

# CAD/CAMを用いた義肢製作支援システムの開発

## —義肢形状計測用ポッドの試作開発—

萩原 茂, 清水 誠司, 阿部 正人, 河野 裕

### Development of Production Support System for Artificial Limb

#### —Development of Control Method of an Artificial Leg Shape—

Shigeru HAGIHARA, Seiji SHIMIZU, Masahito ABE and Hiroshi KONO

#### 要 約

平成8年度より実施している義肢製作支援システム開発により、人体下腿部の三次元形状を測定し、義肢ポッドを試作するシステムを開発した。最終年度である平成10年度に開発した主な内容は次のとおりである。

- ①加圧式形状測定装置の高速化、高精度化
- ②光造形法による義肢ポッド試作
- ③形状測定から義肢ポッド試作までの一連のシステム

以上を開発した結果、義肢製作システムの基礎となる試作システムが完成した。

#### Abstract

The system which makes an artificial limb socket from the measurement data of under the knee was developed. The developed main contents are as follows.

- (1) Improvement in the speed and precision of form measurement apparatus.
- (2) Artificial limb socket manufactured by the laser lithography.
- (3) A series of system from form measurement to an artificial limb socket manufacture.

As the result, foundation system for artificial limb production was completed.

## 1. 緒 言

義肢は、使用者の人体の一部であることから、傷害部位の状態を十分に考慮して製作されている。義肢の製作は、豊富な経験と膨大な製作時間を要求される手作業ですべて行われているが、必ずしも満足な製品が得られないのが現状である。

義肢製作における諸問題を解決する方法として、平成8年度から義肢製作支援システムの開発を行っている。本研究は、その要素研究として下腿義足を対象に考察を行い、断端部付近の形状、肉質の硬さや痛みの発生部位などの情報を計測する装置と義肢ポッドを試作する装置を開発してきた。平成8年度<sup>1)</sup>では、義肢ポッド内形状と人体下腿部の形状を計測し、義足の内圧を評価するために、接触式内面形状測定機、非接触式三次元形状計測装置および体圧分布測定装置を開発した。平成9年度<sup>2)</sup>では、義肢ポッド内の体圧分析を行うと共に、CT画像から内部組織形状を抽出し骨の位置などの検討を行った。さらに、肉質の硬さや

加圧による痛み発生の有無を計測する加圧式形状測定装置を開発した。

平成10年度は、加圧式形状測定装置の高速化、高精度化を進めると共に光造形法による義肢ポッドの試作開発を実施し、装置とのデータ連携をとることによって計測から義肢ポッド作成までの一連のシステムを構築した。その成果である(1)加圧式形状測定装置の改善、(2)光造形法による義肢ポッド試作、について報告する。

## 2. 加圧式形状測定装置の改善

### 2-1 改善の目的

下腿断端部付近の形状、肉質の硬さおよび加圧による痛み発生の有無についての計測を目的に加圧式形状測定装置を開発してきた。平成9年度では、障害者について計測を行い、(1)下腿部の形状を定量的に得られる、(2)加圧による形状の変形傾向がつかめる、(3)痛みを感じる位置と圧力を定量的に得られる、ことが判明している。しかしながら、

計測に要した時間は3時間以上であるために被験者の精神的、肉体的疲労が頂点に達し、実用的とはいえなかった。さらに、接触子が人体に接するときの微弱な圧力を測定する精度も十分ではなかった。

そこで、計測時間の短縮化と測定精度の向上を目的に実験装置を改善すべく検討を行った。

## 2-2 実験方法

### 2-2-1 装置の構造

計測時間の短縮化を行うために、測定子を6個に増設し、同時に形状測定を実施する方法に改良した。測定子は、円周上に角度60°の間隔で中心を向けて設置した。

平成9年度では、人体と測定子の接触位置を測定子に加わる微小圧力によって検出していたが、個々のセンサー感度が一定でないことから正確な形状を計測できなかった。したがって、測定子が人体に触れたことを電流の流れがあるか無いかで検出する方式を取り入れることにより、高精度化した。

測定子の構造を図1に示す。人体と測定子間の電位差は直流5Vである。電流検出回路は、微弱な電流をトランジスタにより増幅しマイクロリレーを動作させることによってオン・オフを出力する仕組みである。

