

三次元弾性体の計測制御技術の研究

—形状計測手法の開発—

平川 寛之・清水 誠司・萩原 茂

Study on Measuring Technology of 3-D shaped Elastic Body

— Development of Measuring Technique for 3-D Shape —

Hiroyuki HIRAKAWA, Seiji SHIMIZU and Shigeru HAGIHARA

要 約

本研究は、昨年度の研究テーマである「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—」で得られた成果を基に、人体脚部のような堅さの不均一で柔らかい物体の形状を精度良く測定するシステムの開発を目的とし、昨年度に開発した測定器をベースにソケット内圧測定装置の機能強化とハードウェアの変更、圧力の測定結果を可視化するためのプログラムの開発を行った。

1. 緒 言

近年になって、食生活の欧米化など様々な理由により後天的な障害を持つ人が増えている。これらの人々が社会生活を営むためには、義足や車椅子などの義肢装具によるアシストが不可欠である。しかし、個々の症状の違いや置かれた環境の相違、痛みなどの感覚に対する個人差等により、良好な使用感の得られる義肢装具はまだ少ないのが現状である。これらの状況を改善させるために、平成7年度より義肢の製作を支援するシステムの開発を行ってきたが、本研究はその中でも、下腿義足の装着感を評価するために、義肢ソケット内部の内圧測定を行う装置の開発を目的としている。

本研究は、昨年度の大柴ら¹⁾の成果を基に、プラットフォームの変更・プログラムの移植、表示部分の機能強化を行った。システムは大きく内圧計測部と表示部の2つの部分から構成される。内圧計測部は被験者が装着する下腿義足ソケット内部の圧力測定を行うため、感圧導電性ゴムによる電気抵抗の変化を利用したセンサ部分と、電気抵抗の変化を数値化して記録する制御部から成る。圧力の測定を行うセンサの部分は従来のものを流用し、データのサンプリング・集計・記録の部分小型軽量で持ち運び可能な専用のコンピュータへ載せ替えを行った。また、表示部については、従来、表計算ソフト等を用いて各点の測定値を棒グラフとして表示していたが、実際との対応が困難であったので、測定値を視覚的に確認するために、色の濃度等で圧力値を表示するプログラムを作成し評価を行った。

どの部位に生じるかを予測するためには、幾つかの方法が考えられるが、今回はソケット装着時に生じる接触圧を測定することを試みた。この部分は義肢ソケットの接触内圧測定子と制御部から構成(図1)される。

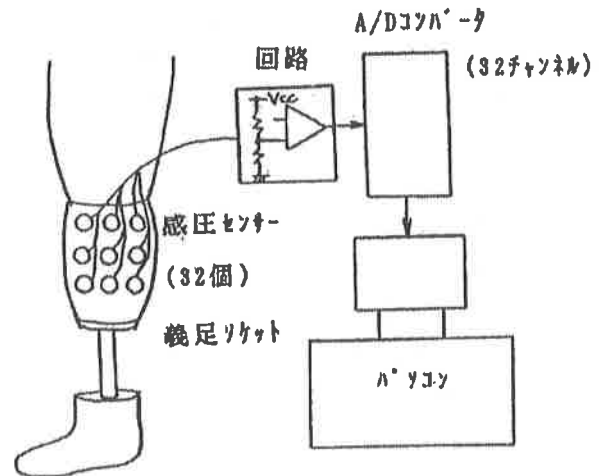


図1 システムの構成

2-2 義肢ソケットの接触内圧の測定子

PTB (Patellar Tendon Bearing) タイプの義肢ソケットの内部に感圧導電性ゴムによる圧力センサ (以下、感圧センサと呼ぶ) を32個配置し、それぞれの点での圧力変化を電気抵抗の変化として記録した。なお、測定点の位置決めは山梨県障害者相談所 主任義肢装具士の佐藤氏の助言を受けて決定した。測定点の位置を図2に示す。

2. ソケット内圧測定装置の構成

2-1 システム構成

下腿義足の装着時や継続的な使用によって生じる痛みが

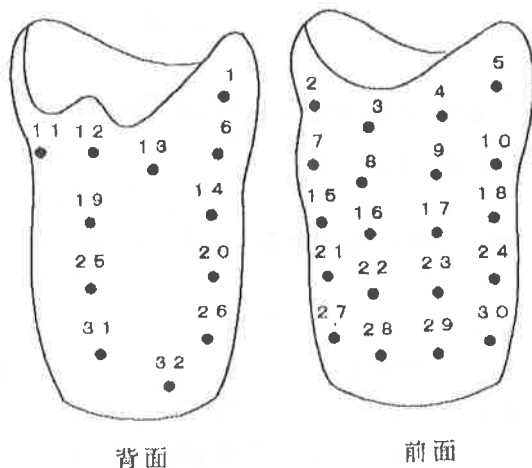


図2 接触内圧の測定点

2-3 制御部

感圧センサは、表面に与えられる荷重によって電気抵抗が変化する。その値を増幅しA/D変換を行った後、サンプリングを行う。感圧センサの圧力-電気抵抗特性は非線形であるため、圧力値を求めるには何らかの補正が必要となる。また、収集したデータの保存も必要となる。本システムでは以上の処理を行うために、専用のコンピュータを用意した。

