平成１３年度
新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書

知的基盤創成・利用技術研究開発

高効率人体計測器の研究開発

平成 14 年 3 月

社団法人　人間生活工学研究センター

平成 13 年度　新エネルギー・産業技術総合開発機構研究受託成果報告書
知的基盤創成・利用技術研究開発　「高効率人体計測器の研究開発」

要約：

１．試作機検証実験・ハードウェアの改良

作製した試作機検証結果を検討したところ、誤差原因として①レーザの投光中心とモータの回転中心のズレ、②モータ加速度状態での形状データの歪み、③計測ユニット取り付け位置の調整不良、④フィルター取り付け位置による形状データの歪み、が考えられ、これらを改良・調整した。しかし、調整では対応しきれない部分について、①レーザ投光方向の変更（縦走査から横走査へ）、②レーザスリット数の変更（９本から３本へ）、③CCD カメラの変更（通常カメラから倍速カメラへ）、を実施し、最終品を完成させた。

２．人体計測用基準物の作製（「手計測変換プログラムの作成」から変更）

三次元人体全身形状計測装置の精度検証が可能となる基準物を、実際の人体を想定して作製した。

３．開発計測器が具備するソフトウェアの開発検証

特徴点座標値抽出プログラムについて、側方より捉えたマークシールの重心の精度に問題があり、自動抽出方式に加え、手動抽出も可能な方式に変更した。

形状算出プログラムにおいて、非常に煩雑な作業となっていたマルチスリットレーザ移動範囲を同定する作業に関し、これを半自動同定するプログラムを開発した。

Summary:

1. Validation of the scanner and improvements of the scanner

The possible causes of systematic errors were 1) adjustment errors on the focus of the projected laser, 2) unstable motor speed at the startup, 3) adjustment errors of range finder modules, and 4) low S/N ratio in the peripheral area. After solving the above problems, the body dimensions of seven dummies were compared again.

Errors were reduced for most of the dimensions, but in several body dimensions errors were increased instead of reduced. The main cause of the errors are considered to be problems in data merging, namely the calculation errors in converting the local coordinate system of each range finder to the global coordinate system. The final scanner was produced improving by 1) change of scanning laser direction, 2) change the number of laser slits and 3) change the CCD camera.

2. Making of the calibration gage

The calibration gage was a rigid object with markers, circular gray seals of 9 mm in diameter. The markers were pasted accurately on a rigid object at intervals of 250 mm for the horizontal direction and of 100 mm for the vertical direction.

3. Software of operating the scanner

The extracting landmark coordinate program has the problem of accuracy detecting the center of each landmark seal, so we change automatic to manual operation. Shape-calculate program has the semi-automatic way about detecting the area of laser slit scanning.

目次

はじめに ---------- 4
第1章　本年度研究概要 ---------- 6
１．１　これまでの研究実施内容 ---------- 6
１．２　本年度の研究実施内容 ---------- 6
１．３　委員会の設置 ---------- 7
１．４　実施計画日程 ---------- 9
第2章　基本センサ開発 ---------- 10
２．１　基本センサ設計 ---------- 10
２．２　イメージエンコーダ法 ---------- 10
２．３　マルチスリットレーザによる計測 ---------- 12
２．４　基本センサ仕様 ---------- 13
２．５　レーザ投光機構のマルチスリット化の問題点 -------- 14
２．６　対応策 1－ソフトウェアによる補正 ---------- 15
２．７　対応策２－シリンドリカルレンズによる補正 -------- 16
２．８　対応策 3－ロッドレンズによる補正 ---------- 17
２．９　スリットの湾曲に対する検討結果 ---------- 19
第3章　試作器開発 ---------- 20
３．１　隠れ部位計測法の検討 ---------- **20**
３．２　検出ヘッドの同時操作 ---------- **24**
３．３　データマージ法の検討 ---------- **25**
３．４　形状演算 ---------- **26**
３．５　特徴点抽出 ---------- **33**
３．６　試作器の詳細仕様 ---------- **35**
３．７　ソフトウェア ---------- **41**
第4章　最終品開発 ---------- **46**
４．１　試作器精度検証 ---------- **46**
４．２　試作器調整 ---------- **49**
４．３　改善方針 ---------- **53**
４．４　最終品仕様 ---------- **55**
４．５　付属ソフトウェア ---------- **60**
４．６　最終品精度検証 ---------- **68**
４．７　形状合成 ---------- **100**
おわりに ---------- **104**

はじめに

近年、消費者ニーズの多様化や急速な高齢化により、人体に適合した衣類、寝具、住宅設備等の需要が拡大しており、身体計測データを新たな製品開発や既存製品の高付加価値化に反映させることが求められている。社団法人人間生活工学研究センター（以下、「HQL」という。）が自主事業として 1992 年から 1994 年にかけて行った計測により構築された 34,000 人の人体計測データベースは、衣料サイズ JIS 規格の改訂等、人体適合製品開発に大きく貢献してきた。

この計測において 三次元人体計測器を用いた三次元画像データは、被計測者の負担軽減を目的とした寸法データ取得のための補助手段という位置付けであった。しかし近年、コンピュータを用いた製品設計の普及に伴い、産業界での設計現場よりコンピュータ上で扱える三次元人体形状データへのニーズが急増している。

また、現在 ISO 及び CEN において、人間の形態特性に関する規格としては、「設計のための基本人体寸法計測法」（ISO-7250）が正式規格として制定され、また「人体寸法データベースの構成要素」（NP-15535）及び「製品等評価のための人体寸法的視点からの被験者選定法」（NP-15537）が新規規格として提案されているが、これらはいずれも人体の「寸法」に係る規格である。今後は人体の「形状」データについての国際規格化が進むと見られ、米国を中心として実施された CAESAR 計画（Civilian American and European Surface Anthropometry Resource Project；1 万人規模の欧米人の人体形状データの計測とデータベース化プロジェクト）はその先駆けとなるものであり、単なる寸法データだけでなく 三次元形状データを取得し、データベース化することを目的としている。

このような流れの中で、HQL では 新規産業育成即効型国際標準開発事業において身体形態特性データの計測・データベース化手法に係る標準化の研究開発に着手し、三次元人体形状データの数値化への手法開発や人体形状の類型化の研究開発等、三次元形状データの規格や取り扱いに関しての技術開発に着手してきている。

一方、先に述べた HQL の人体計測データベースは計測開始から既に 7 年が経過しており、データの陳腐化が懸念され、韓国のように 5～10 年の間隔での定期計測を求める声が強い。このような中、HQL は本事業において、近年技術の進歩が著しい、光学的方法による三次元形状計測技術と高性能なコンピュータによる画像処理技術により、人間の体型とサイズを高速・高精度で計測し、その結果を速やかに製品設計へと適用できるよう、寸法データ、三次元形状データとして出力できる高効率人体計測器の開発研究を独立行政法人 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究ラボ（以下、DHL という。）との共同研究によって行っている。

本報告書は、今年度成果を含め、当該事業に係る 3 年間の研究成果をまとめたものである。

第１章　本年度研究概要

１．１ これまでの研究実施内容

今回の「高効率人体計測器の研究開発」における最終開発目標は「人間が不動に耐え得る 1 秒程度の迅速な速度で、なおかつ 1mm 程度の高精度を有する計測によって、寸法データ採取の基礎となる特徴点が正確に特定され、現実の身体形状を忠実に再現する三次元身体形状データを取得できる」ことにある。このような三次元身体形状データが自由にコンピュータ上にて操作可能となれば、寸法データを始めとしてあらゆる身体形状特性データが随時採取可能となり、人間に適合した製品設計へ迅速に対応できる知的基盤が整備されることとなる。これまでの経緯としては、平成 11 年度に計測器の心臓部に当たる基本センサ部分の開発を完了、平成 12 年度はセンサ部分の改良を経て、隠れ部位の計測法の検討後、試作機図面を作成した。

１．２ 本年度の研究実施内容

本年度は本事業最終年度として試作機図面を基に試作機を作製、これを用いた検証実験を経た後、ハードウェア、ソフトウェアともにブラッシュアップを重ね、最終品として完成させることを目標にする。

①試作機検証実験・ハードウェアの改良

作製された試作機を用いて、実際に様々な体型の被験者計測を実施しデータを収集、その結果、当初仕様に対する達成度を検証する。具体的な内容としては計測スピード、計測精度、既存隠れ部位のカバー率、特徴点座標抽出時における誤差、寸法算出誤差など。また、この検証によって新たな問題点が抽出された場合、その解決策を検討し、ハードウェアの改良を行い、最終品として完成させる。

②手計測寸法変換プログラムの作成

三次元形状形状データより算出される人体寸法値は、衣服設計、工業製品設計や設備設計を中心とした知見が蓄積されている手計測寸法値との間に、ズレが生じる可能性がある。それは特に周囲長や体表長計測時におけるテープメジャー計測に起因する。テープメジャー計測は体表面形状を正確にトレースするというより多少締め付けて計測するためその分データが小さくなる傾向にある。しかし、このような計測法で測られたデータを基に衣服設計をはじめ製品設計に関する知見が蓄積されているため、これらのデータ

との整合性をとる目的で、形状抽出寸法データから手計測データへ変換するプログラム開発を、必要なデータ計測と併せて行う。

③開発計測器が具備するソフトウェアの開発検証

画像マージソフト、特徴点座標抽出ソフト、寸法算出ソフト開発では、フィッティングによるデータ補完法等を考慮しながら進めるとともに前述した試作機検証実験の際に開発中ソフトウェアのテスト試用を実施し不具合の確認を行った後に完成させる。

平成 11 年度研究内容を第 2 章に、平成 12 年度研究内容を第 3 章に、そして平成 13 年度研究内容は第 4 章に記述した。

１．３　委員会の設置

１．３．１ 検討委員会委員構成

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。

（委員長）

河内 まき子	独立行政法人 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究ラボ 主任研究員

（委員）［五十音順］

芦澤 玖美	大妻女子大学 人間生活科学研究所 教授
岸本 泰蔵	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
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
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
美濃 導彦	京都大学 総合情報メディアセンター 教授
持丸 正明	独立行政法人 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン研究ラボ 副ラボ長
森廣 治	株式会社ホリカワ 総合企画部 技術開発課

（オブザーバー）

中山　泰	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　チーム長
室崎 外志行	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 チーム長補佐
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 係長
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
畠山　孝	新エネルギー・産業技術総合開発機構 研究開発業務部 知的基盤・基準創成課 課長
小川 忠俊	新エネルギー･産業技術総合開発機構 研究開発業務部 主査：（平成 13 年 6 月末日まで）
数井 正巳	新エネルギー･産業技術総合開発機構 研究開発業務部 知的基盤・基準創成課　主査：（平成 13 年 8 月 1 日より）

（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
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
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

１．３．２　委員会の活動

（１）第 1 回検討委員会

- 日時：平成 13 年 10 月 24 日（水）14 時 00 分－16 時 00 分
- 場所：独立行政法人 産業技術総合研究所　関西センター
- 　　人間計測連携研究棟 1 階シールドルーム前室
- 委員欠席者：中澤 和夫、平尾 章成、美濃 導彦
- 内容

①（開発試作計測器・見学）
②今年度事業計画について
③精度検証と改善点について
④今年度開発方針について

（2）第2回検討委員会

- 日時：平成13年3月11日（月）14時00分－17時00分
- 場所：株式会社　ＥＲＤ（イー・アール・ディー）　会議室
- 委員欠席者：中澤 和夫、美濃 導彦
- 内容

①（開発計測器・見学）
②基準板検証結果について
③人体ダミー検証結果について
④形状合成ソフトについて

１．４　実施計画日程

項目	平成１３年									平成１４年		
	4	5	6	7	8	9	１０	１１	１２	1	2	3
①試作機検証実験・ハードウェアの改良			→	→	→	→	→	→	→	→	→	
②人体計測用基準物の作製										→	→	
③開発計測器が具備するソフトウェアの開発検証			→	→	→	→	→	→	→	→	→	
検討委員会運営				○			○			○		
報告書作成								→	→	→	→	→

第２章　基本センサ開発

２．１　基本センサ設計

基本センサ(スキャナヘッド)は，短時間計測(目標値は 1 秒)が重要な課題である。そのため，イメージエンコーダ法（後述）では，精度の高い形状データを得るには計測に 8 秒程度の時間を要するため，採用することは出来なかった。そこで，動いている物体の形状計測に使用したことがある同時スキャンモアレ投光法を用いることを採用することとした。これは，波長の異なったレーザ(635nm および 690nm)を使用し，物体に投光されたレーザ光を撮影するカメラに対して光学フィルタを使用することで，複数のレーザを複数のカメラで同時に撮影することが可能となる。また，1 つのレーザ投光ユニットから複数のスリット状のレーザ光を投光するものである(以降，マルチスリットレーザ)。　本方式による精度は，モアレ方式を採用したため，投光するレーザのスリット本数に比例することが分かっている。しかし，スリット光が照射されていない部分(スリットとスリットの間)は，形状を得ることが出来ないため，スリット間の形状を補間することとなる。これでは，要求された精度を保証することができないため，別の方式を採用することとなった。

イメージエンコーダ法では，1 本のスリット光を使用して物体表面を走査するため，計測に時間を要する必要があった。　そこで，同時スキャンモアレ投光法にヒントを得てマルチスリットレーザを物体表面に投光してスリット間隔分を走査することで短時間に精度の高い形状を得ることができると判断した。この方式では，スリット間隔分を走査するため，スリット本数が多ければ多いほど短時間に精度の高いデータを得ることができ，n 本のスリットを投光した場合,1 本のスリットに対して 1/n(理論値)の計測時間になることが分かる。しかし，スリット本数を増加させるとマルチスリット特有の不確定性の問題が発生する。これは，物体表面に大きな段差(スリット間隔より大きいもの)が存在すると，カメラから撮影する方向によってスリットの位置関係が判別できなくなるというものである。そこで，物体表面の段差に 100mm 以内という制限を設け，それ以上の段差があるものについては計測不可とすることで，スキャナの開発に着手した。

２．２　イメージエンコーダ法

イメージエンコーダ法は、物体表面にスリット光を投光し，回転走査するスリット光を CCD カメラにて撮像する。撮像したスリット光に対する投光角度を記録した投光角度コード化画像(以降，コードデータ)から，3 次元形状を算出する方式である。イメージエンコーダの構成例としては，図２－1 に示すように内部に 2 つの画像メモリ A,B を持ち，画像メモリ

A は，スリット光が通過したときの最大輝度を蓄積し，スリット光の合成画像を得る。画像メモリ B は，スリット光が通過したときに最大輝度を得たときの投光角度をコード化して蓄積し，投光角度の合成画像を得る。イメージエンコーダ法の利点は、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光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２－２にイメージエンコーダを使用した形状計測のシステム構成例を示す。

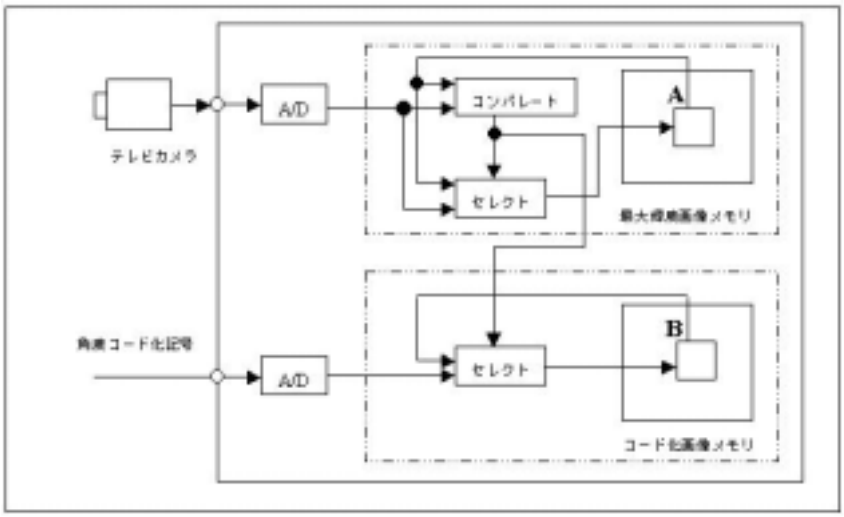


図２－１　イメージエンコーダの構成例

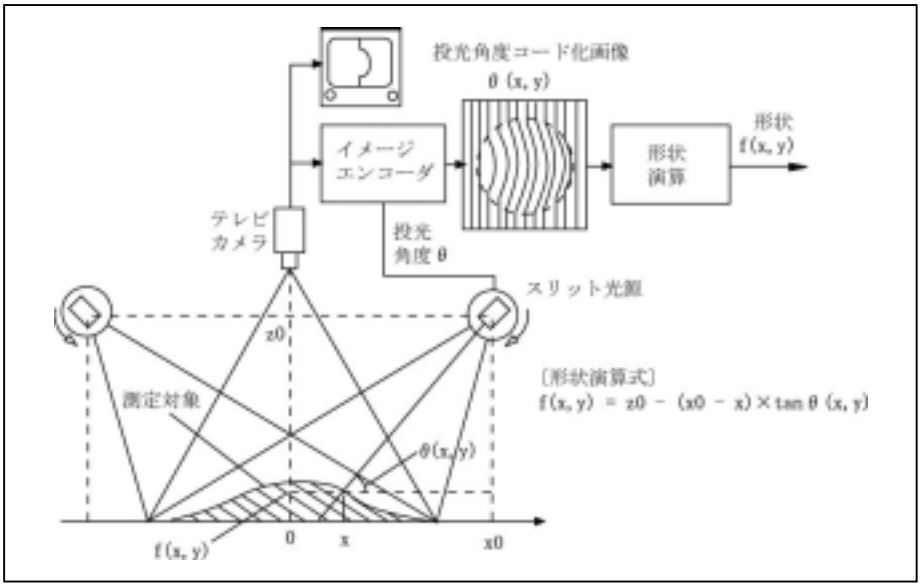


図２－２　形状計測のシステム構成例

２．３　マルチスリットレーザによる計測

本計測器で使用されるマルチスリットレーザによる計測原理は、シングルスリットによるイメージエンコーダ法と基本的には同様の原理を使用している。イメージエンコーダ法は計測範囲を撮影するCCDカメラの全画素にレーザの投光画像が撮影されなければ計測を終了できない。これをシングルスリットの場合は１本で担当する為、端から端までを走査する時間が必要となっていた。しかし、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次のスリットが走査を開始する位置までの間隔のみとなり、計測に必要な時間を短縮することができる。図２－３にマルチスリットによる走査の様子を示す。

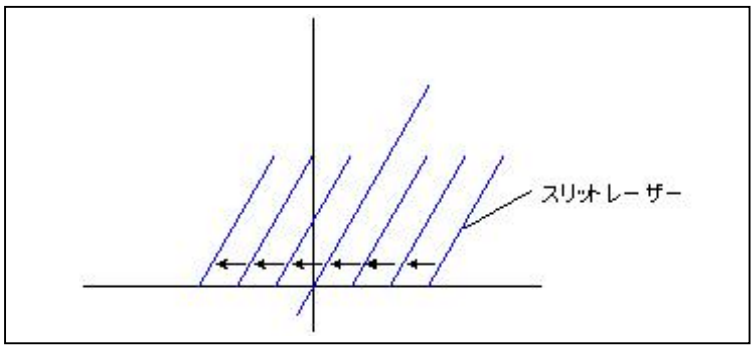


図２－３　マルチスリット走査の様子

1 本のスリット光によるコードデータは，投光角度をコード化したデータであるため，図２－４(a)のようにスリット光の走査時間の経過と共にコード値が大きくなる。しかし，マルチスリットレーザを使用したイメージエンコーダ法の場合，スリットの間隔分だけを走査することになるため，図２－４(b)のように、のこぎり状のコードデータを生成することになる。これは，スリット光が通過したときの投光角度をコード化したとき，複数のスリットを同時にコード化するためである。

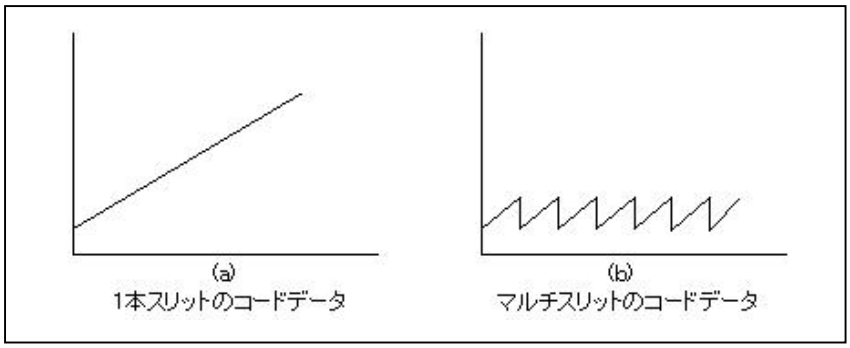


図２－４　生成されるコードデータの相違

２．４　基本センサ仕様

従来の計測器では､計測精度の確保のために計測時間約 30 秒を必要としていた｡これは、本計測器・従来器共に使用している計測原理「イメージエンコーダ法」に基づくものである。　イメージエンコーダ法では，CCD カメラにて計測対象を撮影しながら、レーザを走査し、撮像されたフレーム毎の画像で計測対象の全画素にレーザが当たっていることが必要となる。よって、従来器では、CCD カメラの撮影速度以上のスピードでレーザを走査することが不可能であり、精度よく計測を行なうには，計測に要する時間は約 30 秒必要となる。人体計測を行なう場合，計測時間が長くなると被験者が一定の姿勢を保つことができず，揺れなどの体動揺が発生してしまい，形状データにノイズとして発生してしまう。また、一定の姿勢を長時間保つということは被験者に対して身体的・精神的な負担となってしまう。このような状況から，本計測器の開発目標として計測時間 1 秒があげられた。そこで，短時間に精度よく計測できる方式として，イメージエンコーダ法とマルチスリットレーザを用いた計測方式を採用することとした。これは，レーザの投光方式をシングルスリットからマルチスリットに変更することによる計測時間の短縮と，従来からのイメージエンコーダ法を用いることで，精度のよいデータを得ることが出来るということである。以上の検討結果から，表２－1 に示す仕様の基本センサを製作することとした。また、設計概要図を図２－５に示す。

表 ２－1　基本センサの仕様

項目	仕様	備考
測定範囲	600mm×450mm×±200mm	測定限界段差 100mm
測定時間	0.4 秒	
CCD カメラ	2/3 インチ　NTSC 方式	XC-ST70(SONY)
レンズ	f=16mm	C1614A(コズミカ)
カメラ距離	1200mm	
半導体レーザ	690nm　30mW　13 本　2.3°　30°	SNF-513L(2.3°)-690-30-30
	635nm　15mW　13 本　2.3°　30°	SNF-513L(2.3°)-635-15-30
レーザ回転機構	ステッピングモータ＋ハーモニックギヤ	UPK543BW-H100(オリエンタル)
レーザ投光角	約 30 度	
レーザ回転角	2.3°	

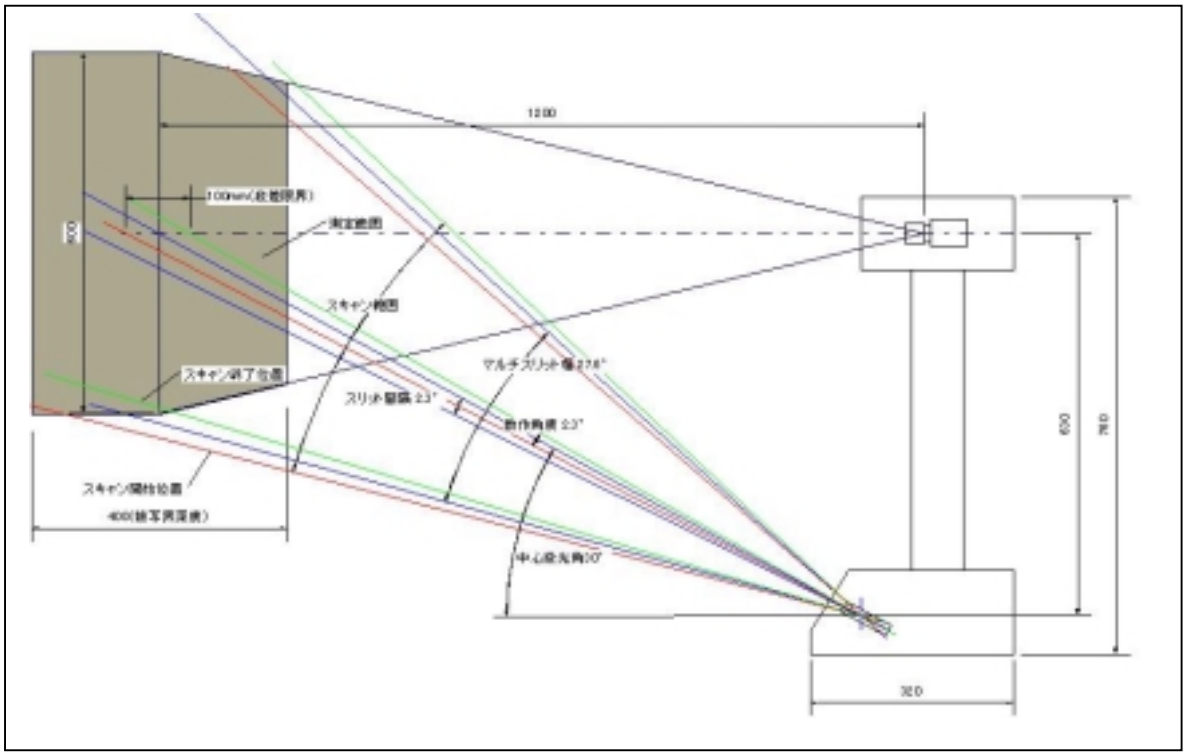


図２－５　基本センサの概要

２．５　レーザ投光機構のマルチスリット化の問題点

既存計測器で採用しているレーザ投光機構は，１本スリット(以降，シングルスリット)レーザ専用に設計されており，本機構を流用することは構造的に無理があった。効率よく製作を行なうために，市販されているレーザ投光ユニットを用いることとした。その結果，モアレ投光法を使った計測器を製作した際に使用した製品を使用することで，容易にマルチスリットレーザを投光する機構を製作することが可能となった。この製品は，１つのレーザ素子から投光されたレーザ光をグレーティングマスクを通すことで，マルチスリットを実現しているもので，レーザの投光中心が １ 点であること，小型であることが採用の決め手となった。レーザの投光ユニットが小型であることから，ステッピングモータにて駆動することが比較的容易となり，基本センサ(スキャナヘッド)を比較的小さく製作することが可能となった。これは，複数のスキャナヘッドを搭載することで隠れ部位を少なくすることを前提とした計測器であるため，非常に有効であった。

既成品に使用されるレーザを分光する為の回折格子の設計上、投光したレーザに糸巻き状の湾曲が発生することが判明した（図２－６）。本計測器では１本のレーザは常に直線であることを前提として形状演算を行う為、湾曲のあるレーザでは演算される形状も湾曲を起こしてしまう。よって既成品のマルチスリットは断念し、独自の方法によって湾曲のな

いマルチスリット開発を行った。既成品マルチスリットのレーザのたわみは１点から投光されるレーザを既定の投光角度を持つ線レーザーへ広げるために 1 つのレンズしか使用しないために起こる。 １点から投光されたレーザが角度を広げるレンズに入射するまでの光路の差が湾曲となる為である。

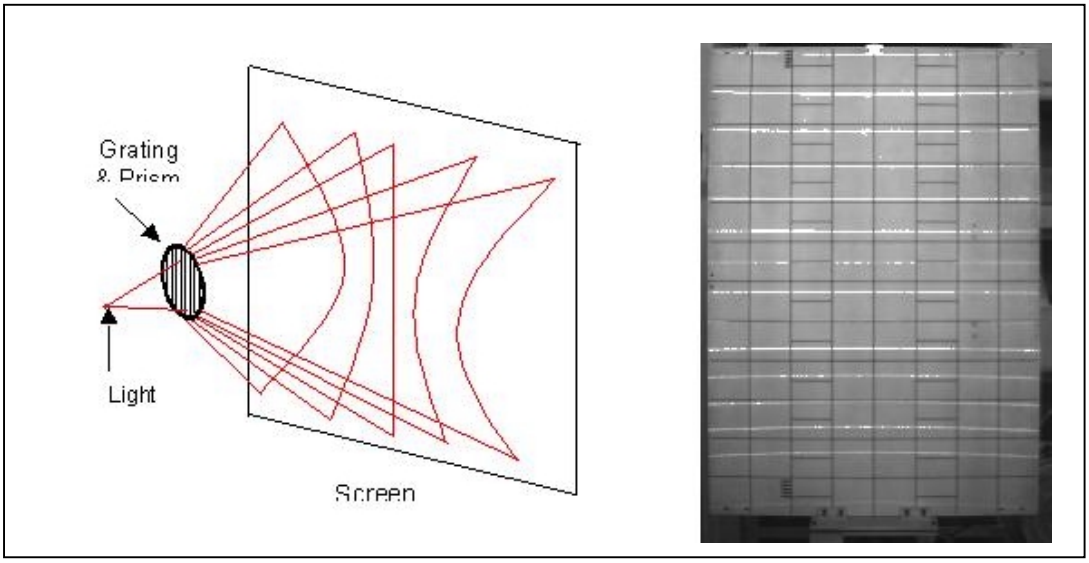


図２－６　マルチスリットにおけるレーザの湾曲

２．６　対応策 1－ソフトウェアによる補正

ソフトウェアによる補正では，レーザ本体には何も施さず，湾曲した状態のスリットを使用する。湾曲したスリットを撮像した画像から各スリットの湾曲量を画像処理によって算出し、投光角度のずれ量を導き出す方式であり，図２－７、図２－８に原理を示す。

この原理において，干渉格子を使用したマルチスリットであることから，θ_{Lx} と θ_{Ly} の間には以下の関係式がある。

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

m　：中央からのライン数

λ　：レーザの波長

p　：干渉格子の間隔

ここで平面図より

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

側面図より

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

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、λ、p、θ、θ_{cx}、θ_{cy}は既知の値として入力できるため，式①，④の連立式から，θ_{Ly}およびθ_{Lx}を算出する。θ_{Ly}およびθ_{Lx}を用いて，レーザの投光角度毎にスリットに対応するコードデータの補正を行なう。これにより，スリットの湾曲を補正した形状を算出することが可能となる。

スリット毎に湾曲の補正量を導き出すための連立方程式を構築することは可能であるが，この連立方程式を展開するためには，各変数を、細かく変化させながら近似値を導き出さなければならず，湾曲を補正する処理に膨大な演算時間を必要する。これでは，計測器としての実用性が無くなるため当該補正処理は行なわないこととした。

