存在する。

一方、身長を１cmの精度で決定するには各グループごとに１７０の標本が必要となる。これよりイタリア、オランダでは２０００体、米国では３０００体以上が必要となる。

この他、学歴や国内での地域が体の寸法に関係している。再現性を保証するために、調査を通じてこれらの要素にも注意深く着目していく。

● 具体的な計測方法

□ 米国

・Landmark

20年間の三次元計測と、60年間の一般的な人体計測を通じて、計測することよりもマーキングすることのほうが再現性が高いことを確認してる。これは走査データでも伝統的人体計測でも同様である。またランドマークを使った計測よりも、鼻先等の形状の特徴が分かりやすいスキャンデータを元に行った計測の方がより精度が悪いことも確認済みである。

体幹から手足を分離することも難しい問題である。特に非常に太った人の場合、痩せた人に比べて難しくなる。

ランドマーク位置の推定にニューラルネットを応用することを試みたが、ステッカー（＝ランドマーク？）を使用するよりも精度が悪いことを確認した。ステッカーを使用したほうが精度が良いことを確認するために、世界中のソフトウエアやプロセスを検討した。もしステッカーを使用するより良い方法が現れればいつでもそちらに切り替えれば良いと考えている。ステッカーを使っていなければ、ステッカーにもどることはできない。

CAESARで使っているランドマークが誤差の最も少ないものであることを示す品質管理システムを持っている。それは自動ランドマーク認識システム（ALR）の一部である。これもCAESAR計画完成の暁には、CAESARのドキュメントに盛り込まれる。

図 2.1 に解剖学的特徴点のランドマークの位置を示す。

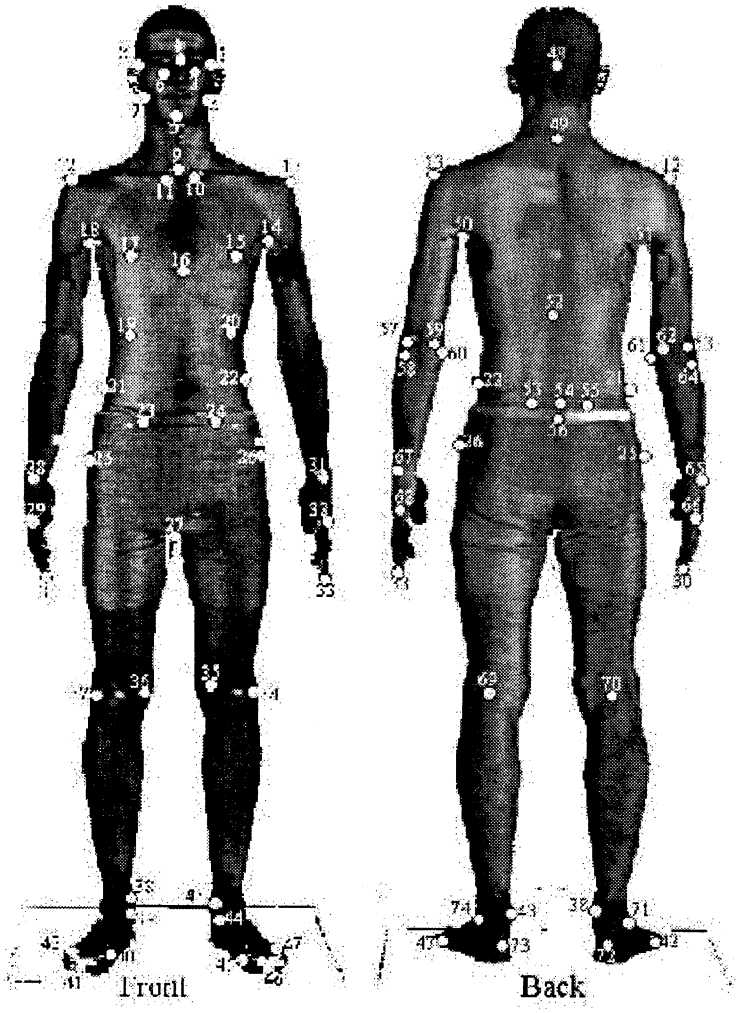


図 2.1　解剖学的特徴点のランドマーク

・ALR（ランドマーク自動認識システム）

CAESAR で利用するために ALR システムが開発された。内容について現在はまだ非公開である。また、３次元マーカーを含む特別なマーカーを幾つかのポイントに利用している。それは hueristic チェックに埋め込まれた半自動化された方法である。約５年間のテストの後、実サイズの全身に対して十分な品質をもった完全なランドマーク自動認識手法がないことを確認した。

□ オランダ（NedScan）

・VITUS

ライトストライプメソッド：光源からストライプレーザーを照射し、24 台の計測カメラと４台の色相カメラを使用する。カメラは上下方向に走査する。

走査範囲：1.2m*0.8m の楕円領域*2.1m の高さ

解像度：2mm

各計測点ごとに色データ採取可能。

走査速度：20 秒／１体（解像度 2mm）

● 計測精度

□ 米国

・４つのヘッド間の測定誤差

この問題の解決がスキャナ開発主目的であり、Cyberware が最初にその効率的な解決策を打ち出した。現在でも Cyberware が最良のシステムであり、他のスキャナーでは単なるキャリブレーションで対応するため多くのエラーが発生している。

・Cyberware の誤差のチェック方法

スキャナー移動時に適用する複雑な手続きを標準化している。この手続きを保証するために２年の歳月を費やして発展させてきた。この情報は研究が完成した暁には CAESAR のドキュメントに記載されるが、現在は非公開である。

・呼吸や体動揺の誤差補正

Cyberware や Vitronic（欧州）では、周囲 360 度のデータは同時に採取される。そして走査は頭から足先まで上下に移動して行く。この結果、動揺や呼吸の様な他の水平方向の動きは最小限に押さえらる。一つのスライスデータには誤差はなく、スライスの間に発生する体動揺の影響が残されている。まず、腰から下は殆ど、あるいは全く体動揺は無く、体動揺のある領域をスキャナが走査している時間は非常にわずかなものである。例えば、呼吸による体動揺がある胸の部分は、1秒以内に通過する。各スライスデータには体動揺による影響はなく、1秒間のスキャナーの移動の間の体動揺は非常にわずかなものである。従って、体動揺の影響はごくわずかなものである。

走査中に測定対象物を動かすことが測定誤差の大きな要因となる。HQL によって日本で行われた計測では、人間が正面から背面へ回転移動している。また、人体の動揺は水平方向に発生するので、人体の回りをスキャナーが移動するのも誤差を大きくする（Cyberware 40/20 で人体の回りを移動させて誤差を確認した）。

Cyberware 特有の zippering とキャリブレーションのおかげで、zippering による誤差は検出されていない（zippering：4 ヘッドのデータのマージ処理）。1 つのスライスで 360 度の完全なデータをえることができず、測定対処を回転させる様な方式の他のスキャナー装置では、高い精度をもつ zippering は不可能と思われる。しかし、これは zippering の問題ではなく、測定対象の領域を如何に走査するかというスキャナーと測定対象の動きの問題である。

● 計測項目（算出項目／手計測項目）

□ オランダ（NedScan）

以下の*の項目、40 種類は手計測される。走査する前に 72 個の白いマーカーを体につける。計算機はそのマーカーを認識して、それらの距離を算出する。基本的には、走査結果から算出できる寸法値の種類に制限はない。次の寸法項目が現在検討対象となっている。この中から少なくとも 65 項目が選択され、NedScan データベース参加者に提供される予定である。

参加者から特別な要求の提示が予測される。そのリストは SAE や ASTM の解析結果に基づいて統合される。

幾つかの寸法は着衣に固有なものであり、その他に作業環境に固有なものや、他のアプリケーションに固有なものがある。以下に英語と蘭語の併記で示す。

Height

* Lichaamslengte (stature)
* Zithoogte (sitting height)
* Ooghoogte zittend (eye height sitting)

Oogkashoogte staand en zittend (infraorbitale height)

* Schouderhoogte zittend (acromial height)

Cervicale hoogte (cervicale height)

Okselhoogte (axilla height)

Borstbeenhoogte (suprasternale height)

Borsthoogte (chest height)

* Ellebooghoogte zittend (elbow height)
* Middelhoogte (preferred waist height)
* Heuphoogte staand (height at max. hip circ.)
* Binnenbeenlengte (crotch height)
* Kniehoogte zittend (knee height sitting)

Popliteale hoogte (popliteal height)

Enkelhoogte (malleolus height)

Tibiahoogte (sphyrion height)

* Hoofdlengte (head length)
* Gezichtlengte (face length)

Kin-neuswortelafstand (menton-sellion length)

* Romplengte voor (waist front length)

Bovenarmlengte (acromion-olecranon length)

* Armlengte buitenzijde (spine-shoulder, spine-elbow, spine-wrist)

Armlengte binnenzijde (arm inseam)

Onderarmlengte (radiale-stylion)

* Handlengte (hand length)

Onderbeenlengte (femoral epicondyle-lateral malleolus)

* Voetlengte (foot length)

