

義肢製作支援システムの開発

— 三次元弾性体の計測制御技術の開発 —

大柴勝彦・清水誠司・岩間貴司・小松利安・安留勝敏・樋泉光紀*・福島 守*・秋山卓也*・鈴木芳夫*

Development of Production Support System for Artificial Limb

— Development of Measuring Technology of 3-D Shaped Elastic Body —

Katsuhiko OSHIBA, Seiji SHIMIZU, Takashi IWAMA, Toshiyasu KOMATSU, Katsutoshi YASUTOME, Mitsunori HIIZUMI, Mamoru FUKUSHIMA, Takuya AKIYAMA and Yoshio SUZUKI

要 約

義肢製作支援システム開発の一環として、人体下腿部の三次元形状の測定と義足ソケットにかかる圧力分布の測定を行うための装置の開発を目的とした。平成8年度は、現状の義足ソケット三次元形状を測定するために接触式内面形状測定機、義足にかかる体圧分布を測定するために体圧分布測定装置、下腿部の形状を測定するための三次元形状計測装置を試作した。これらの試作した装置により、義足ソケットの三次元形状と、さまざまな歩行時における義足ソケット各部にかかる圧力分布の相関を求めることができた。

1. 緒 言

近年、スポーツ産業、医療など広範な分野において物体の3次元の情報を数値化してコンピュータに入力し、定量的に測定、解析が行われている。特に、医療分野では、この手法は病臥時の体型を計測し、最適なベッドの設計を行ったりスポーツ工学の立場から足形状と歩行時の荷重の掛かり具合等をシミュレーションするのにしばしば使われている。人体のような比較的柔らかい形状の物体の3次元形状の計測は、一般的にレーザ等を使用した非接触式の計測方法が普通である。これを実現するため従来より表1に示すような三角測量方式、光切断法あるいはモアレ手法が使用されている。このうち測定装置が安価で、手軽に入手できる方法は、焦点合わせによる方式で収集時間は掛かるが、比較的容易に実現可能である。人体の計測は測定時間はできるだけ短く1分以内が望ましい。

本研究は事故、疾病等によって下腿部を切断した人の義肢（義足）製作に、コンピュータを援用して自動化するための研究の一環で、ソケット内面形状測定機、体圧分布測定装置及び三次元形状計測装置の試作を目的とするが、最終目標は仮義肢ポッドなる装置を試作することにある。これは被験者の下腿部の形状を非接触で計測し、得られたデータを元にして仮義肢ポッドの形状を変えたり、接触圧等を微妙に変えることによって実際の装着感が模擬体験できる装置である。

表1 形状計測の手法

	光学的手法	収集時間	解析時間
3次元計測	モアレ	短時間	長時間
2次元計測	光切断	やや長	やや長
1次元計測	三角測量	長時間	短時間

2. 装置の試作と実験結果

2-1 内面形状測定機

義足ソケットの内面形状を測定するために、接触式の形状測定機を試作した。図1は測定機の側面図を示す。義足ソケットの内面に接触するプローブは直径10mmのロータリ型である。測定方法は回転テーブル上にセットした義足ソケットの底面に近い部分にプローブを持ってきて、ソケットを一定速度で回転させるとともに垂直方向に螺旋状にスキヤニングする。プローブの変位量はロータリエンコーダで水平方向の変位量に変換される。測定機の仕様を表2に示す。

表2 測定機の仕様

機 能	性 能
パソコン	IBM/AT互換機 (PENTIUM 100MHz)
Z軸ストローク	350mm (ACサーボモータ)
θ 軸スピード	10°/秒 (ACサーボモータ)
表示機能	ワイヤーフレームモデル, サーフェスモデル