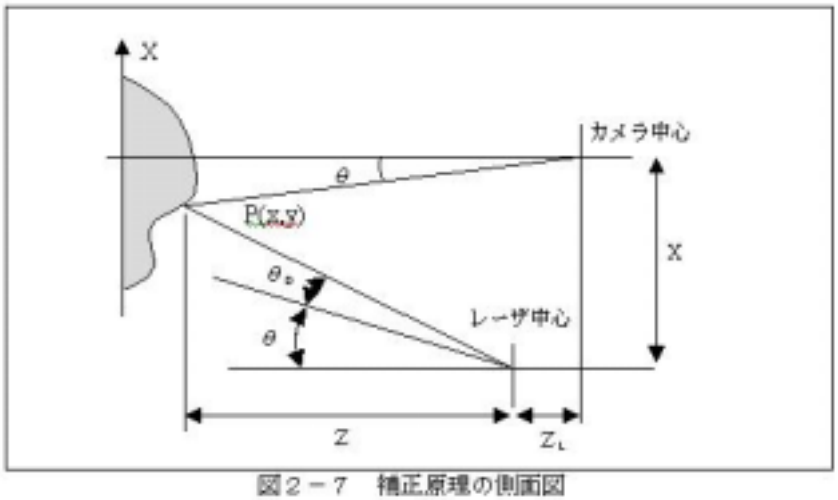


図２－７　補正原理の側面図

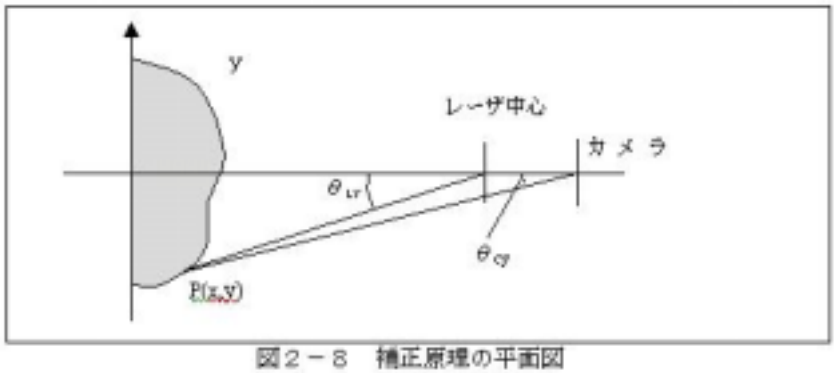


図２－８　補正原理の平面図

θ　：センターレーザの投光角度
θ_{cx}：カメラと点 P との垂直方向角度
θ_{cy}：　〃　水平方向角度
θ_{Lx}：センターレーザと点 P の垂直方向角度
θ_{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
θ_{Ly}：レーザと点 P における水平方向角度

２．７　対応策２－シリンドリカルレンズによる補正

マルチスリットレーザユニットから投光された、糸巻き状に湾曲したスリットを、逆方向に湾曲させることで，直線のスリットを投光する方法である。これは，レーザの投光部の前面に，レーザ投光部に使用されているレンズの曲率に合ったシリンドリカルレンズを配置することで，湾曲したレーザが直線として投光されるというものである。

検証を行なうために，f=12.7mm および，f=60mm の 2 種類のシリンドリカルレンズを使用した。このレンズをマルチスリットレーザの前面に，15 本のスリット光が通過するように設置した。このレンズを通過したスリット光は，1700mm 先の基準平板に投光し，その湾曲量の確認した。

シリンドリカルレンズを通過することで、逆向きの湾曲が生じ、湾曲が相殺するスリットもあったが、曲率の合わないスリットは、湾曲した状態が残った。また，投光直後には湾曲していなスリットが，湾曲してしまう場合もあった。1 つのシリンドリカルレンズを使用して、各スリットに対して湾曲を補正しようとすると、スリット毎にシリンドリカルレンズへの入射角が異なってしまい，すべてのスリットに対して湾曲を補正するには、非常に特殊なシリンドリカルレンズを使用する必要ある。

このように，曲率が入射角に応じて変化している既製品は存在していない。また，入射角に応じて曲率を変えた製品を製造が可能なメーカがなく，本方式は採用しなかった。

２．８　対応策 3－ロッドレンズによる補正

当該対策は，マルチスリットの湾曲がレーザユニット内部の光学系に原因がある点に着目し、代替となる光学系を新たに設計するというものである。これは，レーザの投光ユニットとスリットを生成する光学系を分離させるという方式を採用する。この方式で使用するレーザユニットは，同一の投光間隔で複数の点(ドット)レーザを投光するものである。このユニットから投光されるドットレーザ 1 つ 1 つに円柱状のロッドレンズをレーザ投光部前方に配置する。このロッドレンズは，入射した光を直径方向に引き伸ばす役目を果たすため，入射したドットレーザがスリットレーザとして射出することができる。

入射したドットレーザが，スリット状にどの程度の広がりを持つか，ドットレーザに対するロットレンズの調整範囲がどの程度必要かなどを検証するため、ドットレーザユニットと透明なアクリル棒を用いて検証を行なった。

図２－９に示すようにドットレーザのユニットを固定し、レーザ投光部の前方に透明なアクリル棒を配置した。各アクリル棒はドットレーザの入射角がレンズ面に対して直角になるように設置した。直角に入射させるのは，入射角がレンズ面対して斜めとなった場合，射出角も斜めになりスリットが湾曲してしまうためである。

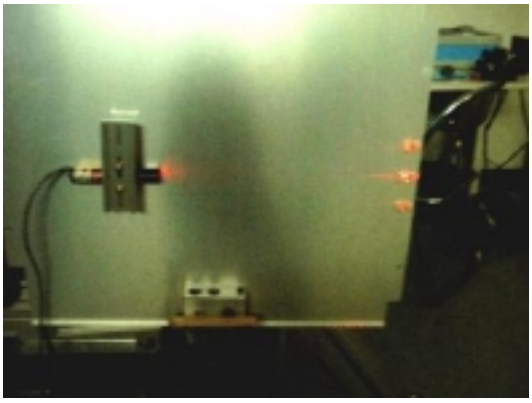


図２－９　アクリル棒による検証風景(1)

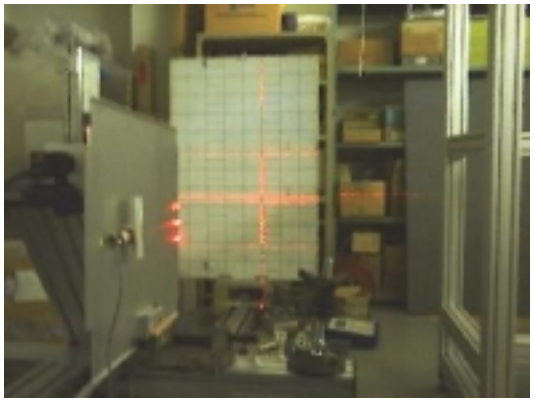


図２－10　アクリル棒による検証風景(2)

アクリル棒による検証では、ドットレーザがレンズ面に対して直角に入射した場合，湾曲のないスリット状のレーザを投光できることを確認した。また，複数のドットに対してもレンズの配置を考慮することで湾曲のないマルチスリットレーザを投光することができた。

ここでの検証では，アクリル棒を使用したため透明度が低く，投光されたレーザの光量が弱く，斑が生じたため，ガラス製のロッドレンズによる検証を再度行なった。

検証に使用したドットレーザユニットは，図２－11 に示すように投光点数が多く十分な間隔が取れない為、1 つのロッドレンズに複数のレーザが入射している。

図２－12 に示すように，ロッドレンズを使用することにより，品質および投光角度に問題の無いことを確認した。

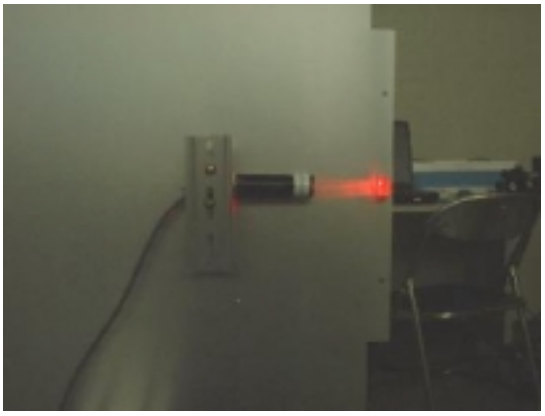


図２－11　ロッドレンズによる検証風景(1)

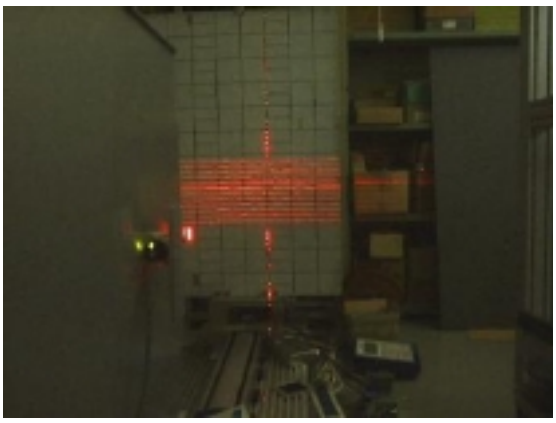


図２－12　ロッドレンズによる検証風景(2)

マルチドットタイプのレーザユニットとロッドレンズを組み合わせた方法により，湾曲のないマルチスリットのレーザユニットを作成できることを確認した。本方式を実現するにあたり，ドットに対応して，ロッドレンズを扇上に並べる構造が必要となり、ロッドレンズへドットレーザが直角に入射するように調整する機構が必要となる。

２．９　スリットの湾曲に対する検討結果

前述したようにスリットの湾曲を補正するために 3 つの方法について検討を行なった。その結果，湾曲のないスリットレーザを確実に生成できる対策である，対応策 3 を採用することとした。この対策では，ロッドレンズを取りつけるための機構やレーザユニットの交換など新たな設計も必要となるが，湾曲のないスリットを確実に生成できることを優先した。レーザ投光部の設計は，マルチスリットレーザを 1 つの投光ユニットで構成するものであったため，レーザ投光部にロッドレンズを並べるためのスペースが存在しなかった。また，15 本のスリットで走査することで設計であると，15 個のロッドレンズを設置すると駆動部分のトルクに問題があり，また，15 本にレーザを分割すると光量のロスが発生することを想定し，9 本に減らすこととした。

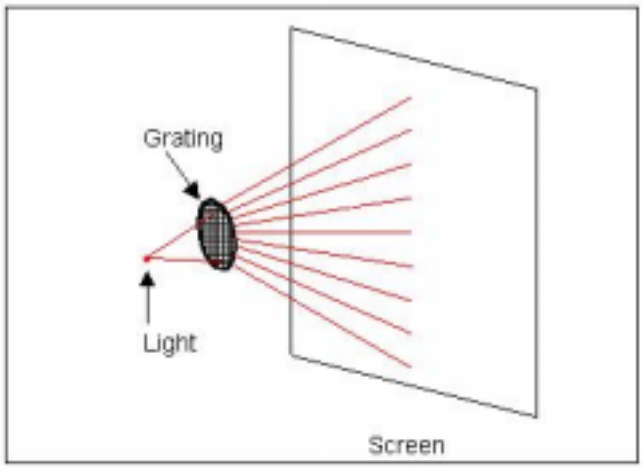


図２－13　点(ドット)レーザの構成

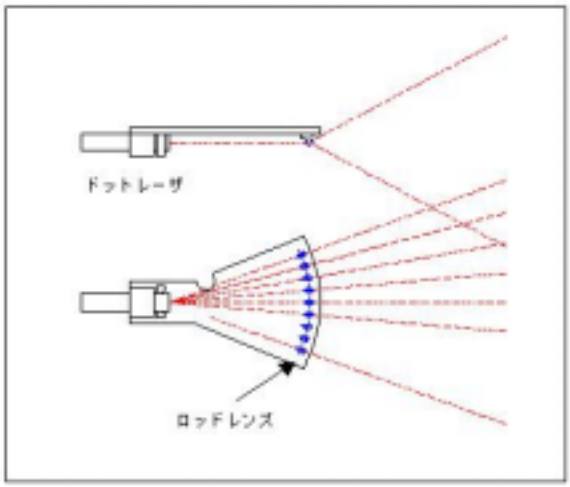


図２－14 ロッドレンズを利用したレーザ投光部

第３章　試作器開発

３．１　隠れ部位計測法の検討

本計測器は，検出ヘッドから投光されたレーザに対象が照らされ、その光を CCD カメラにて撮影することにより，形状を算出することが可能となる。これは，よって従来の水平方向からの計測のみでは、肩部、脇の下、股下などの隠れ部位に対するしては、レーザ光が届かないか、もしくは CCD によって撮影できない為、計測が困難であった。そこで、本計測器では検出ヘッドを前後合わせて 12 台配置し、隠れ部位を撮影するための投光・撮影アングルを設定し対応した。

人体を計測するにあたり、計測画像を撮影する CCD カメラを、どの位置からどういった角度に配置するべきか。またレーザをどの方向から照射すれば、最も高率良く、隠れ部位を低減することができるかを検討する。具体的には通常正面からだけでは計測できない、体側面、肩上部、脇の下、股下、の 4 個所に対して、効果的に計測できるように図面設計し基本レイアウトとした。その基本レイアウトに対して実際に CCD カメラとレーザ投光機を配置し、隠れ部位に関して検討を行った。

初期案として人体全身を体側面まで回り込んで肩上部、脇の下、股下、などを測定するという考え方から 8 台の検出ヘッドを人体を取り囲むように配置することを考えたものである。まず，上半身部分を計測するために図３－１に示す①および②のようにスキャナユニットを上方に配置し、斜め下を計測するように 8 ° 下に傾け、人体側面を計測できるように内側に向けて 25 ° 回り込んだレイアウトにした。これにより人体上半身の体側面と肩上部が計測可能になる。このレイアウトによる計測結果を図３－２に示す。

つぎに下半身と股下、脇の下を計測するために，図３－３に示す③および④のようにスキャナユニットを下方に配置し、斜め上方向に 8 ° 傾け、上半身のレイアウトと同様に内側に 25 ° 回り込んだレイアウトした。これにより人体下半身の体側面と股の下が計測可能になる。このレイアウトによる計測結果を図３－４に示す。これまでのレイアウト検討により，上半身・下半身および体側面の計測が可能となった。しかし，これだけでは股下や脇の下に隠れ部位あり，特に脇の下には腕によって影が発生してしまい大きな隠れ部位となってしまう。そこで，股下と脇の下専用のスキャナユニットを前後に各 2 台，合計 4 台を追加する。図３－５に示すように，⑤、⑥の位置に 4 台のスキャナユニットを人体の脇の幅とほぼ同じ幅に設置し，下から覗き込むように上方へ 15 ° 傾けた。横方向に対しては，角度をつけつけていない。このレイアウトの計測結果を図３－６に示す。

この追加した 4 台のスキャナユニットにより股下、脇の下を計測可能となり隠れ部位の大幅に減少することを確認した。これらの検討結果より図３－７に示すレイアウトを決定した。

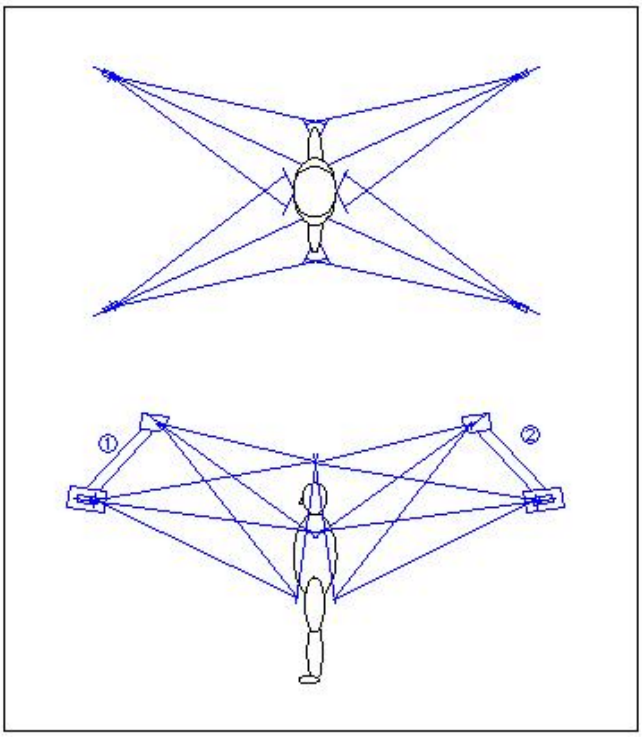


図３－１　上半身部分のレイアウト

①スキャナユニット確認画像　　②スキャナユニット確認画像

図３－２　上半身の計測結果画像

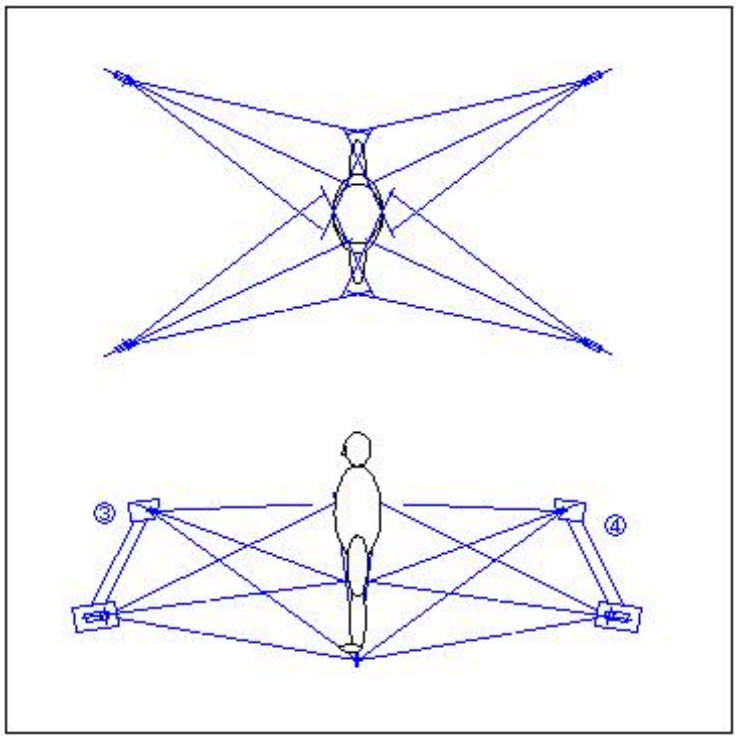
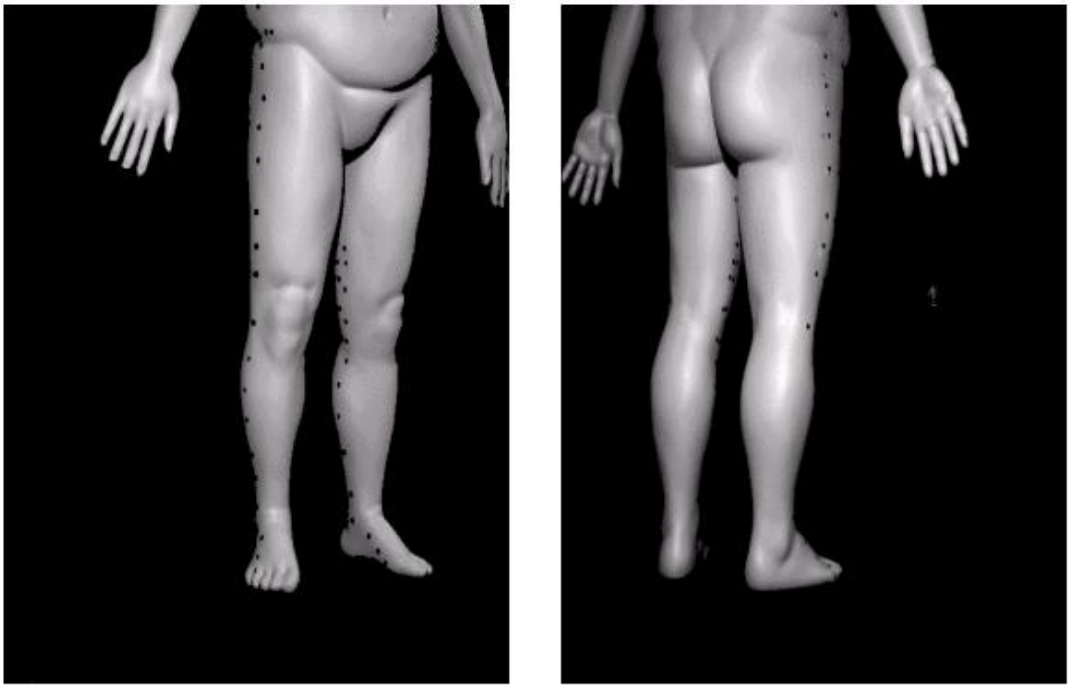


図３－３　下半身部分のレイアウト



③スキャナユニット確認画像　　④スキャナユニット確認画像

図３－４　下半身の計測結果画像

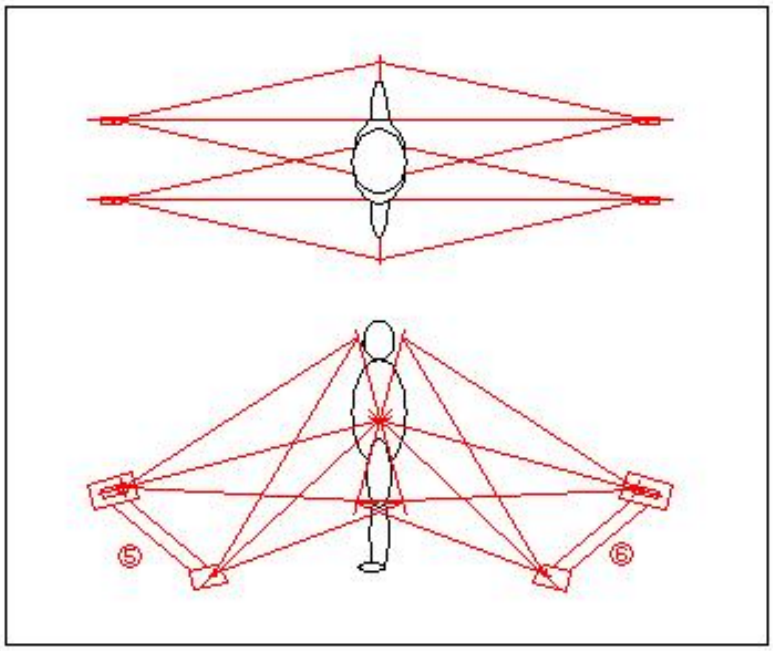
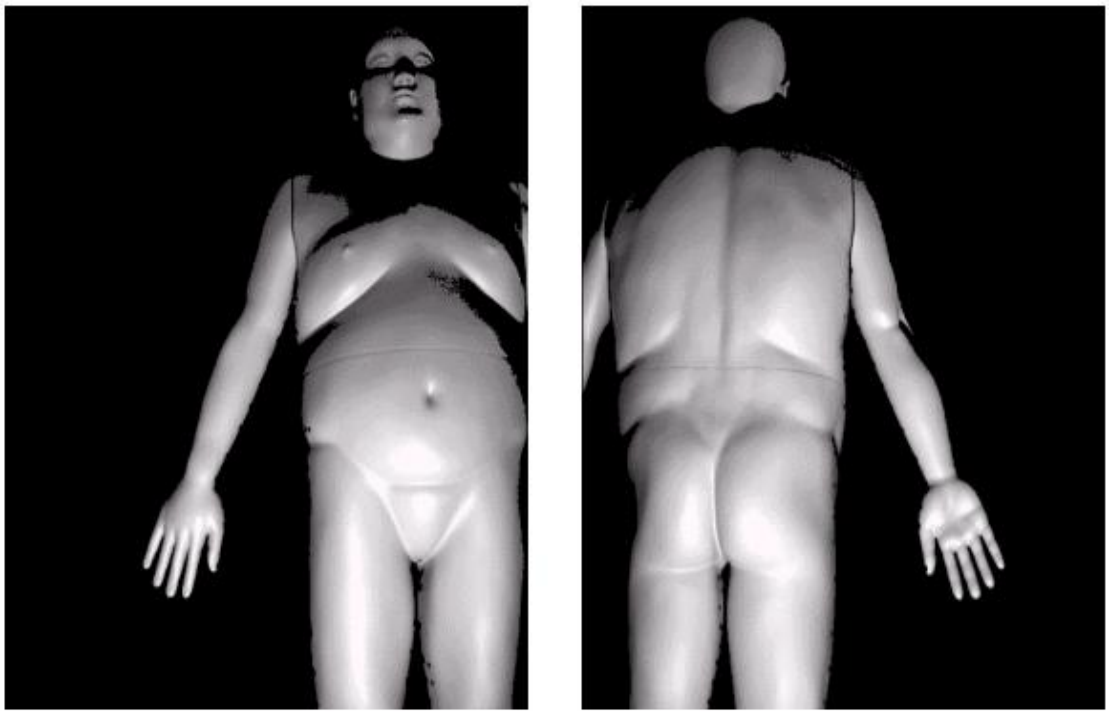


図３－５　股下・腋の下計測レイアウト



⑤スキャナユニット確認画像　　⑥スキャナユニット確認画像

図３－６　股下・脇の計測結果画像

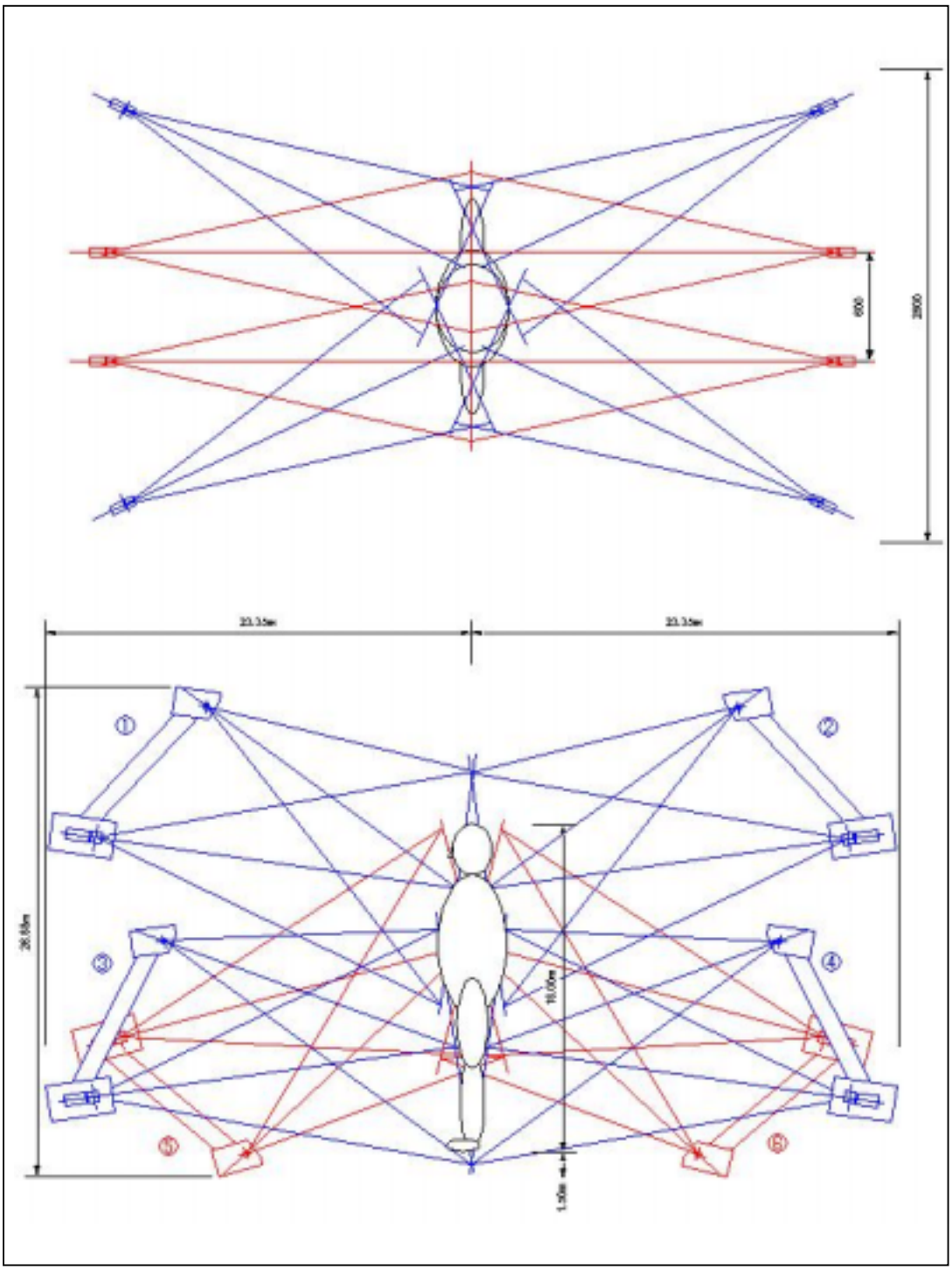


図３－７　試作器レイアウト

３．２　検出ヘッドの同時操作

通常、検出ヘッドは同時に作動させると互いのレーザの判別ができず、形状が演算できない。そこで、検出ヘッドごと使用するレーザユニットの波長を変え、対となる CCD カメラにその波長のみに対応する干渉フィルタを装着する。これによってその検出ヘッドは自らの投光するレーザしか撮影しないので、同時にレーザ波長の違う 2 台の検出ヘッドを使用することが可能となる。使用するレーザの波長は 635nm と 690nm の 2 種類とし、635nm のレーザを走査する側には 645nm の干渉フィルタ、690nm のレーザを走査する側には 700nm の干渉フィルタを CCD カメラに取り付けたレンズに装着する。これによって波長の違う検出ヘッドを同時に動かすことが可能となった。しかし、形状と共に計測を行う輝度画像に波紋状の干渉縞が発生することが判明した。これは、干渉フィルタを通過したレーザが CCD に当り、反射し干渉フィルタとの間で反射を繰り返す為である。この現象を防ぐ為、干渉フィルタは CCD カメラに対して平行にせず、約 20 度の角度を持って装着されている。干渉フィルタを傾けて装着する事で CCD との反射角度がずれ、干渉縞を防止することができた。

３．３　データマージ法の検討

３．１に記述したが，12 台のスキャナヘッドはそれぞれが個別の角度を持ったレイアウトであるため，スキャナヘッド毎に局所的な 3 次元座標(以降ローカル座標)を持っている。このため，マーカ位置の検出や、形状データの一体化を行なうには，ローカル座標を 1 つの座標系(グローバル座標)に統一する必要がある。平成 12 年度では、このグローバル座標への統一について有効な合成(マージ)方法を検討した。

（１）処理内容

形状合成においての処理項目は以下の 2 点となる。

①座標系の統一

各スキャナユニットで計測されるデータは，異なったローカル座標でデータが構成される。このため，データの中心軸や XYZ 座標軸の方向が各データで異なっているために単純な平行移動だけではデータの合成を行うことはできず，回転を組み合わせる必要がある。そこで，原点となる座標を統一し，XYZ 軸の方向を合わせることで相対的な位置を計りやすくし、簡単な座標変換で合成が行えるように処理する必要がある。

②オーバーラップ処理

かくスキャナユニットの計測範囲は，完全にセパレートしておらず，重複(オーバーラップ)した計測領域をもっている。そのため，各スキャナユニットで計測したデータをグローバル座標に統一しても、形状を構成する面データがオーバーラップしており，有効な形状

データとはならない。そこで，オーバーラップするデータについては，単一な面で表現できる合成形状を得る必要がある。

（2）処理方法と問題点

①近似点合成法

ユニットごとの形状データを XYZ 軸回転、XYZ 平行移動、XYZ スケーリングなどの座標変換を用い統一された座標軸上に再配置する。　全てのユニットの形状データを再配置した後に、面の重なりが発生した場合、重なった点データ間の距離を求め、指定した距離内にある複数の点データを、近似点として１つの点データに合成を行う。以上の処理によって全身形状データを生成する。

この方法の問題点は、近似点合成をおこなうことで点データの分布に疎な部分と密な部分ができ、形状のつなぎ目が不明瞭となる為、面データを構成する際の面の向き（法線）を求め難い点である。

②3 次元格子法

ユニットごとの形状データに XYZ 軸回転、XYZ 平行移動、XYZ スケーリングを行い、統一された座標軸上に再配置を行う。再配置された形状データを三次元上に配置した格子に当てはめ、形状データと格子との接点を新たな形状データとして配置する。これによって全ての形状データを統一された座標軸を基準とした等間隔のデータとして再配置する事ができる。 本計測器にて使用するイメージエンコーダー法では、取得される点群データに面の情報が付随される為、そのデータを保持した形で、形状を合成することができる。

この方法では、格子に当て込む再に近似点の合成をおこなう為、閾値の指定方法、近似点の抽出方法に調整が必要となる。

３．４　形状演算

従来の計測器は、シングルスリットレーザによる走査を前提として形状演算を行っている。本計測器ではマルチスリットを使用する為、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必要がある。形状演算については図３－８に示す流れで行い、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。以下に個々の演算処理について解説を行う。