Breadth

* Hoofdbreedte (head breadth)

Pupilafstand (inter-pupillary distance)

* Jukbeenbreedte (bizygomatic breadth)

Oorafstand (bitragion breadth)

Kinbreedte (bigonial breadth)

* Schouderbreedte (shoulder breadth bideltoid and biacromial breadth)

Okselafstand (interscye distance)

Tepelafstand (bustpoint-bustpoint breadth)

Elleboogbreedte (bi-lateral humeral epicondyle breadth)

Heupbreedte (bicristale breadth, hip breadth, bispinous breadth and bitrochanteric breadth)

Kniebreedte (bi-lateral femoral epicondyle breadth)

Voetbreedte (foot breadth)

Depth

Bildiepte (buttock to trochanter length)

Bilknieschijfdiepte (buttock-knee length)

Circumference

* Hoofdomvang (head circumference)
* Nekomvang (neck base circumference)
* Oksel-schouderomvang (armscye circumference)
* Onderokselomvang (chest girth)
* Borstomvang (bust/chest circumference)
* Onderbusteomvang (circumference under bust)
* Buikomvang (waist circumference preferred)
* Maximale heupomvang (hip circumference maximum)
* Handomvang (handcircumference)
* Dijomvang staand en zittend (thigh circumference maximum)
* Enkelomvang (ankle circumference)
* Rompomvang (vertical trunk circumference)
* Onderlichaamomvang (total crotch length)

Other measures

* Huidplooi schouderblad (subscapular skinfold)
* Huidplooi triceps (triceps skinfold)
* Lichaamsgewicht (body weight)
* Reikwijdte (thumb tip reach)

● 着衣条件

薄い棉性のバイカーズショーツ（灰色）と女性はスポーツブラ（灰色）を着用。頭は髪を覆うためにラテックスの帽子を着用。

約 80 個の青いランドマーク（評点、径 1 インチ）を設定。

● 計測姿勢

・立位　：手を少し広げた姿勢

・座位 1 ：手は膝の上

・座位 2 ：手を上に挙げた状態、（肘はほぼ直角）

図 2.2 に計測姿勢の具体例を示す。

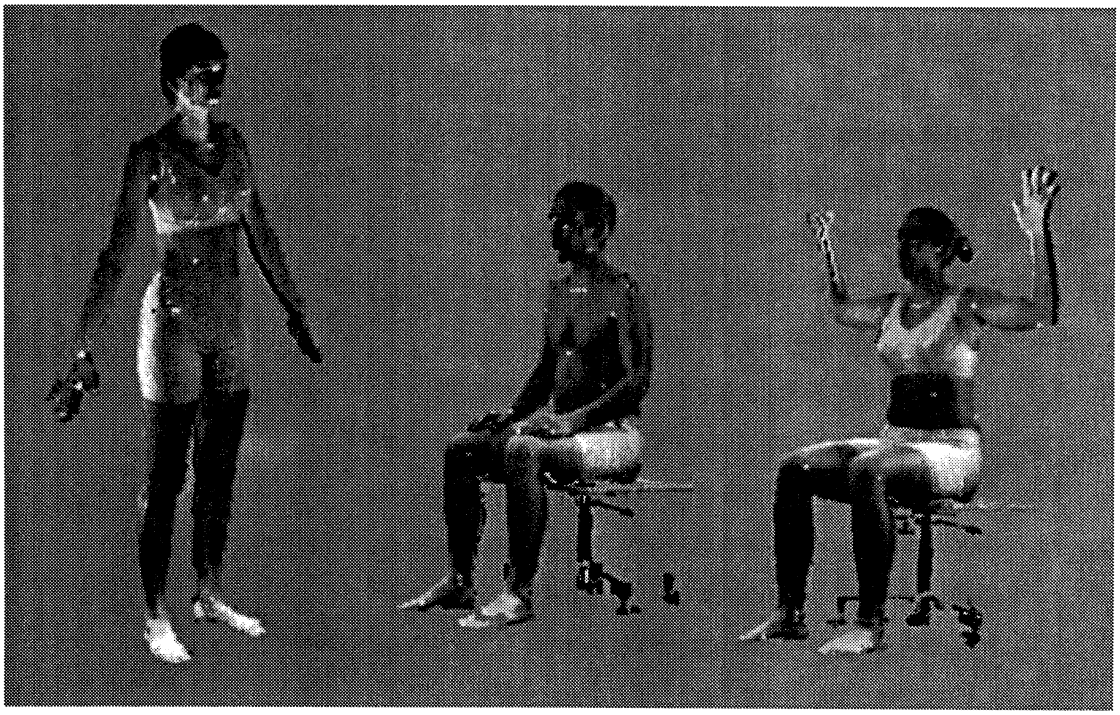


図 2.2　計測姿勢

□ 3 種類のポーズの規格を徹底させる方法

姿勢の取り方、計測方法、ランドマーク等についてを指導するマニュアルとトレーニングプログラムを用意している。

(7) データ処理

● 使用ソフト

・Integrate

ユーザーガイドの作成やトレーニングコース創設のきっかけとなった非常に複雑なシステムであり、人体計測学データ分析のソフトウエアパッケージである。あまりユーザーフレンドリーではなく、SGI でのみ稼動する。

米空軍 CARD Labo で人体の3次元形状を扱える市販ソフトを評価したところどれも不十分であったことから、CARD Labo で人体表面データを視覚化し、分析するプロトタイプの開発を行ったのがこの Integrate であり、以下の3つの機能を有している。

□ 可視化　visualize

□ 解析　　analyze

□ 操作　　manipulate

□ Tutorial の概要

1) 基本動作　basic movement

・ファイル入出力、視点変更、移動

2) 登録技術 registration technique

・ヘルメットを被った状態で撮影された頭部のレントゲン映像から頭部の形状を抽出する技術がある。

これには3つのファイルが必要である。

・頭部だけの走査データファイルで最低3つの解剖学的特徴点のマークがあるもの。

・ヘルメットだけの走査データファイルで3つのヘルメット内部のマークがあるもの。

・ヘルメットを被った状態で上記6つのマークがあるもの。

3) ポイント指定　point picking

・3次元データ上でマウスピック操作によるランドマーク点の定義

4) 特徴の包み　　feature envelope

・ヘルメット形状の頭に対する適合性（瞳孔の位置）

5) 放射状相違地図　radial difference map

・２つの走査データを放射状のデータ形式で相違をとる。

6) ヘルメットの隙間

・ヘルメットと頭の隙間の表示

7) Stereophotogrammetry データの処理

・Stereophotogrammetry の全身データの姿勢を自由に定義し、関節等には切れ目が入る。

・各部独立したデータ（胴体、上腕、・・・）を読み込み、リンクを定義する、その上で各関節角度を定義する。

8) 全身データの処理（サイバーウエア WB4）

・四肢の分割

9) 手計測機具、巻き尺による測定　ノギス:Calipers

・体表面の３Dデータにたいして、仮想のノギスや巻き尺をあてて計測を行う。

10) 全身データに関節中心の定義

・形状データと一般的な関節リンクデータを読み込み、それらの対応をマウスピックで入力する。

● 統計処理

1970 年代から人体三次元計測に従事して来たが、統計については非常に多くの議論がある。三次元形状の特徴抽出に立ち入る前に CAESAR のアプローチについて説明するのに多くの議論を要します。これは簡単に説明できる内容ではない。

2.2 LASS

(1) 機関名称

HUMAG (Human Measurement and Growth) Research Group

(2) 機関所在地

Dept of Human Sciences, Loughborough University, Leicestershire LE11 3TU, UK

(3) 機関の連絡先・問い合わせ担当者

Professor Peter R.M. Jones

Tel: +44-1509-223003 Fax: +44-1509-223490

E-mail: p.r.m.jones@lboro.ac.uk

(4) プロジェクト名称

3D-Scanning-LASS

(5) 目的

医学と産業分野の利益のために、身体の三次元表面形状計測データとイメージデータの取得における技術進歩を促進させるために、正確で素早く広範囲に人体形状を計測できる完全自動のシステムを開発すること。

具体的目標として、衣料産業分野で使用するためのコンピュータ組み込み型のテレビジョン3次元計測システムの開発とCADのためのデータ提供にある。

(6) 計測方法

● 計測装置

・自動3次元身体走査システム LASS (Loughborough Anthropometric Shadow Scanner)

・計測方式：非接触、可視光線

・コンピュータシステムとしては、OS9が稼働しているM68k VMEシステムを使用。最近SGIのEWSも使用している。

・スクリーン上にX、Y、Zの座標を数値で表示するためのデジタル情報を収集するために、Eltecミニコンピュータ (R.C.S. Microsystems Ltd.) を使用。

・装置の構成は、図 2.3 に示す。テレビカメラは、投影された影の平面に対して 60 度の角度で取り付けられている。この角度は、十分な分解能によって半径を測定でき、かつ、身体の他の部分によって隠されて不明瞭になる凹部分に対する補正もある程度可能な最適角度である。

