

非接触自動形状計測装置の計測精度検証

香川敏昌*, 平岡忠志*

抄 録

人体や工業製品、建造物などの立体形状を短時間で計測するため、様々な方式の非接触形状計測装置が開発されている。これらに対する性能評価方法を標準化するため、平成 21 年 9 月に JIS 規格（JIS B 7441 非接触座標測定機の受入検査及び定期検査）が制定された。そこで、県内企業と共同開発中の下肢リンパ浮腫患者用非接触自動形状計測装置の計測精度を検証するため、JIS 規格に適合した標準器を製作し比較計測を行ったところ、良好な結果を得ることができた。

1 はじめに

下肢リンパ浮腫患者用非接触自動計測装置（以下、形状計測装置）は、光切断法を応用して患者の腰から足裏の立体形状を一度に計測する装置である。図 1 に示すように、立った状態の患者に対し、周囲 4 方向と床下からスリット光を照射し、皮膚での反射光をカメラで撮影する。撮影した画像に写った反射光をコンピュータで処理し、表面形状（反射光の中心線上の点群）を求める。スリット光源とカメラ 2 組を搭載した 2 台の計測ユニットを腰の高さから床面までスキャンさせながら、約 500 枚の反射光画像を撮影する。また、床下のスリット光源を水平にスキャンさせながら、約 200 枚の反射光画像を撮影する。これらの画像に写った反射光から点群を抽出し、空間座標に変換して合成することで、数万～十数万個の空間座標の集合である立体形状モデルを作成する。図 2 に立体形状モデルの一例を示す。アパレルメーカーでは、この立体形状モデルを使ってコンピュータ上で採寸し、圧迫治療用のオーダーメイド弾性ストッキングを製作する。本研究では、メジャーを使った手採寸に対する形状計測装置の優位性を立証するため、新たに制定された JIS 規格に準拠した評価器具を用いて計測誤差を検証した。

2 実験方法と結果

2・1 球間距離測定用標準器の製作

JIS B 7441 では、測定誤差の評価器具として球間距離測定用標準器（以下、標準器）が規定されている。そこで、図 3 に示す標準器を製作した。標準器

*電子機械課

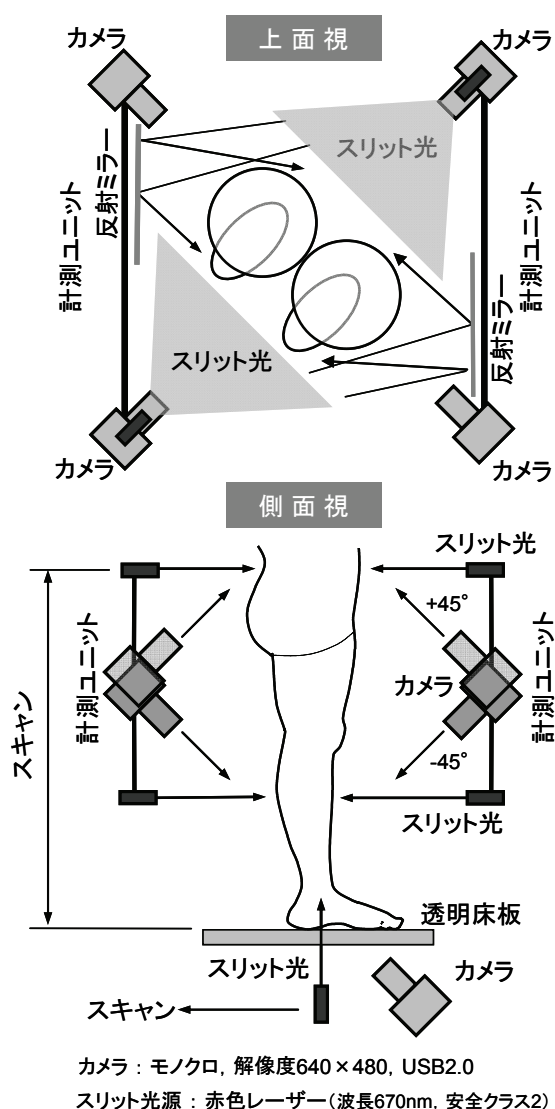


図1 下肢の非接触形状計測

は 2 個の球とそれを支える支持棒で構成され、2 個の球の中心間距離を計測することで評価する。球には市販のステンレス鋼球（SUS440C）を利用した。JIS 規格では「球の直径が測定領域の対角長の 2～