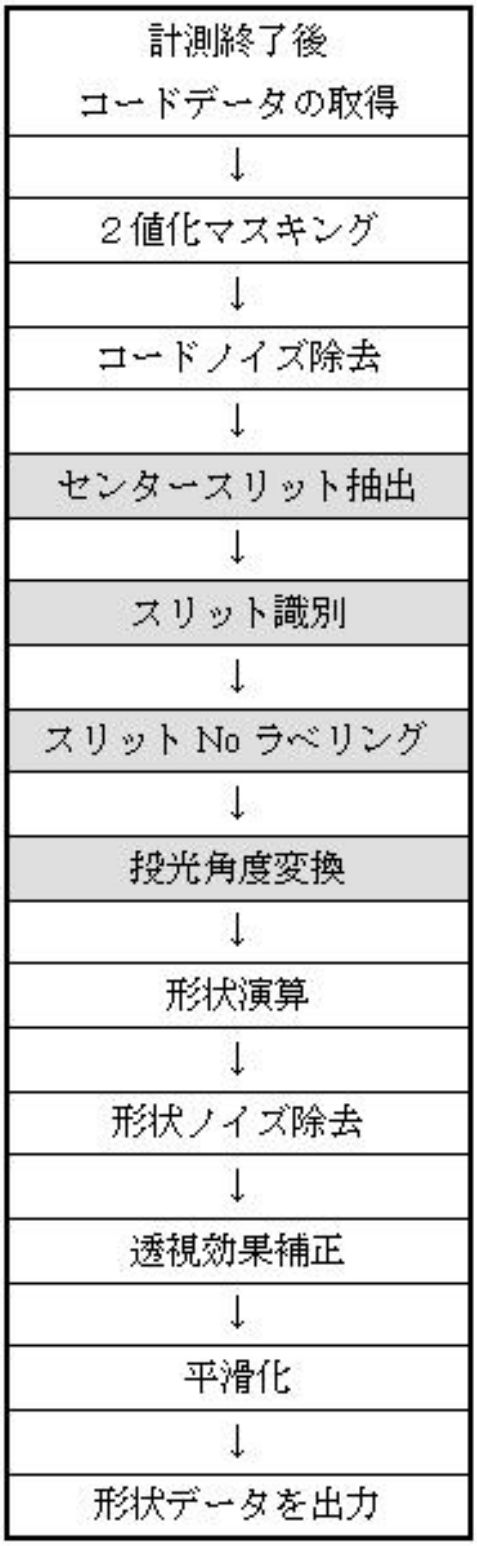

計測終了後
コードデータの取得
↓
２値化マスキング
↓
コードノイズ除去
↓
センタースリット抽出
↓
スリット識別
↓
スリット No ラベリング
↓
投光角度変換
↓
形状演算
↓
形状ノイズ除去
↓
透視効果補正
↓
平滑化
↓
形状データを出力

図３－８　形状演算の流れ

（1）2値化マスキング

2 値化マスキングは形状演算の最初に行う処理で、レーザの当たった領域と当たっていない領域の 2 つに計測領域を判別する処理である。

画像入力装置より最大輝度画像と最小輝度画像を入力し、その輝度差を求める事で、レーザが当たり輝度が変化した点と、レーザが当たらず輝度が変化しなかった領域の二つの領域を判別できる。この輝度差が閾値以上の領域を有効領域とし、閾値以下の領域を無効領域とする。これによって、レーザの当たらない背景などをカットすることができる。図３－９にその処理イメージを記す。

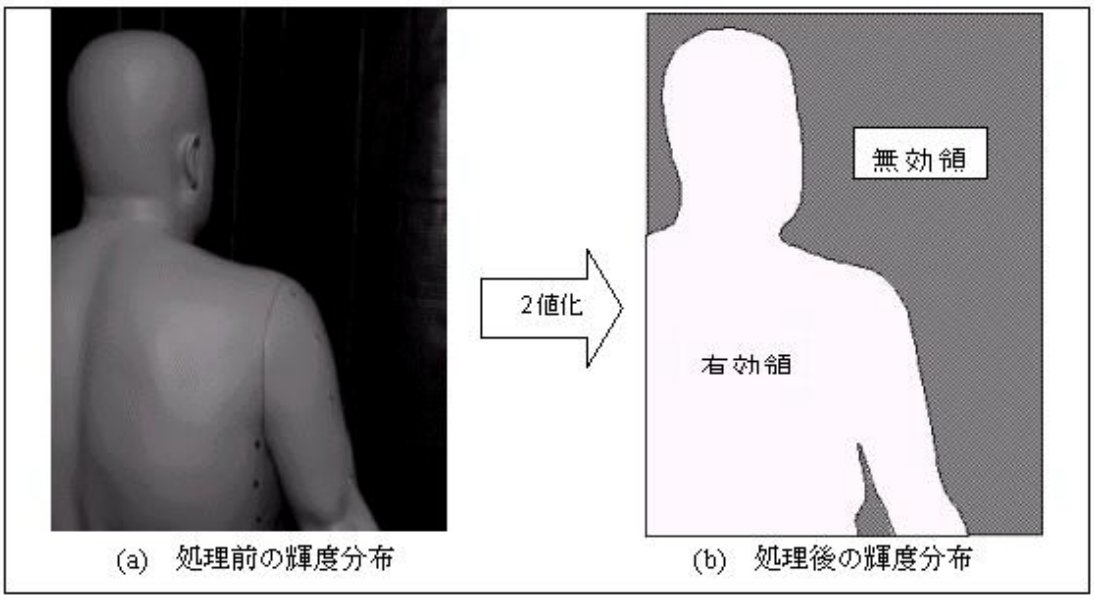


図３－９　２値化マスキング処理

（2）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、任意の画素のコードデータを隣接するコードデータと比較し、ノイズで在るかどうかを判定する処理である。

任意の画素のコードデータと周辺コードデータ間の比較を行い、そのコード差が現実に在り得ない値の場合か、もしくは周辺の、コードデータが無効の画素の画素数がレベルカット有効点数以下の場合は無効領域とする。

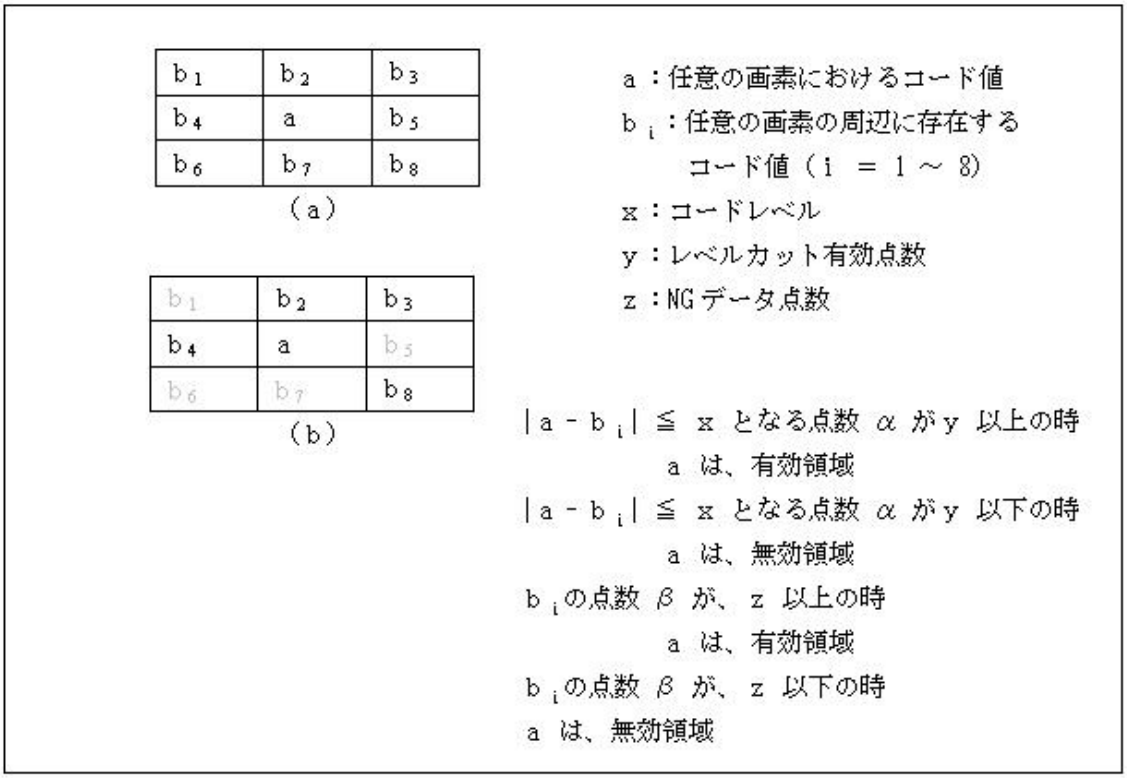


図３－10　コードノイズ除去

（3）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複数本数のレーザを同時に投光するために各レーザの投光角度を得るためにはそれが何本目のレーザかを判別する必要がある。　本処理はマルチスリットの本数を選定する上で基準となるセンタースリットを抽出する処理である。図３－11 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。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、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る。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センターレーザを判別する。

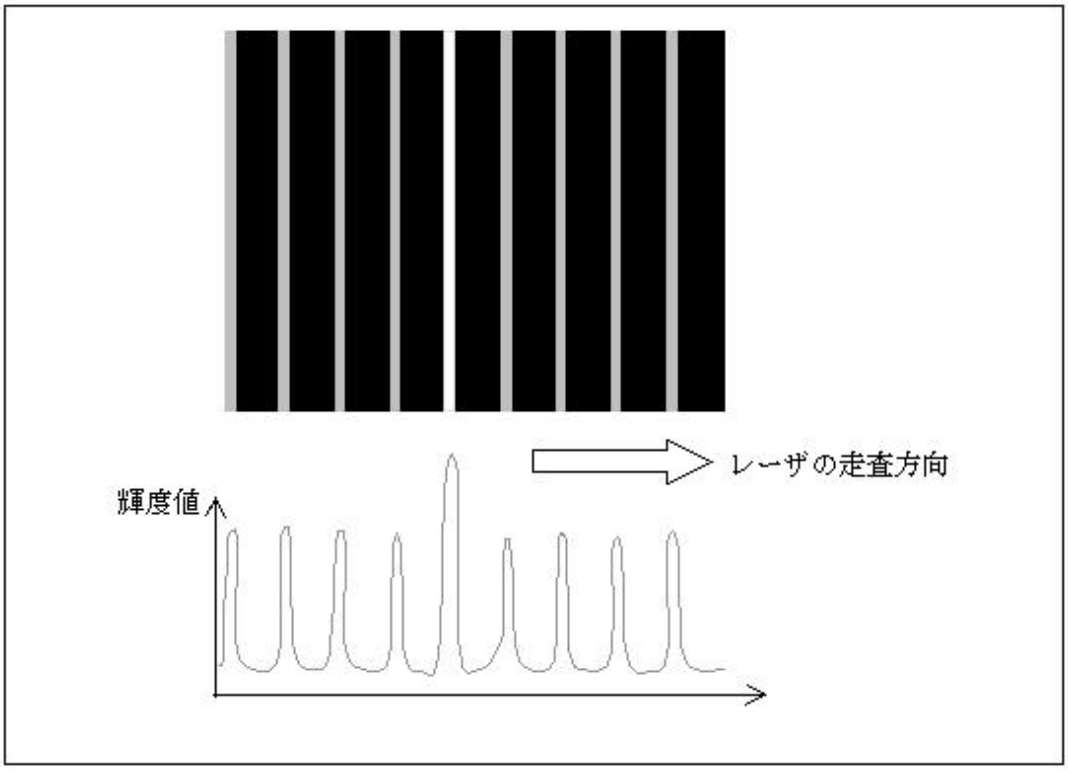


図３－11　マルチスリットレーザの輝度分布特性

（3）スリット識別

マルチスリットレーザにより計測されたコードデータは図３－13 のように鋸状になっている。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。この時点では、図３－13 に示したように同じスリットレーザにも関らず、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。

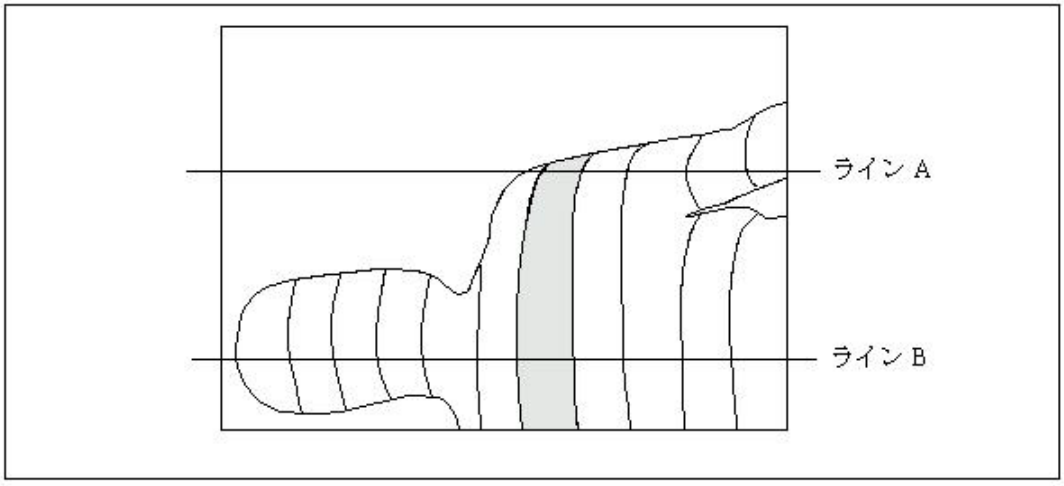


図３－12　コードノイズ除去処理後のコードデータ

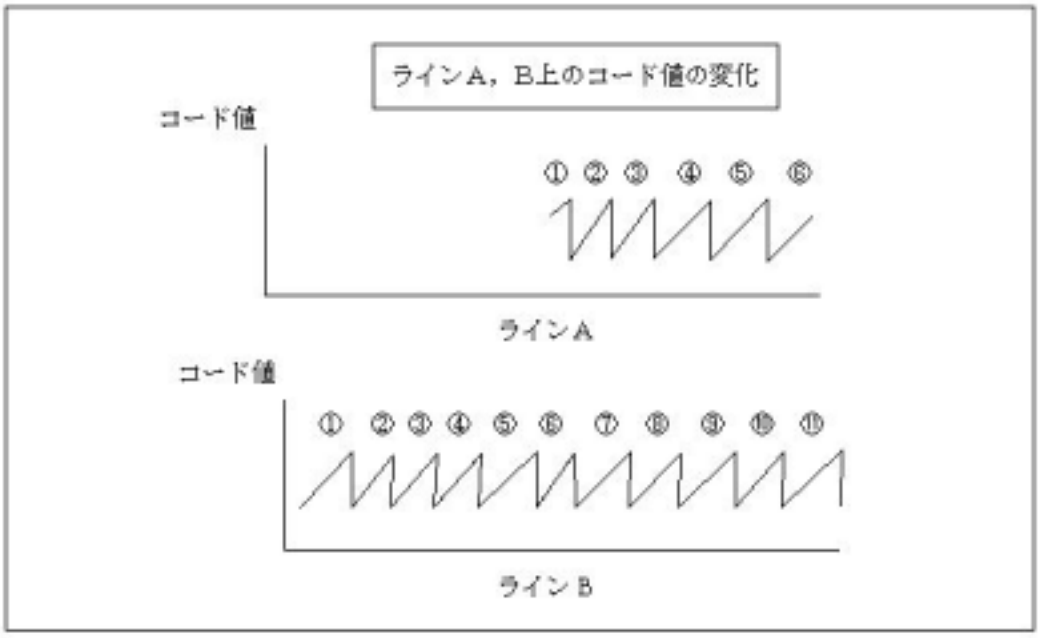


図３－13　各ラインのコードデータ

（４）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走査範囲をもとに、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。

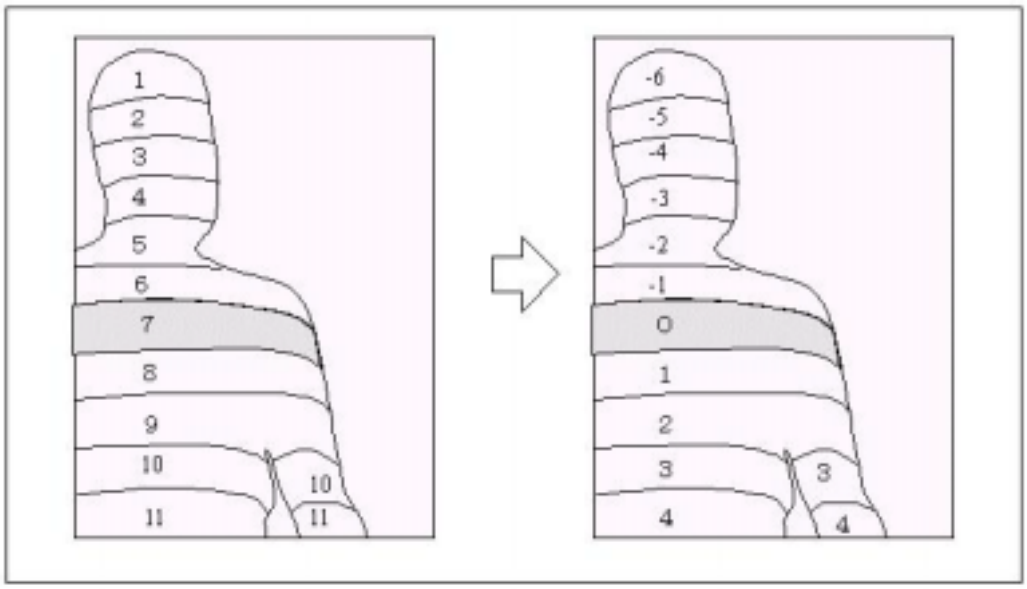


図３－14　スリット番号割り当て

（５）投光角度変換

投光角度変換処理は、割当てられたスリット番号を基に、マルチスリットによって作成された鋸状のコードデータを、シングルスリットから作成されるのと同等な連続的なコードデータに変換する。　これにより、従来のシングルスリットのものと同等の演算処理を適用することが可能となる。

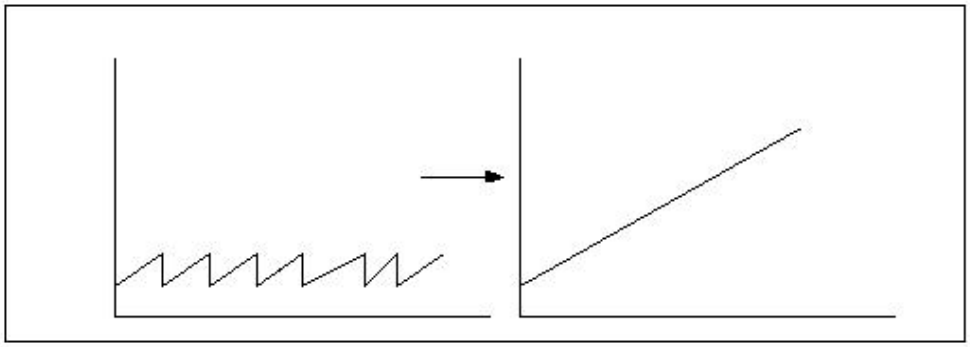


図３－15　投光角度変換

（6）形状演算

形状演算処理は、レーザ、カメラ、投光位置から、三角測量の原理を用いて、コードデータをもと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 値化マスク処理やコードノイズ除去などの、コードの段階では取り除くことできないノイズが存在するため、以降の処理が必要となる。

（7）形状ノイズ除去

任意の点の、周辺８点の高さを調べ、有効な高さレベルかどうかを判定します。有効な点数が閾値以上であれば任意の点は有効、閾値より下の場合は無効としてデータを判別します。

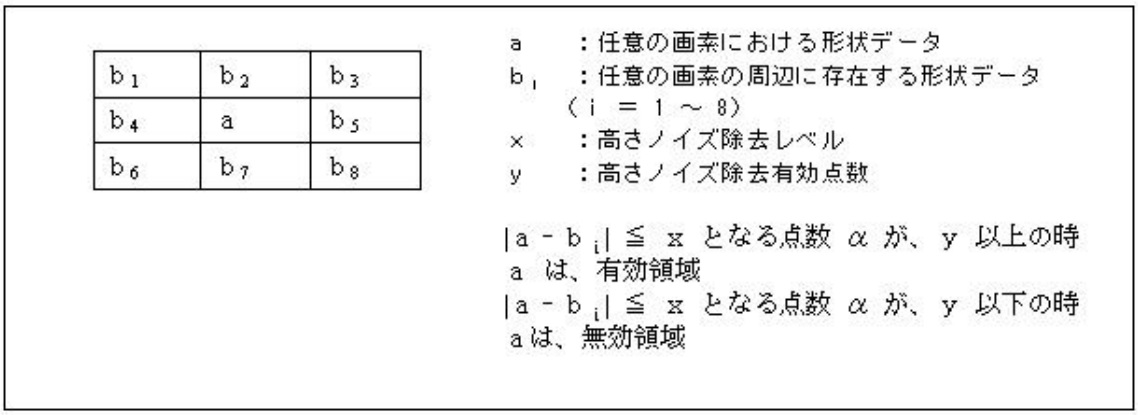


図３－16　形状ノイズ除去

（8）透視効果

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。これにより、同一の寸法は、カメラに近いものも、遠いものも、同じサイズとして採寸することが可能となる。

（9）平滑化

これまで行ってきた各種処理により、人体形状にありえない急激なエッジやノイズが発生する場合がある。　本来、人体形状は緩やかな曲面によって構成されている点を利用し、形状全体に平滑化をかける事によって、こうしたノイズをカットすることが出来る。

３．５　特徴点抽出

人体に貼り付けられたマーカは，計測したデータから解析ソフトウェアを用いてマーカの座標位置を算出する。このマーカの座標位置を算出では，輝度画像を用いて輝度重心を用いている。これだけでは，ピクセル単位に座標位置を算出してしまうため，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３－17 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、輝度重心において求めたマーカの中心位置が，あるピクセルの位置となる。これでは，ピクセル幅(本計測機では，約 2mm)で表現することになり，精度をピクセル幅以上に向上することが出来ない。そこで，ピクセル幅を細かく分割し，サブピクセル値によってマーカ位置を表現することで，より精度の高い計測結果を得ることができる。この方法により特徴点抽出の精度は大幅に改善される。

特徴点抽出においてサブピクセル法を行わない場合，採寸精度が画素単位(ピクセル幅)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ができない。

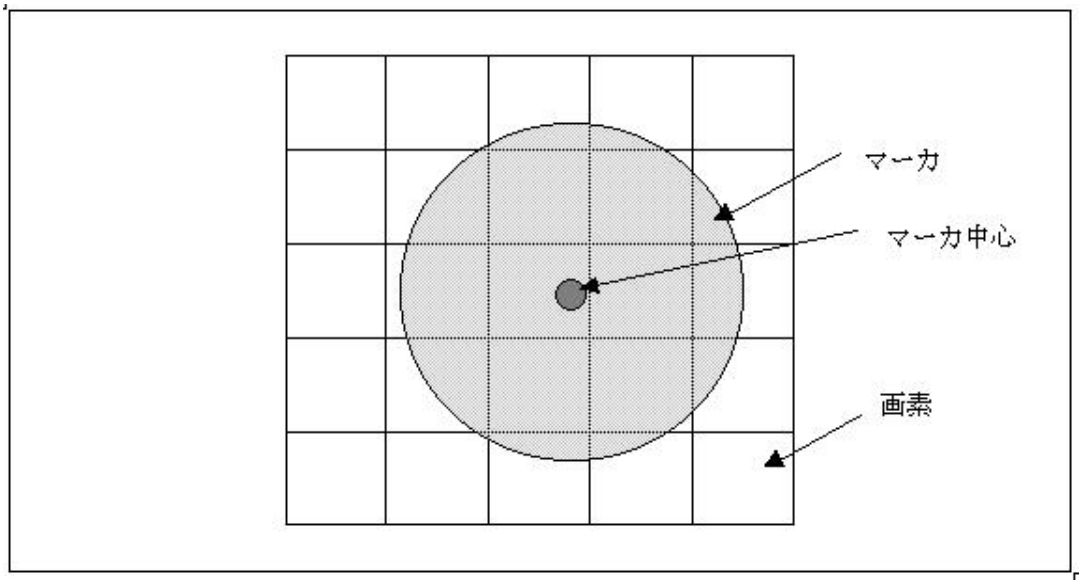


図３－17　マーカ中心座標

３．６　試作器の詳細仕様

（１）システム構成

人体全身用計測器(試作機)のシステム構成を図３－18 に示す。

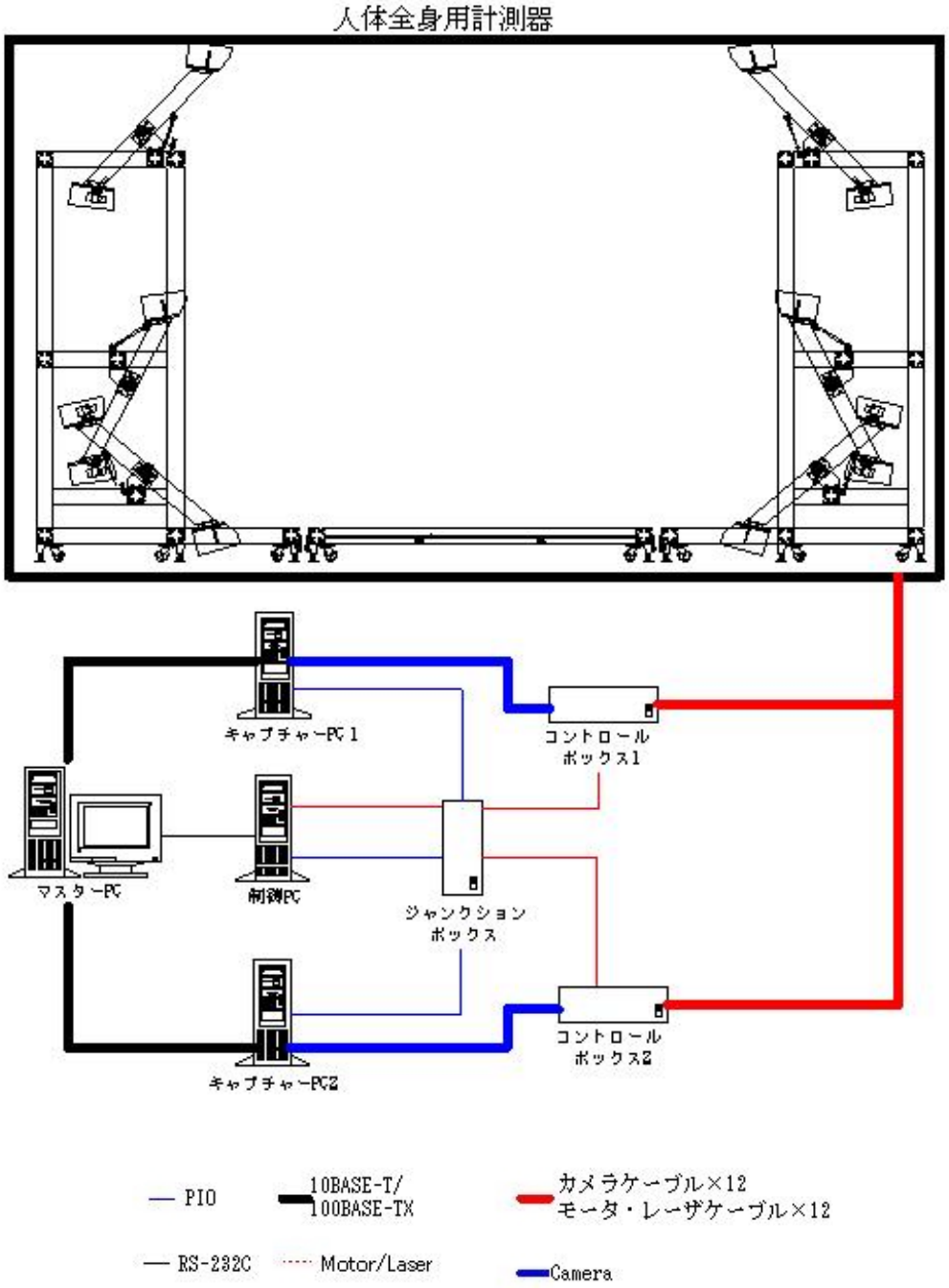


図３－18　システム構成図

（２）試作器設計仕様

試作機の各種仕様を表３－１に示す。

表３－１　試作器仕様

項目	仕様
ハードウェア	
測定範囲	W1200mm× D800mm× H1800mm
スキャナ台数	１２台
カメラ仰角	±１５°
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	±１mm
装置寸法	W4400mm× D2600mm× H2700mm
装置重量	約 400kg
ソフトウェア	
データサイズ	輝度データ　　3.7 MB 形状データ　　7.4MB
出力データ	輝度データ　　*．IDT（1ﾊﾞｲﾄﾊﾞｲﾅﾘｰﾃﾞｰﾀ） 形状データ　　*．DDT（2ﾊﾞｲﾄﾊﾞｲﾅﾘｰﾃﾞｰﾀ） XYZ ASCII データ

（3）スキャナヘッド

図３－19 に示すようにスキャナヘッドは、撮像部とレーザ走査部で構成される。撮像部は，CCD カメラ(白黒)と C マウントタイプのレンズおよびレーザ識別を行なうための光学フィルタで構成され，レーザ走査部は，マルチスリットレーザユニットとパルスモータおよび位置センサから構成される。これが，計測器の基本構成となり，1 つのスキャナヘッドで形状計測が可能である。試作器では，人体全身を計測するためにスキャナヘッド 12 台から構成される。スキャナヘッドの主要諸元は、表３－３のとおりである。

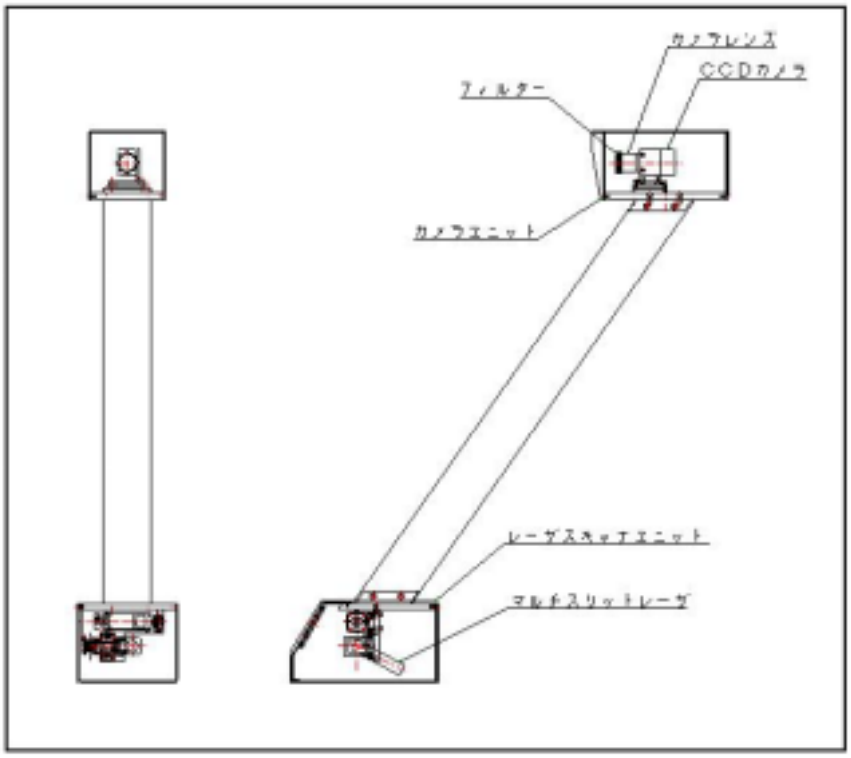


図３－19　スキャナヘッドの平面図

表３－２　スキャナヘッドの主要.諸元

項目	仕様
計測範囲	1300（mm）× 975（mm）× ± 300（mm）
データピッチ	約 2.1mm
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	9 本
レーザ間隔	5°
レーザ回転角	5°