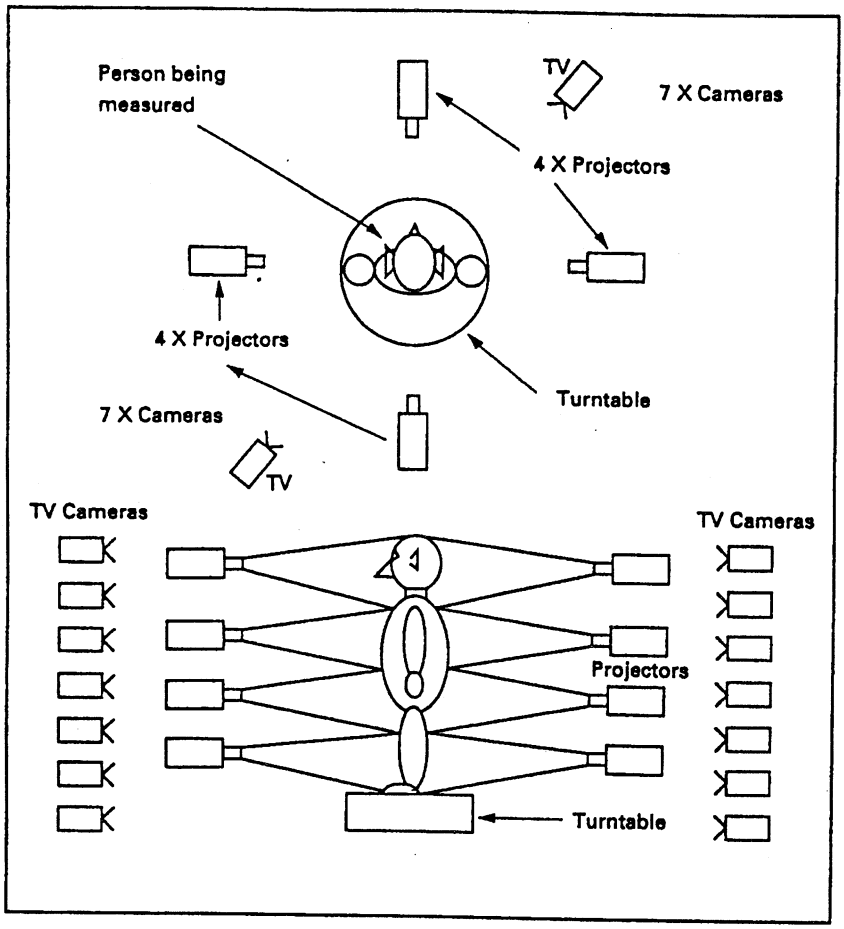


図 2.3　LASS の装置構成

● 計測対象者

・公務員 500 人を対象にし、内 50 人が女性

・属性データとしては、性別、体重、身長、人種、年齢、地域、年収、学歴、職業

● 具体的な計測方法

プラットフォーム上の立位の姿勢の人体が約 3 分で 360 度回転して、約 2.5 度のステップごとに 3 次元データを自動計測する。各位置において、光線が人体に投影され、それらがテレビカメラによって測定される。この作業によって、64000 座標を含む生のバイナリーデータが生成される。このデータは、逸れた反射光によって生じるノイズ

の除去と走査中の不明瞭な領域（例えば、腕によって隠れた胴の一部分）に対する補正処理が行われる。

一般的な原理は、図 2.4 に示すように全身が高さに関連する半径と角度の項目で測定できる。半径は、視界の光スリット端の任意の既知ポイントが回転テーブルの回転中心と一致するように1列に並べられている7つのテレビカメラの2列によって測定される。光のスリットの平面は、回転台の中心を通るので、光の端が身体に投影される全てのポイントによって、垂直平面内のポイントでの水平半径を決定できる。もし、テレビカメラによって視覚化された像の1つの水平線を考えると、回転台の中心と一致する参照点から影までの距離は、そのポイントでの身体の半径に正確に関係している。さらに進んで、テレビカメラの列は、身体のさらに下の半径を計測する。回転テーブルに取り付けられた変換器からの情報によって、半径が測定される角度を得ることができる。そういうわけで、身体の全体形状は、円筒座標系によって定義される。カメラからのビデオ信号は、コンピュータプログラムによってグラフィックディスプレイ上に、任意の与えられた角度における垂直平面の形か、身体の任意の高さでの上から見た水平面のどちらかの画像情報として処理され変換される。表示された情報の1つを指示することによって、1つのパーマネントレコードを得ることができる。

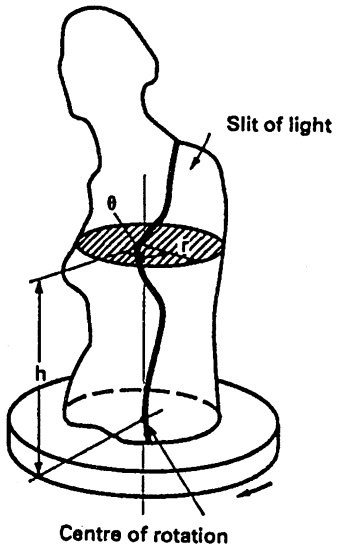


図 2.4　LASS の原理

・計測対象部位：

全身を対象とし、一体の測定に2　3人で作業する。

測定結果の後処理には、約1時間必要。

・測定機器に必要な空間：幅 3m×奥行 8m×高さ 2.5m

● 計測精度

・計測時および後処理時ともにX、Y、Zそれぞれ±3㎜以内

● 計測項目（算出項目／手計測項目）

・人体の周囲、各部の長さ、面積、体積等、適用事例による

● 着衣条件

・下着あるいはレオタード（黒色以外）のような体にぴったりフィットしたもの。

● 計測姿勢

・立位

● LASSから算出した人体寸法と手計測した人体寸法とのずれに関する検証と補正

LASSおよび人体計測による測定値は、一般的には類似しているが、いくつかの場所において、著しい（$p<0.05$）差があった。具体的な場所は、女性に対しては首と胸の周囲およびウェストの幅、奥行きおよび高さであり、男性に対してはウェストの奥行きである。この原因は、人体計測時に巻き尺を水平にしておくことの難しさとLASS上のデータの測定位置の差によって発生したものである。

内部観測者の違いによる誤差は、人体計測（2.0　7.2mm）よりLASS（1.1　5.3mm）のほうが一般的に小さい。しかし、外部観測者の違いは、人体計測に対して3.0　13.1mm、LASSに対して1.3から8.3mmと同じように変動している。

誤差に関する原因は、人体計測に関しては大部分が測定位置の違いによるものであり、LASSに関しては曲線の当てはめ誤差と測定位置の違いによるものである。測定時に使用するマーカーが大きいと、上記の誤差原因を助長するのでできるだけ小さなマーカーを使用することにより精度改善をはかっている。

(7) データ処理

● サーフェスモデリング

LASSによる計測で得られた生データは、人体の体幹部を表現するために、解剖学的特徴と一致する9つの断面（股、ヒップ、ウェスト、アンダーバスト、最大バスト、脇の下、肩、首の付け根、顎のそれぞれの高さ位置）を含む32の断面ラインに一致するデータで標準化される。そして、腕の内側のような編集を必要とする部分を除いて、3次のスプライン曲線を当てはめ、それにともなう制御点は、人体の3次元形状を十分な精度で表現するのに必要な16点が使用されている。

また、上述とは別にDUCTというサーフェスモデラーが、サーフェスモデルを生成するのに使用される場合もある。サーフェスモデルは水平方向に31セクションに分割されており、1セクションあたり30の座標点から成る。このモデルは人体測定学上の形状の正確さを維持しつつ情報を縮少することができる。データの縮小は、適切な水平セクションの除去と各セクションあたりの縮少された代替座標点によって実現できる。例えば、11セクションで1セクションあたり12の座標点のデータに縮小してサーフェスモデルを構成することが可能である。

● 人体測定学モデリング

形状に対する走査データと寸法に対する人体計測学的な調査からのデータの組み合

わせによって、人体モデルの合成をしたいと考えており、現在も研究中である。このモデリングには、走査セクションと人体測定学上のマーカーとの間の関係の知識が手助けになる。走査データから得られたサーフェスモデルは、間節部を結合したモデルを生成するために変更される。

● SAMMIE へ変換

DUCT サーフェスモデラーから B-rep ソリッドモデラーの SAMMIE への変換は、メッシュ表現に容易に転換可能な B スプラインを含む IGES ファイルによって行われる。

● 使用ソフト

・C++あるいは機械語を用いて全て自前で開発されたソフトウェアが、曲線回帰や異常なエラーと身体のマーカーの interrogation の編集に使用されている。

・DUCT サーフェスモデラー

・B-rep ソリッドモデラーの SAMMIE

・商用 CAD システム

(8) データベースに関して

● データ提供形式

・会員に対して MT 媒体によって提供

・無料と有料（1600GBP/day）がある

● データの内容

データの内容は、図 2.5 に示すように、人体の体幹部を表現するための 32 の断面ライン上の三次元表面形状を表すポイントの三次元座標データである。このうち、各データの断面の参照位置を一致させることができるように、解剖学的特徴と一致する 9 つの断面（股、ヒップ、ウェスト、アンダーバスト、最大バスト、脇の下、肩、首の付け根、顎のそれぞれの高さ位置）が存在する。

