

# CAD/CAMを用いた義肢製作支援システムの開発

— ユーザーインターフェース及び形状抽出に関する研究 —

阿部 正人・清水 誠司・河野 裕・佐藤 久\*1・古川 進\*2・中島 育昌\*3

## Development of Production Support CAD/CAM System for Artificial Limb

— A Study on Man-machine Interaction and Extracting 3-D Shapes from Measured Point Data —

Masahito ABE, Seiji SHIMIZU, Hiroshi KONO, Hisashi SATO, Susumu FURUKAWA and Ikumasa NAKAJIMA

### 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装具の設計・製造をコンピュータで行うことを目的としたCAD/CAMシステムを構築するため以下の機能の開発を行った。

- 1) 2次元画像から3次元モデルを構築する機能
- 2) 最適な義肢を設計するための曲面操作機能
- 3) 高速な画像表示を行うためのOpenGLを使用したグラフィックス機能

また、最適な義肢を設計するために、CTスキャナーを利用した義肢着用時の人体形状の変形度合を計測する手法の検討をおこなった。

### 1. 緒 言

近年、高齢者の増加に伴って、高齢者が生活をするうえで障害となる問題が数多く生じてきている。その中の1つが、ある種の疾患や事故によって指や腕、足などの体の一部を失い、補装具を使用しなければならない場合である。心臓病や糖尿病などのいわゆる循環器に起因する疾病により下肢等の切断を余儀なくされている人々は年々増加の傾向にある。障害者の日常生活をサポートする補装具用品である義肢は、障害部位が個々により異なること、採型からソケット製作まで3~4週間かかってしまうこと、切断部位の経年変化やソケットの摩耗・変形等によって2年程度で作成しなおさなければならないことや採型とモデル修正に高度な技術力と豊富な経験が要求されることなどから大量生産による補装具の低価格化、機器のハイテク化が大きく阻害されている。残念ながら補装具用品の良否や生産数は、義肢作成者の経験と技術・技能に大きく依存せざるを得ないのが現状である。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2, 3のシステムが開発<sup>1)</sup>及び商品化されているが、短時間に十分にフィットする補装具を作成するには必ずしも使い勝手が良いものとは言えない。

本研究は、これまでに人体の3次元幾何形状モデルを医療用CT画像を用いて構築する手法を提案し、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ともに、義肢ソケット作成用CADのソフトウェアの試作と、人体の種々の状態を観察し最適な義肢を設計するための環境について検討を行ったので報告する。

### 2. CADのソフトウェア設計

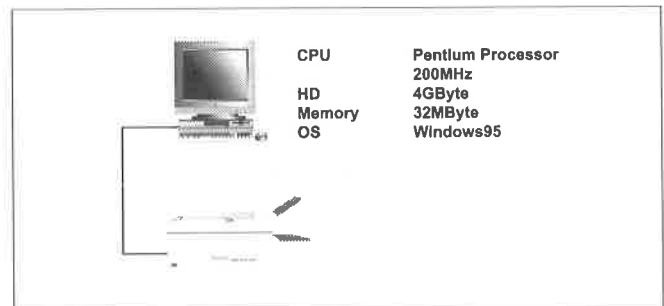


図1 システム構成

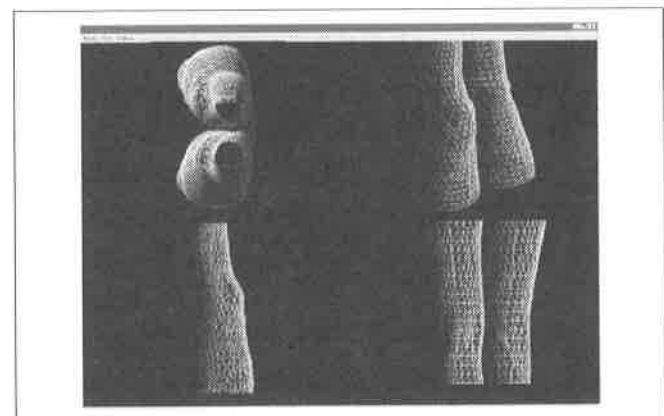


図2 CAD画面表示例

\*1 山梨県障害者相談所

\*2 山梨大学工学部

\*3 山梨医科大学付属病院

人体形状モデルや義肢ソケットを設計するため、3次元形状モデルを扱えるCADソフトウェアの試作を行った。

以下システム構成と本CADのいくつかの特質機能について説明する。

### 2-1 システム構成

プログラム開発及び実行環境はCPUとしてPentium Processorを搭載したパーソナルコンピュータを用い、3次元表示にはOpenGLグラフィックスライブラリーを使用し、オペレーティングシステムとしてWindows95/NTを使用した。システム構成を図1に、CADの画面を図2に示す。

### 2-2 プログラム開発シーケンス

CADプログラム開発の環境は、パーソナルコンピュータ上の汎用OSであるMicrosoft社のWindows95/NTを使用し、開発言語としてC言語、開発ツールとしてVisualC++を使用した。Windows API開発ガイドラインに則り、Win32 APIを使用して記述した。

また、プログラムの簡潔性と開発の効率化、描画の高速化をはかるために、シェーディング表示など高品位な画像生成が必要な部分、高速な3次元描画が求められる部分、インタラクティブなインターフェースが必要な対人間との対話機能部分など、グラフィックス機能の多くはOpenGLグラフィックスライブラリーをプログラミングインターフェースとして使用した。プログラム開発環境を図3に示す。