*株式会社 メイコー

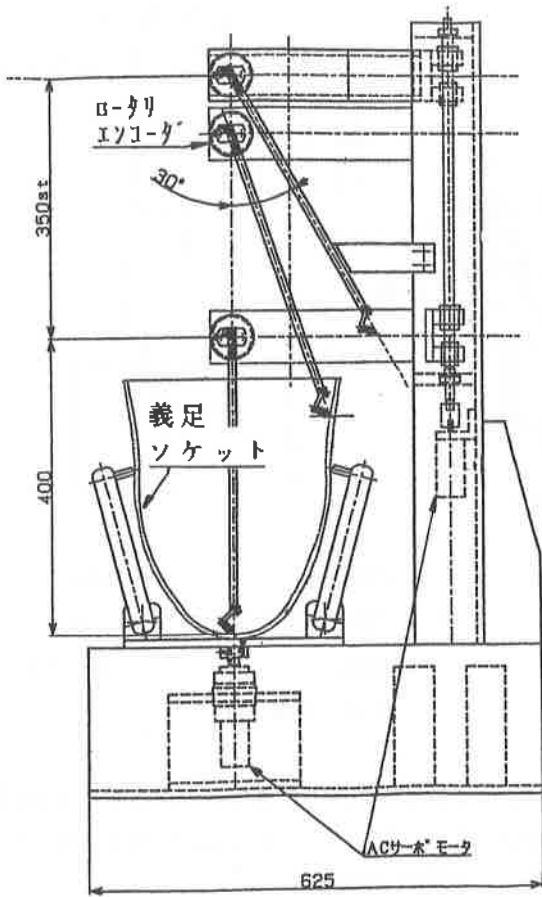


図1 接触式内面形状測定機

図2は義足ソケットの内面を計測したもののワイヤーフレームモデルを示す。計測条件は、回転角度の刻み幅が 10° 、Z軸方向は 0.2mm /ステップで螺旋状にスキャンしたものである。

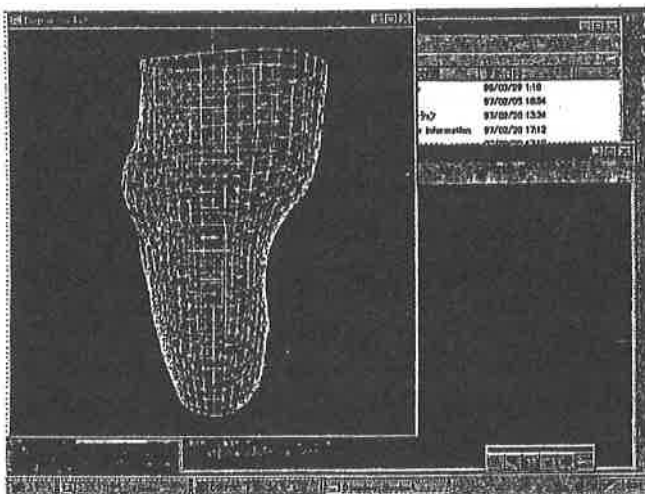


図2 ワイヤーフレームモデル

2-2 三次元形状計測装置の試作と実験結果

人体脚部等の三次元弾性体の外形形状の測定において、プローブ等を接触する方式は、被測定物が接触圧で変形する

ため正確に測定できない。そこでレーザ光や超音波を使用した非接触方式が一般的である。今回はセンサーとしてスポット径が $50\mu\text{m}$ のレーザ変位計を使用した。図3に本装置の概略を示す。測定方法は被験者の下腿部をセンサー取付部の回転中心に配置し、回転用のステッピングモータで 360° を 10° ステップに分割し、各割り出し位置における垂直方向の断面形状を 10mm ステップで測定する。測定したデータはレーザ変位計のコントローラの通信機能(RS-232C)を使用しパソコンに取り込む。

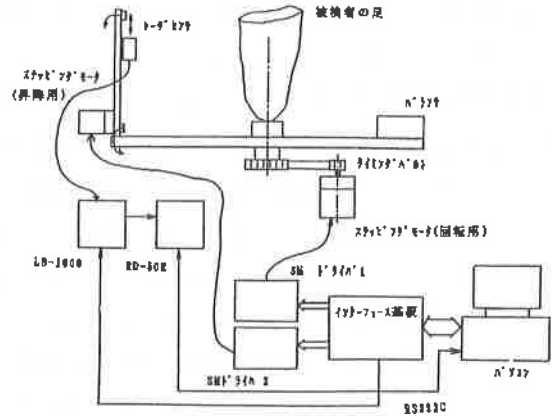


図3 三次元形状計測装置

図4は義足ソケット(図1)の石膏型の外形形状を試作機で測定したもので、円周方向 10° ステップ、垂直方向 300mm を 10mm ステップで測定点数は 1080 個となる。直径が既知の円筒材料の結果と測定精度を比較したところ、 $\pm 0.1\text{mm}$ の範囲に入っていた。また、被測定物の色の違いにはほとんど影響されない。特に問題となるのは膝部の凹凸の激しい部分の測定であるが、これは細かいステップで測定することによって、測定時間は掛かるが、十分対応可能である。