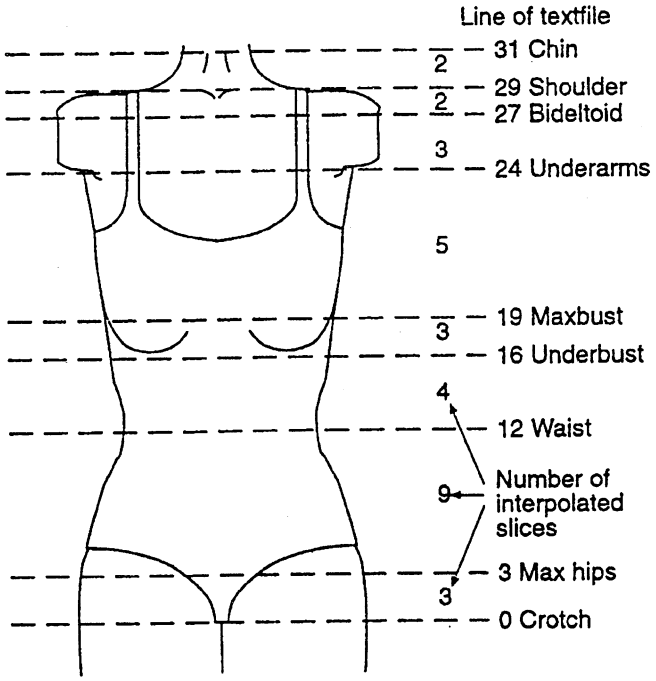


図 2.5　形状マトリックスファイルの中の断面の配置

(9) 三次元人体表面形状データの記述フォーマット

三次元人体表面形状データの記述フォーマット、サーフェスモデリングのところで説明した人体の体幹部の表面を表現する 32 の断面ラインに関する形状マトリックスという形で表現される。形状マトリックスは各断面ライン上の 16 個の x、16 個の y および 1 つの z（高さ方向）の座標値を含むテキストファイル（ASCII）ファイルである。したがって、形状マトリックスは体幹部を記述するために、512 の座標値を含んでいる。このフォーマットによって記述されたデータのサイズは、生データの 4 パーセントにすぎない。実際のフォーマットは形状マトリックスにデータ・ラインの数について記述するヘッダーおよびフォーマットフラグを追加することにより、脚、腕あるいは非対称の人体表現を可能にするための拡張が容易なようになっている。

図 2.6 に具体的な形状マトリックスのフォーマットを示す。

N M RY DX DY

X(1,1) Y(1,1) X(1,2) Y(1,2) ・・・ X(1,16) Y(1,16) Z(1)

X(2,1) Y(2,1) X(2,2) Y(2,2) ・・・ X(2,16) Y(2,16) Z(2)

.

.

.

X(N,1) Y(N,1) X(N,2) Y(N,2) ・・・ X(N,16) Y(N,16) Z(N)

Notes

N = the number of row

M = the mode of file, usual 0

RY, DX and DY = transformation of cross-section in X-Y plane

図 2.6 LASS 形状マトリックスのフォーマット

(10) 三次元人体表面形状データの統計処理方法

人体の表面の表現には、式(1)のような表面のテンソル積を基本にしている。

$$S(u,v)=\sum_{i=0}^{m}\sum_{j=0}^{n}P_{i,j}\cdot N_{i,j}(u)\cdot N_{j,q}(v) \qquad (1)$$

そこで、0<u、v<1. $N_{i,p}(u)$および$N_{j,q}(v)$は、それぞれ u、v 方向における角度 p、q の基本的な混合関数である。ベクトル制御点$P_{i,j}$は x、y および z 座標を含んでいる。1 セットの既知の制御点で、パラメータ u および v が 0 1 に変化するものとして、完全な表面が生成できる。混合関数が一定角度の 3 次スプラインである場合、式(1)は式(2)のようなマトリックス形式をとる。

$$S(u,v)=U^{T}\cdot M^{T}\cdot P\cdot N\cdot V \qquad (2)$$

そこで、$U=\begin{bmatrix}1 & u & u^2 & u^3\end{bmatrix}$、$V=\begin{bmatrix}1 & v & v^2 & v^3\end{bmatrix}$

そして、$P=\begin{bmatrix} p_{i,j} & p_{i,j+1} & p_{i,j+2} & p_{i,j+3} \\ p_{i+1,j} & p_{i+1,j+1} & p_{i+1,j+2} & p_{i+1,j+3} \\ p_{i+2,j} & p_{i+2,j+1} & p_{i+2,j+2} & p_{i+2,j+3} \\ p_{i+3,j} & p_{i+3,j+1} & p_{i+3,j+2} & p_{i+3,J+3} \end{bmatrix}$ $0\le i\le m-3,\quad 0\le j\le n-3$

式(2)はuおよびvの方向に混合関数を構成する4×4パッチ、$U^T \cdot M^T$および$N \cdot V$によって生成されるサブ表面を表現する。

一度サンプルの母集団が選択されていたら、サンプルの形状マトリックスを平均することによって、平均の人体表面モデルを作成することができる。

2.3 ノッチンガム大学

(1) 機関名称

Product Safety and Testing Group (PSTG)

(2) 機関所在地

Institute for Occupational Ergonomics (IOE)
Division of Manufacturing Engineering and Operations Management
University of Nottingham
University Park Nottingham NG7 2RD UK
Tel: +44 (0)115 9513830 Fax: +44 (0) 115 951 3800
http://www.nottingham.ac.uk/

(3) 機関の連絡先・問い合わせ担当者

Dr. Beverley Norris
Product Safety and Testing Group (PSTG)
Department of Manufacturing and Operations Management
University of Nottingham Nottingham NG7 2RD
Tel: (0115) 951 4039 Fax: (0115) 951 4000
Email: beverley.norris@nottingham.ac.uk
http://www.nottingham.ac.uk/ioe/Pstg/index.html

(4) 機関概要

PSTGは大衆商品の安全設計について研究するために1991年に設立され、人間工学、心理学、材料工学の専門性に基づき、政府部門や産業界向けの製品安全性評価や、人間工学、製品設計、消費者安全性に関する長期の基礎研究を行い、その結果を以下のような学術出版物、政府広報に掲載している。また、設計製造業に対する安全設計支援のためのコンサルティングと人体データの提供を行っており、データハンドブックも無償提供している。提供されるデータは子供、大人、老人に分類されている。

the safety of stepladders	はしごの安全性
accidents with all terrain bikes	ATB(MTB)自転車事故
assessment of stair safety for incorporation into building regulations	ビル管理規定中の階段の安全性評価
packaging	人間の衝撃力
human impact forces	子供のふるまい
child behaviour	梱包の安全性
packaging safety	警告記号に対する認知
comprehension of warning symbols	

(5) データベース

● CHILDATA (1995)

The Handbook of Child Measurements and Capabilities Data for Design Safety

子供向け製品開発に人間工学的な評価を適用するためデータである。世界中主要国の147体の新生児から18才までの人体計測、筋力、心理等のデータを含んでいる。

・筋力データ：壁を昇る能力、ビンの栓開抜き、窓開き
・心理データ：安全標識や色に対する理解度

● ADULTDATA (1998)

The Handbook of Adult Anthropometric and Strength Measurements Data for Design Safety (1998)

主要国、18才から64才までの266体の人体計測データおよび28の筋力データを含んでいる。

● OLDER ADULTDATA (1998)

The Handbook of Measurements and Capabilities of the Older Adult Data for Design Safety (due May 1999)

現在準備中（1999年10月15日）である。

2.4 ロンドン大学

(1) 機関名称

Intelligent Systems Group
Department of Computer Science

(2) 機関所在地

University College London (UCL), Gower Street London WC1E 6BT UK

(3) 機関の連絡先・問い合わせ担当者

Laura Dekker
Room 301, Pearson Building
Tel: +44 171 380 7329 Fax: +44 171 387 1397
E-mail: L.Dekker@cs.ucl.ac.uk
http://www.cs.ucl.ac.uk/staff/l.dekker

(4) 機関概要

この組織は三次元計測結果の補間手法、モデリング手法等、データの活用利用に関する研究を行っている。三次元データ収集には、浜松ホトニクスのスキャナーを用いている。以下にUCLの方針を示す。

上記研究は三次元の人体形状データと人体形状モデルの開発によってもたらされる大きなビジネスチャンスに注目するものである。

Cyberware（米）、浜松ホトニクス（日）、Telmat（仏）、TecMath社（独）等の人体全身に使用可能な光学スキャンニング機器の発達に伴い、商業利用が可能な精度を持った人体三次元データ取得可能になってきているが、データを利用するアプリケーションが未発達であると考えられている。洗練されたソフトウエアが開発されると同時に、これらのスキャナー機器は急速に普及し、三次元設計、製造業のみならず、衣料・福祉の分野まで大きな影響を及ぼすと考えられる。

