

平成 12 年度  
経済産業省研究受託成果報告書

高齢者特性計測機器等開発委託

寸法・形態計測機器開発

平成 13 年 3 月

社団法人 人間生活工学研究センター



## 目次

### はじめに

1. 本事業の目的と開発目標	2
1. 1 高齢者計測に特化した全身用人体計測器の開発	2
1. 2 高密度頭部用計測器の開発	2
1. 3 人体用スライディングスケールの開発	3
1. 4 計測器検証用のダミー製作	3
1. 5 画像データ変換ソフトウェアの開発	3
2. 研究体制	4
2. 1 開発体制	4
2. 1. 1 組織及び管理体制（委員会、組織）	4
2. 1. 2 研究員	5
2. 2 検討委員会	5
2. 2. 1 委員会委員構成	5
2. 2. 2 委員会の活動	7
3. 開発計測器仕様	9
3. 1 人体形態計測関連	9
3. 1. 1 人体寸法計測	9
3. 1. 2 コンピュータ・マネキン	9
3. 1. 3 アパレルCAD	9
3. 1. 4 各種製品設計	10
3. 2 人体形状計測装置の現状	10
3. 2. 1 全身型計測装置	10
3. 2. 2 3次元形状計測装置	11
3. 3 関連する国際動向	13
3. 4 現状計測技術に関わる問題点	14
3. 4. 1 計測誤差	14
3. 4. 2 隠れ部位	14
3. 4. 3 被験者への配慮	14
3. 4. 4 計測の効率化	14
3. 4. 5 計測オペレータの養成	15
3. 5 データ処理に関わる問題点	15
3. 5. 1 計測データの記述方法	15

3. 5. 2 データの前処理	15
3. 5. 3 モデリング	15
3. 5. 4 3次元画像解析ソフトの現状	16
3. 5. 5 統計処理	17
3. 6 データ公開に関わる問題点	17
3. 6. 1 公開するデータの範囲	17
3. 6. 2 公開するデータの形式・モデリング方法	17
3. 6. 3 コスト	18
3. 6. 4 プライバシー・肖像権	18
3. 6. 5 データの保守管理 及び 更新	18
3. 7 データの活用に関わる問題点	18
3. 7. 1 どのようなデータがあれば製品設計に応用できるか	18
3. 7. 2 どのようなデータ活用技術があればよいか	19
3. 8 人体計測装置の仕様検討のためのアンケート調査	19
3. 9 開発計測器等仕様と外注先選定理由	20
3. 9. 1 高齢者計測に特化した全身用人体計測器	20
3. 9. 2 高密度頭部計測装置	21
3. 9. 3 全身用スライディングスケール	21
3. 9. 4 計測器検証用ダミー	22
3. 9. 5 画像データ変換ソフトウェア	23
 4. 高齢者全身用人体計測機器開発	24
4. 1 概要	24
4. 2 要求仕様	24
4. 3 方針	25
4. 3. 1 開発におけるポイント	25
4. 3. 2 ポイントの対応策	25
4. 3. 3 開発工程	26
4. 4 設計原理	27
4. 4. 1 イメージエンコーダ法	27
4. 4. 2 マルチスリットレーザによる計測	28
4. 4. 3 特徴点抽出におけるサブピクセル法	39
4. 5 詳細仕様	40
4. 5. 1 システム構成	40
4. 5. 2 測定器設計仕様	41
4. 5. 3 各部仕様	42

4. 5. 4 ソフトウェア	4 9
4. 6 開発技術検討	5 3
4. 6. 1 マルチスリットレーザによる計測方法	5 3
4. 6. 2 計測レイアウト検討	6 1
4. 7 完成計測器成計測器	6 8
4. 7. 1 完成仕様	6 8
 5. 高密度頭部形状計測装置の開発	6 9
5. 1 概要	6 9
5. 2 多眼正弦波格子位相シフト法	7 0
5. 2. 1 背景	7 0
5. 2. 2 正弦波位相シフト法の原理	7 2
5. 2. 3 複数のカメラ/照明間の幾何拘束に基づく 絶対位相決定アルゴリズム	7 6
5. 3 高速高密度頭部全周計測装置	8 2
5. 3. 1 全体構成の検討	8 3
5. 3. 2 ハードウェア設計と開発	8 4
5. 3. 3 ソフトウェア設計と開発	9 8
5. 3. 4 計測精度の評価	1 1 0
5. 4 頭部全周形状採寸装置	1 1 5
5. 4. 1 採寸用 3 D グラフィックスワークステーション	1 1 5
5. 4. 2 採寸ソフトウェア	1 1 6
5. 5 最後に	1 1 9
5. 6 参考文献	1 2 0
 6. 人体用スライディングスケールの開発	1 2 2
6. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様	1 2 2
6. 1. 1 人体用スライディングスケールの開発	1 2 2
6. 1. 2 スライディングスケール	1 2 2
6. 2 開発検討経緯	1 3 0
6. 2. 1 システム構成	1 3 0
6. 3 最終仕様	1 3 1
6. 3. 1 システムの概要	1 3 1
6. 3. 2 概要システム構成図	1 3 1
6. 3. 3 ハード構成（制御部）	1 3 2
6. 3. 4 装置機構（計測部）	1 3 2

6. 3. 5 操作方法	134
6. 3. 6 計測方法	138
6. 3. 7 マスタファイルについて	144
 7. 計測器検証用ダミーの製作	145
7. 1 大男ダミー	146
7. 1. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様	146
7. 1. 2 開発検討経過	148
7. 1. 3 最終完成品仕様	148
7. 2 低身長で太った女性のダミー	150
7. 2. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様	150
7. 2. 2 開発検討経過	152
7. 2. 3 最終完成品仕様	152
7. 3 腰の曲がった高齢男性ダミー	154
7. 3. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様	154
7. 3. 2 開発検討経過	156
7. 3. 3 最終完成品仕様	156
7. 4 大顔男性頭部ダミー	158
7. 4. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様	158
7. 4. 2 開発検討経過	160
7. 4. 3 最終完成品仕様	160
7. 5 鷲鼻、顎長、耳倒れ型頭部ダミー	162
7. 5. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様	162
7. 5. 2 開発検討経過	163
7. 5. 3 最終完成品仕様	163
7. 6 20代女性の平均的人体寸法ダミーの座位改造	165
7. 6. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様	165
7. 6. 2 開発検討経過	165
7. 6. 3 最終完成品仕様	165
7. 7 20代女性の平均的人体寸法ダミーの頭部ダミー	167
7. 7. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様	167
7. 7. 2 最終完成品仕様	168
7. 8 平均的人体寸法ダミーの製作	168
 8. 画像データ変換ソフトウェアの開発	173
8. 1 フォーマットの特徴と概略	173

8. 2 キーデータファイル	178
8. 3 人体寸法データファイル	181
8. 4 特徴点データファイル	182
8. 5 形状データファイル	183
8. 5. 1 ヘッダ一部の記述	183
8. 5. 2 データ領域の記述	185
8. 6 画像(Texture)データファイル	188
8. 7 その他のデータファイルへの変換	190



## はじめに

我々は日頃、様々な製品や設備を使用しながら生活を営んでいる。その製品や設備は産業技術発展の成果である利便性の高い機能や性能に溢れているように見える。実際、高機能・高性能製品群が我々の生活をより便利により快適に導いているのは確かである。しかし、この高機能・高性能製品群が、そこに重点を置くあまり、使用する人間との間に齟齬をきたす場合が少なくない。このような場合、ユーザの多くはこの不適合の原因を技術が理解できない自己の責任と考える傾向にあり、特に高度情報機器であるパーソナルコンピュータに関してはデジタルデバイドと呼ばれるパソコンを自在に使いこなせる人とそうでない人のギャップが社会問題として顕在化し始めており、その中でもパソコンになじみのない高齢者においてこの問題は深刻である。一方、高機能・高性能製品とは趣を異にするが、日常生活に欠かせない、衣服や靴、眼鏡など身体装着型製品においてもユーザとの不適合は顕在化している。極端な例ではあるが、既製服を纏った時に美しく見えるのはスリムな体型という思い込みから、自分の身体を製品に合わせようと健康を省みず過度なダイエットに走る女性が出現してきている。これらは技術至上主義や痩身美人といった、あるひとつの価値観のみを重要視するあまり、別の価値観の存在に気づかない人々の意識に問題があるように思える。人は本来多様で多元的な存在である。その多様な人のあり方を積極的に肯定し、それに対応するような製品・設備設計が必要ではないだろうか。

人の多様性を表す指標の一つとして人間特性がある。人間特性は形態特性から、動作特性や身体機能特性、感覚特性、行動特性、意識・認知特性まで、様々なレベルが存在する。しかし、その中で最も製品設計に使われ、基本と考えられているのは人の外形寸法・身体形状である。この身体形状は高齢者になるほどその多様性は拡大する傾向にある。若年時には比較的似たような体型も年齢を重ねるに従って様々な方向へ偏差が拡大していく。今後高齢化社会を迎え、高齢者の就業や生活を支えるような製品・設備設計を行うには、この高齢者の身体形状における多様性を把握する必要がある。その手段として近年の情報技術進展に伴い実用化されてきたのが三次元形状計測装置である。形状データから人体寸法を抽出し、製品・設備設計に活用するのはもちろん、人体の形状データそのものを用いた製品・設備設計についても知見が蓄積されつつある。しかし、現状の三次元人体形状計測装置はその長い計測時間により体動揺をノイズとして拾う欠点があった。特に高齢者を計測しようとする場合はこの欠点が致命的になる。今回本事業にて開発する三次元人体形状計測装置は、計測時間を劇的に短縮し、それと同時に計測時間とトレードオフの関係にあった精度に関しても高いレベルを維持することを可能にする。

この高性能な計測機器を用いた高齢者計測を実施することで、今後到来する高齢者社会における真の意味での人の多様性に対応した製品設計のあり方を提言してゆきたいと考える。

## 1. 本事業の目的と開発目標

平成 12・13 年度に高齢者特性データの収集や高齢者データベースの整備と共に応用研究までも包含した高齢者計測事業が行われる。この事業は今後の高齢化社会の到来に対応するため、特に高齢者を中心とした人間特性データを収集することで現在の高齢者生活場面や就労環境における問題点を抽出、改善に向けての指針作りを目的としたものである。このような高齢者計測事業における人体計測を迅速・簡便・高精度に実施できる計測器の開発が本事業の目的である。

本事業では特に高齢者をターゲットとした人体計測機器を開発すべく、以下の項目について経済産業省 産業技術総合研究所 生命工学工業技術研究所との共同研究で仕様開発研究を行い、その仕様に基づき製作を外注する。

### 1. 1 高齢者計測に特化した全身用人体計測器の開発

人間が不動に耐え得る時間内での計測を行い、なおかつ、あらゆる産業界で活用でき得る精度を持った形状データを得ることのできる全身用計測器を、高齢者に特化した形で開発する。基本コンセプトは以下のとおり。

- ・ 計測時間は全身で 1 秒程度
- ・ 形状計測精度は約 1.0 mm
- ・ 形状計測解像度は約 2.0 mm
- ・ 計測姿勢では高齢者自然立位が計測可能である
- ・ 脇の下、股の間、肩の上などの、高齢者特有の隠れ部位を低減できる
- ・ 特徴点位置を半自動的に抽出できる

### 1. 2 高密度頭部用計測器の開発

高齢者を計測対象としたとき、若年層と比較して体幹軸がぶれ易く、詳細データのニーズが高い頭部のふらつきが大きくなる。これを回避すべく全身用計測器とは別に、頭部の詳細形状計測が可能な頭部計測器を開発する。基本コンセプトは以下のとおり。

- ・ 計測時間は全身で 1 秒程度
- ・ 形状計測精度は約 0.5 mm
- ・ 形状計測解像度は約 1.0 mm
- ・ 計測は座位姿勢で頭部を計測可能
- ・ 頭部における隠れ部位を低減できる
- ・ 特徴点位置を半自動的に抽出できる

### **1. 3 人体用スライディングスケールの開発**

現在の技術では、非接触人体計測器による計測のみでは十分なデータを得ることは不可能であり、従来の手計測に頼らざるを得ない項目がある。そのため被験者には立位拘束が長時間化し多くの負担を与えることになる。特に高齢者計測において立位拘束の長時間化は深刻な問題である。高齢被験者への負担を軽減し、またデータの信頼性を確保するために、立位及び座位時の高径や幅径に関する寸法データを直接計測によって取得し、計測データをパソコンに取り込むスライディングスケールシステムを開発する。

### **1. 4 計測器検証用のダミー製作**

高齢者特有の特殊体型を対象とする開発計測器の有効性を検証するため、人体寸法だけではなく形状をも考慮した特殊体型の人体ダミーを数パターン製作する。

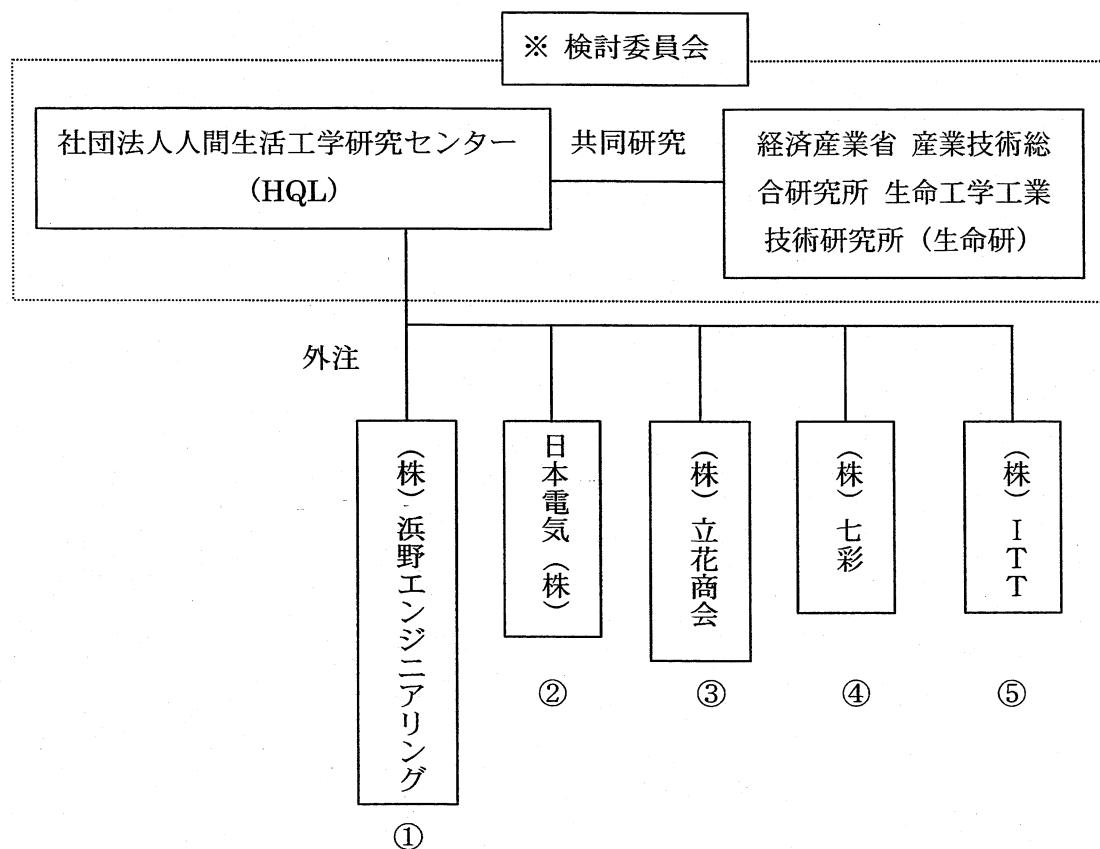
### **1. 5 画像データ変換ソフトウェアの開発**

当該事業開発計測器で収集されるデータを広く産業界へと応用普及させるためには、このデータを個々の企業の使用する画像処理環境へ適応させる必要がある。そのため、計測器出力画像データを読み込み表示し、個々の画像処理環境に対応する様々なフォーマットへと変換出力するソフトを開発する。

## 2. 研究体制

### 2. 1 開発体制

#### 2. 1. 1 組織及び管理体制（委員会、組織）



※ 檢討委員会は次項参照

- ① 高齢者全身用人体計測器
- ② 高密度頭部形状計測装置
- ③ 人体用スライディングスケール
- ④ 計測器検証用のダミー
- ⑤ 画像データ変換ソフトウェア

## 2. 1. 2 研究員

河内 まき子	経済産業省 産業技術総合研究所 生命工学工業技術研究所 人間環境システム部 形態機能研究室 室長
持丸 正明	経済産業省 産業技術総合研究所 生命工学工業技術研究所 人間環境システム部 形態機能研究所 主任研究官
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
尾崎 都司正	社団法人 人間生活工学研究センター 研究開発部 システム開発マネージャー
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 課長
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
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
藤本 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
大嶋 園美	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 検討委員会

本事業を遂行するにあたり、人体計測に関する企業代表者や学識経験者等による以下の検討委員会を構成した。

### 2. 2. 1 委員会委員構成

(委員長)

河内 まき子 経済産業省 産業技術総合研究所 生命工学工業技術研究所  
人間環境システム部 形態機能研究室 室長

(委員)

芦澤 玖美 大妻女子大学 人間生活科学研究所 教授  
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  
中澤 和夫 慶應大学 理工学部 システムデザイン工学科 専任講師  
持丸 正明 経済産業省 産業技術総合研究所 生命工学工業技術研究所  
人間環境システム部 形態機能研究所 主任研究官

森廣 治 株式会社ホリカワ 総合企画部 技術開発課  
平尾 章成 日産自動車株式会社 総合研究所 車両交通研究所  
恒屋 修一 株式会社ワコール 人間科学研究所 形態動態研究グループ  
研究員（副主事）：（平成12年6月末日まで）  
岸本 泰蔵 株式会社ワコール 人間科学研究所 形態基礎研究担当  
主任研究員（副参事）：（平成12年7月1日から）  
平野 博章 株式会社浜野エンジニアリング VOXELAN 事業部 主任  
山本 浩隆 株式会社浜野エンジニアリング VOXELAN 事業部  
田島 譲二 日本電気株式会社 NEC ラボラトリーズ  
情報通信メディア研究本部 主席研究員  
坂本 静生 日本電気株式会社 NEC ラボラトリーズ  
情報通信メディア研究本部 パタン情報 主任研究員  
藤井 秀雪 株式会社七彩 営業本部長付専門部長  
土山 雄興 株式会社立花商会 F A技術本部 システム開発部 部長

(オブザーバー)

千野 雅人 通商産業省 生活産業局 人間生活システム企画室 室長  
：（平成12年6月末日まで）  
森田 健太郎 通商産業省 生活産業局 人間生活システム企画室 企画班長  
：（平成12年6月末日まで）  
大木 雅文 経済産業省 製造産業局 機械・生活産業ユニット  
人間生活システム企画チーム：（平成12年6月1日から）  
栗原 一徳 経済産業省 製造産業局 機械・生活産業ユニット  
人間生活システム企画チーム：（平成12年6月1日から）  
岩田 寛治 通商産業省 工業技術院 標準部 知的基盤課 知的基盤係長  
：（平成12年9月末日まで）  
鴨志田 直史 経済産業省 産業技術環境局 基準認証ユニット 知的基盤課  
知的基盤係長：（平成12年10月1日から）

(事務局)

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  
尾崎 都司正 社団法人人間生活工学研究センター 研究開発部  
システム開発マネージャー  
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 課長  
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

## 2. 2. 2 委員会の活動

### (1) 第1回検討委員会

- 日時：平成12年2月28日（月）14：00～16：00
- 場所：東京 虎ノ門アルシュ7F会議室
- 委員欠席者：中澤 和夫、藤井 秀雪
- 内容
  - ① 概要説明
  - ② 全体計画
  - ③ 各開発テーマの説明
  - ④ 基本仕様検討
- 配布資料
  - ・本事業計画書（実施報告書）
  - ・本事業に関わる動向
  - ・本事業基本仕様案
  - ・全身計測器概要
  - ・人体用デジタイザー仕様案

### (2) 第2回検討委員会

- 日時：平成12年5月16日（火）14：00～16：30
- 場所：東京 丸の内 コンファレンススクエア 1F
- 委員欠席者：美濃 導彦（代理出席：福嶋茂信（京都大学大学院法学部研究科 助手））  
藤井 秀雪（代理出席：義村邦男（株式会社七彩 京都造形室専門課長））
- 内容
  - ① 人体計測に関するアンケート調査結果報告
  - ② 計測項目及び姿勢に関する検討
  - ③ 計測器の仕様検討
- 配布資料
  - ・第1回検討委員会議事録
  - ・人体計測に関するアンケート調査結果
  - ・人体計測ファイルフォーマット案

### (3) 第3回検討委員会

- 日時：平成12年10月23日（月）14：00～16：00
- 場所：東京 丸の内 コンファレンススクエア B1FB 会議室
- 委員欠席者：美濃 導彦（代理出席：福嶋茂信（京都大学大学院法学部研究科 助手））
- 内容

#### ① 各研究テーマの進捗状況報告

- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1. 全身用計測器    | → 浜野エンジニアリング |
| 2. 頭部用計測器    | → NEC        |
| 3. 人体用デジタイザー | → 立花商会       |
| 4. 検証用人体ダミー  | → 七彩         |

#### ② 計測装置設置場所の検討

#### ● 配布資料

- ・ 第2回検討委員会議事録
- ・ 各研究テーマの進捗状況
- ・ 計測装置設置場所（候補）図

### (4) 第4回検討委員会

- 日時：平成13年3月28日（水）14：00～16：00
- 場所：東京 丸の内 コンファレンススクエア B1FB 会議室
- 委員欠席者：河内 まき子、高増 潔、中沢 和夫、岸本 泰蔵、藤井 秀雪
- 内容：

#### ①各研究テーマの完了報告

- |              |              |
|--------------|--------------|
| 1. 全身用計測器    | → 浜野エンジニアリング |
| 2. 頭部用計測器    | → NEC        |
| 3. 人体用デジタイザー | → 立花商会       |

#### ● 配布資料

- ・ 第3回検討委員会議事録
- ・ 各研究テーマ完了報告

### 3. 開発計測器仕様

過去に実施された人体計測における経験等、および現在の人体三次元計測装置の現状から問題点を抽出、高齢者人体形状計測開発に必要な要求事項を整理、仕様を決定した。

#### 3. 1 人体形態計測関連

##### 3. 1. 1 人体寸法計測

我が国における大規模な体格調査（人体計測）は、通商産業省工業技術院が JIS 衣料推進協議会に委託して実施した過去 2 回の調査がある。

これらは JIS 衣料サイズの制定・改訂のための人体計測であり、メジャーやマルチン計測器など 全て直接計測によるものであった。

その後、マルチン計測器等で直接計測する替わりに、3 次元形状計測器を用いて人体形状データと特徴点データから、特徴点位置間の寸法や周囲長などを取得する手段として用いられるようになった。人体寸法は各個に統計処理を行い、寸法設計にりようされる。

平成 4 年度から平成 6 年度にかけて HQL で行った人体計測では、大規模な体格調査としては初めて 3 次元非接触人体形状計測器を採用した。これにより、人体計測に要する被験者の拘束時間が短縮され、178 もの計測項目数の取得にもかかわらず、1 人につき約 30 分程度で全ての計測を終了することが可能となつた。

##### 3. 1. 2 コンピュータ・マネキン

コンピュータ内に様々な体型の人体モデルを生成し、CAD 上の製品モデルと人体モデルとの相互作用（手が届くか、視野に入るかなど）を設計段階で事前評価するソフトウェアツール。

様々な市販製品があり、その体型生成に 3 次元人体形状データの活用が模索されている。

##### 3. 1. 3 アパレル CAD

アパレル設計に特化した CAD システムであり、現状では 平面を扱う 2 次元 CAD システムが主流である。

近年、従来の 2 次元型紙作成から、3 次元の着衣シミュレーション、さらに

は動きを加えた4次元の着衣シミュレーションシステムが開発されている。このための基本体型データとして、3次元人体形状データが利用されることになる。

### 3. 1. 4 各種製品設計

3次元人体形状を統計的に分析し、それを 衣服、靴、補装具、眼鏡、ガスマスク、シート、ベッドなどの各分野で 身体に直接接触するような製品の形状設計に応用する研究開発が進められている。

## 3. 2 人体形状計測装置の現状

### 3. 2. 1 全身型計測装置

一般的にはスリットレーザ光による走査型形状計測が主流である。

ほとんどの装置が水平断面を身長方向に走査し、カラーないしはモノクロの輝度画像を取得できる仕様になっている。

#### 1) 浜松ホトニクス

北陸エステアールを販売会社としており、ハードウェア開発を浜松ホトニクス株式会社で、ソフトウェア開発を北陸エステアールで行っている。

ファンデーションの補正効果表示システムであり、6台のセンサでスキャンする。現在では北陸STRで使用していたものを、ヘッド改良（小型化）し、身長1850cmまでの人を計測することが出来る。（これまでの計測対象は、身長1700cmまでであった。）

約10秒で全身をスキャンする。光源は、赤外線であるため 人体への影響はほとんど無い。

#### 2) 浜野エンジニアリング

VOXELANシリーズ

レーザスリット光によりイメージエンコーダ※法を用いて計測を行う。

全身を10数秒で計測し、同時にモノクロの輝度画像データを取得する。

※ イメージエンコーダ：検出ヘッドのCCDカメラが outputするビデオ信号を処理し、測定対象物に照射されるレーザスリット光の明るさの変化・入射角をコード化し、リアルタイムで表面形状の情報を得ることができる装置。

#### 3) カナダ InSpeck inc.

日本バイナリー株式会社を販売代理店としている。

ハロゲン光によって、0.3秒で計測する。ただし、複数台・複数方向からの計測には対応していない。また、奥行き精度に問題がある。

フルカラーでの輝度画像データの入力ができ、CG、アニメーションへの応用に長けている。

#### 4) 米国 Cyberware 社

販売会社はジャパンテック・サービス株式会社である。

4方向からヘリュウムネオンレーザにより、約12秒で全身スキャンする装置。かなり大型である。

#### 5) ドイツ Techmath 社

レーザ光により、1.2秒で計測する。ただし、データ点の間隔が大きく、精度に問題がある。

この装置は、ドイツ政府、ブレーメン大学、Techmath 社の3者で共同開発した製品である。

#### 6) オランダ TNO

オランダ空軍の人体寸法計測を行うために開発した装置で、大型の2次元デジタイザーである。プローブの水平位置と高さをエンコーダーで検出し、コンピュータで記録するシステム。

### 3. 2. 2 3次元形状計測装置

計測範囲を限定した3次元形状計測装置は、上記あげた以外にも製品化または開発されている。

空間コード化法などでパターン光を効率的に照射し、短時間に精密な形状計測を実現しているものが多い。

#### 1) 日本電気

顔形状計測装置 第1号機を警察庁科学警察研究所に納入済み  
光源にはハロゲンランプを使用している。

#### 2) 三洋電機

CyberModeler

カメラで被写体を撮影し、撮影で得られた画像から3Dデータを生成する。輪郭線計測法による計測であり、凹部の計測が困難である。

またこの時 被写体全周の形状データ・全周のテクスチャデータが同時に生成される。

### 3) CKD

#### CubicScope

空間コード化法を用いて半導体レーザから照射されたスリット光をスキヤナで走査し、 $100 \text{ mm}^2$  を標準サイズとした視野内における 3 次元立体形状を計測する。

### 4) パルスティック工業

#### TDS シリーズ

レーザスポット光源が、計測物へ当たり散乱した光を集光レンズにより CCD へ結像させ、CCD 結像位置をカウンター値として入力し、三角測量の原理にて距離データに変換する。

### 5) 横村

ハロゲン光源を用いて被験者にフリンジパターンをずらしながら投影し、それをビデオカメラで撮像してコンピュータに入力し、その画像のフリンジ解析を行うことで距離情報を抽出する装置。

### 6) ミノルタ

#### VIVID 700 シリーズ

スリットレーザで被写体をスキャンし、その反射光を CCD カメラで受光することにより、三角測距の原理で被写体との距離情報を得て 3 次元データ化する。

レーザ光をガルバノミラーで 上から下に走査することにより、 $200 \times 200$  ドットの 3 次元データと  $400 \times 400$  ドットのカラー画像を 0.6 秒で取得する。

### 7) 応用計測研究所

#### Quick PHASER-EM

縞投影電子モアレ方式により、3 次元形状をリアルタイムで計測する装置。プロジェクターによって対象物体に縞画像を投影してその位相情報から 3 次元形状を求める。

8) 横河エー・ディー・エス

3D Scope

コード化パターン光投光法により、光源にはハロゲンランプを用い、  
100 mm<sup>3</sup> から 600 mm<sup>3</sup> を標準撮影範囲として、0.6 秒で計測を行う。

9) ヤマニシ

フットスキャナー

回転リングの内側に向けたレーザ距離検出器により、足全長からくるぶ  
しまでを 0.04 mm ピッチで約 1 分（計測時間は計測ピッチによって異なる）で  
スキャンする。

10) コマツ

View-Z

2 方向（あるいはそれ以上）から対象物を捉え、画像上の相関演算によ  
つて対応関係を計算し、三角測量の原理によって奥行き換算する方法により、  
対象にパターンを照射することなく、対象の輝度画像のみから立体形状を計  
測する。ただし、精度に問題がある。

人体への影響は無く、屋外での計測も可能である。

### 3. 3 関連する国際動向

#### CAESAR 計画

(Civilian American and European Surface Anthropometry Resource Project)

欧米人の3次元形状データの収集プロジェクト。SAE (Society of Automotive Engineering) が主体となり、米空軍、NATO 軍、自動車関連企業、航空機関関連企業、アパレル系企業、エンターテイメント関連企業などから事業費を集めてプロジェクトを推進している。

アメリカで 8,000 人、オランダで 3,000 人、イタリアで 3,000 人規模の人体計測を実施中である。

収集したデータは有償で提供され、主としてコンピュータ・マネキンの体型生成に利用される見込みである。

### 3. 4 現状計測技術に関する問題点

#### 3. 4. 1 計測誤差

##### 1) 体表面特徴点位置の同定誤差

基本的に触察によって特徴点位置を同定するが、触察するオペレータの個人内・個人間誤差が生じる。また、輝度画像から体表面に貼ったマーカの位置をクリックして取得するが、このときのオペレータによる誤差が生じる。

##### 2) 身体動揺・呼吸などによる誤差

人の身体動揺周期は約1秒である。簡単なビデオ撮影でも10秒間の自然立位で肩の部分が前後に10mm以上動くことが確認できている。このような体動揺によって、計測した形状にズレが生じる結果となる。特に、高齢者では体動揺が顕著になる。

#### 3. 4. 2 隠れ部位

股の間、脇の下、耳の後ろ、頸の下、バスト下縁などが計測できない。ところが、身体にフィットする製品（ショーツ、ブラジャー、ガスマスク、眼鏡など）の設計には、この部分のデータが必要である場合が多い。

#### 3. 4. 3 被験者への配慮

安全性への配慮（転倒や落下）、レーザ光の目への影響に対し考慮する必要がある。また、計測状態はできるだけ裸体に近い方が理想ではあるが、実際には被験者は計測状態を見られることを好まない。

#### 3. 4. 4 計測の効率化

##### 1) 準備時間

被験者への説明、計測着への更衣、被験者の特徴点を触察してマーカ貼り付け、基本人体寸法計測を行う時間を要する。

骨格特徴点位置を自動的に検出できるようになれば、さらに時間の短縮化が図られる。

##### 2) 計測時間

従来の3次元非接触人体計測器による計測時間そのものは数秒から30秒程度である。

ただ 現在の計測器による計測技術では、正確な周囲長や髪の毛の部分は計測

できないため、メジャーやマルチン計測器などによる直接計測を併用する必要がある。

### 3. 4. 5 計測オペレータの養成

特徴点位置を触察できるオペレータを育成し、その達成度を客観的に評価するような体制を整える必要がある。

## 3. 5 データ処理に関する問題点

### 3. 5. 1 計測データの記述方法

人体形状計測データの記述方法としては、体表面形状の3次元データ点群表記（点同士の接合情報なし）、輝度画像+距離画像表記が一般的である。

前者には特徴点を同定する画像情報がない。後者は円筒座標系ないしXYZ軸の直交座標系による記述であるため、隠れてしまう部位のデータは捨てことになる。

### 3. 5. 2 データの前処理

計測データのモデリングを行う場合、ノイズ除去、不要部の除去、欠落部の補完を行う必要があるが、ノイズ除去や不要部分の除去は、現状ではほとんどの場合手作業によるものである。

また、隠れ部位の発生などによる欠落部分を数学的に形状補完し、それを補完精度まで検証を行った方法論は確立されていない。

### 3. 5. 3 モデリング

データ点群を接合して多面体データにすることをいう。さらに、それを個体間で対応付けるような作業をモデリングという。

ただ、モデリングはきわめて一般的な用語であり混同しやすいので、ここでは以下のように分けて考える。

- Shape modeling
- Primitive human shape modeling
- Homologous human shape moldering

現時点では、Human shape modelingに関する一般的・共通的な方法論はなく、目的別にいくつかの方法論が提案されている。

### 3. 5. 4 3次元画像解析ソフトの現状

一般に販売されている画像解析ソフトで特に人体を扱うソフトでは、十分な解析機能を持ったものは殆どない。大半は自社内でプログラム作成を行っているのが現状である。

HQLの人体データ利用者の大半を占めているアパレル分野において、使用されているアパレルCADは、2次元CADが主流であり3次元データを扱うものはほとんどない。

このような状況が、情報画像データを普及させる際の障害と言えよう。

#### 1) (株) メディックエンジニアリング

3D-Rugle (100~200万円)

IDT・DDT(輝度・高さ)のデータを読み込み、2面または4面を張り合わせて円筒座標系のデータとして認識し、ビットマップ形式でのワイヤーフレームで表示する。テキスト形式でのアウトプットもできる。

また、2点間距離や断面寸法の算出などの解析が可能である。

DXFフォーマットのデータを読み込むこともできるが、HQLの人体データは読み込めない。

#### 2) オートデスク (株)

AutoCAD (100万円)

機械・建築系の作図用(設計支援)ソフトである。

形状データを読み込み、ワイヤーフレームで表示する。

人体形状データを解析する場合、人体モデルを建築物として解析を行っている。

#### 3) イメージウェア

SURFACER (650万円)

点群データにメッシュを貼り付け、サーフェースモデルに変換する。

メッシュの粗さを細かくすることにより、よりリアルなサーフェースモデルができるが、非常に重いデータになり、処理に長時間を要する。

#### 4) (株) オージス総研

Rodan (338万円)

3次元形状計測装置で計測された点群データをソリッドモデルに変換し、CADシステムで利用できるフォーマットで出力する。

### 5) (株) アイ・ティー・ティー

Wrap (80万円)

ランダムな点群から画情報を計算し、立体形状（ポリゴンメッシュ）を作成するソフトウェアである。

現在米国の国立スーパーコンピューター応用センターとイリノイ大学とで共同開発されている Alpha Shape の開発メンバーであった者たちによって作成された製品。

Shape (280万円)

ポリゴンデータから NURBS 曲面を作る。

### 3. 5. 5 統計処理

人体寸法データは項目別に統計処理を行えるが、3次元人体形状データをそのまま統計処理する方法論は確立されていない。

形状データの統計処理方法が見出された場合でも、寸法データの統計処理方法のように画一的ではなく、目的に応じてその都度検討する必要がある。

## 3. 6 データ公開に関する問題点

### 3. 6. 1 公開するデータの範囲

統計処理済みのデータのみを公開するか、個人データまでも公開するかを検討する必要がある。

現在、HQL の人体データは、寸法データ及び形状データとともに、ID 管理により個人データまで提供しているが、特に形状データの精度が高くなれば、データの処理方法によっては個人を特定することも可能であり、プライバシーや肖像権の侵害問題につながる可能性もあり、慎重に対処しなければならない。

### 3. 6. 2 公開するデータの形式・モデリング方法

人体形状データは、標準の出力フォーマット（形式）がなく、ある特定のデータフォーマットにならざるを得ない。この場合、すべてのソフトウェアに適合するとは言い切れず、個別対応が必要となる。

また モデリング方法については、業種による利用目的の違いが生じるためさまざまである。一方、これらのモデリング方法は、計測時に出力されるデータフォーマットに依存することも多い。

### 3. 6. 3 コスト

人体計測データベースを構築するためには、莫大な経費がかかる。

HQL で実施した人体計測は、自主事業であったため、当時の必要経費を回収するため 有償で提供しているが、利用者や利用を検討している企業などからは、データの価格が高いとの声が多く聞かれる。しかし、独自にデータを収集する場合は、より経費が必要となることから、データベース構築側と利用側とで データに対する認識のズレが大きいことが分かる。

例えば 国家事業として人体計測を実施した場合、構築したデータベースは無償公開となるであろうが、維持費や解析処理を行うときの費用は発生してくる。

### 3. 6. 4 プライバシー・肖像権

「(1) 公開するデータの範囲」でも記したが、さらに 計測した人体形状の点群データを サーフェースモデルやソリッドモデルに変換したとき、個人の特定も可能になる場合がある。

このため、計測時に事前に被験者に対し、データの取り扱いや公開範囲に関する説明を行い、納得の上 サインをいただくなど、被験者へのインフォームドコンセントに十分配慮する必要がある。

### 3. 6. 5 データの保守管理 及び 更新

データを扱う場合、機密保守を徹底する必要があり、特に個人データの公示は プライバシー及び肖像権の侵害になりかねない。

また、データの陳腐化に伴い 人間適合の製品設計に影響するため、数年ごとの人体計測実施によるデータの更新が必要である。

例えば 韓国では、形状計測ではないが 人体寸法計測を 5 年ごとに実施し、データの更新を行っている。

## 3. 7 データの活用に関わる問題点

### 3. 7. 1 どのようなデータがあれば製品設計に応用できるか

HQL 人体計測データベース利用者の場合、データを利用している業種は大半がアパレル系企業であり、次いで 自動車系企業である。

人に関わる製品にはすべて 人間特性の基本である人体データが欠かせないが、最近では寸法データだけでなく技術の向上に伴って形状データへのニーズが高まっている。人体データを反映したコンピュータ・マネキンによってシミ

ュレーションを行うことにより、設計段階での検討が可能になる。

また 静止形態だけでなく、動態や可動域などを組み合わせた人体データ（モデル）が完成すれば、さらに 活用範囲が広がる。

### 3. 7. 2 どのようなデータ活用技術があればよいか

人体寸法データについては、統計処理手法の方法論が確立されており、従来から活用されている。しかし 分野や利用目的によって、性別 年齢などによるターゲットや必要項目が異なり、違った切り口での解析を行う。

形状データについても、目的別に応用できるような統計処理方法を確立し、それを基盤とすることにより、各分野での活用範囲が広がる。

## 3. 8 人体計測装置の仕様検討のためのアンケート調査

人体計測装置の仕様検討のため、必要計測姿勢及び計測項目についてのアンケート調査を行った。

- 調査方法：92～94年にかけて実施したHQLの人体計測の計測項目の中で必要な項目とその他要望事項の記入を求めたアンケート用紙を送付し、回答をFAXによって返送頂いた。
- 調査時期：平成12年4月
- 調査対象：HQL会員企業（117）の研究部門窓口担当者 及び HQL人体計測データベースユーザー
- 調査総数：353件
- 有効回答数：60件  
アパレル（16）、電気機器（13）、化学・雑貨（6）、輸送機器（5）、一般機器（5）、住宅・家具（3）、建設（2）、公設機関（2）、医療用具（1）、大学（1）、その他（6）

（HQL計測実施項目について）

- ・ ほぼすべての項目について計測を希望していることが分かった。

〈項目についての要望〉

- ・ 立位転子高、座位転子高等 大転子を基準とした項目
- ・ 足に関する項目（HQLデータでは不足している）

〈姿勢についての要望〉

- ・ 自然立位（脱力時）
- ・ 膝を折って座る 和式座位
- ・ 生活姿勢

〈その他〉

- ・ 顔・手の甲などの表面積
- ・ 座位時の体重（臀部と足裏の接地分担重）
- ・ 生活姿勢時の可動域寸法

### 3. 9 開発計測器等仕様と外注先選定理由

前項までの情報を参考に検討委員会にて検討、仕様と外注先を決定した。

#### 3. 9. 1 高齢者計測に特化した全身用人体計測器

要求仕様：

- ①計測時間：全身で1秒程度
- ②形状計測精度：1.0 mm
- ③形状計測解像度：2.0 mm
- ④計測姿勢：高齢者寸法・形態計測事業における計測姿勢
- ⑤形状データとテクスチャデータが同時計測できる
- ⑥脇の下、股の間、肩の上など、高齢者特有の隠れ部位を低減できる
- ⑦専用のマーカーを使った場合、特徴点位置を半自動的に抽出できる
- ⑧形状データをグローバル座標系に合成し、所定のフォーマットで出力する  
　ソフトウェアを具備する
- ⑨ノイズ、不要領域除去などを処理できるソフトウェアを具備する
- ⑩高齢者寸法・形態計測事業における計測人体寸法を自動採寸するソフトウェア  
を具備する

外注先：

株式会社 浜野エンジニアリング

外注先選定理由：

(株)浜野エンジニアリングは3次元人体計測器に関しては10年もの実績を有しており、産業界においても定評がある。同社既存の3次元全身人体形状計測器の方式と新た

な方法を組み合わせることにより、本事業で開発する人体形状計測器の目標を達成できることと判断した。平成11年度「知的基盤創成・利用技術開発事業（高効率人体計測器の研究開発）」検討委員会メンバーにおいて最適任であるとの見解を得た。

### 3. 9. 2 高密度頭部計測装置

要求仕様：

- ①計測時間：頭部のみで1秒程度
- ②形状計測精度：0.5 mm
- ③形状計測解像度：1.0 mm
- ④計測姿勢：座位のみ
- ⑤形状データとテクスチャデータが同時計測できる
- ⑥隠れ部位を低減できる
- ⑦専用のマーカを使った場合、特徴点位置を半自動的に抽出できる
- ⑧形状データをグローバル座標系に合成し、所定のフォーマットで出力する  
　ソフトウェアを具備する
- ⑨ノイズ、不要領域除去などを処理できるソフトウェアを具備する
- ⑩頭部に関する人体寸法を自動採寸するソフトウェアを具備する

外注先：

株式会社 日本電気 株式会社

外注先選定理由：

日本電気(株)は3次元頭部形状計測器に関しては、警察庁科学警察研究所に納入した顔形状計測装置の開発実績があり、非常に高い評価を受けている。平成11年度「知的基盤創成・利用技術開発事業（高効率人体計測器の研究開発）」検討委員会メンバーにおいても同社を推奨する声が多く、頭部計測器に関しては最適任であるとの見解を得た。

### 3. 9. 3 全身用スライディングスケール

要求仕様：

- ①立位における幅径、厚径、高径項目を計測可能
- ②座位における幅径、厚径、高径項目を計測可能
- ③その他、立平面からの距離項目、座面・床面からの距離項目を計測可能
- ④データはワンタッチでパソコンに入力
- ⑤データを CSV、EXCEL 形式で出力可能

外注先：

株式会社 株式会社 立花商会

外注先選定理由：

(株)立花商会は人体計測装置の開発実績を有するとともに、計測機器に関する技術力には定評がある。特に人体計測に関しては他社にはない独自のセンシング技術を有している。特に本事業にて開発する人体用スライディングスケールは高齢者用ということもあり、被験者に負担の少ない計測器開発では同社が最適任であると判断した。

### 3. 9. 4 計測器検証用ダミー

要求仕様：

- ①20代,40代,70代日本女性の平均人体寸法ダミー
- ②20代日本男性の平均人体寸法ダミー
- ③大男（身長190cm、体重120kg程度）ダミー
- ④低身長で太った女性ダミー
- ⑤腰の曲がった高齢女性ダミー
- ⑥平均人体寸法ダミーの座位改造版
- ⑦平均人体寸法頭部ダミー
- ⑧大顔の男性頭部ダミー
- ⑨鷲鼻・顎長・耳倒れ型の頭部ダミー

外注先：

株式会社 株式会社 七彩

外注先選定理由：

(株)七彩はHQLの人体計測データを基に20代男女、40代女性、70代女性の人体ダミーを開発した実績を有する。このような精密な人体寸法に基づく特殊体型のマネキン作製に関する人体造形技術、製造上のノウハウは他社にはない。本事業においてHQLの人体計測データを基に人体ダミーを作成するため、実像化のノウハウを蓄積している同社が最適任であると判断した。

### 3. 9. 5 画像データ変換ソフトウェア

要求仕様：

- ①新規開発計測器にて出力される内部データおよび、合成された形状点群データ、特徴点位置データ、テクスチャデータ、寸法データを統合し、平成11年 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」にて開発した三次元人体計測データ・ファイルフォーマットに変換できること。
- ②既存の3Dソフトウェアのフォーマットに変換できること。

外注先：

株式会社 アイ・ティー・ティー

外注先選定理由：

(株)アイ・ティー・ティーは画像処理ソフトの開発・販売を長年手掛け、その開発技術力には定評がある。特に人体形状に関する解析ソフトでは、昨年の北海道大学医学部への納入実績からも分かるようにそのノウハウは他社にない独創性を持つ。今回の人体形状データ表示解析変換ソフトの開発では、この分野でのノウハウを蓄積している同社が最適任であると判断した。

以下に研究開発経緯について詳述する。

## 4 高齢者全身用人体計測機器開発

### 4. 1 概要

高齢者人体計測事業に使用される高齢者全身用人体計測器は、従来の人体計測器と比較し、高齢者を対象としている為、不動姿勢に耐えらる時間が短いことを考慮し短時間に計測を行うことが要求される。またその姿勢においても20代の一般人と比較すると、身体的特徴が異なり、隠れ部位を考慮した計測を行うことも要求される。

以上の要求を満たし、大幅に短縮された時間内の計測においても、従来通りの計測精度を保ち、高齢者に対応した隠れ部位の少ない計測レイアウトをとり、総合的なシステムを構築することが計測器開発の主眼となる。

### 4. 2 要求仕様

高齢者全身用人体計測器に関する要求仕様は以下の通りである。

人間が不動に耐え得る時間内での計測を行い、平成12/13年度に実施される高齢者寸法・形態計測に必要な精度を持った形状データを得ることを目的に全身用計測器を、高齢者に特化した形で開発する。

- ① 計測時間：全身で1秒程度
- ② 形状計測精度：1.0 mm
- ③ 形状計測解像度：2.0 mm
- ④ 計測姿勢：高齢者寸法・形態計測事業における計測姿勢
- ⑤ 形状データとテクスチャデータが同時計測できる
- ⑥ 脇の下、股の間、肩の上など、高齢者特有の隠れ部位を低減できる
- ⑦ 専用のマーカーを使った場合、特徴点位置を半自動的に抽出できる
- ⑧ 形状データをグローバル座標系に合成し、所定のフォーマットで出力するソフトウェアを具備する
- ⑨ ノイズ、不要領域除去などを処理できるソフトウェアを具備する。
- ⑩ 高齢者寸法・形態計測事業における計測人体寸法を自動採寸するソフトウェアを具備する

## 4. 3 方針

### 4.3.1 開発におけるポイント

- 短時間計測（目標 1秒）
- 高精度
- 隠れ部位の低減
- 特徴点抽出の簡易化と精度向上

### 4.3.2 ポイントの対応策

#### (1) 短時間計測（目標 1秒）

従来の計測器は、被験者を一般成人と想定しており、計測精度の確保のために計測時間を約30秒としていた。しかし今回の事業では、被験者が高齢であるため、従来の計測時間の間不動姿勢を続けることは難しい。

そこで本計測器は、従来の計測器と同様、2種類の異なった波長のレーザスキャナを使用する同時計測を行うと共に、レーザスキャナをマルチスリットレーザという複数のスリットを照射するレーザに変更することでレーザスキャナの移動範囲を狭くした。

これにより、計測時間を1秒に短縮する。

#### (2) 高精度

本計測器の使用目的は、人体計測においてマルチン計測により採寸されていた項目を形状データからデジタル採寸することである。これを考慮すると、本計測器の計測精度として±1mm程度が必要である。しかし、従来の計測器で短時間計測を行うと、画像入力装置であるイメージエンコーダによるハード的な画像処理では、原理上計測精度の劣化が生じる。

そこで本計測器では、画像入力装置をキャプチャボードにし、ハード的な画像処理からソフト的な画像処理に変更することにより計測時間の短縮による計測精度の劣化を防止、及び向上を図る。

#### (3) 隠れ部位の低減

従来の計測器は、水平方向からの計測のみの構成となっていたために肩部、脇の下、股下などの隠れ部位に対しての計測が困難であった。そこで本計測器では、単体で形状計測が可能なスキャナヘッドを複数台用いることにより、上下方向からの計測も可能にした。これにより、隠れ部位に対しての計測を大幅に改善できる。

#### (4) 特徴点抽出の簡易化と精度向上

デジタル採寸時、マーキングされた特徴点に対して画面上でその位置を確認しつつ、正確にクリックすることにより抽出を行っていた。しかし、この作業には非常な労力と時間を要し、かつクリックによる抽出方式であるため個人差が生じる可能性がある。

そこで本計測器に用いるソフトウェアでは、人体表面へ施された特徴点の明暗の情報から、特徴点の中心をサブピクセル法より求める方法により特徴点の抽出作業の簡易化と抽出精度の向上を図る。

#### 4. 3. 3 開発工程

以下の工程に基づいて開発を行った。

表 4.3.3 開発工程

平成 12 年度	4月	7月	10月	1月
スキャナユニット 光学設計	→			
隠れ部位を 減少させるための スキャナ構成検討		→	実機確認 →	
スキャナヘッド 1 台製作			→	
マルチスリットによる 時間短縮開発	→		実機確認 →	
スキャナユニット 12 台による 全身用計測器製作			→	
性能確認				→

## 4. 4 設計原理

### 4.4.1 イメージエンコーダ法

CCD カメラの画像信号の輝度画像から空間コード化画像に変換するイメージエンコーダからこの方式は開発された。イメージエンコーダとは、図 4.4.1.1 に示したように内部に二枚の画像メモリ (A, B) を持つ構造である。画像メモリ A では、現在の入力信号の輝度データとそれまでに保持していた輝度データのどちらが大きいかを比較し、その結果、現在の入力信号の輝度データが大きい時に、メモリ内の当該輝度データをその時の輝度データに更新している。従って、画像メモリ A には、その入力信号の最大輝度データが保存される。また画像メモリ B では、更新されるのと同時にその角度をコード化した信号が同じアドレスに保存される。

イメージエンコーダ法とは、このような機能をもつイメージエンコーダを通して、図 4.4.1.2 に示すようにスリット光で走査される物体を観測した時、画像メモリ B 内の各画素におけるコードデータを用いて 3 次元形状を算出する方式である。この方式の利点とは、その物体のある一点をスリット光が通過した時のスリット光投影角度が正確に記憶される事であり、従来のスリット光画像のようなとびとびの輝線データではなく、空間コード化法から得られる密な距離画像と同じ物を得ることができることである。これは、スリット光の投影角度を与える時間の刻みが小さく、且つスリット光の走査速度がフレーム時間に比べて十分遅い時、スリットの動きは連続的とみなされ、この方式は原理的にプロジェクタによる量子化誤差から開放されるからである。

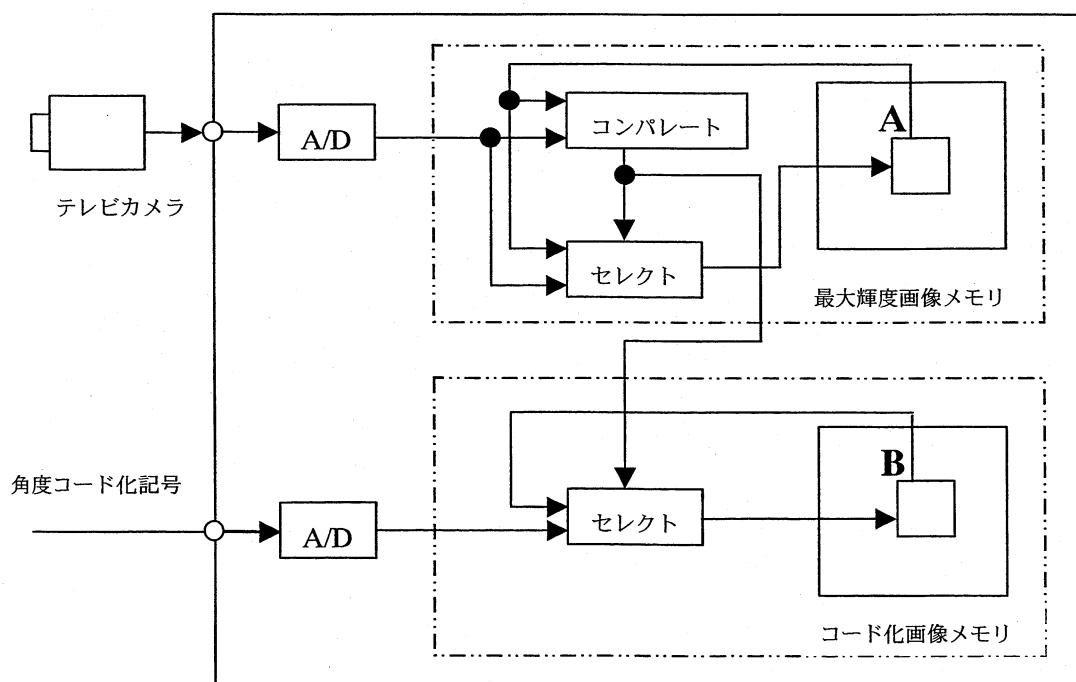


図 4.0.1 イメージエンコーダの構成

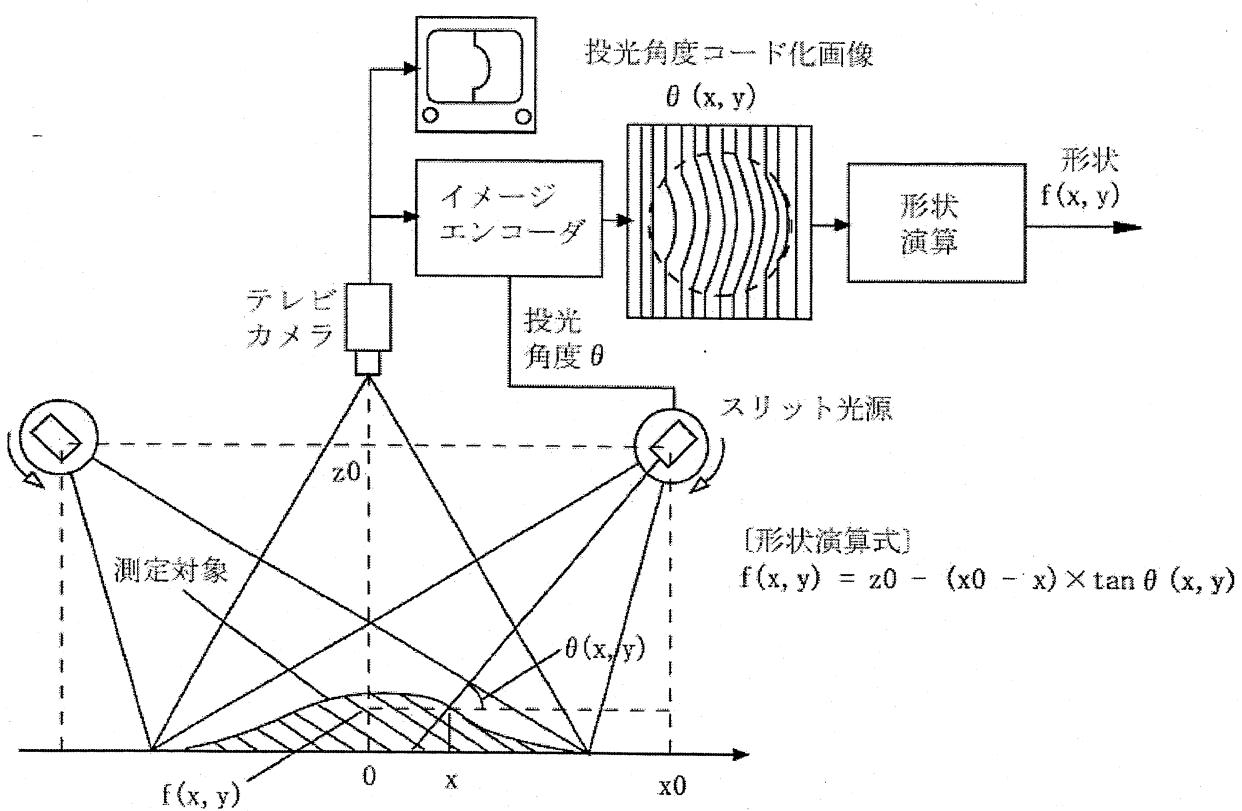


図 4.0.2 形状計測原理

#### 4. 4. 2 マルチスリットレーザによる計測

##### (1) 原理

本計測器のスキャナに用いる基本原理・方式は、弊社において 10 年の実績がある三次元形状計測機「VOXELAN」に採用している「イメージエンコーダ法」である。この原理を使用することにより、環境の変化に影響されにくく、精度の高い形状を得ることが可能である。ただし、同一原理を使用した従来の計測器との違いはレーザスキャニングユニットに使用するスリット光の本数である。

従来の計測器は、シングルスリットを用いているが、本計測器では短時間に計測を行うためにマルチスリットレーザを用いる。これにより、従来の計測器では1本のレーザで計測範囲の全域走査する必要があるために時間を要していたが、マルチスリットレーザを使用することで1本あたりのスリットレーザが走査する範囲がスリットの間隔のみとなるため、計測に必要な時間を短縮することができる。

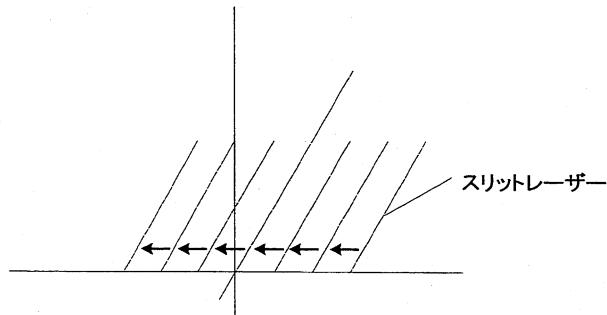


図 4.0.1 計測走査の様子

マルチスリット形状のレーザを使用することにより走査範囲がスリット間隔に限定されるため、イメージエンコーダ法を用いた計測を行うと、形状を算出するためのコードデータ（レーザの照射位置をコード化したもの）が従来の計測器に使用しているシングルスリット形状のレーザを使用した場合と異なる。この違いは、図 4.0.2 に示すように従来の計測器で生成するコードデータが直線的に増加しているのに対し、本計測器では鋸状のコードデータが生成されることである。