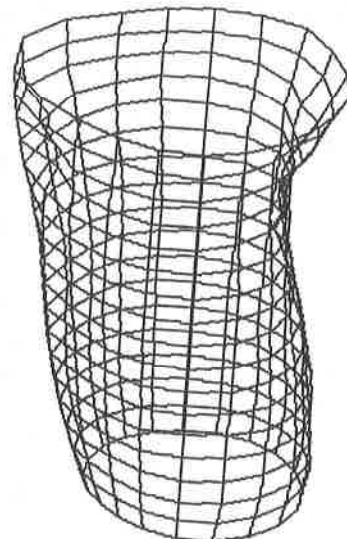


図4 ソケット外形測定例

また、断端部については、この装置では測定は不可能であった。

2-3 義足ソケット接触圧力の測定

現在、一般的には下腿義足ソケットとして、PTB (Patellar Tendon Bearing) タイプの義足ソケットが広く使用されている。このタイプの義足ソケットは、膝蓋腱部を中心とした下腿近位部で荷重支持を行うとともに、歩行中の体重を切断端へ伝達しないような機能を有している。また、脱着時に膝関節の屈曲が可能のため、より自然な歩行が可能である。そこで、被験者がPTBタイプの義足ソケットを装着した場合の接触圧力の分布状態を計測するため導電性感圧ゴムセンサー（以下、感圧センサーと略す）を使用した装置を試作し、さまざまな歩行形態における接触圧力を計測した。図5は使用した感圧センサーで、今回は32個のセンサーをソケットの内面に接着（図6）した。感圧センサーは圧力によって抵抗値が変化するが、非線形なため実際の測定に当たって、既知の荷重で予め校正しておく必要がある。図7は測定装置で、感圧センサーによる抵抗値の変化を電位差に変換し、この電圧を高速型のA/Dコンバータでサンプリングしてパソコンに取り込む。被験者には感圧センサーを付けた義足を装着し、さまざまな歩行状態における接触圧力の分布を計測した。

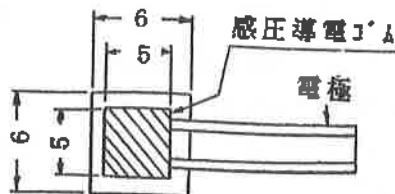
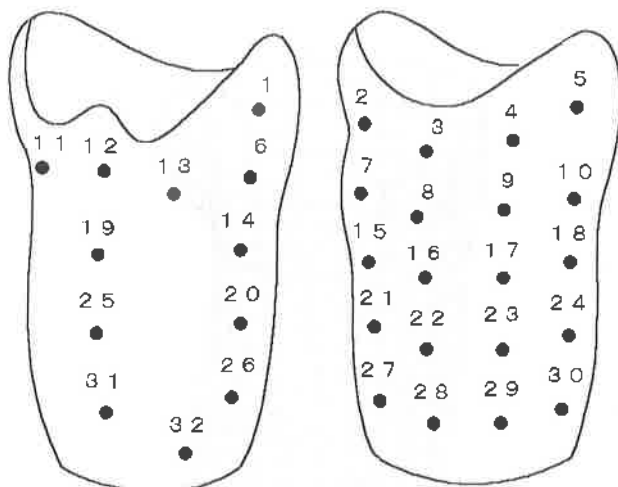