（4）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３－３　レーザスキャナユニット構成部品

部品名	型名	メーカ	仕様	数量
マルチスリットレーザ	SNF-509D(5°) -690-30-30	Moritex	周波数：690nm 出力：30mW ドット点数：9 本 ドット間隔：5° 広がり角：40°	1 (いずれか 1 つ)
	SNF-509D(5°) -635-15-30	〃	周波数：635nm 出力：15mW ドット点数：15 本 ドット間隔：5° 広がり角：40°	
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

（5）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３－４　カメラユニット構成部品

部品名	型名	メーカ	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 (いずれか１つ)
		〃	帯域周波数：645（nm)）	

（6）コントローラユニット

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、（9）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下に示す。

表３－５　コントローラユニット構成部品

部品名	型名	メーカ	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

（7）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 I/O(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３－20 に示す。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。

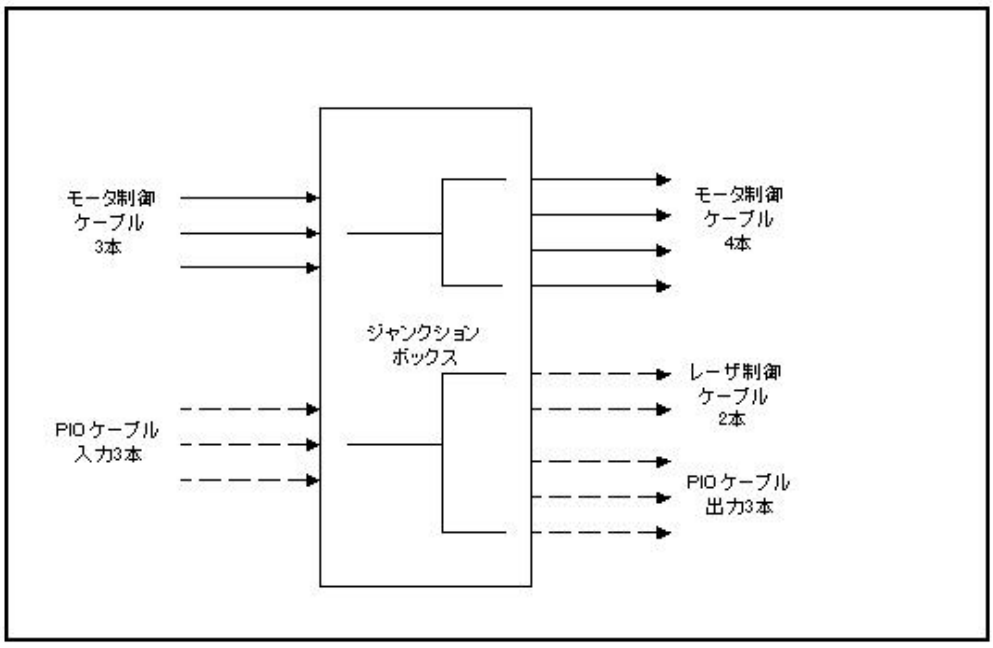


図３－20　ケーブルの中継・分配

（8）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３－６に示す。

表３－６　マスターPC の仕様

項　目	型名	メーカ	仕　様	数量
パソコン	DOS/V 対応	Gateway	PentinumIII(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

（9）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３－７に示す。

表３－７　制御 PC の仕様

項　目	型名	メーカ	仕　様	数量
パソコン	DOS/V 対応	Gateway	PentinumIII(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

（10）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。

キャプチャ PC の仕様について表３－８に示す。

表３－８　キャプチャ PC の仕様

項　目	型名	メーカ	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

３．７　ソフトウェア

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３－21 のとおりである。

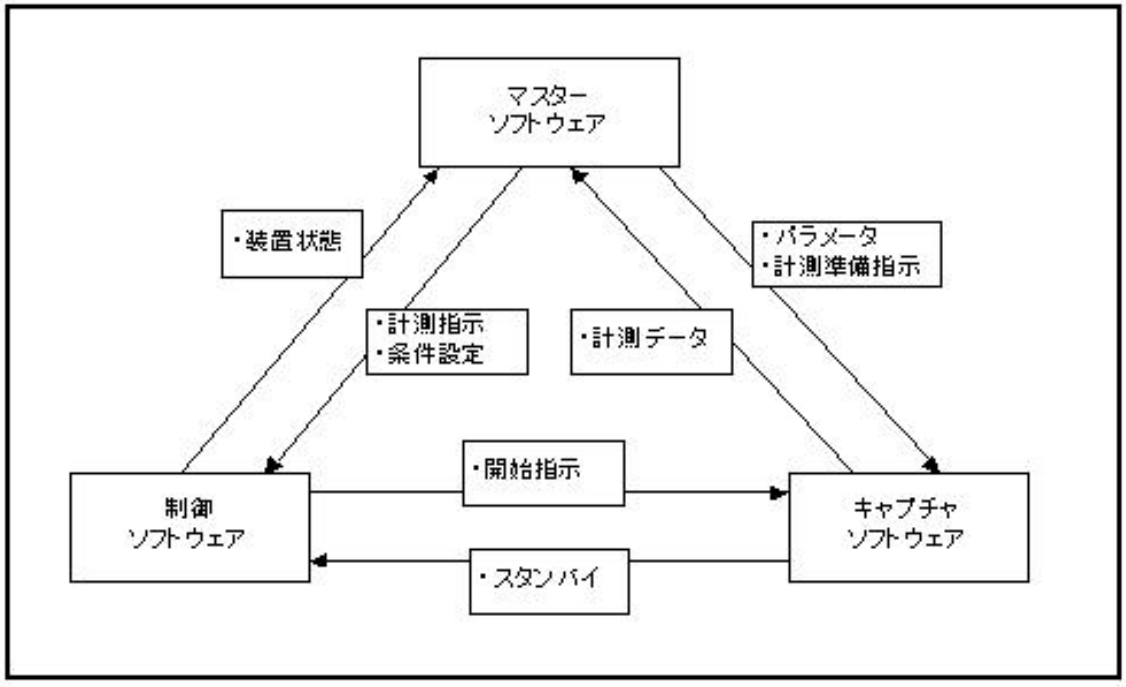


図３－21　各ソフトウェアの関連

（1）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(パラメタ)や、演算時に使用する光学および演算パラメタの設定を行う。

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、計測・演算・編集・パラメタ設定の機能についてユーザインタフェースを提供する。

（2）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。

（3）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 PC１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 PC１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フェースを提供する。

第４章　最終品開発

４．１　試作器精度検証

図３－１のような直方体（1800×650×318）に 100 おきに鉛直線を引き（順に L1,L2,L3,L4,L5 とする）100 ㎜間隔でマーカーシール（水色：9 ㎜）を貼り、精度検証実験に使用した。なお、一番下のマーカーは基準面（被験者が立つ位置）から 380 ㎜であった。

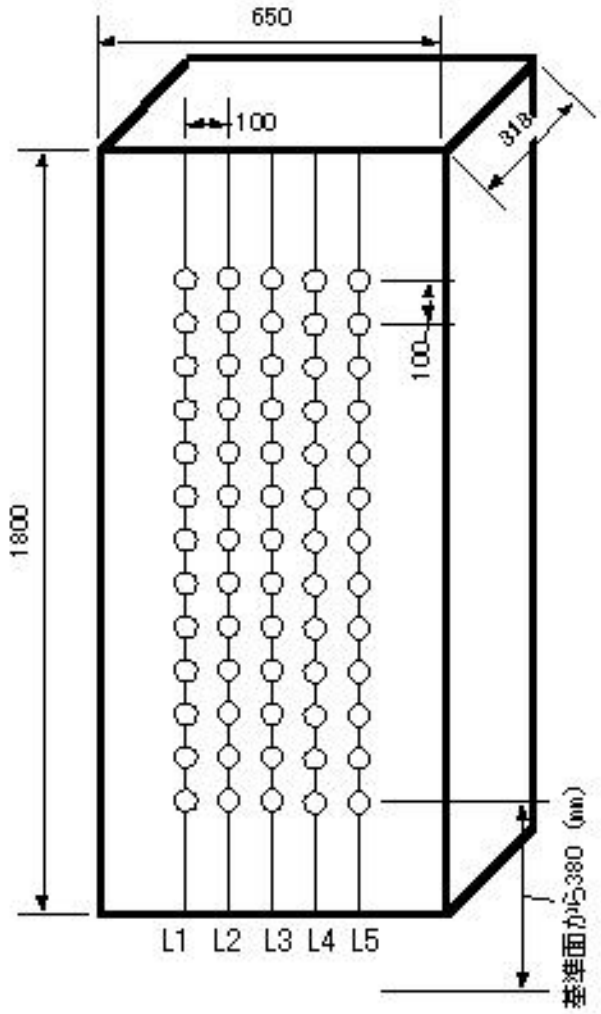


図４－１　試作器検証用基準物

垂直方向（高さ）、水平方向（幅）、奥行き方向（前後）をそれぞれカメラごと、および　２つのカメラから合成した値により検証を行った。なお、カメラ番号、１つのカメラで見える範囲を図４－２に示す。

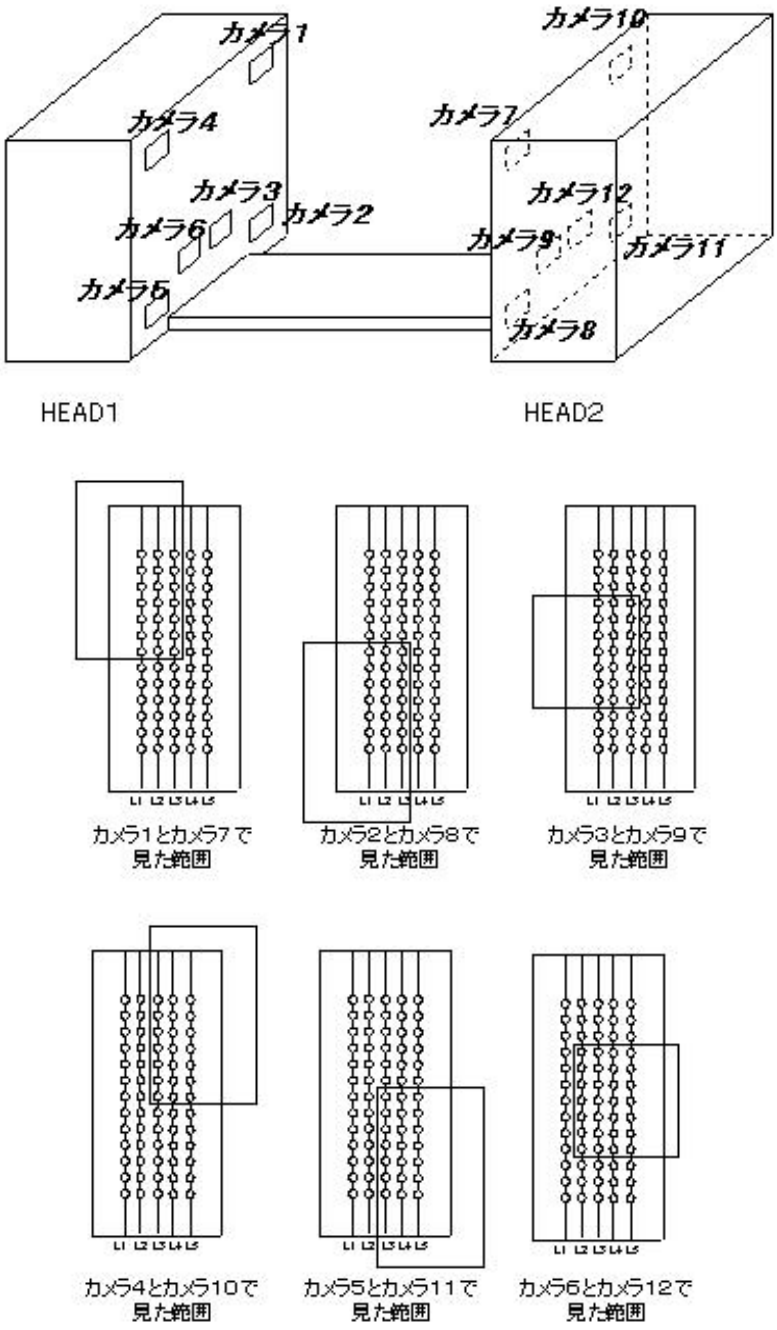
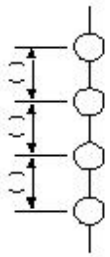


図４－２　カメラ範囲

① 垂直方向（高さ）

・ カメラごとの検証

図４－３のように上下方向に隣り合う2つのマーカーシール（真値：100 ㎜）の座標値をマーカー抽出ソフトにより取得し、ｙ座標値より鉛直距離を算出した。



・ カメラ合成

鉛直方向に重なり合うカメラ 2 台について、下側のカメラの一番下の点（被験者が立つ位置から 380 ㎜の高さ）を基準点とし、マーカーの座標値（ｙ）より鉛直距離を算出した。

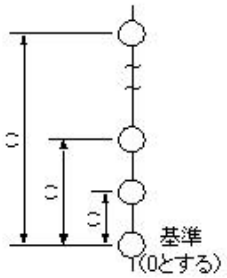
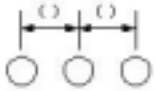


図４－３　高さ検証

② 水平方向（幅）

・ カメラごとの検証

図のように隣り合う 2 つのマーカーシール（真値：100 ㎜）の座標値をマーカー抽出ソフトにより取得し、ｘ座標値より水平距離を算出した。



・ カメラ合成

水平方向に重なり合うカメラ 2 台について、L3 上の点を中心とし、マーカーの座標値（ｘ）より水平距離を算出した。

また、ｘ、ｙ、ｚの座標値を使用して水平方向の 2 点間距離も算出した。

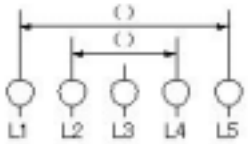


図４－４　幅検証

③ 奥行き方向（前後）

基準物を装置の中心位置から前方に 150 ㎜、後方に 150 ㎜移動したデータをそれぞれ取得し、ｚ座標値より奥行き方向の距離を算出した。

また、ｘ、ｙ、ｚの座標値を使用して奥行き方向の 2 点間距離も算出した。

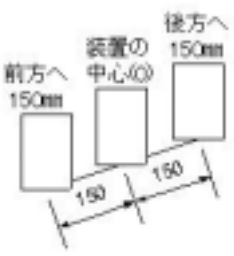


図４－５　前後検証

表４－１に検証結果を示す。これらの結果からほとんどの場合、誤差平均値が 1mm 以内を確認できたため、様々な体型のヒト型ダミーに実際の計測と同様となるよう特徴点位置にマーカシールを貼り付け三次元計測を行い、その座標値から算出される寸法値とマーカシールを基にマルチン計測を行った寸法値との比較検討を試みたところ、表４－２に示したように、頭部近辺高さ項目に系統的な誤差が認められた。

表４－１　検証結果

カメラごと　（mm）

	垂直(n=18)	水平(n=14)	前後(n=41)
CAMERA1	−0.018	0.085	0.374
CAMERA2	−0.214	−0.034	0.213
CAMERA3	−0.032	−0.038	−0.013
CAMERA4	0.126	0.418	−0.152
CAMERA5	0.152	0.054	−0.343
CAMERA6	−0.047	−0.009	−0.310
CAMERA7	−0.116	0.224	−0.193
CAMERA8	0.011	0.244	0.377
CAMERA9	−0.094	0.106	0.308
CAMERA10	−0.073	0.311	−0.140
CAMERA11	−0.052	0.369	−0.171
CAMERA12	0.099	−0.016	−0.060

カメラ合成　（mm）

	垂直		水平
CAMERA1,2	−0.569	CAMERA1,4	0.182
CAMERA2,3	−0.376	CAMERA2,5	−0.029
CAMERA4,5	0.439	CAMERA3,6	−0.029
CAMERA5,6	0.441		
CAMERA7,8	−0.316	CAMERA7,10	0.101
CAMERA8,9	−0.296	CAMERA8,11	0.373
CAMERA10,11	−0.309	CAMERA9,12	0.064
CAMERA11,12	−0.761		

表４－２　人体ダミー寸法誤差

	大男	太女	老男	老女	20 代男	20 代女	40 代女	平均
外眼角高	-3.310	-5.180	-2.860	-5.560	-1.330	-4.300	-3.200	-3.680
耳珠高	-1.350	-1.400	-2.200	-4.140	-2.030	-3.290	-1.950	-2.340
頚側点高	-----	-2.010	-4.310	-4.770	-2.260	-3.200	-5.250	-3.630
頚窩高	-1.410	-1.370	-2.260	-3.560	-3.420	-2.690	-3.260	-2.570
前腋窩高	3.600	-1.850	1.120	0.770	-0.930	0.830	0.550	0.580
乳頭高	2.660	-2.930	0.100	0.020	0.190	1.520	-1.470	0.010

４．２　試作器調整

試作器精度検証を行った結果、前述の系統誤差の他にも物体の前後に対しての誤差が大きいことが判明した。そこで，以下に示す方法により調整を行なった。

（１）レーザ投光中心の調整

①精度劣化の要因

本試作器は，既存計測器と同様の理論を元に形状計測を行なうため，レーザの投光された角度を正確に記録する必要がある。したがって，使用している 9 本のレーザの投光中心とパルスモータの回転中心が一致しなければ，形状にずれを生じてしまう。本試作器の場合であれば，0.1°のずれで 3㎜ 程度のずれが発生する。（図４－６）

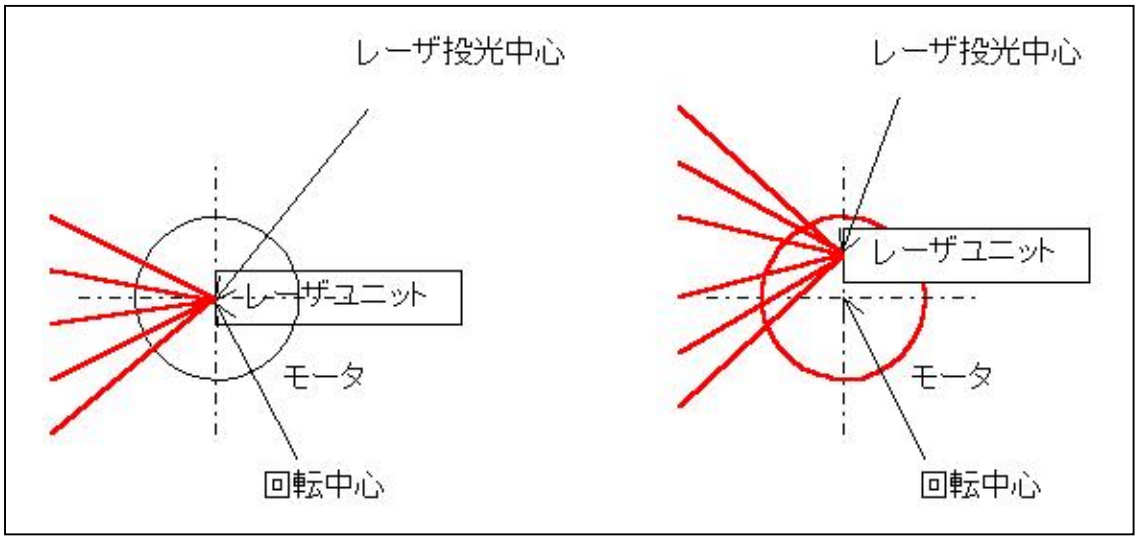


図４－６　回転中心ズレ

②解決方法

12 台全てのスキャナユニットに対して，レーザとモータの取り付け位置，およびレーザとカメラの取り付け位置を調整した。

（２）モータの加速度

①精度劣化の要因

本計測器は，計測時間を短くするためにパルスモータを 600ms だけ動作させます。時間が短いため，モータの加減速の影響を受けやすく，この影響を受けた場合には，レーザ毎に波打った形状が発生する。

②解決方法

600ms のスキャニングでは，CCD カメラでレーザの軌跡を 20 フレーム(1 フレーム

=30ms)分取り込む。検証した結果からは，加速の影響はなかったが，画像の取り込み開始時と終了時にノイズがあるため，画像の取り込み開始 2 フレーム分と最終フレームの計 3 フレームを排除した。

（3）取り付けレイアウト変更

①精度劣化の要因

本計測器の特性から，基準としている仮想平面(形状データ上 0 になる平面)に対して計測物体をスキャナユニットに近づけた場合と遠ざけた場合では誤差が異なり，遠ざけた場合は近づけた場合より誤差が大きくなる傾向を持っている。計測範囲を大きくするという目的から，各スキャナユニットの仮想平面が装置中央から外に配置されるようにレイアウトしていた。このため，小さい物体では，誤差が生じやすくなっていた。また，仮想の平面に対して奥行き±150mm(300mm)しか精度保証ができていなかった。

②解決方法

装置の構造と計測範囲の関係から各スキャナユニットを約 100mm づつ装置中央に寄せ，精度保証できる範囲を中心部に近づけた。また仮想平面に対して奥行き±300mm(600mm)を精度保証の範囲とした。図４－７では，破線で囲まれた領域が，スキャナユニット単体での精度保証範囲です。黒色の実践がユニットの仮想平面(計測結果がゼロとなる空間上の平面)を表している。変更前では，計測する物体が小さい場合，精度保証の範囲を外れてしまうレイアウトになっていた。

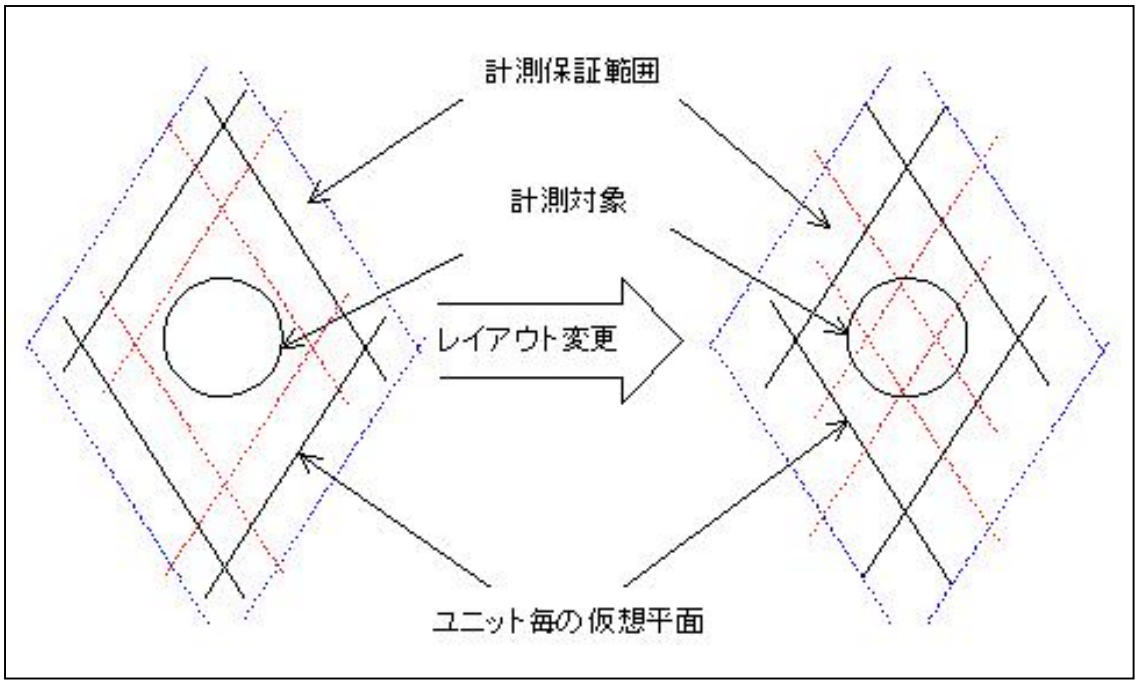


図４－７　計測範囲の変更

（４）フィルタの取り付け変更

①精度劣化の要因

本計測器では, 2 つのレーザ波長を使用して複数ユニットの同時計測を可能にするために, 使用した干渉フィルタ(バンドパスフィルター)で同心円状の干渉縞が発生していた。そこで, フィルターをカメラレンズに対して 20 ° 程度傾けて取り付けることで, 干渉縞を回避した。

しかし，フィルタを傾けたために目的とするレーザの波長域がずれてしまい，結果として光量が低下して欠落の増加となった。

②解決方法

一般的に干渉フィルタは，カメラレンズの外側に取り付けて使用するが，本装置のような使用方法では干渉縞のようなノイズが発生していた。そこで，フィルタを加工(φ30→φ16)してレンズとカメラとの間に取り付けることで干渉縞を回避した。レンズとカメラの間とは，CCD の素子を保護するガラスや赤外カットフィルタ(IR フィルタ)などが取り付けられている部分である。これにより，フィルタがカメラに対して垂直に取り付けることが可能となり，波長域がずれること無く，光量の低下を防止した。

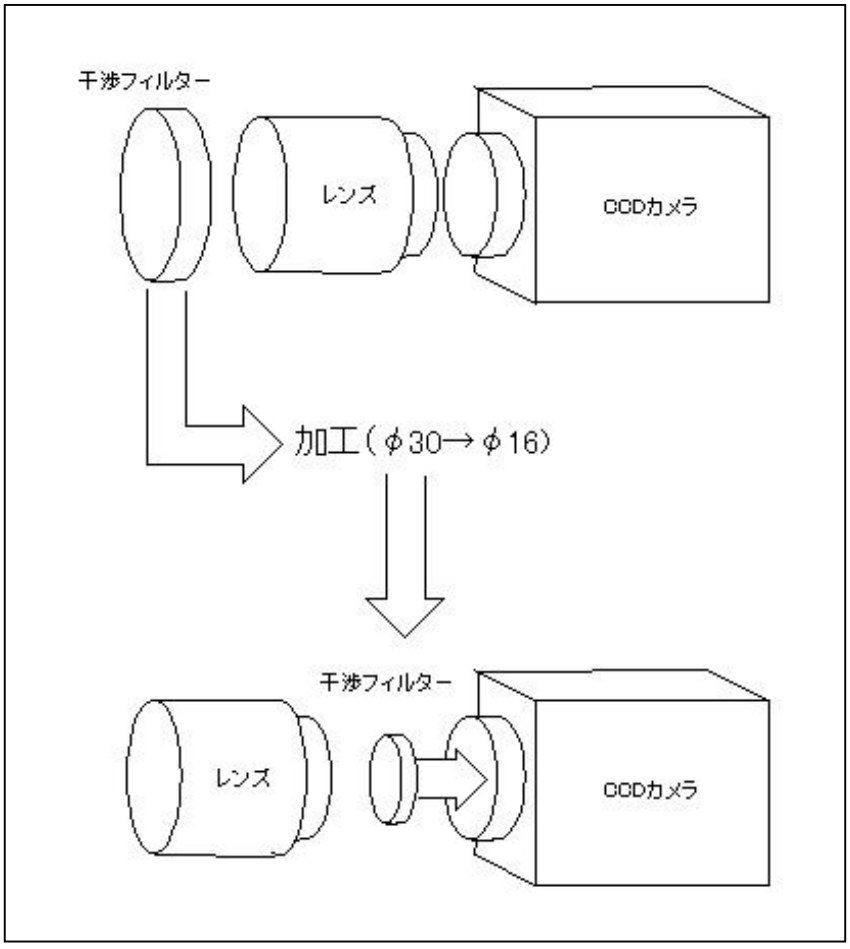


図４－８　フィルターの変更

４．３　改善方針

試作機を製作し，様々な検証を行った結果，精度の低下などが発生したため，当初の方針から変更を行なった。

（１）レーザ投光方向の変更

①開発当初の方針

当初の方針では，人体を円筒と考え，肩や脇の下なんどの欠落を低減するために，スリットレーザを人体の身長方向に走査することとした。また，今までの全身型を製作した経験から CCD カメラの長手方向を身長方向にすることで効率よく全身を計測できるため，レーザの走査方向を CCD カメラの長手方向とした。　なお，CCD カメラの縦横比は，4：3 である。

②問題

レーザをカメラの長手方向に走査するとレーザ投光部分からもっとも離れたスリットは，計測物体に対して鋭角に当たる。

↓

スリットが物体に対して広い面積を持って投光される。

↓

輝度の低下，投光角度が曖昧。

↓

ノイズの増加，形状の歪み増加

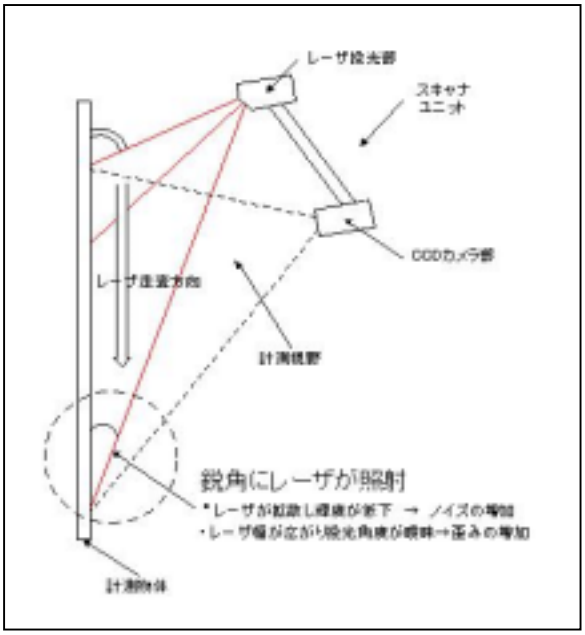


図４－８　レーザ走査方向の変更（１）

③変更内容

CCD カメラに対するレーザの走査方向を縦方向から横方向に変更する。これにより，レーザが走査する範囲を狭くすることができるため，レーザの投光角が小さくすることができ，スリット幅の広がりが小さくなる。

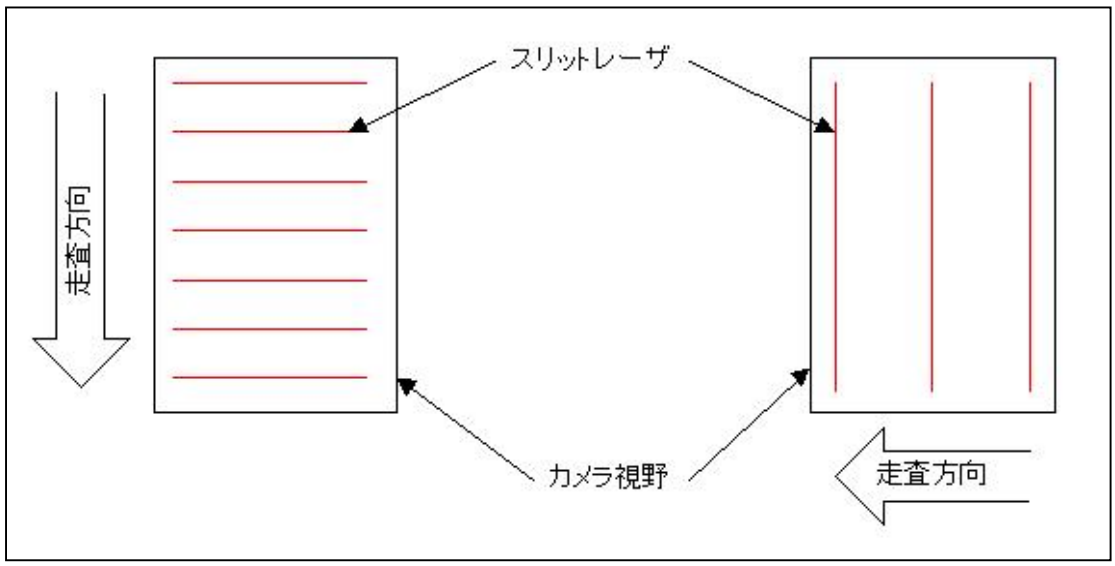


図４－１０　レーザ走査方向の変更（２）

（２）レーザスリット数の変更

①開発当初の方針

高速にスキャニングを行うために，レーザ本数を増やし 1 本あたりのスリットが捜査する範囲を小さくした。 ただし，スリット数を増やしすぎると段差の大きい物体において，縞飛び(CCD カメラでレーザを捉えたとき，同一画素に対して複数のスリットが照射されているように見えること)が発生して計測不能となってしまう。計測対象が人体であり，極端な段差が発生しないことを条件に 9 本のスリットを投光することとした。複数のレーザスリットは，1 つのレーザ素子から投光された 1 本のレーザをマスクパターンに通して 9 本に分割する方法とした。市販品を使用することで，レーザの投光部を小さくすることができ，調整の簡略化を図った。