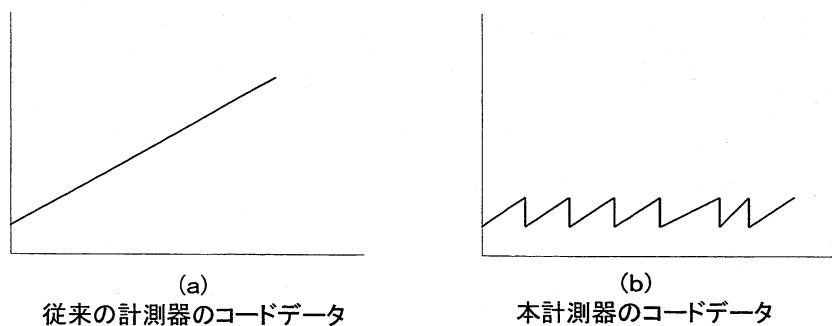


図 4.0.2 生成されるコードデータの違い

従来の計測器は、コードデータが直線的に増加することを前提として形状演算を行っているため、本計測器における形状演算では、鋸状のコードデータを処理するための機能を新たに追加する。

形状演算の流れについては図 4.0.3 に従って行う、鋸状のコードデータを処理するために追加した機能は網掛け部分に該当する。各処理の詳細については、次節以降に説明する。

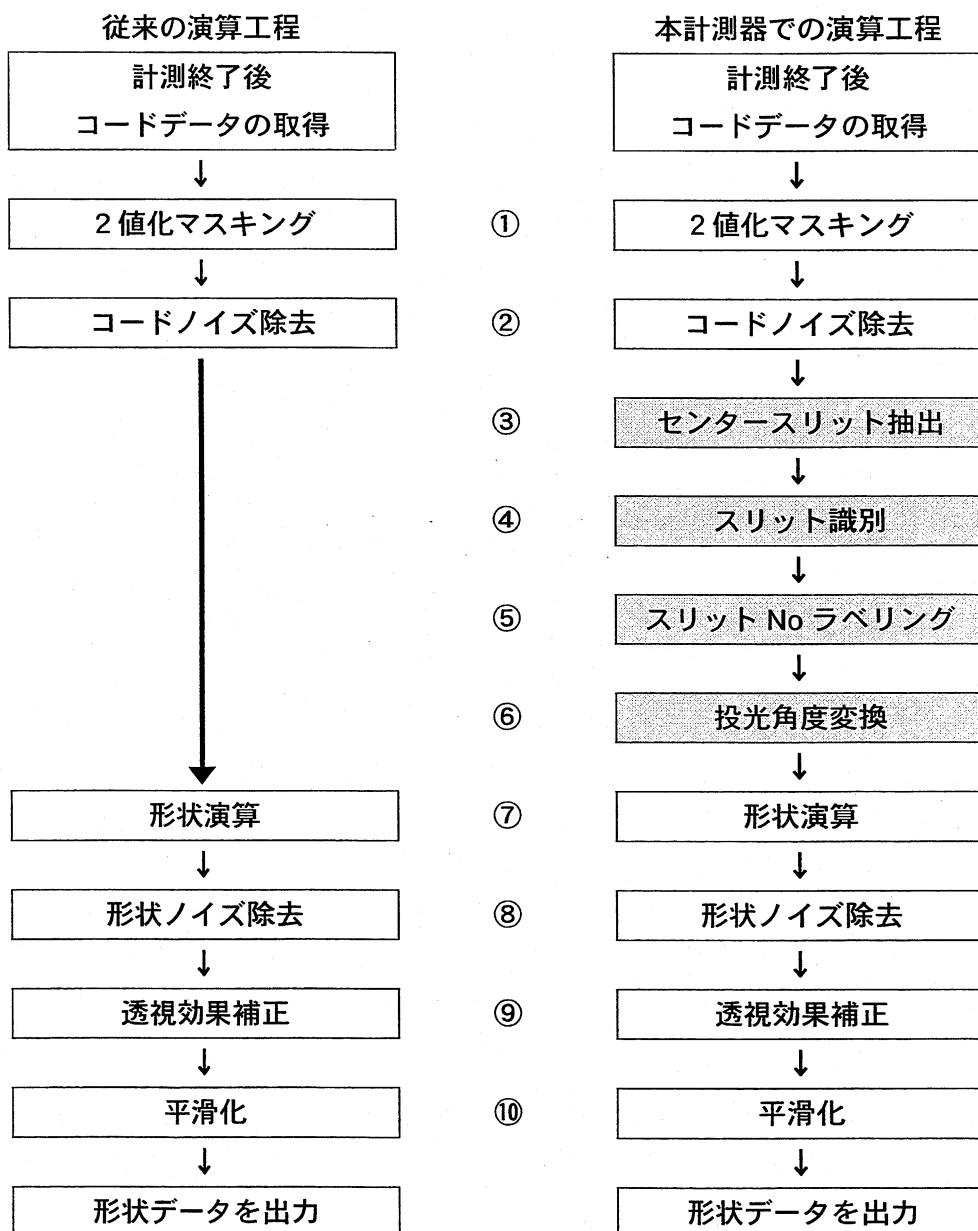


図 4.0.3 形状演算の流れ

## (2) 2値化マスキング

2値化マスキングは形状演算を開始した際、最初に行う処理である。画像入力装置より得られた最大輝度画像と最小輝度画像の差を求めた輝度分布について、図 4.0.4 に示すように閾値以上の輝度差を有する領域と閾値以下の輝度差を有する領域とに2値化処理を行う。その後、計測対象物が存在する領域(有効領域)であるか、計測対象が存在しない領域(無効領域)であるかを判定し、コードデータに対して反映する。これにより背景などノイズ源となるデータを排除することができる。

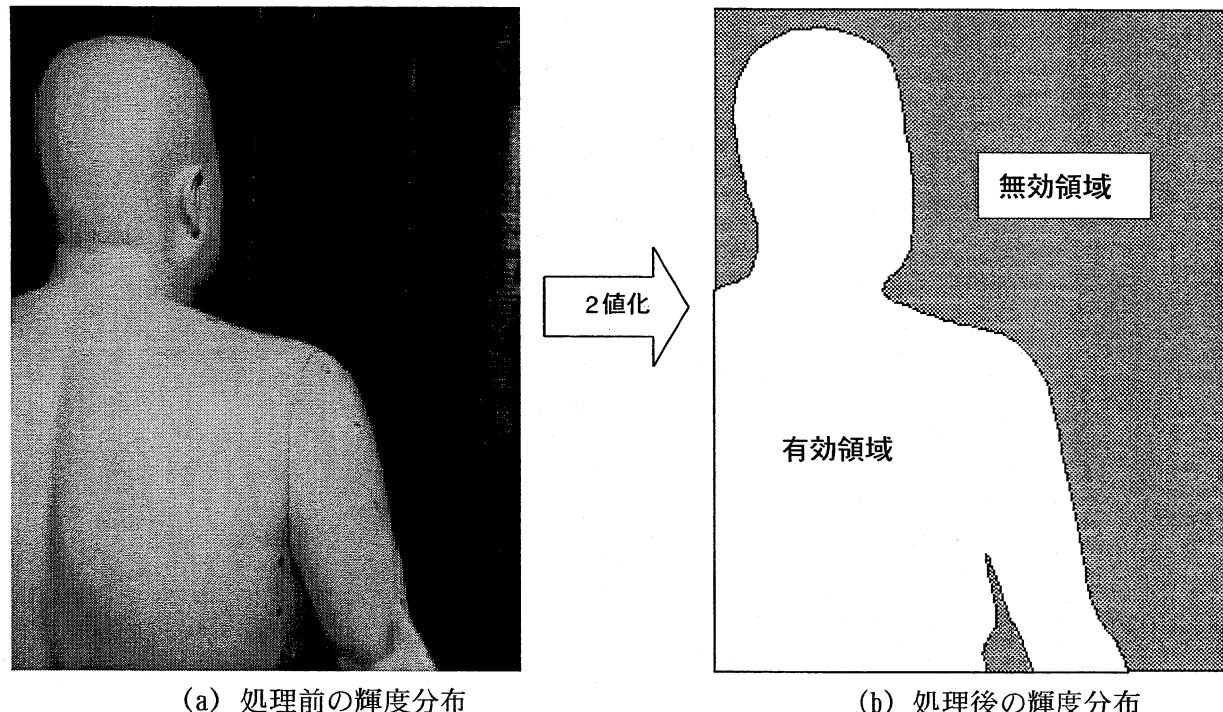


図 4.0.4 2値化マスキング処理

### (3) コードノイズ除去

コードノイズ除去は、2値化マスキングで有効領域と判定されたコードデータに対し、ある画素におけるコードデータとその周辺に存在するコードデータとを比較することでスパイク状に発生するノイズを除去する処理である。

コードデータ間の比較を行いノイズと判定した場合には、その画素のコードデータを無効領域と判定し、形状演算の対象から排除する。

周辺に存在するコード値と比較した時、あるコードレベル以下の値となるコードデータの数が、レベルカット有効点数以上であるか否か〔図 4.0.5 (a) 参照、もしくは無効領域であると判断されたコード値の数が、NG データ点数以上であるか否か〔図 4.0.5 (b) 参照〕により判定を行う。

$b_1$	$b_2$	$b_3$
$b_4$	a	$b_5$
$b_6$	$b_7$	$b_8$

(a)

$a$  : 任意の画素におけるコード値  
 $b_i$  : 任意の画素の周辺に存在する  
 コード値 ( $i = 1 \sim 8$ )  
 $x$  : コードレベル  
 $y$  : レベルカット有効点数  
 $z$  : NG データ点数

$b_1$	$b_2$	$b_3$
$b_4$	a	$b_5$
$b_6$	$b_7$	$b_8$

(b)

$|a - b_i| \leq x$  となる点数  $\alpha$  が、 $y$  以上の時、  
 $a$  は、有効領域  
 $|a - b_i| \leq x$  となる点数  $\alpha$  が、 $y$  以下の時、  
 $a$  は、無効領域  
 $b_i$  の点数  $\beta$  が、 $z$  以上の時  
 $a$  は、有効領域  
 $b_i$  の点数  $\beta$  が、 $z$  以下の時  
 $a$  は、無効領域

図 4.0.5 コードノイズ除去

#### (4) センタースリット抽出

本計測器に使用するマルチスリットレーザは図4.4.2.6に示すようにセンタースリットが他のスリットに比べ輝度値が高い特性を持っている。本計測器では、この特性を利用してセンター スリットの抽出を行い、絶対的なスリット位置を確定する。このレーザ位置の確定にあたり、まずはセンタースリットを確実に抽出する必要がある。以下にセンタースリットの抽出する方 式について説明する。

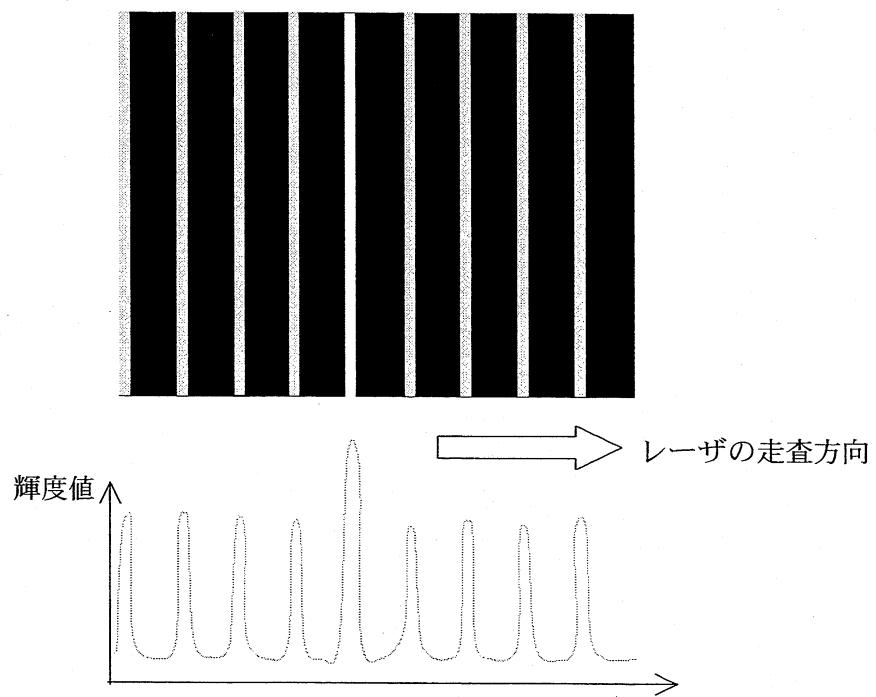


図 4.0.6 マルチスリットレーザの輝度分布特性

抽出方式は、マルチスリットレーザを走査することにより、最大輝度画像は図 4.4.2.7 のようにセンタースリット部分のみ輝度値が高い画像が生成され、この画像の輝度値をもとにスリット走査方向に対して各スリットの軌跡から輝度平均を求め、その輝度平均を閾値として 2 値化処理を行う。

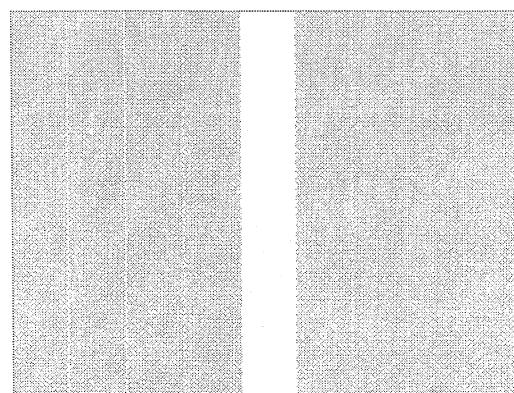


図 4.0.7 マルチスリットレーザ

## (5) スリット識別

コードノイズ除去で有効領域と判定されたコードデータは、マルチスリットレーザにより計測されたため、図 4.4.2.8（計測画面を横向に表示）に示したようにコードデータが鋸状になっている。スリット識別処理ではこのコードデータの段差をもとに各スリットに番号を付けることによりスリットを識別する。

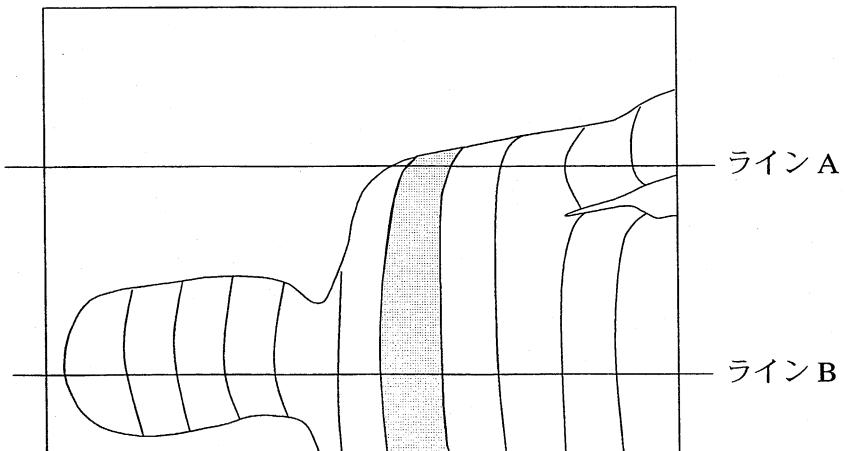


図 4.0.8 コードノイズ除去処理後のコードデータ

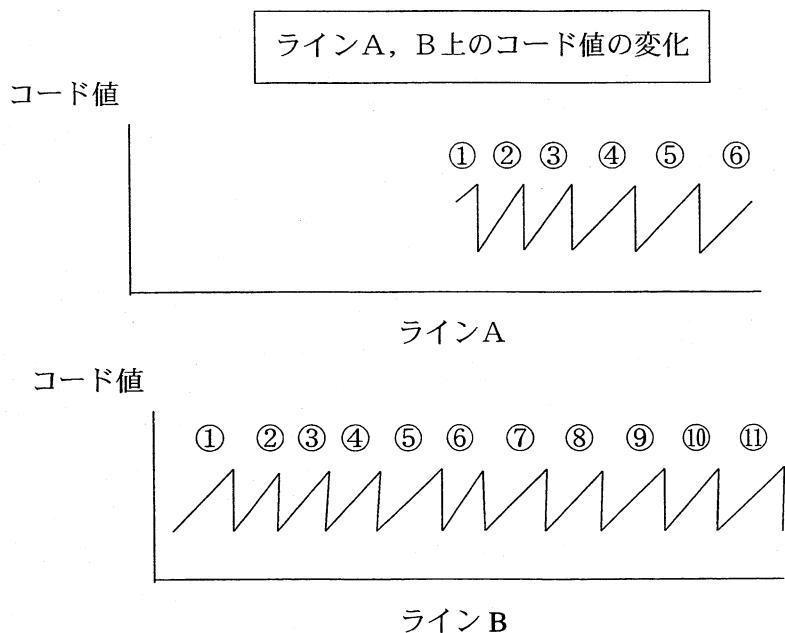


図 4.0.9 各ラインのコードデータ

この時点では、図 4.4.2.9 に示したように同じ照射位置のスリットにも関らず、ラインAとラインBでは異なった番号を割り当てる。これを共通化するのが次節のスリット番号割り当て処理である。

#### (6) スリット番号割り当て

スリット識別処理により各スリットに割り当てられた番号とセンタースリット抽出処理により抽出されたセンタースリットの走査範囲をもとに、図 4.4.2.10 に示すようにセンタースリットを基準とした絶対値的なスリット番号に変換を行う。

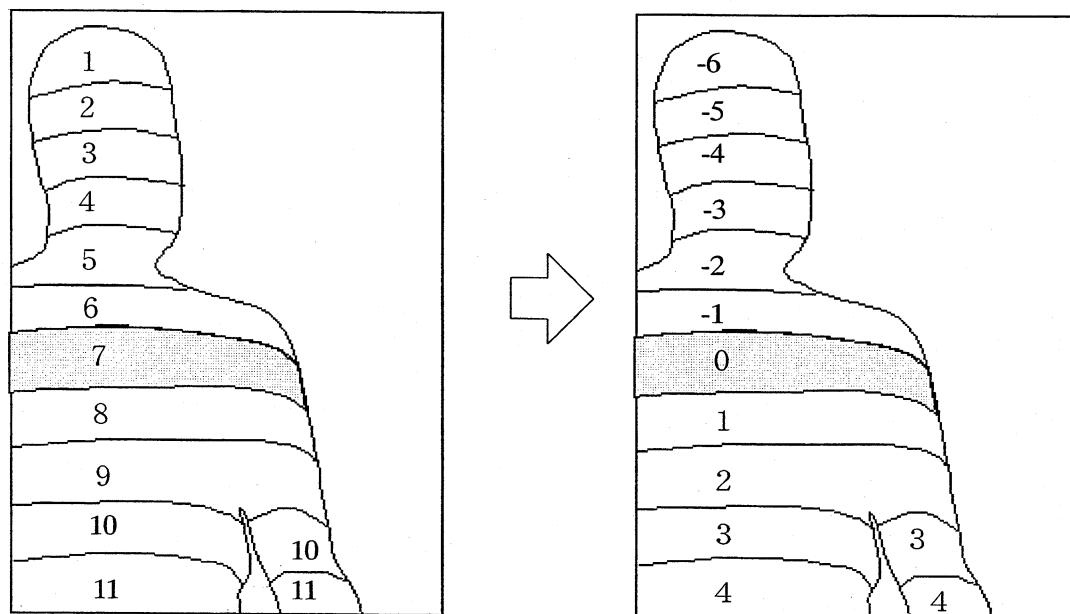


図 4.0.10 スリット番号割り当て

#### (7) 投光角度変換

投光角度変換処理は、スリット番号割り当て処理により、スリット番号が割り当てられたコードデータに対して各スリットのスリット番号と各スリットの間隔角度をもとにコードデータを図 4.4.2.11 に示すように鋸状のコードデータから従来のような連続的なコードデータに変換する。これにより、演算工程の形状演算以降の処理を従来の計測器と共通化することが可能となる。

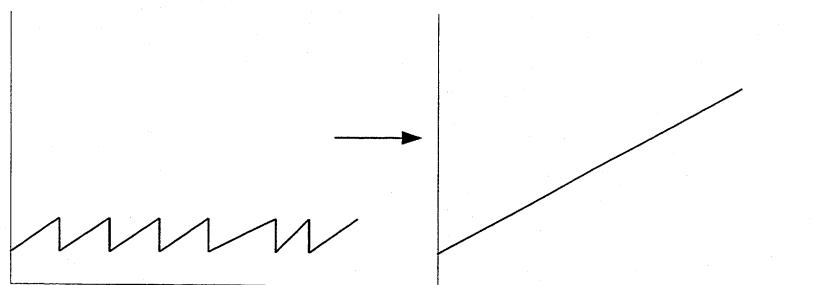


図 4.0.11 投光角度変換

## (8) 形状演算

形状演算処理は、4.0 項の原理で説明したように、三角測量の原理を用いてコードデータとともに形状データ生成する。

ここで生成した形状データには、2 値化処理やコードノイズ除去によって取り除くことできないノイズが存在するため、次節以降の処理が必要となる。

## (9) 形状ノイズ除去

形状ノイズ除去は、任意のある画素における形状データとその周辺に存在する形状データとを比較する。これにより、その任意の画素における形状データがノイズと判定されれば、その任意の画素の形状データを無効領域と判定する。

その判定方式は、コードノイズ除去処理での判定方式と同様で、図 4.4.2.12 に示すようにある任意の形状データに対してその周辺に存在する形状データと比較した時、演算パラメータで設定された高さノイズ除去レベル以下の値となる形状データの数が、高さノイズ除去有効点数以上であるか否かにより判定を行う。

$b_1$	$b_2$	$b_3$
$b_4$	$a$	$b_5$
$b_6$	$b_7$	$b_8$

$a$  : 任意の画素における形状データ  
 $b_i$  : 任意の画素の周辺に存在する形状データ  
( $i = 1 \sim 8$ )  
 $x$  : 高さノイズ除去レベル  
 $y$  : 高さノイズ除去有効点数

$|a - b_i| \leq x$  となる点数  $\alpha$  が、 $y$  以上の時、  
 $a$  は、有効領域  
 $|a - b_i| \leq x$  となる点数  $\alpha$  が、 $y$  以下の時、  
 $a$  は、無効領域

図 4.0.12 形状ノイズ除去

#### (10) 透視効果補正

透視効果補正は、カメラによる遠近感の影響が残っている形状データに対して、遠近感の影響を補正する処理である。これは、形状を無限遠点から投影しているかのように形状データを補正するものである。

この補正により、カメラに近い位置の大きく写っている形状は小さく表現され、遠い位置の小さく写っている形状は大きく表現されるように補正される。

#### (11) 平滑化

平滑化は、透視効果補正処理により得られた形状データには、コードノイズ除去処理や形状ノイズ除去処理で残った形状データ表面に残存するノイズによる影響を小さくするための処理である。

形状に対する平滑方式を変化させ、最もノイズ影響が小さくなるようする必要がある。

#### 4. 4. 3 特徴点抽出におけるサブピクセル法

計測されたデータのデジタル採寸において計測時にマーキングした特徴点を抽出し、その座標を計測する。

この際、マーカの位置を算出する工程において、より精度を向上させるためにサブピクセル法を用いる。この手法は図 4.4.3.1 のようにマーカが複数の画素にまたがって存在する際に、マーカの中心を算出する際、輝度重心を用いて中心を求めるこことにより画素単位に縛られることなく、マーカの中心を算出する。この方法により特徴点抽出の精度は大幅に改善される。

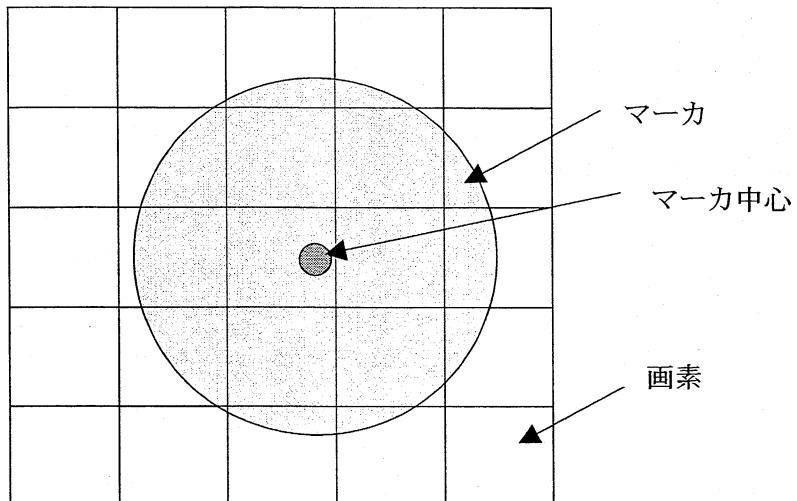


図 4.0.1 マーカ中心座標

本方式を行わない場合は、採寸精度が画素単位に固定されるため、形状計測の解像度以上の精度を得ることはできない。

## 4. 5 詳細仕様

### 4. 5. 1 システム構成

人体全身用計測器のシステム構成を図 4.5.1.1 に示す。

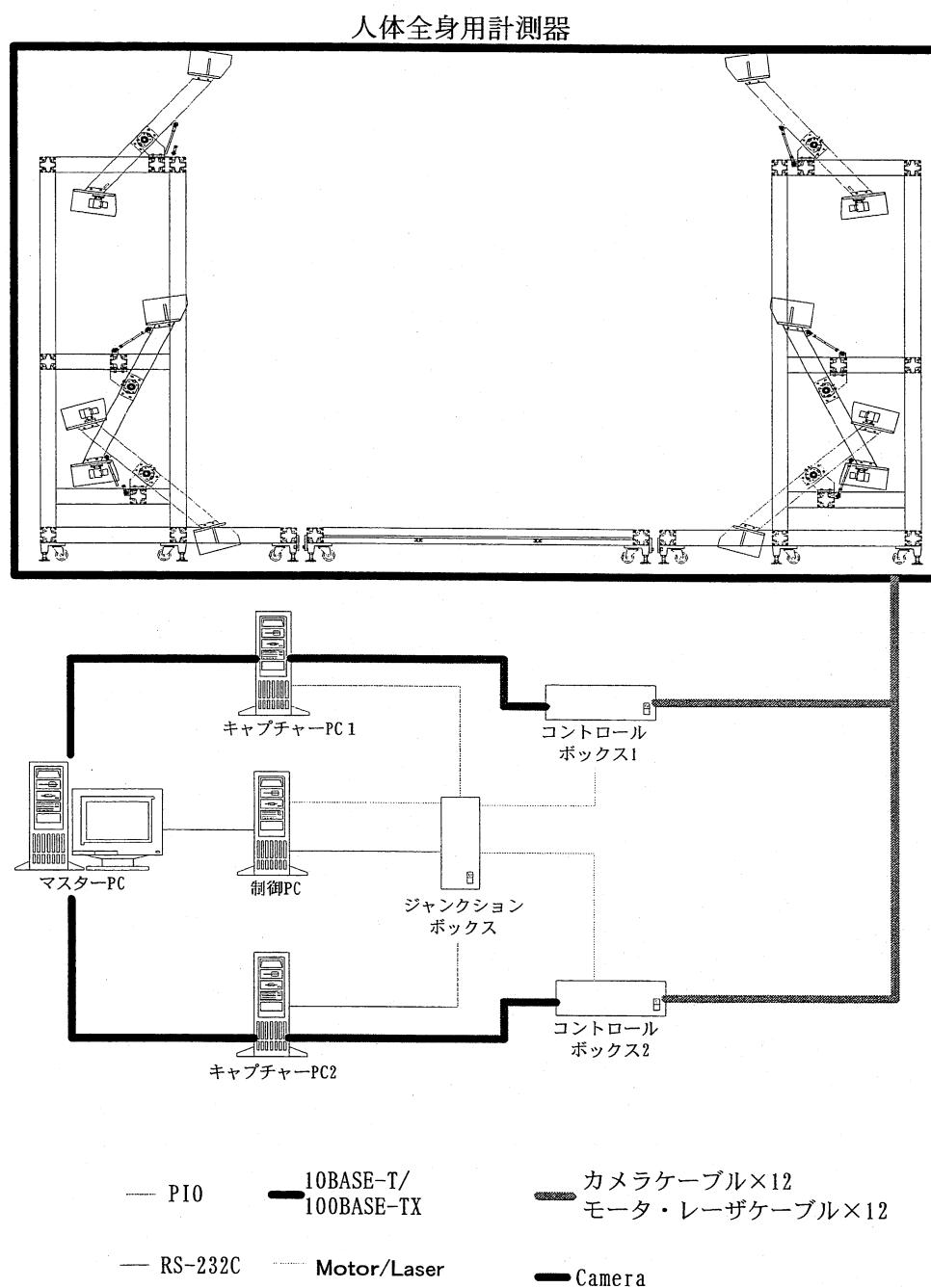


図 4.0.1 システム構成図

#### 4. 5. 2 測定器設計仕様

項目	仕様
ハードウェア	
測定範囲	W1200mm×D 800mm×H 1800mm
スキャナ台数	1 2 台
カメラ仰角	± 20°
カメラ廻り込み角	25°
測定時間	1 ~ 2 秒
データ点数	3,686,400 点 (640×480×12)
測定精度	± 1 mm
装置寸法	W4400mm×D 2600mm×H2700mm
装置重量	約 400kg
ソフトウェア	
データサイズ	輝度データ 3.7MB 形状データ 7.4MB
出力データ	輝度データ *. IDT (1 パイトパ けりーデータ) 形状データ *. DDT (2 パイトパ けりーデータ) XYZ ASCII データ

#### 4. 5. 3 各部仕様

##### (1) スキャナヘッド

###### ● 構成

本計測器に用いられているスキャナヘッドは、図 4.5.3.1 のように撮像部分のカメラユニットとレーザを走査させるレーザスキャナユニットを 1 台づつ搭載した形状計測を行う基本となる構成である。本計測器はこのスキャナヘッド 12 台により構成する。

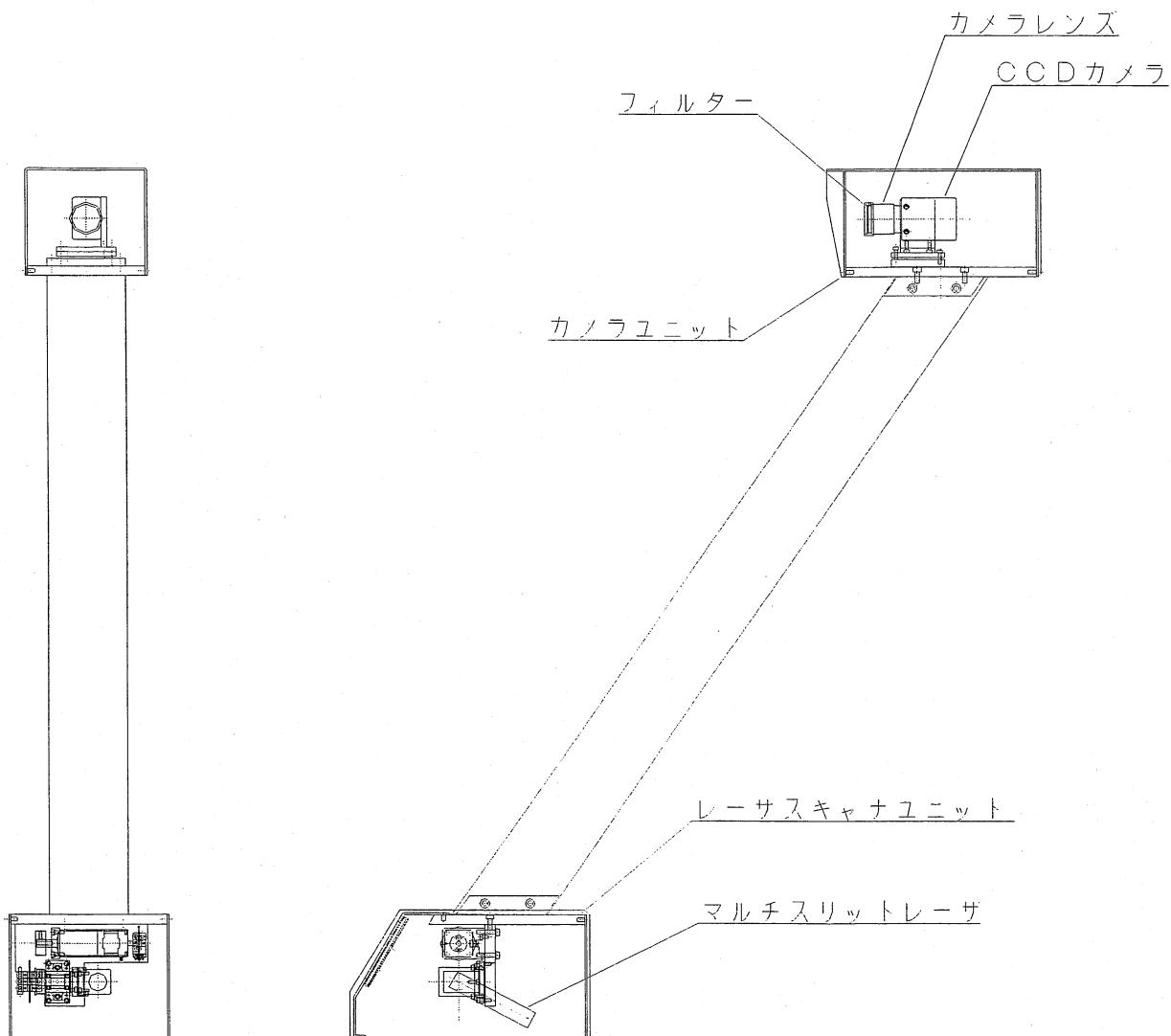


図 4.0.1 スキャナヘッド構成図

## ● 仕様

スキャナヘッドの仕様は、表 4.5.3.1 のとおりである。

表 4.0.1 スキャナヘッド仕様書

項目	仕様
計測範囲	1300 (mm) × 975 (mm) × ± 300 (mm)
データピッチ	約 2 mm
計測限界段差	100 (mm)
計測時間	0.4 (sec)
カメラ距離	2000 (mm)
レーザ中心投光角	約 30°
レーザ本数	15 本
レーザ間隔	2.3°
レーザ回転角	2.3°

## ● レーザスキャナユニット

複数のスリットレーザを生成するマルチスリットレーザユニットとこのスリットを走査するためのモータによるスキャニング機構から構成される。2 台のスキャナを同時に動かした際の干渉を防ぐため、マルチスリットレーザは 2 種類の波長を各 6 台づつ作製する。

表 4.0.2 搭載部品

部品名	型名	メーカー	仕様	数量
マルチスリット レーザ	SNF-513L(2.3°) -690-30-30	Moritex	周波数 : 690nm 出力 : 30mW スリット本数 : 15 本 スリット間隔 : 2.3° 広がり角 : 30°	1 (いずれか 1 方)
	SNF-513L(2.3°) -635-15-30	"	周波数 : 635nm 出力 : 15mW スリット本数 : 15 本 スリット間隔 : 2.3° 広がり角 : 30°	
ステッピング モータ	PMC33B-MG50	オリエンタル モータ	ハーモニックドライブ 角度分解能 : 0.0072°	1

### ● カメラユニット

カメラユニットは撮像用の CCD カメラを搭載したユニットでスキャナユニットに使用したマルチスリットレーザの波長を識別するための干渉フィルタを搭載している。このフィルタはレーザと同じ帯域の波長を選択して搭載する。

具体的には、波長 635nm のレーザを捕らえるためには、645nm の帯域を持つ干渉フィルタをカメラレンズの前方に取り付けて使用する。

**表 4.0.3 搭載部品**

部品名	型名	メーカー	仕様	数量
CCD カメラ	XC-ST70	Sony	画角：2／3 (inch)	1
カメラレンズ	CCTV LENS	Tamron	焦点距離：f = 12	1
フィルタ	干渉フィルタ	酒井ガラス	帯域周波数：700 (nm)	1
		"	帯域周波数：645 (nm))	(いずれか 1 方)

### (2) コントローラ

コントローラはスキャナユニットを駆動するために電源やリレーなどを搭載した制御ボックスである。本コントローラボックス 1 台で、スキャナヘッド 6 台を駆動することが可能である。

本コントローラボックスへの駆動指示は、制御用の PC にて行う。制御用の PC については、0 節を参照のこと。

本コントローラを 2 台配置することにより、スキャナヘッドを 12 台まで駆動することが可能となる。以下にコントローラボックスを構成する主要部品を表 4.5.3.4 示す。

**表 4.0.4 コントローラボックス主要部品**

部品名	型名	メーカー	仕様	数量
ステッピングモータドライバ	PMD03C	オリエンタルモータ	5 相ドライバ	6

### (3) ジャンクションボックス

ジャンクションボックスはコントロールボックスおよび PC 間のコントロールケーブルの中継と分配を行う。また、スキャナヘッドのセンサ、およびパラレル IO(PIO)への電源供給も行う。ジャンクションボックスによるケーブルの中継・分配について図 4.5.3.2 に示す。

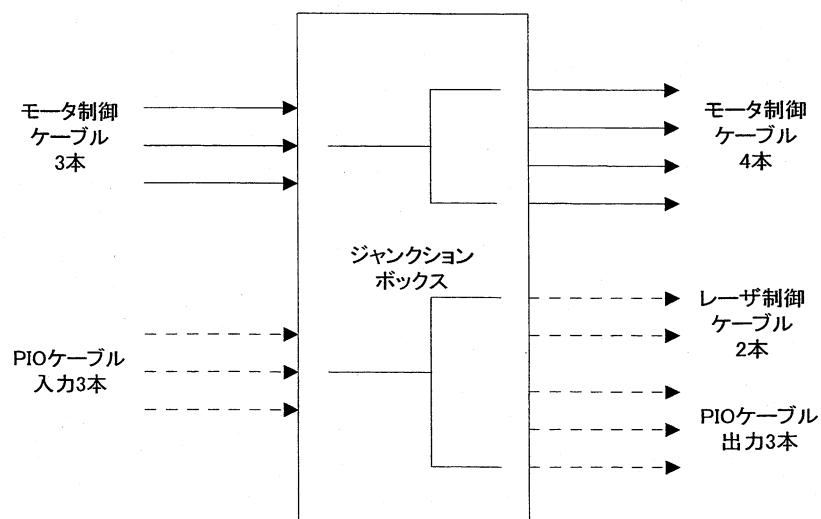


図 4.0.2 ケーブルの中継・分配

なお、カメラケーブルについては、コントローラボックスから直接画像取り込み用の PC へ接続するため、ジャンクションボックスは経由しない。

#### (4) マスターPC

マスターPC は計測やデータの編集などユーザが本計測器を扱う際に使用する PC である。

形状演算、データ管理などの機能があり、制御 PC およびキャプチャ PC への計測指示を行う。

マスターPC は、上記以外にスキャナヘッドを制御するために必要なパラメータ(モータ駆動範囲やカメラ仕様など)や形状演算に必要なパラメータの設定を行う。パラメータは、マスターPC で一元管理し、他の PC からのパラメータ変更は許可しない。

マスターPC の装置仕様について表 4.5.3.5 に示す。

表 4.0.5 マスターPC 仕様

項目	型名	メーカー	仕 様	数量
パソコン	DOS/V 対応	Gateway	PentiumIII(1GHz), 256MB(PC133)	1 台
シリアルポート	—	—	RS-232C D-Sub 9 ピン	1 本
LAN	—	—	10BASE-T/100BASE-TX	1 本
OS		Microsoft	MS-WindowsNT4.0 Workstation	1 セット

## (5) 制御 PC

制御 PC はスキャナヘッドに搭載されたレーザスキャナユニット部の制御を行う PC である。制御 PC1 台でスキャナヘッド 12 台を制御することが可能であり、4 台までのスキャナヘッドを同時駆動することが可能である。同時駆動する 4 台のヘッドを 3 回切り替えることで 12 台分を駆動することができる。

制御 PC は、マスター PC からの計測指示を受け付けるまで待機状態を継続する。計測指示の受信以降は、後述するキャプチャ PC と連動して計測動作を行う。

制御 PC の装置仕様について表 4.5.3.6 に示す。

表 4.0.6 制御 PC 仕様

項目	型名	メーカー	仕様	数量
パソコン	DOS/V 対応	Gateway	PentiumIII(1GHz), 256MB(PC133)	1 台
シリアルポート			RS-232C D-Sub 9 ピン	1 本
モータコントローラボード	C-870v1	メレック	4 軸同時駆動	3 枚
PIO ボード	PIO-32/32L	CONTEC	32 点デジタル入出力	1 枚
OS		IBM	PC-DOS7.0/J	1 セット

## (6) キャプチャ PC

キャプチャ PC はレーザを走査して得られる画像をリアルタイムに取り込み、イメージエンコーダ法により得られるコードデータ、最大輝度データ、および最小輝度データを生成する。PC1台あたり2枚のキャプチャボードを搭載することで、同時に2台のカメラユニットから画像を得ることができる。また、1枚のボードで4チャネルまでを切り替えて使用することができるため、1台のPCで6台までのカメラユニットからの画像を取得することが可能である。同一仕様のPCを2台設置することで、同時に4台、計12台のカメラユニットからの画像を得ることが可能となる。また、制御PCからの計測開始(切替え)の合図をPIO経由で受け取るため、カメラユニットの切替えを高速に行うことが可能となる。

本キャプチャ PC の仕様について表4.5.3.7に示す。

表 4.0.7 キャプチャ PC 仕様

項目	型名	メーカー	仕様	数量
パソコン	DOS/V 対応	Gateway	PentiumIII(1GHz), 256MB(PC133)	2台
PIO ボード	PIO-32/32L	CONTEC	32点デジタル入出力	2枚
キャプチャボード	MUCap2	エデック	4チャネルモノクロキャプチャ NTSC 対応	4枚
LAN	—	—	10BASE-T/100BASE-TX	2本
OS		Microsoft	MS-WindowsNT4.0 workstation	2セット

#### 4. 5. 4 ソフトウェア

##### (1) 概要

本計測器は、12台のスキャナヘッドが搭載され、モータやレーザなど切替えながら約1秒で制御するものである。実現するためには、複数台のPCを使用して複数台の装置を同時に制御(モータ駆動、レーザ照射、画像取り込みなど)する必要がある。

そこで、本装置を制御するためのソフトウェアを3つの機能に分割し、それぞれが担当する装置を限定することで実現することが可能である。各機能は、独立したソフトウェアとして作成し、各ソフトウェアが連携することで計測データを得ることができる。

3つの機能に分割したソフトウェアは以下のとおりである。

- |                  |              |
|------------------|--------------|
| ● 計測、演算統括機能      | マスター ソフトウェア  |
| ● レーザ走査画像の取り込み機能 | キャプチャ ソフトウェア |
| ● モータ、レーザ制御機能    | 制御 ソフトウェア    |

各ソフトウェアの関連は図4.5.4.1のとおりである。

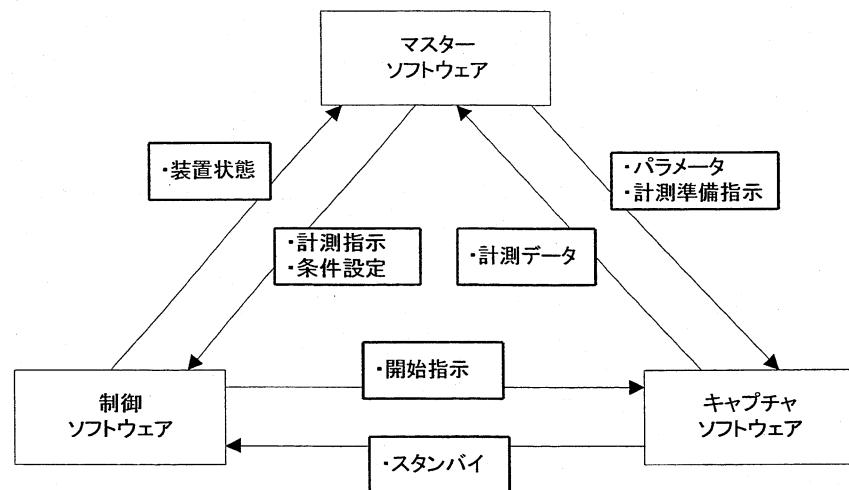


図 4.0.1 各ソフトウェアの関連

## (2) マスターソフトウェア

マスターソフトウェアは、マスターPCにインストールして使用するソフトウェアで、計測開始の指示やデータ管理(演算および編集)を行い、計測作業を運用するためのユーザインターフェースを提供する。

本ソフトウェアでサポートする機能について以下に示す。

### 1) 計測機能

制御PCおよびキャプチャPCに対して計測指示を行い、計測データ(コードデータ、最大輝度データ、最小輝度データ)を取得する。

### 2) 演算機能

計測データ(コードデータ、最大輝度データ、最小輝度データ)から、形状および輝度データを生成する。

### 3) 編集機能

形状データおよび輝度データに対して、削除や穴埋めなどの編集を行う。

### 4) パラメータ設定機能

制御PCおよびキャプチャPCに対する計測情報(パラメータ)や、演算時に使用する光学および演算パラメータの設定を行う。

### 5) 制御PC通信機能

RS-232C(COMポート)1本を使用して、制御PCへの計測指示および装置の状態情報などの送受信を行う。通信速度は9600bpsを使用する。

### 6) キャプチャPC通信機能

ネットワーク(LAN)を使用し、MS-Windowsのファイル共用機能で計測準備の指示や計測データの受け渡しを行う。

OSにはMS-WindowsNT4.0 workstationを使用し、(1)~(4)の機能についてユーザインターフェースを提供する。

### (3) 制御ソフトウェア

制御ソフトウェアは、制御 PC にインストールして使用するソフトウェアで、計測器のレーザやモータの制御、およびキャプチャ PC に対する計測指示などの制御を行う。また、本ソフトウェアは、マスターPCからの計測指示を受けて各装置の制御を行うもので、ユーザが直接操作する必要はない。

本ソフトウェアでサポートする機能について以下に示す。

#### 1) モータ制御機能

モータコントローラボード3枚を使用して、12台取り付けられた任意のパルスモータに対して、原点復帰動作、絶対移動動作、相対移動動作、スピード切替えの制御を行う。計測時には、同時に4台のモータを制御する。

#### 2) レーザ制御機能

パラレル IO(PIO)ボード1枚を使用して、12台取り付けられた任意のレーザに対して点灯動作(ON/OFF)を制御する。

#### 3) マスターPC通信機能

RS-232C(COMポート)を通じて、計測開始指示や装置の状態情報の送受信を行う。転送速度は9600BPSを使用する。

#### 4) キャプチャPC通信機能

パラレル IO(PIO)ボードを1枚使用して、キャプチャPCへの画像取り込み指示や停止指示を行う。

本制御ソフトウェアでは、計測開始のタイミングを正確に行うため、ソフトウェアの動作が安定しにくいMS-Windowsは使用せず、PC-DOS(MS-DOS)を使用する。

#### (4) キャプチャソフトウェア

キャプチャソフトウェアは、キャプチャ PC にインストールして使用するソフトウェアで、レーザを操作して得られるカメラ画像を取り込み、形状データを算出するための元となる計測データを取得する。本ソフトウェアは、マスターPC および制御 PC からの計測指示により計測データの取得を行うため、リアルタイムにカメラ画像を表示する機能以外については、直接ユーザが操作する必要はない。

本ソフトウェアでサポートする機能について以下に示す。

##### 1) 計測データ取得機能

キャプチャボード 2 枚(キャプチャ PC 1 台あたり)を使用して、6 台のカメラから得られるレーザの走査画像から形状演算に必要な計測データ(コードデータ、最大輝度データ、最小輝度データ)を取得する。計測時には、同時に 2 台(キャプチャ PC 1 台あたり)から画像を得る。

##### 2) カメラ画像プレビュー機能

被験者の姿勢などのカメラ画像をリアルタイムにキャプチャ PC のモニタ画面に表示する。1 台分のカメラ画像をモニタに表示し、6 台のカメラ画像を切り替えて表示する。

##### 3) カメラ画像保存機能

リアルタイムに表示されているカメラ画像をビットマップ形式で保存する。被験者の姿勢などの比較画像として使用する。

##### 4) マスターPC 通信機能

ネットワーク(LAN)を使用して、MS-Windows のファイル共用機能で、計測準備の指示や計測データの受け渡しを行う。

##### 5) 制御 PC 通信機能

パラレル IO(PIO)ボード 1 枚を使用して、制御 PC からの画像取り込み指示やスタンバイ指示の送受信を行う。

##### 6) パラメータ表示機能

マスターPC で設定したパラメータのうち、キャプチャ PC で使用するパラメータの表示を行う。

OS には、MS-WindowsNT4.0 workstation を使用し、カメラ画像プレビュー機能とカメラ画像保存機能のみユーザインターフェースを提供する。

## 4. 6 開発技術検討

### 4. 6. 1 マルチスリットレーザによる計測方法

#### (1) 概要

当初、本計測器の開発にあたりレーザスキャナとして図 4.6.1.1 に示すようにマルチスリットレーザ(Moritex 製 複数のスリットを照射するレーザ)を用いることにより、計測時間を短縮する方針であった。

しかし、マルチスリットレーザを試験中、図 4.6.1.1 に示すようにセンタースリットを除く他のスリットが外へ広がるように湾曲することが判明したため、レーザスキャナの設計変更を行った。

メーカーに確認したところマルチスリットレーザを計測器で使用することは不可能と判断し、その代用となるレーザスキャナとして図 4.6.1.2 に示すドットレーザ(Moritex 製 複数の点を等角度で照射するレーザ)を図 4.6.1.3 のような構成で計測器のレーザスキャナに使用する方針にした。

今回、方針を変更するまでの経過と推移を以下に報告する。

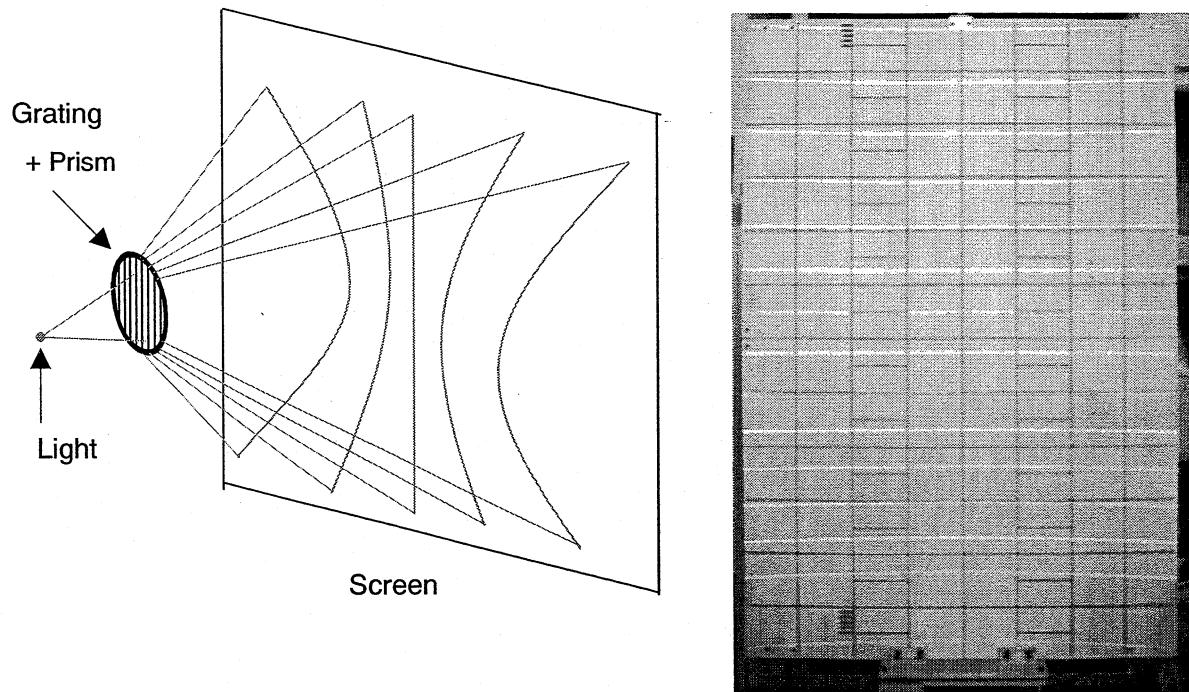


図 4.0.1 マルチスリットレーザの構造と照射画像

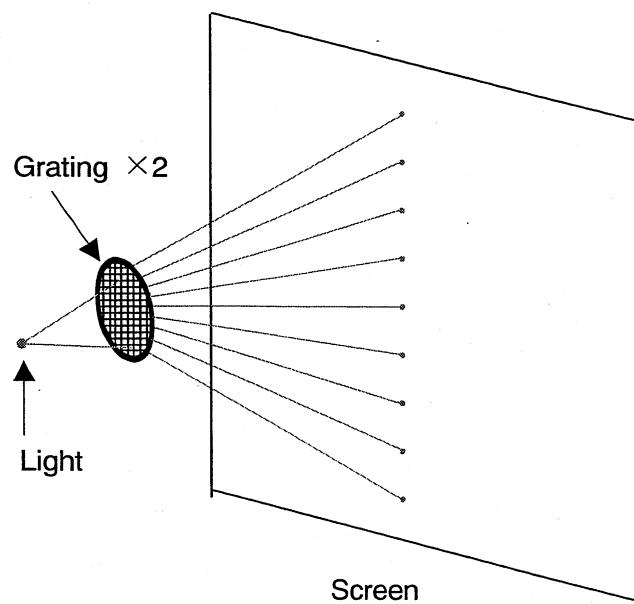


図 4.0.2 ドットレーザの構成図

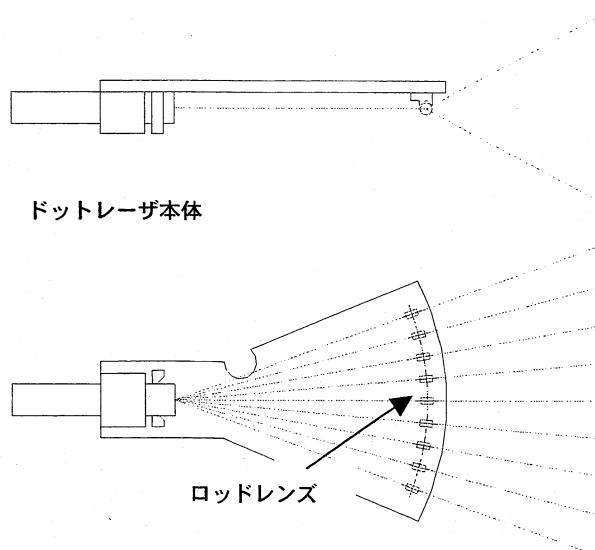


図 4.0.3 ドットレーザを用いたスキャナユニット構成図

## (2) 問題点

使用したマルチスリットレーザは、発光点からレーザの入口に干渉格子が付いているプリズムを用いて、複数のスリットに分割後、それをプリズムにより拡大する構成なっている。原因は、拡大する際に分割された複数のスリットが、プリズムに各々異なった角度で入射するためである。

これにより、マルチスリットレーザから照射されるスリットには歪みが生じており、現状のままでは、従来の形状演算方式の前提条件である「照射されるレーザは一直線でなければならない。」を満たさないため問題となっている。

## (3) 対応策の検討結果と結論

### <検討1> ソフトによる補正

#### ● 検討内容

上記のように従来の形状演算方式を用いるには、照射されるスリットレーザが直線であるという条件が満たされなければならない。しかし、今回使用するマルチスリットレーザでは、センタースリットを除く全てのスリットが湾曲しているために従来どおりの形状演算方式を用いることは出来ない。

そこで上記条件を満たさない場合においても形状算出を可能にするために、従来の形状演算にスリットの湾曲具合を表す変数を加えた新たな形状演算方式に変更する考え方である。

#### ● 方式

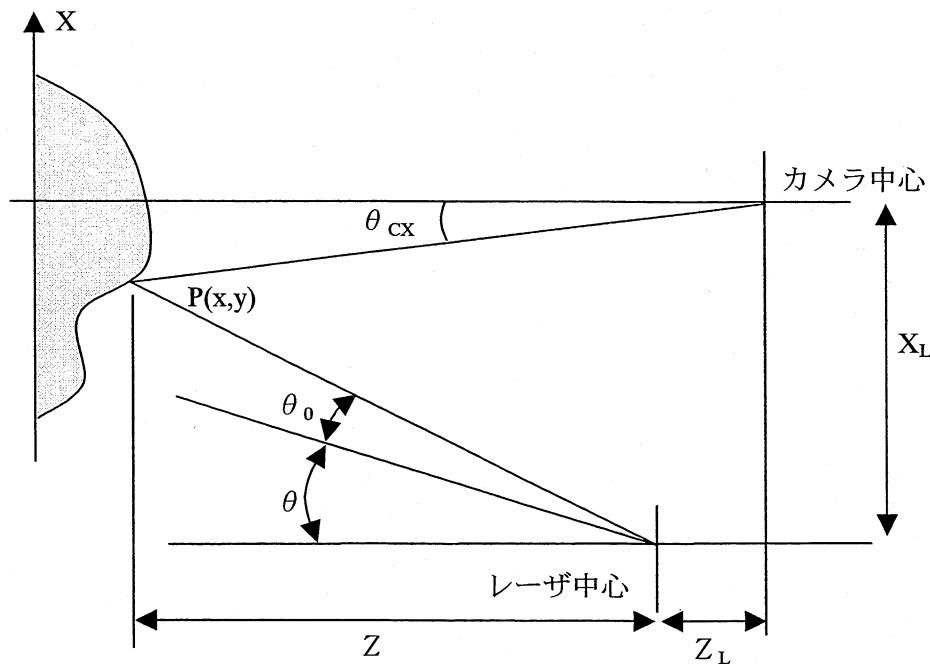


図 4.0.4 側面図

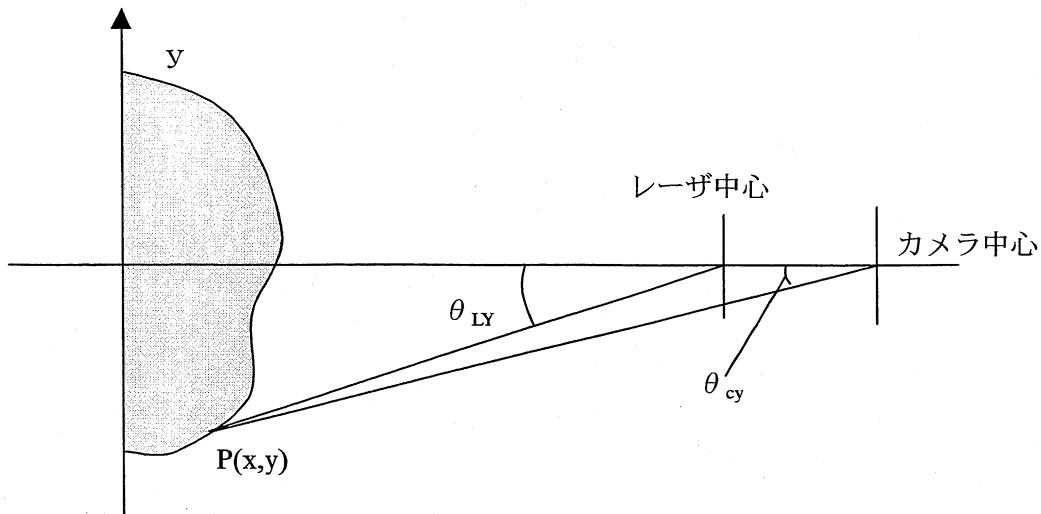


図 4.0.5 平面図

- $\theta$  : センターレーザの投光角度
- $\theta_{cx}$  : カメラと点Pとの垂直方向角度
- $\theta_{cy}$  : " 水平方向角度
- $\theta_{Lx}$  : センターレーザと点Pの垂直方向角度
- $\theta_{Lxc}$  : センターレーザと点Pに当たったレーザのセンター位置における垂直方向角度
- $\theta_{Ly}$  : レーザと点Pにおける水平方向角度