この過程には、電子商取引で英国が指導力を発揮し、英国主導の規格が欧州を席巻し、三次元人体計測データーベースと、注文服も掌握しうるといった、大きな利益を獲得する可能性がある。一方、特にCAESAR計画で収集されるデータの利用により、欧州での米国企業の優位が強まる可能性が強いとの危惧が懸念されている。

Foresight LINK Award（先見性LINK賞）により、電子商取引き（衣料）と医療分野の応用研究に着目した Center for 3D Electronic Commerce が設立され３つの基本プロジェクトが開始されている。

(5) プロジェクト

● 国民サイズ調査

技術的進展と、流通における社会基盤整備に向けた投資、規格化ソフトウエア、可視化、分析、国民データベース、基盤整備計画、スキャナー装置への投資を行う。衣料関連の会社が２　３万人規模の国民体格調査への資金提供を提案している。本プロジェクトはBhsのDerek Bowerが取りまとめている。

UCLではランドマークを用いない三次元形状データに対して、人工知能を応用して自動的に人体測定を行うサイズ規格ソフト（sizing software）である電子仕立てシステム（electric tailoring system）を開発中である。三次元形状計測装置としては、浜松ホトニクスを使用している。

● 注文服

二次元または三次元のスキャニングデータから注文服作成サービスの研究開発が進められている。パートナーたちからは、ユーロファイターの操縦士の飛行服の開発に適用することが提案されている。このプロジェクトは ML ライフガード用品（ML Lifeguard Equipment）の Andrew Baxendine が取りまとめている。

● 仮想衣料販売

顧客が電子売店（electronic kiosk）に設置する双方向テレビを用いて、Web上で試着した自分の姿を確認したえで、衣料の買い物ができるシステムの研究開発が進められている。このプロジェクトはE-CenterのRoger Tillが取りまとめている。

各プロジェクトの参加組織の位置付けを以下に示す。

	国民サイズ調査	注文服	仮想衣料販売
代表パートナー	Bhs	ML Lifeguard	E-Center
技術センター	ノッチンガム トレント大学 Nottingham Trent Univ.	MoD DCTA&TD	ロンドン大学 University College London
パートナー	Next Sears C&A Windsmoor London Colledge of Fashion	ML Lifeguard James and James De Montfort Univ.	Freemans RNB Videonetworks NCR UCL
統合センター	ロンドン大学, MoD, HPUK		

この研究は電子商取り引きの発展に大きく貢献する。政府の補助金は以下の点で評価に値するものである。

1）英国では伝統的に小売業者間の協力体制がとられてこなかった。
2）企業の協力は英国標準をもたらし、欧州標準を導く
3）英国の衣料業界は三次元アプリケーションの先駆者となる機械に恵まれる。
4）UKIT はこの技術開発により競争力を得る。
5）英国人の人体3次元形状データベースの基盤を整備することになる。これは現在医学や学術的な用途でしか自由に使用できないが、産業会には潜在的な需要がある。このようなデータベースは将来の研究により提供される。またこのようなデータベースはより洗練されたソフトウエアツールによって利用される。

最後にこの基金は、未来の企業にとって重要な世界規模の英国人センターを発足させるものである。

2.5 その他

その他の調査対象とした組織の接触先を以下に列挙する。LAA は、頻繁に E-mail でコンタクトをしたが、全く回答が得られなかった。それ以外の組織は三次元形状に関する研究は具体的には進められていない様子であった。

□ フランス

LAA (Laboratory of Applied Anthropology)
45, rue des Saints Peres, 75270 PARIS Cedex 06, FRANCE
R. Mollard
E-mail: laa@citi2.fr

□ ベルギー

Vlicht v.z.w.
ベルギーの身体障害者の補助機具に関する情報流通センター1989年11月に設立された。
Tervuursevest 101
3001 Leuven
tel.: 016/32 91 00
fax: 016/32 91 98
email: vlicht@flok.kuleuven.ac.be
http://pluto.flok.kuleuven.ac.be:80/vlicht/

□ 韓国

韓国標準科学研究院
Jin Ho Kim, Ph.D.
Korea Research Institute of Standard and Science
P.O. Box 102, Yusong, Taejon, 305-600, Korea
Tel: +82 (42)868 5452
Fax: +82 (42)868 5455
E-mail: kjh@kriss.re.kr
http://krissol.kriss.re.kr/kriss99/calibrate/ergonomics/ergonomics.htm

□ インド

インド国立デザイン研究所（Indian national Institute of Design）

Pardi Ahmedabad 380 007 Gujarad India

Tel: 91-79-274-3521 Fax: 91-79-6638-465

代表者: Exective Director　Mr. Vikas Satwalekar

研究担当者: Dr. Debkumar Chakrabarti

□ 中国

人体模版　不明

3. 国内における人体三次元形状データの利用状況

HQLの人体計測データを購入した企業の中から、アパレル、スポーツ、各種機器の各分野における現在の利用状況について目的、効果、問題点および要望に関するヒアリングを実施した結果について報告する。

表3.1　人体三次元形状データの利用目的

●利用目的	会社名
1977年のJIS規格改定に対するスポーツウエアサイズの見直し	ゴールドウイン
1977年のJIS規格改定に対するスポーツウエアサイズの見直し、ヘルメットの開発	アシックス
着装シミュレーションを行うため	セーレン
着装シミュレーションを行うため	東レ
空気ボンベを背負う際の着装性の向上を目ざした、ボンベのフレームの設計検討	川重防災

表 3.2　人体三次元形状データの利用効果

●利用効果	会社名
20代の寸法データを全て購入し、寸法規格見直しに役立った。 三次元データは、年齢と９種類の体型（身長３×太さ３）の代表データでしか入手できないため、表示視点位置を指定位した印刷物のみを購入した。	ゴールドウイン
寸法データは寸法規格見直しに役立った。ヘルメットについては他部署のため不明。	アシックス
当初は２０代女性の体型３種類×身長３種類の合計９体程度は購入する予定でいたが、　計測時のエラーと思われる不連続点データが多くあり、手作業で修正を試みたが負荷が大きいので断念し、５体購入した時点で中止した。	セーレン
計測着により、女性のバスト形状が扁平になっているので、最終的には人台を計測したデータを用いた。	東レ
まだ本格運用していない。	川重防災

表 3.3　人体三次元形状データの問題点・要望事項

●問題点、要望事項	会社名
用意されたの代表データしか入手できないのでは　利用価値が低い、　生データをユーザーが直接検索できるようにして欲しい。 加齢による体型変化を把握できるような各年代の代表体型の差分を把握したい	ゴールドウイン
用意されたの代表データしか入手できないのでは　利用価値が低い。 現在のデータ収集は衣料分野目的にかたより過ぎており、靴メーカが必要な情報収集が得られない。 工学的なアプローチに留まらず、医療分野との協力により、骨格、筋肉、脂肪等、人体の内部構造にまで踏み込んだ人体データの収集を行ってほしい。	アシックス
ノイズの少ないデータの収集が必要、前面と背面の接合部の一致も必要。	セーレン
着装シミュレーションには、通常の下着を着用した形状が必要。 着装シミュレーションには、肩、肩甲骨近傍の形状に高解像度が必要 用意されたの代表データしか入手できないのでは　利用価値が低い、　生データをユーザーが直接検索できるようにして欲しい。 計測エラーと思われる点はかなりあった。	東レ
３次元形状データに対する採寸ができるアプリケーションが整備されるとよい ３次元形状の平均化等、統計処理技術の開発 複数の代表的姿勢の形状を整備し、関節の屈曲による伸びが分かるとよい。	全ヒアリング先

表 3.4　人体三次元形状データのデータ処理

●データ処理	会社名
アパレルCADパトリア（東レ開発）を利用して型紙設計、グレーディング　を行っている。将来的には人体の三次元形状データに対する着装シミュレーションを行いたい。	ゴールドウイン
着装シミュレーション機能を持つ、マルチCADを社内開発　人体データ形式にはこだわらない	セーレン
I-DEAS Master Series上で人体データをサーフェスモデルに置き換えて利用　胴体と四肢の接合が難しい 顧客が服を着たままで採寸できる項目から体型を類推するシステムを開発している。３サイズ、肩幅、身長等から多変量解析を行い、クーンズパッチで表現された形状を変型処理している。数10点の制御点を用いた変型計算は五秒程度で終了する（WindowsNT機）。 将来的には類推した３次元データをアパレルCADに取り込み、立体裁断までの一括したシステムの構築も念頭にある。	東レ
将来的には類推した３次元データをアパレルCADに取り込み、立体裁断までの一括したシステムの構築も念頭にある。	川重防災

4. 海外における人体三次元形状データ利用状況

4.1 自動車関連

(1) ダイムラーベンツ

従来、人間工学を製品設計に生かすには、以下に示す2つの原因で大規模な実験と多くのくり返し手順を必要としてきた。

・形態学的に真に代表的な人体モデルを抽出することができない
・CADデータに基づいて構成された環境において、真の人間の反応を推測することは非常に難しい。

ダイムラーベンツでは、これを克服するために豊富な人体計測データをCAD上の人間モデルRAMSISの人体形状データベースとして使用している。

従来、CADシステムでは自動車の内装設計のために、人間のテンプレート（2次元断面モデル）がドイツの工業規格で定められ（DIN 1981）用いられてきた。しかし、これを使いこなすには専門家の蓄積された技能が不可欠であった。