②問題点

1 本のレーザを 9 本に分割しているため，スリット 1 つの輝度が低くなり，欠落が多く発生した。 また，1 本あたりのスリットが走査する範囲が小さく，レーザの識別が困難となった。

③変更内容

レーザの走査方向を変更することで，走査範囲を小さくすることができるため，スリット数を 9 本から 3 本に変更します。また，1 本のレーザを 9 本に分割する方式から，1 つの

レーザ素子で 1 本のレーザを投光する方式とし，3 つのレーザ素子を使用こととする。スリットを 3 本にすると走査時間の増加に繋がりますが，次項に示す CCD カメラを使用することでこの走査時間の増加を解決する。（図４－11）

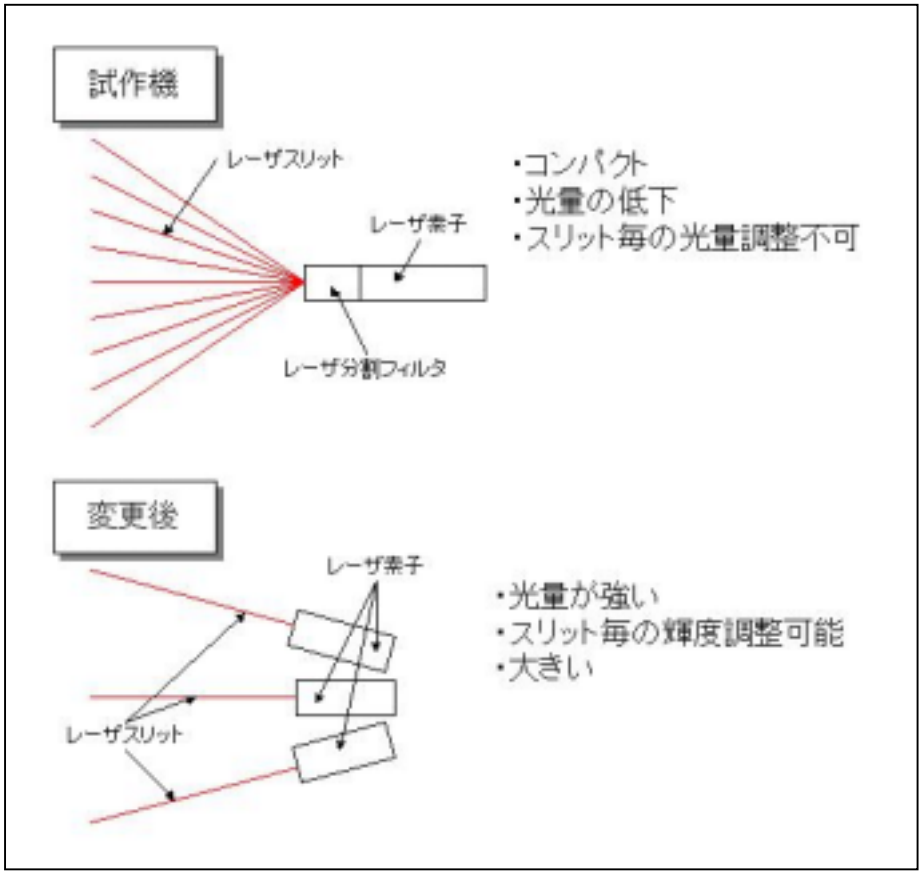


図４－11　スリット本数の変更

（３）CCD カメラの変更

工業用として一般に流通している CCD カメラは，NTSC 方式で 1 画面(1 フレーム)を取り込むのに 1/30 秒必要となる。　最近になり，NTSC 方式の 2 分の 1 の時間で画像を取り込むことの可能な CCD カメラが流通し始め，1 画面(1 フレーム)の取り込みが 1/60 秒で完了する。これを用いることで，レーザ本数の減少による計測時間の遅延を解決することが可能となる。

４．４　最終品仕様

（１）主要.諸元

最終品の主要緒元を表４－３に示す。

表４－３　主要緒元

項目	仕様
測定範囲	2000mm×1200mm×600mm
測定時間	1.8 秒
データピッチ	2.1mm
測定精度	±1mm
外形寸法	3700mm×2800mm×2215mm

（２）システム概要

最終品のシステム概要を図４－12 に示す。

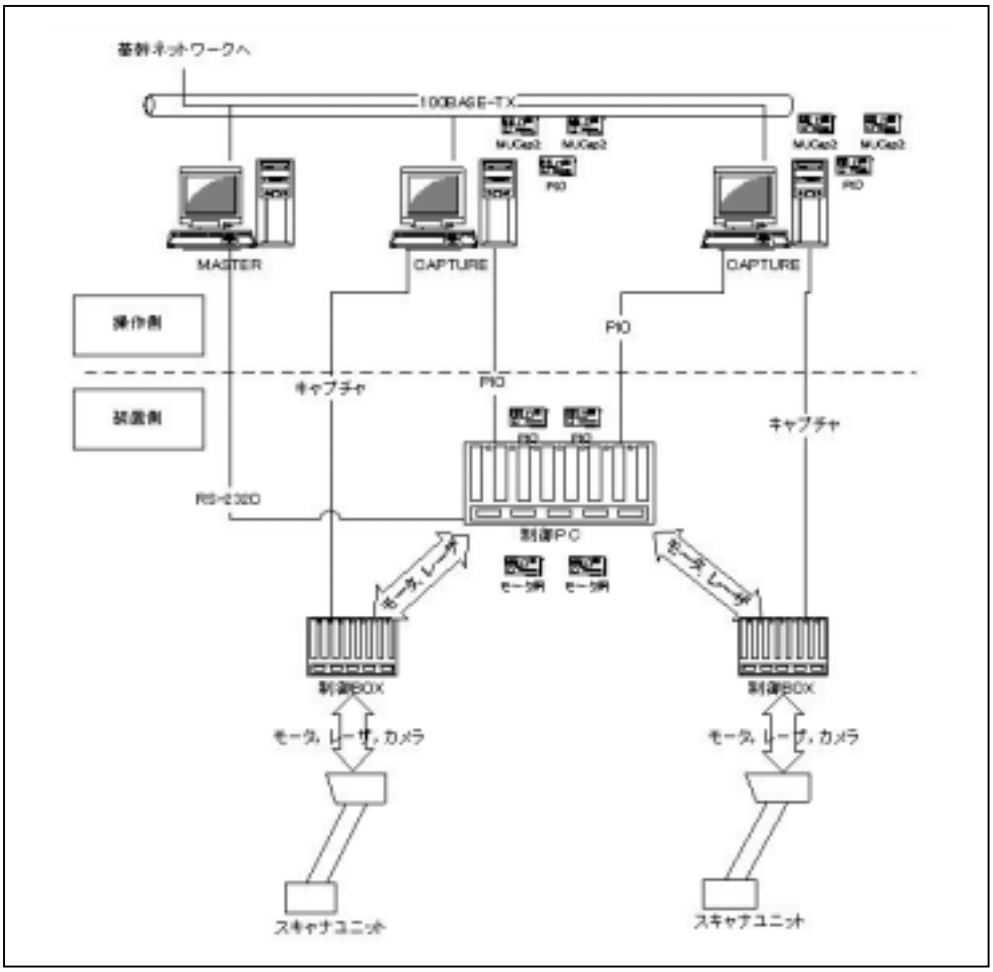


図４－12　システム概要

最終品では，制御 PC および配線分配(ジャンクション BOX)を装置側に設置し，計測器本体の電源に連動させる。これにより，操作側に設置するパソコンは 3 台のみとなり，制御 PC を計測者に意識させることがない。また，ユーザのワークスペースを広く取ることができる。ただし，計測器に制御 PC を内蔵する形式とするため，試作器のように計測器の電源を投入直後に計測動作には移れないこととなる。

（3）機器構成

以下に，最終品で使用する機器構成を示す。

①パソコン

最終品に使用するパソコンを試作器に対して表４－４に示す仕様変更を行なった。詳細については，表４－５以降を参照のこと。試作器では，制御 PC をユーザの作業エリアにマスターPC やキャプチャ PC 同様に設置する構成としたため，作業エリアを圧迫していた。そこで，最終品では制御 PC を計測器の電源に連動して動作するように変更し，計測器内に設置することでユーザに制御 PC を意識させない構成とした。

表４－４　各パソコンの仕様概要

パソコン名		マスターPC	キャプチャ PC	制御 PC
基本仕様	CPU	Pentium4　1.8GHz	←	AMD　5x86　133MHz
	メモリ	PC133　1GB	PC133　512MB	EDO　8MB
	ハードディスク	UltraATA　40GB	Ultra　ATA　20GB	シリコンディスク 32MB
	LAN	100BASE-TX	←	—
	シリアルポート	RS-232C　1 ポート	←　(未使用)	RS-232C　2 ポート
増設機能		—	キャプチャボード×2 PIO ボード×1	モータコントローラ×2 PIO ボード×2
OS		MS-WindowsNT4.0	←	MS-DOS

表４－５　キャプチャＰＣの内臓機器

型名	メーカ	仕様概要	目的
MUCap2	EDEC	白黒 CCD カメラ 4CH 入力	レーザ走査画像の取り込み
PIO-16/16L(PCI)	CONTEC	入力 16 点／出力 16 点	計測開始の同期

②制御 BOX

制御 BOX は，試作器同様に 2 台で構成し，スキャナユニットへの電源供給や電源制御などを行なう。また，カメラケーブルの中継も行なっている。制御 BOX は，制御 PC によって管理される。（表４－６）

③ジャンクション BOX

試作器では，制御 PC と制御 BOX 間，制御 PC とキャプチャ PC 間，およびキャプチャ PC と制御 BOX 間のケーブル中継および電源供給を行なうために設置していた。最終品では，ジャンクション BOX を制御 PC 内部にまとめ，設置スペースの効率化と保守性の向上を図った。これにより，試作機では，十数本ものケーブルがユーザの作業エリアに配線してあったものが，7 本のケーブルのみで計測器を制御できるようになった。

表４－６　制御ＰＣの内臓機器

型名	メーカ	仕様概要	目的
PC-SDD32H3	CONTEC	シリコンディスク 32MB	ユーザに意識させないため故障率を低下させる
C-865	メレック	6軸動作モータコントローラ	スキャナユニットもモータ駆動
PIO-16/16L(ISA)	CONTEC	入力 16 点／出力 16 点	計測開始動作の同期 スキャナユニットのレーザ制御

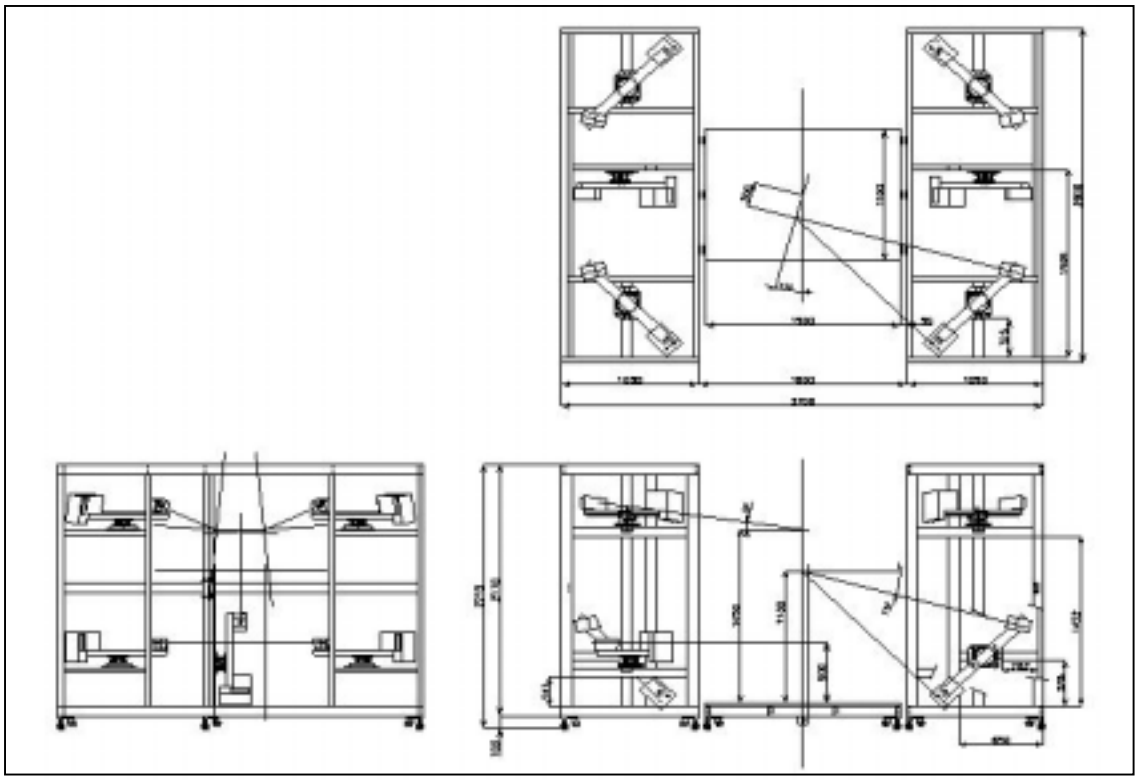


図４－13　最終品三面図

④スキャナ部

主要諸元を表４－７に、構成を表４－８に、三面図を図４－14 に示した。

表４－７　スキャナ部主要諸元

項目	仕様
測定範囲	1300mm×980mm×600mm
測定時間	0.6 秒
測定精度	±1mm
データピッチ	2.1mm
カメラ距離	1300mm

表４－８　スキャナ部構成部品

構成部品	概要	数量
CCD カメラ	1/2 インチ　倍速(1/60ms)カメラ	1 台
CCD レンズ	f=6mm	1 台
レーザ	波長 640nm，出力 10mW もしくは，波長　686nm，出力 30mW	3 台
ロットレンズ	ポイントレーザをスリットレーザに変換	3 本
ステッピングモータ	レーザ光の回転走査機構	1 台
ミラー	3 本のスリットレーザを同時走査	1 枚

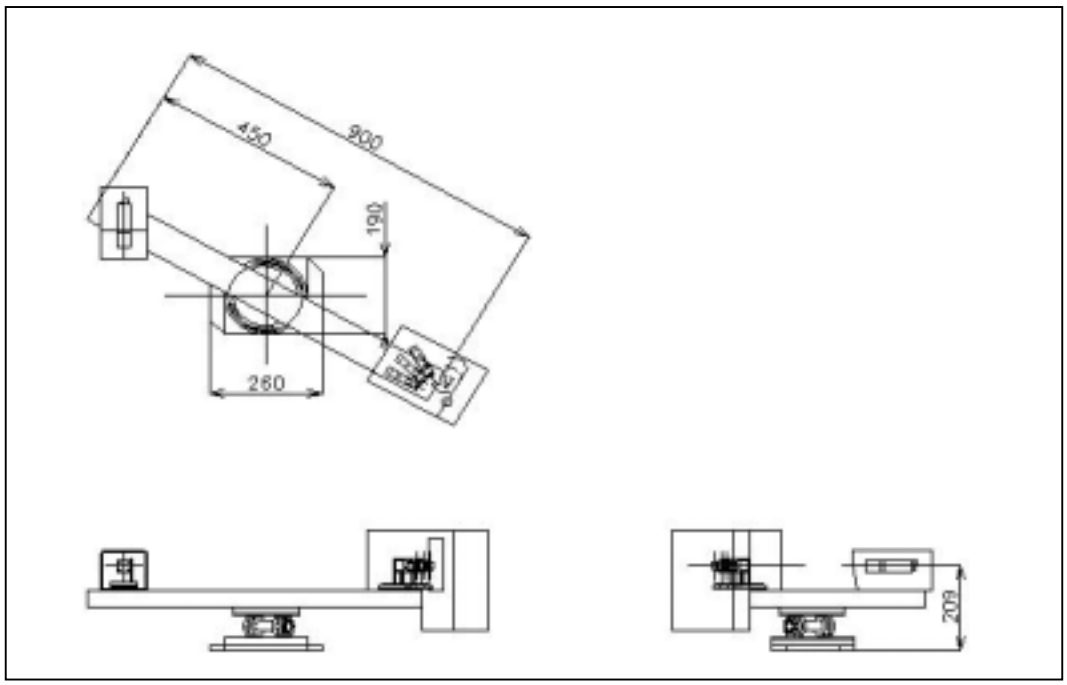


図４－14　スキャナ部三図面

４．５　付属ソフトウェア

（１）ソフトウェア構成

最終品に使用しているソフトウェアの構成を表４－９に示す。

表４－９　ソフトウェア構成

項目	型名	メーカ
OS	MS-WindowsNT4.0 Workstation(SP6)	マイクロソフト
	MS-DOS	マイクロソフト
ハード制御	制御ソフトウェア　(HSW-1011DS)	浜野エンジニアリング
画像処理	キャプチャソフトウェア　(HSW-1012WN)	浜野エンジニアリング
管理	マスタソフトウェア　(HSW-1013WN)	浜野エンジニアリング

（２）機能概要

各ソフトウェアの機能概要を以下に、システム概要図を図４－15 に示す。

①制御ソフトウェア(HSW-1011DS)の機能

・制御 PC にインストール
・OS は MS-DOS
・スキャナユニットの制御
・キャプチャソフトウェアとの同期制御
・ユーザインタフェースなし

②HSW-1012WN 機能

・キャプチャ PC にインストール
・OS は MS-WindowsNT4.0
・スキャナユニットから画像の入力
・カメラ画像のプレビュー表示
・マルチスリットレーザの判別
・形状算出用のオリジナルデータの生成
・MS-Windows によるユーザインタフェース提供

③HSW-1013WN 機能

・マスターPC にインストール
・システム情報の管理
・形状データの演算
・形状データの解析
・形状データの合成
・MS-Windows によるユーザインタフェース提供

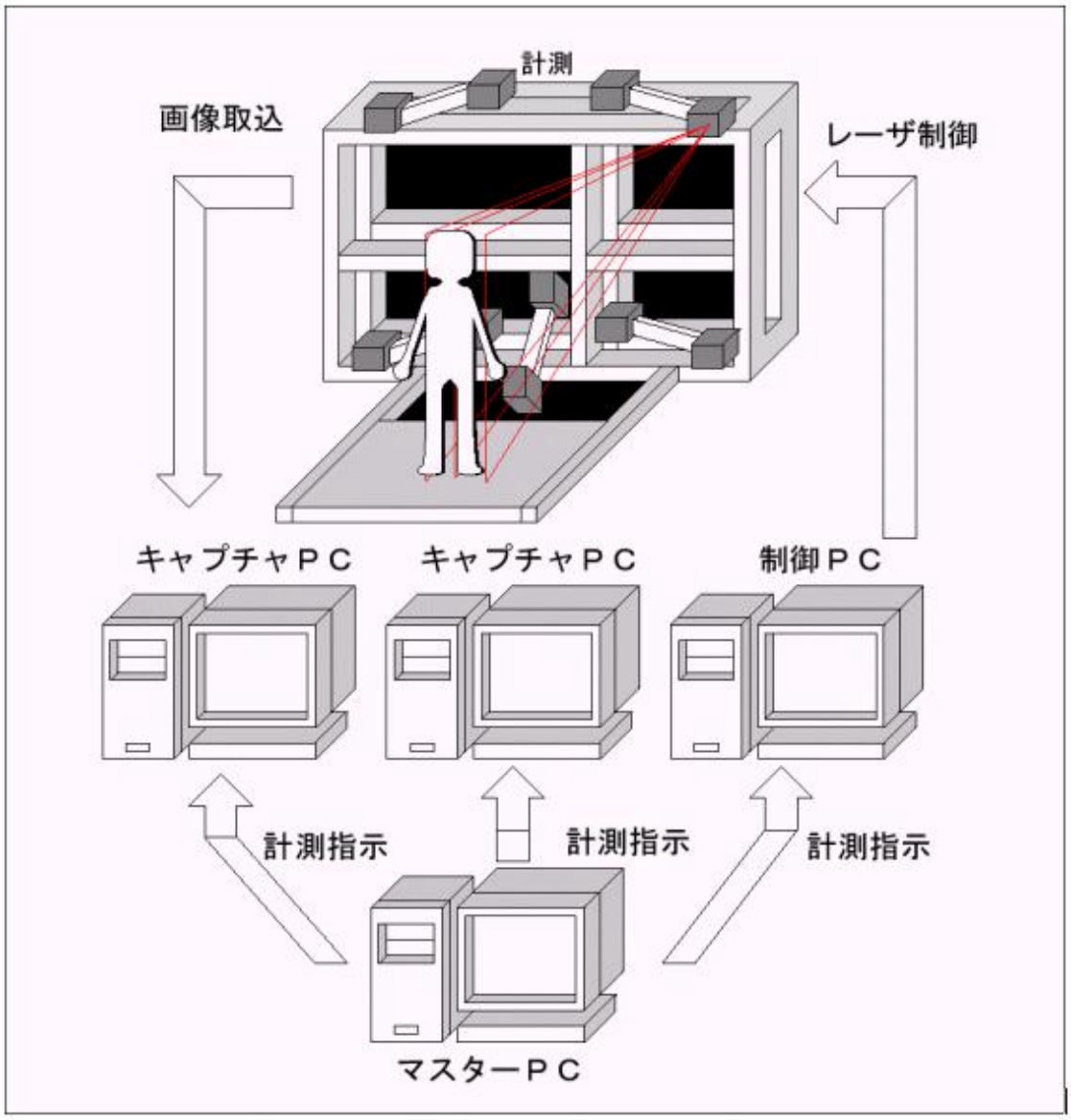


図４－15　システム概要図

（3）ソフトウェアの検証

試作機用に開発したソフトウェアの検証を行った結果，以下の問題が発生した。

①マーカの検出

マーカの検出は，指定した範囲からマーカを抽出し輝度の重心演算を行うことで，中心座標の算出を行っている。ここで，人体側面などに貼り付けたマーカを計測した場合，マーカの形状が楕円状で，マーカの輝度レベルがレーザ光のあたり具合により変化することが判明した。このような状態で，範囲指定によりマーカの自動検出を行うと，輝度による重心演算を行っているために，中心からずれた位置を検出してしまうという問題が発生した。また，体側面部に貼り付けたマーカは，影となるために画像が鮮明ではなく，自動検出において範囲を指定することが困難であった。

②形状算出処理

計測時間の短縮を行うために従来のイメージエンコーダ法を応用して，従来のシングルスリットレーザの使用せず，マルチスリットレーザを用いて計測を行った。原理については，**3．4**を参照のこと。このマルチスリットレーザ採用により，計測時間を飛躍的に向上することができ，従来の方式で同一仕様の計測器と比較して高速化を実現した。計測によって取り込んだ画像からレーザが投光された部分を識別して合成することで，形状を構成していくが，ここでマルチスリット特有の不確定要素という弊害が発生した。これは，マルチスリットの識別処理において，各スリット光のラベリングを行う時に，スリットが影になって撮像されない場合が発生すると，スリットの位置関係を判断できずにラベリングができなくなり，形状が大きく歪んでしまうという問題が発生した。特に人体全身においては，立位と座位のように大きく形状が異なる場合や，体幹部と指先のように寸法が大きく異なる部分が存在するため，スリットの位置関係を自動的に判断することが難しく，腕や足など関節で分岐している部分など形状に歪みが多く発生した。

（2）ソフトウェアの改善

試作機用に開発したソフトウェアを検証して発生した問題を下記のとおり改善した。

①マーカの検出処理

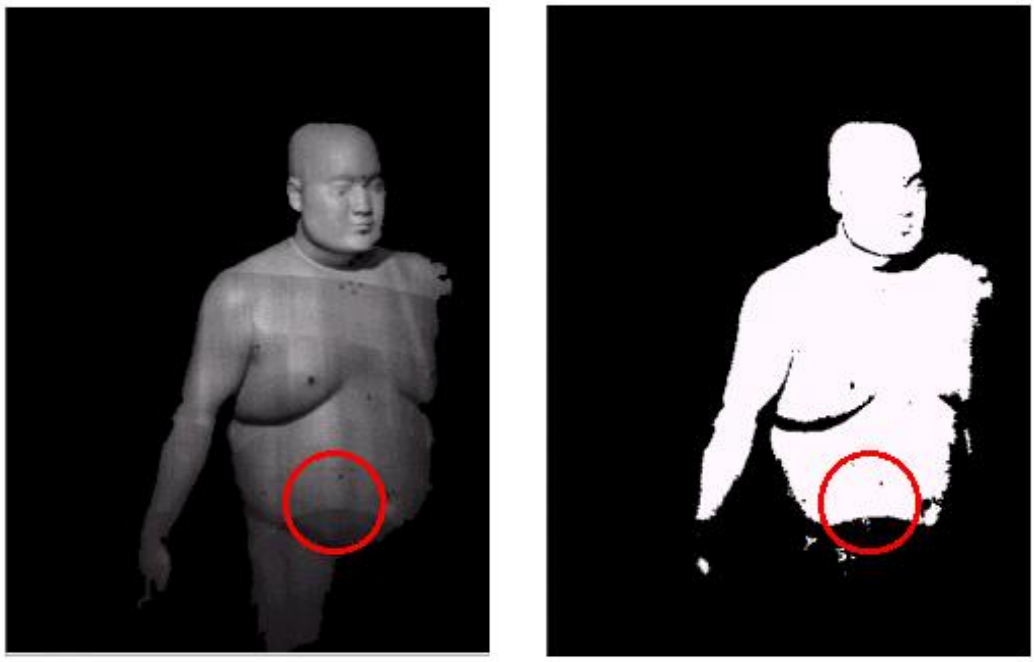
マーカの検出処理を検証した結果，以下に示すような条件を満たす必要があった。

- マーカが真円に近いこと
- 輝度斑がないこと
- 大きく写っていること
- マーカが鮮明であること

この条件を満たすには，計測環境やマーカの貼り付け位置により限定されてしまう。そこで，次に示す機能を付け加えることで，マーカの検出を可能とした。

2 値画像からの検出機能

体側面は，腕などにより影が出来てしまいマーカが非常に暗くなってしまう。このような状態では，マーカを判別することが難しく，検出位置を誤ってしまう。そこで，画像を 2 値化することでマーカの位置を画面上で認識できるようになる。この状態において，マーカの周辺を選択することでマーカの中心位置を検出することが可能となる。図４－16 に示すように(a)の画像ではまるで囲んだ部分のマーカを確認することが難しいが，(b)の 2 値化した画像ではマーカをはっきりと認識することが出来る。



(a)　通常の画像　　(b)　2 値化画像

図４－16　２値化画像によるマーカの検出

手動による直接検出機能

体側面や計測衣の上に貼り付けたマーカなどは，影やしわによりマーカの自動検出が出来なくなってしまう。また，眼孔の部分についてはマーカを貼り付けることが出来ないため，自動検出は不可能である。そこで，指定範囲から自動的にマーカの中心を検出する機能以外に，手動により直接マーカを検出する機能を付加した。

これにより，眼孔や体側面などのマーカを検出する際に直接画像をマウスポインタでクリックすることで，位置情報を取得することが出来る。

②形状算出処理

問題点にも上げたが，マルチスリットを使用することで高速化を実現したが，不確定要素を含んでいるため，スリットの位置関係を 100%自動判別することは不可能であった。そこで，スリットのラベリングをユーザの手によって判別する機能を追加した。ユーザにおいてラベリングを分かりやすくするためにグループ化されたスリットに色を配色するというインタフェースとした。これは，数字などを入力するよりも直感的にラベリングを行なうことができるため採用した。試作器では，9 本分のスリットを判別するために 9 色を配色し，完成機ではスリットが 3 本であるため，3 色を配色する。ユーザは，画面上に表示されたカラーパレット(図４－17 参照)から色を選択し，目的とするグループ化されたスリット画像，もしくは輝度画像上でマウスをクリックすることでラベリングが実行される。

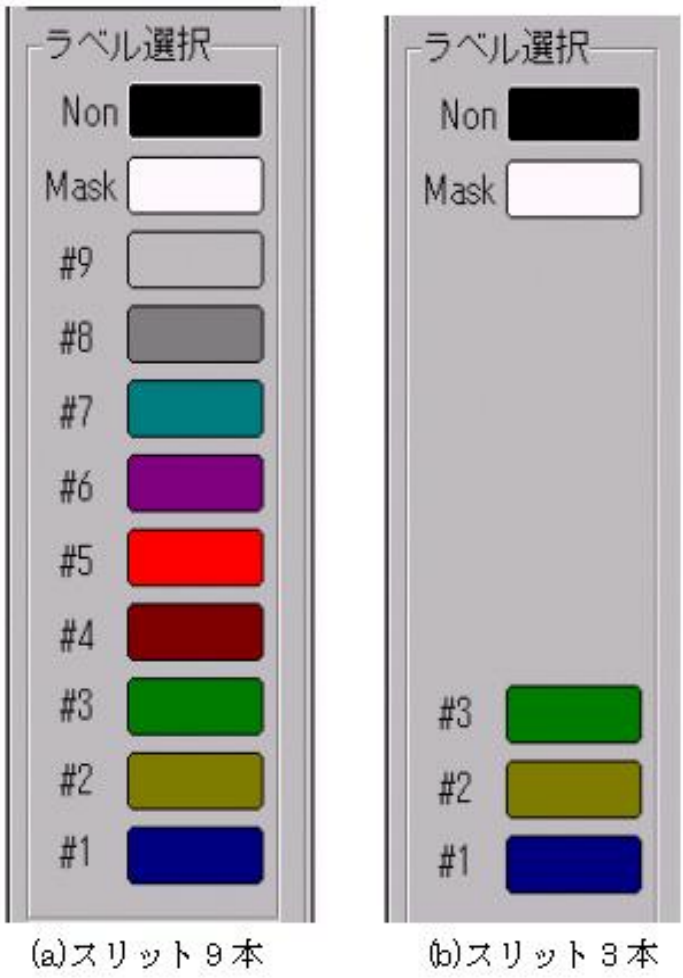


図４－17　カラーパレット

全ての色の配色が完了したら，このラベリングを元に 3 次元形状を生成するためのコードデータを生成する。この配色作業により鋸状のコードデータを連続したデータに変換することができ，従来のイメージエンコーダ法の演算処理を適応することが可能となる。また，

試作機ではスリットの本数が多いため，自動ラベリングは使用できない状態であったが，完成機ではスリット数を 3 本としたために自動ラベリングの処理も有功になり，手作業によるラベリングが減少し，計測から形状算出までの作業効率が向上した。

図４－18　ラベリング処理画面

また，各スリットは，走査範囲をオーバーラップするように設計してあるため，グループ化されたスリットを単純に表示すると全てが重なってしまい，ラベリングの指示が難しく，スリットの判別ができなくなる。そこで，グループ化されたスリットを分割することで，スリット間に隙間により判別が可能となりラベリング効率が向上する。また，スリットデータの表示以外に輝度データも表示した。図４－18 にラベリング画像を表示する。輝度画像とラベリング画像は，相互に表示を切り替えることができ，細かな部分に対する処理も行なうことが可能である。また，ラベリングしていないスリットについては，形状データの元となるコードデータを生成しないため，形状を算出する前にノイズを削除することが可能となる。