図 4.6.1.4, 図 4.6.1.5において

干渉格子を使用していることから  $\theta_{Lx}$  と  $\theta_{Ly}$  の間には以下の関係式がある。

$$\sin(\theta_{Lx}) = m [\lambda / p \cos(\theta_{Ly})] \quad \text{--- (1)}$$

m : 中央からのライン数

$\lambda$  : レーザの波長

p : 干渉格子の間隔

ここで平面図より

$$Z \tan \theta_{Ly} = (Z + Z_L) \tan \theta_{cy} \quad \text{--- (2)}$$

側面図より

$$Z \tan (\theta + \theta_{Lx}) + (Z + Z_L) \tan \theta_{cx} = X_L \quad \text{--- (3)}$$

②、③より Z を消去すると

$$\frac{Z_L \tan \theta_{cy}}{\tan \theta_{Ly} - \tan \theta_{cy}} = \frac{X_L - Z_L \tan \theta_{cx}}{\tan (\theta + \theta_{lx}) + \tan \theta_{cx}} \quad ④$$

①、④の式において  $m$ 、 $\lambda$ 、 $p$ 、 $\theta$ 、 $\theta_{cx}$ 、 $\theta_{cy}$  は既知の値として入力できる。

従って、①、④式の連立によって  $\theta_{Ly}$  を求めることにより  $\theta_{Lx}$  も求まる。

この計算結果によりレーザの投光角度に補正を行い形状演算に用いる

#### ● 検討結果

関係式を導き出す連立方程式までは算出することが出来たが、この連立方程式から展開して関係式を導き出すことが不可能であった。

又、実際にこの連立方程式からプログラムを作成し、実行したとしても処理に膨大な時間がかかると予測できるため、本方式による検討を中止した。

## <検討2> 光学系による補正

### ① マルチスリットレーザを補正する方法

#### ● 検討内容

形状演算方式の前提条件を満たす様に、マルチスリットレーザから照射されたスリットを或る特定の角度でシリンドリカルレンズを通過させることにより、スリットに生じる湾曲を補正する考え方である。

#### ● 検討方法

実際にマルチスリットレーザの前面に  $f = 12.7\text{mm}$ 、 $f = 60\text{mm}$  のシリンドリカルレンズを設置して確認を行った。

#### ● 検討結果

シリンドリカルレンズを用いて湾曲を補正すること自体には全く問題ないが、全てのスリットに対して湾曲を補正しようとすると、各々のスリットで補正するために必要な入射角が異なるために、そのままの形状のシリンドリカルレンズでは補正不可能である。

又、シリンドリカルレンズの形状を必要な形状に変形させることも不可能であるため中止した。

### ② ドットレーザを用いてスリットを照射する方式

#### ● 検討内容

新たなレーザスキャナとしてドットレーザと複数のロッドレンズを用いて、ドットレーザから照射される複数の点レーザを広げる方向とは垂直の方向に引き伸ばして複数のスリットに変換する方式である。

#### ● 検討方法

まず、点レーザがスリットに変換された時、複数のスリットがすべて平行に照射されているか、どうかをロッドレンズの代用品としてアクリル棒を使用して検討を行った。その際に使用した方法についての検証結果を図 4.6.1.6 に示す。

アクリル棒による検証では、レーザの輝度に斑が生じ、実際の計測器には使用できないため、ロッドレンズを用いた検証を再度行った。アクリル棒を使用した際に検証した同一の状況で、レーザの干渉や輝度の斑が発生ないことを確認した。その際の検証結果を図 4.6.1.7 に示す。

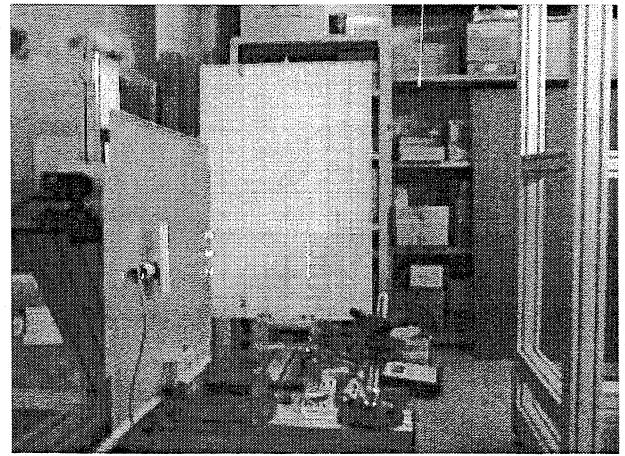
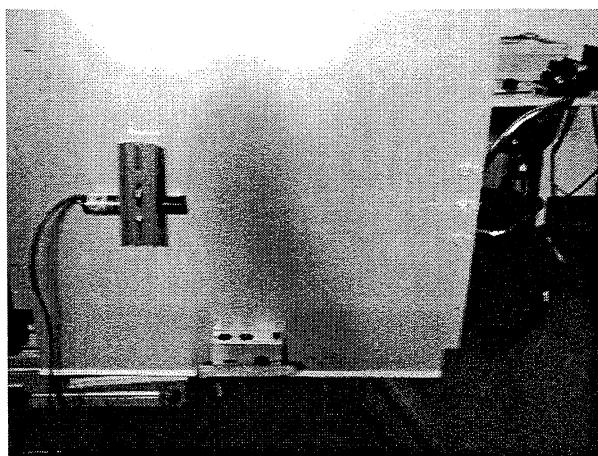


図 4.0.6 アクリル棒による試験方法と結果

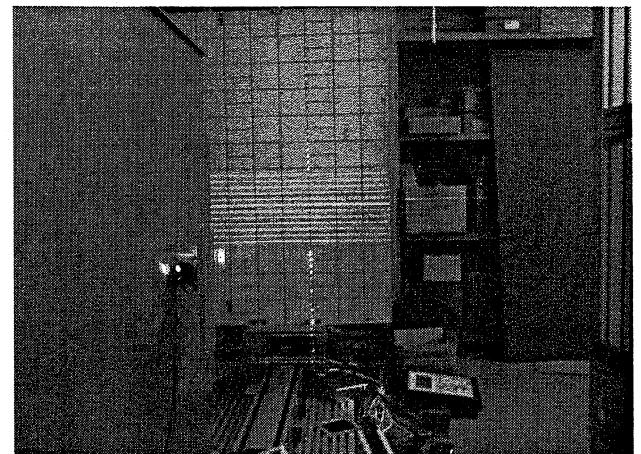
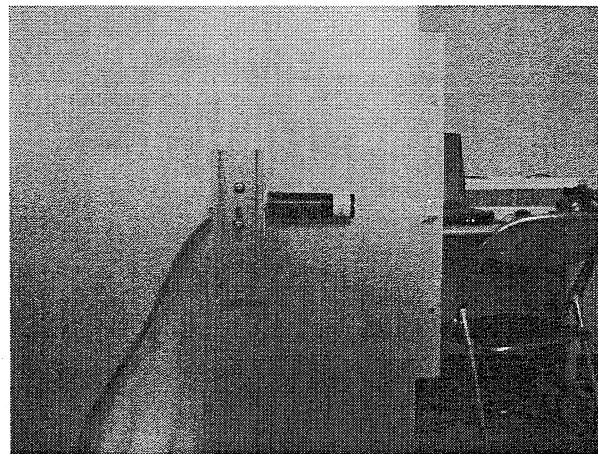


図 4.0.7 ロッドレンズによる試験方法と結果

#### ● 検討結果

この構成により原理的に平行なマルチスリットレーザを生成することが可能である。ただし、各ドットレーザに対して1つのロッドレンズを配することとなるので、サイズ的に大きな光学系となってしまう事が課題となる。

### <結論>

原理的に実現可能な方法は、複数ドットが照射されるレーザを使用して、各ドットレーザをロッドレンズに通過させて平行で且つ湾曲の無いスリットを生成することである。

但し、従来の設計では、マルチスリットレーザを照射する装置が小型なものであったが、本方式を採用することで、光学部品を大きくする必要が生じる。そこで、当初予定していた計測原理では 15 本のマルチスリットレーザを使用することとしていたが、これでは光学系部品の配置が大きくなり、現実的ではなくなってしまう。そこで光学系部品を極力小さくするためにレーザスキャナユニットにから照射するスリットレーザの本数を 9 本とした。そしてレーザ間隔の角度を  $2.3^\circ$  から  $5^\circ$  に広げることにより当初の測定範囲をカバーする方針とする。

## 4. 6. 2 計測レイアウト検討

### (1) 概要

本開発のポイントの一つである隠れ部位の低減を行うにあたり、人体をどの方向から CCD カメラで撮像し、レーザをどの方向から照射することができるかを検討する。ここで隠れ部位とは、体側面、肩部、脇の下、股下と規定し、この部分の計測を行うのに適していると考えられるレイアウトを図面上にて検討し、基本のレイアウトとした。そのレイアウトに対して実際に CCD カメラと投光機を配置し、隠れ部位に関して検討を行う。

### (2) 基本レイアウト検証

図面上にて検討した基本レイアウトを図 4.6.2.1 に示す。

本レイアウトにおいて下方に  $8^\circ$  傾けて設置した①、②の 4 台のスキャナユニットにて上半身と肩部、脇の下を計測し、水平方向に設置した③、④の 4 台にて下半身と足の甲を計測し、上方に  $15^\circ$  傾けて設置した⑤、⑥の 4 台にて股下を計測する。体側面に関しては①、②、③、④が周方向に  $25^\circ$  回転して設置しているのでこの 8 台にて計測を行うものとする。

また、①、②、③、④はレーザユニットを上方にレイアウトし、⑤、⑥はレーザユニットを下方にレイアウトすることによってレーザが照射されない部分を極力減少させるものとしている。

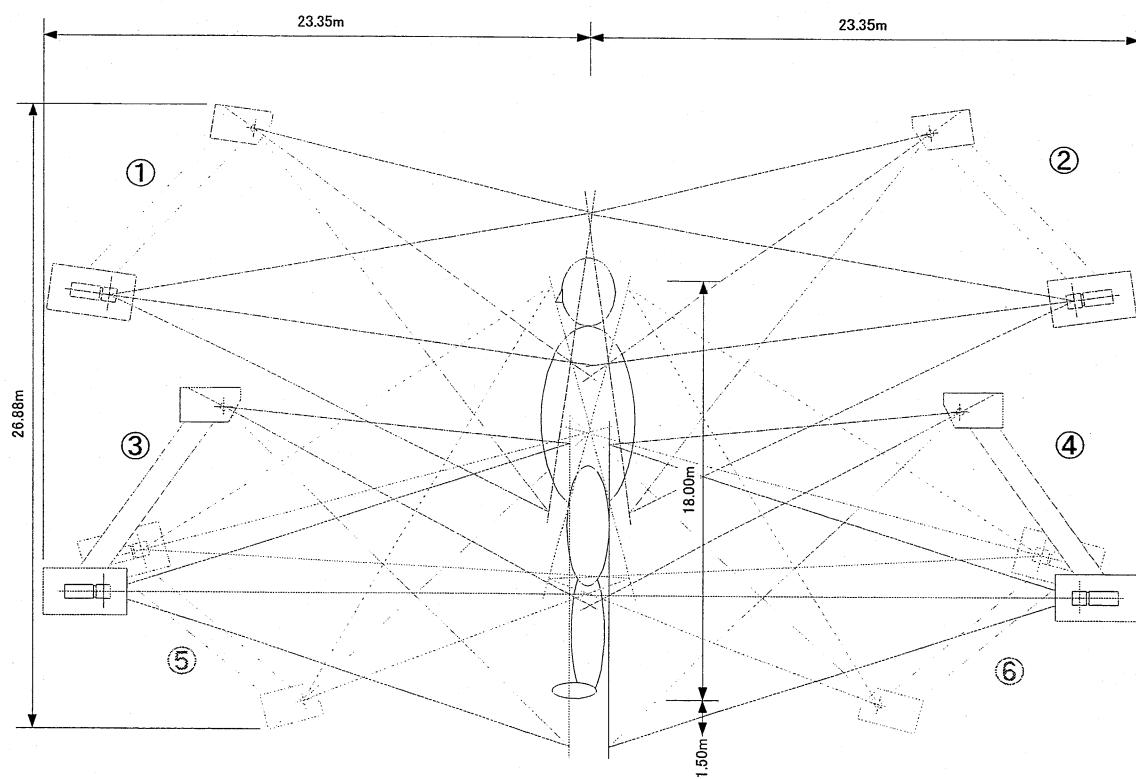
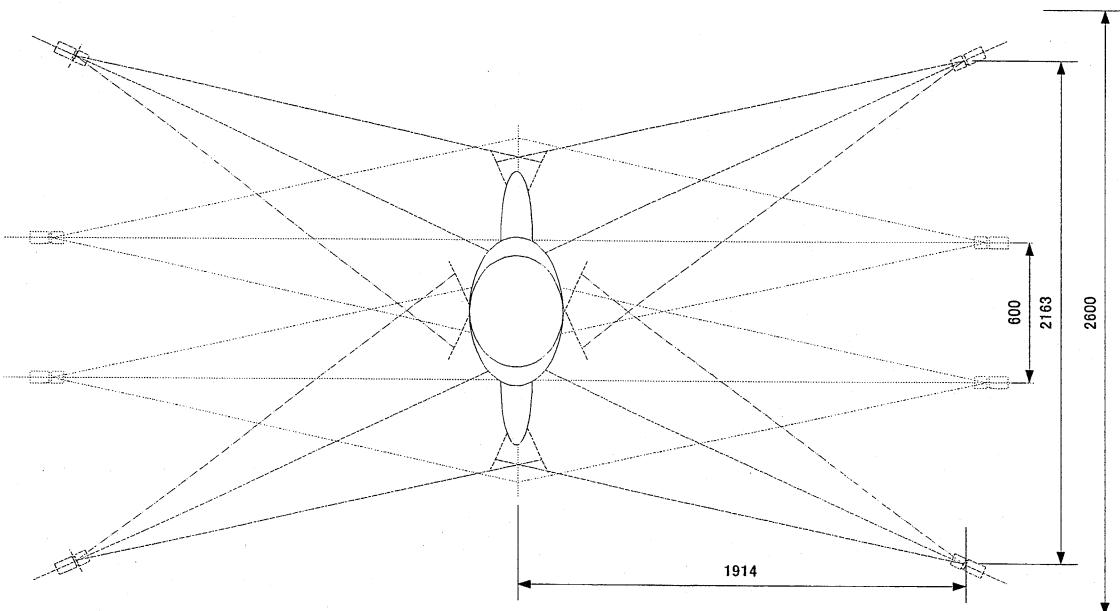


図 4.0.1 基本レイアウト

### (3) 検討結果

基本レイアウトにてダミー人形を測定した画面を図 4.6.2.2 から図 4.6.2.4 に示す。

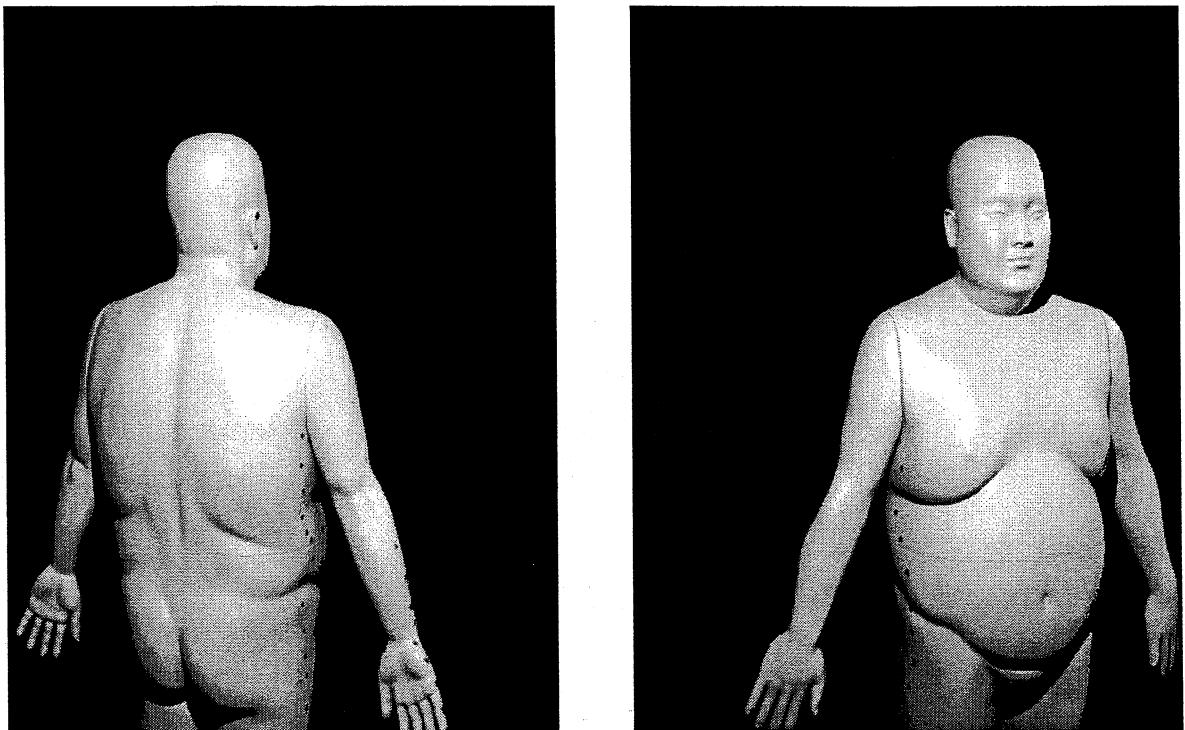


図 4.0.2 ①,②カメラ撮像画像

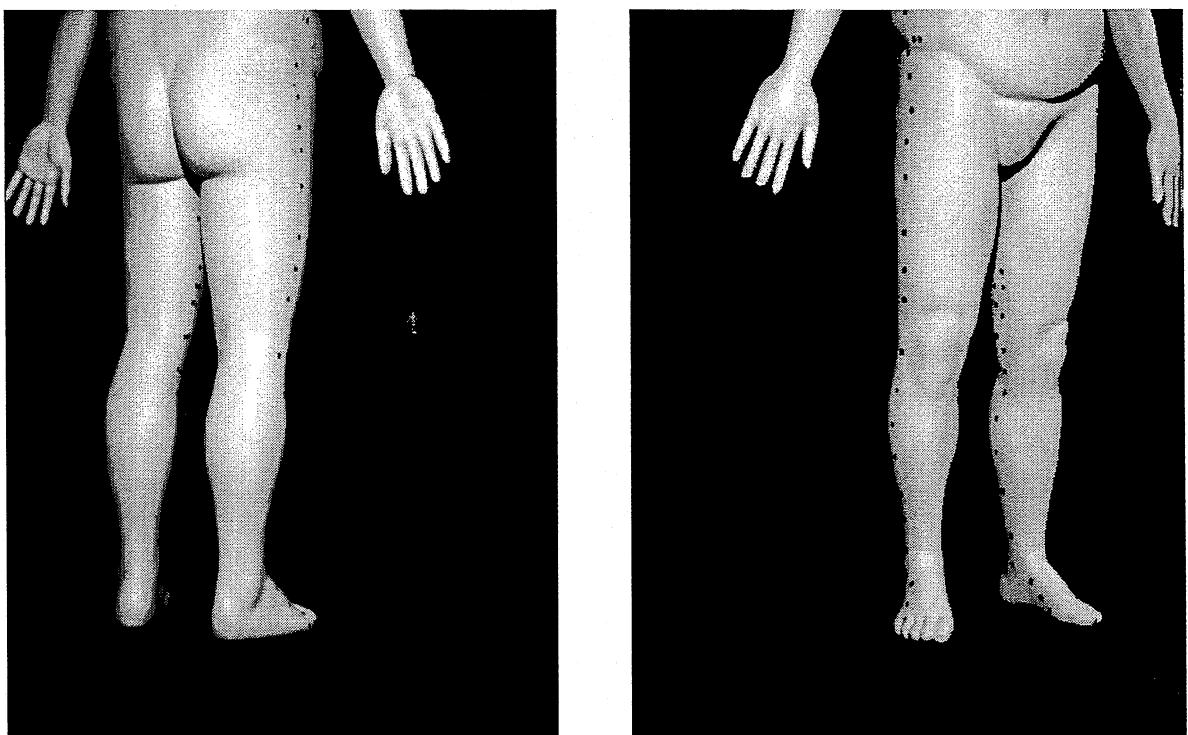


図 4.0.3 ③,④カメラ撮像画像

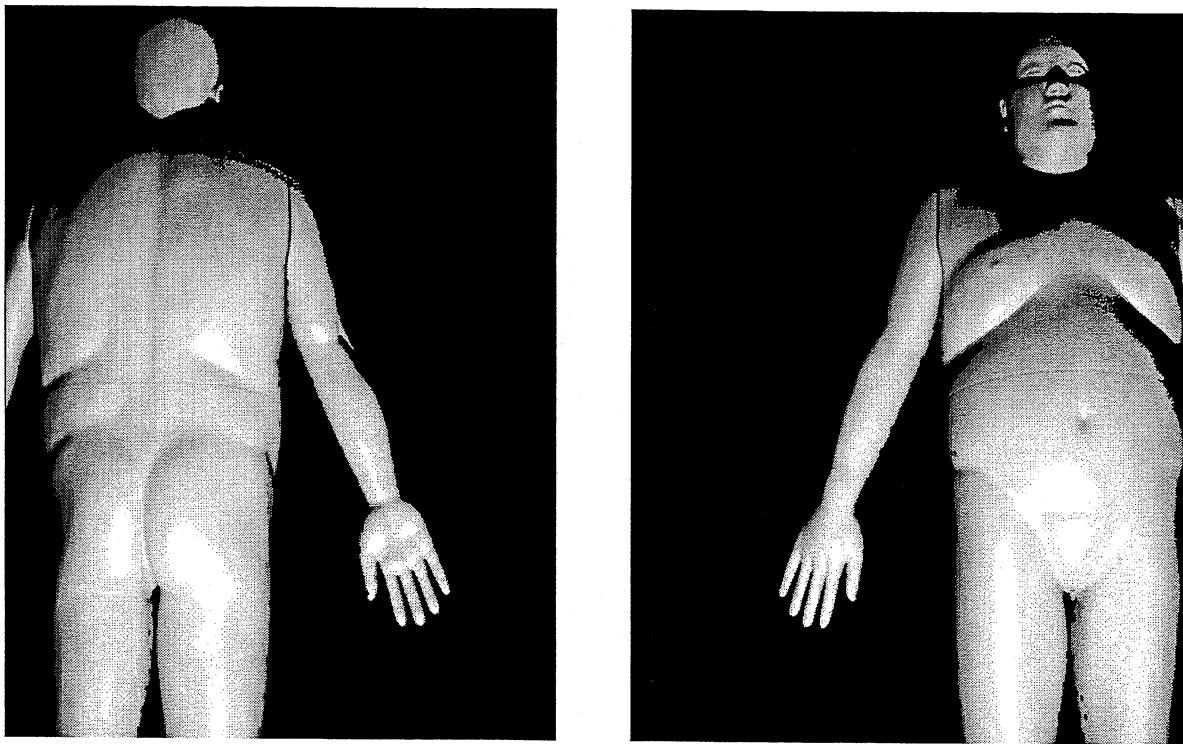


図 4.0.4 ⑤,⑥カメラ撮像画像

● 検討結果

図 4.6.2.2 から図 4.6.2.4 にて示された画像はカメラで撮像した画像からレーザが照射した部分のみを抽出した画像です。体側面、肩、股下、に関する隠れ部位はかなり減少しているが、脇の下に関しては①、②カメラの画像では腕の陰が大きく発生している。

● 対策

脇の下をもっと確実に測定するために、③、④カメラの設置角度を下から見上げるようにして脇の下まで撮像できるようにレイアウトを変更する。

そのカメラおよびレーザユニットのレイアウトを図 4.6.2.5 に示す。また、撮像した画像を図 4.6.2.6 から図 4.6.2.8 に示す。

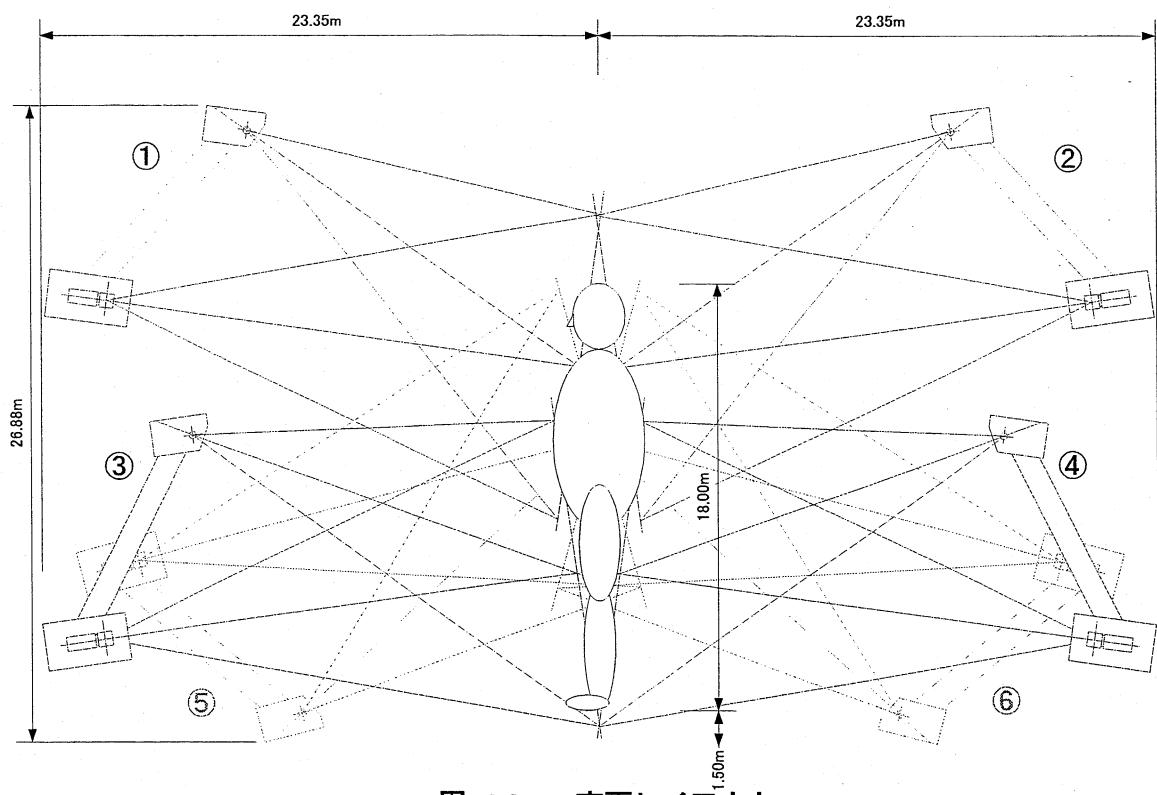
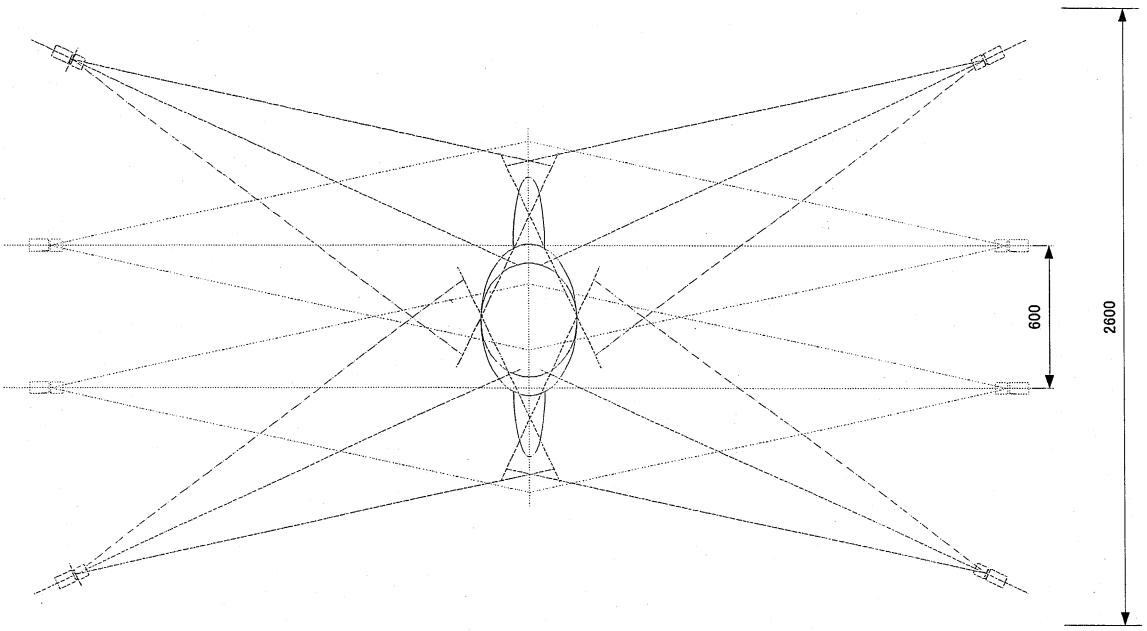


図 4.0.5 変更レイアウト

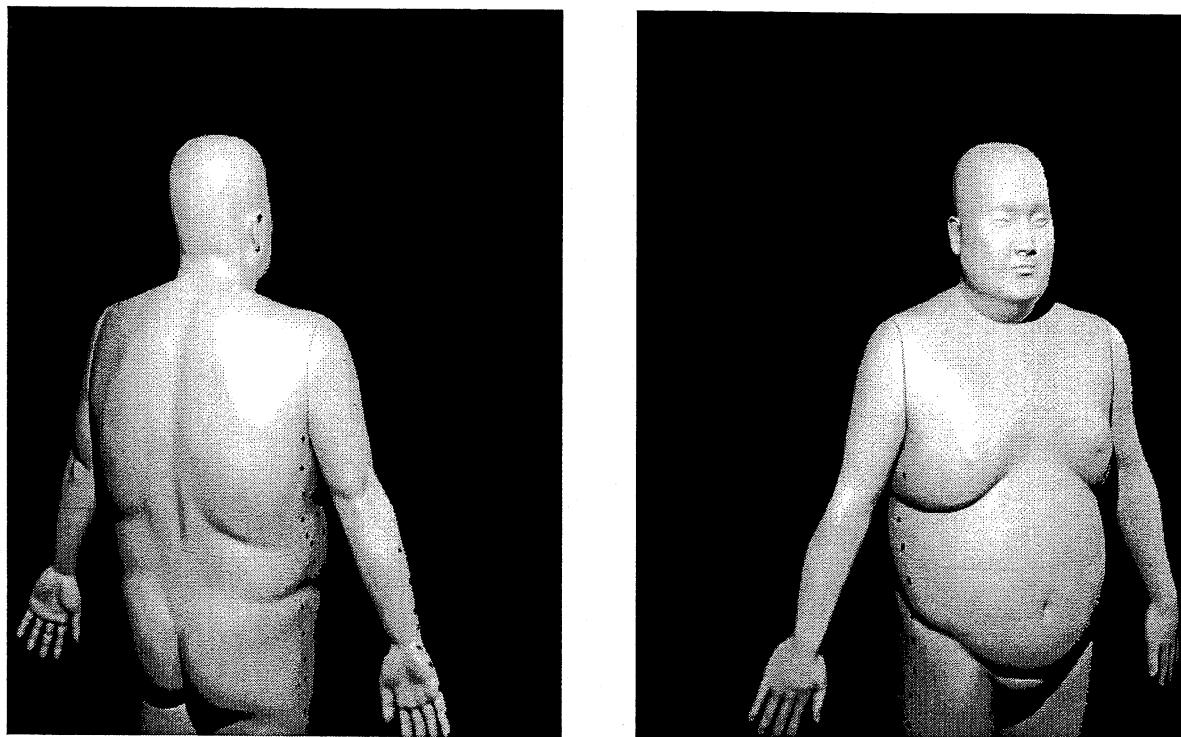


図 4.0.6 ①,②カメラ画像

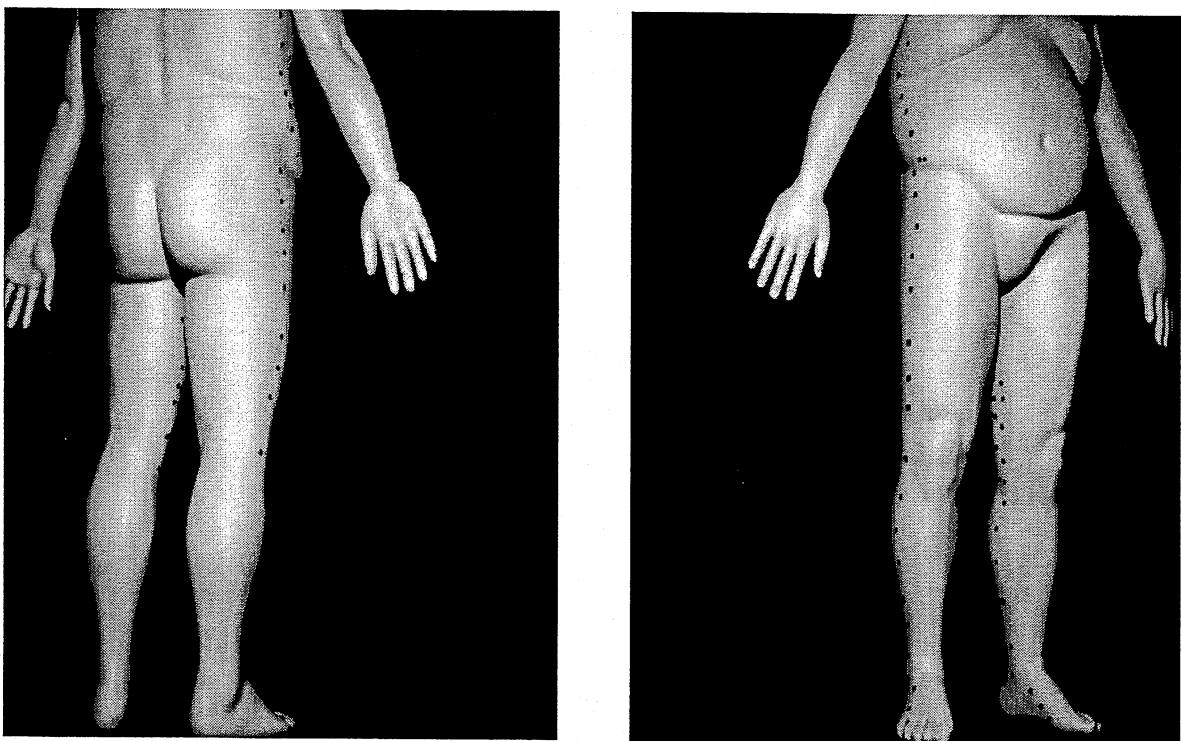


図 4.0.7 ③,④カメラ画像

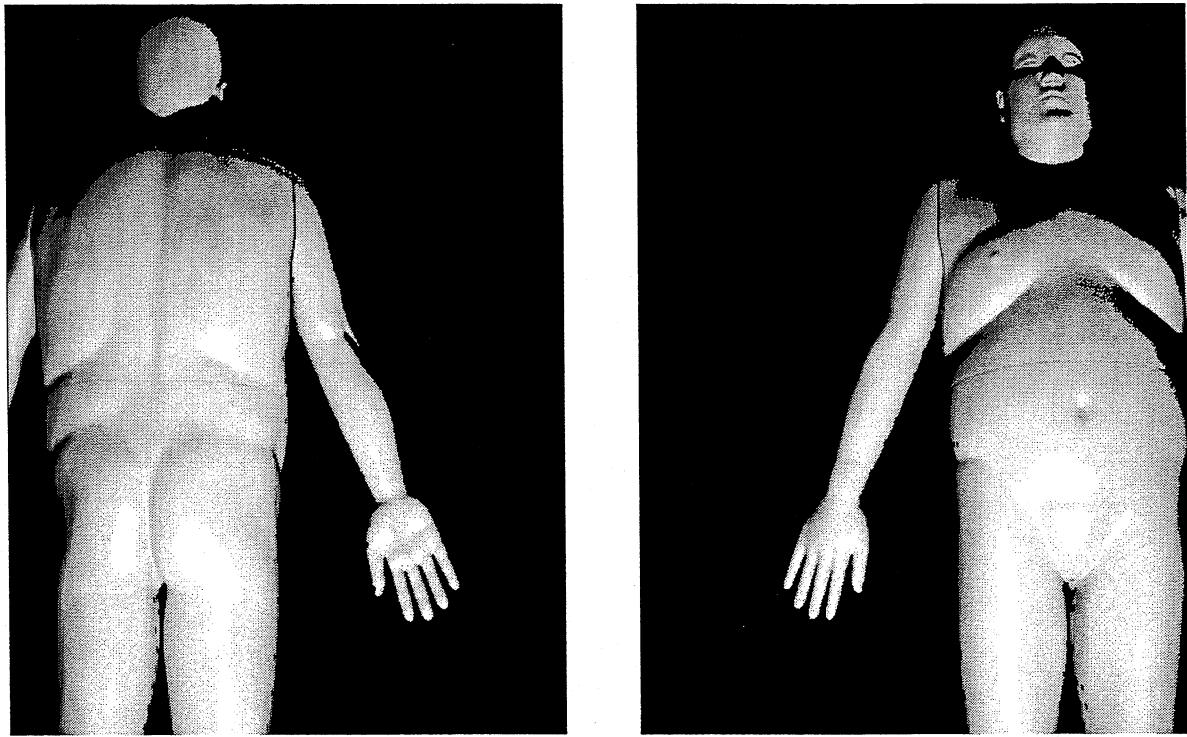


図 4.0.8 ⑤,⑥カメラ画像

#### ● 結論

レイアウト変更により脇の下の腕による影も解消され、従来隠れ部位として計測しにくかった部分も大幅に改善されているので、このレイアウトを採用することとする。

## 4. 7 完成計測器

### 4. 7. 1 完成仕様

項目	仕様
ハードウェア	
測定範囲	W1200mm×D 800mm×H 2000mm
スキャナ台数	1 2 台
カメラ仰角	+15° -8°
カメラ廻り込み角	2 5 °
測定時間	1 ~ 2 秒
データ点数	3,686,400 点 (640×480×12)
測定精度	± 1 mm
装置寸法	W4400mm×D 2600mm×H2700mm
装置重量	約 400kg
ソフトウェア	
データサイズ	輝度データ 3.7MB 形状データ 7.4MB
出力データ	輝度データ * . IDT (1 パイロットパックリーダ) 形状データ * . DDT (2 パイロットパックリーダ) XYZ ASCII データ

## 5. 高密度頭部形状計測装置の開発

### 5. 1 概要

本章では本事業によって開発された、人間頭部の全周 3D 形状データを、(1)計測時間 1 秒以下、(2)計測器を基準としたときの奥行き方向計測精度 0.5mm(rms)以下、(3)計測点の密度 1 点/mm<sup>2</sup>以上というこれまでにない性能で計測する頭部全周計測装置と、計測した 3D 形状データから人体の計測値として重要である部位を採寸する装置の二つから構成される、高速高密度頭部全周計測・採寸システムについて述べる。

高速高密度頭部全周計測装置は、複数の正弦波状となる光パターンを複数のカメラにより撮影することで計測を行う、多眼正弦波格子位相シフト法を採用した 3D 形状計測装置である。この手法は最低 3 枚の正弦波パターンを投射した画像を撮影するだけで、画像上の画素毎という非常に高密度、かつ高精度な形状が得られるという利点を持っている。ビデオレートでの計測を考えると 1 秒 30 枚の画像が得られることから、同原理に基づく従来の 3D 形状計測装置を構成するコンポーネントである、シャッタの開閉や正弦波パターンの位相変更、カメラからの画像キャプチャなどの改良を行うことにより、上記の仕様を満たす高速高密度頭部全周計測装置の開発が可能であろうと考え開発に着手した。また本事業では最終的に様々な用途に供する人体部位の採寸を行うことを目的とするため、部位の判別・採取に役立つ精細なテクスチャ画像も必要となる。多眼正弦波格子位相シフト法では、3D 形状計測のための画像群から、単純な平均操作などにより簡単にテクスチャ画像が生成できることから別途撮影等が不要であるという利点も存在する。

この計測装置におけるもう一つ重要な要素として、頭部全体の形状と同時に耳の裏や頸の下など見えにくい箇所まで計測できることも目標として掲げられている。よって全体の構成としては、耳を含む比較的複雑な形状を持つ領域をカバーするよう、頭の周囲円周上に正弦波パターンを投射するプロジェクタとカメラを各 8 台ずつと、密に配置した。これらプロジェクタとカメラではカバーしきれない頭頂と頸の下の計測用として、補助的に、それぞれプロジェクタ 1 台、カメラ 2 台の組を配置する。

本システムでは非常に高い密度での計測を目標としているため、従来に比してデータ量が大きいために、計測データの 3D 表示と重要部位の採寸を高速で行うには、専用のハードウェアを持つ 3D グラフィックスワークステーション(GWS)を用いることが望ましい。今後 1000 名の規模の計測を行い保存することに鑑み、3D GWS には大容量のディスクアレイを持たせて、その上で頭部部位の採寸ソフトウェアを構築する。

本章の構成を説明する。まず計測原理である多眼正弦波格子位相シフト法について説明し、次に高速高密度頭部全周計測装置について目標とする計測性能をクリアするためのハードウェア設計方針とその開発及び本計測装置全体を制御し 3D 形状データを計算し、不要データの削除や頭部全体の形状データへの統合を行うソフトウェアについて説明する。最後に頭部全周の計測データから、人体の計測値として重要な部位の採寸を行う採寸装置について説明する。なお参考文献は本文中にローマ数字で番号を付し章末に掲載した。

## 5. 2 多眼正弦波格子位相シフト法

### 5. 2. 1 背景

近年コンピュータグラフィックス技術の発展により、3D形状モデルからの画像生成が容易なことと、形状モデルを形成・獲得する手法に対する重要度が増している。中でもCADデータが存在しない自然物体、例えば人体の3D形状モデル獲得には、3D形状計測装置(以降ではレンジファインダと表記する)を用いるのが最も簡単であると考えられる<sup>i</sup>。人体形状は人間が身につけ、操作する対象となる物体全てのヒューマンマシンインターフェースのデザインに関わり、特に頭部には眼鏡やマスクから、ヘッドマウントディスプレイやマイクなどの重要な装着物が想定されることから、非常に広大な応用が期待されたいへん重要である<sup>ii iii</sup>。しかしこのような人体や顔の3D計測は、実際には決して手軽とは言えなかった。それは市販されているレンジファインダの多くが、(1)計測に10秒以上要しその間被計測者は静止を強いられること、(2)高速計測が可能なものは計測精度が十分でないこと、が理由として挙げられる。よってより良い計測精度とより短い計測時間とを高レベルで両立させた、実用的な計測が可能なレンジファインダを実現することが望まれてた。

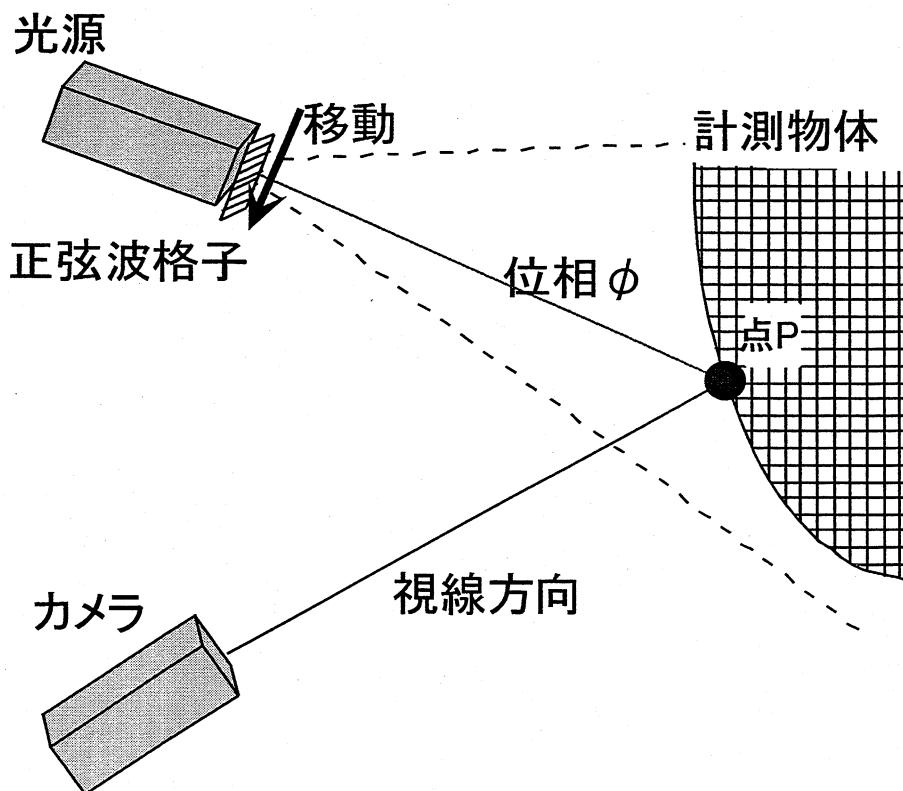


図5-1 正弦波格子位相シフト法の説明図

これまで多くの大学・研究期間から様々な3D形状計測手法が提案されている<sup>iv</sup>。この中で最も一般的に用いられている手法の一つとして、スリット光走査法を挙げることができ

る。しかしこの手法は空間分解能に比例しスリット光投射と画像撮影とを繰り返す必要があり、計測時間を長引かせる原因となっていた。より高速な計測を実現するには空間分解能を下げるか、PSD 等特別なセンサを開発するなどの工夫が必要となる。他には空間コード化法を利用した高速のレンジファインダが発表されている<sup>v</sup>が、スリット光走査法も含め類似の手法では投射する光パターンを画素単位まで絞ることは困難であること、広がったパターンからの計測は計測対象物体の表面曲率や反射率特性の影響を受けることなどから、高精度な 3D 計測は原理的に難しい。

画素毎での高精度計測を目的とすると、例えば文献 vi)のように光源からの角度をデジタル的な判定を含まない、アナログ値をとる情報により符号化する方法が候補として挙げられる。この文献の手法はセンサの S/N 比などの問題から、一般には計測精度はあまり良くないと言われている。しかしセンサはそのままで、符号化用の情報を空間的に短い周期で繰り返すことなどにより投射値のレンジを拡大することができれば、計測精度を向上させることが可能となってくる。

これら条件に該当する手法として、高精度かつ高速 3D 計測が可能、更に特別な部品が必要なく低コストが期待できる、追加の部品なしで 3 次元形状モデルへ貼り付けるための高精細テクスチャ画像が撮影できる、といった多くの利点を持つ、位相シフト法を併用した正弦波格子による光パターン投影法(以下正弦波格子位相シフト法と呼ぶ)がある<sup>vii</sup>。しかしこの手法は(1)計測物体の 3D 形状の影響を受け易く結果が不安定な位相接続処理<sup>viii</sup>を含んでいる、(2)本手法単独では計測物体の絶対形状が決定不可能である、という 2 つの大きな問題を抱えていたために応用範囲は非常に限られていた。本事業において高速高密度頭部全周計測装置ではこの正弦波格子位相シフト法を基にし、新たに複数のカメラと光源間の幾何学的な配置を拘束とした新しいアルゴリズムを導入することにより、従来の問題点を解決して高精度計測性能と、高速計測性能双方を高いレベルで両立させるレンジファインダの原理である、多眼正弦波格子位相シフト法を利用する。この詳細について以下に説明する。

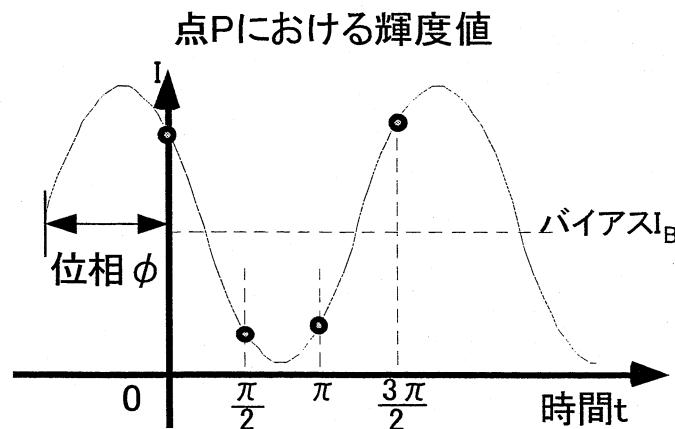


図 5-2 点 P(図 5-1)における輝度の時間変化模式図

### 5. 2. 2 正弦波位相シフト法の原理

3D 形状計測の原理である、正弦波格子位相シフト法について簡単に説明する。図 5-1 に原理図を示す。

あらかじめカメラと光源各々の位置がわかっているものとする。図中の点 P の 3 次元座標位置は、光源から点 P への光の照射角とカメラから点 P を見込む視線方向の両者が決定できれば、これら 2 直線の交点により求めることができる。ここでできる限り高精度、かつ高速なレンジファインダの実現を目的としたとき、光源からの照射角を符号化する情報として、

- (見かけ上)投射する情報の値域を広げることが容易
- カメラから得られる高々数枚の画像から精度良く推定が可能

という拘束の下で何を選択するか、が焦点となる。

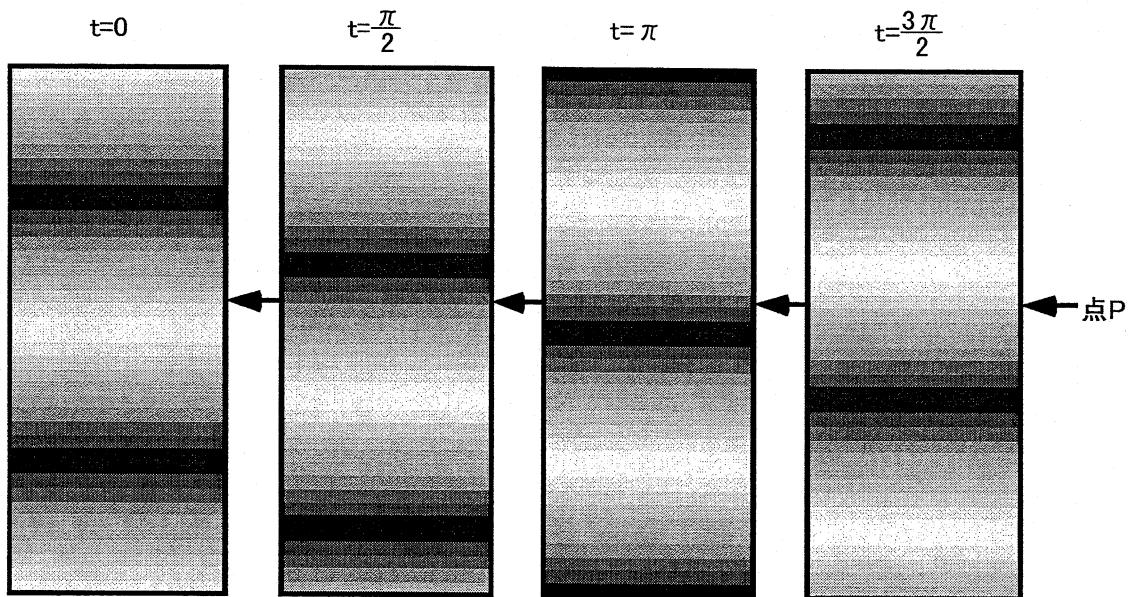


図 5-3 光源からの角度の位相値符号化

文献 vii)では符号化情報として、位相値を利用する手法を提案している。図 5-2 に示したように、光源から点 P 方向へと照度を時間的に正弦波で変調して投影し、カメラで計測する。このとき点 P に対応する画像上の位置  $(u, v)$ において、時間  $t$  に対する画素値変化  $I^{u,v}(t)$  を、式(5.1)でモデル化する。

$$I^{u,v}(t) = I^{u,v}_B + A^{u,v} \cos(t + \phi^{u,v}) \quad \dots(5.1)$$

ここで  $A^{u,v}$  は正弦波の振幅、 $\phi^{u,v}$  は光源からの照射角を符号化する情報である位相値、 $I^{u,v}_B$  は環境光や光源からの光によるバイアス項であるとする。

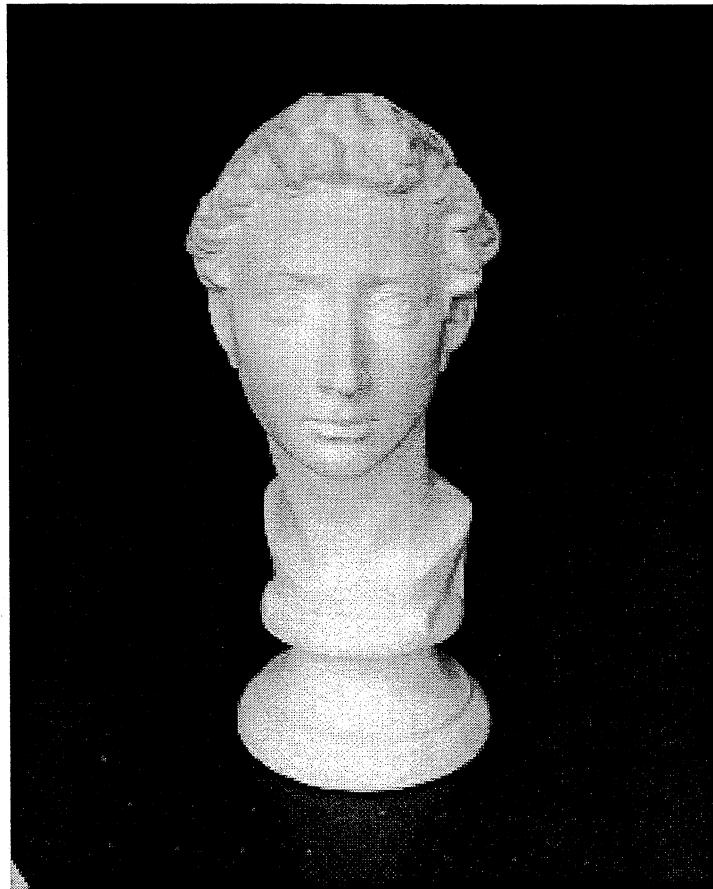


図 5-4 計測対象物体の例 アポロ石膏像

例えば時刻  $t = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$  の 4 つの時刻において、画素位置  $(u, v)$  で各々  $I^{u,v}(0), I^{u,v}\left(\frac{\pi}{2}\right), I^{u,v}(\pi), I^{u,v}\left(\frac{3\pi}{2}\right)$  なる画素値を得たとする。式(5.1)における位相値  $\phi^{u,v}$  は、最小自乗法を用いて式(5.2)により計算することができる。位相値が決まれば光源からの光の照射角が得られ、自動的に 3 次元座標位置を求めることができる。文献 vii)によると、一周期  $2\pi$  相当の奥行きに対して、 $\frac{1}{1000}$  程度の高い計測精度が得られるとの記述がある。

$$\phi^{u,v} = \arctan \left[ -\frac{\sum_{t=0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}} I^{u,v}(t) \cdot \sin t}{\sum_{t=0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}} I^{u,v}(t) \cdot \cos t} \right] \quad \dots (5.2)$$