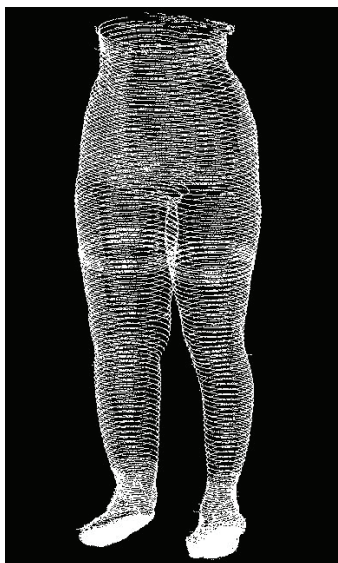


図2 立体形状モデル（点群）の一例

20%であることが望ましい」とされている。開発中の形状計測装置の測定領域が幅 500×奥行 500×高さ 1300mm であるため、直径を 50.8mm（最大対角長 1480mm の 3.4%）とした。また、スリット光が球の表面で拡散反射するように、酸洗いして表面に細かい凹凸を形成した。支持棒には太さ 25.2mm の黒色塗装したステンレス棒を利用し、両端に 2 個の球を接着した。JIS 規格では「球間距離が測定器の各辺における測定可能な最大長の 66%以上が望ましい」とされているが、測定領域の高さ 1300mm の 66%では 858mm と長すぎるため、水平方向の最大長 500mm の 68%である 340mm とした。但し、66%に満たない場合は標準器を同じ姿勢に保ったまま移動させながら複数回に分けて測定することが許可されているため、規格への準拠という点で問題はない。

2・2 球間距離測定用標準器の比較計測

計測精度を検証するため、形状計測装置と市販の接触式形状計測装置とで、標準器の球間距離と球の直径を比較計測した。図4に計測の様子を示す。透明床板から 540mm の高さに標準器を保持し、周囲 4 方向から水平スリット光を照射して計測した。スリット光とカメラは垂直方向に 0.5mm ピッチで移動させながら画像を撮影した。床下に設置した足裏計測用のスリット光源とカメラは、床面から 45mm の高さまでしか計測できないため、今回の計測には使用しなかった。図5に示すように、標準器を計測エリア内の A, B, C, 3 カ所に設置し、それぞれの位置で球