③解析機能の追加

試作機では，マーカを抽出してその座標値を取得するだけであり，そのデータに対する解析は，Excel のマクロを用いたり，独自にプログラムを作成する必要があった。実際の解析は，抽出したマーカ間の数値や基準面からの高さである。また，各マーカには特徴点名を割り当てているため，この特徴点名に基づいて各種寸法を算出すればよい。そこで，以下の定義ファイルを作成し，ユーザが任意に変更することで目的とする寸法を算出することが可能となる。

(1) 特徴点定義ファイル
特徴点名と抽出したマーカを対応づける

(2) 計測項目定義ファイル
特徴点から算出する寸法項目を定義

(3) 計測項目―特徴点対応づけファイル
計測項目に対して，どの特徴点を使用するか，2 点間距離であるのか高さ項目であるのかを定義

これら項目を定義した後に目的とする形状データを開くことで, 定義が有効になり解析処理が可能となる。その実行結果を下図に示す。画面下段に表示している数値が，マーカの抽出点となり，特徴点名をマーカに割り当てる機能を有している。画面中央付近の数値を表示した画面が，完成機に負荷した解析機能である。マーカに特徴点名を割り当てた後に採寸ボタンを押すことで計測項目一覧を表示することができる。また，解析前のマーカ一覧を保存してある場合，一括処理で解析結果のデータファイルを作成することが出来る。これにより，ユーザが独自にマクロやプログラムを作成することなく，解析データを算出することが可能となり，解析効率を向上することができた。

解析結果を表示した画面に ID や性別を入力することにより，ファイル毎にデータを管理することができる。また, データファイルを CSV(コンマ区切りデータファイル)で出力することが可能でるため，既存の統計処理ソフトウェアへの入力が容易になっている。

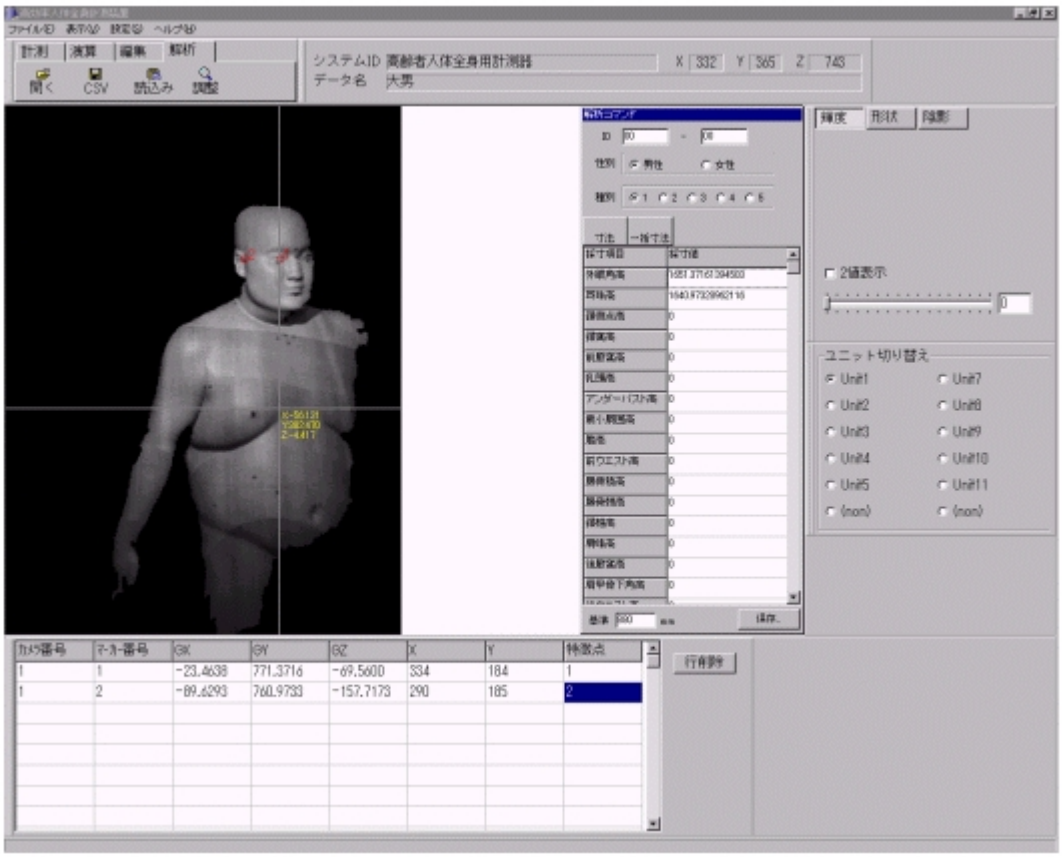

計測
演算
編集
解析
開く
CSV
読込み
システムID 高齢者人体全身用計測器
データ名 大男
X 332
Y 365
Z 743
輝度
形状
陰影
2値表示
ユニット切り替え
Unit1
Unit2
Unit3
Unit4
Unit5
(non)
Unit7
Unit8
Unit9
Unit10
Unit11
(non)
カメラ番号
マーカー番号
GX
GY
GZ
X
Y
特徴点
1 1 -23.4638 771.3716 -69.5600 334 184 1
1 2 -89.6293 760.9733 -157.7173 290 185 2
行削除

図４－19　解析画面

４．６　最終品精度検証

（１）人体計測用基準物の製作

本計測機では，身長 2m までの人体計測を可能とし，複数方向から計測を行なうことから立体的な構造の基準物を製作した。図４－20 に示すように，歪みに対する強度を得るために 40mm 角のアルミ引抜き材を使用した。フレームのままでは，マルチスリットによる計測が難しいため，前面および背面に 9mm 厚のパネルを取り付け，図(b)に示すようにマーカを貼り付けた。

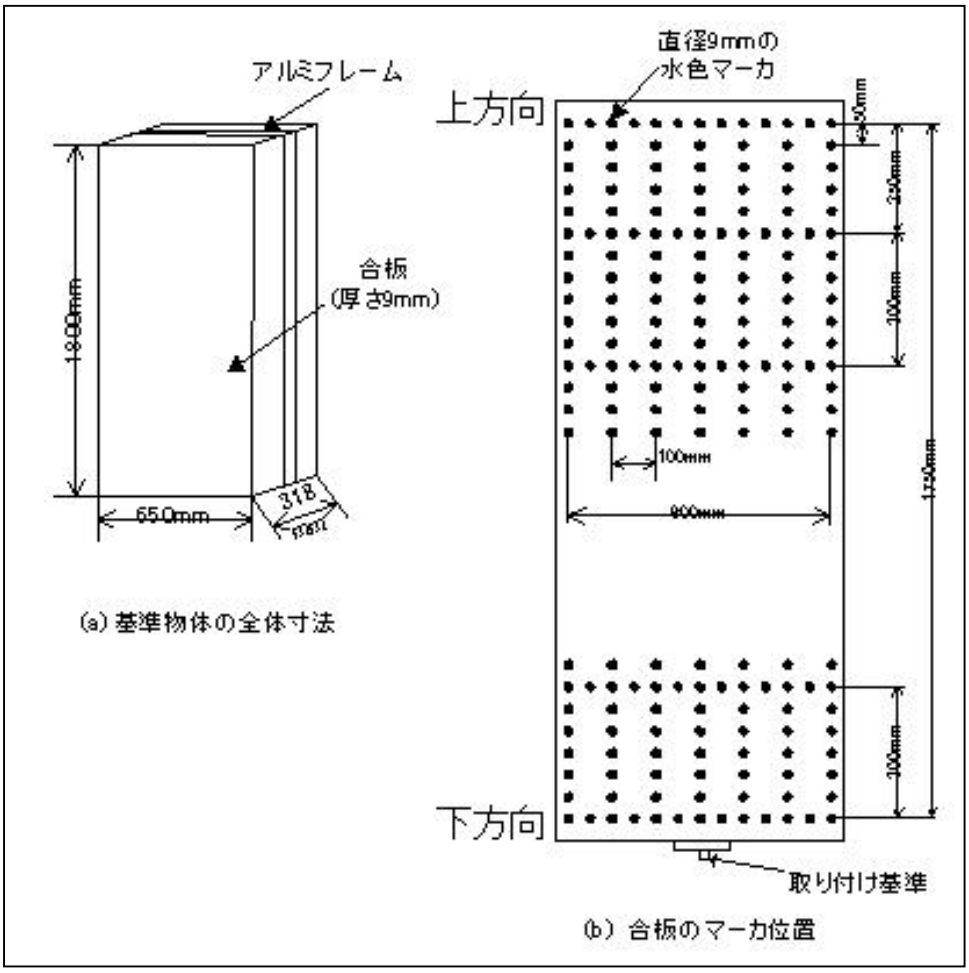


図４－20　試作器での基準物体

立体的な基準物体により，前後を同時に計測することが可能となり，移動や取り付け変更によるずれを防止した。この基準物体を用いることで，各スキャナユニットから算出されるデータを統一座標(グローバル座標)に変換し，解析およびデータ合成が可能となった。しかし，基準物体としての強度を得るためにアルミフレームを多く使用したために重量が増加し，基準となるベースフレームに歪みが生じてしまった。そのため，ベースフレームを

補強し歪みの修正をおこなったが，重量があるために基準物体の姿勢を微調整することが非常に難しいという問題があった。そこで，試作器で製作した基準物体の見直しを行なうこととした。

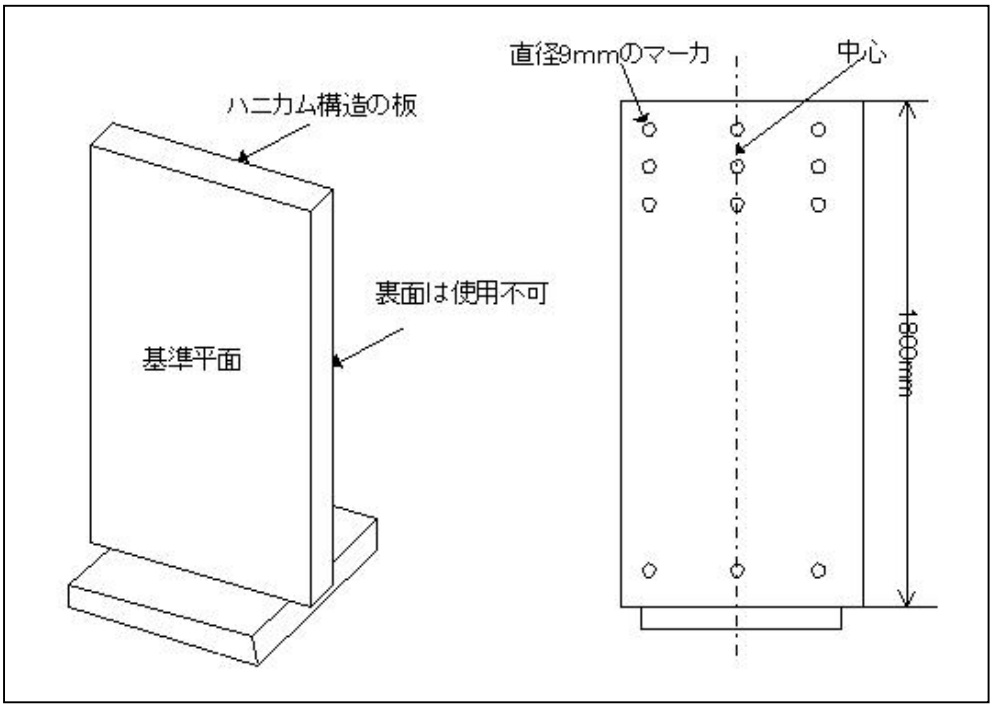


図４－21　完成機での基準物体

完成器では，基準物体の形状を立体形状から平面形状に変更した。これは，立体形状によって重量がかさみ，フレームの歪みが発生したり，微調整が難しいなどの問題を解決するために行なった。この基準物体では，ハニカム構造の平板を基準として使用することで，試作機で使用した合板よりも平面性が向上している。基準として使用するのは片面のみとし，裏面は平板を支えるためにフレームを通している。これにより，軽量で平面性の高い基準物体が完成した。また，基準物体の軽量化と共にフレーム強度を上げることにより，フレームの歪みをなくし，微調整を可能とすることで，精度の高い基準を作ることが可能となった。この基準物体を使用して，グローバル座標の算出(これにより各計測ユニット間の位置関係を算出)，および検証を行なった。

（2）基準平板による検証

図４－22 に示すように，平面の基準板を使用して，基準板上にマーカを貼り付けてそのマーカ間の距離を求めて検証を行なった。

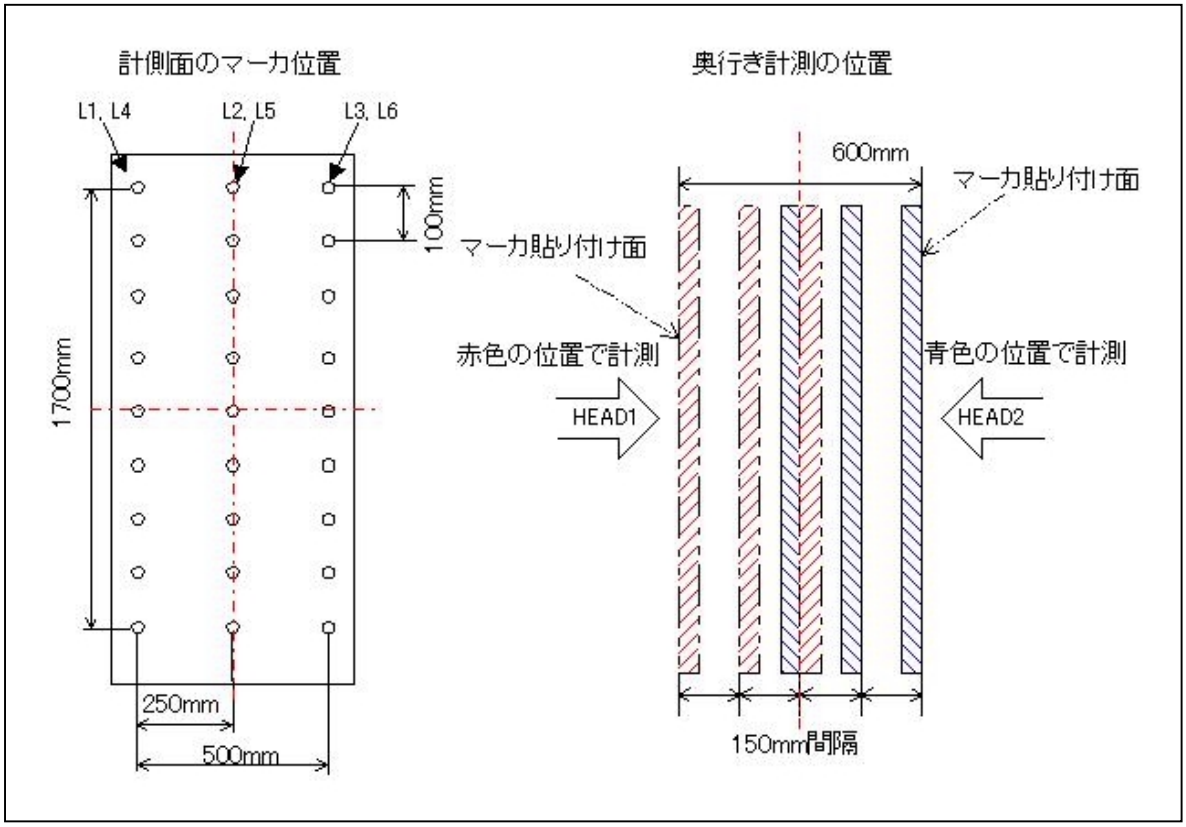


図４－22　基準板のマーカおよび設置位置

基準板に貼り付けたマーカ列を図４－23 の赤枠で囲ったスキャナで読み取った場合，左から L1，L2，L3 と番号を割り振り，青枠で囲ったスキャナで読み取った場合は，左から L4，L5，L6 と割り当てる。この番号を基準に各項目の検証を行なった。

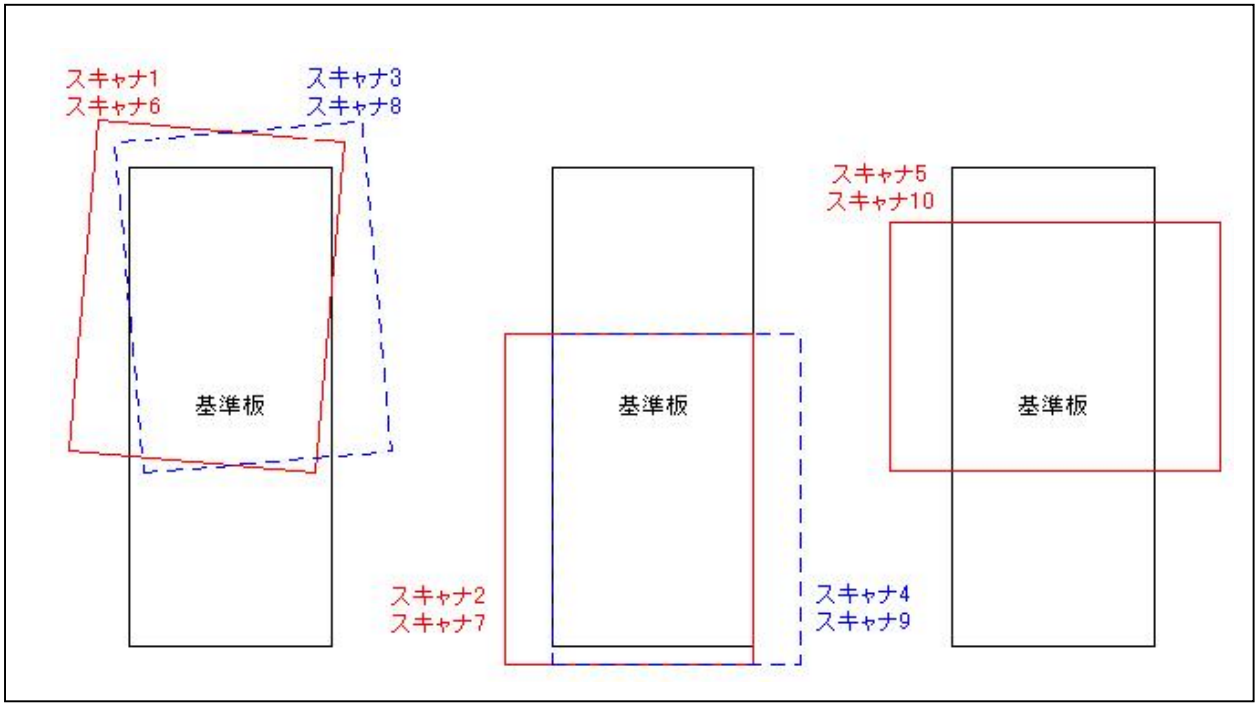


図４－23　各スキャナの計測範囲

（３）人体ダミーによる検証

2 名の計測員 A および B が、人体ダミー4 体をマルチン計測(手計測)した寸法データと当該計測器で算出したデータを比較検証する。

計測に使用した人体ダミーは以下のとおりである。

製造メーカ：　七彩
種類　　：特殊ダミー3 体(大男，大女，老人男性)
　　標準ダミー1 体(20 代平均男性)

（４）基準平板による検証結果

各項目の検証結果について示す。数値はミリメートル(mm)単位で誤差平均，および絶対誤差平均を示す。

①カメラ毎の検証

表４－10　カメラ毎の高さ方向の間隔(100mm に対して)

カメラ No	誤差平均			絶対誤差平均		
	L1／L4	L2／L5	L3／L6	L1／L4	L2／L5	L3／L6
1	-0.01	-0.39	-0.94	1.95	1.04	1.62
2	0.20	0.03	-0.28	1.26	1.20	1.58
3	-0.62	0.36	0.45	1.29	3.38	1.56
4	-0.01	-0.23	-0.16	0.58	0.71	0.64
5	-0.32	-0.79	-0.74	1.77	1.88	1.86
6	0.10	0.55	0.11	0.58	0.55	1.23
7	0.03	0.07	-1.33	1.93	1.53	3.41
8	-0.38	-0.23	0.05	1.33	2.36	1.12
9	0.12	0.03	-0.24	0.66	0.43	0.83
10	-2.53	-1.50	-2.93	5.70	7.86	3.84

表４－11　カメラ毎の幅方向の間隔(250mm に対して)

カメラ No	誤差平均		絶対誤差平均	
	L1-2/L4-5	L2-3/L5-6	L1-2/L4-5	L2-3/L5-6
1	0.78	1.30	2.04	3.64
2	1.71	0.11	1.86	1.38
3	-1.86	0.44	3.41	2.53
4	1.64	1.03	1.64	1.26
5	-1.06	0.41	1.48	1.27
6	-1.68	0.77	3.26	2.51
7	-0.26	-0.57	2.02	2.63
8	0.63	-0.56	0.81	1.35
9	-1.37	-1.22	1.56	1.39
10	-3.56	-3.99	3.56	3.99

表４－12　奥行き方向の間隔(150mm および，300mm に対して)

カメラ No	誤差平均			絶対誤差平均		
	0-150	150-300	0-300	0-150	150-300	0-300
1	0.04	-3.35	-3.31	2.11	3.61	3.34
2	-0.53	-1.70	-2.23	2.30	1.98	2.23
3	-2.60	2.27	-0.33	2.60	2.60	1.06
4	-3.73	5.36	1.62	3.73	5.36	1.82
5	2.22	-2.83	-0.61	2.25	2.98	1.69
6	-4.38	2.62	-1.76	5.36	4.58	1.76
7	-1.08	2.09	1.01	1.25	2.35	1.50
8	0.61	-0.77	-0.15	1.17	1.84	0.78
9	-4.62	1.92	-2.70	4.78	2.60	2.78
10	0.92	0.36	1.28	1.96	2.23	1.70

②合成結果による検証

高さについて基準板の最下部に貼り付けたマーカを 0mm として 100mm 毎に 1700mm まで計測した結果を示す。

表４－13　HEAD1 の結果

	L1			L2			L3		
基準位置	計測値	誤差	絶対誤差	計測値	誤差	絶対誤差	計測値	誤差	絶対誤差
1700	1701.439	1.44	1.44	1698.544	-1.46	1.46	1697.988	-2.01	2.01
1600	1598.760	-1.24	1.24	1598.374	-1.63	1.63	1596.688	-3.31	3.31
1500	1499.817	-0.18	0.18	1495.626	-4.37	4.37	1497.726	-2.27	2.27
1400	1400.545	0.55	0.55	1399.645	-0.36	0.36	1398.021	-1.98	1.98
1300	1301.267	1.27	1.27	1299.298	-0.70	0.7	1297.921	-2.08	2.08
1200	1201.216	1.22	1.22	1200.348	0.35	0.35	1198.004	-2.00	2
1100	1102.366	2.37	2.37	1098.289	-1.71	1.71	1098.798	-1.20	1.2
1000	1002.343	2.34	2.34	1000.224	0.22	0.22	998.277	-1.72	1.72
900	901.646	1.65	1.65	901.879	1.88	1.88	899.145	-0.85	0.85
800	804.288	4.29	4.29	798.695	-1.31	1.31	800.259	0.26	0.26
700	700.107	0.11	0.11	698.190	-1.81	1.81	697.582	-2.42	2.42
600	600.673	0.67	0.67	598.153	-1.85	1.85	597.420	-2.58	2.58
500	500.391	0.39	0.39	497.506	-2.49	2.49	497.124	-2.88	2.88
400	399.014	-0.99	0.99	397.427	-2.57	2.57	397.789	-2.21	2.21
300	300.330	0.33	0.33	296.281	-3.72	3.72	297.036	-2.96	2.96
200	200.281	0.28	0.28	197.252	-2.75	2.75	196.402	-3.60	3.6
100	100.060	0.06	0.06	97.103	-2.90	2.9	97.288	-2.71	2.71
平均		0.86	1.14		-1.60	1.89		-2.15	2.18

表４－14　HEAD2 の結果

	L1			L2			L3		
基準位置	計測値	誤差	絶対誤差	計測値	誤差	絶対誤差	計測値	誤差	絶対誤差
1700	1701.166	1.17	1.17	1699.095	-0.90	0.9	1694.836	-5.16	5.16
1600	1600.989	0.99	0.99	1600.986	0.99	0.99	1593.748	-6.25	6.25
1500	1501.011	1.01	1.01	1501.219	1.22	1.22	1493.595	-6.41	6.41
1400	1401.729	1.73	1.73	1399.394	-0.61	0.61	1394.001	-6.00	6
1300	1301.569	1.57	1.57	1298.601	-1.40	1.4	1291.809	-8.19	8.19
1200	1202.809	2.81	2.81	1202.530	2.53	2.53	1194.786	-5.21	5.21
1100	1101.861	1.86	1.86	1102.608	2.61	2.61	1095.275	-4.72	4.72
1000	1003.446	3.45	3.45	1003.432	3.43	3.43	995.804	-4.20	4.2
900	901.785	1.79	1.79	901.181	1.18	1.18	894.889	-5.11	5.11
800	801.895	1.89	1.89	802.107	2.11	2.11	794.479	-5.52	5.52
700	701.151	1.15	1.15	700.769	0.77	0.77	693.256	-6.74	6.74
600	600.488	0.49	0.49	600.218	0.22	0.22	593.733	-6.27	6.27
500	501.934	1.93	1.93	500.886	0.89	0.89	492.867	-7.13	7.13
400	401.268	1.27	1.27	401.195	1.19	1.19	393.849	-6.15	6.15
300	301.719	1.72	1.72	300.823	0.82	0.82	294.820	-5.18	5.18
200	202.555	2.55	2.55	201.231	1.23	1.23	192.774	-7.23	7.23
100	103.039	3.04	3.04	101.309	1.31	1.31	95.074	-4.93	4.93
平均		1.79	1.79		1.03	1.38		-5.91	5.91

幅について基準板に貼り付けた左端および右端のマーカ間(500mm)を計測した結果を示す。

表４－15　HEAD1 の結果

計測位置	500mm 幅		
	計測値	誤差	絶対誤差
1700	501.21609	1.22	1.22
1600	500.483	0.48	0.48
1500	501.411	1.41	1.41
1400	501.906	1.91	1.91
1300	502.647	2.65	2.65
1200	498.280	-1.72	1.72
1100	499.097	-0.90	0.9
1000	502.267	2.27	2.27
900	502.586	2.59	2.59
800	501.531	1.53	1.53
700	498.506	-1.49	1.49
600	503.567	3.57	3.57
500	504.146	4.15	4.15
400	500.968	0.97	0.97
300	500.225	0.22	0.22
200	505.020	5.02	5.02
100	504.717	4.72	4.72
0	500.311	0.31	0.31
平均		1.61	2.06

表４－16　HEAD2 の結果

測定位置	500mm 幅		
	計測値	誤差	絶対誤差
1700	501.21609	1.22	1.22
1600	500.483	0.48	0.48
1500	501.411	1.41	1.41
1400	501.906	1.91	1.91
1300	502.647	2.65	2.65
1200	498.280	-1.72	1.72
1100	499.097	-0.90	0.9
1000	502.267	2.27	2.27
900	498.099	-1.90	1.9
800	496.293	-3.71	3.71
700	498.506	-1.49	1.49
600	503.567	3.57	3.57
500	504.146	4.15	4.15
400	500.968	0.97	0.97
300	500.225	0.22	0.22
200	505.020	5.02	5.02
100	504.717	4.72	4.72
0	500.311	0.31	0.31
平均		1.07	2.15

2 点間距離(幅)について示す。

表４－17　HEAD1 の結果

測定位置	500mm 幅		
	計測値	誤差	絶対誤差
1700	501.65974	1.66	1.66
1600	500.880	0.88	0.88
1500	501.680	1.68	1.68
1400	502.037	2.04	2.04
1300	502.682	2.68	2.68
1200	498.264	-1.74	1.74
1100	498.984	-1.02	1.02
1000	502.003	2.00	2
900	502.418	2.42	2.42
800	501.308	1.31	1.31
700	498.511	-1.49	1.49
600	503.576	3.58	3.58
500	504.149	4.15	4.15
400	500.973	0.97	0.97
300	500.225	0.22	0.22
200	505.019	5.02	5.02
100	504.715	4.71	4.71
0	500.318	0.32	0.32
平均		1.63	2.11

表４－18　HEAD2 の結果

測定位置	500mm 幅		
	計測値	誤差	絶対誤差
1700	498.10111	-1.9	1.9
1600	497.754	-2.25	2.25
1500	497.696	-2.30	2.3
1400	498.897	-1.10	1.1
1300	493.814	-6.19	6.19
1200	502.395	2.39	2.39
1100	499.798	-0.20	0.2
1000	501.993	1.99	1.99
900	498.114	-1.89	1.89
800	496.300	-3.70	3.7
700	501.984	1.98	1.98
600	495.842	-4.16	4.16
500	502.119	2.12	2.12
400	504.020	4.02	4.02
300	497.610	-2.39	2.39
200	498.824	-1.18	1.18
100	498.171	-1.83	1.83
0	498.900	-1.10	1.1
平均		-0.98	2.37

2 点間距離(300mm および，600mm に対して)の結果を示す。

表４－19　300㎜ 奥行き結果

測定位置	L1			L2			L3		
	測定値	誤差	絶対誤差	測定値	誤差	絶対誤差	測定値	誤差	絶対誤差
1700	301.68	1.68	1.68	299.78	-0.22	0.22	299.03	-0.97	0.97
1600	300.95	0.95	0.95	299.78	-0.22	0.22	299.03	-0.97	0.97
1500	302.53	2.53	2.53	299.78	-0.22	0.22	299.03	-0.97	0.97
1400	301.43	1.43	1.43	299.78	-0.22	0.22	299.03	-0.97	0.97
1300	301.89	1.89	1.89	299.78	-0.22	0.22	299.03	-0.97	0.97
1200	300.54	0.54	0.54	299.78	-0.22	0.22	299.03	-0.97	0.97
1100	298.8	-1.20	1.20	299.78	-0.22	0.22	299.03	-0.97	0.97
1000	299.59	-0.41	0.41	299.78	-0.22	0.22	299.03	-0.97	0.97
900	301.61	1.61	1.61	295.79	-4.21	4.21	293.09	-6.91	6.91
800	301.54	1.54	1.54	295.79	-4.21	4.21	293.09	-6.91	6.91
700	300.8	0.80	0.80	294.28	-5.72	5.72	287.48	-12.52	12.52
600	300.66	0.66	0.66	295.49	-4.51	4.51	288.81	-11.19	11.19
500	301.45	1.45	1.45	294.66	-5.34	5.34	290.17	-9.83	9.83
400	301.76	1.76	1.76	295.45	-4.55	4.55	292.21	-7.79	7.79
300	301.59	1.59	1.59	296.91	-3.09	3.09	294.15	-5.85	5.85
200	302.03	2.03	2.03	296.9	-3.10	3.10	295.89	-4.11	4.11
100	302.14	2.14	2.14	298.39	-1.61	1.61	297.38	-2.62	2.62
0	302.06	2.06	2.06	299.15	-0.85	0.85	298.42	-1.58	1.58
平均		1.28	1.46		-2.16	2.16		-4.28	4.28