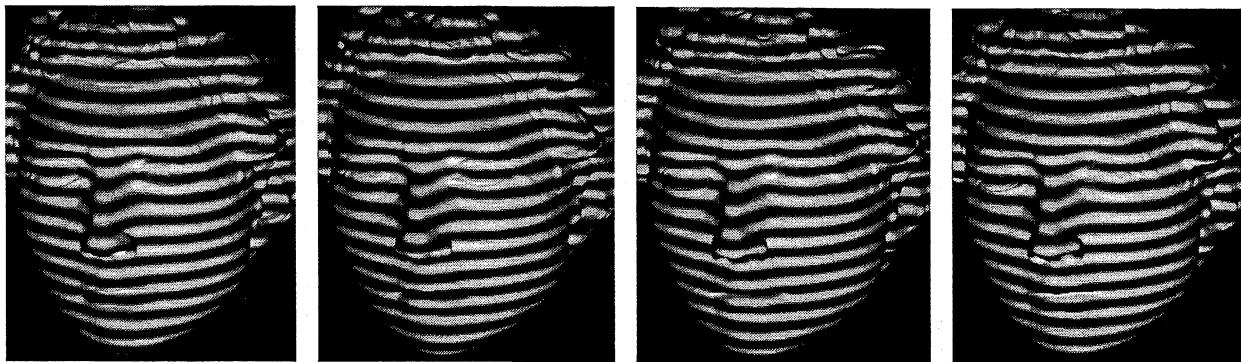


図 5-5 石膏像(図 5-4)に正弦波パターンを投射して撮影した画像列

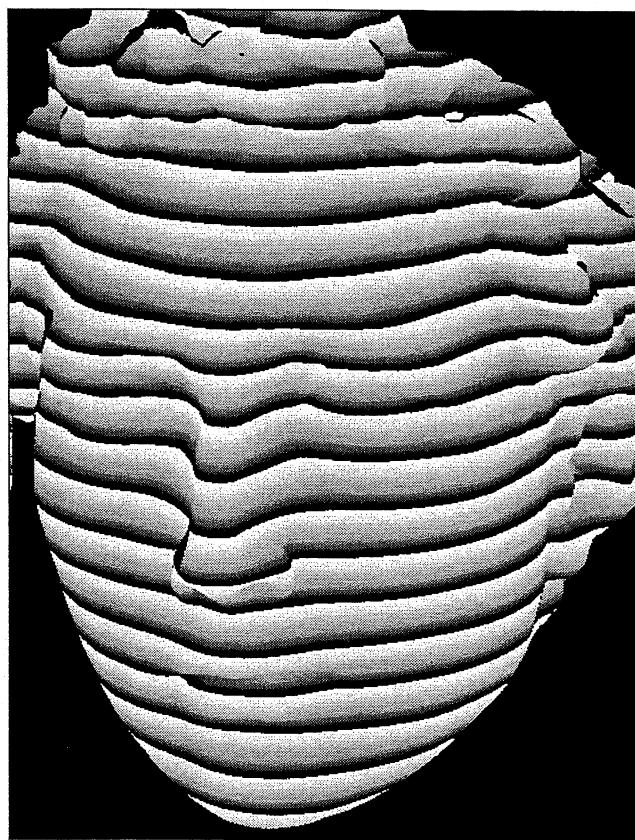


図 5-6 画像列(図 5-5)から計算した計測位相値画像  $-\pi \sim \pi$  を輝度値 0~255 に割当

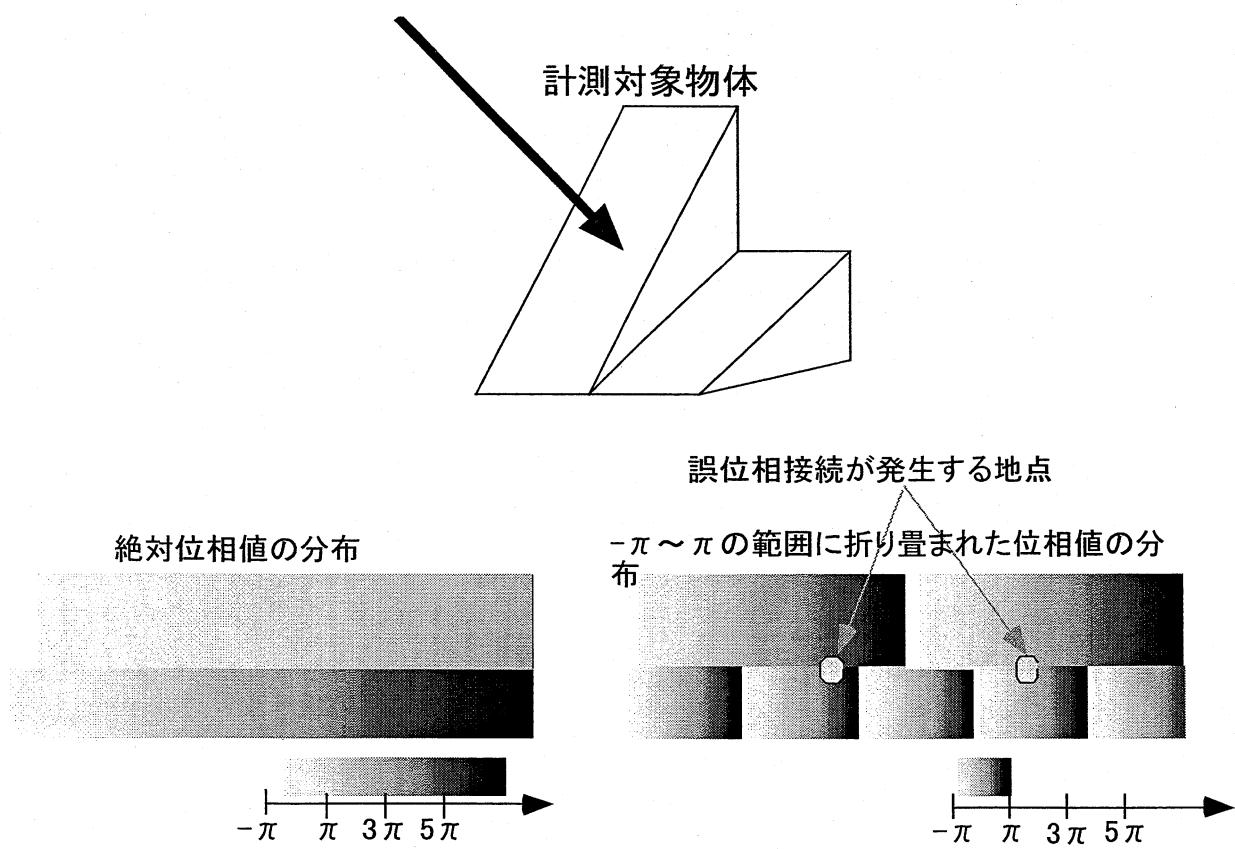
光源からの角度を位相値で符号化するには空間的に正弦波状の濃度分布を持つパターンを点光源の前に置き、その位置をシフトさせてゆく方法などにより実現可能である<sup>ix</sup>。図 5-3 に正弦波濃度分布を持つ格子を、図中下方向へとずらしていくときの模式図を示す。図 5-2 に示したような輝度変化は、図 5-3 上の矢印位置を通過した光が投射されることにより生成できることがわかる。

図 5・4 に計測に用いた物体の一例を示す。この物体に正弦波状の輝度分布を持つ光パターンを実際に投影しながら撮影した画像列を図 5・5 に、またこれらの画像列から求めた位相値画像を図 5・6 に示す。これらの図からもわかるように投射した位相値(以降では投射する位相値を絶対位相値と呼ぶ)は、 $-\pi$  から  $\pi$  までの間に折り畳まれて計測される(以降では得られる位相値を計測位相値と呼ぶ)。

ここで、この正弦波格子位相シフト法の利点を以下にまとめる。

- 最低必要な画像は 3 枚と計測時間が短い(空間コード化法<sup>v</sup>では 17 枚)。
- 画像数を増やすことにより計測精度改善が容易。
- 画素毎の計測が可能で、物体表面の反射率や環境光などの影響を受け難い。
- 同時に推定可能なバイアス項  $I^{u,v}_B$ などを 3 次元形状へと貼り付けるテクスチャ情報として利用可能、ハードの追加や新たな画像撮影は不要。
- 投射する位相値の値域を広げることで計測精度改善が容易。

但し計測位相値は $-\pi$  から  $\pi$  までの間に折り畳まれているために、絶対位相値との間の、ノイズに起因する誤差を除いた  $2\pi$  の整数倍の不定性を何らかの方法で決定しなければならないという欠点を持っている。



### 5. 2. 3 複数のカメラ/照明間の幾何拘束に基づく絶対位相決定アルゴリズム

前節でまとめたように計測位相値と絶対位相値との間には、ノイズに起因する誤差を除き  $2\pi$  の整数倍の不定性が存在する。これにより発生する問題を二つに分け、以下で説明する。

レンジファインダがテレセントリックな光学系で構成されている特殊な場合<sup>vii</sup>、画像全体で計測位相値間の相対値が決定できれば形状計測に十分であるため、物体形状が滑らかであるという仮定の下で隣り合う計測位相値の差ができるだけ小さくなるように  $2\pi$  の整数倍のオフセット分を決定する処理が適用される。本処理は位相接続と呼ばれ、特に干渉計の分野でこれまで多くの研究がなされている<sup>viii</sup>。

図 5-7 上に示す物体を、矢印方向から計測するとする。投射する絶対位相値が同図下左のような分布であるとき、計測位相値としては同図下右の分布が得られることになる。同図下右の○で示した領域では見かけ上ほぼ同一の計測位相値となっているため、位相接続処理により誤ったオフセット即ち誤った形状を出力してしまうことになる。このように顔などある程度以上複雑な形状の物体について、誤りなく位相接続処理を行うことは困難であることが知られている。

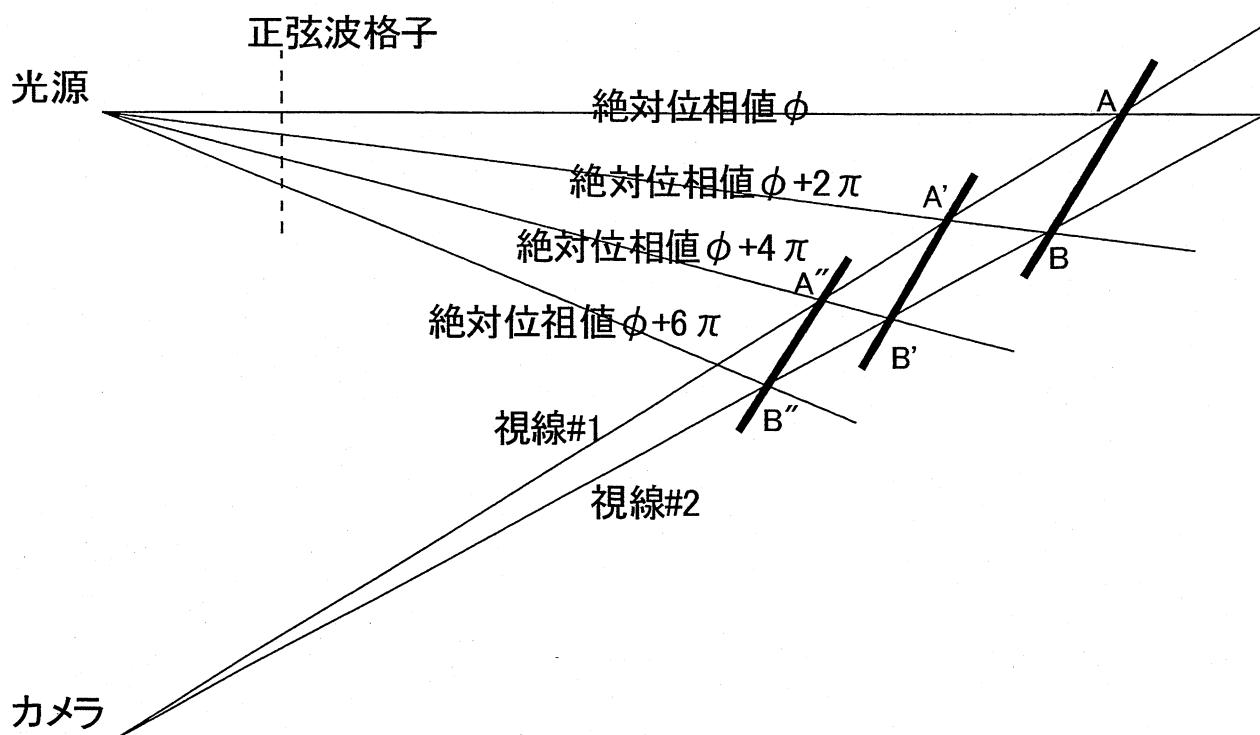


図 5-8 計測形状の歪み 模式図

顔のようなある程度大きな物体を計測するレンジファインダの場合、テレセントリック光学系では安価な構成が困難となるため、図 5-1 に示した一般的な光学系により構成することになる。この場合位相接続処理により誤接続が生じなくとも、絶対位相値が不明であるため正確な形状の計測はできない。

図 5-8 に模式図を示す。カメラより視線#1 方向・#2 方向それぞれに対して計測位相値が  $\phi$  ( $-\pi \leq \phi < \pi$ ) であり、その間で位相値が  $2\pi$  分滑らかに変化している面を構成しているとする。絶対位相値が不明であるとき、計測面は図中の A-B・A'-B'・A''-B'' のいずれかであることしか決定できない。それは大きさだけでなく角度も互いに異なること、また物体表面を構成している各部分表面について同様な現象が生じることから、結果として相似でもない複数の 3 次元形状が計測結果の候補として得られるだけとなる。

以上の 2 つの問題は計測位相値から直接絶対位相値との間のオフセットを得ることにより解決する。当社では複数のカメラと光源間の幾何的拘束を利用した絶対位相値決定手法を開発することで画像上の非常に多くの点で絶対位相値を得、不安定な位相接続処理に頼らない実用的なレンジファインダを構成することができた。

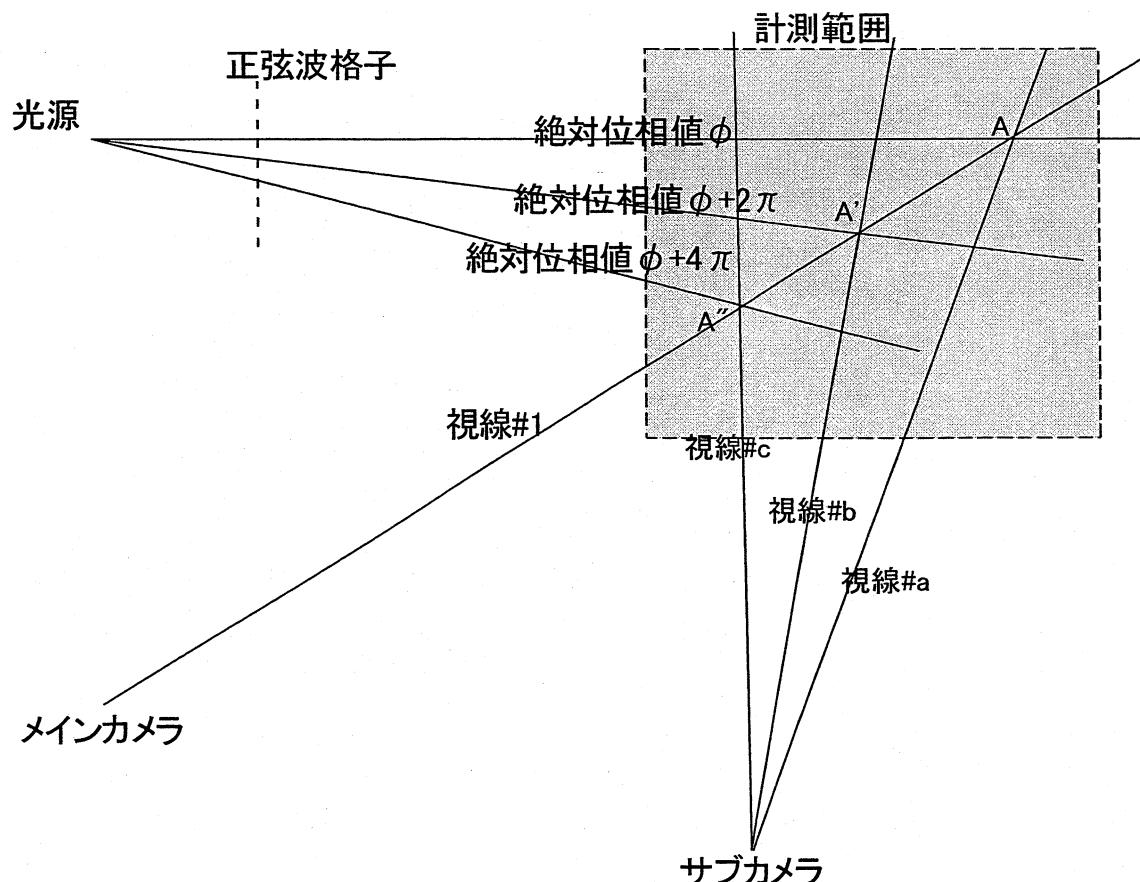


図 5-9 複数カメラと光源間の幾何的拘束に基づく絶対位相値決定手法

絶対位相を得るための構成模式図である図 5-9 は、図 5-8 中のカメラ(メインカメラと呼

ぶ)に、もう一台カメラ(サブカメラと呼ぶ)を追加したものである。またあらかじめ計測領域を定めておき、光源からの光が十分照射され、計測領域から外れる場所には物体が存在しないようにして計測することを前提とする。メインカメラの視線#1 方向の計測位相値が  $\phi$  であるとき、対応して計測領域内に  $A \cdot A' \cdot A''$ などの複数の 3 次元座標候補点が得られる。これら候補点のサブカメラからの視線方向#a・#b・#c を逆に求め、各視線方向の計測位相値が同じ  $\phi$  であるか否かを検定する。もし 1 点を除き他の全ての候補点において同一位相値であることが棄却される場合、残された座標位置が対応点の 3 次元座標位置となり、更に絶対位相値を得ることが可能となる。

図 5-10 に、サブカメラにより得られる位相値画像を示す。本図とメインカメラの位相値画像(図 5-6)とから求めた絶対位相値画像を図 5-11 左に、また絶対位相値が得られなかった領域について形状の滑らかさを仮定して、領域拡張の手法により位相接続した結果を同図右に示す。ここで  $2\pi$  の整数倍のオフセット量を固有の色により表現している。この提案手法でも位相接続処理はまだ残されているが、既に絶対位相値が非常に多くの画素位置で決定できていることからわかるように従来に比較して問題は大きく解消されていると言える。

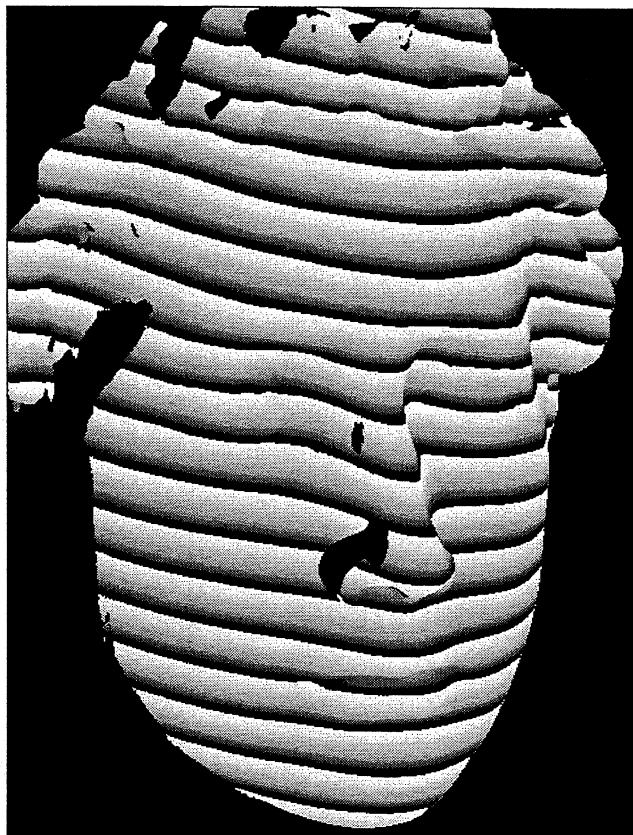


図 5-10 サブカメラの計測位相値画像

従来の位相接続手法を図 5-6 に適用した結果を図 5-12 に示す。メディアンフィルタによりノイズ除去した後、文献 x)記載の高速領域塗り潰し処理により隣り合う画素が持つ位相値の差の絶対値が  $\pi$  以下となるように、 $2\pi$  の整数倍のオフセットを定めた。図左中白枠で示した領域の中で、鼻先と上唇との間の位相差を  $\pi$  以下となるようにしたことにより同一オフセットであると間違ってしまったことがわかる。

本開発手法によって絶対位相値が決定可能であるためには、計測対象の形状の滑らかさに応じて位相の繰り返し周期が十分広くなければならない。即ち不特定の物体に対して必ず絶対位相値が得られるわけではない。しかし計測対象として顔に限定するなど計測対象のバラエティを絞る、またより多くのカメラ・光源間の幾何的関係を利用して同一位相値検定の信頼性を向上させるなどの工夫により、安定した計測が実現可能である。

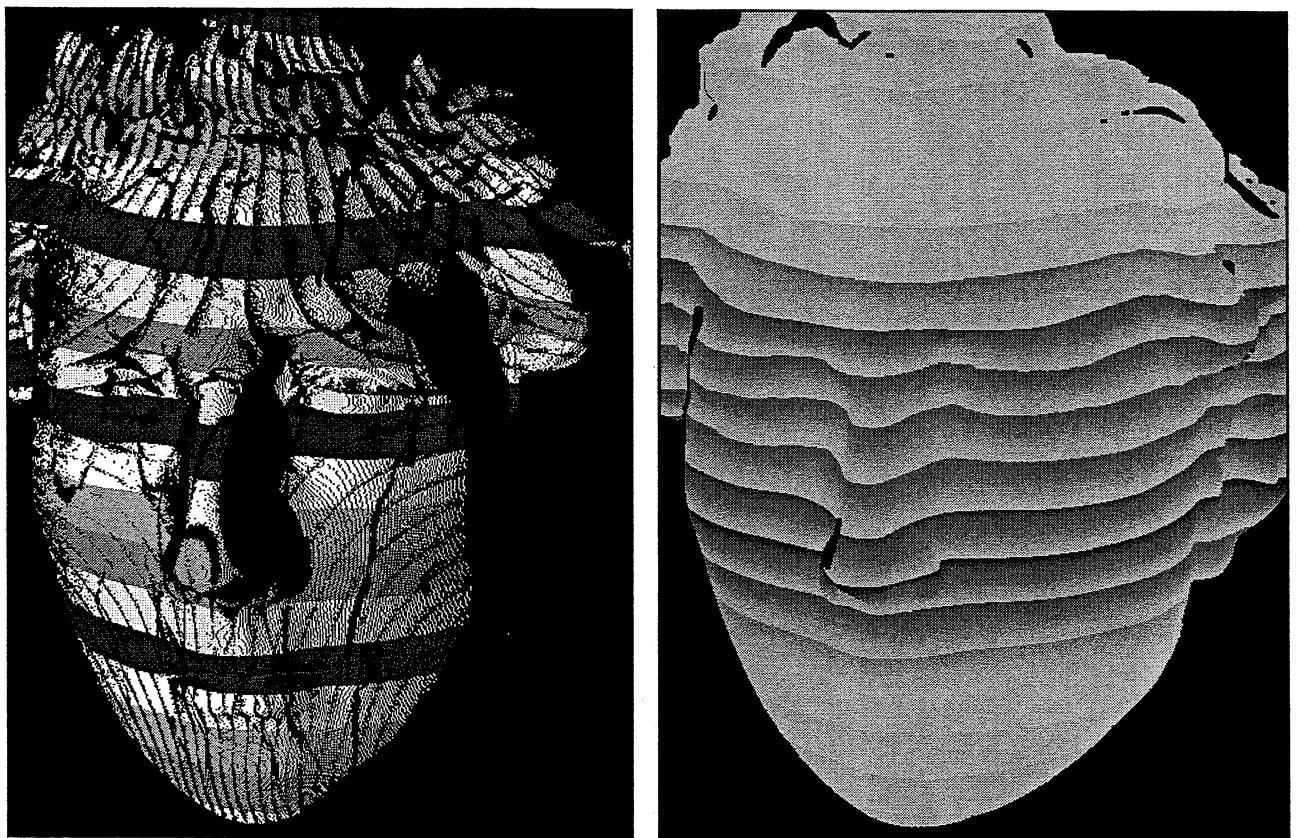


図 5-11 絶対位相値画像(左)と絶対位相値接続画像(右)

同種の手法はマルチスリット光投影法に適用した文献 xi)などにも見られるが、こちらではスリット位置でしか計測ができないのに比較して、本手法では全画素位置毎に計測位相値が得られるため、はるかに多くの地点で形状計測が可能なこと、更に後節で示す通り各地点における計測精度もマルチスリット光投影法を上回ることという利点を持っている。

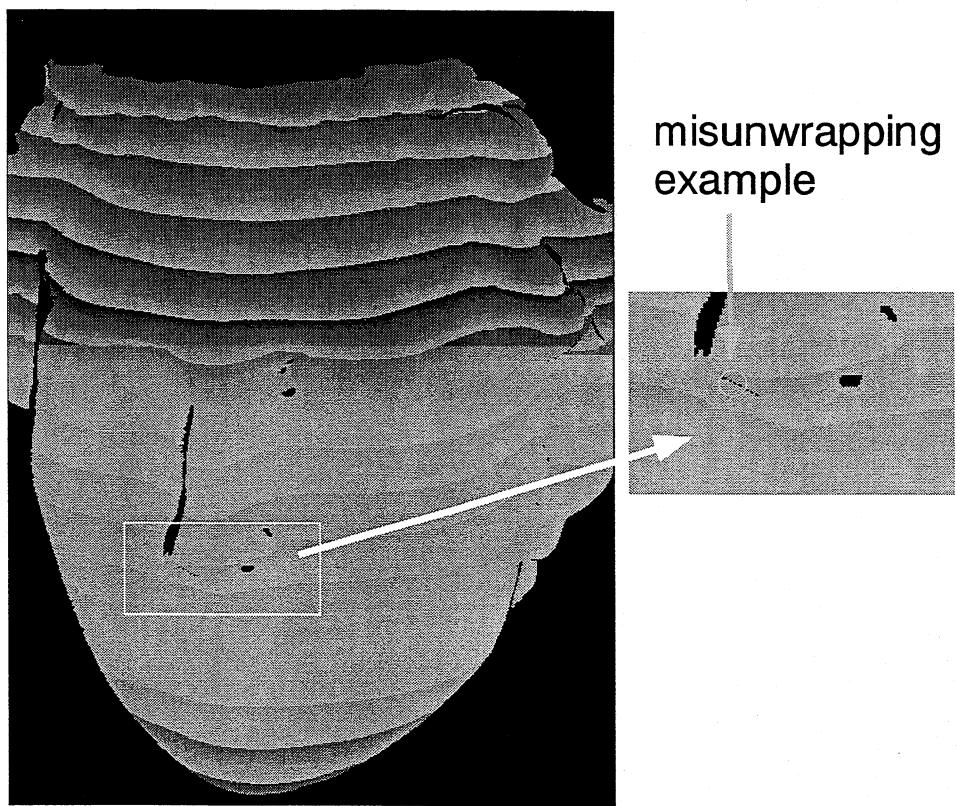


図 5-12 従来の位相接続手法により求めた接続位相画像

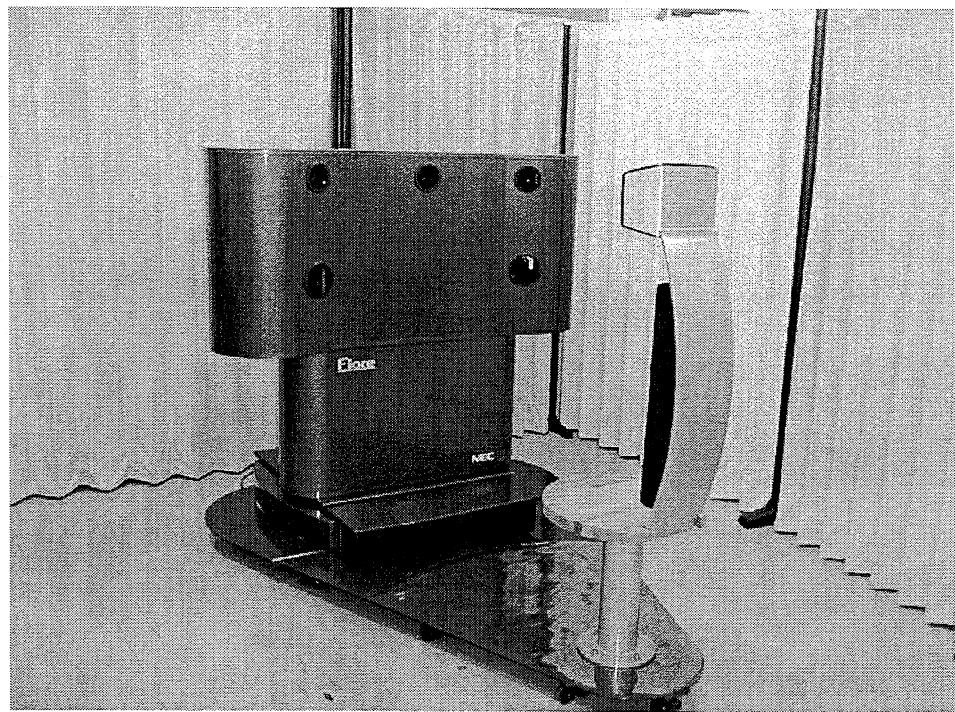


図 5-13 NEC 製顔計測用レンジファインダ Fiore その 1

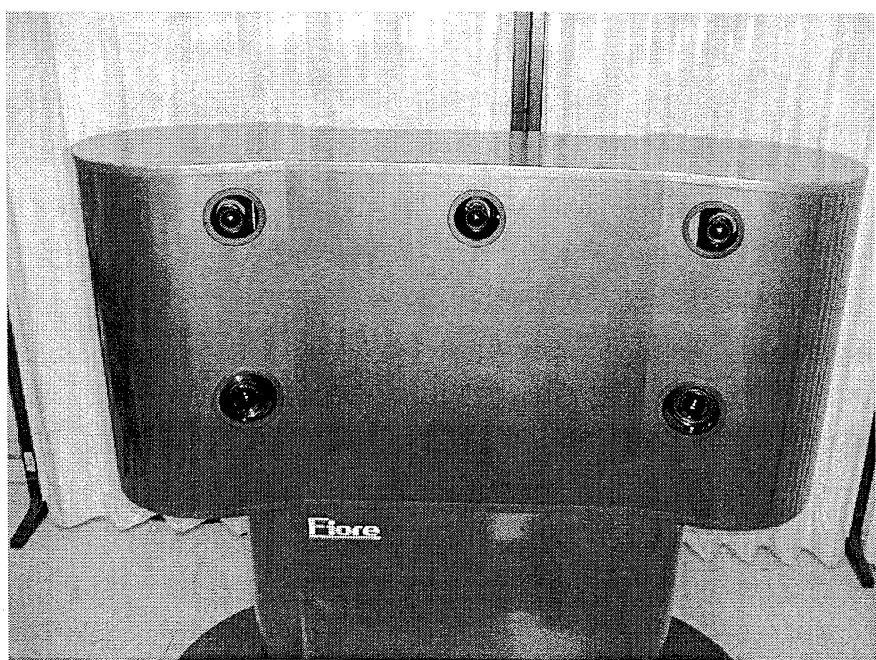


図 5-14 NEC 製顔計測用レンジファインダ Fiore その 2

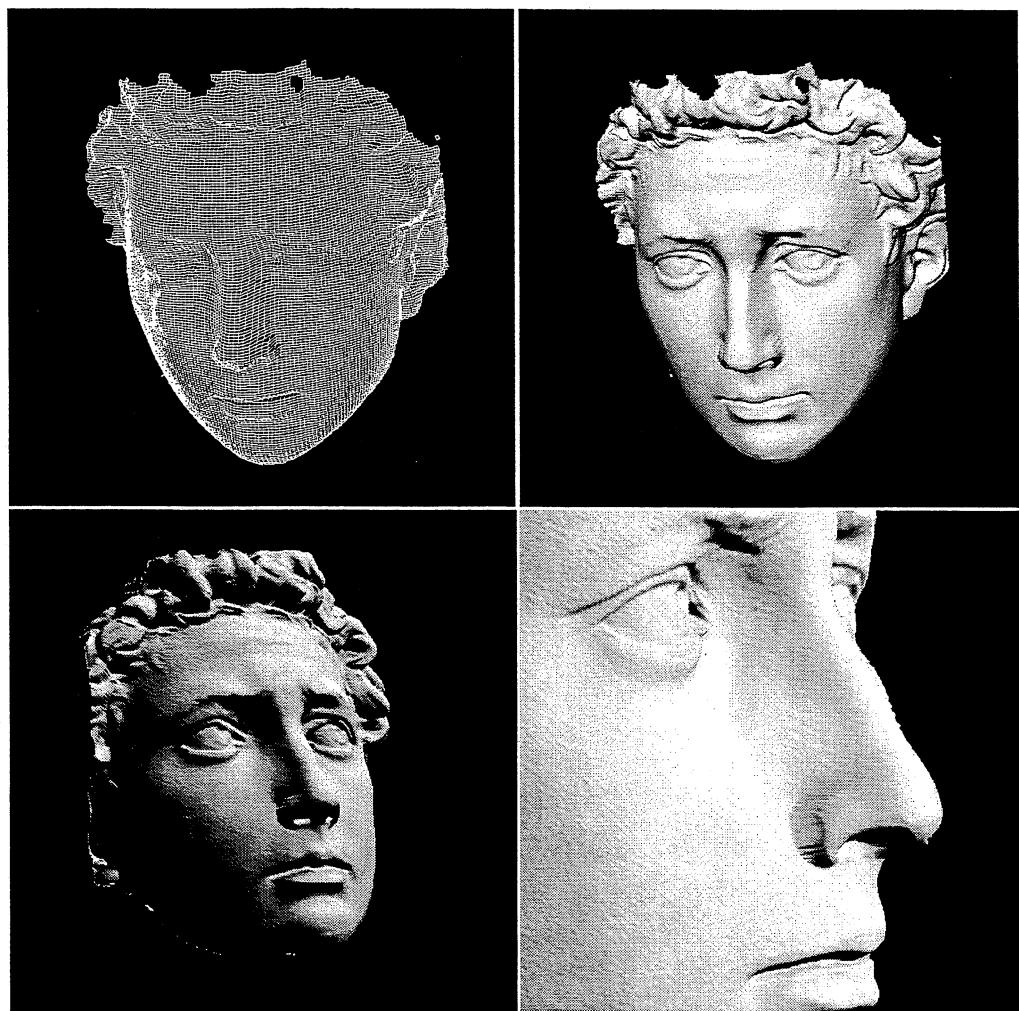


図 5-15 石膏像(図 5-4)の計測結果

以上説明してきた正弦波格子位相シフト法と、複数カメラ・光源間の幾何的拘束に基づく絶対位相決定法とを組み合わせ、人間の顔前面を計測するレンジファインダが NEC により製品化されている。図 5-13、図 5-14 に製品ラインナップ中の一機種、Fiore<sup>xii</sup> の外観を示す。本体には左右両端に、カメラと光パターン投射機が縦に並んでおり、それぞれ顔の左右側面を両耳まで計測できるよう構成している。顔の左(右)側面を計測するときには、反対側の右(左)側のカメラが絶対位相値決定のためのサブカメラとして稼動する。本試作機では計測に約 2.3 秒必要とするが、画像撮影は左右合わせて計 8 回だけであることから、ハードウェアの改善により更なる短縮が可能である。次節以降で高速計測へ向けての検討と開発について詳しく説明する。

図 5-4 に示した石膏像を計測した結果を、図 5-15 に示す。左上はワイヤーフレーム、その他は適当な照明を点灯させてスムーズシェーディングにより生成した画像である。計測された形状は、何らスムージング等の加工を施していないにも関わらず、表面が非常に滑らかであることがわかる。また目などの細かな部位の形状も良く計測されている。

### 5. 3 高速高密度頭部全周計測装置

前節において説明した多眼正弦波格子位相シフト法は、計測のために最低必要な画像が 3 枚と非常に少ないので拘わらず、非常に高密度かつ高精度な 3D 形状計測が可能であるという特徴を持つ。よって正弦波格子の位相シフトと、複数の正弦波格子投射のビデオレートでの切り替え、またビデオ画像のフルレートでのキャプチャが可能となれば、非常に高速かつ高精度という利点をそのままに、複数視点からの 3D 形状計測が短時間で可能なレンジファインダが実現できる。

しかしながら今回の装置の開発に与えられた期間が一年と短いため、設計段階ではできるだけコンベンショナルな手法や構成を採用することにより、開発期間を圧縮しつつ最終的には確実に計測装置構築が可能となるように配慮した。特にカメラやプロジェクタの基本的な配置については、既存の製品である Fiore<sup>xii</sup> の構成を踏襲することでできるだけ不安定要素を取り除きながら、この Fiore により頭部を取り囲むよう 4 台比較的密に並べることにより、頭部全周計測を実現する際に計測機器の数や配置の問題から相対的に計測が困難となる耳の裏などの箇所についてもカバーする設計を行う。

以下では(1)計測時間 1 秒以下、(2)計測器を基準としたときの奥行き方向計測精度 0.5mm(rms)以下、(3)計測点の密度 1 点/mm<sup>2</sup> 以上、というこれまでにない性能を持つ、額下や耳裏などの死角をできるだけ軽減しながら人間頭部の全周 3D 形状とテクスチャデータを計測する今回の装置の開発について述べる。

### 5. 3. 1 全体構成の検討

高速高密度頭部全周計測装置の開発に当たって、以下に述べる順にて検討を進める方針をとった。

- カメラからの画像をビデオレートでのキャプチャを可能とするモジュール開発
- ビデオレートでの正弦波光パターン投射オン・オフと位相シフトとを可能とするプロジェクタの開発
- 頭部を全周覆いつつ、頸下や耳裏などでもできるだけ死角が小さくなるような、プロジェクタとカメラから構成される計測モジュールの配置とモジュール取り付け用フレーム開発
- 計測時間短縮のため、計測モジュールを多重駆動させることなどの、モジュール駆動スケジューリング検討と、制御モジュールの開発

本計測装置の検討開発方針として掲げた最初の二つは、計測装置を構成する要素についての高速化検討である。第一に掲げたビデオレートでの非圧縮画像キャプチャに関しては、近年は安価なパーソナルコンピュータをベースとしたシステムでも可能となってきたもので技術的な難易度は高くない。本計測装置においては、ビデオレートでの画像キャプチャ性能と画質に定評のあるボードとして Matrox 社の Meteor2<sup>xiii</sup> を用いることで解決した。第二に掲げたプロジェクタについては、文献 ix)に記載されておりこの試作装置開発段階において様々な経験を蓄積している、正弦波状の濃度を持つフィルムをモータにより移動させて位相シフトする手法と、ソレノイドによるメカシャッタを改良することにより、ビデオレートで稼働させる。

第三に掲げたのは、頭部全周とともに耳の裏や頸の下などの領域も同時に計測できるよう、全体を構成することである。先に述べたように開発期間が短いことと、耳裏計測を考慮し、頭部の側面計測には製品として確立している Fiore<sup>xii</sup> の構成をそのままに 8 つの計測モジュールを円周上に配置することとした。頸の下の計測については隘部であるため、カメラ 2 台とプロジェクタ 1 台を直線的に配置したモジュールを新たに作成し、このモジュール用の計測アルゴリズムについても新しく開発した。残された頭頂については形状も単純であることから特に問題はないが、安定稼働のためには部品点数を減らす方が望ましいので、頸下計測モジュールと同一の構成を流用する。

以上述べた通りの構成とすると、ビデオカメラの数が 12 台となることになる。従来通り 4 枚の画像撮影による計測とすると、計 48 枚の画像が必要となる。1 秒間には 30 枚の画像しか含まれないため、このままでは要求仕様である 1 秒計測を満たさないために、何らかの工夫が必要となる。第四に掲げたのはこの問題を解決すべく、同時に計測可能なモジュールの組を調査検討することである。

以下の節では個々について詳細に説明を加える。

### 5. 3. 2 ハードウェア設計と開発

#### (1) ビデオレートでの画像キャプチャ

採用した3板式アナログCCDカメラ、SONY XC-003からのビデオ信号は、高精度計測を意図し、アナログRGBで画像キャプチャカード Matrox Meteor2<sup>xiii</sup>へと入力する。本カードはビデオレートでの大量の画像を保存するためのメモリ384MBを搭載したパーソナルコンピュータNEC PC-98NX MA60Jへと装着されている。キャプチャされるカラー画像のサイズは1枚当たりほぼ1MBであるため、非圧縮にて10秒程度の記録が可能となる。パーソナルコンピュータでの画像キャプチャタイミングと、シャッタータイミング等をシンクロさせることは困難であるため、1秒の計測時間に対して前後余裕を持ったキャプチャが必要であるからである。

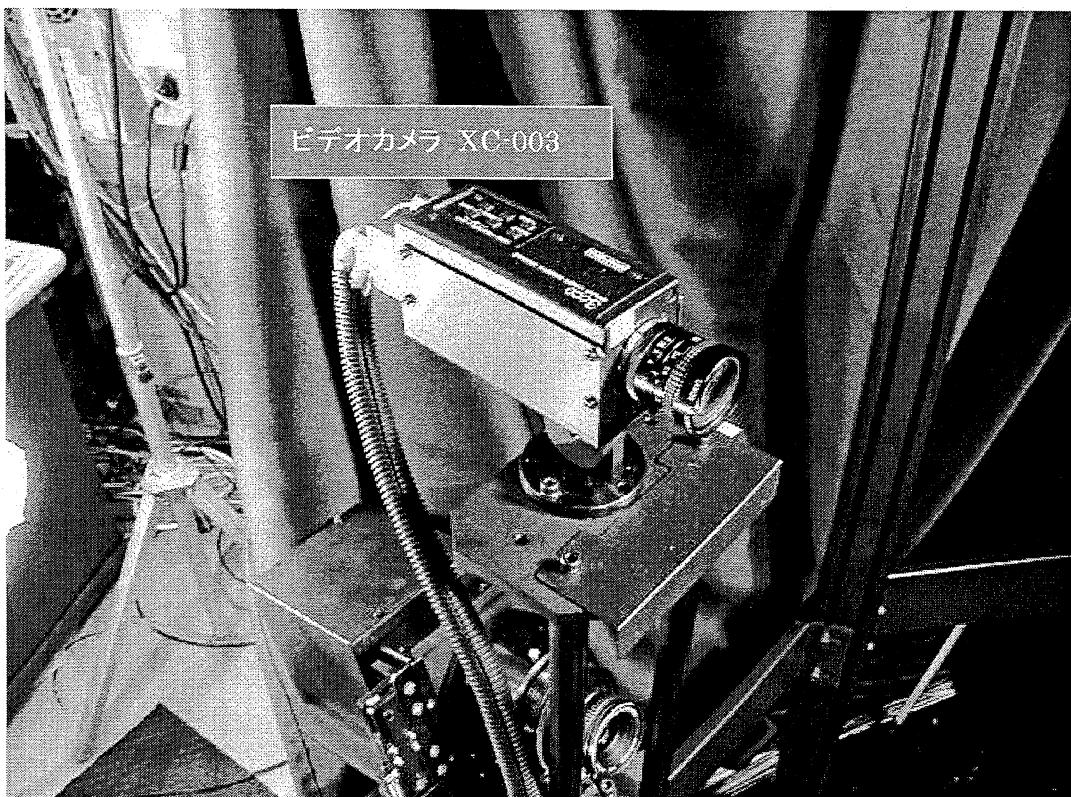


図5-16 計測用ビデオカメラ SONY XC-003

このパーソナルコンピュータは同時キャプチャが必要な台数分用意される。本計測装置では4台とした。なお3D形状を計算してゆくプロセスの中で、各画像列について独立に処理可能なものについてはこれらパーソナルコンピュータ上にて分散処理することにより、処理時間の短縮を図る。

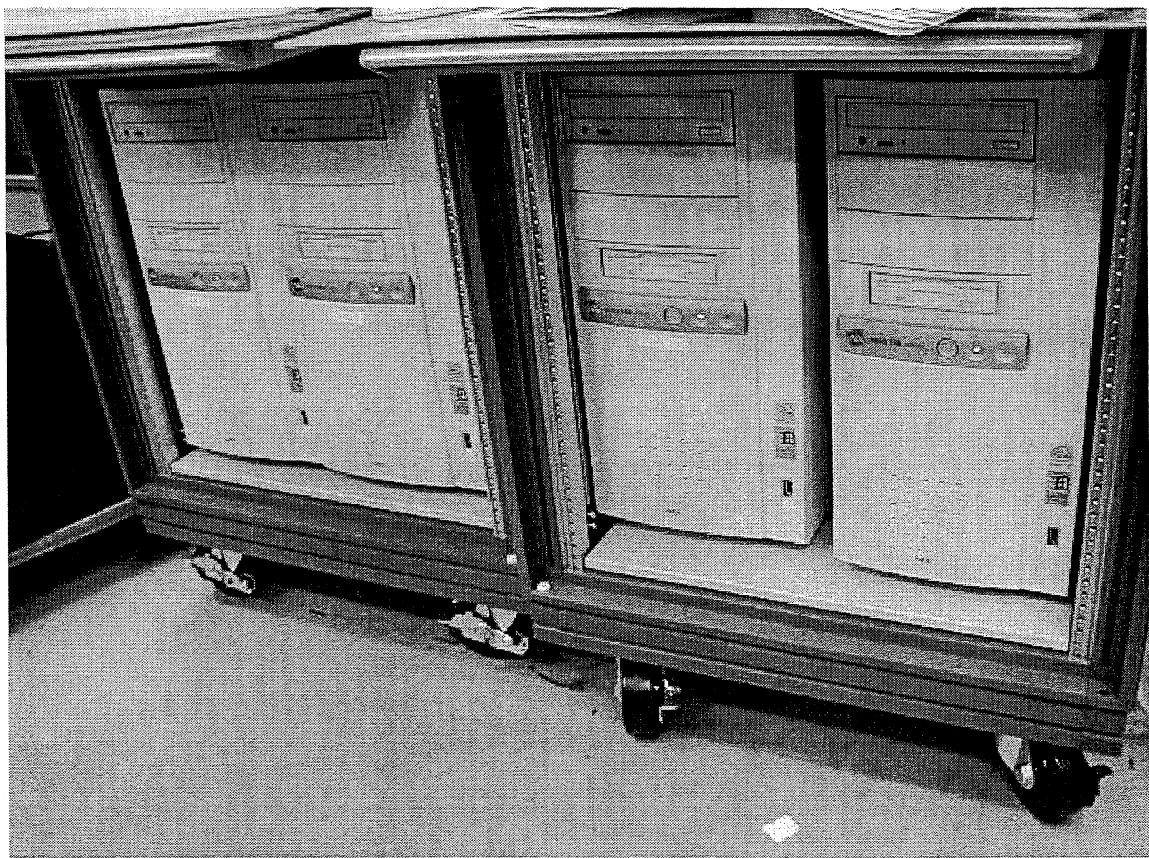


図 5-17 画像キャプチャ・形状計算分散処理用 NEC PC-98NX MA60J

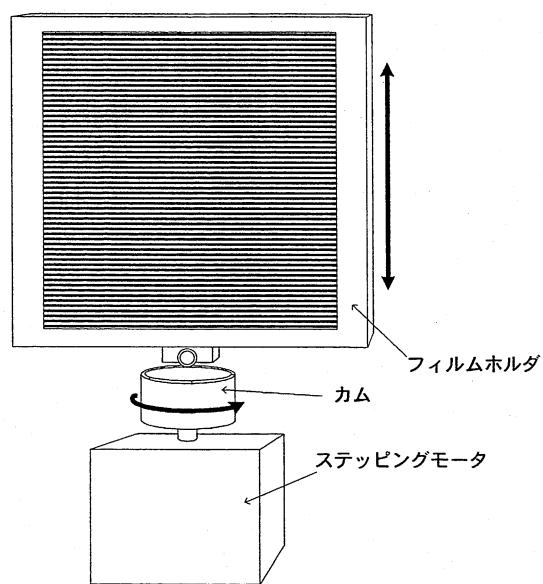


図 5-18 高速位相シフト駆動メカニズムの模式図

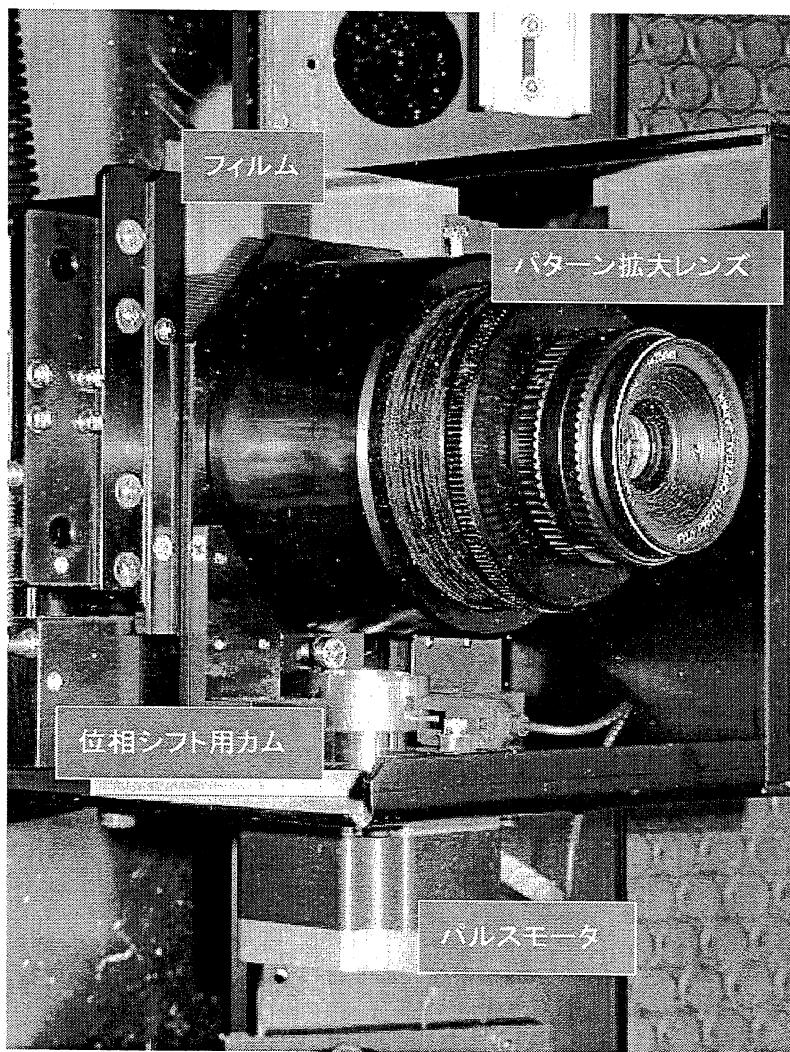


図 5-19 高速位相シフト駆動メカニズム

図 5-16 に、計測用として装置に取り付けられているビデオカメラ、SONY XC-003 を、また図 5-17 に画像キャプチャと形状計算分散処理用の、NEC PC-98NX MA60J をそれぞれ示す。

#### (2) ビデオレートでの正弦波パターン投射プロジェクタ

正弦波パターン投射のためのプロジェクタの基本構成は、フィルムプロジェクタに対し、(1)正弦波状の透過率分布を持つフィルムを用意し、(2)縞方向へと決まった位相量で平行移動する機構をつけたものである。図 5-18 にフィルムと位相シフトの機構模式図を、また図 5-19 に実際のメカニズムを撮影した図を示す。ビデオレートでの計測を目標としたときに最も問題となるのは、ビデオカメラと同期して正弦波パターンを位相シフトしてゆく機構をどう構築するかであった。

図 5・18 や図 5・19 では、円筒状に高さを変化させたカムを、パルスモータで回転させることによりフィルムの位置を変え、位相シフトを実現している。従来技術により高精度計測を行うためには、投射されるパターンは正弦波にできるだけ近いことが望ましいこと、パターン投射時間や画像撮影のタイミング制御などの容易さを考慮すると、ビデオカメラのシャッタが開放となっている間フィルムは動かず、フレーム切り替えが生じている短時間内に位相シフトを終了するような機構が望まれる。

一方モータ駆動する観点からは、ある程度大きな慣性モーメントを持つカムを、短いシャッタ開閉の間に急加速・急減速する制御は好ましくない。そこで一定速度でモータを回転させるだけで上記位相シフトを可能とする、新しいカムを開発した。

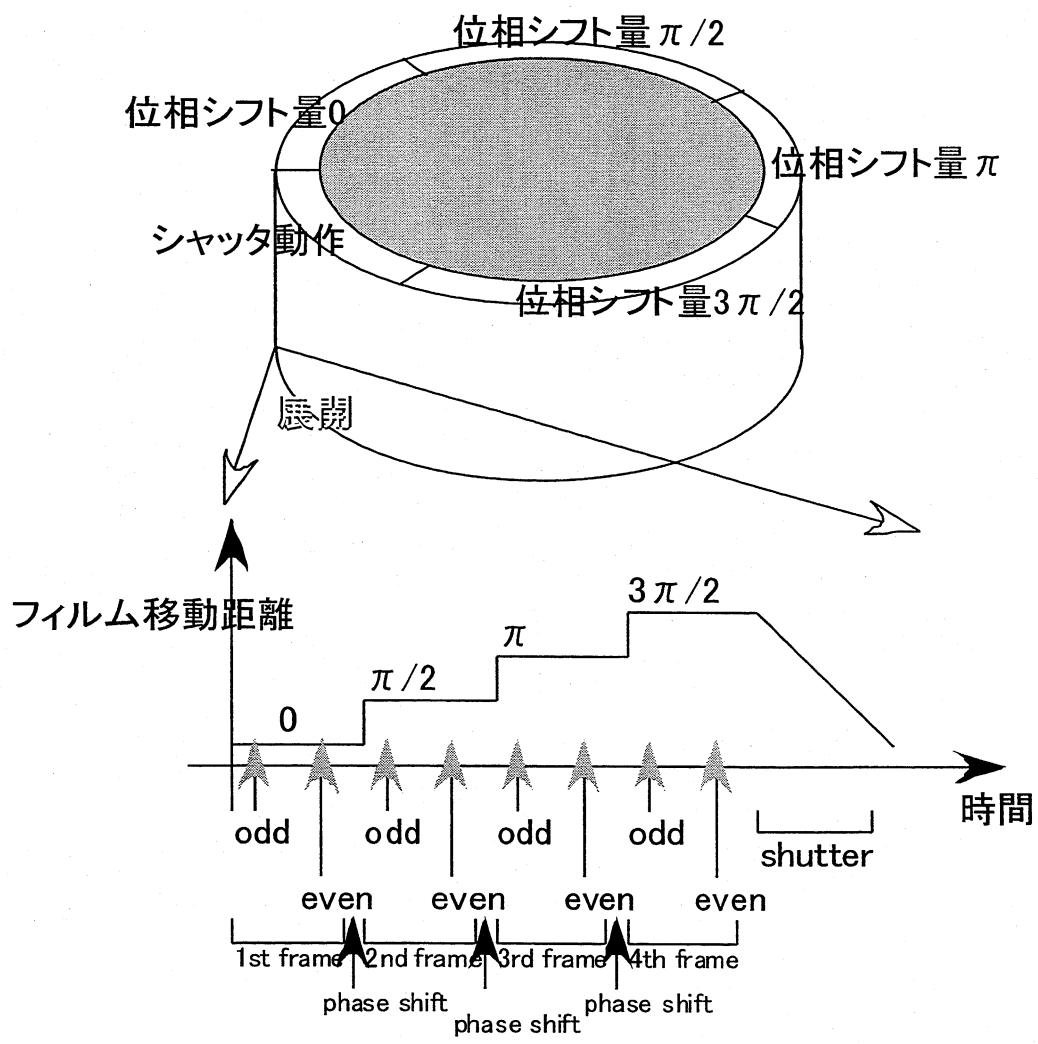


図 5・20 高速位相シフト用カム模式図

図 5-20 に、今回採用した高速位相シフト用カムの模式図を示す。カムは階段状の加工がなされており、ビデオカメラの撮影タイミングと同期して一定速度にて回転する。同図下がタイミングチャートである。本装置において用いたカメラ XC-003 では、奇数フィールドと偶数フィールドはそれぞれ撮影タイミングが 1/60 秒ずれている。この両者で同一の正弦波パターンが投射されるように、カム上では両者共一つの平坦な領域にはいるように制御する。また各画像の間の短い不感時間で位相シフトが完了するよう、カムには段差が設けられている。用いたフィルムの正弦波周期は 1mm であり、従来と同様の 4 枚の画像による計測としたとき、位相シフト量は各回 0.25mm と非常に小さいため、図のような簡単で精度良く加工可能な金属部品を作成するだけで、安価かつ高精度計測が実現できる。

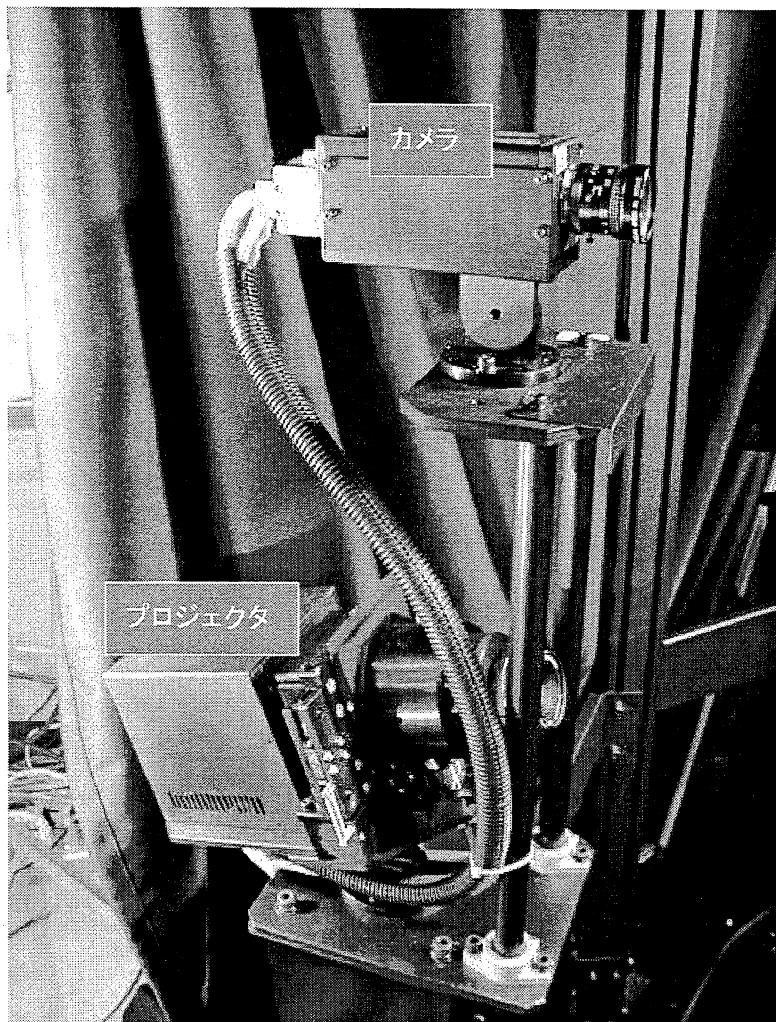


図 5-21 頭部側面形状計測モジュール

なおこのプロジェクタは、頭部全周を計測するために計 10 台設置されるが、計測に必要なもののみ順に開閉できるよう、プロジェクタの光源を遮るシャッタが

設けられている。この光源用シャッタについては、バルブから発せられる光を全て遮断する必要があるため、ある程度の面積即ち慣性モーメントを持つ物体を動かすこととなりフレーム間での動作は困難である。そのために、開閉時間は画像 2 フレーム分確保した。