一方、CAD上の人間モデルRAMSISは以下の2つの条件を満たす人体形状データベースがあれば、従来原寸模型が必要であった設計評価をCAD上で行うことができ、これにより設計課程を最適化することができる。

・実在の人間を対象としたデータであること。
・1994年のGeuss&Bubbの基準を満たすデータであること。

CADシステムで最適化された設計を人間自身で評価するために、ダイムラーベンツでは1996年からコンピュータ制御された自動車の可変原寸大模型を用いている。これはCADシステムと連動しており、どんな幾何学的な形状でも調整可能である。その模型上では激しい運転状況のビデオが写し出されハンドル、アクセル、ギアシフトの操作性を評価される。

このシステムによる評価を実行するためにベンツではRAMSISのもつ人体データの形状に近い社員を集めたグループを作り、RAMSISのシミュレーションによる評価と実際の人間の感覚の擦り合わせを行っている。その結果RAMSISのシミュレーション結果と可変実寸模型での人間の幾何形状は定量的に同一の結果をもたらした。この結果よりメルセデスベンツでは、

・RAMSISの人間モデル
・CADと連動した可変実寸模型

・人間の体型のバラツキを代表する人間の集団

の3者の組み合わせを設計ツールとして利用することにより設計過程を加速することができた。この方法は成熟の度合いを増すごとに人間による実験の量を減らしていくことができる。

具体的な評価の実例としては、以下に示す2グループで行われた。

・大柄な男性

・小柄な女性

(2) フィアット

現在、自動車産業における人間工学的な分析方法は、実際の車またはシミュレーターを実際に人間が操作した感覚に基づいて評価している。これは、個人の主観に大きく左右されるために、正確な評価は難しい状況にある。そのために、個人の主観に大きく左右されずに評価できる手法の開発が必要とされている。これに答えるべく車の挙動と人間の動作の相互作用を分析し、車の構造的なパラメーターを修正していく方法の分析行い、この分析と動作のデータベースから複雑な環境の中で動作のKINEMATICSを計算する方法を開発した。

この手法の根幹は実際の動きを撮影した映像データにあり、第一段階として、複雑な環境下での動作映像の分析からはじまった。このために次の3つの要素のモデル化が行われた。

・生体力学モデル
・駆動モデル（Motor）
・自動車モデル

フィアットでは、この生体力学モデルに人体三次元形状データを適用している。この生体力学モデルにおける人体モデルは、16の解剖学的部分から構成されている（頭、腕、前腕、手、腿、すね、足、胸、腹、腰）。この解剖学的特徴点を抽出するために、全身に合計11個のランドマークが設置している。具体的には、頭に3箇所（額、頭頂、後頭部）、体幹に2箇所（左右のacromion）、下半身に6個（左右の大転子、膝、踝）が設置され、ELITE Rシステムというシステムを用いて、3次元空間における人間の特徴点の軌跡を記録して、動作の3次元測定を行っている。測定にあたっては、測定対象の人間に球形または半球形のランドマークを装着し、左右両側から4つのTVカメラで撮影している。そして、人体三次元形状データを適用に関しては、表面形状そのものよりも寸法に重点を置いた適用を行っている。

この研究の被験者として5人の男性と1人の女性が参加している。年齢は26-31才、身長170-183cm、体重50-94kgである。

(3) サーブ

自動車の座席の設計変更がもたらす快適性の向上が、人体三次元形状データベースを装備したRAMSISによって予測できるかどうかの検証を行っており、RAMSISの使用にあたって、人体三次元形状データを利用している。人体三次元形状データの利用にあたっては、身長、座高、ウェスト周囲長に重点が置かれている。

まず自動車内部原寸大模型が用意され、21人（男性10、女性21）の評価者により、快適性の評価を行っている。原寸模型は6方向の電動調節機能を持つ座席、傾斜調節可能なハンドル、X,Y方向に調節可能なギアレバー、駐車ブレーキ、ペダル等を備えており、評価者は5-95%タイル値に分布するように選ばれた。

次に原寸模型のCADモデルが作成されRAMSISに取り込み、さらに21人の評価者の人間モデルが身長、座高、ウエスト円周から構築された。ここで各自が設定したハンドル、シート、ペダルの配置に従ってRAMSISによる快適性の評価を行っている。

全21ケースの結果は、10ケースでは人間とRAMSIS共に2番目のポジションに最も快適である評価を下した。3ケースでは人間が2番目に最も快適な評価を下したのに対して、RAMSISはそれより低い評価を下した。5ケースでは人間が2つのポジションの快適性が同じであると評価したのに対して、RAMSISはそれ以上（4ケース）か以下（1ケース）の快適性を示した。3ケースでは人間が2番目をより快適であると評価したのに対して、RAMSISは同じであると評価した。

この結果は、RAMSISが約50%の確率で人間と同様に、より快適なポジションを検出したことを示す。関節角度のわずかな変化が0.1ポイントの評価の変更をもたらすので、この値をエラー限界とすれば精度は60%に向上する。エラー限界を0.5としても精度は50%を上回るので、RAMSISの評価は有効であると考えられる。したがって、人体三次元形状データから構成された多くのコンピュータマネキンを使用することが重要である。

(4) GM

コンピューターマネキンは以前から、作業空間評価、スポーツの評価、映画産業等で用いられてきたが、自動車の開発には有効ではなかった。その理由は以下の3点に関することの要求を満たせなかったからである。

・自動車産業にとってヒップポイントの情報が不可欠。
・運転姿勢に近い着座姿勢をとれる。
・車やそのシートの CAD データに対して一貫性のある現実的な姿勢をとることができる。

しかし、RAMSIS は自動産業で利用できるようにするために、これらの条件をカバーするようにドイツの自動車産業と自動車のシート産業によって開発された。様々な車の様々な運転状況の運転テストにおける、運転手のシートポジションや姿勢の快適性が記録され経験データベースとして構築され、このデータベースから RAMSIS モデルの挙動が引き出される。GM では、人体三次元形状データを RAMSIS と共に有効活用するために、様々な検証実験を行っている。

□ 実験1

ここでは同じ作業者による姿勢予測が RAMSIS のマネキンで再生可能かどうか、また異なる作業者の姿勢予測に相違が現れるかどうかを試した。

・姿勢の評価項目　　：ヒップポイントとアイポイント
・人間モデル　　：人体形態エディタに基づいて作成した RAMSISI の3つのマネキン（背の低い女性、背の低い男性、背の高い男性）
・車環境　　：1994 年の生産車 GrandPrix の CAD データ

2人のエンジニアとデザイナーが別室でそれぞれ3回姿勢予測を行い、ヒップポイントとアイポイントを記録した。

□ 実験2

ここでは RAMSIS の姿勢予測と現実の運転手の姿勢を比較評価した。現実の運転手の姿勢は、ミシガン大学輸送機関研究所 UMTRI (University of Michigan Transportation Research Institute) で 100 人の運転手に対してヒップポイントとアイポイントが記録された。自動車環境は実験1と同様である。

RAMSIS マネキンは UMTRI の 100 人から 30 人を抽出して、身長、座高、ウエスト円周

の３要素から、１５人の女性（背の低い５人、普通の５人、高い５人）、１５人の男性（背の低い５人、普通の５人、高い５人）を作成した。

□ 結果１

３回の姿勢予測で２人の結果は同じであることが確認できた。

□ 結果２

運転手とマネキンの結果（ヒップポイントとアイポイント）は非常によく一致した。ヒップポイントの相関係数は0.91、アイポイントのXとZ座標の相関はそれぞれ0.73と0.668、目の位置の平均の位置の差は2.6mmであった。

□ 結論

RAMSISのマネキンによる評価はオペレーターによる影響を受けないことが確認された。マネキンによる姿勢予測のヒップポイントとアイポイントは、GM/UMTRIの実験結果のばらつきの範囲内におさまり、十分な精度をもっていることが確認された。

(5) ミュンヘン工科大学

ミュンヘン工科大学（Technische Universitat Munchen）の人間工学研究所において、高速で信頼性が高く正確な人体の三次元姿勢計測システム PCMAN が開発された。PCMAN の計測によって得られたデータは CAD の人間モデルである RAMSIS 上で利用される。

ドイツ自動車工学研究会（German Automobile Engineering Research Association:FAT）は、実寸模型を使わずに CAD の中で人間の操作性、居住性、快適性を評価することを目標として、1988 年から研究プロジェクト「三次元ソフトダミー」を開始した。

「三次元ソフトダミー」プロジェクトの成果の１つは、キール人形（Kiel Doll）や,Bosh テンプレートのような古い手法にかわるべく、カイザースラウターンの TecMath 社により RAMSIS として商品化されている。もうひとつの成果として、RAMSIS で用いられる人体形状および姿勢と快適度合いといった人間特性データベースの開発が進められた。この中で PCMAN は 1994 に Geus と Seidl により紹介され、それ以降開発と改良が続けられてきた。