### 2-2-2 計測のシーケンス

基本的なシーケンスを次に示す。

- (1)測定子を前進させ、測定子が人体に接触した位置で一旦停止する。
- (2)人体に接触した位置をコンピュータが記録する。
- (3)更に測定子を前進させ、所定の圧力で停止する。
- (4)接触子が停止した位置と圧力をコンピュータが記録する。
- (5)測定子を元の位置に戻す。

上記の(3)において、被験者が、痛みを感じた場合は、押しボタンスイッチを押すことによって、次の割り込みシーケンスを実施する。

- (1)全ての測定子の前進を停止する。
- (2)問診によって痛みを発生する測定子を特定し、その測定子は以後前進しない設定をする。
- (3)上記基本シーケンスの(3)に戻る。

以上の行程により、下腿部の無加圧時での形状、加圧時の形状および痛みの発生位置とその圧力を計測した。本研究では、加圧力の最大値を片足で立つ場合を想定した300MPaとした。

### 2-2-3 計測位置

平成9年度の報告では、膝下関節から下側90mmまでの範囲について47点を計測したが、測定数は十分とはいえなかった。そこで、膝下から20mm間隔で5段階の高さで計測し、60点を計測した。1段階の高さでの計測は、測定子を円周上に角度30°回転させることによって12点を計測する方法で行った。

被験者は、障害者にお願した。その断端付近の計測状況を図2に示す。

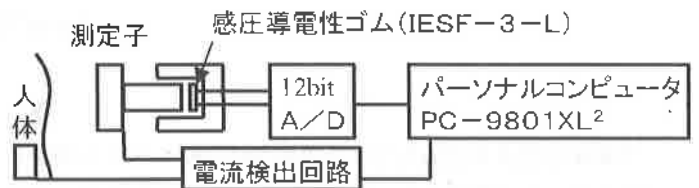


図1 測定子の構造

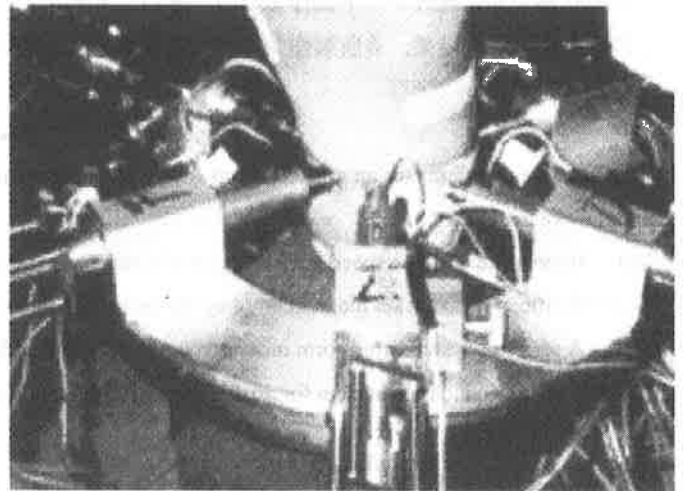
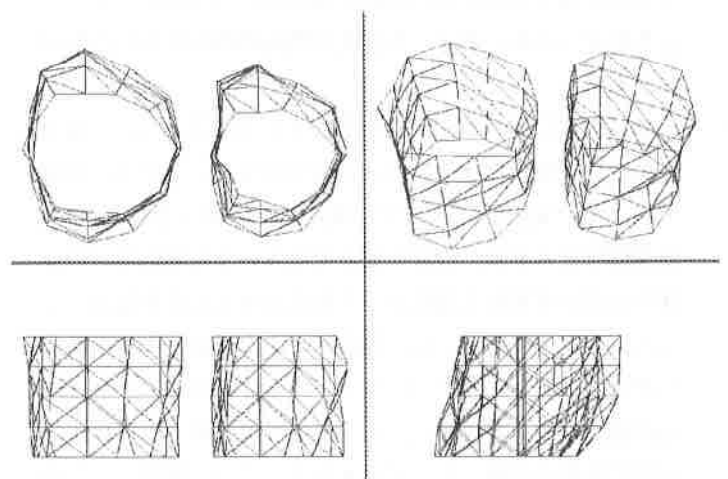