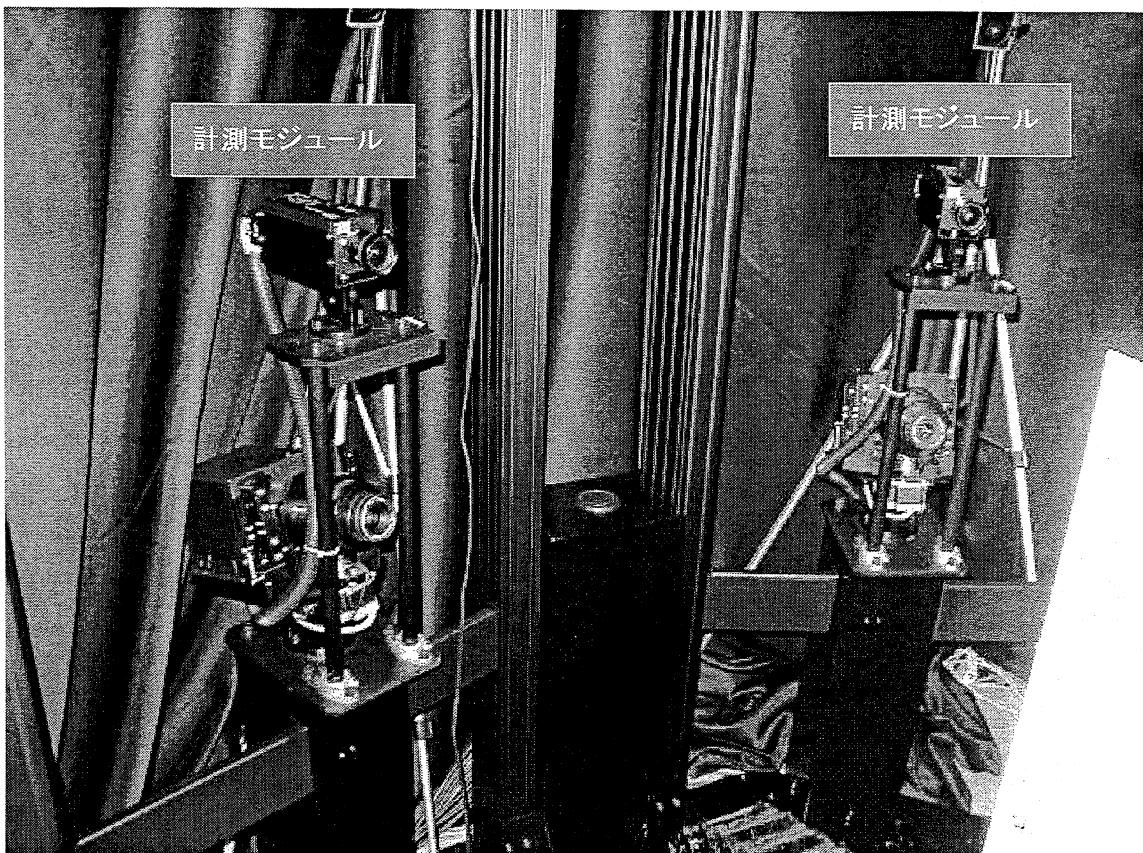


図 5-22 頭部側面計測モジュールの配置、Fiore(図 5-13)と  
全く同一のジオメトリにて配置

### (3) 頭部全周計測のためのカメラとプロジェクタ配置

本節冒頭にも述べた通り、できる限り計測できない死角を減少させることと、計測装置開発工数削減のための従来形状計測装置構成をできるだけ踏襲すること、編集・データ統合・採寸ソフトウェア開発工数を削減しながら使い勝手の良いシステムを構築することを考慮し、カメラとプロジェクタの配置を決定する。

まずカメラとプロジェクタの組からなる計測モジュールを 2 種類用意した。一つは頭部の側面全周を計測するための、カメラ・プロジェクタそれぞれ 1 つづつから構成した計測モジュールである。図 5-21 にこの頭部側面計測モジュールを示す。本モジュールは従来の形状計測装置である Fiore(図 5-13)と同じ配置に並べ、対としてカメラ 2 台、プロジェクタ 2 台の組で多眼正弦波格子位相シフト法を適用する Fiore と全く同等のアルゴリズムにより形状計算処理を行う。



図 5-23 頭部側面計測モジュール 8 台の配置

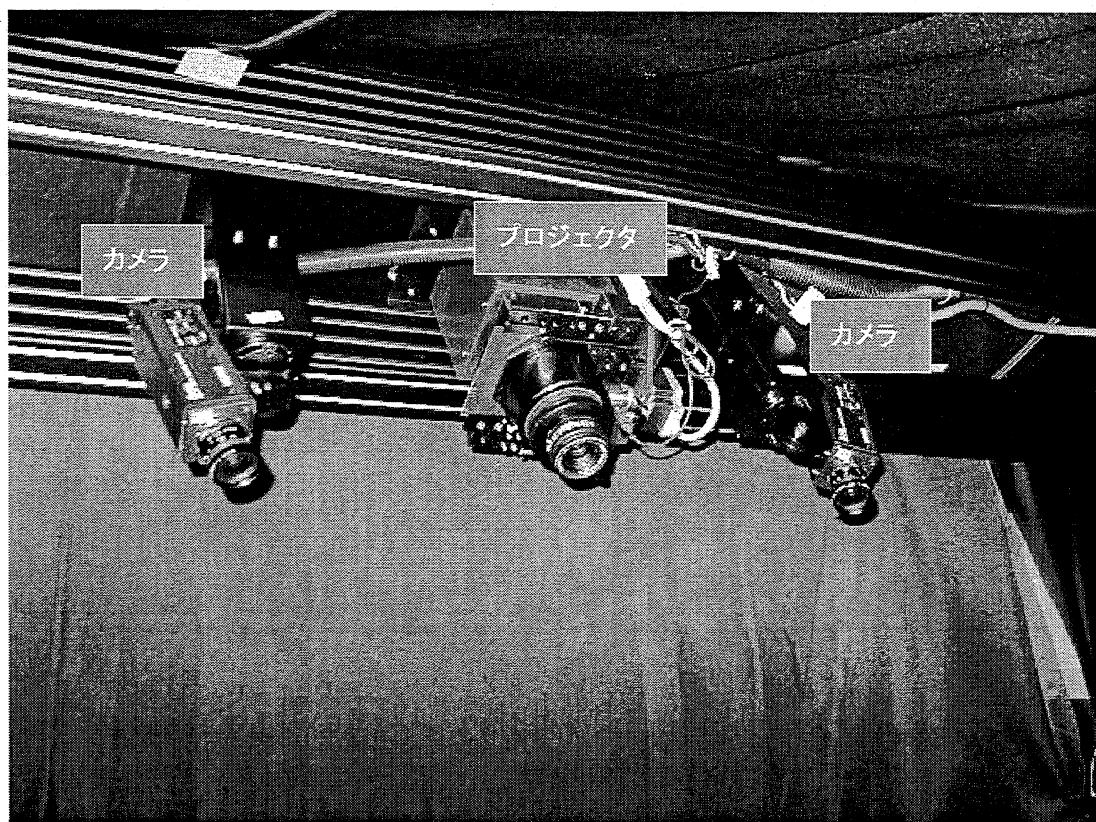


図 5-24 頭頂計測モジュール

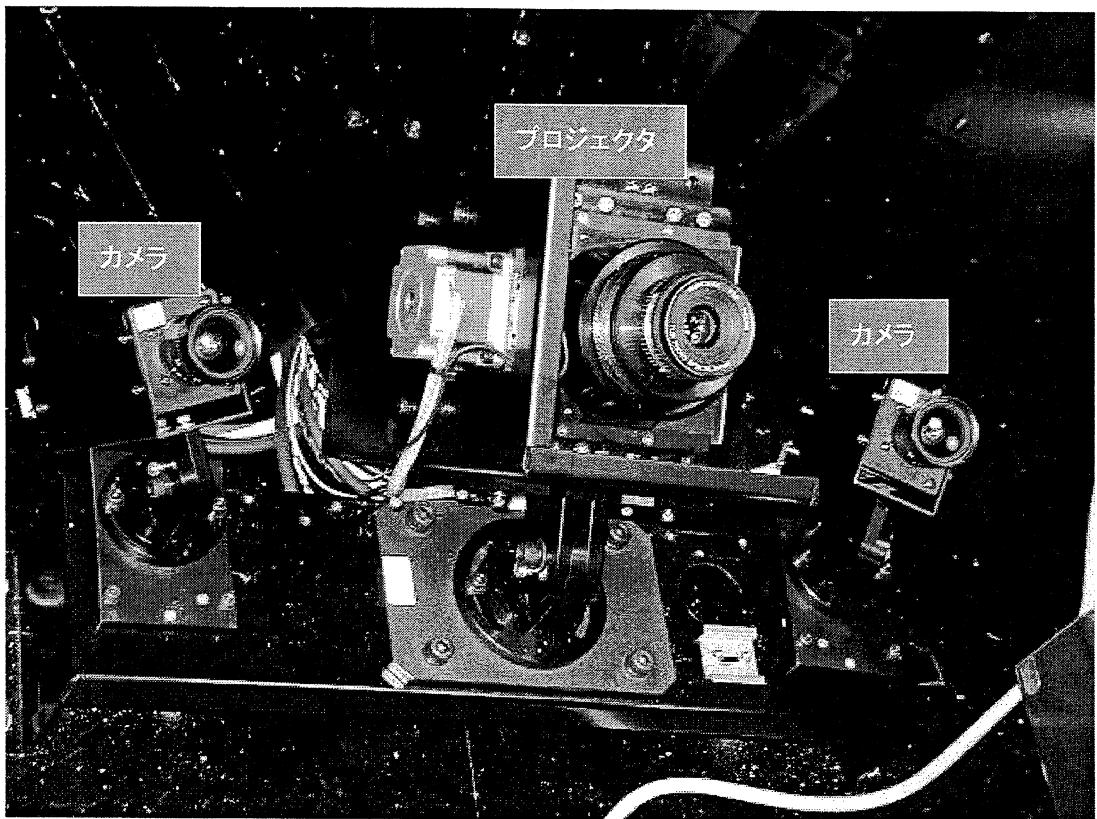


図 5-25 頸下計測モジュール

図 5-22 に、本計測装置の上に実装された頭部側面計測モジュールを示す。図中の二組の計測モジュールにより、モジュールから観測できる面の形状計測を行うこととなる。頭部側面全周はこの対が 4 つ、計 8 台の計測モジュールを、被計測者を中心とした円周上に配置して計測する。図 5-23 に実装された計測モジュールを示す。

図 5-26 は本高速高密度頭部全周計測装置を、上方から見たときの平面図である。図の中央に被計測者が位置し、その周囲を円周上に頭部側面計測モジュール A1 から A8 が取り囲んでいる。計測モジュールが比較的密度高く配置されることとなり、耳裏の計測のために特に計測モジュールを配さずとも、全く計測ができないなどの問題は生じないであろうと考えた。図 5-27 左に同計測装置の側面図を示す。図中では A2 と A8 だけしか示していないが、A1 から A8 までの頭部側面計測モジュールは全て人物の座高に合わせた高さに設置される。

以上の頭部側面計測モジュールでは計測できない領域を補う、二つの特別な計測モジュールが設置されている。そのうちの一つである頭頂部分を計測する、頭部計測モジュールを図 5-24 に示す。頭頂計測モジュールはプロジェクタ 1 つとカメラ 2 つから構成されており、頭部側面計測モジュールと異なり本モジュール単独で多眼正弦波格子位相シフト法を適用しての形状計測を行う。従来のレンジ

ファインダである Fiore や頭部の側面を計測するモジュールではプロジェクタ 2 つとカメラ 2 つを組としての計測となっており、比較すると(1)プロジェクタが 1 つ少ない、また(2)カメラとプロジェクタが一直線に配置されている、という違いがある。ステレオ法と同じく多眼正弦波格子位相シフト法では、プロジェクタやカメラの数は多ければ多いほど誤った絶対位相値を得にくくなる。また技術的詳細は省略するが(2)についても同様なことが指摘でき、安定な 3D 形状計測という面から見るとマイナス要因ではあるが、頭頂領域は凹凸がほとんどない面で構成されると考えて良く、実際問題として問題は生じないと考える。

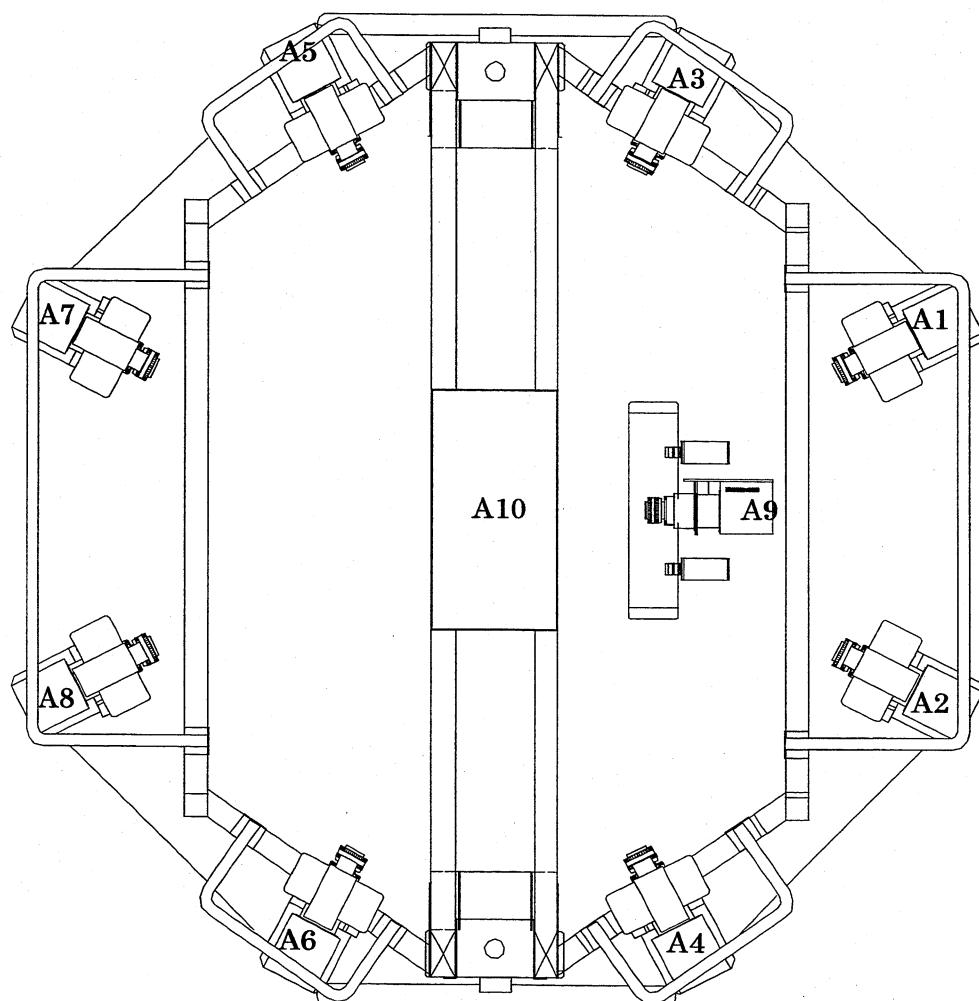


図 5-26 高速高密度頭部形状計測装置の平面図

同様に頸下計測モジュールを図 5-25 に示す。構成は頭頂計測モジュールと同様、プロジェクタ 1 台とカメラ 2 台から構成されているが、頸と円柱状をなす首で挟ま

れた狭隘な領域の計測となることに鑑み、カメラは首に沿う形で若干角度を持たせた。顎下についても頭頂と同様、3D 形状計測の面からは若干不利な構成となっているが、本モジュールで計測しなければならない領域は顎の裏の比較的滑らかな側だけになること、また顎下は隘部でありこれ以上のカメラやプロジェクタの追加は困難であることから、計測のためのアルゴリズムとして若干の工夫をすることと合わせ、計測時のインターフェースを工夫することなどにより計測を可能とする。

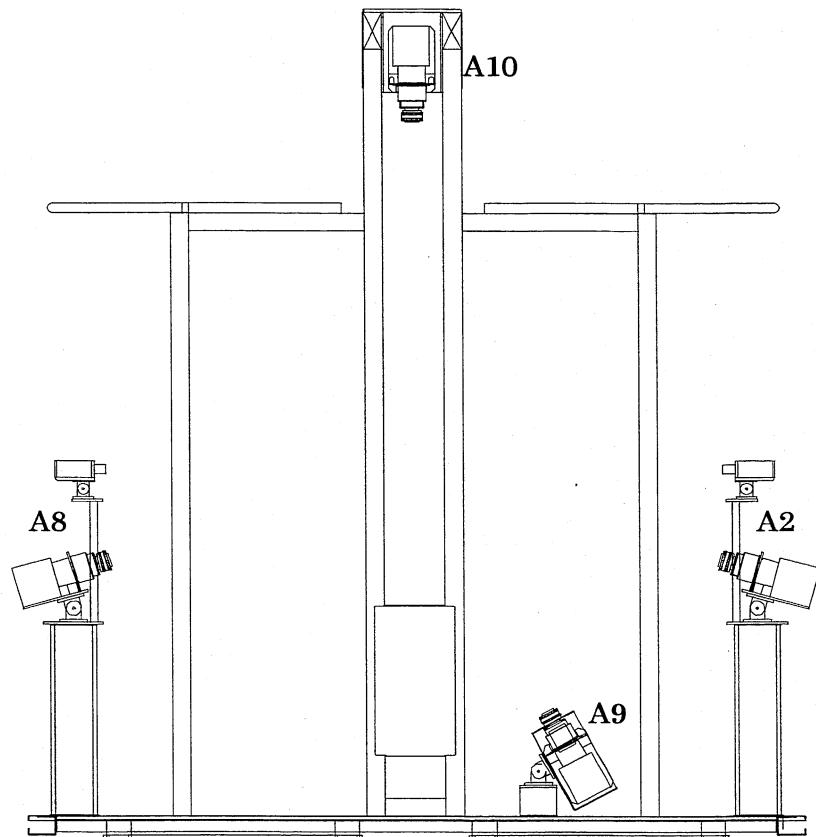


図 5-27 高速高密度頭部形状計測装置の側面図

図 5-26 と図 5-27 中では頭頂計測モジュールは、A10 として示されているように、最も上方に位置し被計測者を見下ろす形で設置される。顎下計測モジュールは A9 として示されており、下方より被計測者の顎下を狙って仰角を持たせて取り付けられている。顎下計測モジュールについてはウエストが前にはりだす量と顎で挟まれる角度により配置を決定する必要があると思われるが、今回は十分な検討は経ていない。最低限若干顎を上げて顔前面の計測モジュールを利用することで、顎下の大部分は計測できるものと考えている。なお計測モジュールを可動として適応的に移動することも可能ではあるが、移動後の位置を高い精度でキャリブレーションは難しく、高精度計測との初期目的から外れるため採用しなかった。

#### (4) 計測モジュールの多重駆動による計測時間の短縮と全体制御

前節までの設計により、本高速高密度頭部全周計測装置は最終的にプロジェクタが 10 台、カメラが 12 台から構成されることとなった。計測の際、プロジェクタから投射する正弦波パターンは、他のプロジェクタから投射されるパターンとは重ならないようにしなければならない。ビデオ画像は 1 秒に 30 フレームの画像で構成されていることから、各計測に 4 枚の画像列を用い、プロジェクタの切り替えに約 60 ミリ秒(ビデオ画像で 2 フレーム分の時間)を要するとすると、各プロジェクタをシーケンシャルに稼働させた場合

$$T_{measurement} = 4_{frames} \times 10_{projectors} + 2_{frames} \times (10_{projectors} - 1) = 58_{frames} \quad \dots(5.3)$$

即ち  $\frac{58}{30}$  秒と、仕様である計測時間 1 秒を大幅に上回ってしまう。

そこで本計測装置では、被計測者が必ず計測位置に存在するという仮定の下、この被計測者によって正弦波パターンが遮られ、計測のための画像列に影響が及ばない、被計測者を挟んで正対する計測モジュールを同時に駆動することによって、計測時間を約  $\frac{1}{2}$  に減少させた。

図 5-26において、A1 と A8、A2 と A7、A3 と A6、A4 と A5、A9 と A10 とをそれぞれ同時に駆動することにより、計測時間は

$$T_{measurement} = 4_{frames} \times \frac{10_{projectors}}{2} + 2_{frames} \times \left( \frac{10_{projectors}}{2} - 1 \right) = 28_{frames} \quad \dots(5.4)$$

即ち  $\frac{28}{30}$  秒と、1 秒を切る計測時間とすることが可能となる。

今回の計測では、1 つのプロジェクタを用いて正弦波パターンを投射しているとき、対応する 2 つのカメラからの画像を記録する必要があることから、本装置において同時に記録しなければならないカメラの数が定まり、計 4 つの動画像記録が必要になる。

以上によりハードウェア設計のための大枠を定め、システム全体の設計を行った。まず全体構成を図 5-28 に示す。計測の指令は、形状計測 PC と名付けられたパーソナルコンピュータよりシリアルインタフェースを通じて全体制御ボードへ、またイーサネットを通じて画像取得用のパーソナルコンピュータへと出される。制御ボ

ードは、ある一台のビデオカメラ(マスターカメラと呼ぶ)からのビデオ信号に同期して、プロジェクタの切り替えや位相シフトを行う。同時にビデオカメラからのビデオ信号を切り替えて、動画像記録用に用意されている画像取得用PCへと出力する。マスターカメラ以外のビデオカメラは、マスターから出力されるビデオ信号に同期するよう設定しておく。

マスターから出力されるビデオ信号は、それぞれ独立のタイミングで動くこととなるため、互いに同期を図れるよう制御ボードから出力されるビデオ信号において、不必要的フレームはブルーで塗り潰しておくことにする。画像取得用PCは、計測の前後余裕を持った画像のキャプチャを行った後、単純な画像処理によりブルーフレーム判定を行い必要な画像を切り分けてゆく。

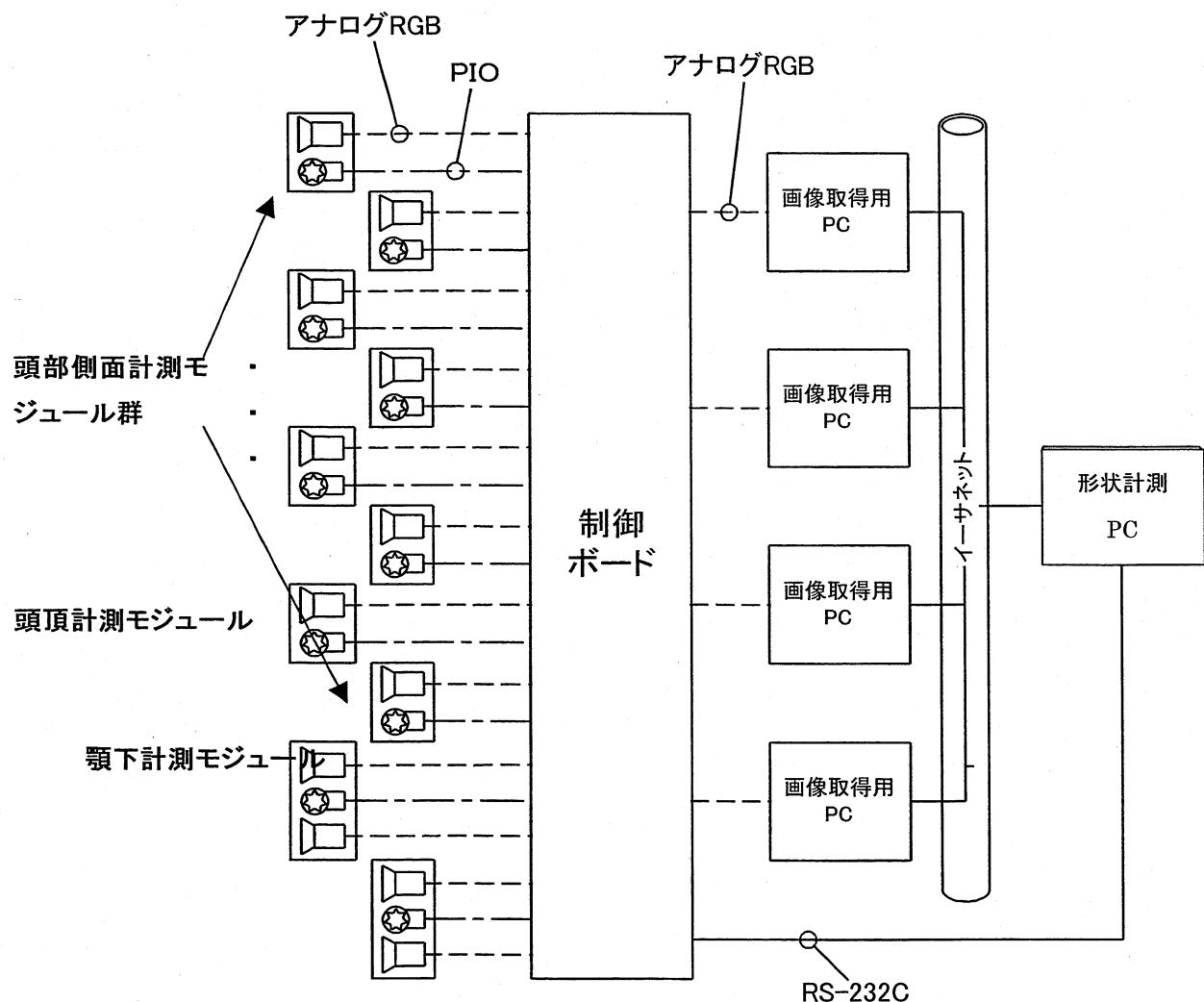


図 5-28 高速高密度頭部全周計測装置の構成図

図 5-29 にタイミングチャートを示す。横軸は時間であり、項目の A 系と B 系は、同時に計測を行う系列を示している。各系列はプロジェクト 1 台の駆動とカメラ 2 台の画像出力で構成されており、4 枚の計測用画像を得た後、プロジェクトやカメラを切り替えている。この切り替えの間や全体のシーケンスの前後は全てブルーフレームとする。図 5-17 に示した 4 台のパーソナルコンピュータは、各系列のカメラ画像をそれぞれ連続でキャプチャするための画像撮影用 PC として用いられる。形状計測用と画像取得用の各パーソナルコンピュータ上で動作するソフトウェアについては、次節でその詳細を述べる。

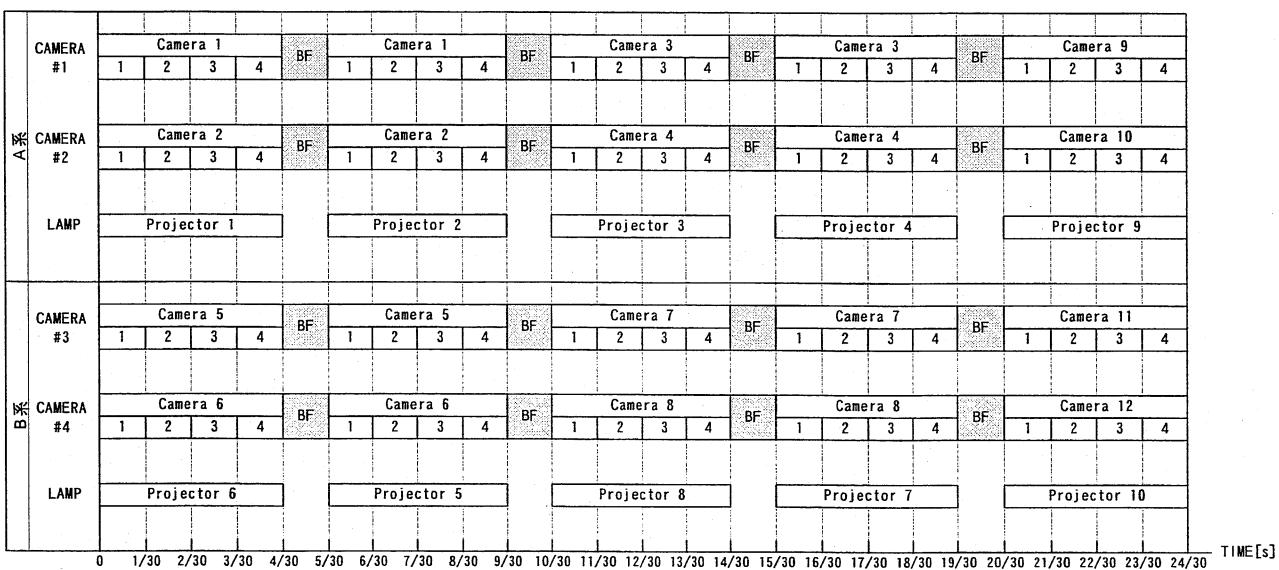


図 5-29 高速高密度頭部全周計測装置のタイミングチャート

### 5. 3. 3 ソフトウェア設計と開発

計測装置としての基本的な計測性能は主にハードウェア設計に依存している一方、この装置を有効に活用して有用な大量のデータを採取するユーザビリティの側面は、主にソフトウェア設計に大きく依存している。そのためソフトウェアの設計に当たっては、処理の流れ全体を良く考慮して、できるだけ使い易くなるよう配慮した。

図 5-28 に示したように本形状計測装置では、画像撮影用に 4 台、全体を統御する形状計測用に 1 台の、計 5 台のパーソナルコンピュータを利用する。更に計測データの編集・統合・採寸ソフトウェアが稼働する 3D GWS がこれに加わり、システム全体としては計 6 台のコンピュータにより構成される。これら 6 台のコンピュータ上では互いに相関を持ったソフトウェアが稼働するが、それぞれ独立に電源投入からソフトウェア起動、終了、電源断を行いうるには手間がかかる上、トラブルが生じた場合の問題切り分けが難しくなる。そこで全体を統御するコンピュータとして図 5-28 上の形状計測用 PC をマスターとし、このマスターPC より全てのコンピュータの電源投入・電源断を制御できるマネージャソフトウ

エアを開発した。このマネージャソフトウェアは画像撮影用 PC の状態監視が一目でわかるような GUI を持つておらず、これら PC 上で稼働する画像撮影ソフトウェアの再起動などが簡単に制御できる。

計測のために撮影されるカラー画像一枚の大きさは 480x640 画素であり、これはほぼ 1M バイトに相当する。頭部全周を計測するために必要な画像の枚数は、図 5-28 からわかるように各プロジェクトについて 2 台のカメラで画像撮影を行っていることから

$$10_{\text{projectors}} \times 4_{\text{phase-shift}} \times 2_{\text{cameras-per-projector}} = 80_{\text{images}} \quad \dots(5.5)$$

となり、総量約 80M バイトと非常に大きくなる。従って単に画像を PC 間で転送したり、処理のために読み込んだりするだけでも長い処理時間が必要である。3D 形状計算処理のための時間が長くなることは、本事業における目的となる大量の人物について有用なデータを収集する際の障害となり得る。よって画像撮影用 PC で稼働する画像撮影ソフトウェアは、単に画像の撮影を行うだけでなく、3D 形状計算処理の一部を分散して受け持ち全体の処理時間を短縮するように設計する。全体を統御する計測ソフトウェアでは、分散処理されたデータを集めて、残された計測モジュール毎の 3D 計測データを求めて出力する。

3D 形状編集・統合ソフトウェアでは、各計測モジュールからの 3 次元計測データ上の不正な計測値などを削除・編集すると共に、頭部全周を欠けなく覆いつくし、かつ表示や採寸を行う上で扱いやすい正三角形にできるだけ近くなるような面上へと投影して統合する。採寸ソフトウェアでは、統合された 3D 形状データと各計測モジュールからの 3D 計測データ双方を用いて、人体にとって重要な部位の採寸を行う。

また先にも述べたように、本事業における計測採寸システムを開発する上で、開発期間が一年であるという厳しい要件があった。これら編集統合ソフトウェアや採寸ソフトウェアでは、3D 形状を自由な視点から表示しながらの編集・統合・採寸機能が最も一般的に期待されるものであろう。しかし自由視点からの 3D 形状を、限定された 2D 表示機能しか持たないモニタ上において平面上しか稼働しないマウスを用いて操作することは形状の把握自体が難しいことと相まって、十分な検討なしに設計された GUI ではユーザビリティが非常に低くなることが容易に予想される。この処理自体も複雑であり、検討・開発に必要な工数は非常に大きいと考えた。一方で撮影した 2D 画像上に 3D 形状データを並べた、いわゆる奥行き画像に対し視点移動を伴わないペイントソフトウェアで操作することは、一般ユーザでも直感的に操作可能なユーザインターフェースを持たせることができるのである。ソフトウェア開発上もそれほど大きな負担にはならないと思われる。よって完全な自由視点ではなく、いくつかの視点を切り替えながら 2D 奥行き画像を編集・採寸させることにより、頭部全周 3D 形状データを大きな開発コストを伴わずにユーザビリティの優れたソフトウェアを開発する道を選択した。

以下では高速高密度顔全周計測装置を構成するパーソナルコンピュータの構成と環境に

ついてまとめた後、ソフトウェア設計に大きく影響を与えるデータ定義について述べる。次にマスターPC 上で稼働する全体を統御する計測ソフトウェアと、画像撮影用 PC 上で稼働する画像撮影ソフトウェアについて、最後にマスターPC 上で稼働する編集・統合ソフトウェアについて順に説明する。

#### (1) パーソナルコンピュータの構成

高速高密度頭部全周計測装置全体を統御するマスターPC として、NEC 製パーソナルコンピュータ PC-98NX MA70D を用いる。また画像撮影用パーソナルコンピュータとしては同社製パーソナルコンピュータ PC-98NX MA60J を 4 台利用する。これらは 100Mbps のバス幅を持つスイッチングハブにより相互接続されており、制御コマンドや計測データを交換する。

OS にはこれまでの実績と安定性から、全てのパーソナルコンピュータに Microsoft 社の Windows NT 4.0(SP6a)を採用した。

マスターPC である形状計測 PC 上で稼働するソフトウェアは以下の通りである。

- マスター・マネージャソフトウェア: 全ての PC と GWS の電源管理、プロセス管理
- 計測ソフトウェア: 画像データ撮影指令と収集、3D 形状計算
- 3D 形状編集・統合ソフトウェア: 各計測モジュールでの計測データ編集と全体統合
- 閾値決定ソフトウェア: 計測領域を求めるための閾値をあらかじめ決定

画像計測用 PC 上で稼働するソフトウェアは以下の通りである。

- スレーブ・マネージャソフトウェア: 撮影ソフトウェアの起動・終了と、PC のシャットダウン
- 撮影ソフトウェア: 計測のための動画や静止画の撮影、3D 形状計算の前処理

同様に 3D GWS 上で稼働するソフトウェアは以下の通りである。

- スレーブ・マネージャソフトウェア: GWS のシャットダウン
- 採寸ソフトウェア: 頭部指定部位の座標取得と寸法計測

なおマスター・マネージャソフトウェアによる各 PC・3D GWS の電源投入は、

ネットワーク・インターフェースカードに実装された、WOL(Wake On LAN)機能を用いている。以上のうち、3D GWS 上で稼働する採寸ソフトウェアについては節をあらためて説明する。

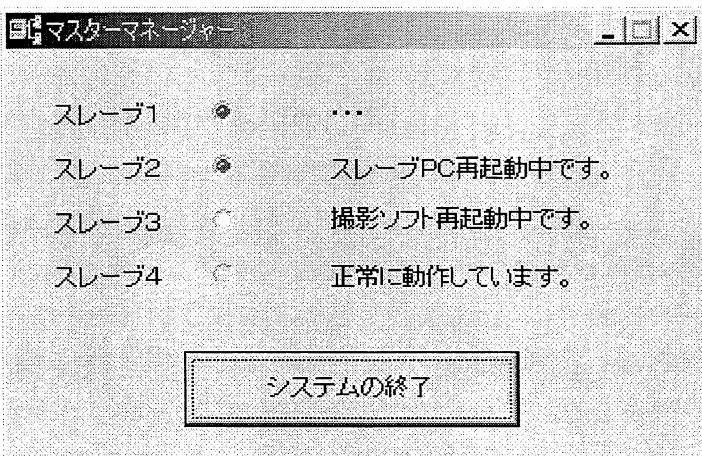


図 5-30 マスターマネージャプログラムの GUI

## (2) マスター・マネージャソフトウェア

本ソフトウェアはマスターPC である形状計測 PC 上で稼働し、画像撮影用 PC と 3D GWS の電源管理、及び画像撮影用 PC 上で稼働する撮影ソフトウェアの再起動を司る。マスターPC の電源を投入すると、このマスター・マネージャソフトウェアは自動的に立ち上がるようになっており、ネットワークカードの WOL(Wake On LAN)機能を用いて画像撮影用 PC と 3D GWS の電源を投入してゆく。

起動されたマスター・マネージャソフトウェアの GUI を図 5-30 に示す。3D 形状計測は 4 台ある画像撮影用 PC との分散処理となるため、これら PC の状態を監視することが極めて重要である。そこでこの GUI では、常にこれら画像撮影用 PC を、(1)正常動作中、(2)撮影ソフトウェア再起動中、(3)画像撮影用 PC(スレーブ PC)再起動中、(4)制御不能(図 5-30 中「…」にて表示)の 4 つの状態で示し続ける。インジケータはそれぞれ、(1)の場合緑点灯、(2)は黄点滅、(3)は赤点滅、(4)は赤点灯で示される。正常動作とは、スレーブ・マネージャソフトウェアと撮影ソフトウェアが共に稼働している状態を指す。PC 再起動中はスレーブ・マネージャソフトウェアが立ち上がり、起動完了通知が届くまでの状態を指す。あらかじめ設定した時間待機しても起動完了通知が届かない場合、制御不能としている。

図中の[システムの終了]ボタンを押すと、全ての画像撮影用 PC と 3D GWS をシャットダウンさせた後、マスター・マネージャソフトウェアが動いているマスターPC 自体の電源を切断する。このシャットダウンの開始に先立ち、本当にシャットダウンしても良いのか確認のためのメッセージを表示する。

{FOLDER} はフォルダ名を示す。フォルダ名はユーザが任意に決定する。  
{DATA} はデータ名を示す。データ名はユーザが任意に決定する。

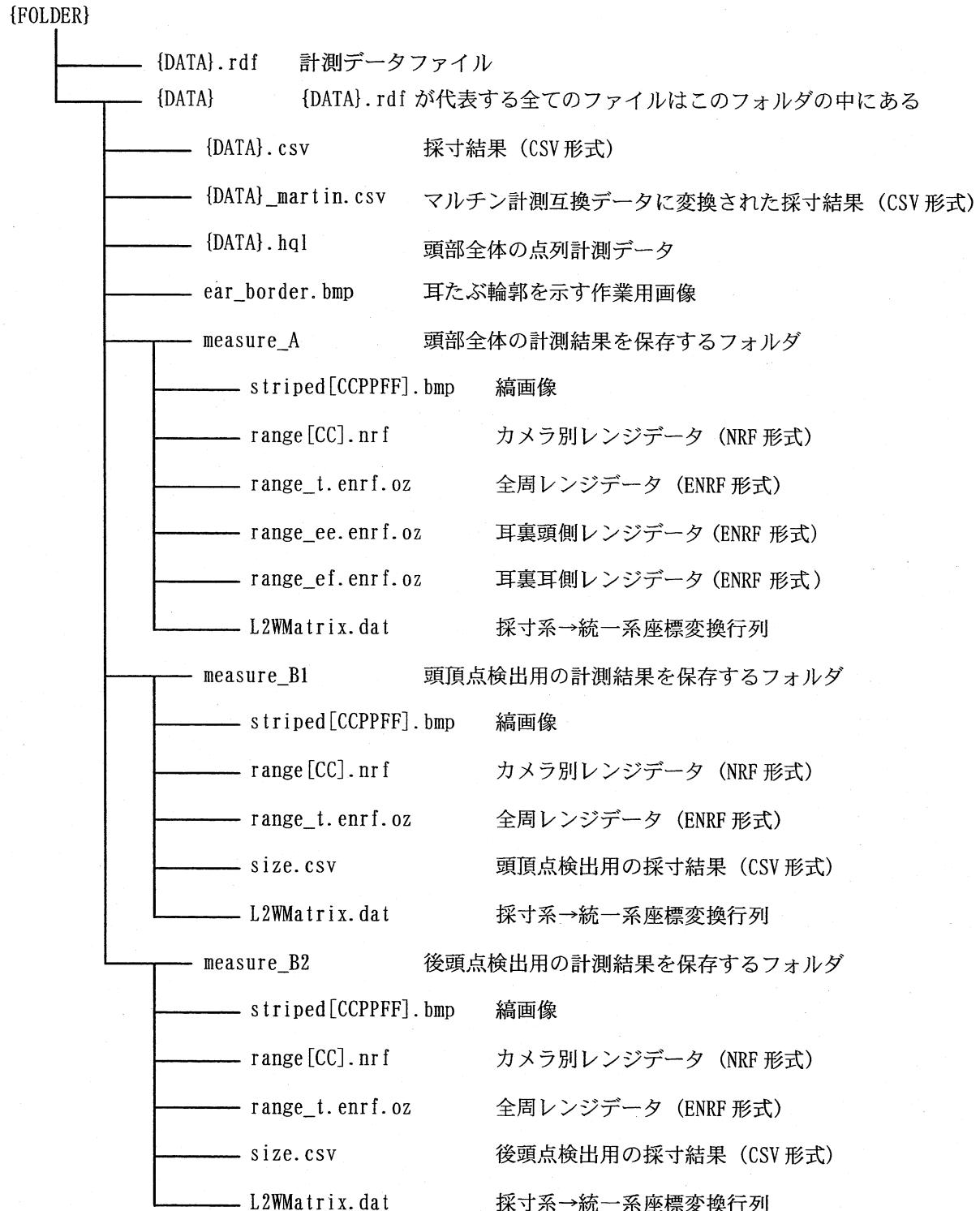


図 5-31 一人の人物についてのデータ名称定義一覧

### (3) スレーブ・マネージャソフトウェア

本ソフトウェアは画像撮影用 PC と 3D GWS 上で稼働し、マスター・マネージャソフトウェアからの指令に従って自分自身が動作している PC / WS をシャットダウンし電源を切断する。これら PC / 3D GWS の電源が投入されると、このスレーブ・マネージャソフトウェアは自動的に立ち上がるよう設定されており、起動すると同時にマスター・マネージャソフトウェアに起動完了通知を送付する。また画像撮影用 PC 上で稼働している場合は、マスター・マネージャソフトウェアからの指令に従って、撮影ソフトウェアの起動・再起動の制御を司ってその状態をマスター・マネージャソフトウェアへと通知する。

このスレーブ・マネージャソフトウェアは特に必要があると思われない GUI は持たせていない。

### (4) データファイル定義

頭部全周の 3 次元形状計測ソフトウェアについて説明する前に、本システムにおける、一人の人物に関するデータファイル名の定義とその内容について、主要なものを説明する。

図 5-31 に一覧図を示す。この中で {FOLDER} とはデータが納められたフォルダ名を示す。{DATA} は人物を代表するデータの名称である。いずれもユーザが任意に設定できるようになっている。

まず計測データは複数にわたることから、計測や編集作業をする上で簡便に全体を代表するためのファイル、{DATA}.rdf を定義する。

撮影された原データである、正弦波パターンが投射されている顔画像は、図中において「縞画像」として保存される。ここで {CC} はカメラにつけられた二桁の番号、同様に {PP} はプロジェクト番号、{FF} は撮影の順につけられた画像である(図 5-29 参照)。必要な部位に応じて計測の系列は以下の 3 つあり、それぞれが独立したフォルダに納められている。なおそれぞれの計測の意味については別の章に説明を譲る。

- 頭部全周計測：髪の毛を隠すキャップを装着して頭部全体を計測
- 頭頂点計測：キャップを外し、髪に隠れて見えない頭頂点を特殊な指示器具で指示しながら計測
- 後頭点計測：キャップを外し、髪に隠れて見えない後頭点を特殊な指示器具で指示しながら計測

各カメラについて計測ソフトウェアを用いて 3 次元形状計算を行った結果は、図中の「カメラ別レンジデータ」として range{CC}.nrf の名前で保存される。続い

て 3D 形状編集・統合ソフトウェアにより、不要なノイズ等を削除した後全体を統合して全周レンジデータを求め、range\_t.enrf.oz の名前で保存する。頭部全周計測の場合には、耳裏側の 2 面のデータをそれぞれ「耳裏頭側レンジデータ」と「耳裏耳側レンジデータ」として別々に range\_ef.enrf.oz、range\_ee.enrf.oz の名前で保存する。以上の oz という拡張子のついたファイルは可逆圧縮が適用された専用のフォーマットであり、ディスク容量を圧迫しないよう配慮している。

採寸ソフトウェアでは計測したレンジデータ群から、必要な部位の採寸を行い CSV 形式で、{DATA}.csv の名前で出力するとともに、あらかじめ定義された変換式により従来の計測器具を用いた計測値に相当する値へと変換し、{DATA}\_martin.csv という名前で出力する。

また頭部全周 3 次元形状データは他の 3D CAD ソフトウェアなどで利用できるよう、一般的な ASC フォーマットでの保存も可能となっている。このファイル名は{DATA}.hql となっている。

### (5) 計測ソフトウェア

本ソフトウェアはマスターPCである形状計測 PC 上で稼働し、計測装置の制御ボードと 4 台の画像撮影用 PC 上で稼働している撮影ソフトウェアへとデータ撮影の指令を出す、画像撮影用 PC から必要なデータを収集し 3D 形状計算を行う、などの動作をする。このソフトウェアの GUI を図 5-32 に示す。またそのメニュー項目とその機能を表 5.1 に示す。データ計測では図 5-29 に示したようなプロジェクトやカメラなどの切り替え、記録した動画像からの、計測のための画像の切り出し等複雑な動作をさせる必要があるが、ユーザビリティを考慮し非常にシンプルな操作だけで計測が可能なよう配慮している。

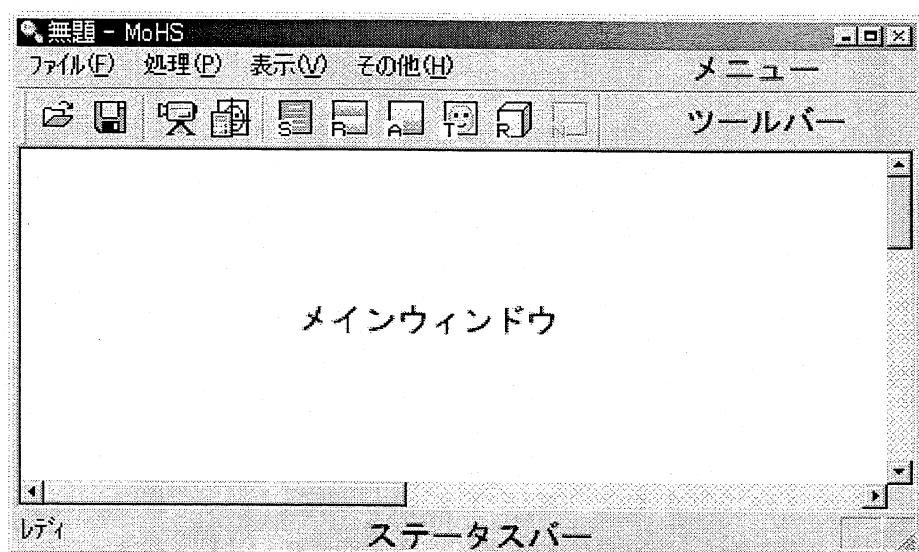


図 5-32 計測ソフトウェアの GUI

メニュー項目		機能
ファイル	開く	計測ファイルを開いて撮影済みの縞画像を読み込む
	保存	計算が完了したレンジデータをファイルに保存する
	アプリケーションの終了	計測ソフトウェアを終了する
処理	撮影&レンジデータ計算	縞画像を撮影してからレンジデータを計算する
	レンジデータ再計算	レンジデータを再計算する
	光量調節	プロジェクタの光量を最適な値に調節する
表示	縞画像	メインウィンドウの表示を縞画像に切り替える
	相対位相画像	メインウィンドウの表示を相対位相画像に切り替える
	絶対位相画像	メインウィンドウの表示を絶対位相画像に切り替える
	テクスチャ画像	メインウィンドウの表示をテクスチャ画像に切り替える
	レンジデータ	メインウィンドウの表示をレンジデータに切り替える
	なし	メインウィンドウに何も表示しない
	ツールバー	ツールバーの表示、非表示を切り替える
その他	ステータスバー	ステータスバーの表示、非表示を切り替える
	バージョン情報	バージョン情報を表示する

表 5.1 計測ソフトウェアのメニューとその機能

メニューより【計測&レンジデータ計算】を選択したときの処理手順は以下の通りである(図 5-33 参照)。

#### (ア) 動画像撮影

計測ソフトウェアは全ての撮影ソフトウェアに対し動画撮影開始を指示する。全ての撮影ソフトウェアから指示受領通知を受け取るまで待機する。

##### (イ) 正弦波(縞)パターン投射とカメラ切り替え

制御ボードへと図 5-29 に示したパターン投射とカメラ切り替えを指示する。計測が終了するまであらかじめ指定した時間待機する。

##### (ウ) 撮影終了

計測ソフトウェアは全ての撮影ソフトウェアに対し動画撮影終了を指示する。全ての撮影ソフトウェアから指示受領通知を受け取るまで待機する。

##### (エ) 3D 形状計算分散処理開始

計測ソフトウェアは全ての撮影ソフトウェアに対し、3 次元形状計算処理(の一部)を開始するよう指示する。一定時間間隔で撮影ソフトウェア

の状態をチェックし、全ての撮影ソフトウェアから処理終了通知を受け取るまであらかじめ設定された時間だけ待ち受ける。

以上の処理を通じて、あらかじめ設定された時間待機しても通知が受け取れない場合、異常が生じたとして処理を中断するとともにユーザへと連絡することにより、一般に把握が難しい分散処理環境の状態がわかるよう配慮している。

計測した画像データや中間結果、最終結果を示す画像群は、それぞれ表示メニューから相当する表示を選択することにより簡易に確認できる。また撮影済みである画像を読み込んでの形状再計算も可能なように設計されている。

本計測ソフトウェアは、各カメラにおいて計測された3次元形状データを出力する。頭部全周データへのマージは続くデータ編集・統合ソフトウェアにより処理されることとなる。

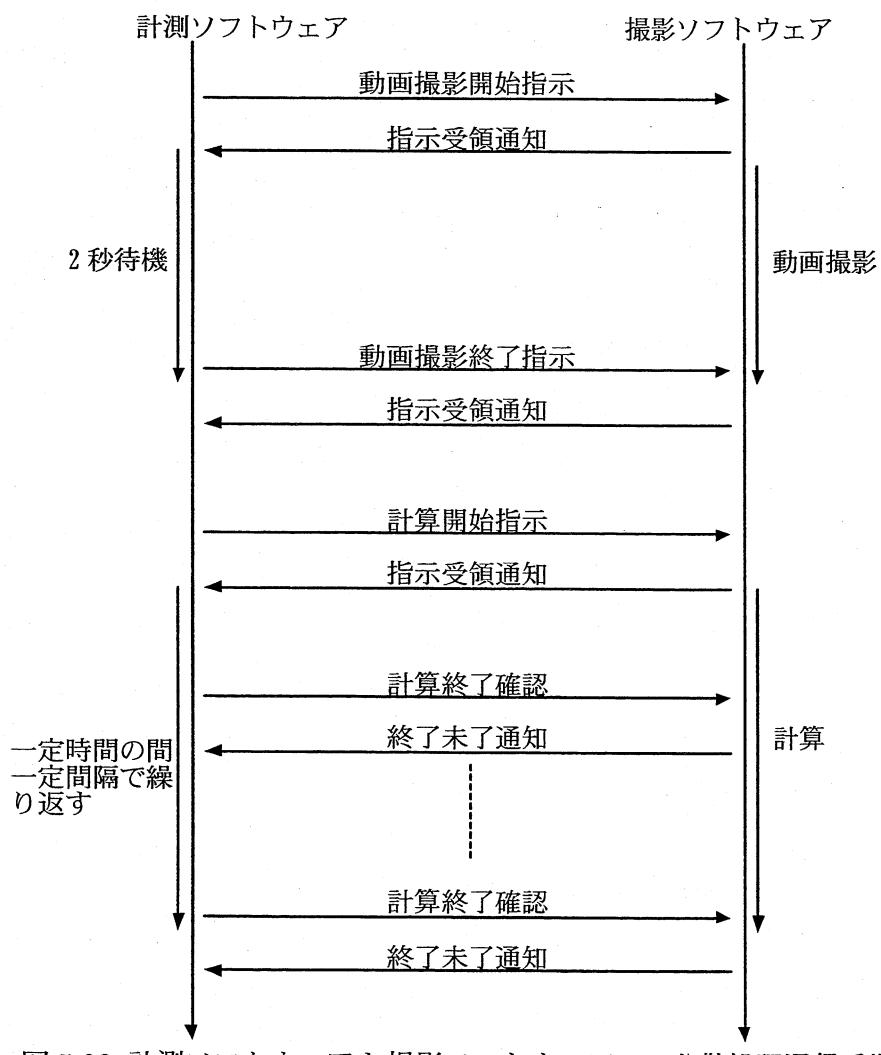


図 5.33 計測ソフトウェアと撮影ソフトウェアでの分散処理通信手順

## (6) 撮影ソフトウェア

撮影ソフトウェアは画像撮影用 PC 上で稼働し、計測ソフトウェアからの指示に従い静止画や動画像を撮影する、また形状計算の一部の処理を計測ソフトウェアに先立って計算する。動画像は、装着された Matrox 社 Meteor2 画像キャプチャボードに入力された、一本のビデオ信号入力をただ単に記録してゆくだけであるため、必要な画像群へと分解する必要がある。図 5-29 に示したように、各カメラからのビデオ信号は画像撮影用 PC 毎に振り分けられており、またそれぞれ分離が容易となるようにブルーフレームが挿入されている。撮影ソフトウェアは簡単な画像処理によりこのブルーフレームを同定して画像を分離してゆく動作を行う。

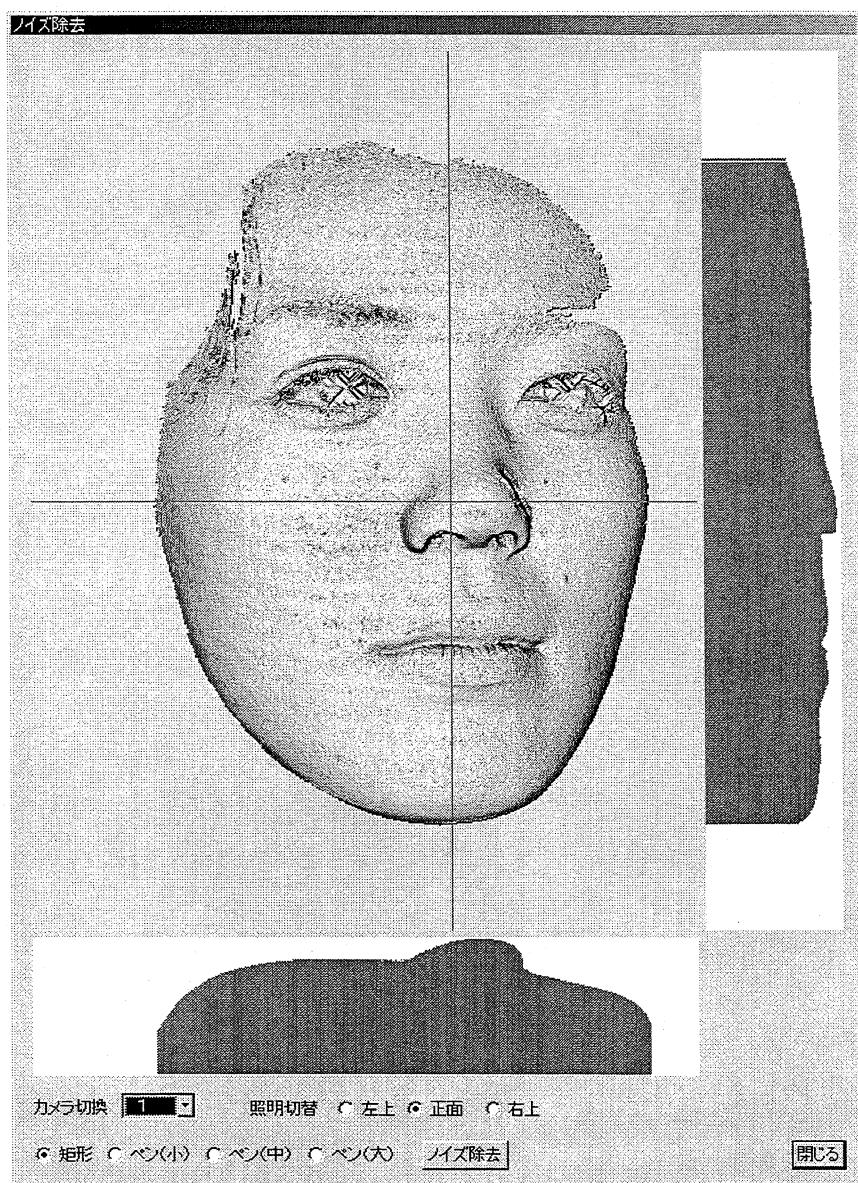


図 5-34 3 次元形状データの編集画面

計測ソフトウェアとの通信とその動作については、既に前節で図 5-33 を用いながら説明した通りである。

#### (7) データ編集・統合ソフトウェア

本データ編集・統合ソフトウェアは計測用 PC 上で稼働し、各カメラにより計測された 3 次元形状データから不要な計測値を編集により削除する、また採寸や表示に向いた等密度の正三角形に近いポリゴンを持つよう球面へと投影し保存するという動作を行う。

まずデータ編集について説明する。図 5-34 に計測した 3 次元形状データの編集画面を示す。編集は個々のカメラで撮影された形状データ毎に行うよう設計しており、一般ユーザが慣れていると思われるペイントアプリケーションに類似した UI を備えている。図中の緑のマスク領域が形状の存在しない領域であり、ペンや矩形により自由にマスクを編集することができる。[ノイズ除去]ボタンを押すことにより、指定された領域の 3D 形状は消去され、周囲の形状から内挿されることになる。

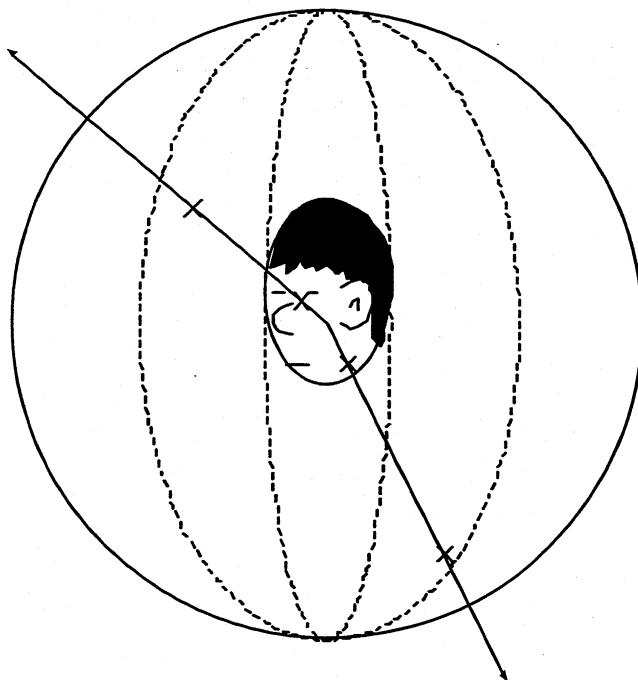


図 5-35 頭部 3 次元形状の球面への投影

2D の表示機能しか持たないディスプレイ上での 3 次元形状把握がしやすいよう、編集位置となるマウスがクロスヘア・カーソルで表示され、縦方向・横方向の断面を計測データの横と下に示している。また簡易シェーディング機能も備えてお