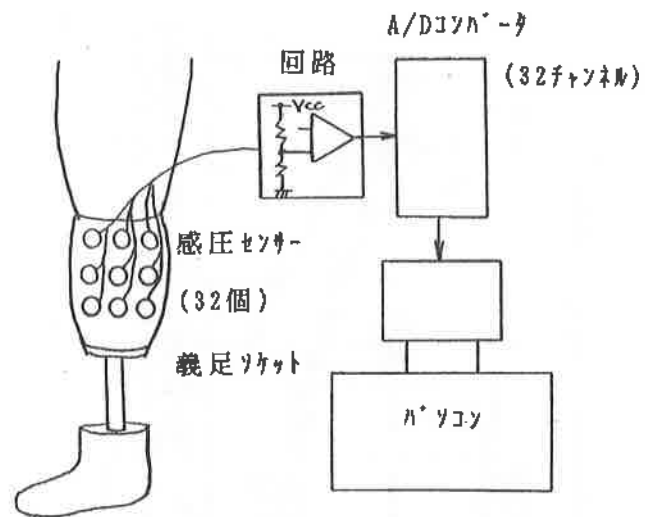
図5 感圧センサー



背面

前面

図6 センサー張付部



パソコン	PC9801	(NEC)
A/Dコンバータ	AD12-32F (98) H	(コンテック)
感圧センサー	IESF2	(イナバゴム)

図7 測定装置

実測は、左下腿部を切断した被験者の、さまざまな歩行状態における義足ソケットにかかる接触圧力を計測した。

- (a) 直立した状態（図8）
- (b) 義足側に体重を懸けた状態（図9）
- (c) 膝を曲げた状態
- (d) 足に全体重を懸けた状態
- (e) 義足の内側に体重を懸けた状態（図10）
- (f) 義足の外側に体重を懸けた状態
- (g) 義足の踵に体重が掛かった状態（図11）
- (h) 爪先に体重が掛かった状態
- (i) 外側へ捻った状態
- (j) 内側へ捻った状態
- (k) 爪先上がりの状態（図12）
- (l) 爪先下がりの状態
- (m) 傾斜面（傾斜角4°）の状態

図8～図12は(a)～(m)の歩行状態での計測結果の一部であるが、図中の初期値は装着する前の感圧センサーにかかる荷重値を示す。これは、ソケット内面に入れた「中落とし」と称する柔らかい樹脂とソケット内面との接触圧に起因する。いずれの歩行状態の場合も、膝頭から少し下の場所でソケットと強く接触し、最大0.6kg/mm²程度、断端部に近い場所で0.4kg/mm²程度であった。