表４－20　600㎜奥行き結果

測定位置	L1			L2			L3		
	測定値	誤差	絶対誤差	測定値	誤差	絶対誤差	測定値	誤差	絶対誤差
1700	599.95	-0.05	0.05	597.52	-2.48	2.48	599.56	-0.44	0.44
1600	599.21	-0.79	0.79	600.43	0.43	0.43	598.48	-1.52	1.52
1500	600.25	0.25	0.25	599.46	-0.54	0.54	599.04	-0.96	0.96
1400	599.97	-0.03	0.03	599.1	-0.90	0.90	599.36	-0.64	0.64
1300	599.75	-0.25	0.25	597.87	-2.13	2.13	599.52	-0.48	0.48
1200	598.55	-1.45	1.45	597.12	-2.88	2.88	599.34	-0.66	0.66
1100	597.43	-2.57	2.57	597.12	-2.88	2.88	598.56	-1.44	1.44
1000	598.54	-1.46	1.46	593.52	-6.48	6.48	598.5	-1.50	1.50
900	598.67	-1.33	1.33	596.68	-3.32	3.32	600.6	0.60	0.60
800	598.13	-1.87	1.87	598.03	-1.97	1.97	599.88	-0.12	0.12
700	598.23	-1.77	1.77	599.94	-0.06	0.06	598.7	-1.30	1.30
600	599.86	-0.14	0.14	599.06	-0.94	0.94	599.27	-0.73	0.73
500	600	0.00	0.00	598.07	-1.93	1.93	598.34	-1.66	1.66
400	600.91	0.91	0.91	598.8	-1.20	1.20	598.57	-1.43	1.43
300	599.46	-0.54	0.54	599.23	-0.77	0.77	598.5	-1.50	1.50
200	598.29	-1.71	1.71	598.46	-1.54	1.54	597.18	-2.82	2.82
100	599.12	-0.88	0.88	599.02	-0.98	0.98	597.04	-2.96	2.96
0	598.17	-1.83	1.83	599.31	-0.69	0.69	595.86	-4.14	4.14
平均		-0.86	0.99		-1.74	1.78		-1.32	1.38

（５）基準平板による検証結果(計測時間変更)

計測時間を 2 倍(3.6 秒)に設定して計測した検証結果を示す。

①カメラ毎の検証

表４－21　カメラ毎の高さ方向の間隔(100mm に対して)

カメラ No	誤差平均			絶対誤差平均		
	L1／L4	L2／L5	L3／L6	L1／L4	L2／L5	L3／L6
1	0.05	-1.13	-1.22	0.57	2.23	1.54
2	0.49	0.53	0.14	0.83	1.95	1.64
3	-0.66	0.28	0.33	1.60	2.94	2.23
4	0.13	-0.67	-0.73	1.24	1.44	1.33
5	-0.83	-0.85	-0.27	1.40	1.29	1.91
6	-0.52	-0.56	-0.79	1.07	0.84	0.83
7	-0.04	-0.36	-0.64	1.74	1.04	1.42
8	-0.07	-0.26	0.22	0.56	1.67	1.01
9	1.03	0.52	0.70	1.39	0.77	0.76
10	-3.08	-2.85	-3.47	3.62	5.06	5.08

表４－22　カメラ毎の幅方向の間隔(250mm に対して)

カメラ No	誤差平均		絶対誤差平均	
	L1-2/L4-5	L2-3/L5-6	L1-2/L4-5	L2-3/L5-6
1	-1.37	-1.47	1.51	1.47
2	1.54	1.56	1.57	1.72
3	-0.63	-0.41	1.58	1.96
4	3.33	-0.51	3.33	1.21
5	-0.22	-0.47	0.70	0.85
6	-1.77	-2.02	2.03	2.02
7	-1.43	-2.35	2.45	2.68
8	-1.24	-2.24	1.31	2.43
9	0.32	0.95	0.65	1.08
10	-4.62	-4.74	4.62	4.74

表４－23　奥行き方向の間隔(150mm および，300mm に対して)

カメラ No	誤差平均			絶対誤差平均		
	0-150	150-300	0-300	0-150	150-300	0-300
1	-3.09	-1.31	-4.64	3.12	3.19	4.46
2	7.86	-1.11	6.76	7.86	1.11	6.76
3	-0.51	1.76	1.27	0.72	1.93	1.67
4	1.12	1.87	3.00	1.12	2.00	3.00
5	-0.95	-1.92	-3.13	1.24	2.17	3.16
6	0.57	-12.47	-11.90	0.78	12.47	11.90
7	-1.02	-4.17	-5.23	1.03	4.17	5.23
8	-0.65	3.69	2.93	0.99	3.67	2.93
9	0.33	0.84	1.16	1.01	1.02	1.16
10	0.25	-5.99	-5.69	1.15	5.99	5.71

②合成結果による検証

高さについて基準板の最下部に貼り付けたマーカを 0mm として 100mm 毎に 1700mm まで計測した結果を示す。

表４－24　HEAD1 の結果

	L1			L2			L3		
基準位置	計測値	誤差	絶対誤差	計測値	誤差	絶対誤差	計測値	誤差	絶対誤差
1700	1702.50428	2.5	2.5	1702.21505	2.22	2.22	1693.35291	-6.65	6.65
1600	1602.97826	2.98	2.98	1600.70051	0.7	0.7	1596.17256	-3.83	3.83
1500	1502.73461	2.73	2.73	1501.39696	1.4	1.4	1495.64503	-4.35	4.35
1400	1402.95987	2.96	2.96	1402.85222	2.85	2.85	1396.06729	-3.93	3.93
1300	1302.73725	2.74	2.74	1301.44126	1.44	1.44	1297.57712	-2.42	2.42
1200	1203.41275	3.41	3.41	1207.13711	7.14	7.14	1201.97567	1.98	1.98
1100	1103.20319	3.2	3.2	1105.12913	5.13	5.13	1101.22362	1.22	1.22
1000	1004.20711	4.21	4.21	1005.12899	5.13	5.13	1001.79142	1.79	1.79
900	903.764934	3.76	3.76	907.21424	7.21	7.21	903.087702	3.09	3.09
800	803.420907	3.42	3.42	803.359452	3.36	3.36	799.506856	-0.49	0.49
700	702.392693	2.39	2.39	703.950228	3.95	3.95	698.641167	-1.36	1.36
600	602.677951	2.68	2.68	600.579874	0.58	0.58	596.209798	-3.79	3.79
500	501.717227	1.72	1.72	497.226102	-2.77	2.77	497.272176	-2.73	2.73
400	400.756581	0.76	0.76	401.982399	1.98	1.98	396.264071	-3.74	3.74
300	301.81241	1.81	1.81	300.11483	0.11	0.11	298.715725	-1.28	1.28
200	199.840948	-0.16	0.16	200.486859	0.49	0.49	197.220436	-2.78	2.78
100	99.886589	-0.11	0.11	101.161766	1.16	1.16			
平均		2.41	2.44		2.48	2.8		-1.83	2.84

表４－25　HEAD2 の結果

基準位置	L1			L2			L3		
	計測値	誤差	絶対誤差	計測値	誤差	絶対誤差	計測値	誤差	絶対誤差
1700	1696.897	-3.10	3.1	1694.069	-5.93	5.93	1691.222	-8.78	8.78
1600	1596.744	-3.26	3.26	1592.878	-7.12	7.12	1589.794	-10.21	10.21
1500	1498.375	-1.62	1.62	1492.795	-7.20	7.2	1493.828	-6.17	6.17
1400	1396.717	-3.28	3.28	1392.187	-7.81	7.81	1390.364	-9.64	9.64
1300	1296.524	-3.48	3.48	1290.440	-9.56	9.56	1292.454	-7.55	7.55
1200	1199.348	-0.65	0.65	1198.959	-1.04	1.04	1193.221	-6.78	6.78
1100	1101.680	1.68	1.68	1094.219	-5.78	5.78	1090.641	-9.36	9.36
1000	999.734	-0.27	0.27	992.933	-7.07	7.07	988.540	-11.46	11.46
900	899.424	-0.58	0.58	896.420	-3.58	3.58	890.181	-9.82	9.82
800	802.824	2.82	2.82	791.589	-8.41	8.41	788.250	-11.75	11.75
700	700.988308	0.99	0.99	694.492288	-5.51	5.51	692.207995	-7.79	7.79
600	599.771	-0.23	0.23	596.614	-3.39	3.39	592.563	-7.44	7.44
500	500.118	0.12	0.12	496.947	-3.05	3.05	492.187	-7.81	7.81
400	399.907	-0.09	0.09	395.635	-4.36	4.36	392.533	-7.47	7.47
300	299.968	-0.03	0.03	295.633	-4.37	4.37	291.880	-8.12	8.12
200	201.496	1.50	1.5	198.562	-1.44	1.44	191.427	-8.57	8.57
100	100.574	0.57	0.57	96.410	-3.59	3.59	92.142	-7.86	7.86
平均		-0.52	1.43		-5.25	5.25		-8.62	8.62

幅について基準板に貼り付けた左端および右端のマーカ間(500mm)を計測した結果を示す。

表４－26　HEAD1 の結果

計測位置	500mm 幅		
	計測値	誤差	絶対誤差
1700	497.71318	-2.29	2.29
1600	497.414	-2.59	2.59
1500	499.401	-0.60	0.6
1400	499.467	-0.53	0.53
1300	495.439	-4.56	4.56
1200	496.568	-3.43	3.43
1100	496.727	-3.27	3.27
1000	497.432	-2.57	2.57
900	499.650	-0.35	0.35
800	496.963	-3.04	3.04
700	498.531	-1.47	1.47
600	501.882	1.88	1.88
500	500.293	0.29	0.29
400	497.796	-2.20	2.2
300	501.514	1.51	1.51
200	499.608	-0.39	0.39
100	501.135	1.14	1.14
0	498.759	-1.24	1.24
平均		-1.32	1.85

表４－27　HEAD2 の結果

測定位置	500mm 幅		
	計測値	誤差	絶対誤差
1700	496.79284	-3.21	3.21
1600	495.286	-4.71	4.71
1500	495.059	-4.94	4.94
1400	494.900	-5.10	5.1
1300	497.633	-2.37	2.37
1200	493.916	-6.08	6.08
1100	497.431	-2.57	2.57
1000	495.890	-4.11	4.11
900	497.360	-2.64	2.64
800	499.112	-0.89	0.89
700	499.488	-0.51	0.51
600	501.883	1.88	1.88
500	500.840	0.84	0.84
400	499.006	-0.99	0.99
300	500.654	0.65	0.65
200	496.015	-3.98	3.98
100	499.135	-0.87	0.87
0	504.835	4.83	4.83
平均		-1.93	2.84

2 点間距離(幅)の結果について示す。

表４－28　HEAD1 の結果

測定位置	500mm 幅		
	計測値	誤差	絶対誤差
1700	497.71814	-2.28	2.28
1600	497.417	-2.58	2.58
1500	499.422	-0.58	0.58
1400	499.469	-0.53	0.53
1300	495.450	-4.55	4.55
1200	496.584	-3.42	3.42
1100	496.729	-3.27	3.27
1000	497.443	-2.56	2.56
900	499.655	-0.34	0.34
800	496.966	-3.03	3.03
700	498.542	-1.46	1.46
600	501.893	1.89	1.89
500	500.309	0.31	0.31
400	497.824	-2.18	2.18
300	501.526	1.53	1.53
200	499.634	-0.37	0.37
100	501.168	1.17	1.17
0	498.942	-1.06	1.06
平均	AVE.	-1.30	1.84

表４－29　HEAD2 の結果

測定位置	500mm 幅		
	計測値	誤差	絶対誤差
1700	496.80628	-3.19	3.19
1600	495.291	-4.71	4.71
1500	495.059	-4.94	4.94
1400	494.902	-5.1	5.1
1300	497.634	-2.37	2.37
1200	493.924	-6.08	6.08
1100	497.432	-2.57	2.57
1000	495.894	-4.11	4.11
900	497.367	-2.63	2.63
800	499.126	-0.87	0.87
700	499.515	-0.49	0.49
600	501.933	1.93	1.93
500	500.866	0.87	0.87
400	499.045	-0.95	0.95
300	500.713	0.71	0.71
200	496.145	-3.85	3.85
100	499.267	-0.73	0.73
0	504.936	4.94	4.94
平均		-1.90	2.84

2 点間距離(300mm および，600mm に対して)の結果について示す。

表４－30　300㎜ 奥行き結果

測定位置	L1			L2			L3		
	測定値	誤差	絶対誤差	測定値	誤差	絶対誤差	測定値	誤差	絶対誤差
1700	298.6	-1.40	1.40	298.69	-1.31	1.31	299.79	-0.21	0.21
1600	298.22	-1.78	1.78	297.72	-2.28	2.28	300.04	0.04	0.04
1500	298.05	-1.95	1.95	298.26	-1.74	1.74	298.65	-1.35	1.35
1400	298.79	-1.21	1.21	298.4	-1.60	1.60	298.35	-1.65	1.65
1300	300.04	0.04	0.04	298.13	-1.87	1.87	299.03	-0.97	0.97
1200	299.46	-0.54	0.54	297.47	-2.53	2.53	299.93	-0.07	0.07
1100	295.72	-4.28	4.28	297.15	-2.85	2.85	298.26	-1.74	1.74
1000	300.16	0.16	0.16	297.62	-2.38	2.38	301.04	1.04	1.04
900	282.59	-17.41	17.41	296.89	-3.11	3.11	302.07	2.07	2.07
800	305.76	5.76	5.76	295.92	-4.08	4.08	293.53	-6.47	6.47
700	306.21	6.21	6.21	304.8	4.80	4.80	301.53	1.53	1.53
600	307.17	7.17	7.17	304.59	4.59	4.59	299.95	-0.05	0.05
500	306.9	6.90	6.90	304.57	4.57	4.57	300.21	0.21	0.21
400	308.4	8.40	8.40	304.41	4.41	4.41	299.23	-0.77	0.77
300	309.27	9.27	9.27	303.73	3.73	3.73	299.45	-0.55	0.55
200	308.87	8.87	8.87	304.07	4.07	4.07	301.2	1.20	1.20
100	309.05	9.05	9.05	303.79	3.79	3.79	300.76	0.76	0.76
0									
平均		1.96	5.32		0.37	3.16		-0.41	1.22

表４－31　600mm 奥行き結果

測定位置	L1			L2			L3		
	測定値	誤差	絶対誤差	測定値	誤差	絶対誤差	測定値	誤差	絶対誤差
1700	599.99	-0.01	0.01	594.63	-5.37	5.37	591.34	-8.66	8.66
1600	598.28	-1.72	1.72	594.32	-5.68	5.68	591.42	-8.58	8.58
1500	599.11	-0.89	0.89	593.45	-6.55	6.55	590.66	-9.34	9.34
1400	599.8	-0.20	0.20	593.48	-6.52	6.52	588.26	-11.74	11.74
1300	599.51	-0.49	0.49	592.39	-7.61	7.61	589.2	-10.80	10.80
1200	598.59	-1.41	1.41	592.15	-7.85	7.85	591.16	-8.84	8.84
1100	598.84	-1.16	1.16	591.51	-8.49	8.49	588.89	-11.11	11.11
1000	600.09	0.09	0.09	590.63	-9.37	9.37	590.88	-9.12	9.12
900	600.84	0.84	0.84	598.03	-1.97	1.97	591.14	-8.86	8.86
800	607.27	7.27	7.27	598.43	-1.57	1.57	596.92	-3.08	3.08
700	607.12	7.12	7.12	604.79	4.79	4.79	596.08	-3.92	3.92
600	608.29	8.29	8.29	603.78	3.78	3.78	598.12	-1.88	1.88
500	608.58	8.58	8.58	602.92	2.92	2.92	596.77	-3.23	3.23
400	609.48	9.48	9.48	603.51	3.51	3.51	596.02	-3.98	3.98
300	610.35	10.35	10.35	602.96	2.96	2.96	596.51	-3.49	3.49
200	608.85	8.85	8.85	602.26	2.26	2.26	596.27	-3.73	3.73
100	607.58	7.58	7.58	601.8	1.80	1.80	597.3	-2.70	2.70
0									
平均		3.68	4.37		-2.29	4.88		-6.65	6.65

（5）人体ダミーによる検証

計測結果と誤差(単位 mm)と，散布図を示す。小数点以下，四捨五入した。

表４－32　人体ダミーの計測誤差（１）

	大男						老男					
	計測員 A	計測員 B	計測器	A-E	A-3D	B-3D	計測員 A	計測員 B	計測器	A-B	A-3D	B-3D
外眼角高	1702	1703	1700	-1	2	3	1353	1352	1358	1	-5	-6
耳珠高	1686	1686	1686	0	0	0	1340	1342	1340	-2	0	2
頸側点高	1568	1565	1567	3	1	-2	1268	1268	1265	0	-1	-1
頸窩高	1495	1495	1495	0	0	0	1170	1169	1168	1	2	1
前腋窩高	1378	1377	1376	1	2	1	1111	1110	1107	1	4	3
乳頭高	1310	1310	1311	0	-1	-1	1025	1023	1022	2	3	1
ｱﾝﾀﾞｰﾊﾞｽﾄ高												
最小胴囲高	1108	1110	1108	-2	0	2	893	892	894	1	-1	-2
臍高	1052	1052	1052	0	0	0	844	841	846	3	-2	-5
前ウエスト高	1069	1069	1070	0	-1	-1	914	913	914	1	0	-1
腸骨稜高	1068	1068	1068	0	0	0	883	886	884	-3	-1	2
腸骨棘高	1018	1016	1017	2	1	-1	851	852	854	-1	-3	-2
頸椎高	1571	1572	1573	-1	-2	-1	1268	1272	1261	-4	7	11
肩峰高	1523	1522	1526	1	-3	-4	1241	1242		-1		
後腋窩高	1341	1341	1347	0	-6	-6	1123	1121	1130	2	-7	-9
肩甲骨下角高	1373	1371	1370	2	3	1	1129	1127	1128	2	1	-1
後ウエスト高	1063	1062	1069	1	-6	-7	865	867	875	-2	-10	-8
腸骨稜上縁高	1083	1082	1088	1	-5	-6	853	855	861	-2	-8	-6
殿突高	938	937	945	1	-7	-8	685	686	686	-1	-1	0
殿溝高	791	789	789	2	2	0	627	629	627	-2	0	2
転子高	916	914	913	2	3	1	750	752	750	-2	0	2
転子外突高	843	841	844	2	-1	-3	710	712	711	-2	-1	1
橈骨点高	1200	1202	1205	-2	-5	-3	971	973	970	-2	1	3
橈骨茎突高	971	969	980	2	-9	-11	780	780	780	0	0	0
指節点高	858	856	858	2	0	-2	709	709	707	0	2	2
指尖高	757	755	763	2	-6	-8	619	620	622	-1	-3	-2
膝蓋骨中央高	530	530	525	0	1	1	389	390	385	-1	4	5
膝蓋骨下縁高	506	507	502	-1	4	5	355	355	350	0	5	5

脛骨上縁高	469	471	470	-2	-1	1	371	373	372	-2	-1	1
下腿最大囲高	357	361	359	-4	-2	2	264	266	259	-2	5	7
頸側点間幅	174	174	181	0	-7	-7	104	105	111	-1	-7	-6
前腋窩幅	456	456	463	0	-7	-7	280	280	281	0	-1	-1
乳頭間幅	284	285	286	-1	-2	-1	200	200	202	0	-2	-2
上前腸骨棘間幅	337	337	342	0	-5	-5	236	237	241	-1	-5	-4
肩峰幅	468	469	455	-1	13	14	316	316		0		
後腋窩幅	491	490	477	1	14	13	312	312		0		
転子外突間幅	414	415	405	-1	9	10	297	296	291	1	6	5
上腕長	341	342	346	-1	-5	-4	314	315		-1		
前腕長	251	251	239	0	12	12	211	211	212	0	-1	-1
大腿長	384	383	383	1	1	0	377	377	380	0	-3	-3
下腿長	442	445	444	-3	-2	1	339	339	332	0	7	7
上肢長	804	805	806	-1	-2	-1	696	696		0		

※　老男の肩峰点（右）、後腋窩点（左）はマーカー抽出不可。

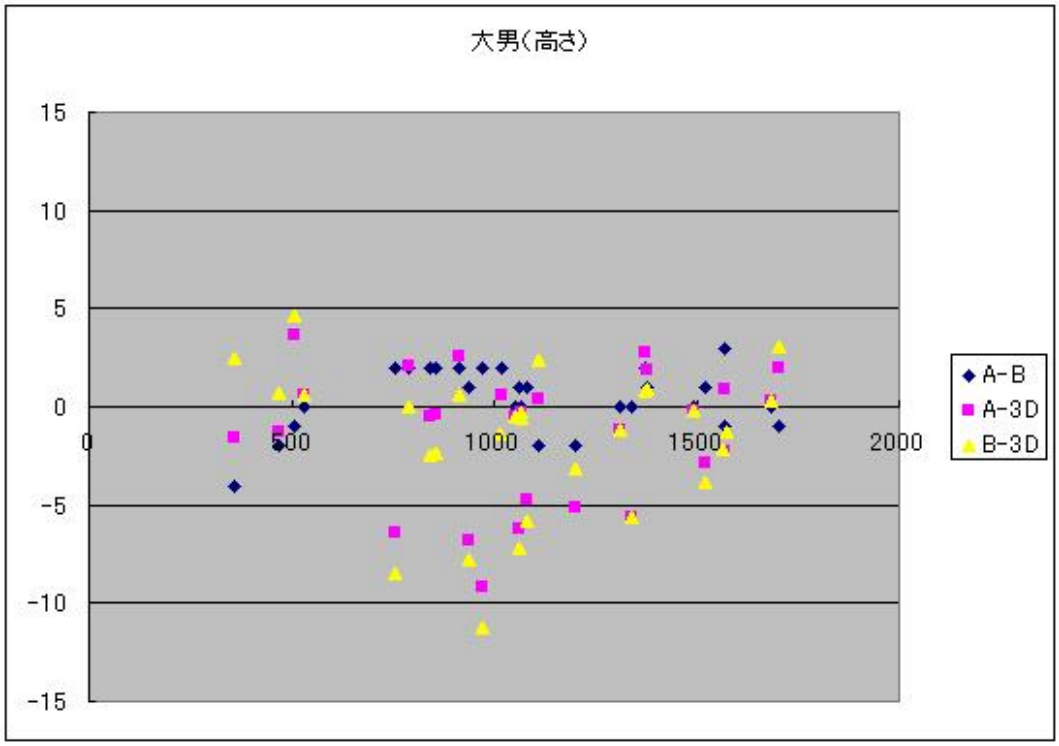
表４－33　人体ダミーの計測誤差（2）

	大女						標準男性					
	計測員 A	計測員 B	計測器	A-B	A-3D	B-3D	計測員 A	計測員 B	計測器	A-B	A-3D	B-3D
外眼角高	1363	1363	1364	0	-1	-1	1595	1594	1592	1	3	2
耳珠高	1339	1342	1340	-3	-1	2	1586	1585	1585	1	1	0
頸側点高	1245	1248	1245	-3	0	3	1444	1441	1441	3	3	0
頸窩高	1168	1168	1166	0	2	2	1384	1384	1383	0	1	1
前腋窩高	1083	1086	1086	-3	-3	0	1277	1275	1273	2	4	2
乳頭高	981	981	983	0	-2	-2	1230	1231	1230	-1	0	1
ｱﾝﾀﾞｰﾊﾞｽﾄ高	927	927	933	0	-6	-6						
最小胴囲高	846	846	845	0	1	1	1048	1047	1046	1	2	1
臍高	813	814	815	-1	-2	-1	1000	1000	999	0	1	1
前ウエスト高	847	848	848	-1	-1	0	969	970	972	-1	-3	-2
腸骨稜高	839	840	841	-1	-2	-1	980	982	984	-2	-4	-2
腸骨棘高	782	784	783	-2	-1	1	903	905	908	-2	-5	-3
頸椎高	1260	1260	1252	0	8	8	1446	1445	1448	1	-2	-3
肩峰高	1221	1222	1224	-1	-3	-2	1379	1380	1383	-1	-4	-3
後腋窩高	1052	1054	1063	-2	-11	-9	1277	1277	1282	0	-5	-5
肩甲骨下角高	1040	1043	1049	-3	-9	-6	1247	1248	1246	-1	1	2
後ウエスト高	893	894	901	-1	-8	-7	992	993	985	-1	7	8
腸骨稜上縁高	879	881	889	-2	-10	-8	1028	1028	1020	0	8	8
殿突高	741	744	745	-3	-4	-1	838	840	838	-2	0	2
殿溝高	561	564	564	-3	-3	0	745	746	746	-1	-1	0
転子高	720	723	723	-3	-3	0	842	843	844	-1	-2	-1
転子外突高	661	663	662	-2	-1	1	799	801	798	-2	1	3
橈骨点高	952	955	956	-3	-4	-1	1076	1076		0		
橈骨茎突高	753	751	753	2	0	-2	815	815	815	0	0	0
指節点高	700	702	699	-2	1	3	723	725	725	-2	-2	0
指尖高	605	606	618	-1	-13	-12	659	661	664	-2	-5	-3
膝蓋骨中央高	374	375	371	-1	3	4	447	449	449	-2	-2	0
膝蓋骨下縁高	344	347	340	-3	4	7	419	421	416	-2	3	5
脛骨上縁高	341	341	341	0	0	0	449	450	447	-1	2	3
下腿最大囲高	270	272	268	-2	2	4	324	327	327	-3	-3	0
頸側点間幅	142	143	155	-1	-13	-12	152	152	159	0	-7	-7

前腋窩幅	328	328	338	0	-10	-10	306	305	315	1	-9	-10
乳頭間幅	236	237	240	-1	-4	-3	197	197	199	0	-2	-2
上前腸骨棘間幅	297	298	301	-1	-4	-3	253	254	258	-1	-5	-4
肩峰幅	368	368	361	0	7	7	398	398	389	0	9	9
後腋窩幅	343	342		1			315	314	304	1	11	10
転子外突間幅	371	372		-1			331	331		0		
上腕長	288	289	292	-1	-4	-3	306	306		0		
前腕長	216	217	223	-1	-7	-6	266	268		-2		
大腿長	324	324		0			391	391	396	0	-5	-5
下腿長	337	338		-1			387	388	389	-1	-2	-1
上肢長	661	661		0			720	721	718	-1	2	3

※　大女の後腋窩点（左）、転子外突点（左）、大腿骨外側上顆はマーカー抽出不可。

※　標準男性の橈骨点（右）、転子外突点（左）はマーカー抽出不可。



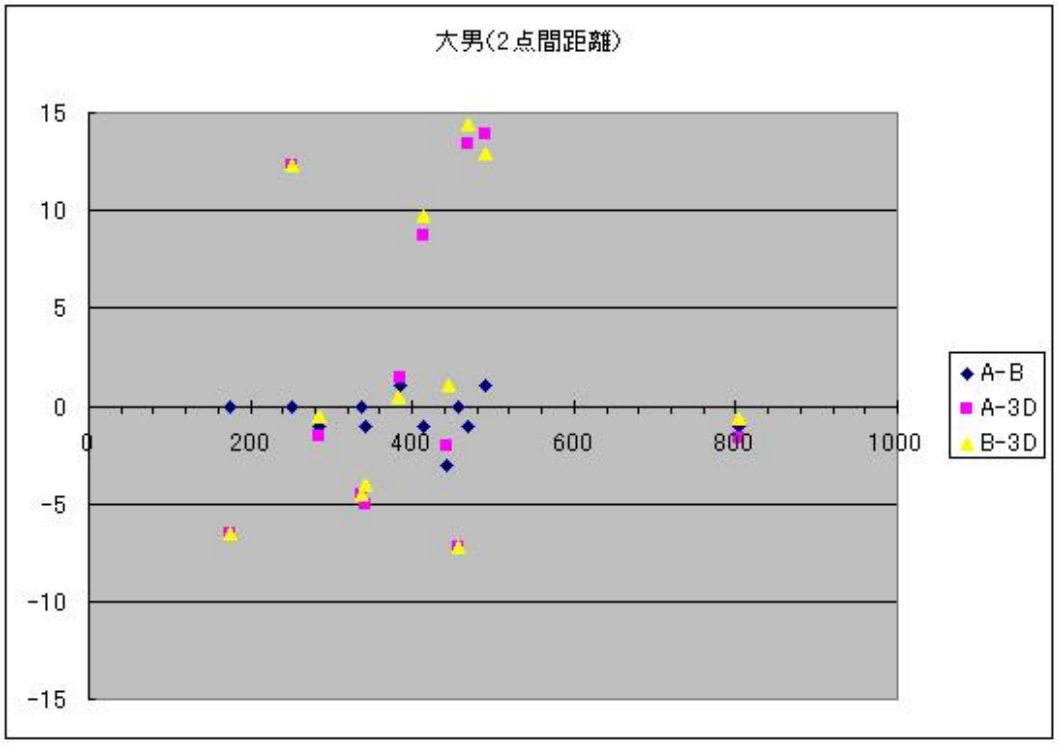
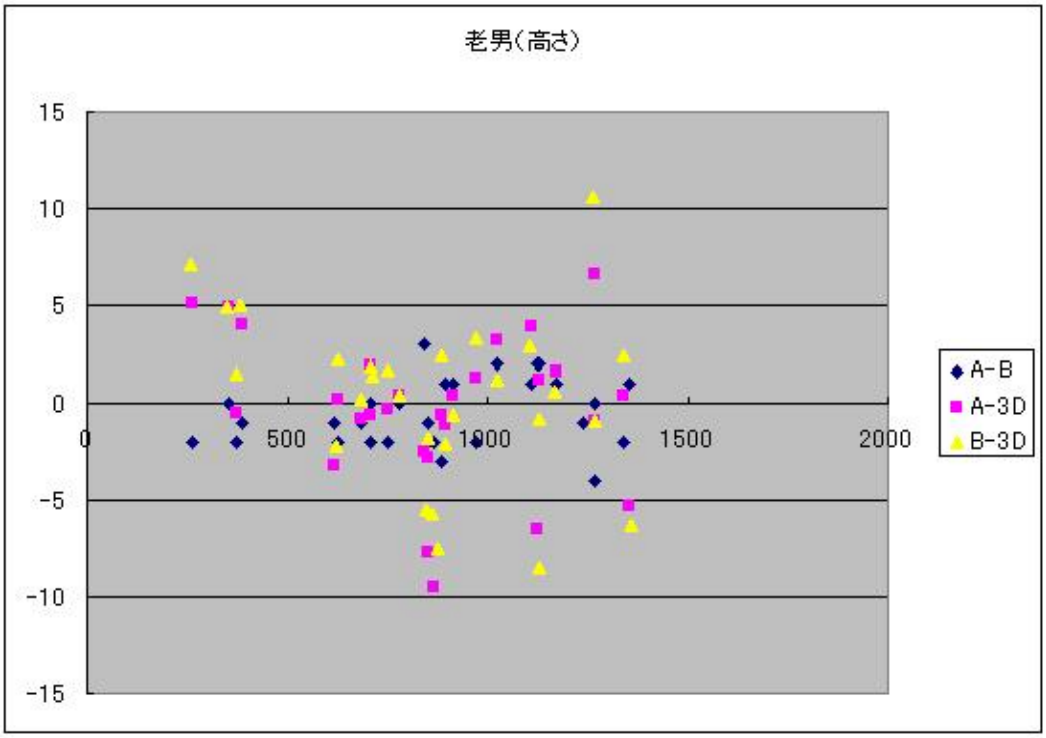