り、あらかじめ設定された 3 つの位置に配置された照明の下での陰影が表示できる。

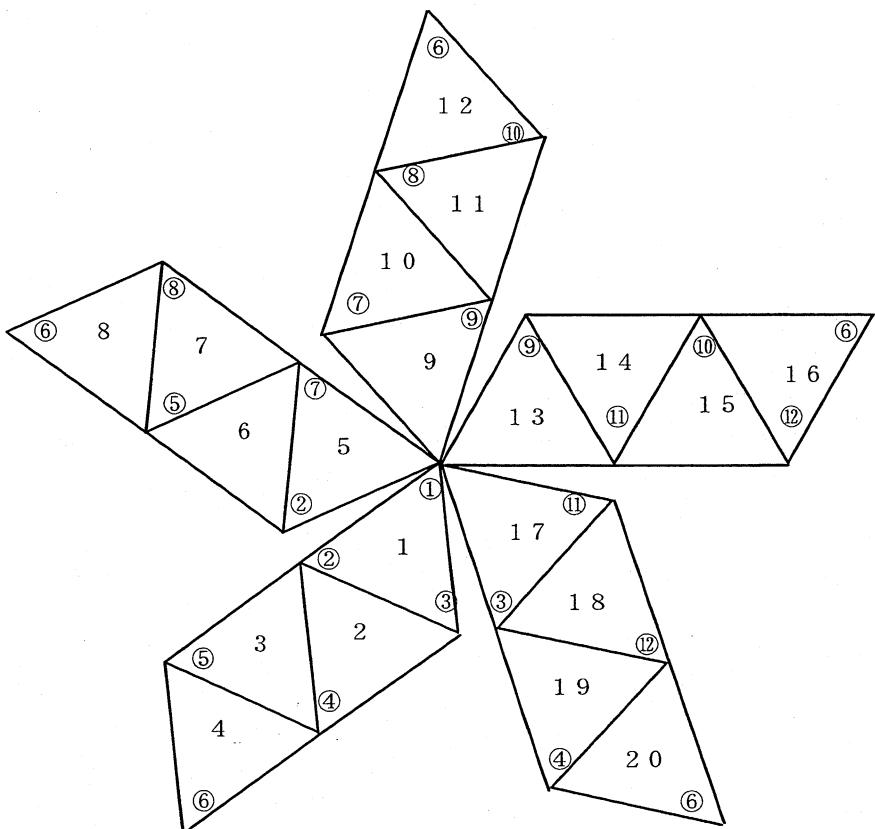


図 5-36 正二十面体の展開図

次にデータ統合について述べる。計測した 3 次元形状を三角形平面の集合体により表現し、その頂点の密度を要求仕様である約 1 点/mm<sup>2</sup>にするとする。この指定密度にできるだけ合致するよう、何らかのパラメトリックな 3 次元形状を計測形状に適応的にフィッティングしてリサンプリングすることは不可能ではないと思われるが、(1)計測される様々な人物について好ましい形状に変形可能なパラメトリックな表現は知られていない、(2)その表現はパラメータに対し非線形となると思われフィッティングは非常に時間がかかる繰り返し計算となりかつ最適性の保証が困難であることから、単純な表現を新しく開発することとした。

頭部の 3 次元形状は勿論人によりまちまちではあるが、大雑把に言って球状をなしていると思われるため、まず計測した 3 次元形状は全て球面上へと投影し、この球面上にて等密度となるようリサンプリングを行うこととする(図 5-35)。しかし更に球面上での等密度点の表現は一般に知られていないため、代替案として擬似的に等密度となるような点を提案する。

同一形状をなす面から構成される最も面の数が多い正面体として、正二十面体

が存在する<sup>xiv xv</sup>。正二十面体を平面へと展開した図を図 5-36 に示す。この頂点は球面上にて等密度で分布しているが、頭部形状をリサンプリングするにはあまりにも少ない。よって各面を構成する正三角形を更に細分化して数を増やすこととする(図 5-37)。これにより、等密度ではなくなるがそれに近いサンプリング点を、細分化の数を変更することで好きな数だけ自動生成することが可能である。

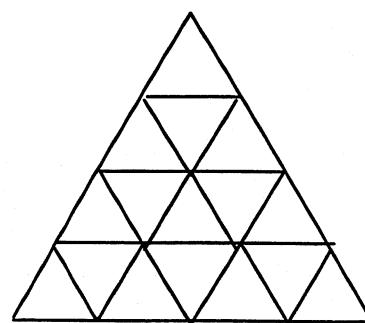


図 5-37 正二十面体を構成する各正三角形を細分化

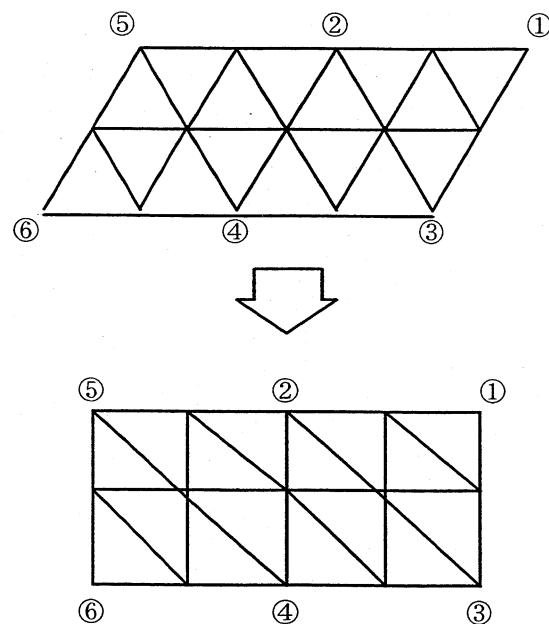


図 5-38 正二十面体データの短冊状データ表現説明図

本計測ソフトウェアでは頭部の平均的な大きさが半径 15cm であるとし、その表面積と分割された正三角形の面積の比から頂点の数がほぼ 1 点/mm<sup>2</sup>となるよう、その分割数を定めた。

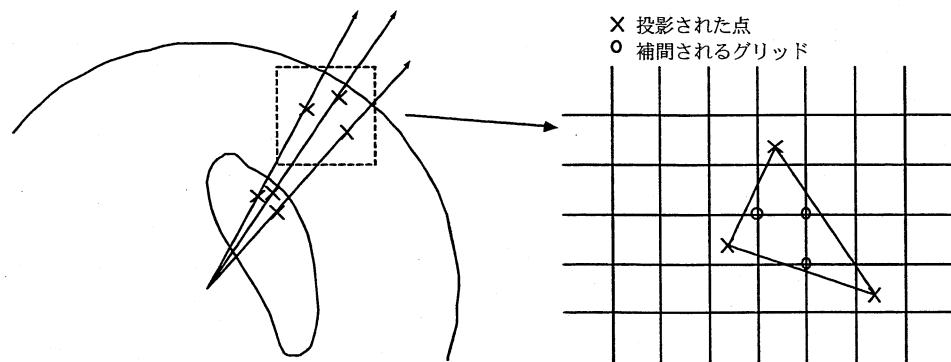


図 5-40 計測点データのリサンプリング説明図

保存するファイルのフォーマット(ENRF : Extended NEC Range data Format)は、図 5-39 に示したように 5 つの平行四辺形に相当する短冊状データを順に並べた形で定義されている。図中の丸数字は図 5-36 で示した正二十面体の各頂点と対応しており、斜線部分は各短冊の境界を示すデリミッタとなっている。実際のファイルは更に可逆圧縮が適用され、.oz の拡張子がついた名前が付けられている(図 5-31 参照)。

図 5-40 に計測データのリサンプリングの方法について示す。各カメラで計測されたデータは、画像データ上において隣接する 3 点を同時に球面上へと投影する。同図右に示したように、投影された 3 点で構成される三角形内におけるリサンプリング点について、線形内挿により座標値を求めてゆく。

耳の裏については図 5-41 のように多重に投影されることにより判定を行うこととする。最終的に保存される 3D 形状データとしては頭中心から球に投影したときの最も外側に位置するデータから構成される、「頭部全周レンジデータ」と、外耳の裏側である「耳裏耳側レンジデータ」、同様に耳の裏側の頭部分である「耳裏頭側レンジデータ」の 3 種類となる。

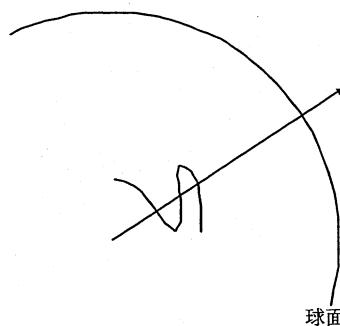


図 5-41 耳裏投影模式図

### 5. 3. 4 計測精度の評価

以上説明してきた高速高密度頭部全周計測装置が仕様を満たすかどうかについて、特に計測精度について実験結果を示す。

まず厚さ 3mm の高い平面度を持ち、つや消し白色の塗装を施したアルミ平板を計測することにより、奥行き計測精度を評価した。被計測対象であるアルミ平板を、精密に位置制御が可能なステージへと取り付けた状態を図 5-42 に、また本計測装置により撮影した正弦波パターン投射画像列を図 5-43 に示す。

図 5-44 は、図 5-43 の画像列から計算した 3D 形状画像について、画面の中央を横切るように奥行きをプロットしたものである。横軸は画素位置であり、縦軸は奥行きでメモリ一つが 0.5mm に相当する。0.1mm 程度のなみうちが見られるが、要求仕様である 0.5mm 計測精度(rms)は十分満たしていることは明らかである。実際この計測データに対し平面フィッティングを行った後、標準偏差を計算したところ 0.095018mm と十分小さいことがわかった。

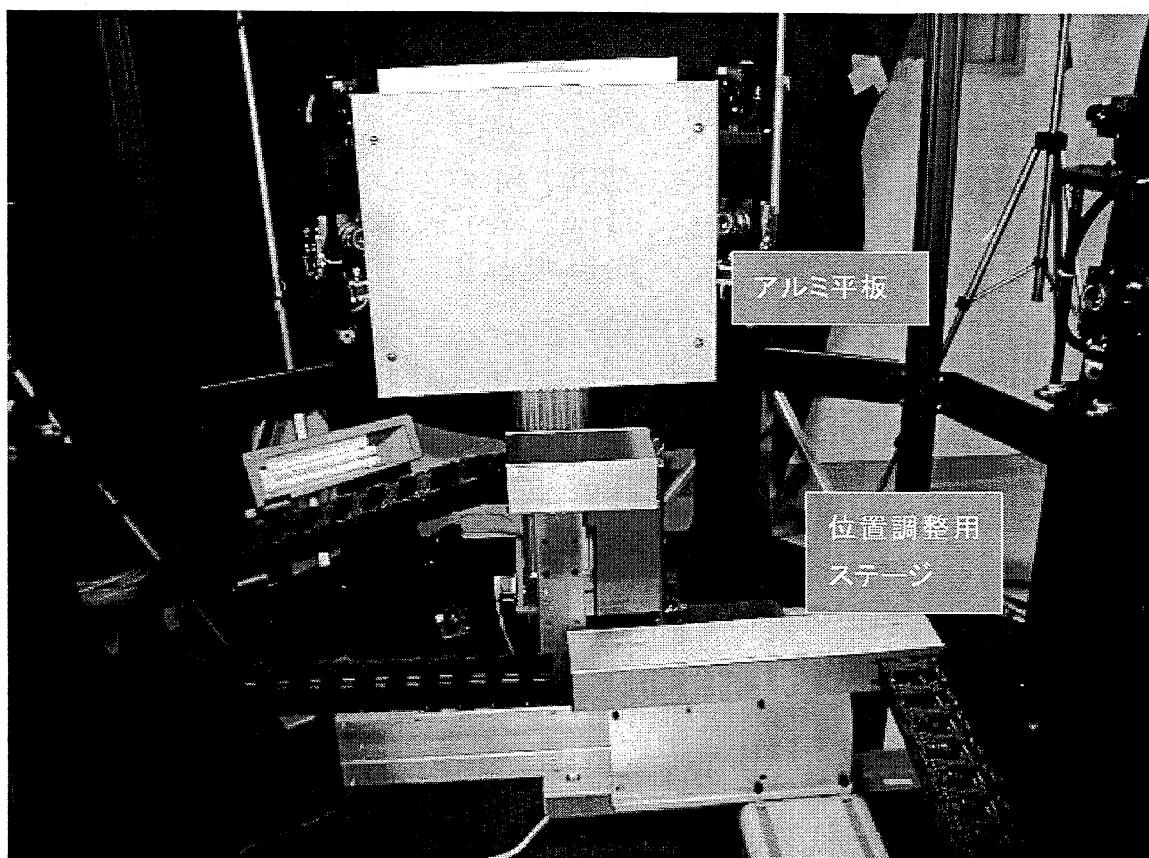


図 5-42 計測精度評価用アルミ平板

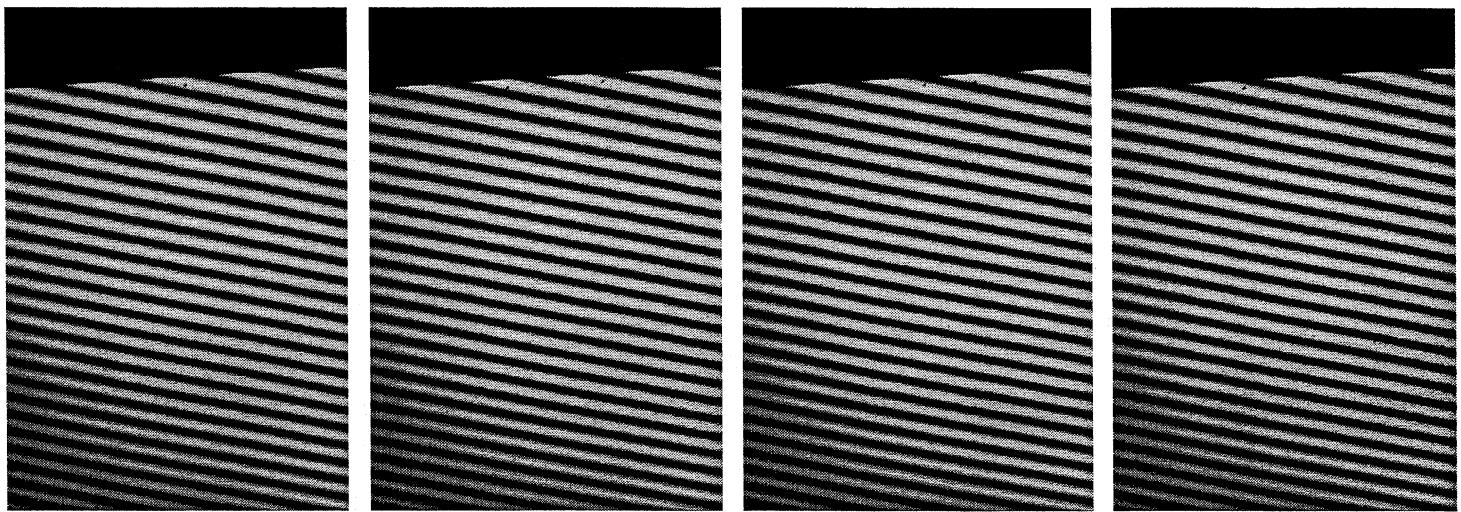


図 5-43 正弦波パターンをアルミ白板へと投射して撮影した画像列

また図 5-45 に、カメラキャリブレーションに用いた別のアルミ平板を示す。この白板上にはそれぞれ 1cm 角となるように印刷した赤と青のチェック状の模様が印刷されている。この格子点をエッジ検出などの画像処理により検出した後、文献 xvi) のカメラモデルに基づきキャリブレーションを行った。このときの格子点の残差自乗和は以下のようになつた。これにより奥行きとは垂直な画像平面に平行な成分においても誤差は十分小さいことがわかつた。

- 画像上において期待される格子点位置からのずれ：
  - ✧ 平均ずれ量 : 0.288887 [pixels]
  - ✧ 標準偏差 : 0.175087 [pixels]
  - ✧ 最大ずれ量 : 1.647431 [pixels]
- 3D 空間上において期待される格子点位置からのずれ
  - ✧ 平均ずれ量 : 0.142054 [mm]
  - ✧ 標準偏差 : 0.084586 [mm]
  - ✧ 最大ずれ量 : 0.656310 [mm]

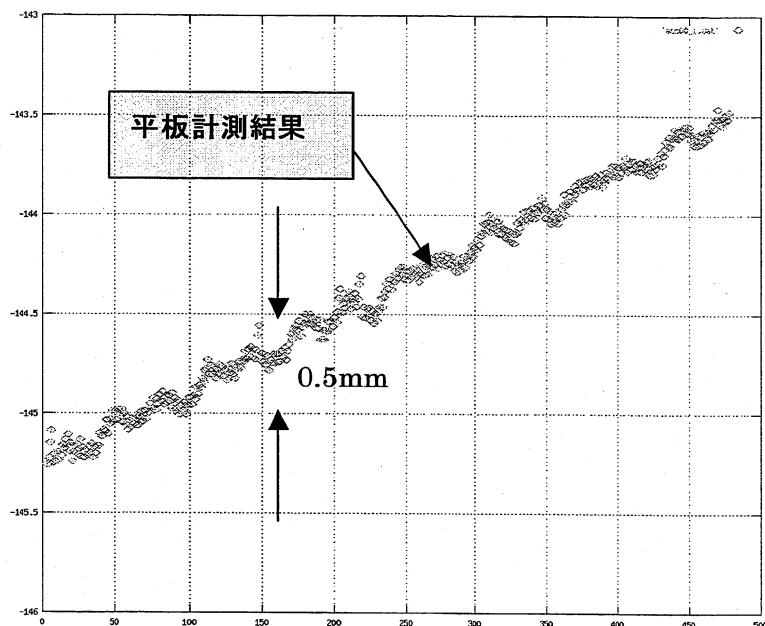


図 5-44 アルミ平板計測データのプロファイル  
横軸は奥行き画像の画素・縦軸は奥行き

図 5-46 に示した石膏像の全周を計測した結果を、図 5-47 と図 5-48 に示す。図 5-47 は石膏像の顔前面から計測データをほぼ 10mm ピッチで表示したものである。また図 5-48 は後頭部からほぼ 5mm ピッチにてワイヤーフレーム表示して示したものである。耳裏まで計測できていることがわかる。

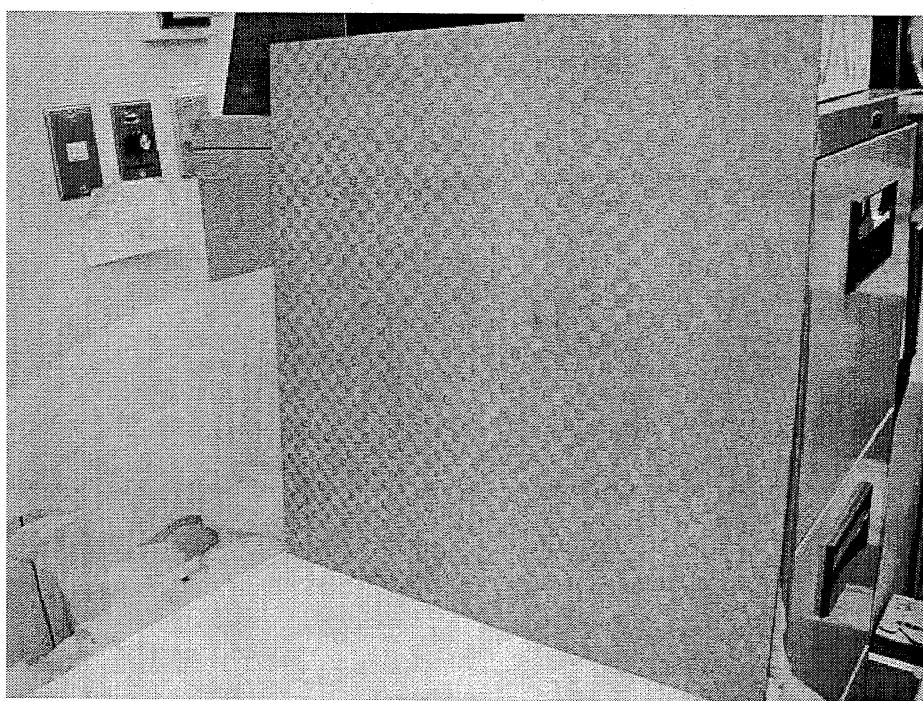


図 5-45 カメラキャリブレーション/評価のためのチェックボード状アルミ平板

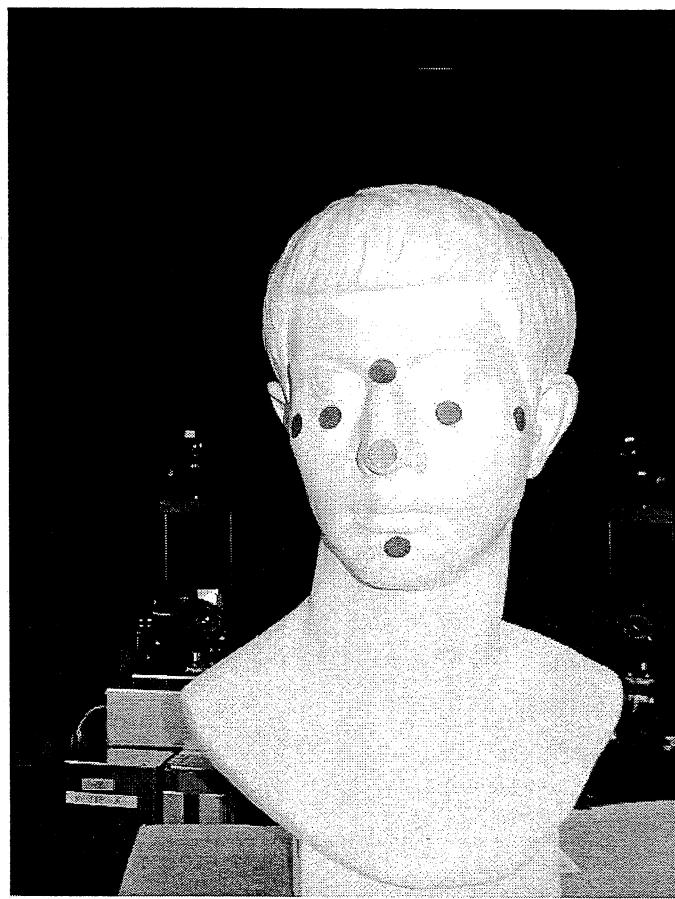


図 5-46 計測実験に利用した石膏像

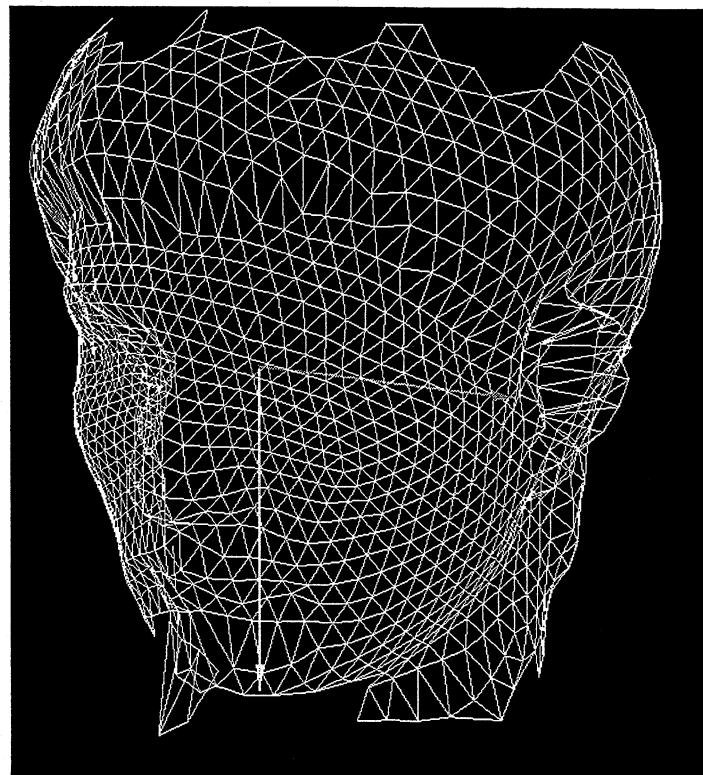


図 5-47 石膏像(図 5-46)の計測結果を正面方向から表示

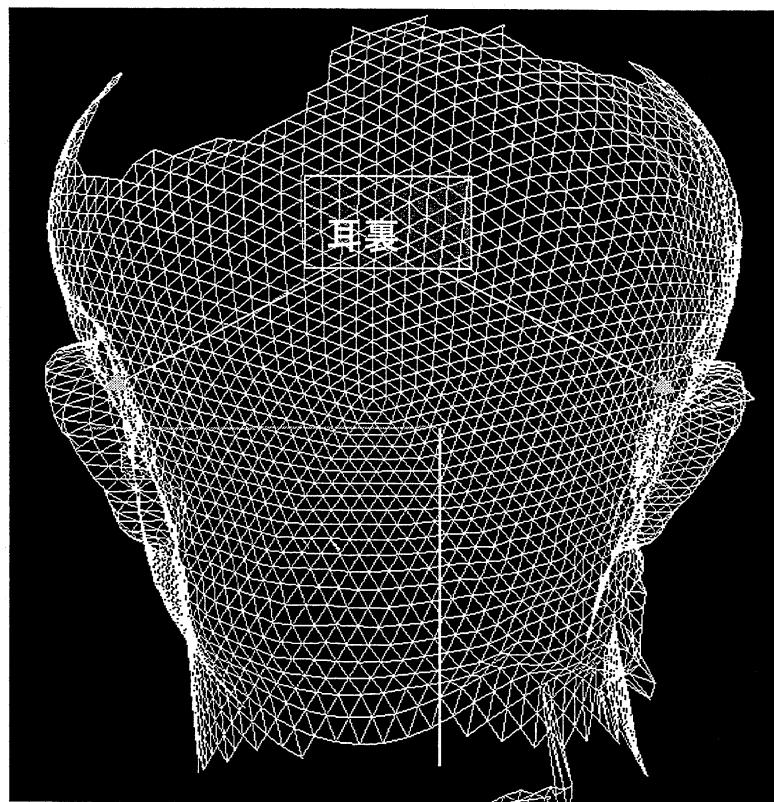


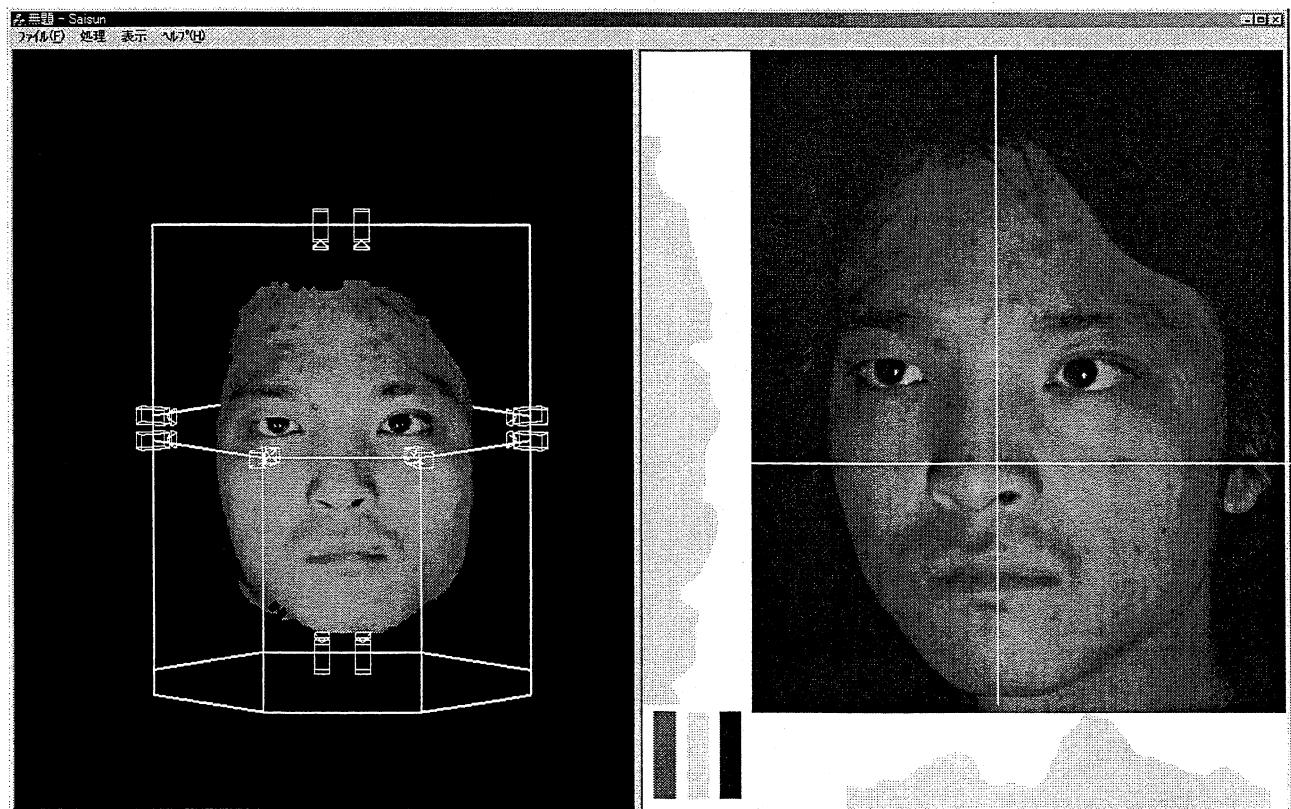
図 5-48 石膏像(図 5-46)の計測結果を後頭部方向から表示

## 5. 4 頭部全周形状採寸装置

計測した頭部全周の3D形状データから、あらかじめ定義してある人体計測の上で重要な部位を採寸する装置について説明する。本採寸装置はこれまで説明してきた高速高密度頭部全周計測装置を構成するパーソナルコンピュータと、100Mbpsのバンド幅を持つネットワークを介して接続されており、計測データを共有する。

### 5. 4. 1 採寸用3Dグラフィックスワークステーション

ハードウェアは3Dグラフィックスが非常に高速な3D GWS NEC製Express5800/55Wcである。3Dアクセラレータボードには同社製のTE4Eが搭載されている。このTE4Eにはジオメトリエンジンとして、超高速演算性能10.3Gflops、ピーク値1600万ポリゴン/秒、平均800万ポリゴン/秒の高速描画性能を実現するGA400を搭載している。頭を近似的に半径15cmの球面から構成されており1点/mm<sup>2</sup>の密度で計測点が存在した場合、ほぼ1400万ポリゴンから構成されることとなり、データの間引きをしなくとも0.5~1フレーム/秒の描画性能が期待できる。OSは安定性を重視しMicrosoft社Windows NT 4.0(SP6a)である。



左：3D形状と形状計測装置のワイヤーフレーム表示・右：奥行き画像表示

### 5. 4. 2 採寸ソフトウェア

本ソフトウェアでは、完全な自由視点からのビューにより採寸するのではなく、いくつかの視点を切り替えながら 2D 奥行き画像を操作させることにより、ペイントソフトウェアに似たユーザにとって親和性の高いインターフェースを備えながら、視点の異なる計測データを自由視点に近い操作により切り替えることで頭部の全周 3D 形状データを自然に扱えるよう工夫している。

操作画面を図 5-49 に示す。同図左は計測した頭部全周の計測データと、計測装置を擬似的に示すワイヤーフレームを重ねて表示している。この左画面中ではユーザはマウスにより自由に視点を変更することができる。同図右画面上ではこの視点変更操作に合わせ、ユーザに最も近い視点位置を持つカメラで計測した奥行き画像が表示される。右画面上にマウスを移動したとき、クロスヘアカーソルが表示されて奥行きやカラーのプロファイルがそれぞれ画像の左と下に表示され、採寸すべき部位が容易に判定できるよう工夫している。またマウスで操作した画素そのものに対応する 3 次元座標位置が指定した部位の位置そのものに対応するため、ソフトウェア開発上非常に工数を削減することが可能となる。

採寸ソフトウェアのメニューとその機能について表 5.2 にまとめる。計測ソフトウェアと同様操作は簡略にまとめてある。

メニュー項目	機能
開く	採寸の対象となるレンジデータをファイルから読み込む
保存（レンジデータ）	処理中のレンジデータを HQL 形式に変換して保存する
保存（採寸データ）	採寸の結果をファイルに保存する
アプリケーションの終了	採寸ソフトウェアを終了する
測定値クリア	それまでの採寸結果を全てクリアする
倍率変更	2D 表示ビューの画像の表示倍率を変更する
間引き間隔	3D 表示ビューの立体表示の間引き間隔を変更する
座標軸表示	3D 表示ビューの座標軸の表示、非表示を切り替える
表面処理の切り替え	3D 表示ビューの立体表示の表面処理の方法を切り替える
光源設定	3D 表示ビューの光源を切り替える
計測ヘッド表示	3D 表示ビューの計測ヘッド模式図の表示、非表示を切り替える
形状計測データ切り替え	表示するレンジデータの計測種別 <sup>1</sup> を切り替える
バージョン情報	バージョン情報を表示する

表 5.2 採寸ソフトウェアのメニューとその機能

<sup>1</sup> 計測種別には頭部全体計測、頭頂点計測、後頭点計測がある

地点名称	定義	計測手法
オトガイ点	頭部を耳眼水平面に保ったときの頬先（下顎正中、オトガイ）	シールによるマーキング
頬骨弓点（左右）	頬骨弓のうち最も外側にある点	シールによるマーキング
瞳孔（左右）	瞳の中心部	ピッキング
内眼角点（左右）	目を開いた状態で上眼瞼と下眼瞼とが目頭のところで移行するところ	ピッキング
頭頂点	頭部を耳眼水平面に保ったとき、頭頂部の中心（正中矢状面9で最も上方にある頭頂部の点）	3D位置指示器による計測
下顎角点（左右）	下顎角にあって最も下方で、最も後方で、最も外側にある点	シールによるマーキング
眉間点	左右の眉毛の中間、顔の中心線（前正中矢状面）上で最も前方に突出している点	シールによるマーキング
鼻尖点	頭部を耳眼水平面に保ったときの、鼻先の最も前方に突出している点	シールによるマーキング
鼻下点	正中線上で鼻中隔前縁の下端が上唇に移行する点	ピッキング
口裂点	正中線上で上唇とした唇の接する点	ピッキング
後頭点	後頭部の中心線（後正中矢状面）上で眉間点から最も遠い点	3D位置指示器による計測
耳珠点（左右）	耳珠軟骨の上縁に接し耳眼水平面に平行な線と、耳珠軟骨の前縁に接する線が直角に交わる点	インクによるマーキング
セリオン	鼻根部の正中線上で最も窪んだ点	シールによるマーキング
眼窩下縁点（左右）	眼窩のもっとも下方に位置する点	シールによるマーキング

表 5.3 計測部位リストと部位計測のための指定方法

表 5.3 は、本採寸ソフトウェアにて計測すべき部位を示したものである。形状や、計測時に同時に得られるテクスチャにより目視判別が可能な部位についてはマウスで直接指示する（ピッキング）。触診などにより確認が必要な部位についてはあらかじめシールを貼り付けておき、簡単な画像処理で抽出して指定する。頭頂点と後頭点については通常髪に隠れているために、3D位置指示器により指示しての計測となる。

採寸ソフトウェアでは、計測装置で定義された座標系から、いくつかの部位により顔を中心とした座標系へと変換する。新たに定義される座標系を表 5.4 に示す。

計測する部位は図 5-50 で示したダイアログで一括表示され、計測する毎に該当する座標

値が表示・更新される。計測しようとしている部位については、図 5-51 で示したダイアログによりその定義と図が例示されるよう工夫されており、各部位について熟知している作業者でなくとも採寸が可能である。



図 5-50 計測部位とその座標値・寸法表示ダイアログ

基準	定義
耳眼水平面	左右の耳珠点と左の眼窩下縁点で決定する平面
正中矢状面	セリオンと左右の耳珠点の中点を結ぶベクトルを含み、耳眼水平面に直交する平面
原点	左右の耳珠点の中点
x 軸	原点からセリオンに延びるベクトルを耳眼水平面に投影し、長さを正規化した単位ベクトルで決定する
y 軸	耳眼水平面内で X 軸に直交する 2 つの単位ベクトルのうち、原点から左耳珠点へ向かうベクトルとの内積が大きな単位ベクトルで決定する
z 軸	X 軸方向の単位ベクトルと Y 軸方向の単位ベクトルの外積によって得られる、耳眼水平面に垂直で鉛直上方に向かう単位ベクトルで決定する

表 5.4 採寸部位の座標系

最終的に採寸する特徴を表 5.5 に示す。これら特徴は表 5.3 で計測する部位から定義されおり、部位計測に応じて計算可能となった時点で採寸値が表示・更新されてゆく。また、同様な手法を用いて手掌部に関しても採寸ソフトウェアの開発を実施した。

部位名称	計測方法
全頭高	頭頂点からオトガイ点までの z 軸への投影距離
頭耳高（左右）	頭頂点から耳珠点までの z 軸への投影距離
頭頂・瞳孔高（左右）	頭頂点から瞳孔中心までの z 軸への投影距離
頭頂・口裂高	頭頂点から口裂点までの z 軸への投影距離
眉間・オトガイ高	眉間点からオトガイ点までの z 軸への投影距離
顔高	セリオンからオトガイ点までの直線距離
目・オトガイ高	瞳孔中心からオトガイ点までの z 軸への投影距離
口裂・オトガイ高	口裂点からオトガイ点までの z 軸への投影距離
頭長	眉間点から後頭点までの直線距離
頭頂・鼻尖距離	頭頂点から鼻尖点までの直線距離
後頭・鼻尖距離	後頭点から鼻尖点までの直線距離
鼻深	鼻下点から鼻尖点までの直線距離
耳珠間幅	左右の耳珠点の間の直線距離
下頸角幅	左右の下頸角点の間の直線距離
瞳孔間距離	左右の瞳孔の間の直線距離
内眼角幅	左右の内眼角点の間の直線距離
頭矢状弧長	眉間点と頭頂点、後頭点の 3 点を含む平面が、頭部計測データで張られるポリゴン群と交わるとき、眉間点と後頭点を端点とする線分群のうち、頭頂点を通過する線分の長さ
耳珠間頭頂弧長	左右の耳珠点を含み耳眼水平面に対して手動で適当に与えた角度で交わる平面が、頭部計測データで張られるポリゴン群と交わるとき、交線を左右の耳珠点を端点とした線分群に分割し、線分の Y 値の線積分値が最も小さな線分の長さ

表 5.5 採寸部位リスト

## 5. 5 最後に

以上、本事業にて開発した高速高密度頭部全周計測・採寸システムについてその詳細を述べてきた。事業開始当初においてはかなり高い目標であると思われた、計測時間、計測精度などを十分満たす計測装置と、実際に必要な部位を採寸するソフトウェアを開発することができたと考えている。



図 5-51 計測部位説明ダイアログ

## 5. 6 参考文献

- i) '立体を写し撮る,' 日経コンピュータグラフィックス, No.8, pp.46-65, (1999).
- ii) 赤松 茂, 'コンピュータによる顔の認識 …サーベイ…,' 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2031-2046 (1997).
- iii) 長谷川 修, 森島 繁生, 金子 正秀, 「顔」の情報処理, 信学会論文誌, Vol.J80-D-II, No.8, pp.2047-2065 (1997).
- iv) 井口 征士, 佐藤 宏介, '三次元画像計測,' 昭晃堂 (1990).
- v) 服部 敦幸, 佐藤 幸男, '高速顔計測装置の試作,' 第 4 回画像センシングシンポジウム講演論文集, pp.15-20 (1998).
- vi) 田島 讓二, 岩川 正人, 'Rainbow Range Finder による距離画像取得,' 信学会論文誌 D-II, Vol. J73-D-II, No.3, pp.374-382, (1990).
- vii) M. Halioua and H. C. Liu, 'Optical Three-dimensional Sensing by Phase Measuring Profilometry,' Optics and Lasers in Engineering, Vol.11, pp.185-215 (1989).
- viii) T. R. Judge and P. J. Bryanston-Cross, 'A Review of Phase Unwrapping Techniques in Fringe Analysis,' Optics and Lasers in Engineering, Vol.21,

pp.199-239, (1994).

- ix) 石山 墓, 坂本 静生, 童 衛青, 北野 昌秀, 田島 譲二, '顔用レンジファインダ', 信学技報, Vol.99, No.118, PRMU 99-24, pp.35-42 (1999).
- x) 千葉 則茂・村岡 一信・小沢 一文・海野 啓明, 'C アルゴリズム全科', 啓学出版 (1992).
- xi) 青木 則夫, 谷内田 正彦, 辻 三郎, 'パターン投影法と 2 台のカメラを用いた 3 次元物体の計測', 信学会論文誌, Vol.68-D, No.3, pp.384-391 (1985).
- xii) <http://www.nec-eng.co.jp/cm/finder/index.htm> 参照.
- xiii) <http://www.matrox.com/imaging/prod/meteor2/home.htm> 参照.
- xiv) Berthold K. P. Horn, 'Extended Gaussian Images,' Proceedings of the IEEE, Vol.72, No.12, pp.1671-1686 (1984).
- xv) 一松 信, 'いろいろな幾何,' 岩波講座 応用数学 6 [基礎 10], 岩波書店, 東京, pp.39-43 (1993).
- xvi) R. Y. Tsai, 'A Versatile Camera Calibration Technique for High-accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-shelf TV Cameras and Lenses,' IEEE Journal on Robotics and Automation, Vol.RA-3, pp.323-344 (1987).

## 6. 人体用スライディングスケールの開発

### 6. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様

#### 6. 1. 1 人体用スライディングスケールの開発

現在の技術では、非接触型の人体計測器による計測のみでは、十分なデータを得ることは不可能であり、従来の手計測に頼らざる得ない項目もある。そのため、被験者の拘束時間が長時間化し多くの負担を与えることになる。この被験者への負担を軽減するために、立位及び座位時の主に高径や幅径に関する寸法データを直接計測によって取得し、計測データをパソコンに取り込むシステムを開発する。

#### 6. 1. 2 スライディングスケール

##### (1) 概要

スライディングスケールは、人体計測における高さ、幅、長さと言った計測部位の内、非接触人体計測器では計測できない部位、体幹を触診しなければ正確な計測が出来ない部位や、適当な圧力をかけて計る必要がある部位を計測する事を目的とする。

本システムは、スライディングアームに取り付けられた計測ヘッドを、計測部位に接触させて、計測するもので、身長・座位計測、診腕計測、脚長計測等の各部位計測機構部と、計測者に対して計測手順や指示を行い、計測されたデータの処理を行う制御部から構成される。

測定者に対しては測定順序を間違ったりデータを記録することなく、ディスプレイに表示された測定部位の順序にしたがって計測する事が出来る。

測定時は、測定確定ボタンを押す事により、その部位の測定結果が表示され、計測結果を制御部のパソコンに収録する。

以下にスライディングスケールを用いて計測できる測定可能部位の項目について示す。

(2) 計測部位一覧

j a p a n e s e   b o d y   s i z e   d a t a   1 9 9 2 - 1 9 9 4

計測部位と計測方法 178箇所の測定部位と定義。

以上の計測点178箇所の内、69箇所とその他2箇所、計71箇所の計測を行います。

HQL No.	項目名	定義
26	身長	床面から頭頂点までの垂直距離
27	眼高	床面から瞳孔までの垂直距離
28	耳珠高	床面から耳珠点までの垂直距離
29	オトガイ高	床面からオトガイ点までの垂直距離
30	頸椎高	床面から頸椎点までの垂直距離
31	頸側点高	床面から頸側点までの垂直距離
32	肩峰高	床面から肩峰点までの垂直距離
33	乳頭高	床面から乳頭点までの垂直距離
34	腋窩高	床面から(前あるいは後)腋力点までの垂直距離
35	前ウエスト高	床面から前ウエスト点までの垂直距離
36	後ウエスト高	床面から後ウエスト点までの垂直距離
37	頬高	床面からサイ点までの垂直距離
42	肩幅	両上肢を自然に下垂したときの、左右の上肢の水平最大幅
45	最外体幅	両上肢を自然に下垂したときの、身体の水平最大幅
46	胸部横径	胸骨中点の高さで、胸部の左右の最外側点の間の水平距離
47	前腋窩高	左右の前腋窩点の間の水平距離
50	ウエスト幅	ウエストラインの高さで、左右体側の間の水平距離
51	ヒップ幅	臀部の左右の最外側突出部の間の水平距離
53	胸部前後最大距離	胸部の最前突部から背中の最後突部までの水平距離
54	腹部厚径	腹部の最前突部から体幹後縁までの水平距離

73	座位上肢拳上指 尖高	左右の手掌が向かい合わせになるように両上肢をまっすぐ上に伸ばした姿勢での、座面から指尖点までの垂直距離
74	座高	座面から頭頂点までの垂直距離
75	座位後頭高	座面から後頭点までの垂直距離
76	座位頸椎高	座面から頸椎点までの垂直距離
77	座位肩峰高	座面から肩峰点までの垂直距離
78	座位眼高	座面から瞳孔までの垂直距離
79	座位オトガイ高	座面からオトガイ点までの垂直距離[座高(74)-全頭高(2)]
80	座位ウエスト高	座面からウエストラインまでの垂直距離
81	座位肘頭下縁高	上腕を下垂し、手掌を内側にして前腕を水平前方に曲げた姿勢で、座面から肘頭下縁までの垂直距離
82	座位大腿中央高	膝と足首の関節が約90度になるように座面高を調節したときの、床面から大腿中央までの垂直距離[座面高(83)-座位大腿厚(84)]
83	座面高	膝と足首の関節が約90度になるように座面高を調節したときの、床面から座面までの垂直距離
84	座位大腿厚	膝と足首の関節が約90度になるように座面高を調節したときの、座面から左大腿の最上縁までの垂直距離
85	座位臀・膝距離	臀部後縁から膝蓋骨前面までの水平距離
86	座位臀・膝窩距 離	臀部後縁から膝窩縁までの水平距離
87	座位臀・ふくらは ぎ距離	臀部後縁から下腿の最膨隆部後縁までの水平距離
88	座位臀・足底距 離	座位で下肢ができるだけ水平前方に伸ばし、足関節をほぼ直角にしたときの、臀部後縁から踵部底面までの水平距離
89	座位臀幅	臀部の左右最外部の間の水平距離
90	座位腹部厚径(上 肢拳上)	両上肢を頭の上の方に伸ばした姿勢で、腹部最前突部から要部後縁までの水平距離(奥行き)
91	座位腹部厚径(前 腕水平)	上腕を下垂し、前腕を水平前方に曲げた姿勢で、腹部最前突点から要部後縁までの水平距離(奥行き)
93	指極	両上肢を自然に左右に水平に伸ばしたときの、左右の指尖点間の直線距離
94	上肢拳上指尖高	両上肢を手掌が向き合うように拳上したときの、床面から指尖点までの垂直距離[身長(26)+(座位上肢拳上指尖高(73)-座高(74))]

95 高	上肢拳上指節点	両上肢を手掌が向き合うように拳上したときの、床面から指節点までの垂直距離[上肢拳上指尖高(94)-(指節点高(99)-指尖高(100))]
96	橈骨点高	床面から橈骨点までの垂直距離
97 肘頭下縁高		上腕を下垂し、手掌を内側にして前腕を水平前方に曲げた姿勢で、床面から肘頭下縁までの垂直距離
98	トウ骨茎突高	床面からトウ骨茎突点までの垂直距離
99	指節点高	床面から指節点までの垂直距離
100 指尖高		床面から指尖点までの垂直距離
104 距離	肩峰・肘頭下縁	上腕を自然に下垂し、手掌を内側に向けて前腕を水平に曲げたときの、肩峰点から肘頭下縁までの垂直距離[座位肩峰高(77)-一座位肘頭下縁高(81)]
105	背・肩峰距離	背面の最突出部肩峰点の間の水平距離
106	背・指節点距離	両上肢を前方に手掌が向き合うように水平に伸ばしたときの、背中の最突出部から指節点までの水平距離[背・指尖距離(107)-(指節点高(99)-指尖高(100))]
107	背・指尖距離	両上肢を前方に手掌が向き合うように水平に伸ばしたときの、背中の最突出部から指尖点までの水平距離
108	肘・指節点距離	上腕を自然に下垂し、手掌を内側に向けて前腕を水平に曲げたときの、肘頭後縁から指節点までの水平距離
109	肘・指尖距離	上腕を自然に下垂し、手掌を内側に向けて前腕を水平に曲げたときの、肘頭後縁から指尖点までの水平距離
110	腕付け根の厚さ	前腋窩点と後腋窩点の間の水平距離
155	腸骨稜高	床面から腸骨稜点までの垂直距離
156	腸骨棘高	床面から腸骨棘までの垂直距離
157	臀溝高	床面から臀溝までの垂直距離
158	股下高	大腿内側の皮膚と股の最上位に接するようにセルロイド板を水平にはさみ、床面からそのセルロイド板上縁までの垂直距離
159	膝蓋骨中央高	床面から膝蓋骨中央点までの垂直距離
160	脛骨上縁高	床面から脛骨点までの垂直距離
161	下腿最大囲高	床面から下腿最大囲の高さまでの垂直距離
162	下腿最小囲高	床面から足首点までの垂直距離
163	内果端高	床面から内果点までの垂直距離

164	外果端高	床面から外果点までの垂直距離
165	大腿長	転子点から脛骨点までの垂直距離[(腸骨棘高(156)-脛骨上縁高(160))×0.93]
166	下腿長	脛骨点から内果点までの垂直距離[脛骨上縁高(160)-内果端高(163)]
167	臀部厚径	臀部突出点から体幹前縁までの水平距離
168	膝厚径	膝の最前突部から膝後縁(膝窩)までの水平距離
173	ボール高	床面から足の第1指の付け根の関節(第1中足指節関節)上面までの垂直距離

(3) 計測部位図 Figures of measured items

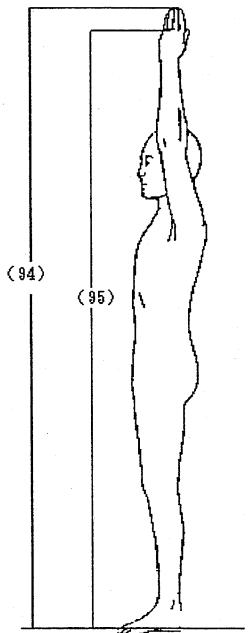


図4

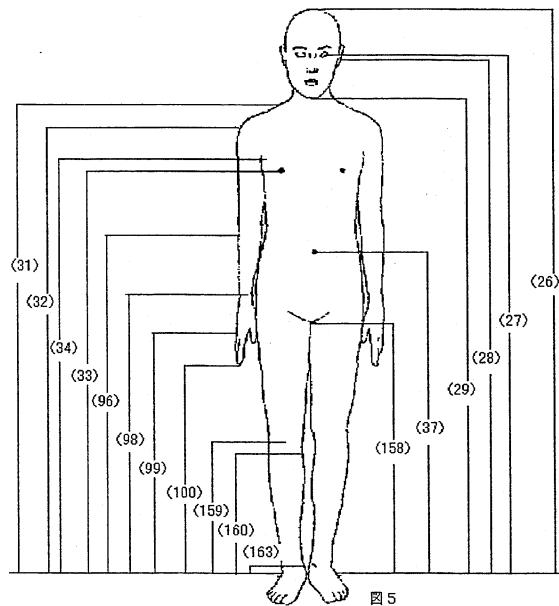


図5

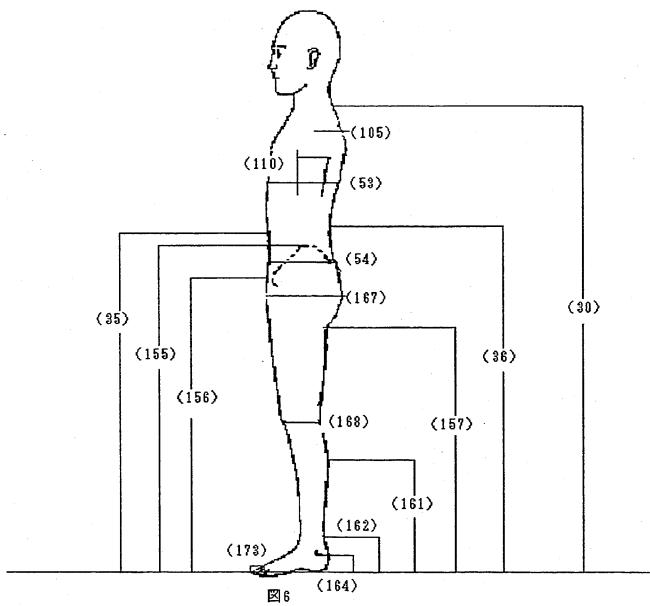


図6

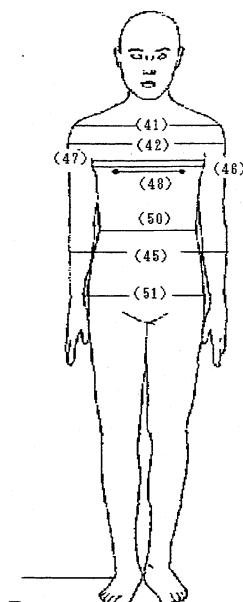


図7

(98)

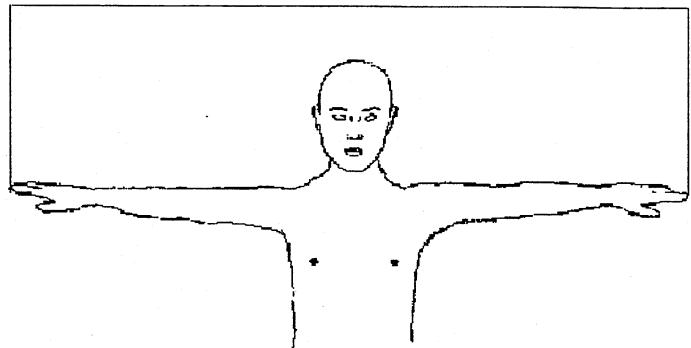


図10

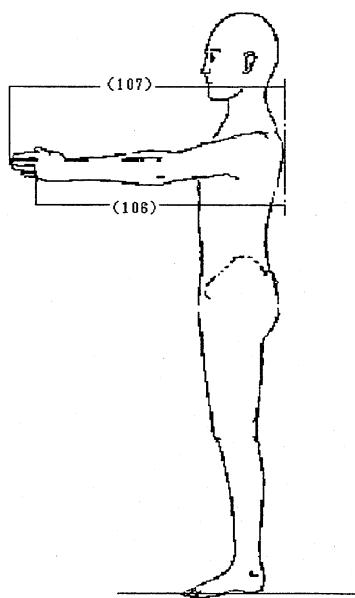


図18

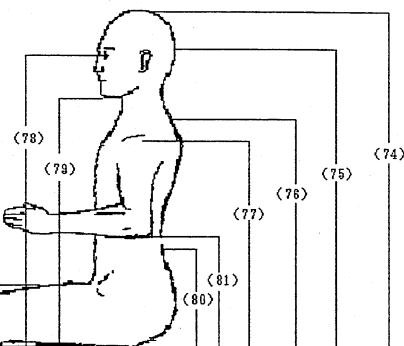


図20

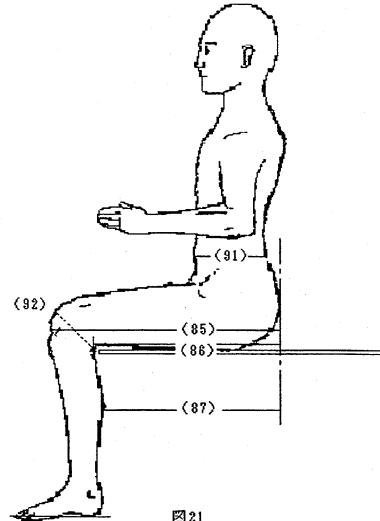


図21

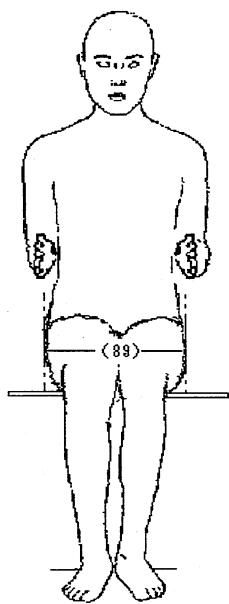


図23

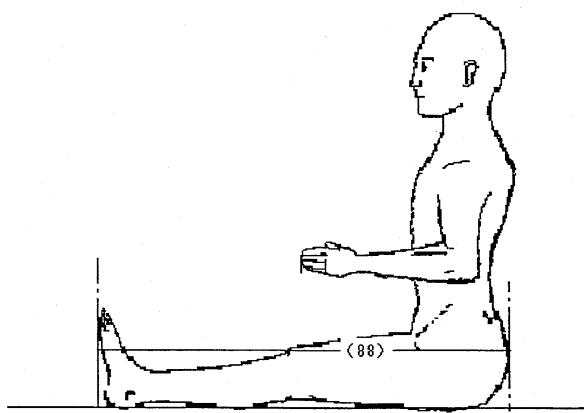


図24

## 6. 2 開発検討経緯

### 6. 2. 1 システム構成

スライディングスケールの機器構成は各部位計測を行う計測機構部と、計測者に対して計測手順や指示を行い、計測されたデータの処理を行う制御部から構成される。

そのシステム構成について、案 1) スライドアーム、多関節回転アーム複合機による計測システム、案 2) X 軸（水平軸方向）、Z 軸（垂直軸方向）の 2 台のスライドアームを用いた計測システム、案 3) X 軸（水平軸方向）、Z 軸（垂直軸方向）の 2 台のスライドスケールにレーザーラインマーキングヘッドを用いた計測システムの 3 案の提案を行いました。

