

CAD/CAMを用いた義肢製作支援システムの開発

—システムの構築と評価—

阿部 正人・清水 誠司・萩原 茂・河野 裕

Development of Production Support System for Artificial Limb

—A Study on Construction and Evaluation of a System—

Masahito ABE, Seiji SHIMIZU, Shigeru HAGIHARA, Hiroshi KONO

要 約

事故や疾病などにより切断された、人体部位を補う補助装具の設計・製造をコンピュータで行うことを目的として、

- ① 2次元画像から3次元モデルを構築する機能、
- ② 高速な画像表示を行うグラフィックス機能、
- ③ インタラクティブな操作機能

を持った義肢製作用3次元CADシステムの試作を行った。その結果、義肢ソケットの設計をコンピュータ上で行うことが可能となった。

1. 緒 言

マイクロチップ技術やソフトウェア技術の飛躍的な進歩は、補装具などで使用されている部品の中にもコンピュータチップの搭載を可能とし、義足の動作を制御するいわゆるインテリジェント義足の実用化を可能にするなど義足を含めた義肢装具の進歩に多大に寄与してきた。このような義肢装具の進歩は切断者にスポーツや余暇活動など、より豊かな社会生活や社会参加の場の提供に貢献してきた。

補装具などで使用されている機械的な部品は、CAD/CAMシステムを用いて設計・製造がされているが、義肢と手足の切断者間のインタフェースとしての補装具のソケット製造に関しては、依然としてマンパワーに頼らざるをえないのが現状である。しかしながら、ソケットの形状が体に合わず、義肢の使用時に苦痛を感じている人が多数いることも事実である。

一方、補装具のソケット設計と製造のプロセスをサポートするためにCAD/CAMシステム¹⁾が開発及び商品化されており、コンピュータ支援による義肢ソケット製造を現実化する努力は見られているが、コンピュータで支援されたソケット設計では、残念ながら短時間に体にフィットし長期的な使用に耐えうる製品を製作するには必ずしも十分ではない。義肢設計・製作をコンピュータで行うには解決しなければならない問題が依然として多数²⁾あり、この分野において決定的な答えを持ち得ないのが現状である。

著者らは前述した問題を解決するために前報³⁾において、連続した2次元断層撮影画像から身体モデルが構築可能であることを示すと共に、義肢ソケット作成用CADのソフトウェアの試作を行ったことを報告した。本報は、いくつかの改善、追加した機能について述べるとともに、ソフトウェアのシステム化を行ったので報告する。

2. システム概要

システム全体の構成図を図1に示す。システムはインテルPentiumProcessor搭載のGateway社製パーソナルコンピュータをプラットフォームとし、OSにWindowsNT4.0、開発言語にVisualC++、OpenGLライブラリーを使用した。ソフトウェアは、義肢設計を行うために曲面生成・編集機能、外部とのDXF、STL形式で外部とデータ交換を行う機能等CADの基本機能の他、CT/MRI等の2次元画像のインタフェース機能、ソケットの内面形状計測装置とのインタフェース機能のモジュールから構成される。また、シリアルインタフェース制御プログラムも装備し、他の測定装置からのデータ入出力を容易に実行できるよう設計を行った。

3. 2次元処理機能

前報においても報告を行った2次元画像から3次元モデルを構築する機能、すなわち連続して撮影されるCTやMRI画像等のDICOM形式の断層撮像画像から人体モデルを構築する機能の強化を行った。本研究で使用した画像は、

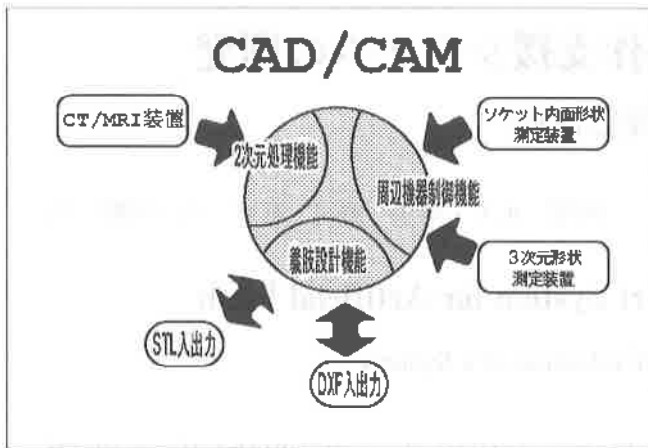


図1 システム機能図

CT装置から各スライス間が2 mm間隔で生成された画像を使用しているため、切断部を含めた下腿部位を再構築するには200枚の画像が必要となる。CT装置で得られる画像には数々のノイズが含まれるが、それを除去する手法についてはすでに報告⁴⁾してある。しかしながら大量の画像を処理するには、多くの作業工程を必要とし、必ずしも使い勝手はよくなかった。そこでほぼ連続して変化していると考えられる画像より処理対象となる領域を抽出し輪郭点列を自動生成するモジュールをCADの中に組み込んだ。処理手順は以下のとおりである。