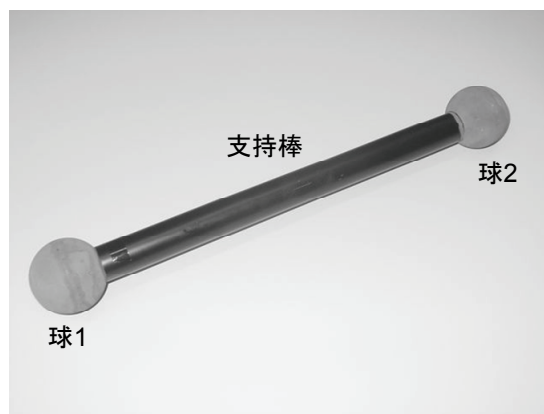


図3 球間距離測定用標準器

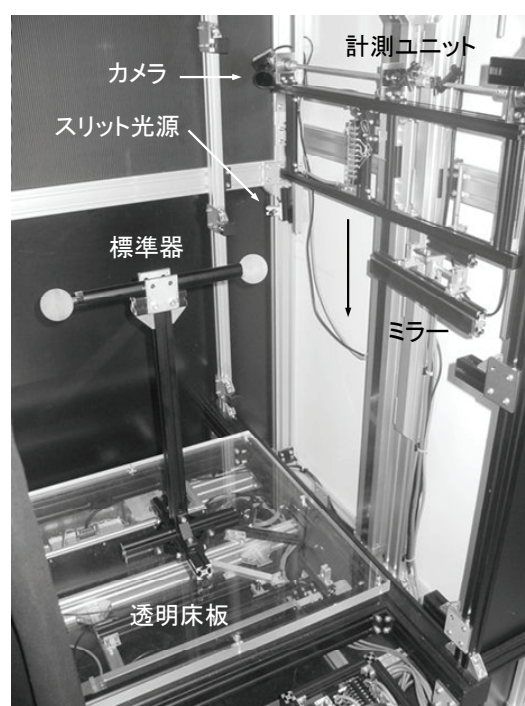


図4 計測の様子

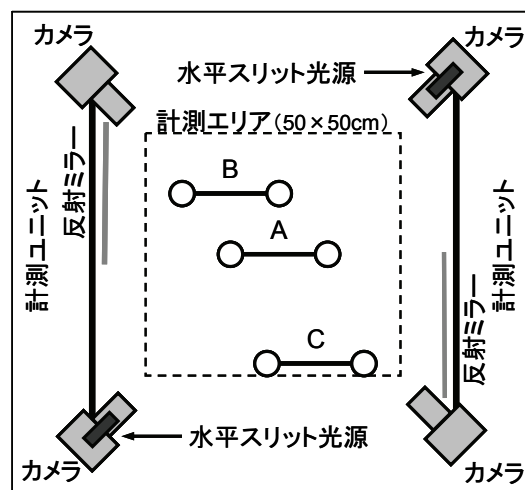


図5 球間距離測定用標準器の位置

間距離と球の直径を計測した。図 6 に、計測した立体形状モデルの一例を示す。JIS 規格では、それぞれの球の計測点を 25 点以上と規定しているが、本計測では十分な数の計測点を得ることができた。

表 1 に、形状計測装置と市販の接触式形状計測装置で計測した結果を示す。市販の接触式形状計測装置の計測誤差は $4\mu\text{m}$ 以下である。いずれのデータも、支持棒を除いた左右の点群を仮想球で近似し、その中心間の距離を球間距離とした。また、仮想球の直径を球 1、2 の直径とした。これらのデータを基に、接触式形状計測装置の測定値を基準とした誤差を計算したところ、球間距離における最大誤差は -1.1239mm 、平均誤差は -0.7170mm であった。また、球 1 の直径における最大誤差が -1.6760mm 、平均誤差が -1.1553mm 、球 2 の最大誤差が -0.6307mm 、平均誤差が -0.2190mm であった。

3 考 察

実験の結果、計測領域の中央に位置する A での誤差が最も小さく、B、C の順に端に近づくほど誤差が大きくなった。A の位置では、スリット光源からの直接光とミラーによる反射光が、遮られることなく均一に標準器へ照射される。また、全てのカメラで視野の中央付近に位置するため、外周全体をオーバーラップしながら良好に撮影できる。標準器が計測領域の端へ近づくほど、ミラーからの反射光が標準器で遮られる可能性が高くなる。また、カメラの視野の端に近づくほど球の側面の反射光を捉えることが困難になり、背景とのコントラストも悪化する



図 6 球間距離測定用標準器の立体形状モデル

ため、反射光の中心線を正確に検出できなかったと考えられる。しかし、最大誤差は球 1 の -1.6760mm であり、平均誤差は全て 1.5mm 以内に収まっている。形状計測装置を開発するに当たり、計測誤差 1.5mm 以内を目標としているため、ほぼ目標に近い精度が得られている。但し、今回は床面から 540mm の高さのみでの評価であり、計測領域全体での精度を検証できていない。本形状計測装置はカメラやレーザー光源を移動させながら広範囲を計測するため、移動軸の傾きによって計測誤差が発生する。校正を行う際、傾きによる計測誤差の補正を行っているが、今後 JIS 規格に基づいて検査領域全体の精度を検証することで、その効果を明らかにする必要がある。また、全体的にマイナス誤差に偏っているため、原因の究明が必要である。

謝 辞

本課題を実施するに当たり、標準器の製作方法や JIS 規格に関する情報をいただきました、株式会社ソアテック（香川県高松市）の大野泰臣様に深く御礼申し上げます。

表 1 計 測 結 果

標準器 の位置	球 間 距 離 (mm)			球 1 の 直 径 (mm)			球 2 の 直 径 (mm)		
	①試作機 計測値	②接触式 計測値	誤 差 ①－②	①試作機 計測値	②接触式 計測値	誤 差 ①－②	①試作機 計測値	②接触式 計測値	誤 差 ①－②
A	340.3163	340.7770	-0.4607	49.8816	50.7690	-0.8874	50.8133	50.7498	$+0.0635$
B	340.2105		-0.5665	49.8664		-0.9026	50.6601		-0.0897
C	339.6531		-1.1239	49.0930		-1.6760	50.1191		-0.6307
平均	340.0600		-0.7170	49.6137		-1.1553	50.5308		-0.2190

※接触式形状計測装置：XYZAX RA1600A－61X（株）東京精密