上記 3 案の検討の結果、操作性、非接触型計測器の検証用といった必要項目を重視し、以下の 3 つのスライディングスケール付バー及びアーム（以下スライディングスケール）を組み合わせた方式と致しました。

このスライディングスケールの基本構造と致しましては、高さ（Z 軸）方向を計測する昇降スライディングバー、昇降スライディングバーに取り付けられた幅（X 軸）方向を計測する左右計測スライディングアーム、そのスライディングアームに取り付けられた奥行き（Y 軸）方向を計測する前後スライディングアームの 3 つスライダーにより構成されております。

スライディングスケールの基本構造等に関しましては、添付の機構図を参考にして下さい。

## 6. 3 最終仕様

### 6. 3. 1 システムの概要

本システムは、スライディングスケールの機器構成は、各部位を行う計測機構部と、計測者に対して計測手順や指示を行い、計測されたデータの処理を行う制御部から構成されている。

・計測機構部は、高さ（Z軸）方向を計測する昇降スライディングバー、昇降スライディングバーに取り付けられた幅（X軸）方向を計測する左右計測スライディングアーム、そのスライディングアームに取り付けられた奥行き（Y軸）方向を計測する前後スライディングアームの3つのスライダーと、測定点を示す計測ヘッドから構成せられております。

・制御部は、計測機構部の各センサとのインターフェイス機能、各スライダーのセンサより送られて来るパルス信号より計測ポイントの位置データに変換する演算機能、計測手順や計測個所の指示を表示し計測者へのサポートを行うマンマシンインターフェイス機能、計測結果データの収集及びファイル化を行う収録機能等を、パーソナルコンピューターと各種構成装置により実現致します。

### 6. 3. 2 概要システム構成図

#### ノートパソコン本体

X軸カウンターボード 左右スライディングアーム・パルスエンコーダー

Y軸カウンターボード 前後スライディングアーム・パルスエンコーダー

Z軸カウンターボード 昇降スライディングアーム・パルスエンコーダー

DIO（デジタル入出力ボード）

測定確定用押しボタンスイッチ

ブレーキ用押しボタンスイッチ

Z軸昇降用パルス発生器

スライディングスケール機構部

### 6. 3. 3 ハード構成（制御部）

- ①ノートピューター本体
- ②増設 RAM 64MG
- ③バードディスク 6GB
- ④割り込み入力付きデジタル入出力インターフェイス
- ⑤X軸 (左右スライディングアーム軸)・パルスカウンターボード
- ⑥Y軸 (前後スライディングアーム軸)・パルスカウンターボード
- ⑦Z軸 昇降スライディングバー・パルスカウンターボード
- ⑧測定確定用押しボタンスイッチ
- ⑨ブレーキ用押しボタンスイッチ
- ⑩Z軸昇降用パルス発生器

### 6. 3. 4 装置機構（計測部）

- ①機構方式——スライディングバー、スライドアーム複合方式
- ②計測方式——回転パルスカウンター方式
- ③機構——
  - X軸 リニアスライディングガイド
  - Y軸 リニアスライディングガイド
  - Z軸 平行バランス付きリニアスライディングガイド
- ④計測アーム——
  - X軸 ワイヤー式パルスエンコーダー
  - Y軸 ワイヤー式パルスエンコーダー
  - Z軸 ワイヤー式パルスエンコーダー
- ⑤計測ヘッド——計測パッド、計測バー
- ⑥原点位置確認——キャリブレーションポイントにてゼロリセット操作

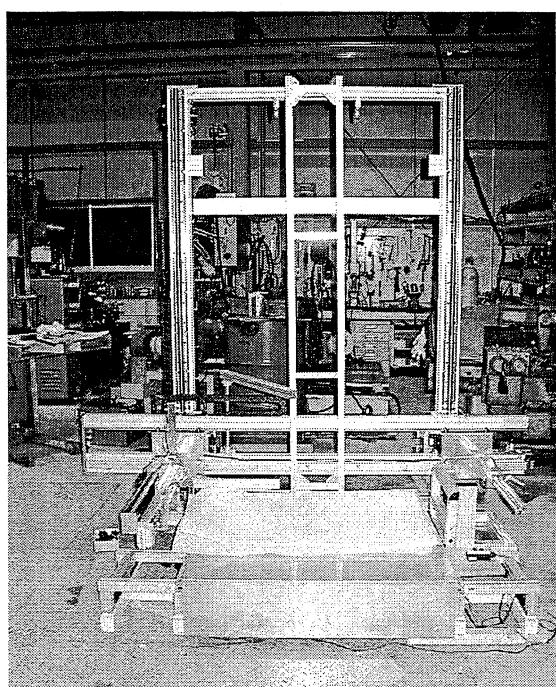
### 6. 3. 5 操作方法

#### (1) X、Y、Z軸計測部

X軸は左右のアームを持ち手動で動作させます。

Y軸も同様です。

Z軸に関しては右のパルス発生器を使用して上下させます。



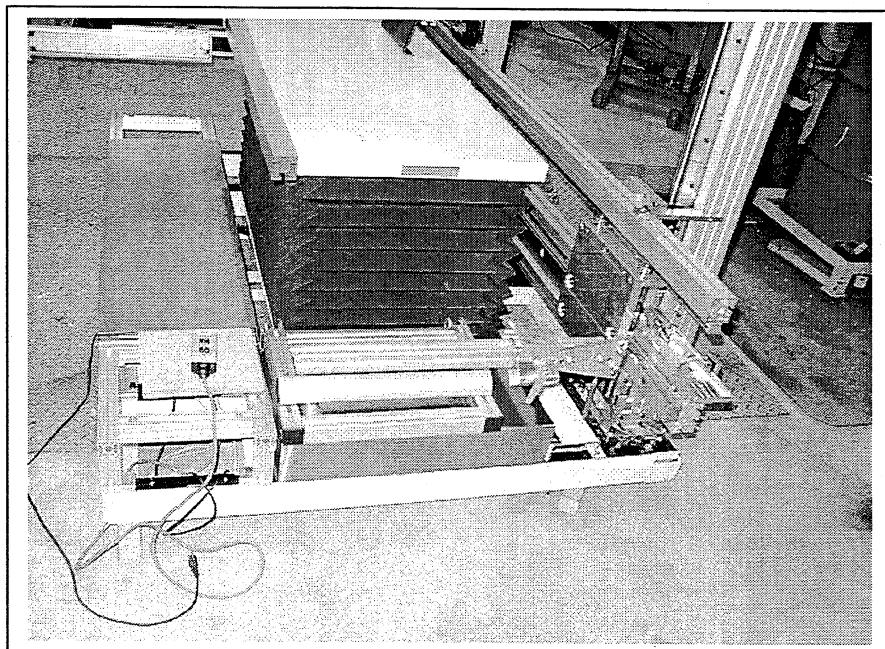
スライディングスケール全体図



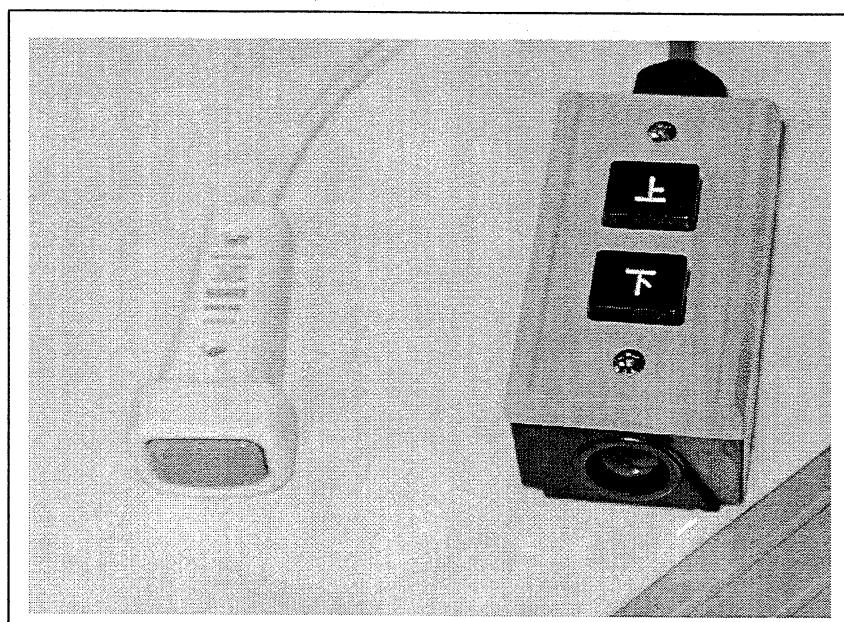
パルス発生器図

(2) 底面部

底面部昇降スイッチにより上下させます。

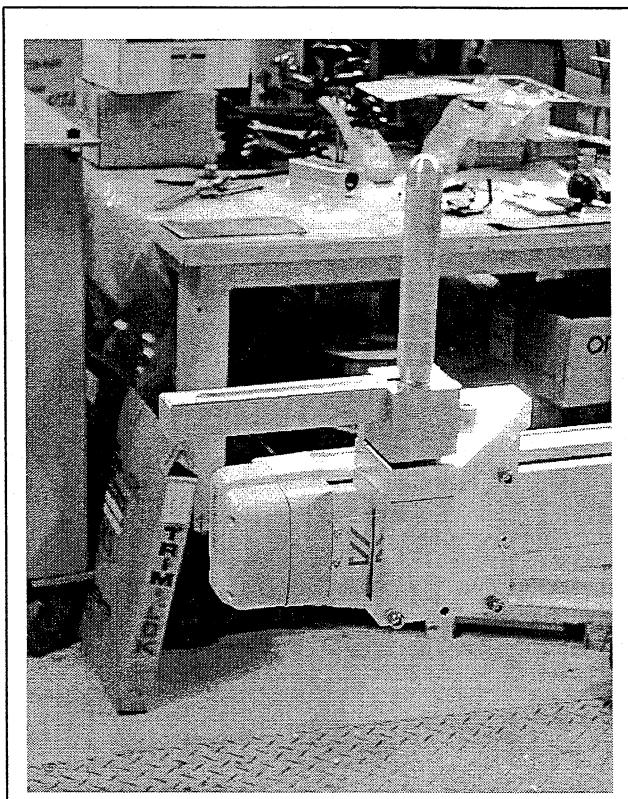


底面部



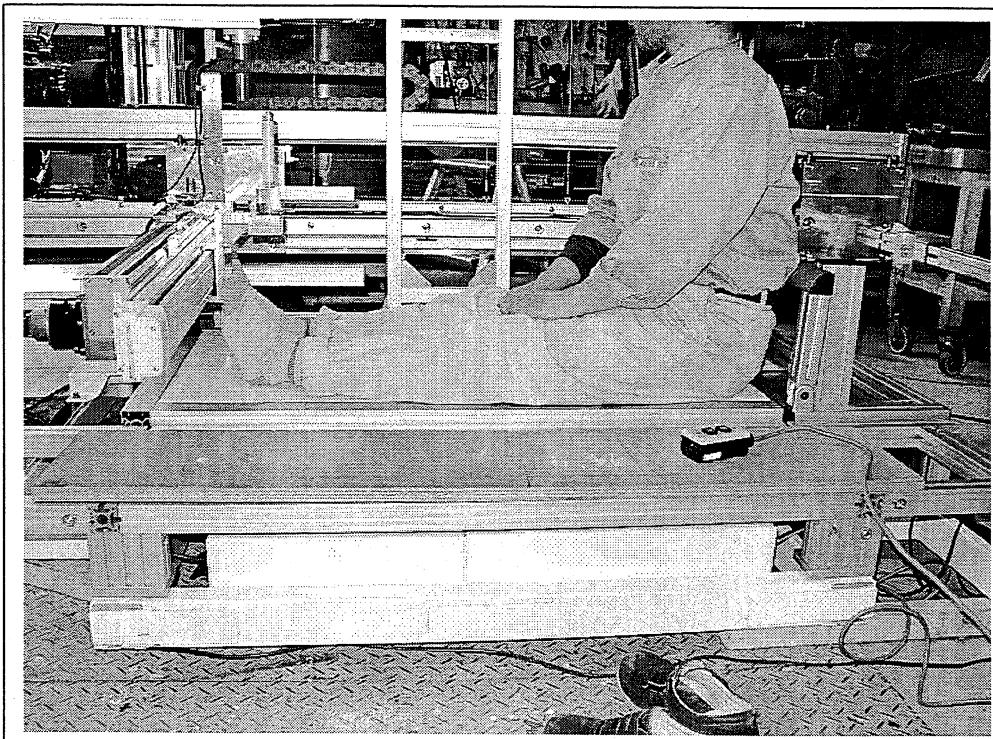
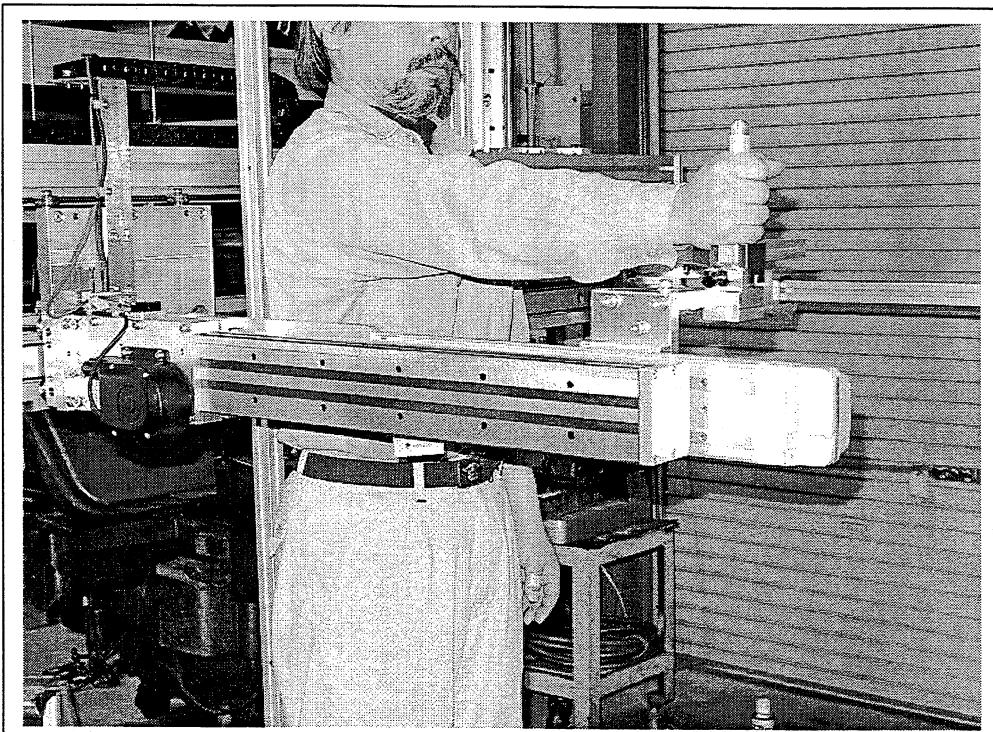
左：計測確定スイッチ、右：底面部昇降スイッチ

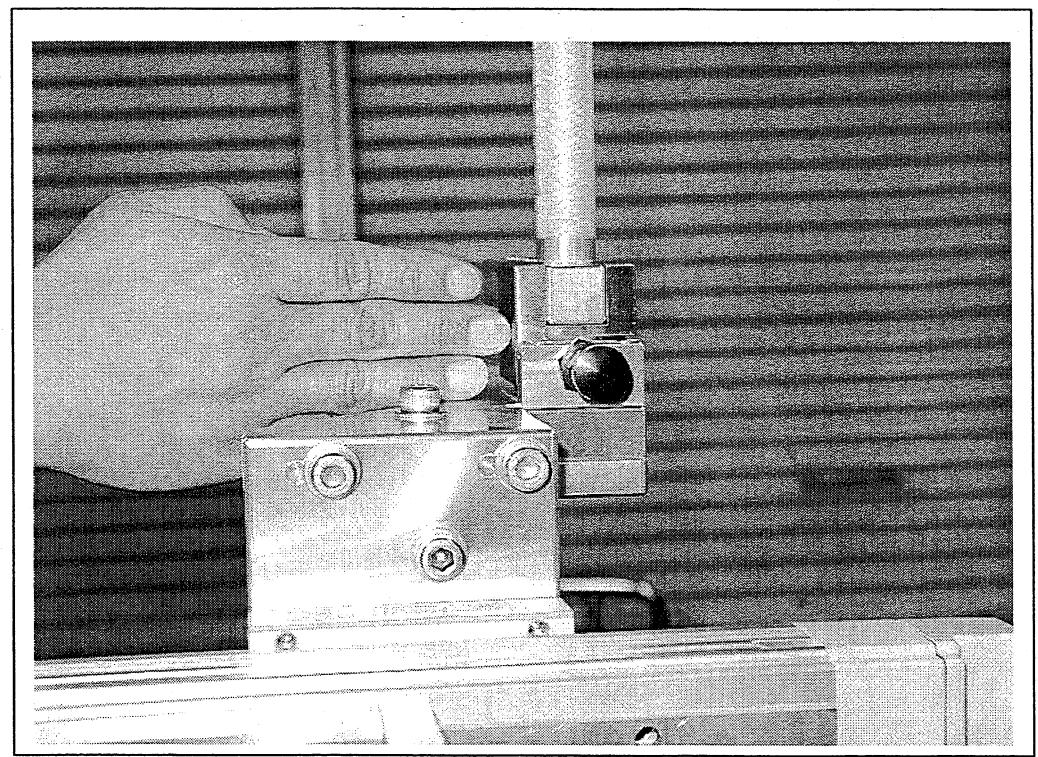
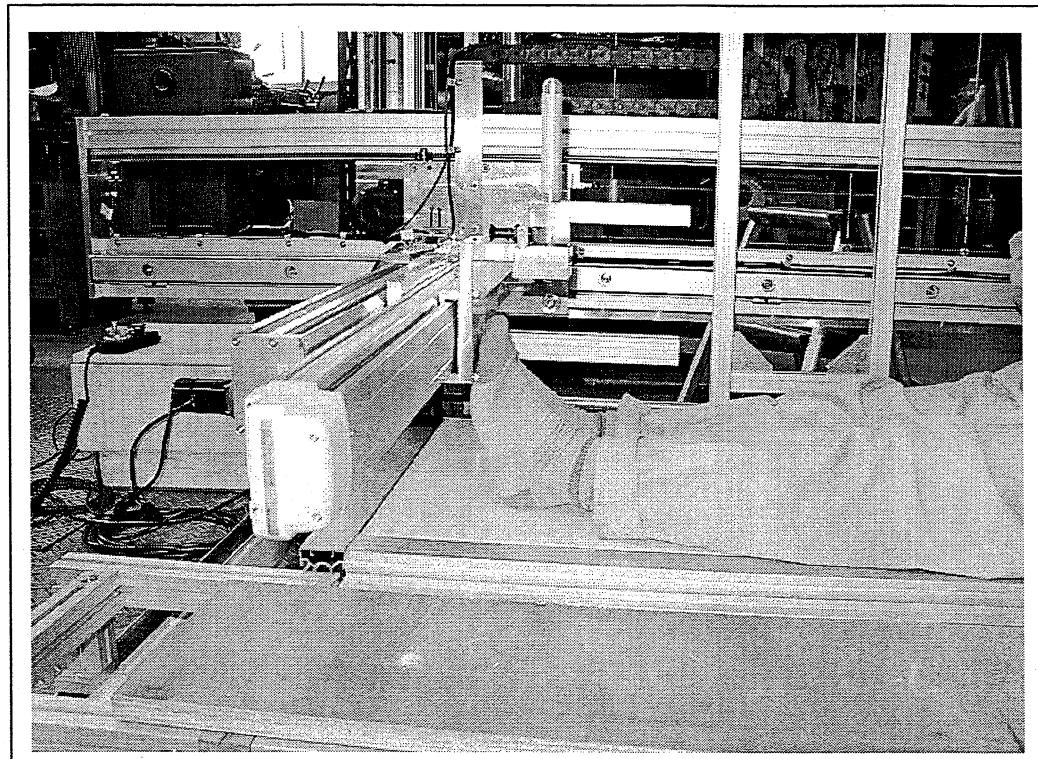
(3) 計測ヘッド部  
さまざまな用途において使用します。



計測ヘッド部

(4) 計測イメージ





### 6. 3. 6 計測方法

#### (1) メインモニタ画面

個人情報

ID: 012345

名前: HQL

性別: 男

備考:

計測内容

名称: 身長

備考: 床面から頭頂点までの垂直距離

計測値: 0mm 開始 終了

メッセージ

No.	項目名	計測値
26	身長	0 mm
27	眼高	0 mm
28	耳珠高	0 mm
29	オトガイ高	0 mm
30	頸椎高	0 mm
31	頸側点高	0 mm
32	肩峰高	0 mm
33	乳頭高	0 mm
34	腋窩高	0 mm
35	前エラスト高	0 mm

#### [目的]

[メニュー] - [システム] - [メインモニタ]をクリックすることによりこの画面を表示します。計測する場合、表示する画面です。

#### [機能]

図部分 - 計測する部位のイメージを表示します。

リスト部分 - 今回計測する部位の一覧を表示します。計測完了した部位のデータに関しては青色表示されます。マウスでクリックすることにより計測済みの項目も再度計測可能です。

個人情報 - 計測される個人のデータを入力します。

ID - 割り振られたID番号を入力します。

名前 - 名前を入力します。

性別 - 性別を選択します。

備考 - 備考を入力します。

計測内容 – 計測を行う部位の情報を表示します。

名称 – 計測を行う部位の名称を表示します。

備考 – 計測を行う部位の詳細を表示します。

計測値 – 測定した結果を表示します。

#### [測定の流れ]

測定する場合の作業の流れについて記載します。

1.保存先の設定画面で測定結果の保存先ファイルを指定する。(前回保存したファイルと同様の場合設定する必要なし。)

↓

2.計測測定画面で今回計測するデータを選択する。(前回と同様の計測データの場合指定する必要なし。)

↓

3.各軸の原点だし確認 (パソコン電源投入時のみ)

↓

4.個人情報の入力

↓

5.開始ボタン押下

↓

6.計測内容の背景色が黄色に。

↓

7.メッセージ欄に”計測ボタンを押下してください。”を表示

↓

8.計測ボタン押下

↓

9.計測値表示。背景色が水色に。

↓

10.メッセージ欄に”確定ボタンを押下してください。”を表示

↓

11.確定ボタン押下

↓

12.計測値クリア。背景色を白色に。

↓

13.リストの計測した項目を黄色に。



14.リストを次の項目に。

選択されているリストの内容を計測内容に表示。



15.メッセージ欄に”計測ボタンを押下してください。”を表示



:(以下7～14を繰り返す)



17.全計測完了、又は途中終了。



18.終了ボタン押下。



19.自動的に保存先設定で指定したファイルの付け足して保存



19.次の測定される方の個人情報入力(4.個人情報入力と同様)。

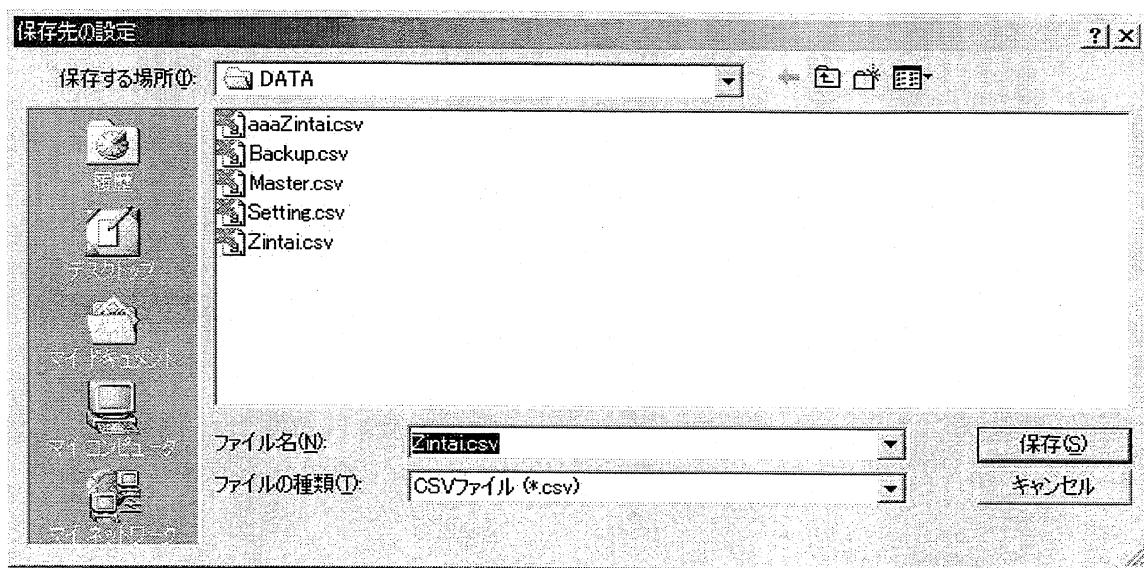


:(以下4～19を繰り返す)



20.終了

## (2) 保存先の設定画面



### [目的]

[メニュー] – [設定] – [保存先設定]をクリックすることによりこの画面を表示します。保存先のファイルを指定します。ネットワークドライブに保存することも可能です。

### [機能]

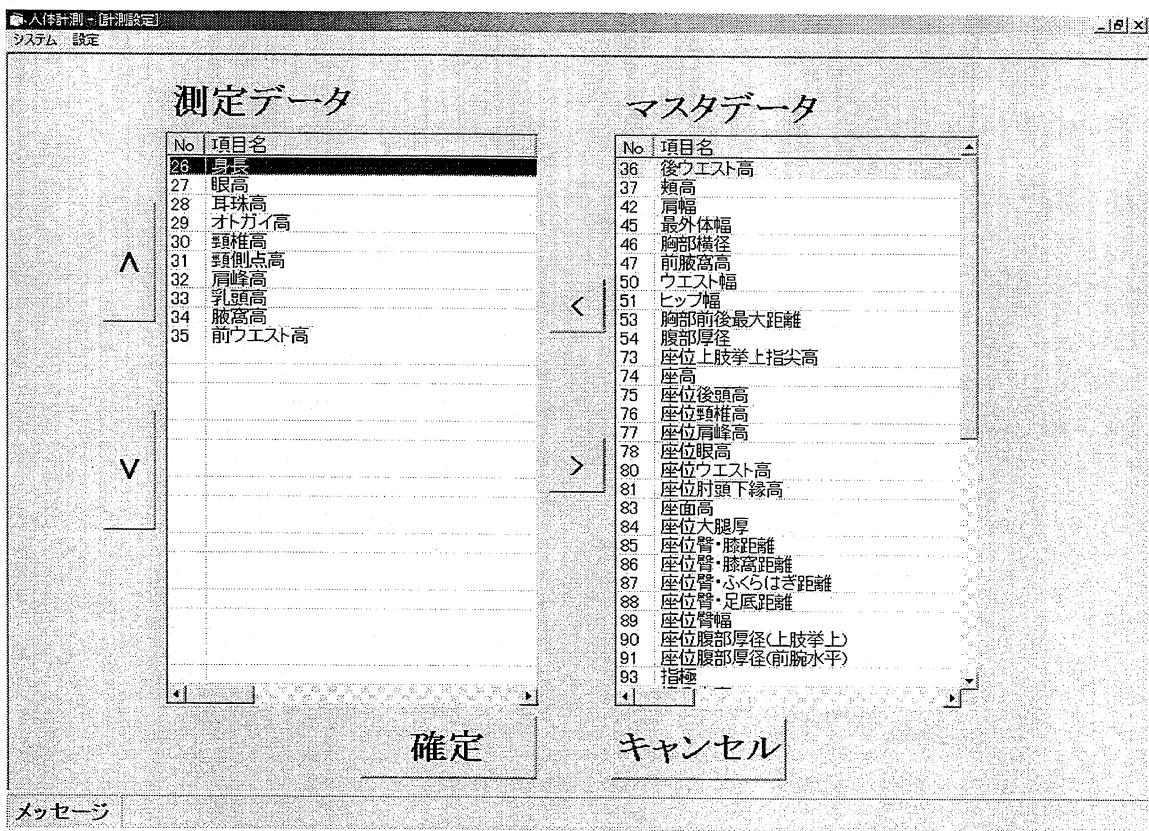
保存する場所 – 保存するフォルダを指定します。ネットワークドライブを指定することも可能です。

ファイル名 – 保存するファイル名を入力します。(CSV形式で保存します。)

保存ボタン – 入力したファイル名を記憶します。今後すべての計測データはここで指定したファイル名に保存します。

キャンセルボタン – 処理をキャンセルします。

### (3) 測定データ設定画面



#### [目的]

[メニュー] – [設定] – [測定データ設定] をクリックすることによりこの画面を表示します。測定する部位の項目をマスタデータより選択します。

#### [機能]

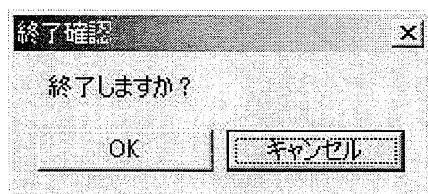
測定データ – 測定する部位のデータ一覧を表示します。

マスタデータ – 測定可能な部位のデータ一覧を表示します。

上下矢印ボタン – 測定データの順序を変更する場合に使用します。測定データを選択し、このボタンを押下することにより順序を入れ替えます。

左右矢印ボタン – マスタデータから測定データを選択する場合に使用します。マスタデータの項目を選択し、左右矢印ボタンを押下することにより測定データに反映させます。

#### (4) 終了画面



##### [目的]

[メニュー] – [システム] – [終了]をクリックすることによりこの画面を表示します。終了確認を行います。

##### [機能]

OKボタン – 押下することにより本アプリケーションを終了します。

キャンセルボタン – 終了処理をキャンセルします。

### 6. 3. 7 マスタファイルについて

アプリケーションが格納されているフォルダ(初期値 C:\人体測定\DATA)にMaster.csvというファイル名で保存されています。エクセルなどを利用して簡単に編集することができます。

## 7. 計測器検証用ダミーの製作

新規開発人体三次元計測器の開発目標である「隠れ部位の低減」を実現するために、既存人体三次元計測器では計測不可能な隠れ部位を多く含んだ特殊体型ダミーを製作した。計測器開発過程においては、この検証用ダミーの身体形状を隠れ部位なく、また精度良く計測しうるような計測器設計を行った。この検証用ダミーのコンセプトは「計測しにくい隠れ部位を多数含む」ことである。なお計測器設計がこの特殊体型中心になるあまり、平均的体型の計測において不備を来たさないよう既存の平均人体寸法ダミーに関しても座位、頭部を含め製作し、計測器設計に反映させた。

・特殊ダミー（立位・頭部：計5体）：

イレギュラーな人体寸法及び形状の立位ダミー3種、頭部ダミー2種を提示されたデータとともに形態化しFRPにより製作する。

立位ダミー（3体）：

- (1) 大男ダミー
- (2) 低身長で太った女性ダミー
- (3) 腰の曲がった高齢男性ダミー

頭部ダミー（2体）：

- (4) 大顔男性ダミー
- (5) 鷺鼻、顎長、耳倒れ型ダミー

・改造平均ダミー（2体）：

既存の「平均的人体寸法ダミー」を改造し座位ダミー1種、頭部ダミー1種を製作。

- (6) 20代女性の平均的人体寸法ダミーを改造し座位ダミー
- (7) 20代女性の平均的人体寸法ダミーから頭部ダミー

・平均ダミー（4体）：既存の「平均的人体寸法ダミー」立位4種を製作。

- (8) 20代女性の平均的人体寸法ダミー
- (9) 20代男性の平均的人体寸法ダミー
- (10) 40代女性の平均的人体寸法ダミー
- (11) 70代女性の平均的寸法・形態ダミー

## 7. 1 大男ダミー

### 7. 1. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様

(社) 人間生活工学研究センター（以下：HQL）の保有する約34,000人の人体寸法データベースより高身長かつ重体重で抽出された数人の中から、さらに画像データで隠れ部位が最も大きいと判定された年齢17.2歳の男性モデルの立位正面及び側面写真と、16項目の人体寸法計測数値をもとに等身大に形状化した。

#### (1) 参考寸法値 (体重: kg、その他: cm)

体重	150.0	身長	180.6	頭囲	63.8	頸囲	53.0
バスト囲	148.6	ウエスト囲	139.0	ヒップ囲	123.0	股下高	89.3
股上前後長	74.5	大腿囲	71.6	立位膝囲	46.8	下腿最大囲	51.2
下腿最小囲	28.5	腕付け根囲	59.2	上腕囲	40.5	前腕最大囲	31.0

#### (2) 付帯事項 (平成12年度高齢者計測事業の立位計測姿勢を考慮)

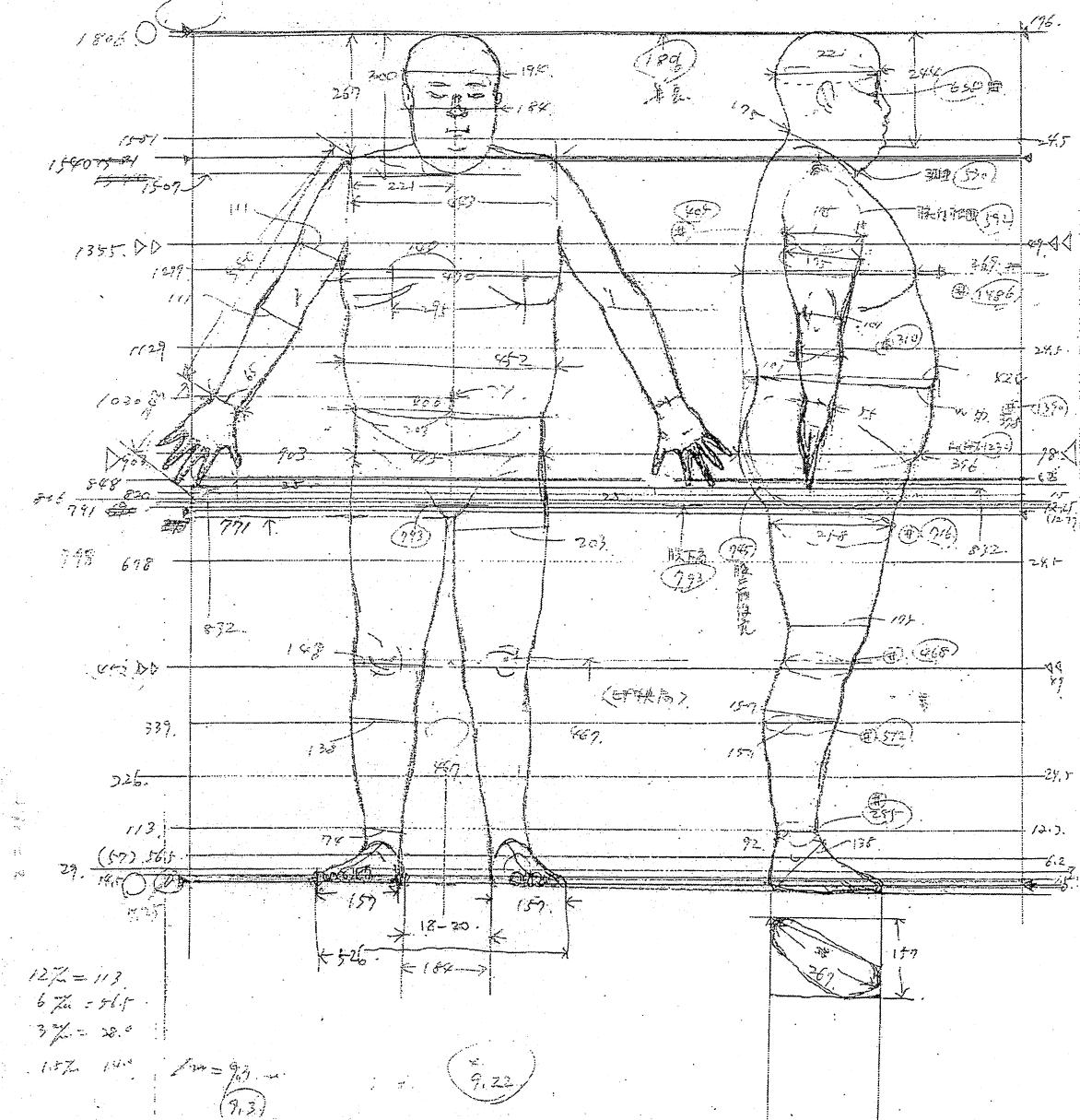
- ・姿勢は立位とする。
- ・腰と橈骨茎突点間を18.5cm離す。
- ・両踵を20cm離す。
- ・大腿部の隙間を開ける。
- ・足先は自然体のハの字型に開ける。
- ・手の甲を前向けとする。
- ・指を離す。

#### (3) 設計ラフスケッチ (次頁)

3次元人体計測器開発 実験用ダミー ②大男(青高太)150kg.

体重 150kg.  
年齢:

②△ 青、高、太、C16 タイプ 男性 D.



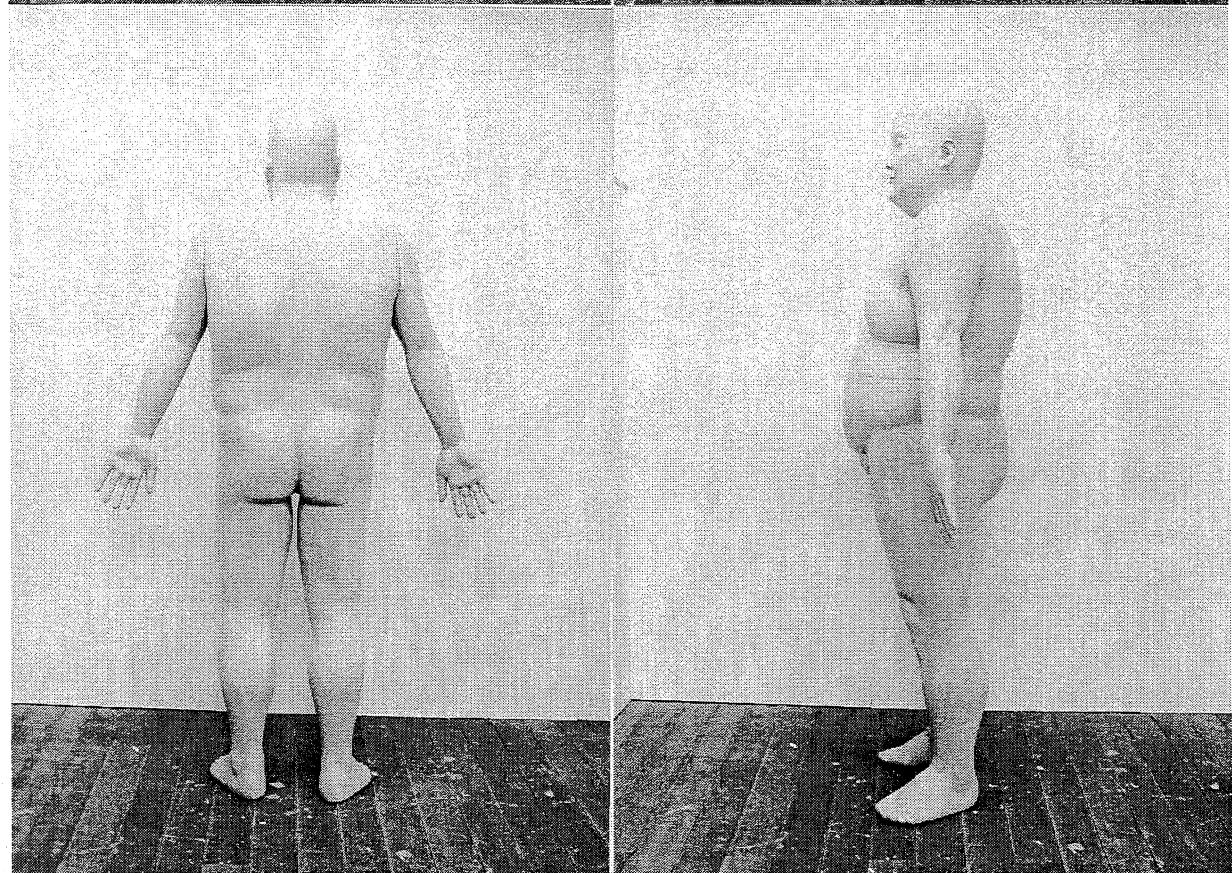
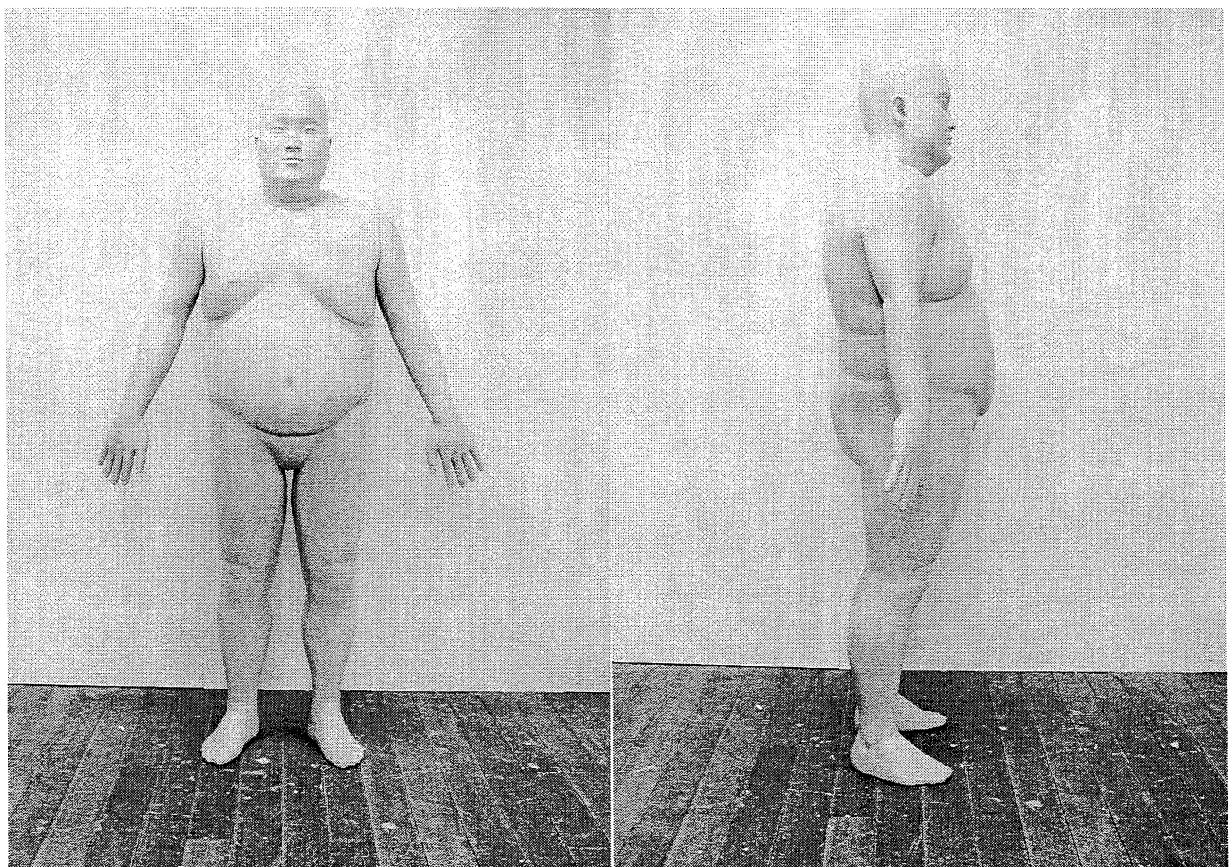
### 7. 1. 2 開発検討経過

- ・粘土原型から型取りを経てF R P製原型（製品）化。
- ・頭部は大顔と共有させる。そのために身長が初期設計段階では180. 6cmだったが、大顔使用により高くなり、183. 3cmとなる。さらに下顎核副の14. 8cmが15. 5cmに、頭矢状弧長の36. 0cmが39. 3cmと参考寸法より大きくなつた。
- ・姿勢は、型取りの条件を考慮しつつ、最大限指示内容を反映させた。
- ・太っていることによって生じる肉の皺がくい込んでいる状態を表す。
- ・移動及び使い勝手を考慮し両腕・上半身・下半身を分割、差し込み式とする。
- ・一旦手の甲を両腕共前向けに製作したが、その後検討の結果、右腕の手のひらを体幹部に向けるよう改造。

### 7. 1. 3 最終完成品仕様

- ・初期設計段階における指示事項及びその後の検討経過を反映させ完成。
- ・ラッカーと総仕上げ。色は既存の人体寸法ダミーと同色とする。
- ・安定感を与えるため、金属製（560×360：重さ7キロ）ベース上のシャフトをダミーの足裏に開けられた穴に差し込んで立たせる。ベースの色は計測の際の検知を防止するため黒とする。

完成写真 （次頁）



## 7. 2 低身長で太った女性ダミー

### 7. 2. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様

HQLの保有する約34,000人の人体寸法データベースより女性で低身長かつ重体重で抽出された数人の中から、さらに画像データで隠れ部位が最も大きいと判定された年齢56.8歳の女性モデルの立位正面及び側面写真と、16項目の人体寸法計測数値をもとに等身大に形状化した。

#### (1) 考寸法値 (体重: kg、その他: cm)

体重	79.0	身長	143.7	頭囲	54.5	頸囲	34.8
バスト囲	115.1	ウエスト囲	89.9	ヒップ囲	115.6	股下高	66.4
股上前後長	74.8	大腿囲	61.0	立位膝囲	41.2	下腿最大囲	39.0
下腿最小囲	23.4	腕付け根囲	43.5	上腕囲	33.8	前腕最大囲	25.6
デプス(乳房の奥行き)	3.9	胸部矢状径	28.4				

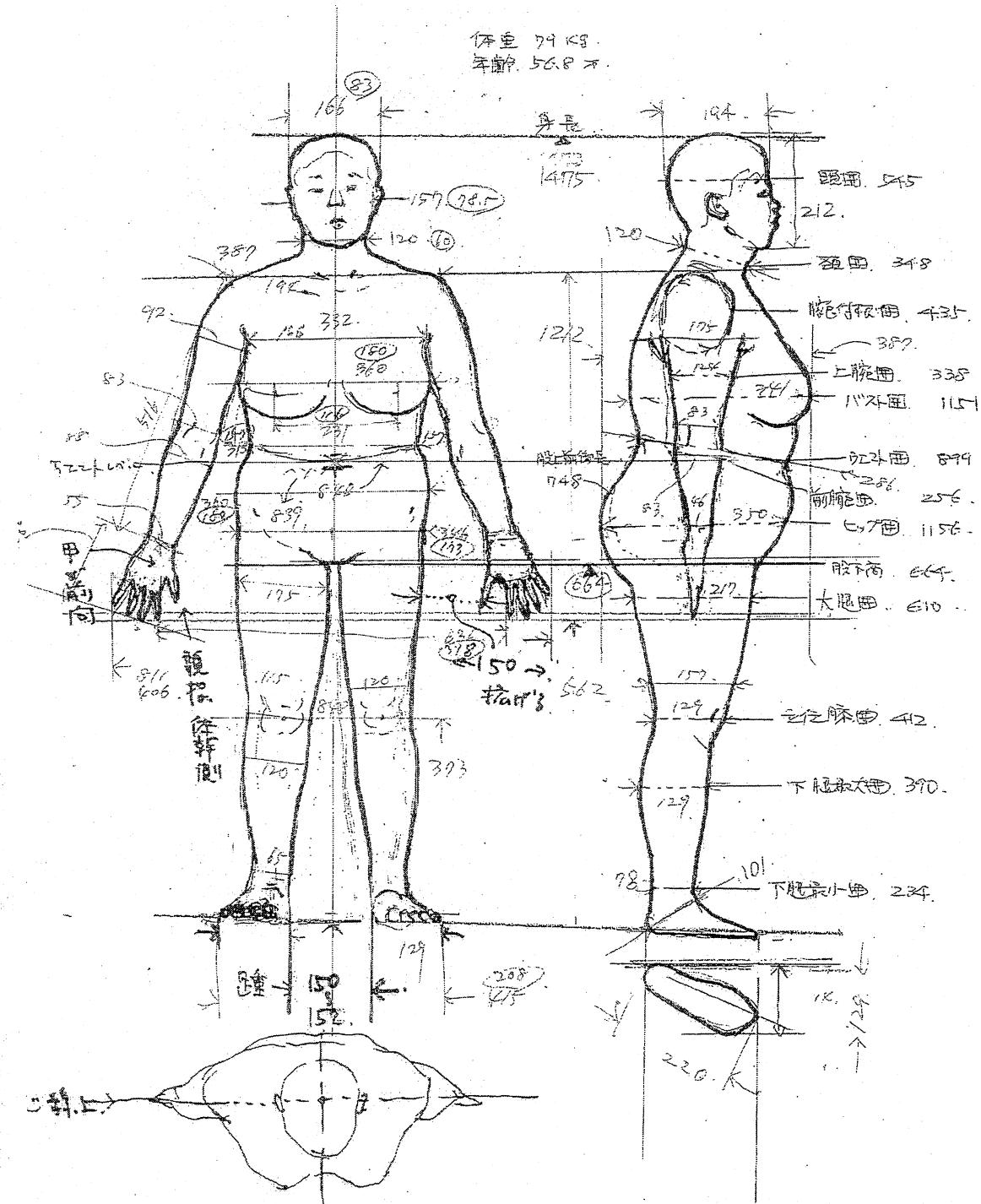
#### (2) 付帯事項 (平成12年度高齢者計測事業の立位計測姿勢を考慮)

- ・姿勢は立位とする。
- ・腰と橈骨茎突点間を18.5cm離す。
- ・両踵を20.0cm離す。
- ・大腿部の隙間を開ける。
- ・足先は自然体のハの字型に開ける。
- ・手の甲は前向けとする。
- ・指は離す。

#### (3) 設計ラフスケッチ (次頁)

3次元人体計測器開発 実験用タミー ③背徳太脚女性

△ 女性(背徳太, 太脚女性)



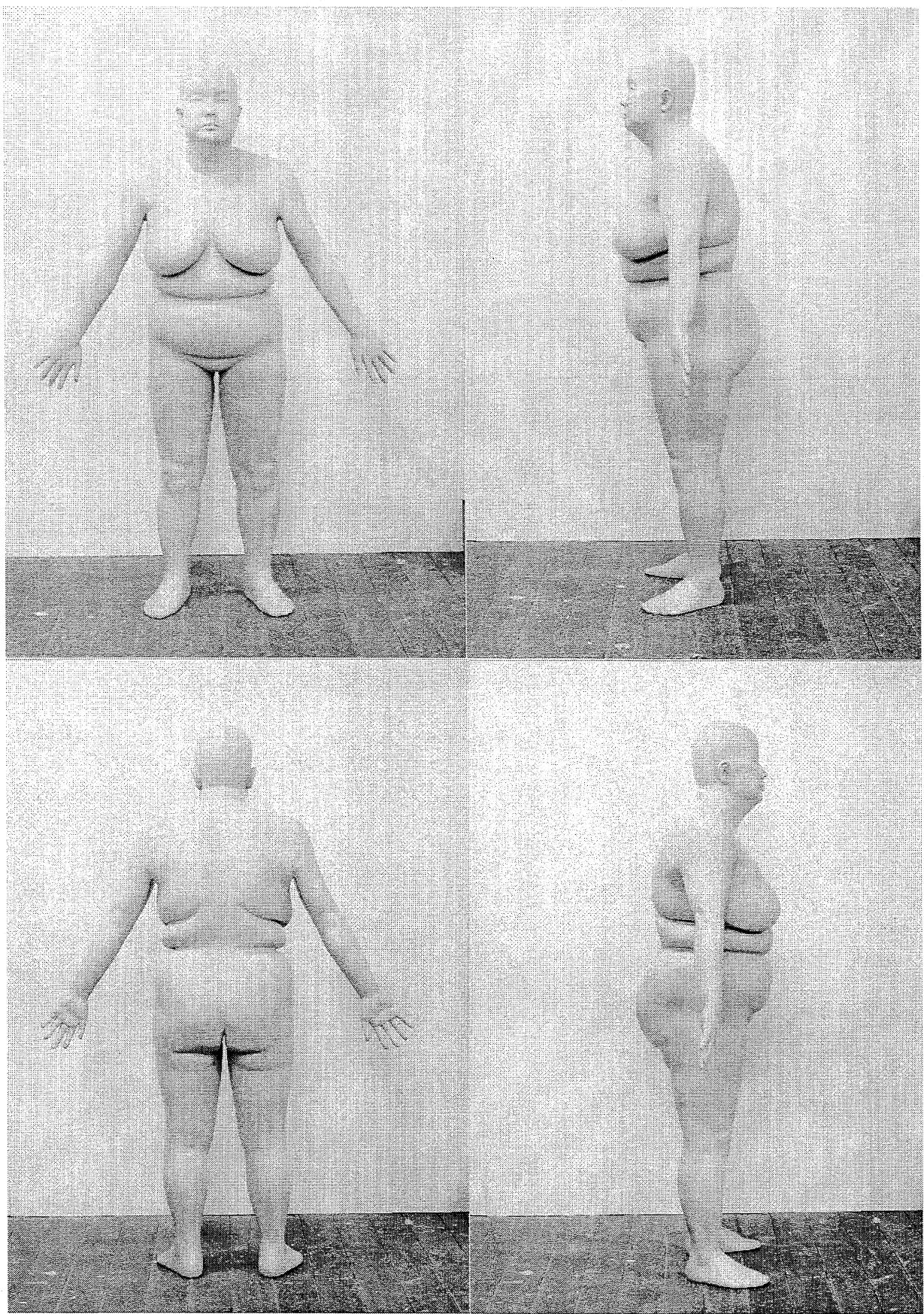
### 7. 2. 2 開発検討経過

- ・粘土原型から型取りを経てF R P製原型（製品）化。
- ・姿勢は、型取りの条件を考慮しつつ、最大限指示内容を反映させる。
- ・特に背面部の皺を再現するために必要な人体寸法計測数値としてデプスサイズと胸部矢状サインズの2項目を加える。
- ・移動及び使い勝手を考慮し両腕を差し込み式とする。
- ・一旦手の甲を両腕共前向けに製作したが、その後検討の結果、右腕の手のひらを体幹部に向けるよう改造。

### 7. 2. 3 最終完成品仕様

- ・初期設計段階における指示事項及びその後の検討経過を反映させ完成。
- ・ラッカ一塗装仕上げ。色は既存の人体寸法ダミーと同色とする。
- ・安定感を与えるため、金属製（560×360：重さ7キロ）ベース上のシャフトをダミーの足裏に開けられた穴に差し込んで立たせる。ベースの色は計測の際の検知を防止するため黒とする。

完成写真 （次頁）



## 7. 3 腰の曲がった高齢男性ダミー

### 7. 3. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様

生命工学工業技術研究所の保有する過去に実施した人体寸法データの中から、高齢者であり、また画像データから背骨の湾曲が最も大きいと判定された年齢73.9歳の男性モデルの立位正面及び側面写真と、16項目の人体寸法計測数値をもとに等身大に形状化した。

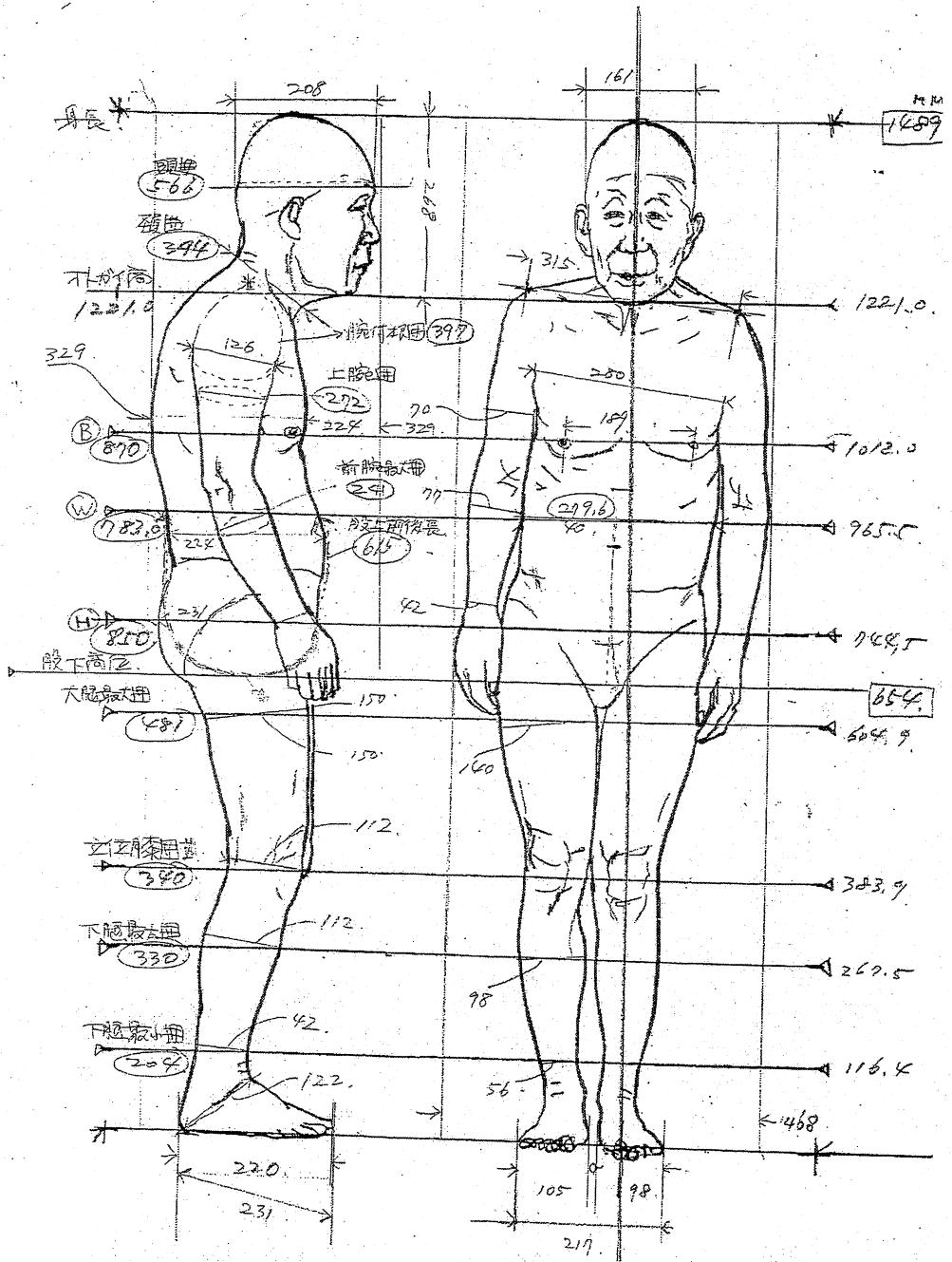
#### (1) 参考寸法値 (体重: kg、その他: cm)