- ①処理の対象となるエッジ領域をマウスカーソルを使用して指定(図2)する。
- ②被験者が仰向けに寝るテーブル、健常側の脚等の抽出処理に必要な領域の画像データにマスク処理を加える。

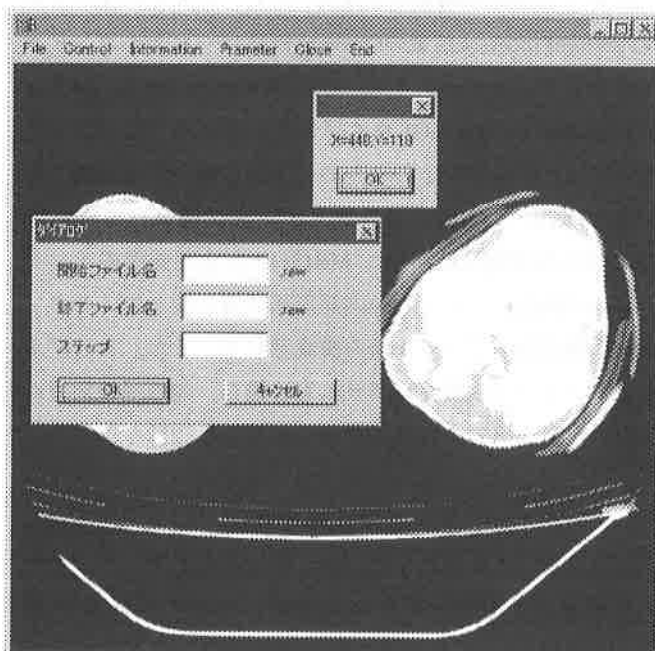


図2 対象となるエッジ領域の指定画面

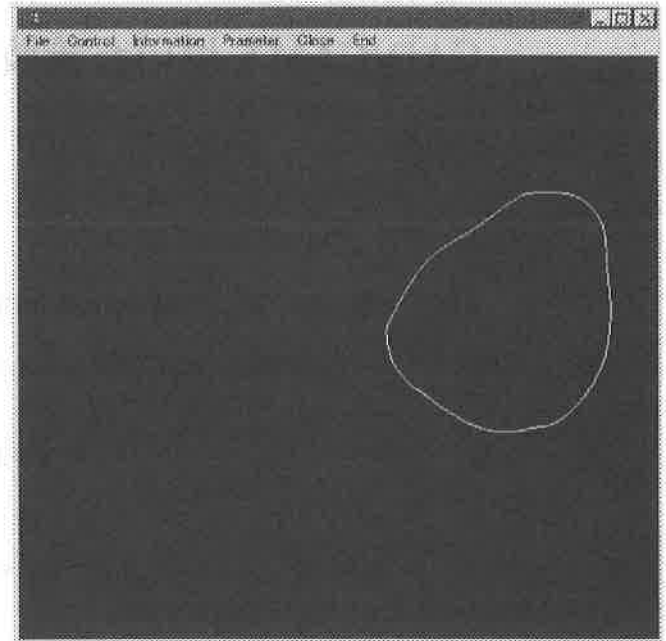


図3 エッジ検出処理後の画面

- ③衣服をWindow変換して消去する。
- ④残った領域に対してエッジ検出処理を行い、最外周を外形状(図3)とする。
- ⑤次のスライス画像に対しては、上記②~③の処理を行い前スライスで得られている④の外形状を基準として、ある範囲内でエッジを探索し最外周を求める。ここで得られた最外周を人体の外形状とし、さらにDICOM形式で定義される画像の情報フィールドに格納されている画素解像度、スライス間隔、スライス位置、スライス番号等を用いて外形状の3次元空間上での位置関係を取得した後、CADの座標系に座標変換を行い、CADのデータベースへ格納をおこなった。義肢を装着して撮像した画像では、一部義肢ソケットと表皮との判別が困難な箇所が存在し、全ての条件下で自動的に人体外形状を生成するまでには至っていない。