図2 加圧式測定装置



左足下腿部：正面図手前が前方（左：無圧力 右：加圧）

図3 断端部の測定結果

### 2-3 結果と考察

コンピュータに入力された測定データに基づいて三面図法による立体表示を図3に示す。

図中で左側は無圧力下の形状を示し、右側は加圧下の形状を示している。筋肉や脂肪の多い前方や背面は、変形が大きくなっている。

本研究では、測定子を6個に増設することによって同時に複数の位置において同時に計測を行っているが、被験者が痛みの発生箇所を特定することが困難になることは無かった。しかし、7個以上の測定子を使用して同時に計測を行う場合は、痛みを発生する測定子を特定することが困難になる恐れがあると考えられる。

測定子の増設により測定時間を約半分の1時間半に短縮することができた。しかしながら、本装置は、高さ方向の位置決めや円周方向の回転角度設定などを手動操作している。手動操作を全て自動化すれば、更なる高速化が期待できる。したがって、被験者の精神的、肉体的疲労を考慮すると更なる時間短縮が望まれる。

測定子と人体の接触位置の検出は、電流の変化を検出する方法を用いることによって、高精度化することができた。

## 3. 光造形法による義肢ポッド試作

### 3-1 光造形法の利用

光造形法は、複雑であるが障害者の要求する義肢ポッド形状をそのまま迅速に造形可能な手法であり、義肢製作支援システムの構築に有効な手段と考えられる。しかし、光造形の原料は光硬化性樹脂であり、義肢としてそのまま使うには十分な強度を持つ素材とはいえない。

そこで、本研究では、義肢ポッド形状の確認用モデル、高強度樹脂によって補強することを前提にした義肢ポッドモデルの作成を行った。

### 3-2 実験方法

光造形法で得られる樹脂モデルを高強度樹脂で補強する手法として、繊維混入の自硬化性樹脂を用いることを想定した。補強可能な樹脂モデル構造を図4に示す。図中の内型と外型は光造形モデルである。内型と外型の間に自硬化性高強度樹脂を流し込み補強する構造である。

義肢ポッドの試作方法を図5に示す。内型を造形する際に義肢ポッドの内形状が、設計どおりの形状に加工されるように内型の厚みを補正して造形する。内型は、そのまま義肢ポッドの形状確認用の樹脂モデルとして使用可能である。外型は、補強樹脂の厚さ分を含めて内型よりも大きく造形する。