図４－24－１　計測誤差散布図（大男）



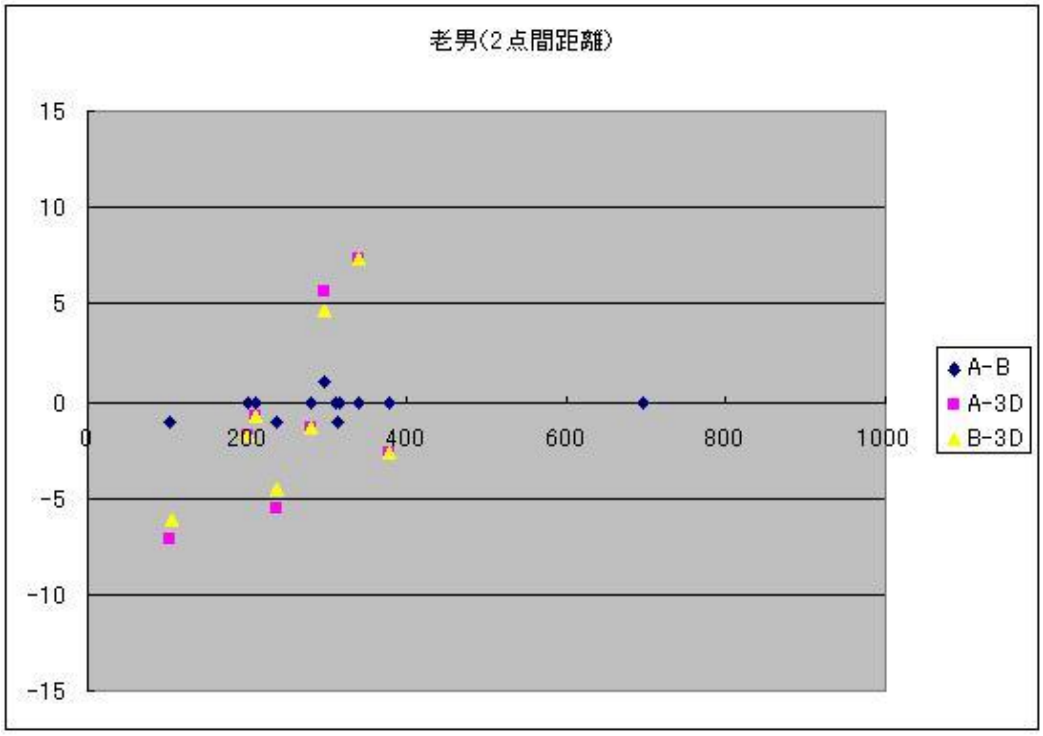
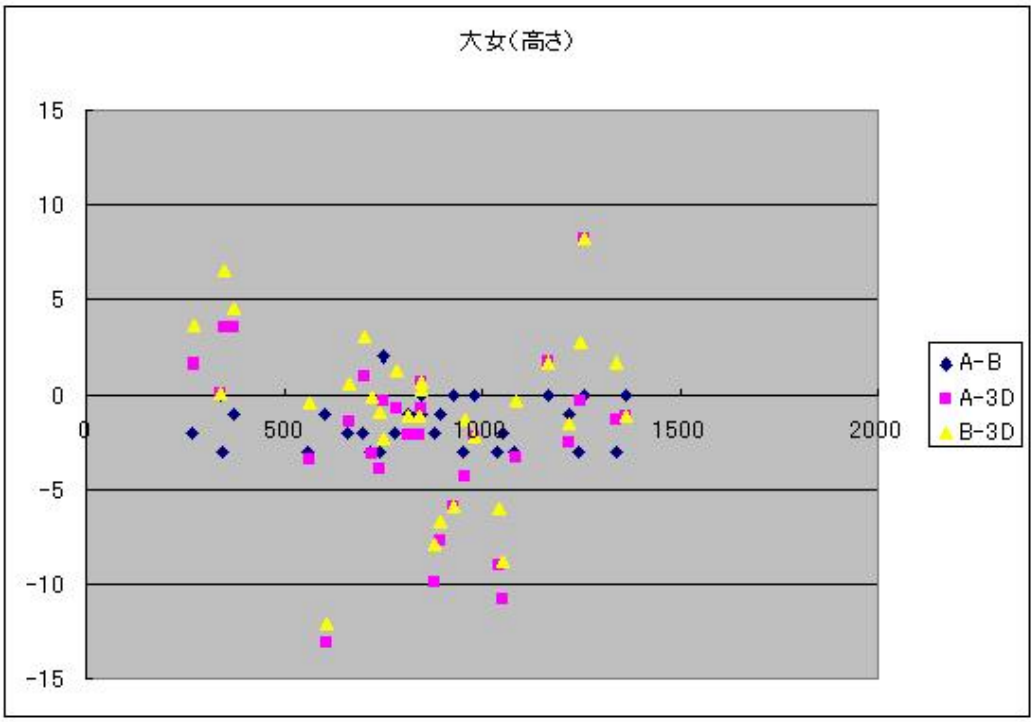


図４－24－２　計測誤差散布図（老男）



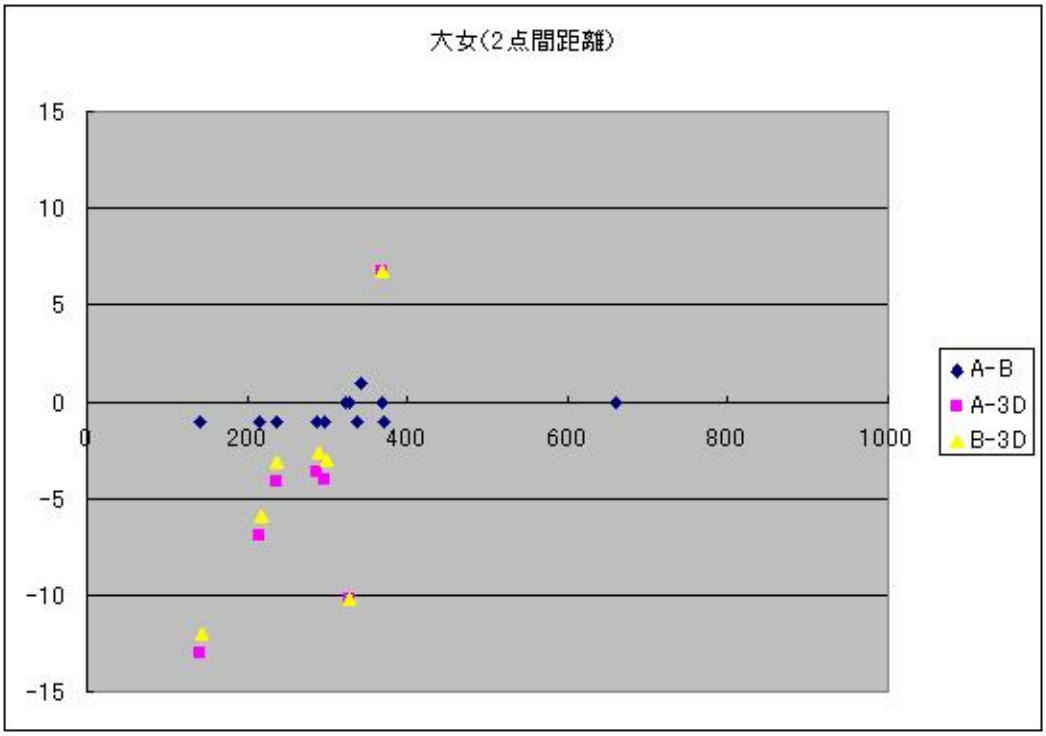
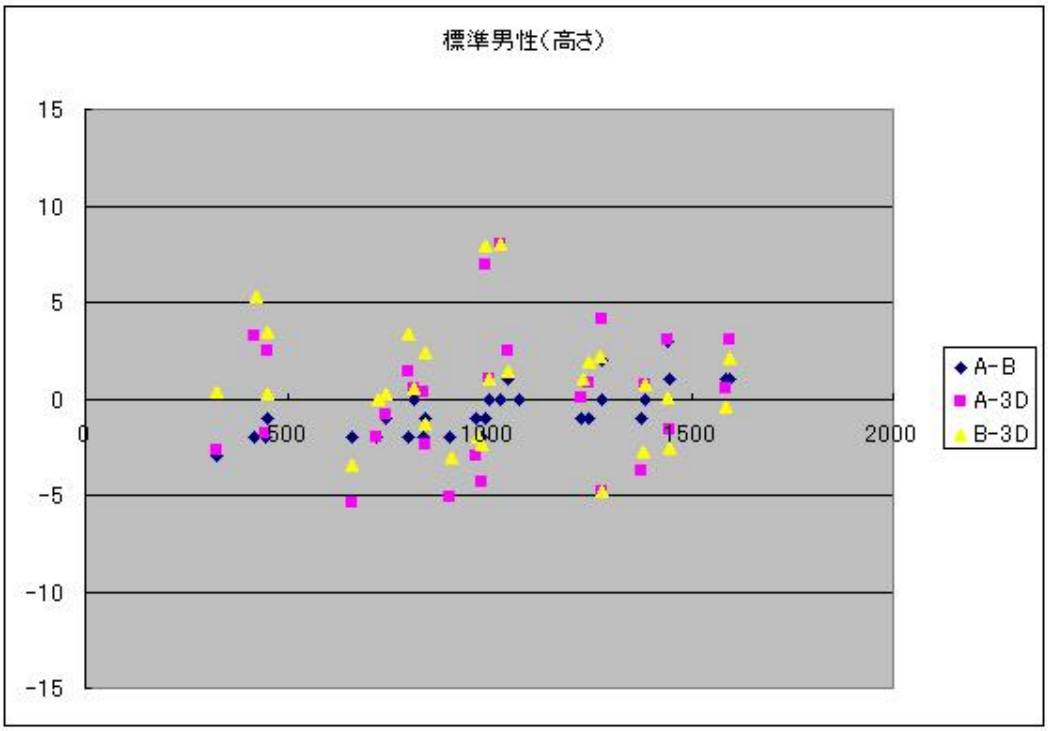


図４－24－３　計測誤差散布図（大女）



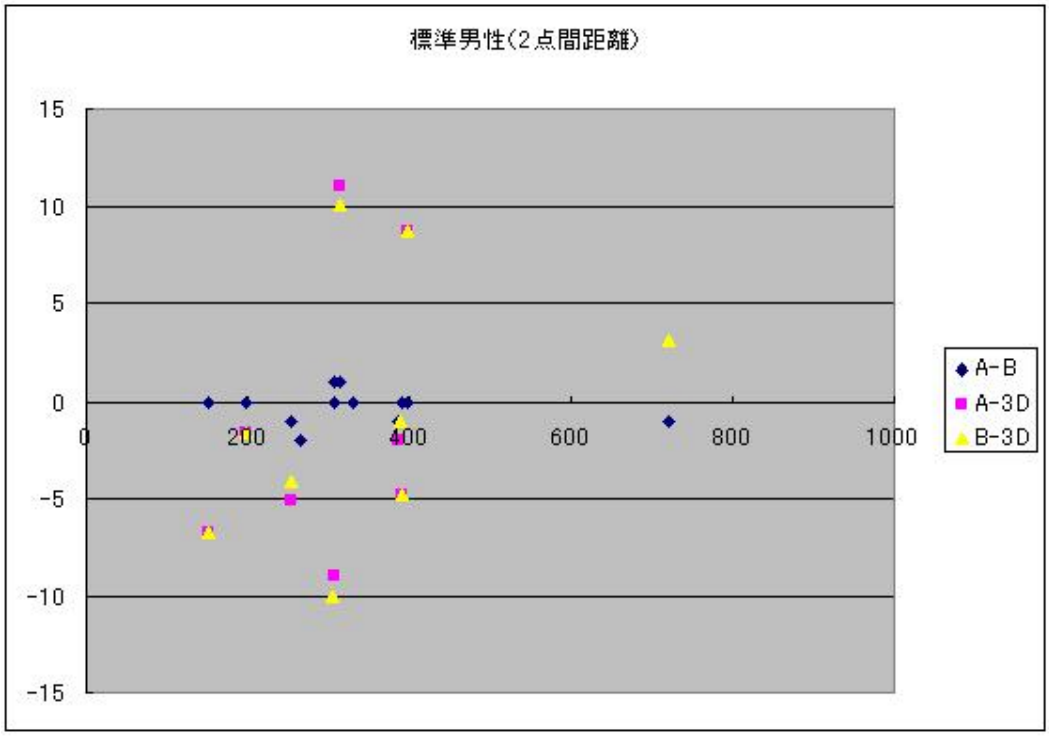


図４－24－４　計測誤差散布図（標準男性）

４．７　形状合成

（１）合成結果

円筒(長さ 1800mm×直径 450mm 程度)の合成結果を示す。合成した点群データでは，約 45 万点となる。図４－25～28 に示した形状は，45 万点ものデータを処理できない為，45,000 点程度に間引きした結果。なお，データの表示は既製のサーフェスモデル作成用ソフトウェアを使用した。

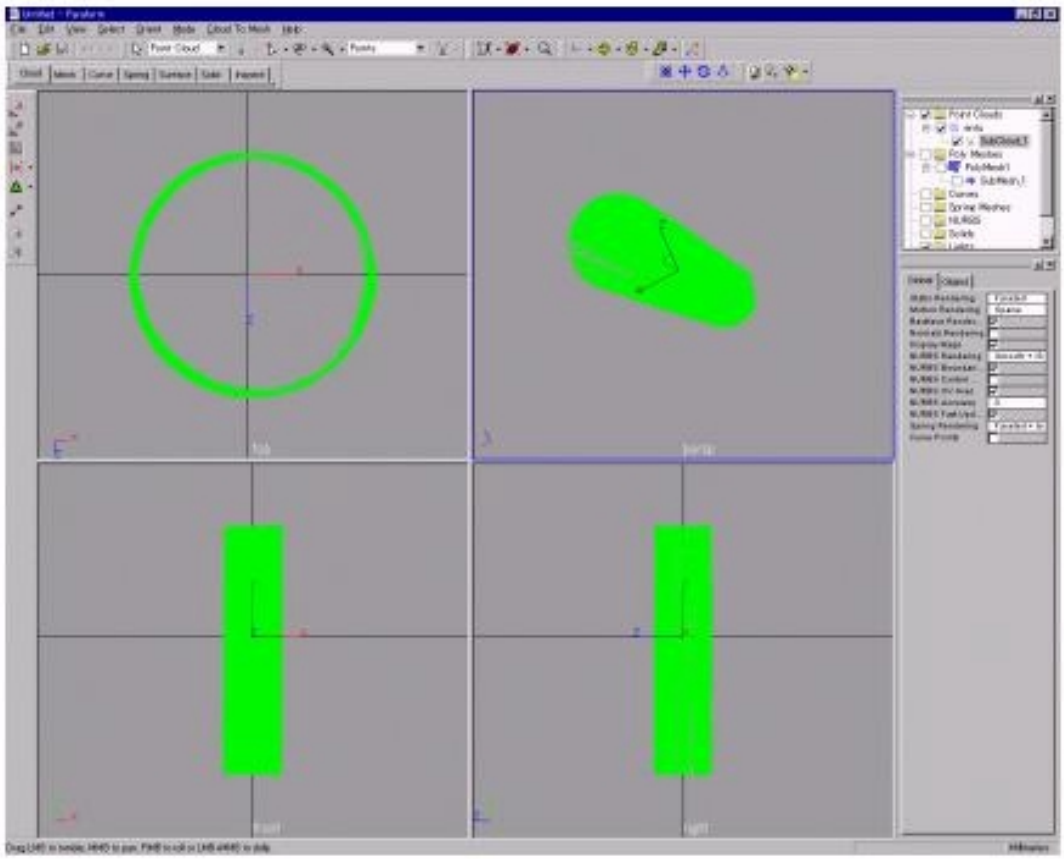


図４－25　円柱を使った合成結果(点群表示)

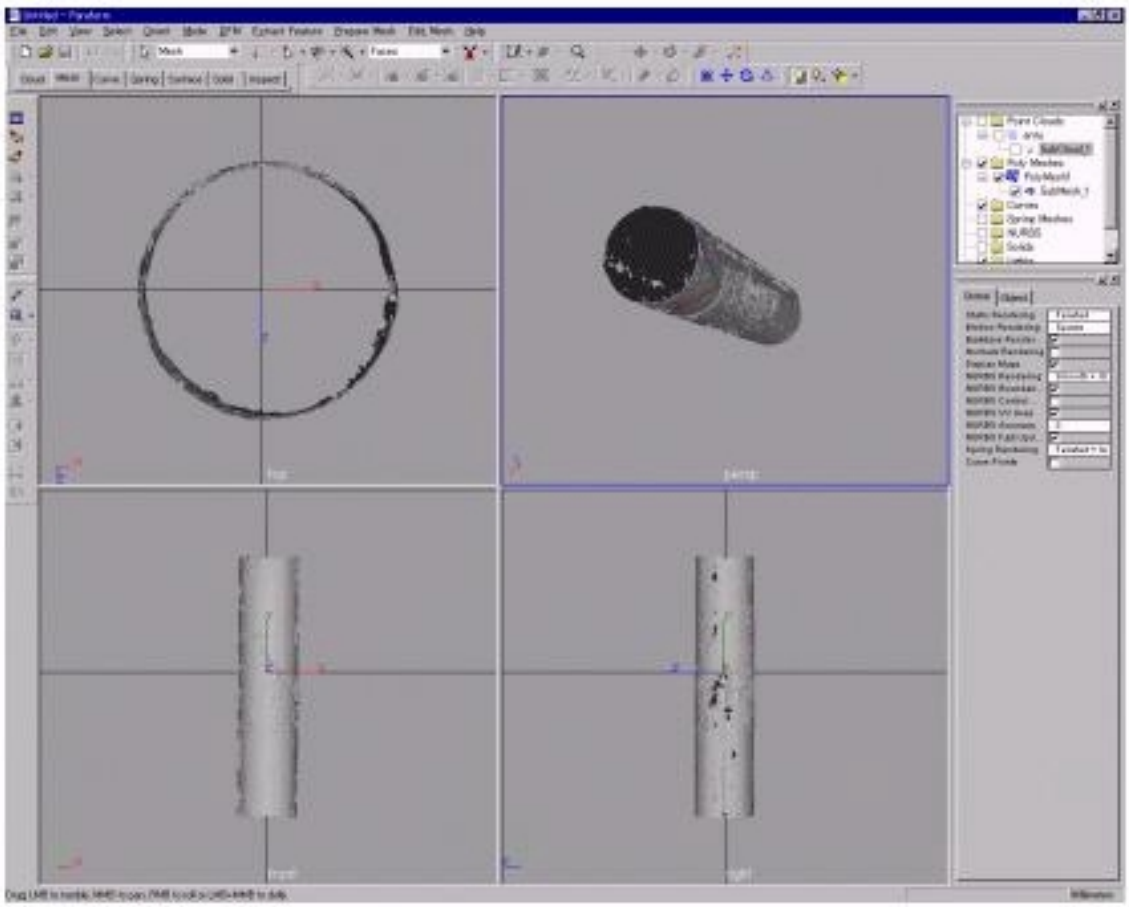


図４－26　円柱を使った合成結果(ポリゴン表示)

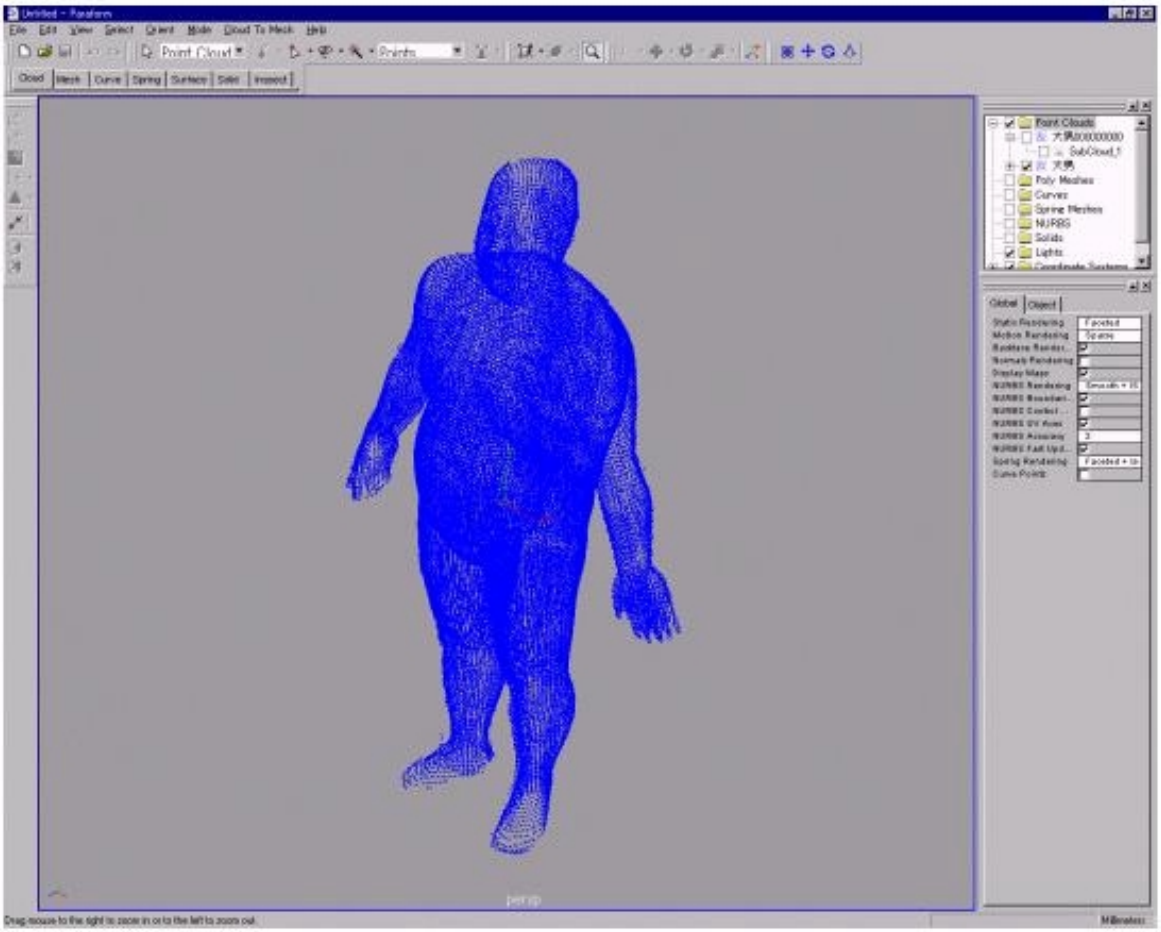


図４－27　ダミー人形の合成結果

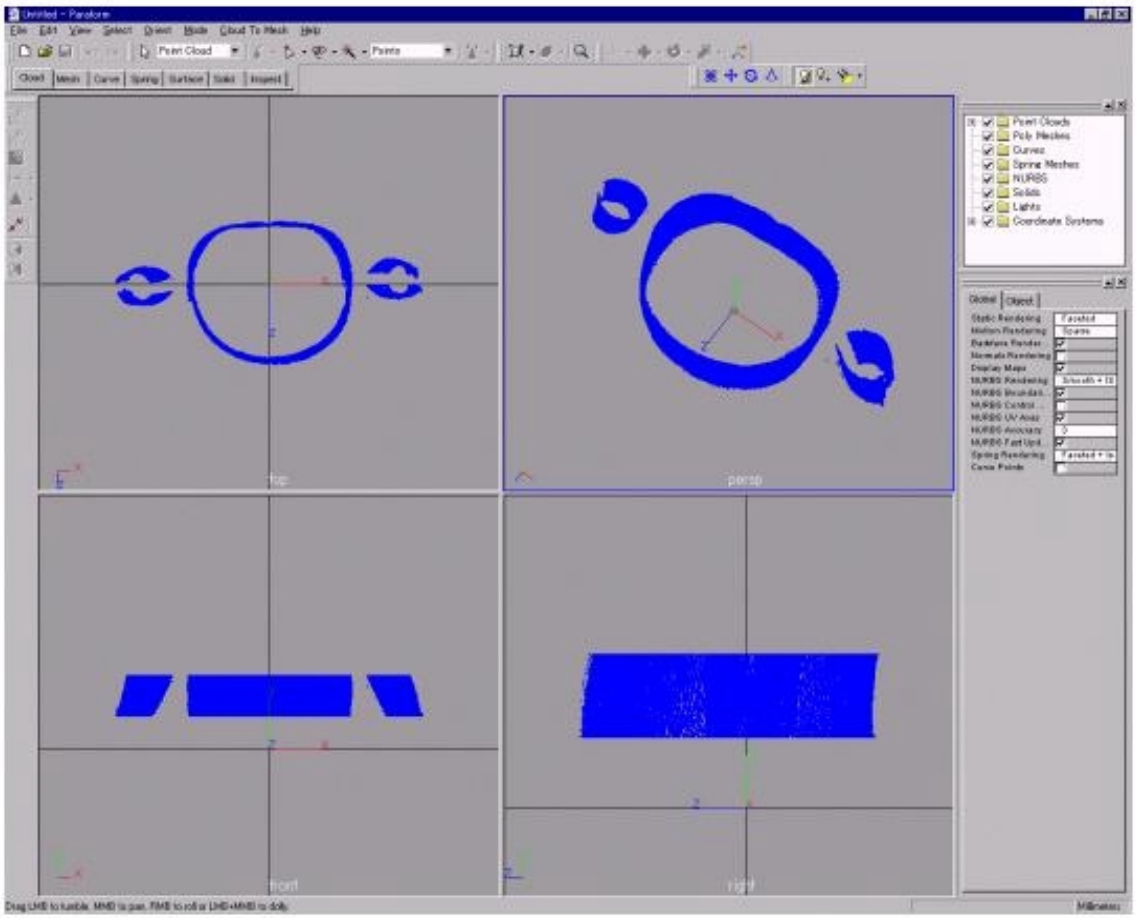


図４－28　ダミー人形の体幹部(輪切り)

おわりに

本事業は、製品設計に資する知的基盤である人体寸法・形状データベースを、迅速に整備するための計測技術開発である。本事業の最終目標は「人間が不動に耐えうる１秒程度の迅速な速度で、なおかつ 1mm 程度の高精度を有する計測によって、寸法データ採取の基礎となる特徴点が正確に同定され、現実の身体形状を忠実に再現する三次元身体形状データを取得できる」ことである。これを具体化するための目標として、（１）高精度データの取得と計測時間の短縮、（２）隠れ部位の計測、（３）特徴点の検出、を掲げた。これらを満足する装置の開発により、高品位の人体形状データを蓄積することができるようになり、計測データの後処理時間を大幅に短縮できるだけでなく、従来、データが欠落していて利用が進まなかったメガネや下着、ガスマスクなどの人体適合性向上に役立つものと考えている。ここでは、本稿の最後にあたり、開発した装置が目標をどの程度満足したのか、また、本装置が、知的基盤創成・利用の促進にどの程度寄与しうるか、さらには、それらを越えた波及効果としてどのようなことが期待できるかについて述べる。

本事業で最終的に開発された装置は、本報告書４．４に述べたとおりで、具体的な開発目標として掲げた３つの技術仕様を、満足したと判断できる。強いて、残された技術課題を挙げるとすれば、第１には、計測所要時間を、より短くすることである。最終仕様の計測時間は 1.8 秒で、これは、全身をくまなく計測できる装置としては、世界最高速度である（本稿執筆時点）。ただ、この短い時間でも、体動揺はゼロにはならない。やはり、１秒を切る高速計測が望ましい。もう１つの技術課題は、ソフトウェアである。本事業で開発された装置のソフトウェアは、当初の仕様を十分に満足するものであるが、データ蓄積事業のより一層の促進や、後述する汎用機の販売などを考慮した場合、使い勝手や機能の上で、もう一段の進捗が欲しい。たとえば、ユーザのニーズに即して計測する特徴点データをカスタマイズする機能、さらに、その解剖学的特徴点（マーカ）の検出と座標取得を自動処理する機能などである。

次に、本計測技術の開発が、本事業の目的とする知的基盤の創成・利用促進にどの程度寄与しうるかについて述べる。開発した技術は、人体寸法や人体３次元形状データを効率よく計測するためのものである。言うまでもなく、これらのデータは、製品やシステムの寸法や形状を、利用者の人体寸法や形状に適合するように設計する目的に利用される。この場合、データ整備には、（１）できるだけ多くのサンプルを偏りなく計測すること、（２）できるだけ質の高い（＝精度が高い、他のデータにはない情報が含まれている）データを収集することが求められる。本事業で開発した装置は、主として（２）の効果を意図している。このため、本事業では、上述したとおり、従来の計測装置では得られなかった耳の裏、顎の下、脇の下、股の間などの形状をできるだけ計測できるような装置の開発を進め

た。これは、メガネ、ガスマスク、下着、補装具などの人体適合設計に役立てられる。それらの部位の形状データを精度良く計測するだけでなく、個人差の対応付けに必要となる解剖学的特徴点を効率よく計測できる点が特徴である。近年、このような３次元形状計測装置で得られた人体表面形状から、単に、人体寸法を計算したり、断面形状を分析するだけでなく、個人間で対応がつく３次元人体形状モデルを構成し、その個人差を定式化する研究が進捗している。本事業の委員長を務める産業技術総合研究所・河内まき子氏らのグループは、解剖学的特徴点に基づいた人体形状のモデル化と、Free Form Deformation 技術という形状変形技術を利用した個人差定式化手法を開発し、その技術に基づいて、衣服用人台、適合メガネフレーム、適合靴などを共同開発している。本事業で開発した装置は、このような最新の３次元人体形状モデルを、容易に構成できるデータを計測できる。すなわち、従来の技術で整備されたデータが、人体寸法（サイズ）の利用にとどまっていたのに対し、本事業の計測技術に基づいて整備されるデータは、人体形状（シェイプ）までも利用して、従来、人体適合設計が困難であった製品にも適用範囲を拡張できる。このように、最新のデータ分析・処理技術と連携した計測技術開発は、従来のデータとは質的に異なる知的基盤の創成と、従来データでは利用が進まなかった分野へのデータ利用の拡大に大きく寄与するのである。

最後に、本事業の波及効果について展望する。本事業の主目的は、知的基盤の創成とデータ利用拡大にあるが、世界最先端の人体形状計測技術を育成することの効果も大きい。現在、人体の全身形状を計測する装置として、世界的によく使われているのは、米国 Cyberware 社、ドイツ Vitronic 社、フランス Telmat 社の３社の製品が多い。国内では、今回の開発を担当した(株)浜野エンジニアリング社の他、(株)浜松ホトニクス、日本電気(株)などが全身計測装置を開発しているが、国際市場での装置の知名度、市場占有率は、決して高くない。しかし、本事業で提唱した仕様は、利用者の抱える問題に直結するものであり、これに対応する技術が開発されたことで、国産人体形状計測装置の技術レベルが、国際市場で優位に立ったと考えている。これは、本事業の開発を担当した(株)浜野エンジニアリング社だけにとどまらない。本事業において利用者の抱える問題を技術仕様として公開し、装置開発を公募したということが、国内形状計測装置開発各社の新しい技術開発力を呼び覚ましたと言える。事実、2002 年に(株)浜野エンジニアリング社から、同技術を応用した民生機（計測時間５秒）が発売されただけでなく、(株)浜松ホトニクスからも、新しいビジョンプロセッサを用いた高速人体形状計測装置（計測時間５秒以下）が発表され、日本電気(株)からも同程度の計測時間を達成した市販計測機が発表されている。

国外ではこのような計測の短時間化の動きは少なく、明らかに、本事業で提唱した技術仕様が、国内各社の技術開発競争を呼び覚ましたと考えられる。これは、そのまま国際競争力強化に繋がっている。韓国では、定期的に（５年間隔程度)、国民の人体寸法計測事業を行っている。次回の計測事業が 2002 年後半から開始されることになっており、韓国では、

この機会に、いままでの手計測から、３次元人体形状計測への移行を検討している。この事業で使われる３次元人体形状計測装置は、まさしく、大きな国際競争入札の舞台である。コストと性能、データ収集の効率化、その後のデータ利用まで含め、各社の提案が総合的に比較される。この国際競争入札において、瞬時計測や隠れ部位低減を掲げた国内各社の計測装置は、欧米各社の装置を抑えて、善戦している。本稿執筆時点で、最終的な結果は出ていないが、ほぼすべての入札案件（足、頭、全身計測装置をそれぞれ複数台）で、すでに、日本企業同士の競争になっていると聞いている。これは、まさしく、本事業で提唱・開発した技術が、国際的に認められたことを物語る。米国で CAESAR プロジェクトが進められて以来、ギリシア、フランスなどの欧州各国や、韓国、中国、台湾、マレーシアなどアジア圏でも、３次元人体形状計測装置を用いた大規模人体計測事業（National Anthropometric Survey）が次々と企画されている。これらの事業において、日本企業各社の計測装置が導入されれば、国内産業振興・市場拡大だけでなく、アジア圏への技術協力や、人体形状計測プロトコルの標準化、データの共有などの面での日本の貢献にもつながる。

以上、本事業の目標とその達成度、そして、その効果について述べた。人体形状計測装置を開発する企業においては、今回の仕様公開や、技術開発を足がかりに、より一層の技術力向上を図っていただきたい。最後に、本事業の推進に協力いただいた委員各位に深甚なる謝意を表する。