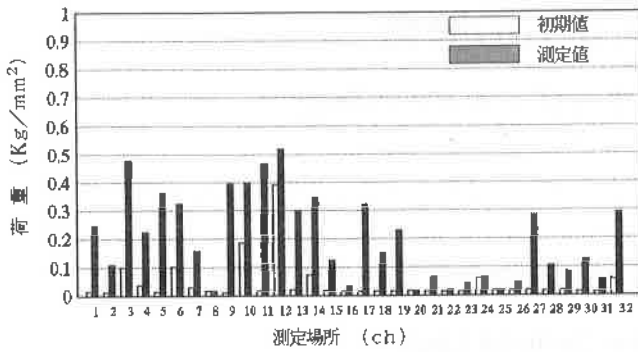


図8 直立時の接触圧力

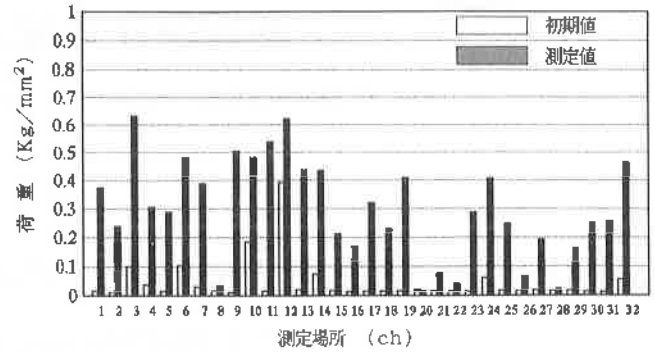


図12 爪先上がりの状態での接触圧力

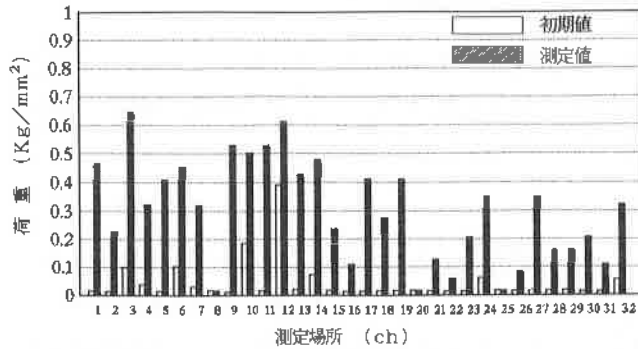


図9 義足側に体重を掛けた時の接触圧力

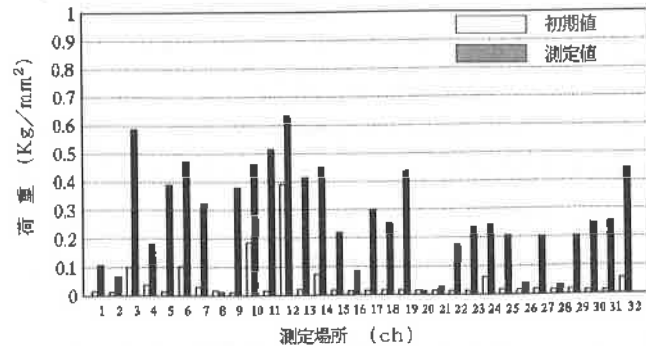


図10 義足内側に体重を掛けた時の接触圧力

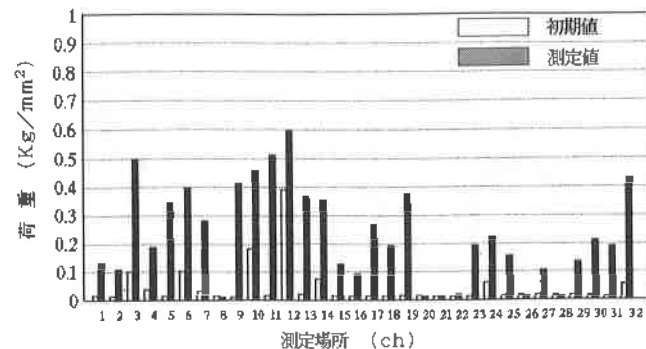


図11 義足の踵に体重を掛けた時の接触圧力

3. 結 言

現状のPTBタイプの下腿義足ソケットの内面形状の計測と義足ソケット装着時の各種歩行時のソケット(中落とし)に掛かる概略の圧力分布を計測することによって、ソケット形状と荷重負荷との関連を把握することが可能となった。今後は、多数の被験者についてソケット内面形状と接触圧力の分布測定を行うことによって、膝部等主要な受圧部形状と圧力との相関についてのデータベース化と、三次元形状計測装置の高速化を図るため、レーザスキャン式の開発などが必要と考えている。

なお、本研究を行うにあたり山梨大学工学部古川進教授、あけぼの医療福祉センターの義肢装具士佐藤久氏には多大の御助言と御指導をいただきましたことを感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 石田明充：生体の形状計測，バイオメカニズム学会誌，Vol.6, No.2 (1982) 4
- 2) 椋代 弘・柄川尚慶・重田和美：画像処理による人体各部の形状計測，岡山県工業技術センター研究報告，No.18 (1992) 41
- 3) 森本正治：CAD/CAMの義肢装具への応用，金属，No.2 (1990) 11
- 4) 新津靖・宮崎新一：光切断法を用いた非接触3次元全周形状計測システム，精密工学会誌，Vol.62, No.12 (1996) 1790
- 5) 富永・川村：装着感を考慮した義足ソケット，バイオメカニズム学会誌，Vol.16, No.4 (1992) 274
- 6) 石川正俊・下条 誠：感圧導電性ゴムを用いた圧力センサ，バイオメカニズム学会誌，Vol.6, No.3 (1982) 46
- 7) 原 利昭・田村義則他：下腿義足ソケットテンターフェースの接触圧力分布測定，新潟大学研究報告