体重	50.2	身長	148.9	頭囲	56.6	頸囲	34.4
バスト囲	87.0	ウエスト囲	78.3	ヒップ囲	85.0	股下高	65.4
股上前後長	61.5	大腿囲	48.1	立位膝囲	34.0	下腿最大囲	33.0
下腿最小囲	20.4	腕付け根囲	39.7	上腕囲	27.2	前腕最大囲	24.1

#### (2) 付帯事項 (平成12年度高齢者計測事業の立位計測姿勢を考慮)

- ・姿勢は立位とする。
- ・両腕を腰より18.5cm離す。
- ・両踵を20.0cm離す。
- ・足先の開きは自然体に設定する。
- ・手の甲を前向けとする。
- ・手の指を離す。
- ・姿勢は傾いた状態で再現する。

#### (3) 設計ラフスケッチ (次頁)



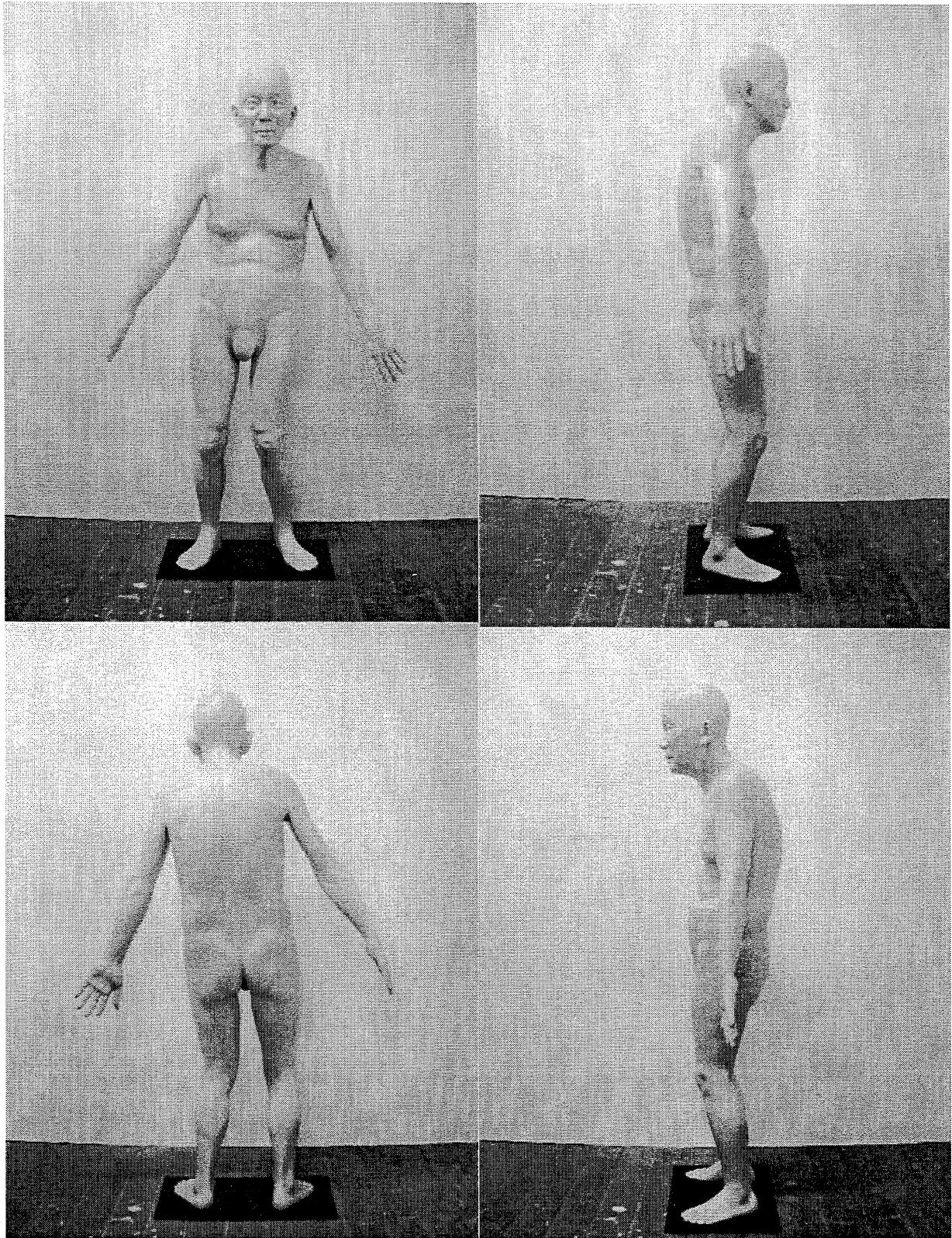
### 7. 3. 2 開発検討経過

- ・粘土原型から型取りを経てF R P製原型（製品）化。
- ・姿勢は、型取りの条件を考慮しつつ、最大限指示内容を反映させる。
- ・人体寸法はあくまでも参考値に止め、高齢者特有の歪みや壅みを意識したりアリティのある人体表現に優位性を与える。
- ・移動及び使い勝手を考慮し両腕を差し込み式とする。
- ・一旦手の甲を両腕共前向けに製作したが、その後検討の結果、右腕の手のひらを体幹部に向けるよう改造。

### 7. 3. 3 最終完成品仕様

- ・初期設計段階における指示事項及びその後の検討経過を反映させ完成。
- ・ラッカー塗装仕上げ。色は既存の人体寸法ダミーと同色とする。
- ・安定感を与えるため、金属製（560×360：重さ7キロ）ベース上のシャフトをダミーの足裏に開けられた穴に差し込んで立たせる。ベースの色は計測の際の検知を防止するため黒とする。

完成写真 （次頁）



## 7. 4 大顔男性頭部ダミー

### 7. 4. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様

HQLの保有する約34,000人の人体寸法データベースより3名の大顔男性の、8項目の頭部計測数値を合成し、等身大に形状化した。

#### (1) 参考寸法値 (体重: kg、その他: cm)

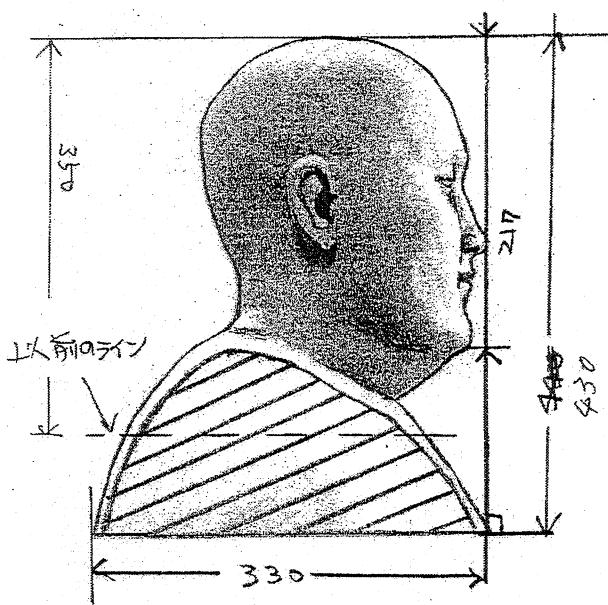
3名の寸法の内ゴシック体で記入された数値を採用

	体重	全頭高	頭長	頭幅	下頸角幅	頭矢状弧長	頭囲	身長
A	88.7	26.6	20.1	<b>17.3</b>	14.5	34.7	60.5	<b>177.8</b>
B	79.6	26.3	<b>20.5</b>	16.6	14.6	36.0	61.0	172.0
C	<b>109.8</b>	<b>27.5</b>	20.1	17.1	<b>15.5</b>	<b>39.3</b>	<b>61.7</b>	168.9

#### (2) 付帯事項

- ・大男ダミーの顔に共有させる。
- ・台座をつける。高さは台座を含め、35cm程度とする。

#### (3) 設計ラフスケッチ (次頁)



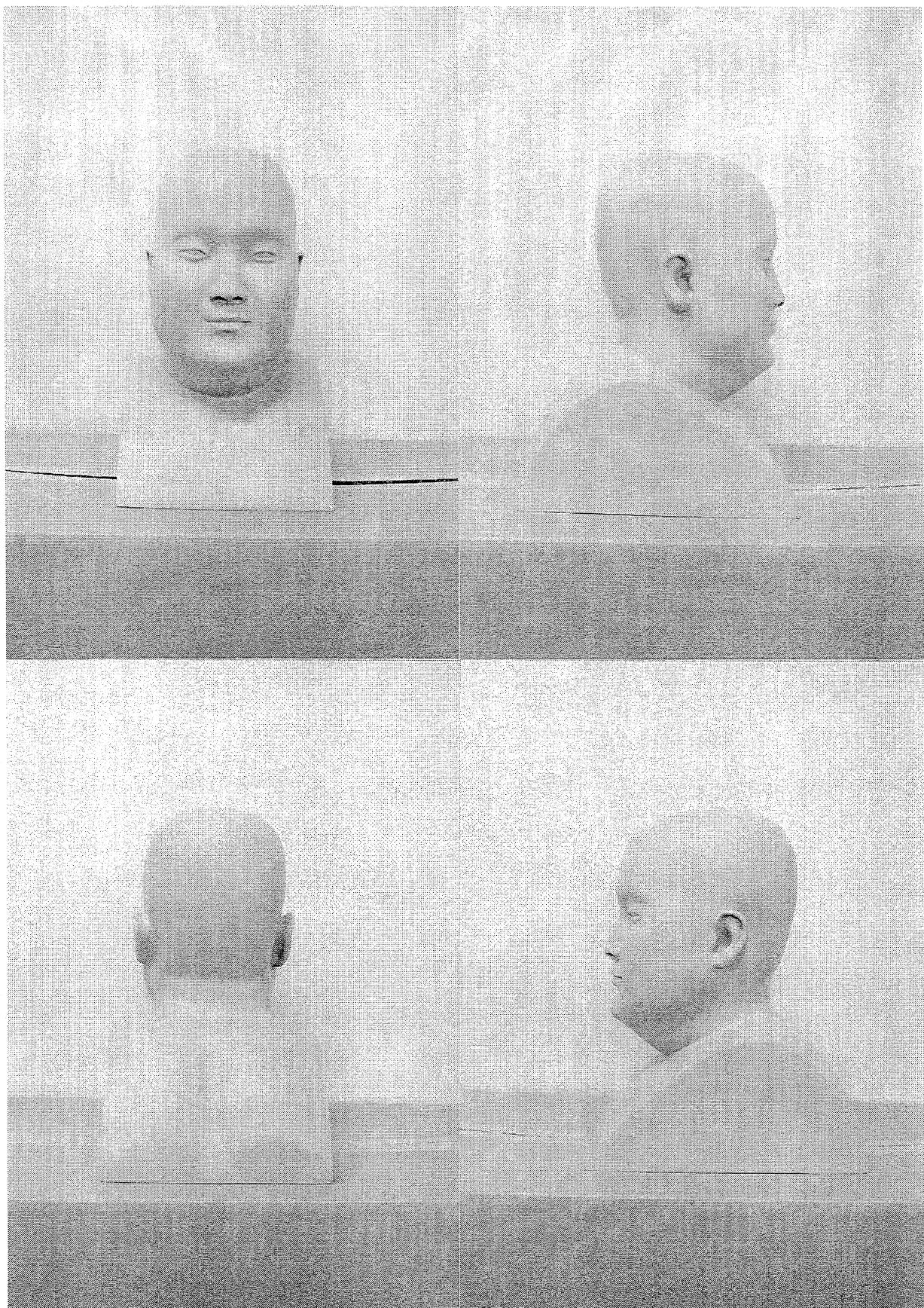
#### 7. 4. 2 開発検討経過

- ・粘土原型から型取りを経てF R P製原型（製品）化。
  - ・顎下を測定しやすくするため台座の高さを9cm高くし全高を44cmとする。
- ・大男ダミーの顔と共有させたことにより、頭長が20.5cmが22.1cmに、頭幅が17.3cmが19.4cmに、頭囲が61.7cmが63.8cmとなり、参考寸法より大きくなった。

#### 7. 4. 3 最終完成品仕様

- ・初期設計段階における指示事項及びその後の検討経過を反映させ完成。
- ・仕上がり寸法：全高44.0cm 全頭高27.5cm 頭長22.1cm  
頭幅19.4cm 頭囲63.8cm 台座の幅26.0cm 台座の奥行き33.0cm
- ・ラッカ一塗装仕上げ。色は既存の人体寸法ダミーと同色とする

完成写真 (次頁)

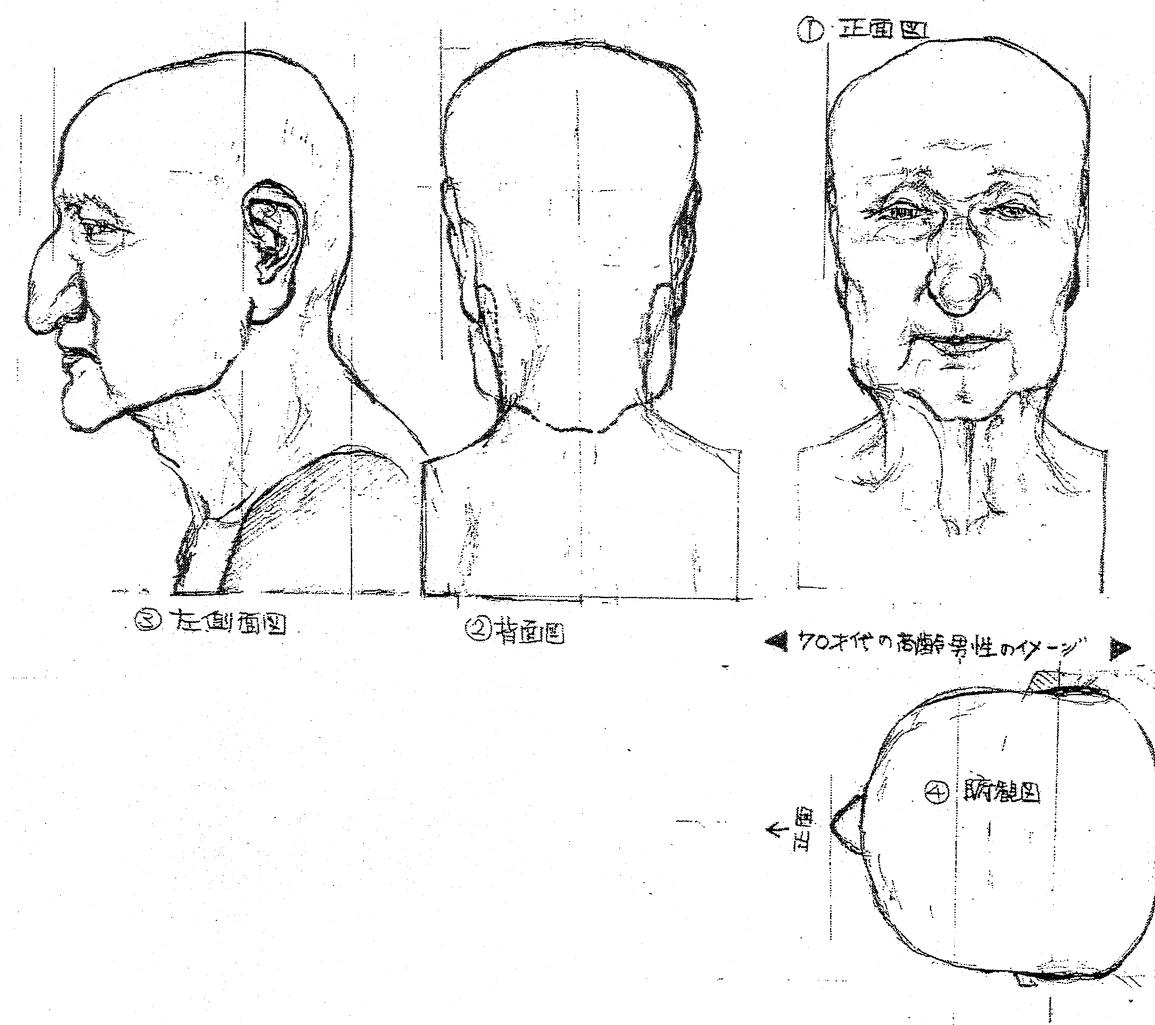


## 7. 5 鷺鼻、頸長、耳倒れ型頭部ダミー

### 7. 5. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様

標準サイズの頭部を有する高齢者男性の頭部で鼻・顎・耳に、より隠れ部位の多い形状を表現。このダミーに関してはデータが検索できないため、鷺鼻、頸長、耳倒れ、の3つの条件を組み入れた頭部をイメージで製作した。

#### (1) 設計ラフスケッチ



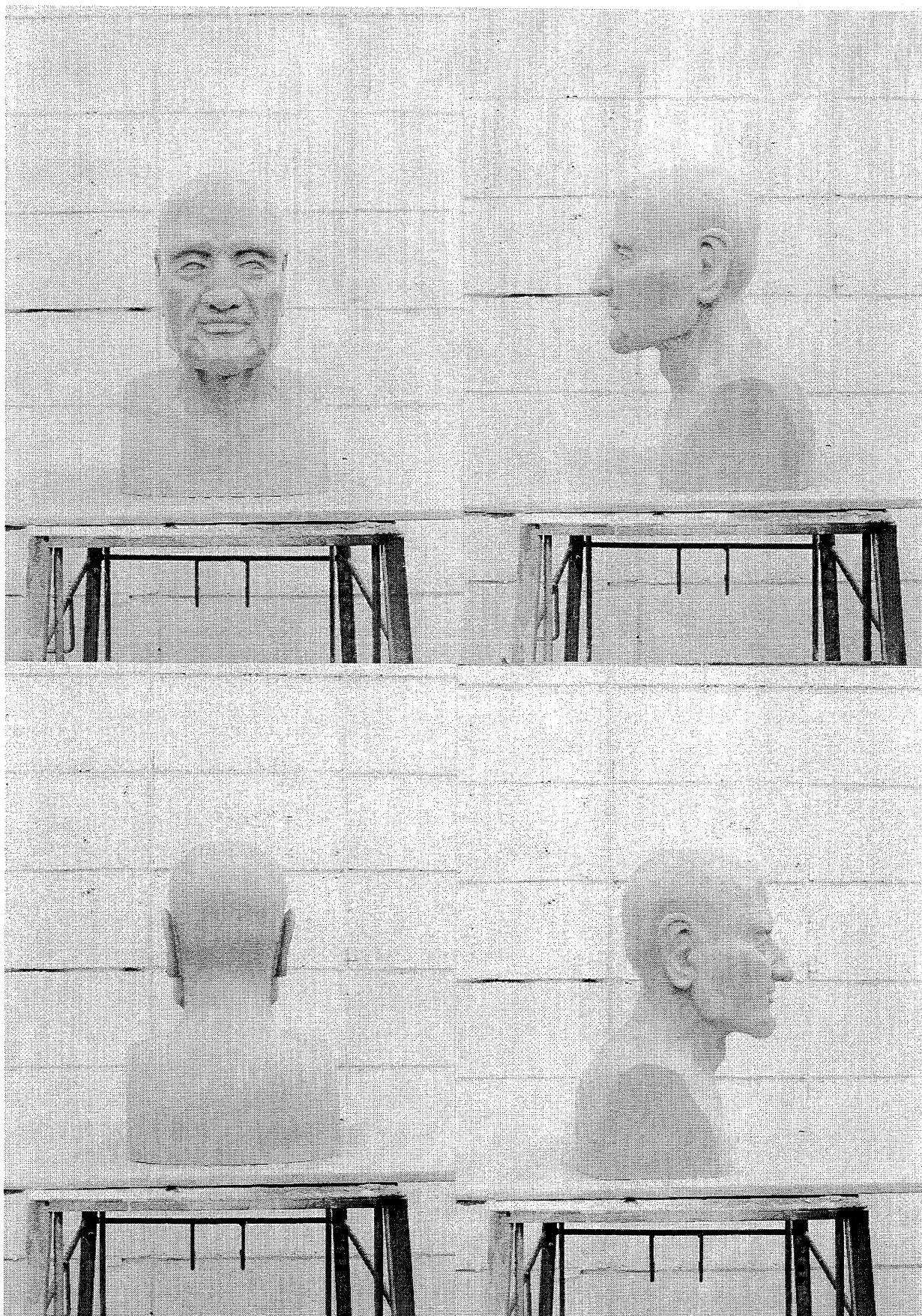
### 7. 5. 2 開発検討経過

- ・粘土原型から型取りを経てF R P製原型（製品）化。
- ・上記3つの条件に満たす眼を付加する。
- ・70代高齢者男性をイメージした正面・左側面・背面・俯瞰の頭部4面図作成。（E）参照。
- ・確認を経て形状化に移行。

### 7. 5. 3 最終完成品仕様

- ・初期設計段階における指示事項及びその後の検討経過を反映させ完成。
- ・仕上がり寸法：全高39.0cm 全頭高24.3cm 頭長19.5cm  
頭幅15.4cm 頭囲58.4cm 台座の幅25.0cm
- ・ラッカ一塗装仕上げ。色は既存の人体寸法ダミーと同色とする。

完成写真 (次頁)



## 7. 6 20代女性の平均的人体寸法ダミーの座位改造。

### 7. 6. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様

20代女性の平均的人体寸法ダミーを座位の計測姿勢に改造する。

- ・姿勢：座位・20cm程度膝を開く
- ・大腿-下腿の角度が直角・垂直に座る
- ・両腕を左右に体側に対して直角に広げる・水平である上腕に対して垂直・相対的基本肢位とする。

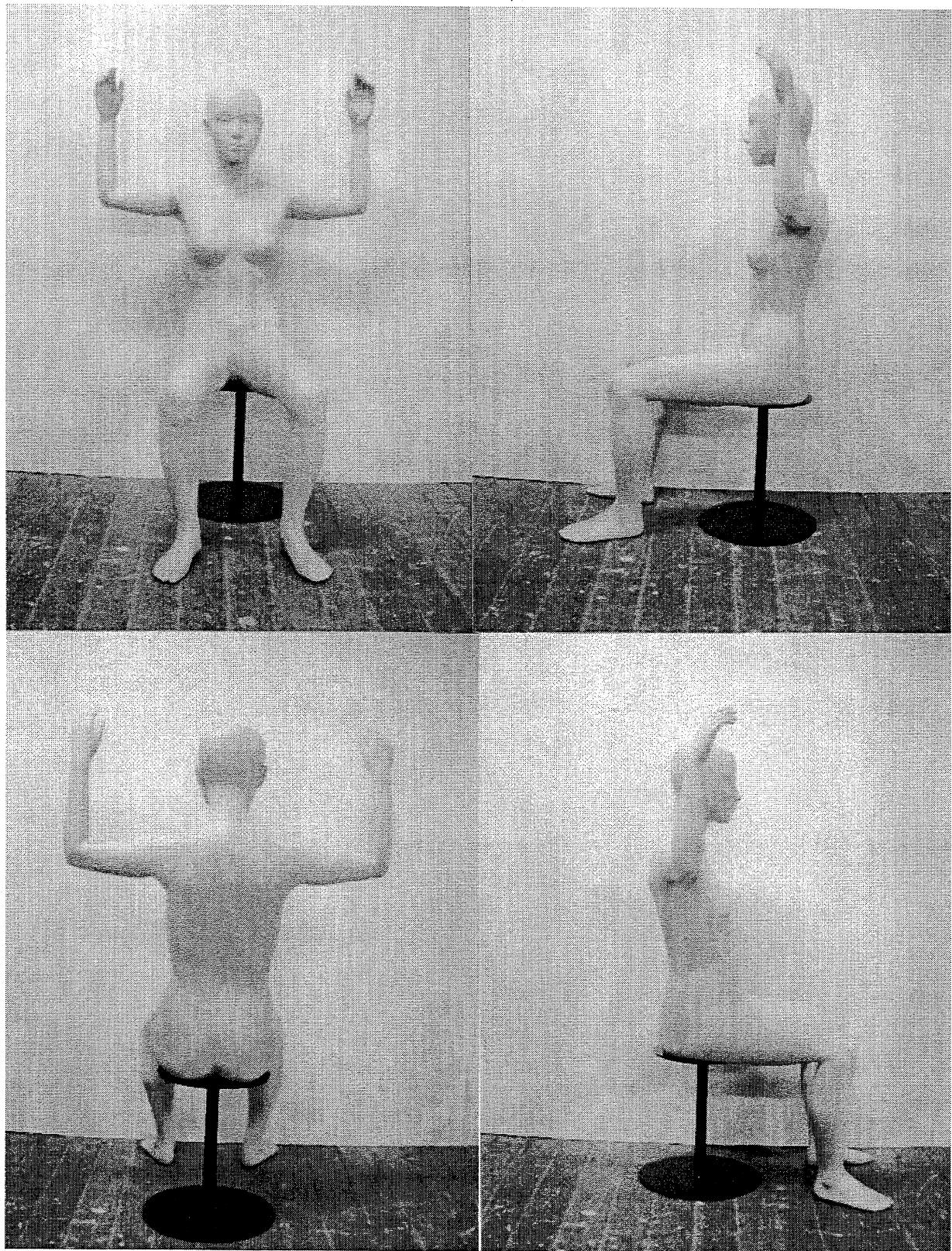
### 7. 6. 2 開発検討経過

- ・両腕・両脚を切断し、指示事項に照らして形態を改造する。
- ・肩部、臀部は、自然と思われる形態にて表現。
- ・座面が臀部に収まることを条件に安定的に座らせることが可能な金属製椅子を製作。

### 7. 6. 3 最終完成品仕様

- ・初期設計段階における指示事項及びその後の検討経過を反映させ完成。
- ・ラッカ一塗装仕上げ。色は既存の人体寸法ダミーと同色とする。

完成写真（次頁）

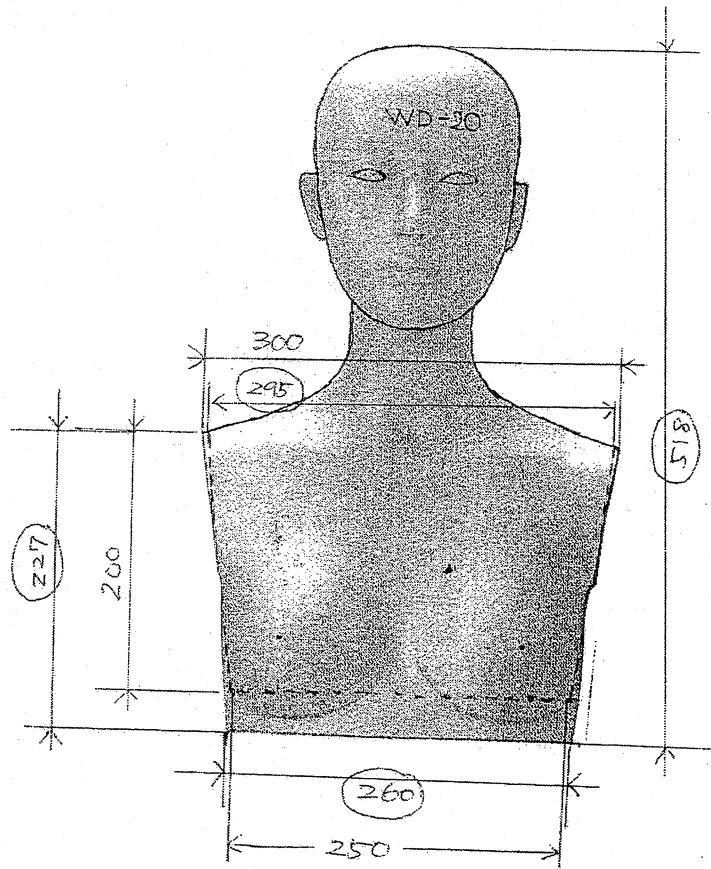


## 7. 7 20代女性の平均的人体寸法ダミーの頭部ダミー

### 7. 7. 1 要求仕様に基づく初期設計仕様

- ・ 20代女性の平均的人体寸法ダミーの台座付頭部ダミーを製作する。
- ・ 頭部各部位の寸法は現状通りとし変更を加えない。

#### (1) 設計ラフスケッチ



### 7. 7. 2 最終完成品仕様

- ・初期設計段階における指示事項及びその後の検討結果を反映させた仕様として完成。
- ・最終仕上寸法：全高 51.8 cm 肩峰幅 30.0 cm 台座の幅 26.0 cm
- ・ラッカ一塗装仕上げ。色は既存の人体寸法ダミーと同色とする。

### 7. 8 平均的人体寸法ダミーの製作

社団法人人間生活工学研究センター（HQL）保有の人体計測データベースをもとに、1996年から

2000年にかけてHQLと(株)七彩が共同開発した20代男女・40代女性・70代女性の「平均的人体寸法ダミー」を製作。

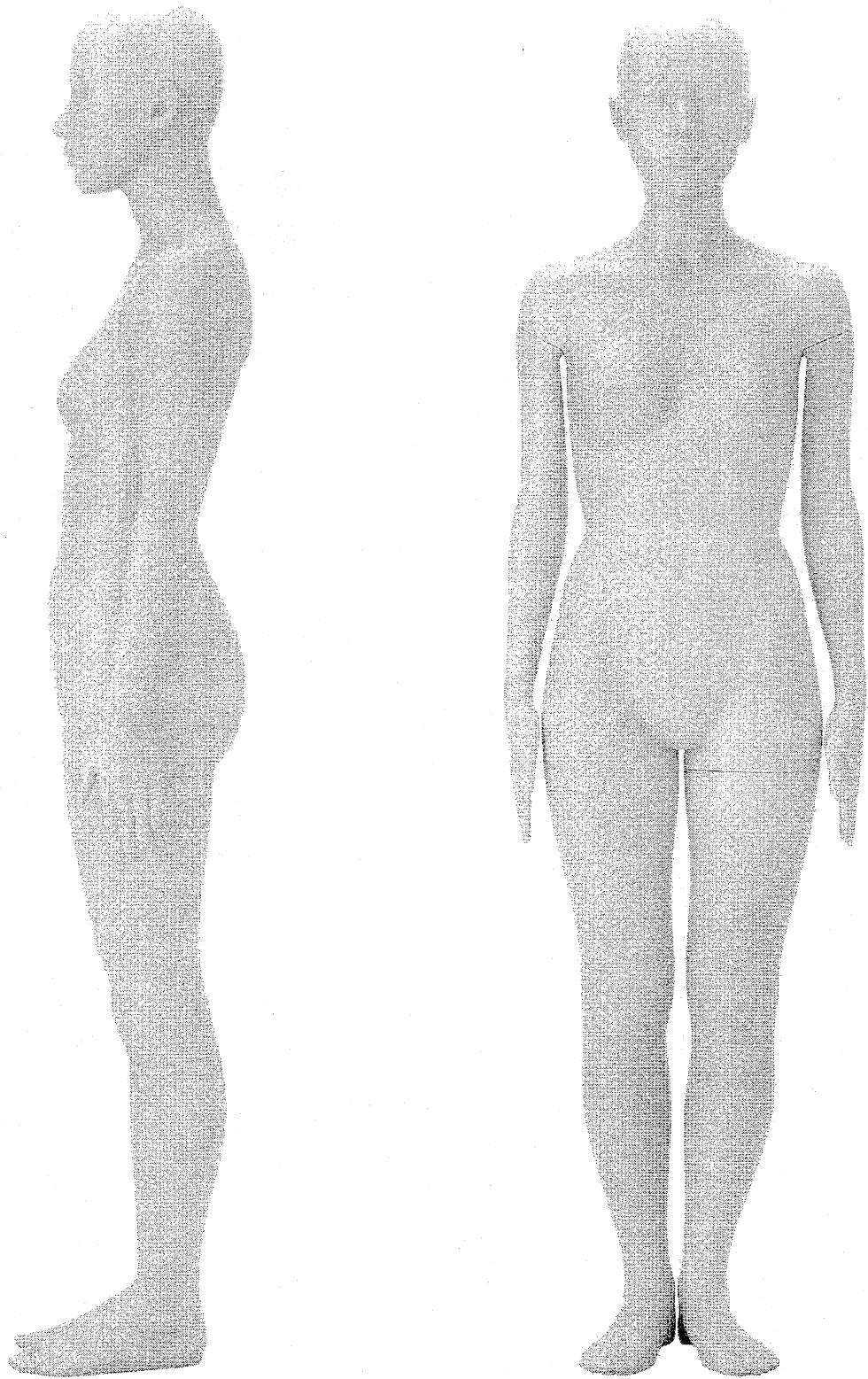
本ダミーは何れも立位の姿勢で130項目程度の平均値と抽出された平均値に近い被験者の3次元画像を参考値として形状化している。

20代男女と40代女性ダミーについては、計測用両腕と試着用両腕の2種があり、自然な形状により近い試着用両腕を指定。70代女性ダミーに関しては、採寸用腕のみの開発であるため、腕の形状が他と異なる。

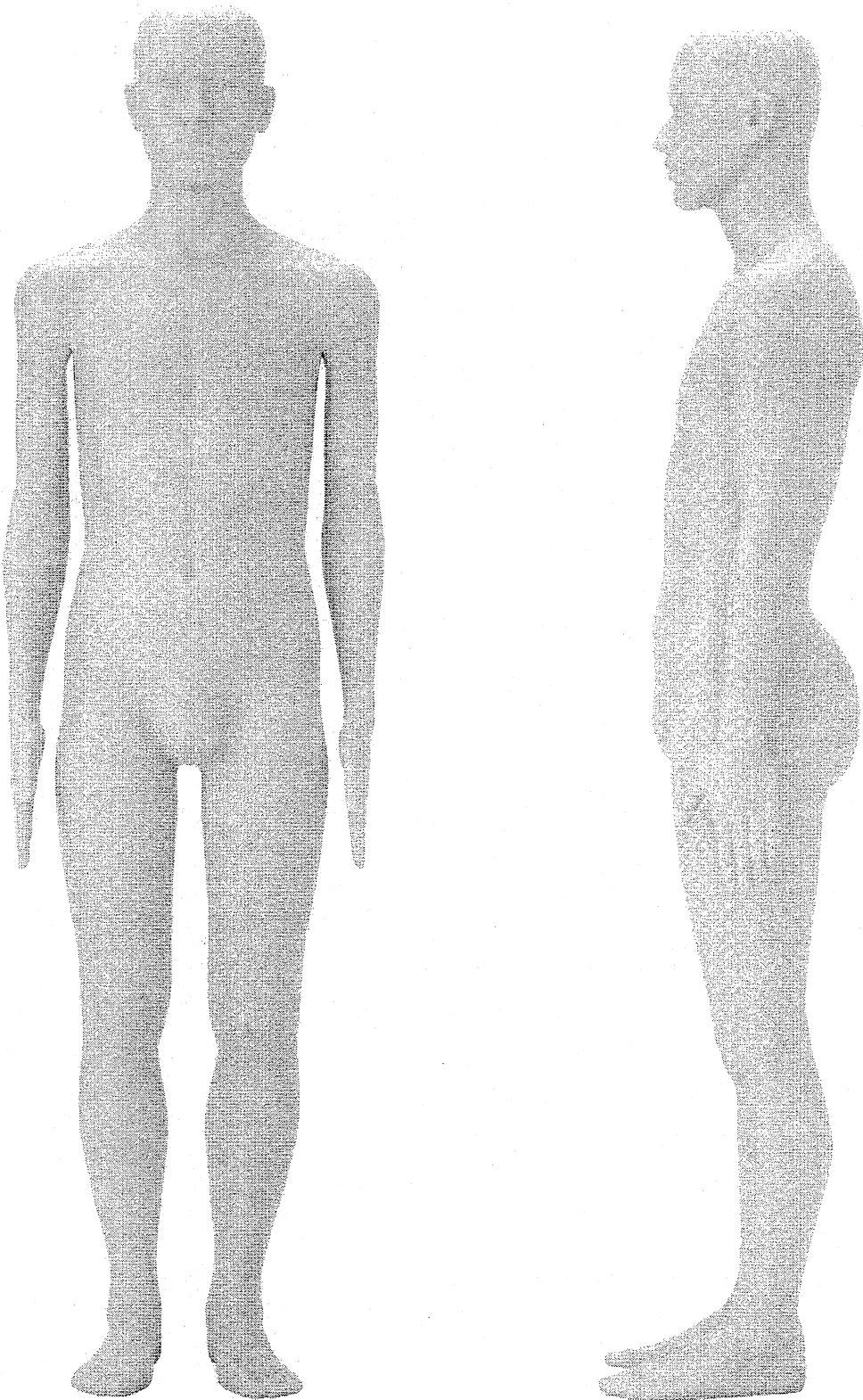
また、立位の姿勢が脇を開け、開脚し、手のひらを後ろに向けたの3種のダミーとは異なるが、改造せず現状のまま利用する。

完成写真（次頁以降）

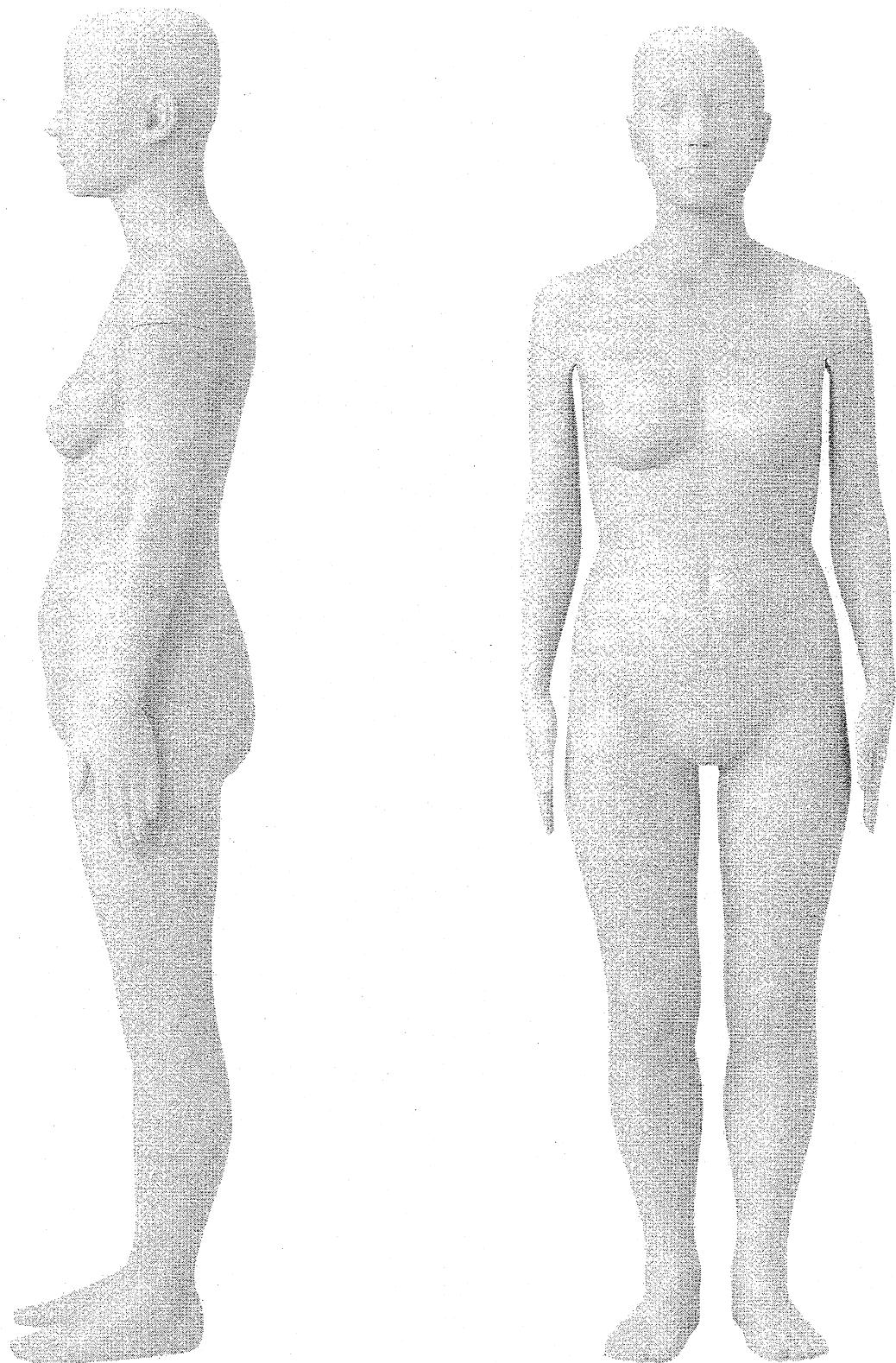
20代女性の平均的人体寸法ダミー



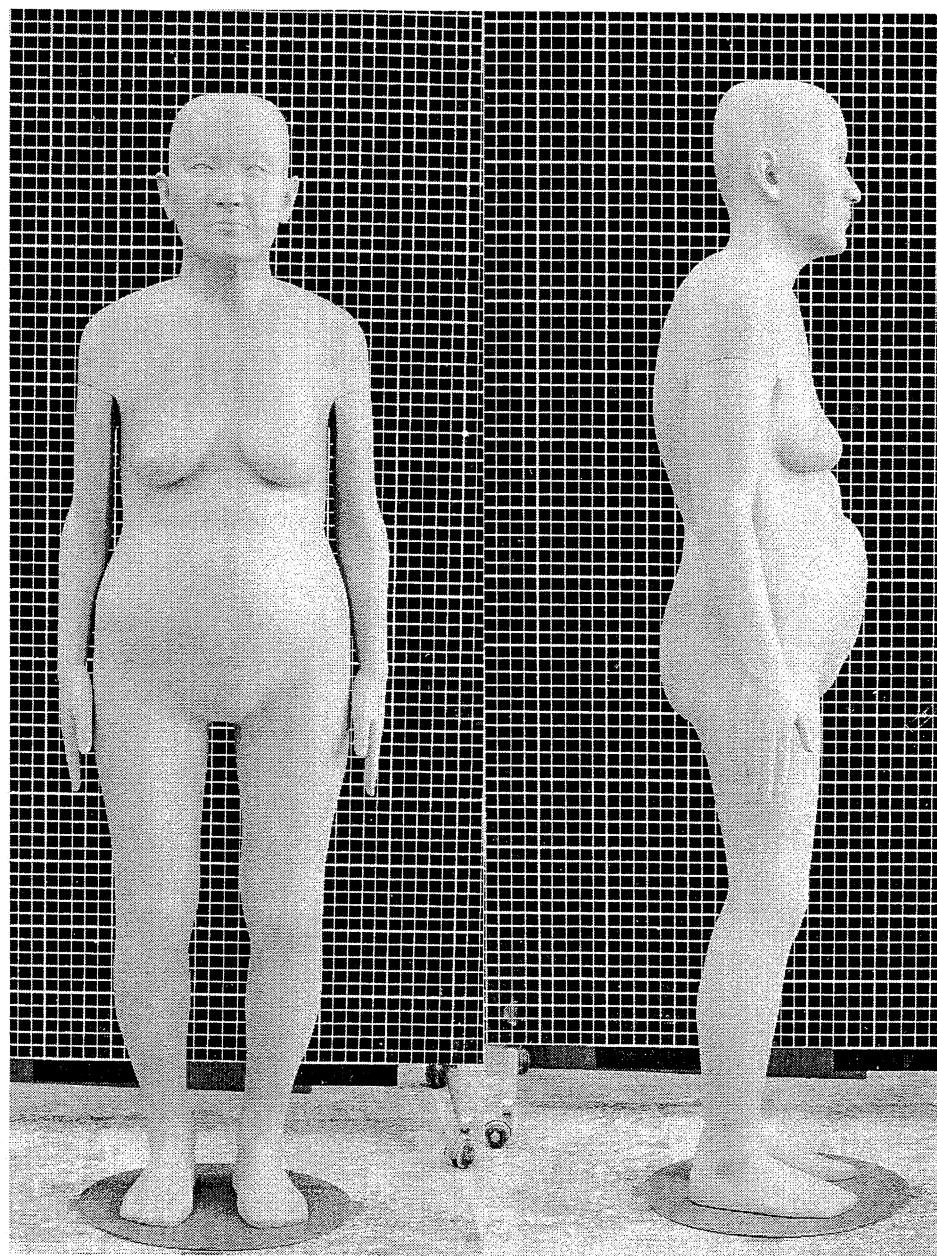
20代男性の平均的人体寸法ダミー



40代女性の平均的人体寸法ダミー



70代女性の平均的寸法・形態ダミー



## 8. 画像データ変換ソフトウェアの開発

本事業開発計測器で収集されるデータを広く産業界へと応用普及させるためには、このデータを個々の企業の使用する画像処理環境へ適応させる必要がある。そのために計測器出力画像データを読み込み、個々の画像処理環境に対応するフォーマットへと変換出力するソフトウェアの開発を実施した。変換フォーマットとして平成11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」にて開発した三次元人体計測データ・ファイルフォーマットを用いた。

### 8. 1 フォーマットの特徴と概略

本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。

#### 表現可能な情報の種類

本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)

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できる。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ます。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。

### ファイル名（拡張子以外の部分）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。

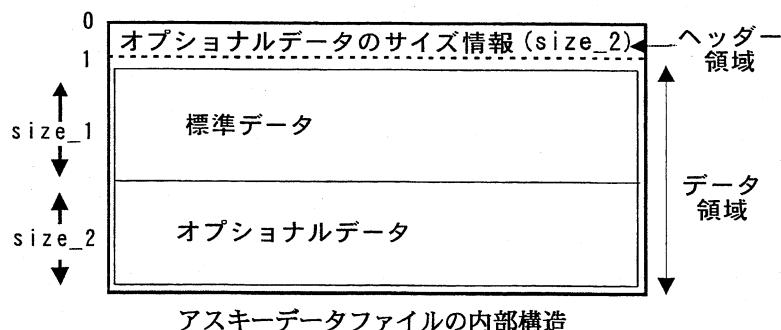
- キーファイル : aaa.3da
- 人体寸法データファイル : aaa.3daa
- 特徴点データファイル : aaa\_00.3dal, aaa\_01.3dal, aaa\_02.3dal, ...
- 形状データファイル : aaa\_00.3das, aaa\_01.3das, aaa\_02.3das, ...
- 画像データファイル : aaa\_00.3dai, aaa\_01.3dai, aaa\_02.3dai, ...

### 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iformat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。

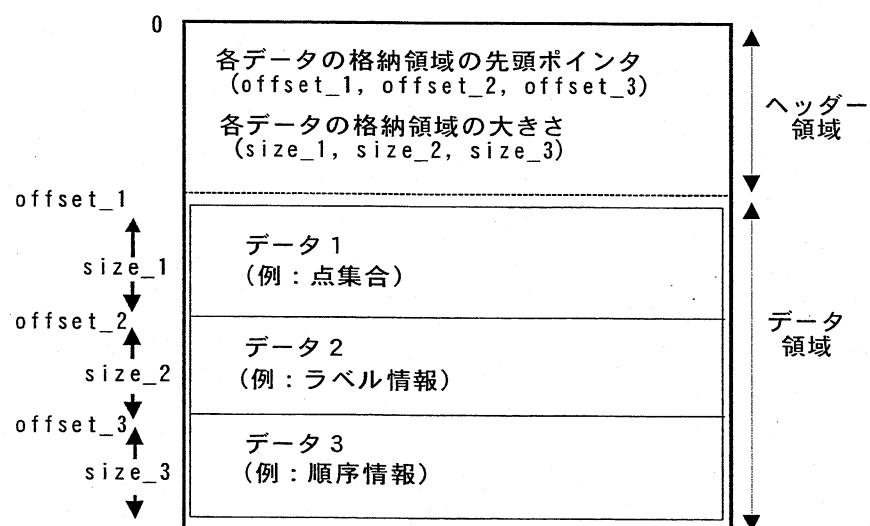
アスキーデータファイルについては、人体寸法と計測点の各格納エリアの先頭に、各エリアの大きさを表す情報（厳密には、標準的な大きさに対する差分、下図中のsize\_2）が記される。この情報をもとにファイルを読み込む。



アスキーデータファイルの内部構造

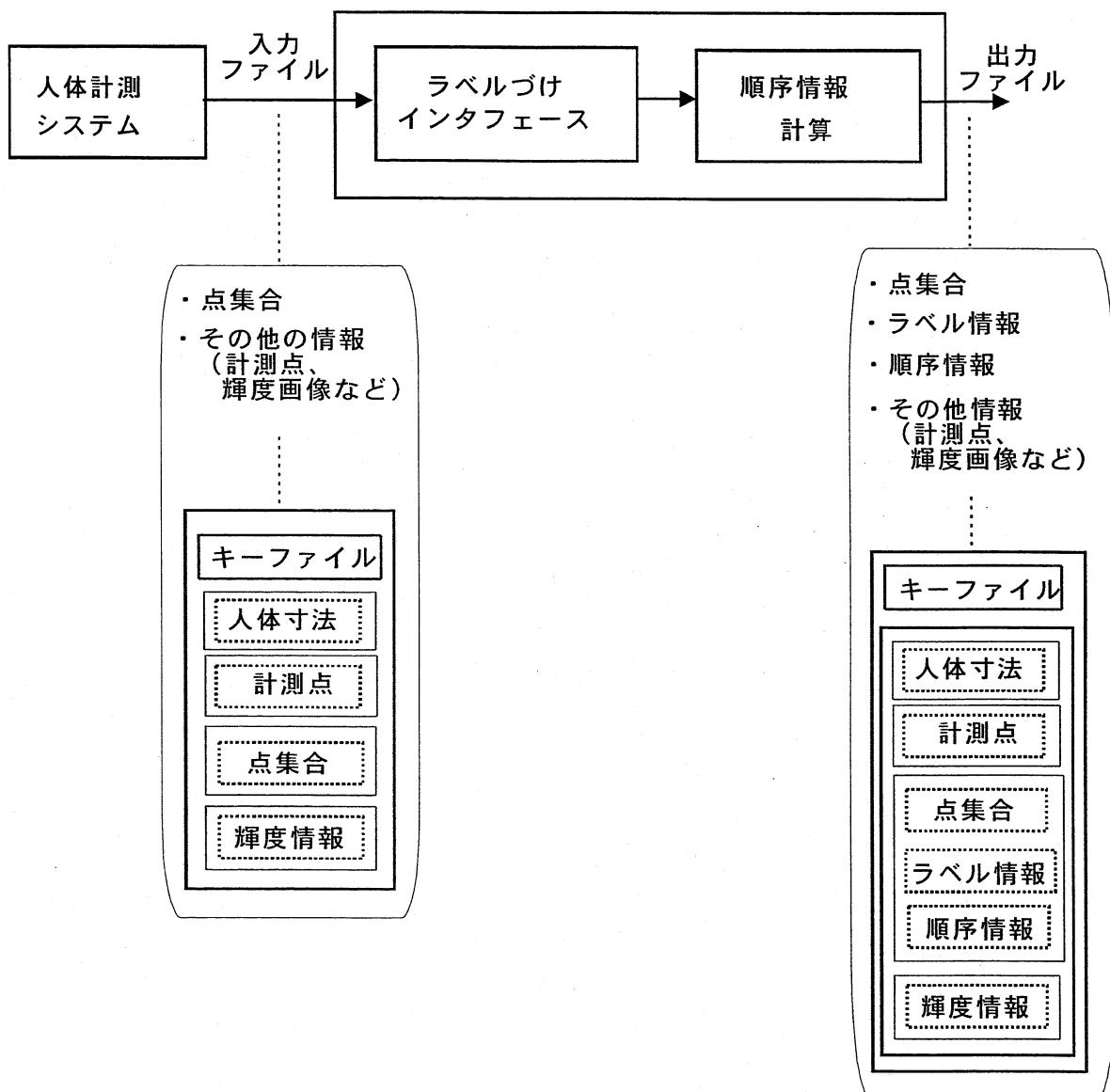
バイナリデータファイル（形状、画像）については、それぞれのファイルの先頭にヘッダー領域を持つ。ヘッダー長は可変である。各データの格納領域は、ヘッダー領域に書き込まれる二つの情報、すなわち、ファイル先頭からのオフセットと格納領域の大きさを用いて表す。ただし、アスキー形式の人体寸法データファイルは、オフセットなどの情報を行数で管理するのに対し、残る二つのバイナリデータファイル（形状、画像）は、バイト数で管理する。

#### 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。



## 8. 2 キーデータファイル

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\_Race 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 脊囲 (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を表す。

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。

### 8. 3 人体寸法データファイル

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。

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>

...

66行目：ウエスト囲(mm) <TAB> 計測方法 <CR/LF>

67行目：下腿最大囲(mm) <TAB> 計測方法 <CR/LF> ※ここまでがISO規定

68行目：前腕最大囲(mm) <TAB> 計測方法 <CR/LF>

69行目：前腕長(mm) <TAB> 計測方法 <CR/LF>

...

## 8. 4 特徴点データファイル

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。

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 (IS07250 2.2.1) <CR/LF>
- 3行目： acormiale, r 右肩甲骨の肩峰外縁の再外側点 (IS07250 2.2.1) <CR/LF>
- 4行目： cirvicale 第7頸椎棘突起の先端 (IS07250 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 (IS07250 2.2.9) <CR/LF>
- 6行目： iliospinale anterius, l 左上前腸骨棘の最下点 (IS07250 4.1.6) <CR/LF>
- 7行目： iliospinale anterius, r 右上前腸骨棘の最下点 (IS07250 4.1.6) <CR/LF>
- 8行目： metacarpale radiale, l 左第2中手骨頭の最も桡側の点 (IS07250 4.3.3) <CR/LF>
- 9行目： metacarpale radiale, r 右第2中手骨頭の最も桡側の点 (IS07250 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 (IS07250 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 (IS07250 4.3.3) <CR/LF>
- 12行目： orbitale, l 左眼眼窩縁の最下点 (IS07250 2.2.8) <CR/LF>
- 13行目： orbitale, r 右眼眼窩縁の最下点 (IS07250 2.2.8) <CR/LF>
- 14行目： pternion, l 左踵骨の最も後方の点 (IS07250 4.3.6) <CR/LF>
- 15行目： orbitale, r 右踵骨の最も後方の点 (IS07250 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 (IS07250 2.2.19) <CR/LF>
- 17行目： stylion, l 左橈骨茎状突起最遠位点 (IS07250 4.2.7)
- 18行目： stylion, r 右橈骨茎状突起最遠位点 (IS07250 4.2.7)
- 19行目： thelion, l 左乳頭の中心 (IS07250 4.2.16)
- 20行目： thelion, r 右乳頭の中心 (IS07250 4.2.16)
- 21行目： tibiale, l 左脛骨近位端、内側上縁の点 (IS07250 2.2.29)
- 22行目： tibiale, r 右脛骨近位端、内側上縁の点 (IS07250 2.2.29)
- 23行目： tragion, l 左耳珠の直上の切痕 (IS07250 2.2.30) <CR/LF>
- 24行目： tragion, r 右耳珠の直上の切痕 (IS07250 2.2.30) <CR/LF>

## 8. 5 形状データファイル

### 8. 5. 1 ヘッダ一部の記述

#### (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&…

(xi) 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 …

(vii) R\_AxisStart 主軸情報データ領域の先頭ファイルポインタ

(viii) R_AxisSize	主軸情報データ領域のサイズ	形式 : long int
(ix) R_AxisNum	ラベル内の主軸の情報	形式 : long int
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。		形式 : 文字列
例 :	R-AxisN:3\$4&2&2&2&3	

## 8. 5. 2 データ領域の記述

### (a) 頂点情報

領域は、8. 5. 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)

## 8. 6 画像 (Texture) データファイル

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、RGB $\alpha$ 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

- (1) テクスチャ画像の枚数 (T\_ImageNum) 形式 : long int
  - (2) 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
  - (3) 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
  - (4) 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
  - (5) 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

## 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) 相对番地 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,  $\alpha$  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 OFFH である 16 進数値で表す。

例 (R, G, B,  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  成分)

(画素(2, 0)の R 成分) (G 成分) (B 成分) ( $\alpha$  成分)

· · · · ·

(画素(Xsiz-1, 0)の R 成分) (G 成分) (B 成分) ( $\alpha$  成分)

(画素(0, 1)R 成分) (G 成分) (B 成分) ( $\alpha$  成分)

· · · · ·

(画素(Xsiz-1, Ysize-1)R 成分) (G 成分) (B 成分) ( $\alpha$  成分)

### (3) 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。

## 8. 7 その他のデータファイルへの変換

また、ユーザの使用が想定される様々なソフトウェア環境に適合するように以下のフォーマットへの変換が可能である。

拡張子	ソフト名	ファイルフォーマット形式
.3d	CAD-3D	CAD-3D
.3dm	Quick Draw 3D binary	Quick Draw 3D
.3ds	3D Sutudio	3D Studio mesh
.b3d	Quick Draw 3D binary	Quick Draw 3D
.byu	Movie BYU	Movie BYU
.cdl	CADKey CADL	CADKey CADL
.cob	TrueSpace	trueSpace
.dat	Brender	Brender
.dem	Vista DEM	Vista DEM landscape
.dwb	Coryphaeus	Coryphaeus binary
.dxr	AutoCAD DXF	autoCAD
.flt	OpenFlight	OpenFlight
.geo	Nichimen & Symbolics	Nichimen
.hrc	SoftImage	Softimage binary
.inp	GDS things	GDS things scene
.iob	Imagine & Turbo Silver	Imagine
.iv	Inventor	Inventor
.lw	Lightwave	Lightwave object
.mli	3D Sutudio	3D Studio material
.mtl	Wavefront	Wavefront materials
.nff	Haines NFF	Haines NFF
.obj	Wavefront	Wavefront object
.ooo	GDS things	GDS things object
.plg	PLG	PLG
.pol	Vertigo	Vertigo object
.pov	POV-Ray 2.0	POV-Ray 2.0
.prj	3D Sutudio	3D Studio mesh
.qua	Alias	Alias quad
.raw	RAW	Raw triangles
.rib	RenderMan	RenderMan RIB
.rpl	Real 3D	Real 3D script
.rwx	RenderWare	RenderWare
.sce	Sculpt 3D/4D	Sculpt 3D/4D
.scn	Lightwave	Lightwave scene
.sg	Alias StyleGuide	Alias StyleGuide
.sla	Stereolithography	Stereolithography binary
.slp	Pro/ENGINEER Render	Pro/ENGINEER Render

.stl	Stereolithography	Stereolithography binary
.thf	GDS things	GDS things object
.tri	Alias	Alias triangle
.ts	Imagine & Turbo Silver	Turbo Silver 3.0
.txt	Statistics	Statistics
.wrl	VRML	VRML 97
.x	Direct 3D	Direct3D Frame Binary
.xof	RenderMorphics	RenderMorphics binary

以上