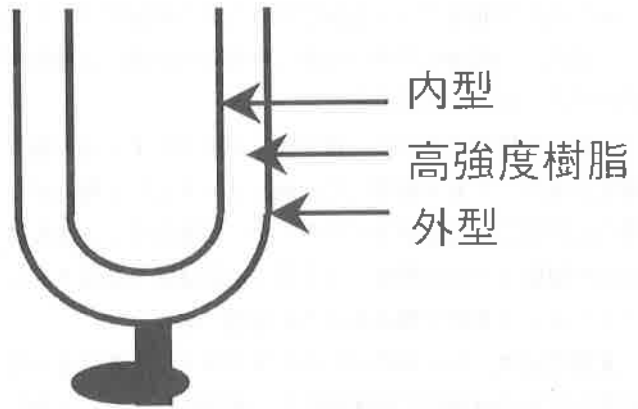


図4 義肢ポッドの構造

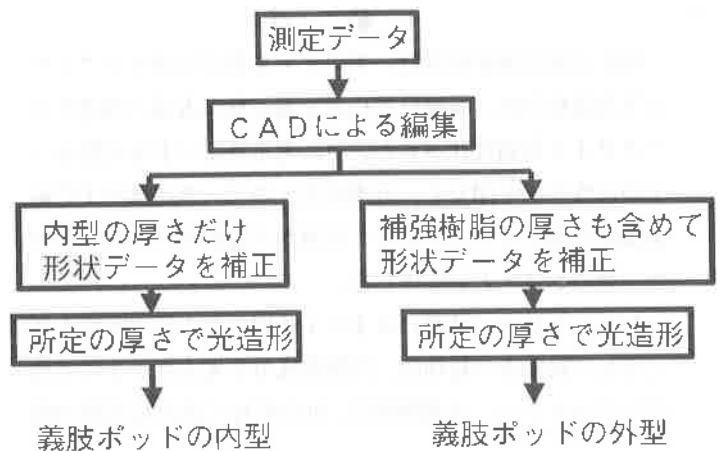
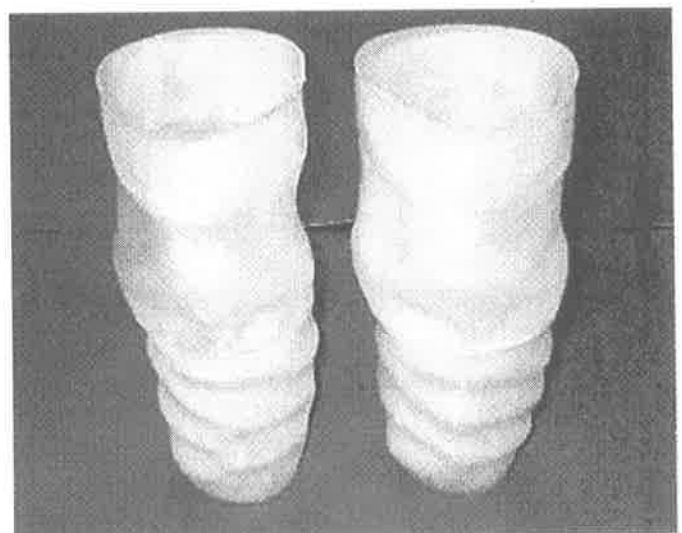


図5 義肢ポッドの試作方法



左：形状確認用樹脂モデル 右：義肢ポッド内型と外型

図6 光造形モデル

### 3-3 実験結果と考察

形状確認用樹脂モデルおよび高強度樹脂で補強可能な樹脂モデルを試作した結果を図6に示す。図中左側は、被験者に装着して内形状を確認するための形状確認用樹脂モデ

ルである。右側は、自硬化性高強度樹脂を内型と外型の間に流し込んで義肢ポッドを試作するための樹脂モデルである。試作した樹脂モデルの内型と外型との隙間（高強度樹脂の厚み）は、6mmである。

試作した樹脂モデルは、造形後2週間から1ヶ月の間に硬化が進行して若干変形した。義肢ポッドとして使用する場合に問題になる変形量ではないが、紫外線ランプ光を造形後の樹脂モデルに照射して十分に硬化反応を進行させることによって変形を抑えることが可能である。

光造形法は、レーザのランニングコストや不要になった樹脂モデルの再利用に問題が残る。義肢制作にもっと適した造形方法を今後検討したい。

#### 4. 結 言

加圧式形状測定装置は、測定子を6個に増設することにより高速化され、接触位置検出を電流検出方式に改善することにより高精度化された。更に光造形法による義肢ポッドの試作手法を開発し、計測装置とのデータ連携および編集機能を備えることによって計測から義肢ポッド作成までの一連のシステムが完成した。

しかしながら、計測にはまだ1時間以上の測定時間を要しており被験者の精神的、肉体的疲労を考えるとまだ実用的とはいえない。計測時間は、30分程度であれば実用の段

階になると考えられる。

光造形法による樹脂モデルの造形精度は十分であり、義肢製作支援システムとして光造形法は適すると考えられる。しかし、将来的に(1)直接義肢ポッドとして使用可能な素材での造形法の出現、(2)ランニングコストの低い装置開発、(3)環境を考慮した再利用の可能な素材の使用、などが期待される技術として上げられる。

今後、さらに加圧式形状測定装置の高速化と光造形に代わる新造形法の開発を進めたい。

加圧式形状測定装置の開発にあたり、資材を提供して頂いた株式会社メイコー、装置の製作を支援して頂いた山梨大学の古川進教授、波塚君、被験者の手配をして頂いた障害者相談所の佐藤久さん、被験者になって頂いた板橋さん、諸氏に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 萩原他：義足ソケット製作用CAD/CAMシステムの開発－断端部形状測定について、精密工学会秋季学術講演論文集（1997）304
- 2) 萩原他：三次元弾性体の計測制御技術の研究－義肢ポッドの内形状制御手法の開発、山梨県工業技術センター研究報告、No.12（1998）