4. CAD機能

基本的なCAD機能について述べる。CADのデータストラクチャーは、3次元サーフェスデータ構造とし、必要に応じて一部に2次元輪郭データ構造を与えた。インターフェースは、宝飾工芸品用CAD/CAMシステムJCAD3/名工の機能の一部を利用した。画面は3面図とアイソメ表示図の4面表示とし、CADに対する指令は全て上面にあるメニュー領域をマウスでクリックすることにより各機能の実行をするようにプログラムした。立体の描画、視線方向の移動、面の状態を確認するためのシェーディング表示等は、OpenGLを使用したウィンドウに描画処理を行うことにより高速化を図った。最終的な描画速度は、OpenGLインタ

フェースを持ったディスプレイドライバに大きく依存してしまう。本システムで使用したSTB NVIDIA TNTディスプレイカードでは描画については十分な速度、表示色数をもっており、使用上問題がないことを確認した。

5. 義肢設計機能

機械系CADと比較して人体形状に沿ってソケットをデザインすることを目的とする義肢設計用のCADでは、3次元プリミティブ、回転、スウィープ等により3次元形状を生成する機能は必要がない。義肢の設計は、計測装置によって得られた人体形状を3次元サーフェスデータに変換して人体の外形状を得ることから始める。次にその外形状に対してオフセットをとった曲面を作成しそれをソケット形状となる面と仮定して曲面の修正作業を行った。曲面の修正作業を行うには、曲面を構成する制御ポイントを移動することにより行い、非常に局部的修正は曲面を再分割と制御ポイントが曲面に与える影響パラメータの変更により行った。義肢ソケット形状を決定するには、このような形状の修正等の人手の介入が必要である。本システムで用意した形状作成・編集用ツールを図4に示し、義肢設計の作業画面を図5に示す。

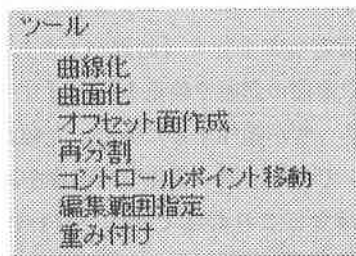


図4 形状作成・編集用ツール

6. 結言

下腿義足製作支援用CAD/CAMシステムの開発として、義肢製作用CADシステムの試作を行った。試作システムでは、CT画像から衣服・テーブル等の不要な部分の消去、エッジ検出処理による人体外形状の抽出処理を行い、数百枚からなるCT画像群より人体外形状の3次元モデルが自動的に得られた。さらに、義肢製作用に特化した機能を持

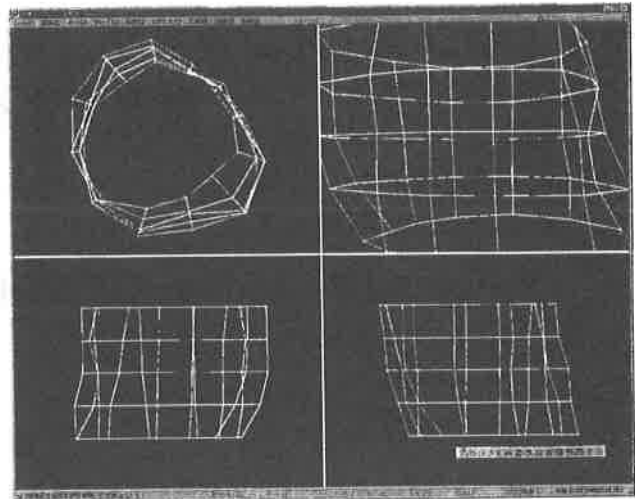


図5 義肢設計作業画面

つCADを開発したことにより、義肢ソケットの設計をコンピュータ上で行うことが可能となった。

残念ながら、今回の研究では測定された人体形状から義肢形状を自動生成し装着可能な義肢ソケットを製作するまでは至っていない。しかし、医療福祉分野へCAD/CAM技術の応用が十分可能であること示すことができた。

最後に本システムの研究において、山梨大学工学部古川進教授には有益なご討論、ご教授をいただきました。また、山梨県障害者相談所の佐藤氏には義肢製作技術面でご協力いただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 森本正治: CAD/CAMの義肢装具への応用, 金属 1990
- 2) 周藤安造: 医学における三次元画像処理, コロナ社, 1995
- 3) Keith Unsworth: Recent developments in surface reconstruction from planar cross-sections, University of Dundee Computer Science Report, 1994
- 4) Dudley S. Childress: Nu PRL-RERC Activities Report, Northwestern University PRL-RERC, 1995
- 5) 阿部他: CAD/CAMを用いた義肢製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 第11号, 1997
- 6) M.Abe: A CAM/CAM System for Below Knee Prosthesis Sockets, Proceeding of ICED97, 1997