今回、制御部に対して行った改良は以下の通りである。

- (1) 任意時間間隔で連続的に圧力値をサンプリングするためのプログラムの機能追加。
- (2) 制御部の小型化を図るために、今までデスクトップ型のパソコンで動いていたプログラムを組込用のマイコンへの移植。
- (3) BASIC言語で書かれていたプログラムを移植性、保守性、拡張性等を考慮してC言語に移植。

以上の改良を行うことにより、今までは静止した状態での圧力分布を測定できなかったものが、歩行や軽い運動時の動的なデータ収集が可能となった。

3. データ表示部

従来のシステムには、測定したデータを確認するためのブラウザ（表示ソフト）が無く、表計算ソフトなど利用して棒グラフの様な形で圧力値の表示を行っていた。この方法では測定点の位置を視覚的に確認できず、圧力がどの様に分布しているか確認しにくいという問題があった。

このような問題を解決するために、32点の測定点の圧力値をスムーズシェーディングされたオブジェクトの上に、

色の変化によって表示するプログラムを作成した。

3-1 ワイヤフレームモデルの構築

接触式内面形状測定器¹⁾を用いて義肢ソケットの内面形状を測定し、これを基に、内圧分布の表示に必要なワイヤフレームモデルの構築を行った。内面形状測定器で測定されたデータは、円周方向に36等分、上下方向0.2mm/ステップで作成されているので、この条件で面を貼りモデルを構築(図3)した。

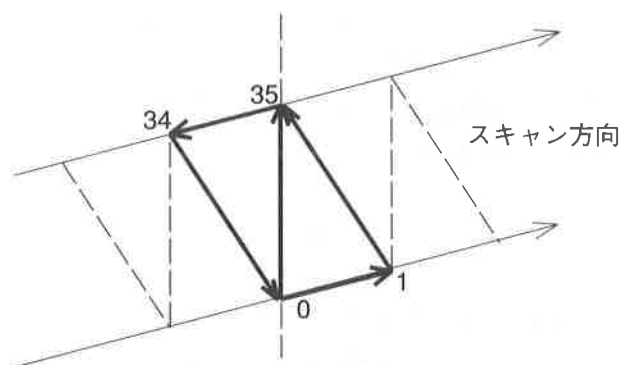


図3 面の構成方法

3-2 スムーズシェーディング

ワイヤフレームで表示されたモデルは、モデルを線分の接続で表現しているの、実物のイメージとは大きく異なっている。ワイヤフレームモデルをより、実物のソケットに近い形で表現するために、モデルにスムーズシェーディングを施した。これにはOpenGLのレンダリング機能を用いた。

3-3 圧力値の補完

接触圧力の測定値をスムーズシェーディングされたモデルの上に表現するには、幾つかの方法が考えられるが、今回は、測定点を中心とした色変化による方法と、棒グラフによる方法を検討した。色変化による表現では、測定点が32点と少ないことにより、測定点間の距離が大きく開いてしまうことが問題となるが、今回は測定点間の圧力値を補完することにより問題の解決を試みた。

圧力値の補完を行う方法として、32個の圧力の測定点を連結して面を張ったモデルを構築し、この面（以下、圧力面と呼ぶ）を底面とする立体の内部にソケットの内面形状から作成されたモデルを構成する頂点が内包されているかを調(図4)べる。もし、内包されているなら当該圧力面の頂点からの距離を求め、圧力値と距離との関係から補完値を決定(図5)する。