PCMAN では Weiss（1985）の手続きに基づく、安価なデジタル写真を利用した測定システムで、測定対象物周囲に配置された複数の CCD カメラからのデジタル映像に基づいている。この手法の選定にあたってはレーザー走査や可視光線等の様々な方法の長所短所を検討した上で決定された。以下にその一例を示す。

・レーザー走査：測定が高速で、対象物の動きにの影響を受けにくいが高価
・コード化された光り投影：安価だが、対処物の動き影響を受けやすい

RAMSIS は PCMAN で得られた形状データから、その内部に持つ基本骨格データを修正した上で外部形状を再構成している。PCMAN は測定前のキャリブレーションにかなり専門的な作業を必要としている。現在、より運用性を向上させる計測アルゴリズム開発が計画されている。それまでは PCMAN が最も優れたシステムとして利用される。

4.2 航空宇宙関連

(1) ロッキードマーチン

フォートワースのロッキードマーチン社戦術航空システムにおいて、以下に挙げる製造作業と保守作業に対する人間工学シミュレーション導入の評価を、人体計測データを用いて実施している。

・製造課程:F16 戦闘機のアッセンブルされた垂直尾翼の胴体への組み付け作業課程。
・保守　　:F16 戦闘機の射出座席（非常時に射出される）後方に設置される拡張データエントリーエレクトロニクスユニットの交換作業課程。

シミュレーションツールとしては Deneb 社の対話型ロボットシミュレーションが可能な IGRIP と ENVISION のソフトウエアパッケージを用い、航空機の CAD データは CATIA から ENVISION へ変換して利用している。

□ 製造作業課程

製造作業課程では次の２つの評価をおこなった。

・NIOSH（国立安全衛生研究所）のリフティングアナリシス：
労働者が重量物を持ち上げる際の腰への負担の評価方法。水平、垂直方向、角度の位置関係から持ち上げられる重量限界を示す。

・RULA 姿勢分析：
腕の損傷危険度を仕事量と筋肉使用量からリスク要因を分析して、評価結果を人体モデルの色で示すシステム。

□ 保守作業課程

人間工学シミュレーションが工学の世界に受け入れられるには、シミュレーションが現実の世界を正確に表現していると認知されることが不可欠である。このためには次の２点の評価が重要となる。

・シミュレーション結果が正確であること
・シミュレーション時間

シミュレーション結果の「精度」についてはリーチ、適合度（fit）、視野、強度等について評価され、実際の人間に十分近いといった結果が示されている。「時間」については以下の項目の追加検討が行われている。

・フライト毎保守時間 MMH/FH maintenance manhours per flight hour

・平均修理時間 MTTR mean time to repair

女性の5パーセンタイル値から男性の95パーセンタイル（小さい女性から大きな男性）の人体計測データを用いたシミュレーションによって、これまで実物大の模型を用いて行われていた組み立て検討、保守性検討が、大幅に短縮できることが示されている。

(2) ボーイング

ボーイング社は80年代後半にCATIAというCADシステム上で人間モデルを開発し、最近、人間モデルの新しいリーチモデルを開発している。手足の到達域シミュレーションを目的として、全身のインバースキネマティックスを導入している。人体計測データは、このプログラムで使用するために、34の寸法データと39の関節可動性データを収集している。

通常の航空機の操縦における手足の到達性を、手足の先の位置と、手足各部の位置を含めて評価している。また最大の到達性評価として、届かない目標に向かって手足を伸ばした場合の評価を行っている。いずれの場合も実験では、被検者の関節（手先、手首、肘、肩、つま先、足首、膝、にLEDを取り付け、手足を伸ばす際の各部の挙動を記録している。実験は数回行われその平均値とシミュレーション結果と比較している。

その結果、手先足先の到達距離は最大で2.8cm程度の差であり、これはLEDの読み込み誤差程度と考えられる。一方、その他の特徴点、肘、肩、膝等の位置のずれは15cm以上とかなり大きな値となった。この対策として肘、膝関節が伸展時により大きく拡張するようにアルゴリズムを改良している。

4.3 医療分野

この分野の応用のポイントは、正確な三次元形状復元や三次元の位置決めに利用されており、そのためにいずれも正確な三次元表面形状そのものが要求されている。

(1) 適用1 (Marks & Spencer plc)

ブラジャーメーカーと協力して乳癌患者の手術後の外観形状復元のための支援に利用している。

具体的には、手術前の乳房の正確な形状と手術後の切除部分の形状を計測しておき、それぞれの三次元形状データを重ね合わせることによって切除部分の正確な体積と形状の三次元形状データを得ることができ、そのデータを用いて手術後の外観形状を復元するたにブラジャーの中に補填する樹脂形状を作成するのに利用されている。

(2) 適用2

□ 放射線治療時のX線チューブヘッドの位置決め

X線チューブヘッドは、放射線ビームの放射線が血液を製造する器官および骨髄を回避するようにした上で、治療する部位に正確に照射されなければならない。病理学者が腫瘍の正確な部位を発見するためには、ポジショニングワイヤーを使用するが、これには、正確な身体形状の情報が必要である。この情報を採取する時間を大幅に縮小し、要求された角度へX線チューブヘッドをコントロールし、正確に位置決めするのに応用されている。

5. 提言

本章ではこれまでの調査結果を踏まえて、「身体形態特性データの計測・データベース化手法に係わる標準化」にあたって、今後の活動に対する提言を述べる。

5.1 利用者各分野からの要望

ヒアリング調査結果から、人体三次元形状データおよび研究内容に対する要望を分析し、以下にまとめる。

(1) データベースとしてのデータの内容

- □ 衣料産業において、人体三次元形状データを用いて着装シミュレーションを行うには、服を支える肩、鎖骨周辺の形状が非常に重要であり、従来の人体三次元形状データでは解像度が粗すぎる。データの解像度としては、平均的に 2mm 間隔程度必要である。
- □ 人体三次元形状データは、精度だけを追求しても意味がない。衣料産業では、生活行動の中で衣服の形状および素材の最適化を計るために、手を挙げる、座る等の姿勢を変化させたときの人体三次元形状データが必要である。
- □ 女性向け衣料分野では、バスト形状が押しつぶされていない洋服着用時の下着に近い状態での形状データが必要である。
- □ 人体三次元形状データの解像度ならびに精度要求は、利用対象となる産業分野によって異なるので、共通の汎用人体三次元形状データベースの構築は不可能と考えられる。したがって、例えば履物業界に対応した足の三次元形状データというように、適用分野毎に適した部位の人体三次元形状データを整備すべきである。例えば、首から上の顔と頭部、体幹部から脛まで、足部の三つの部位に分割したデータの整備を検討すべきである。
- □ データの規格化に関しては、表面形状の座標値が体のどのへんのデータを示しているかを管理できるようなデータのアドレス管理や人体の解剖学的特徴点におけるランドマークと形状データの対応が必要である。
- □ HQL の人体三次元形状データからサーフェスモデルへの変換に多大な労力が必要なので、利用者に多大な労力をかけさせないためにサーフェスモデルに変換後のデータの提供を検討すべきである。

(2) 利用のためのデータ処理

- □ 人体三次元形状データを基に、任意の寸法値（例えば、体幹部の周囲長、厚み、幅、臀部の頂点の高さ等）の計測処理が可能なデータ処理機能が必要である。
- □ ある体型から別の体型の寸法値、断面形状、三次元形状に関する差分の分析が可能なデータ処理機能が必要である。
- □ 蓄積された人体三次元形状データから任意の属性の標準体型の三次元データを生成するデータ処理機能が必要である。

(3) データベースシステムを用いたサービス

人体の三次元形状データに関して、利用する企業側において、今後どのような寸法やデータ種類が必要になるか完全に予測することは困難である。そのために、多数の人体三次元形状データを購入し、自社のコンピュータ環境を用いてデータ処理することによって種々の寸法データを得ることができる環境を構築するのが望ましい。しかし、企業の経営体力によってはそのような環境を用意できないところもあるので、将来的にも多様なニーズに応えられるように、人体三次元形状データに対して任意の寸法を取得可能なソフトウェア環境を用意し、希望があれば、指定された属性に対応する特定の寸法の統計値を採寸、集計して提供するサービスを行うデータセンター的機能を期待したい。

5.2 人体三次元形状データ計測のありかた

5.1で示したようにHQLの現状の人体三次元形状データの利用の結果、様々な問題点が抽出され要望が出ている。それらを踏まえ、今後のデータ計測のありかたについて再検討する必要があると思われる。以下に検討項目の案を列挙する。

(1) 計測姿勢の種類

計測姿勢は、立位だけではなく、着座、挙手、歩行姿勢、しゃがむ等の生活動作に係わる姿勢に対する人体三次元形状を計測する必要がある。このことによって、関節部の皮膚の伸縮、形状の変形状況が把握でき、姿勢変化過程の三次元形状の推定にも寄与し、一般生活動作をカバーした製品設計に寄与することができる。

計測姿勢の種類を増やすことによって計測数が膨大になるという懸念があるが、人体サンプル数より計測姿勢の種類を優先すべきであり、現状のデータは 34000 体分のデータが取られているが、日本人だけだと約1000体で十分と思われる。

(2) 着衣条件

女性のデータを計測する場合、従来は水着のように体にフィットし締め付けるようなウェアを着て計測していたため、バスト形状が押さえつけられて潰れた状態になり、正確な形状を再現できていないという状況である。従って、今後新たに人体三次元形状データを計測する場合、バスト形状を極力変形させないウェアの着用あるいは通常衣服の下に着けている最も一般的な下着の着用を検討すべきである。

(3) マーカー箇所

現状の人体三次元形状データの内容は、人体の解剖学的特徴点と三次元形状データの情報が関連した形のデータになっておらず、三次元形状データの推定補間を行う場合、基準になるポイント情報がないため非常に困難な状況である。従って、人体三次元表面形状を特徴付ける解剖学的特徴点（骨格、筋肉の分かれ目、関節点等）上にマーカーを張り付け、三次元表面形状座標点と関連づけられるデータとすべきである。

(4) マーカー設定技術者レベルの調整

マーカーを設定するには、“解剖学的特徴点を正確に判断する技術”が必要である。

人体三次元形状の計測にあたって、この技術を持ったスタッフを如何に集めるかが重要な課題である。

5.3 サーフェスモデルへの変換

人体三次元表面形状を表す点群データをサーフェスモデル化するには、5.2(3)で述べたような解剖学的特徴点からなる制御格子から曲面モデルを生成するのが、最も自然と考えられる。しかし、NURBSモデラーを代表とする従来のモデラーでは曲面を表現する制御格子の形状は4角形や3角形でなければならないという制約があるため、関節接合部や凹部など複雑な表面形状を表現するには膨大なデータを必要としかなり困難である。最近、これを解決するラティスカーネルというソリッドカーネルが慶応大学とラティス・テクノロジー（株）の共同で開発されている。ラティスカーネルの特徴は、制御格子の形状に制限がないということである。そして、独自の曲面生成技術により、5角形以上のどのような格子形状からも、滑らかな曲面を生成できるアルゴリズムを確立している。このラティスカーネルのアルゴリズムを用いることによって、人体三次元表面形状を表す点群データと解剖学的特徴点から容易にサーフェスモデルを生成することができる可能性が非常に高く、またデータを大幅に圧縮できる可能性があるので、このアルゴリズムを検討する必要がある。

ラティスカーネルの適用に関しては、次のような方法が考えられる。一つ目は解剖学的特徴点から自動的に制御格子データを生成しその格子データからサーフェスモデルを生成するか、あるいは解剖学的特徴点および人体三次元表面形状を表す点群データから4角形か3角形のポリゴンデータを作成し、それから制御格子データを生成しサーフェスモデルを生成する方法ある。二つ目は、あらかじめ人体の解剖学的特徴点および人体三次元表面形状を表す点群データから三次元表面形状を表現するのに理想的な解剖学的特徴点を含む制御格子を作成しておき、それをテンプレートとして人体三次元表面形状を表す点群データ上の解剖学的特徴点に合わせて、制御格子を移動させ当該の人体三次元表面形状を表す点群データに対応したサーフェスモデルを生成する方法である。これらの方法を用いることによって、三次元形状データの統計処理も容易になる可能性がある。

5.4 人体三次元形状有効活用のための研究開発体制

人体三次元形状の計測およびデータベース化は、従来工学的な取り組みを中心行われてきた。しかし、人体形状は姿勢や動作による変形量が大きく、表面形状の三次元計測の情報だけでは様々な姿勢の人体形状の推定が困難であり、動作や姿勢の決定要素である骨格や筋肉組織に基づいたアプローチが必要になる。理想的には人体の三次元表面形状とMRI（磁気核共鳴装置）による人体組成（骨格、筋肉、脂肪）の計測データをデータベースとして蓄積する必要がある。人体組成のデータ蓄積は法的な規制もあり、民間企業では対応できない分野であり、工学系だけでは対応できない領域であるが、医学系研究者はあまり興味を示さない境界領域でもある。

このように民間では対応が不可能な工学と医学の境界領域の分野に対して、HQLのような公的機関が主導して、これらの境界領域を埋めるような研究開発体制を構築すべきである。

6. おわりに

本調査は、人体の三次元形状データの国際標準化に向けた活動に資するために、データ活用に関する国内外の実態調査を実施した。国内のデータ利用機関に関するヒアリング調査においては、利用側の受入体制および企業体力等の問題もあり、十分活用し成果が得られているとは言い難い。しかし、データ利用の必要性はかなり認識しており、データが規格化され、利用者の労力の負担が少なくて利用できるようになることが望まれている。

国内外の全体的な利用実態としては、衣料産業では三次元の正確な形状データを必要としているが、その他の産業では三次元の形状データよりも寸法データのほうが重視されている傾向にある。これは、三次元の形状データが規格化されておらず、統計処理も難しいということと、データを容易にハンドリングするソフトウェアの整備が遅れていることにも起因していると思われる。

付録5　ISO Technical Report Draft (案)

Subject:

三次元人体計測データ・ファイルフォーマットに関する技術報告書

(Technical Report on 3D-anthropometric data file format)

Introduction:

最近、人体寸法計測において、時間の短縮化及び測定の簡略化などの理由から三次元スキャナーによる寸法計測が行われるようになってきた。一方、今までは様々な製品設計や空間設計において人間工学的視点を考慮するために人体寸法が活用されてきたが、これに加え最近ではコンピュータによる三次元設計が普及してきたこともあり、人体の形状データを三次元のまま直接、製品設計に活用できる環境が整備されてきた。このような理由から今後、世界において人体の三次元形状計測を含む大規模な人体計測測定が行われることが予想される。現にアメリカ・イタリア・オランダでは CAESAR-Project という三次元形状計測を含む人体計測が総計1万人規模で実施されている。

人体三次元形状データを製品設計・空間設計等に応用してゆく場合には、形状データの様々な加工処理が必要だが、これは形状データ単独で可能な場合もあるが多くの場合、人体寸法データや特徴点座標データ、あるいはテクスチャー画像データなどを必要とする場合が多い。現在、これらはそれぞれ別々のデータとして様々なフォーマットで使用されている。しかし、人体形状データを人間工学的な視点で処理していく活用を考えた場合、あるいは計測データをデータベースとして蓄積していく場合、さらにはデータを配布・流通させていくことを考えた場合には、これらのデータをデータグループとしてひとまとめに集約し、パッケージ化する事が効率的であると考えられる。

これらデータの中でも特に人体形状データの活用を考えると、これをある目的に応じてモデリング処理をしていく場合、現在ある三次元スキャナーから抽出される点群データのモデリング処理には多大な労力を要する。そのため人体形状データの単なる点群データにラベル情報と順序情報を付加することは面を張る処理や断面形状を算出する処理における負荷が格段に軽減される。このように人体形状点群データに付加情報を加えるような、人体形状処理に対する負担を軽減するデータフォーマットは今後急速に求められていくことになろう。

このような観点から、今回、新たな三次元人体計測ファイルフォーマットを提案したいと考える。

Scope:

この規格案は三次元人体形状計測を含む人体測定を行った場合の、人体寸法データ、特徴点データ、形状データ、画像データを1つのファイル群として格納するファイルフォーマットの形式を規定したものである。

これは主に大規模人体計測を行った場合のデータベース構築及びデータ公開・配布に都合の良いフォーマットを想定しており、その主な利用者は製品設計・空間設計に携わる技術者や人体形状処理を行う研究者を中心に考えている。

その利用は、平均標準人体形状の算出や形状データからの未計測人体寸法データの抽出、2形状間における差分情報の抽出、人体形状の空間分布状態の把握など、人体形状の三次元的処理が中心となる。これらの処理を施すことで安心・安全、快適で使いやすく、様々な形状特性を持った個人にフィットする製品設計・空間設計を可能にしていく。さらに、集団の形状データを分類・類型化し数量的な分布を把握する事で企業のきめ細かなマーケティング戦略に反映させ、製品の流通管理などを効率化することにも寄与できる。

Normative reference:

ISO　7250：1996　技術的設計のための基本人体測定項目
（EN ISO 7250: 1996, Basic human body measurements for technological design）

ISO/WD　15535　人体計測データベース
（ISO/WD 15535: Anthropometric database）

Definitions:

1．人体計測用語
　①3D-anthropometry
　②3D-scanner
　・
　・

2．姿勢
　①自然立位
　②基本座位
　・
　・

3．人体寸法（ISO 7250 に記述された 56 項目）
　①
　②
　・
　・

4．特徴点（ISO 7250 に記述された 23 項目）
　①
　②

③
④
・
・

5．コンピュータ関連用語
・
・
・

3D-anthropometric data file format:

（以下、p.93　3．4．4　提案フォーマットの仕様　の内容）

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ
新エネルギー・産業技術総合開発機構
基盤技術研究開発室　にご連絡下さい。