義足ソケット内形状

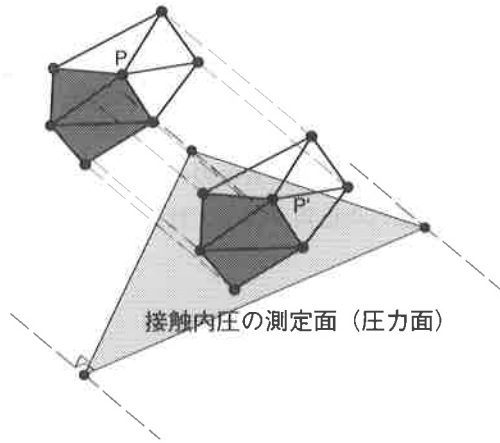


図4 内包される点の調査

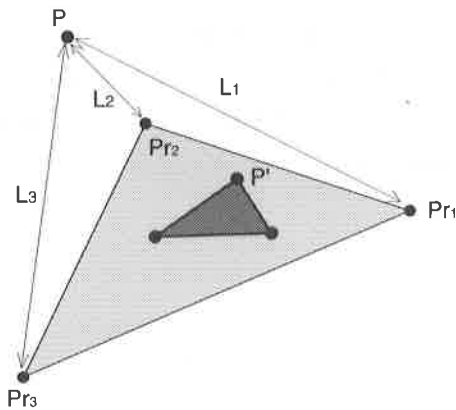


図5 補完値の計算

3-4 色表示モデル

圧力値を色に変換する方法として、HSI色立体によるモデルを利用した。HSI色立体³⁾とは図6の様なもので、Hのパラメータに対して正規化した値を与えることで、青から赤にかけて連続的に変化するRGB値を求め、画素の色を決めた。

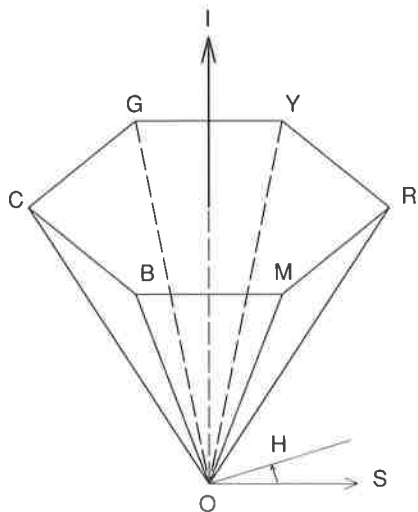


図6 HSI色立体モデル

3-5 棒グラフ表示

色の変化による圧力値の表示は、全体を概観するには良い方法だが、補完という手法を用いているために値の正確さに欠けるという問題点がある。この点を補うために、32個の測定点の圧力値を棒グラフで表示するという表示方法も平行して検討を行った。両方の表示方法を用いることで、より確実にソケット内の接触圧力が把握できるものと思われる。

4. 実行例

実際に下腿義足のソケット内に、接触内圧の測定子を装着した様子を図7に示す。測定は直立した状態、軽く膝を曲げた状態など13のパターンについて行った。



図7 測定の様子

内圧測定子の感圧ゴムセンサの位置を基に、補完の際に必要な圧力面の再構成(図8)を行った。

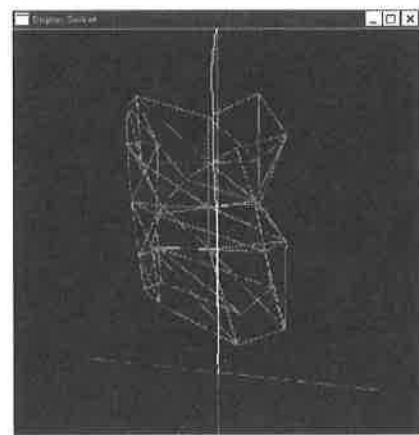


図8 再構成された圧力面

以上のデータを基に、ソケット内部の接触圧の測定結果を表示した例を図9に示す。



図9 接触内圧の表示例

5. 結 言

下腿義足の義肢ソケット内部の接触圧をより効率良く、多くの条件で計測するための制御部の改良を行うとともに、計測されたデータを視覚的に分かり易く表示する方法の検討とプログラムの開発を行った。

その結果、制御部を改造したことで、静止した状態でしか圧力分布を測定できなかったものが、歩行や軽い運動時の動的なデータ収集が可能となった。また、圧力データの表示プログラムの開発で、把握が難しかったソケット内の圧力分布とその変化を知ることが可能となった。

今後は、圧力分布の動的表示のためにアニメーション機能の追加や実際への応用を行って行く必要があると思われる。

参考文献

- 1) 大柴, 清水, 岩間, 小松, 安留, 樋泉, 福島, 秋山, 鈴木: 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 -, 山梨県工業技術センター研究報告, No.11 (1997)
- 2) 阿部, 清水, 平川, 河野: 義肢制作支援システム - CAD/CAMを用いた義肢制作支援システムの開発 -, 山梨県工業技術センター研究報告, No.11 (1997)
- 3) 高木, 下田: 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, p.485~p.491