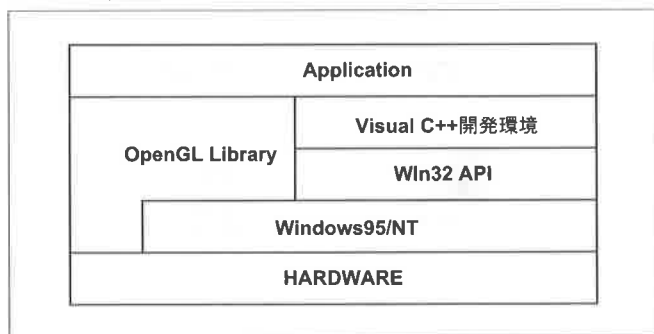


図3 ソフトウェア構成

### 2-3 2次元画像からの3次元モデル構築機能

身体モデルは、既存医療機関の設備を利用して被験者に苦痛を与えることなく比較的容易に撮影することができることや、人体を輪切り状に表現しているため表皮だけではなく骨形状など人体の内部構造も把握できる等の利点を持つ医療用画像<sup>2)</sup>を利用して、個々により異なる人体の形状データを取り込み、3次元モデルを構築できる機能を開発した。画像データから3次元モデルを構築する手法は次のとおりである。

画像データから対象となる生体組織の輪郭情報を抽出するために、2値化画像を生成し値が変化する部分をラスタースキャンし輪郭線とする手法を用いた。得られた輪郭を表わす点列データを平滑化し、Bezier曲線によって点列を近似

し、連続して撮影される各スライス層の上下を関連付け、3角形パッチ面で構成(図4)する。

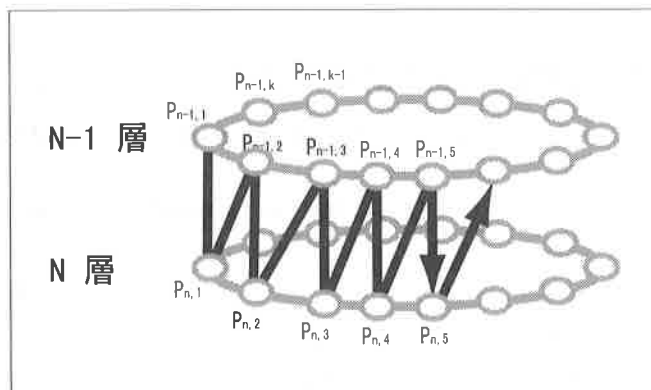


図4 3次元サーフェース構築方法

### 2-4 内部データ構造

人体を扱うCADにおいては、複雑な曲面を取り扱うことのできる機能が要求されるが、実際には、人体が筋肉や脂肪などの軟部組織で構成されているため、通常CADではその表現が困難であるという問題<sup>3,4)</sup>があった。本システムでは、画面表示、CAMへのデータ出力などは3次元のデータ構造を利用し、複雑な処理が必要な局所変形操作については2次元データ構造上で変形処理を行い、それを3次元に拡張する手法をとった。

## 3. 義肢設計環境

下腿義肢の装着時や継続的な使用によって生じる痛みがどの部位に生じるかを予測し、患者に最適な義肢を設計するためにいくつかの手法<sup>5)</sup>が提案されているが、今回は義肢形状と患者の切断部位の形状を比較し、義肢ソケット内での人体の挙動測定を試みた。

### 3-1 義肢形状と切断部位の比較

義肢ソケットの装着によって、人体内部がどのように変形されるのかを調べることは、器質的なものに起因すること、たとえば神経系の圧迫が要因となっている疼痛、不快感を特定することや、ソケット内で体重を支える荷重ポイント位置を決定するための指標とし、最適な義肢形状の設計方法開発への利用が期待できる。ここでは、まず、ソケットを装着して人体内部の組織が計測可能かどうかを確認し、装着時および非装着時のソケット内での人体形状の観察を行った。

#### 3-1-1 測定方法

被験者に義肢ソケットを装着した状態と脱着した状態の2つの状態をCTスキャナーで撮像し、ソケット及び人体状態を観察した。撮影は、GE社製のCTスキャナーを利用したスパイラルスキャンを行い、スライス間隔を3mm、画素



図5 脚部CTスキャナー撮影図

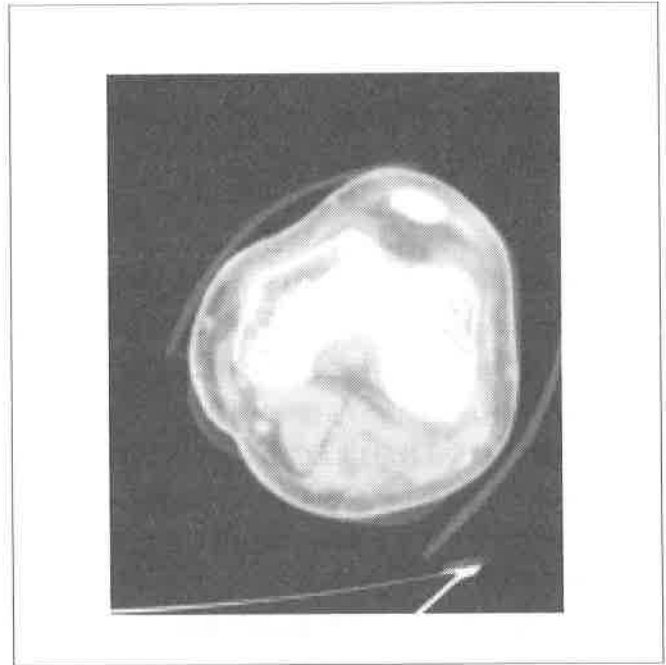


図6 比較画像

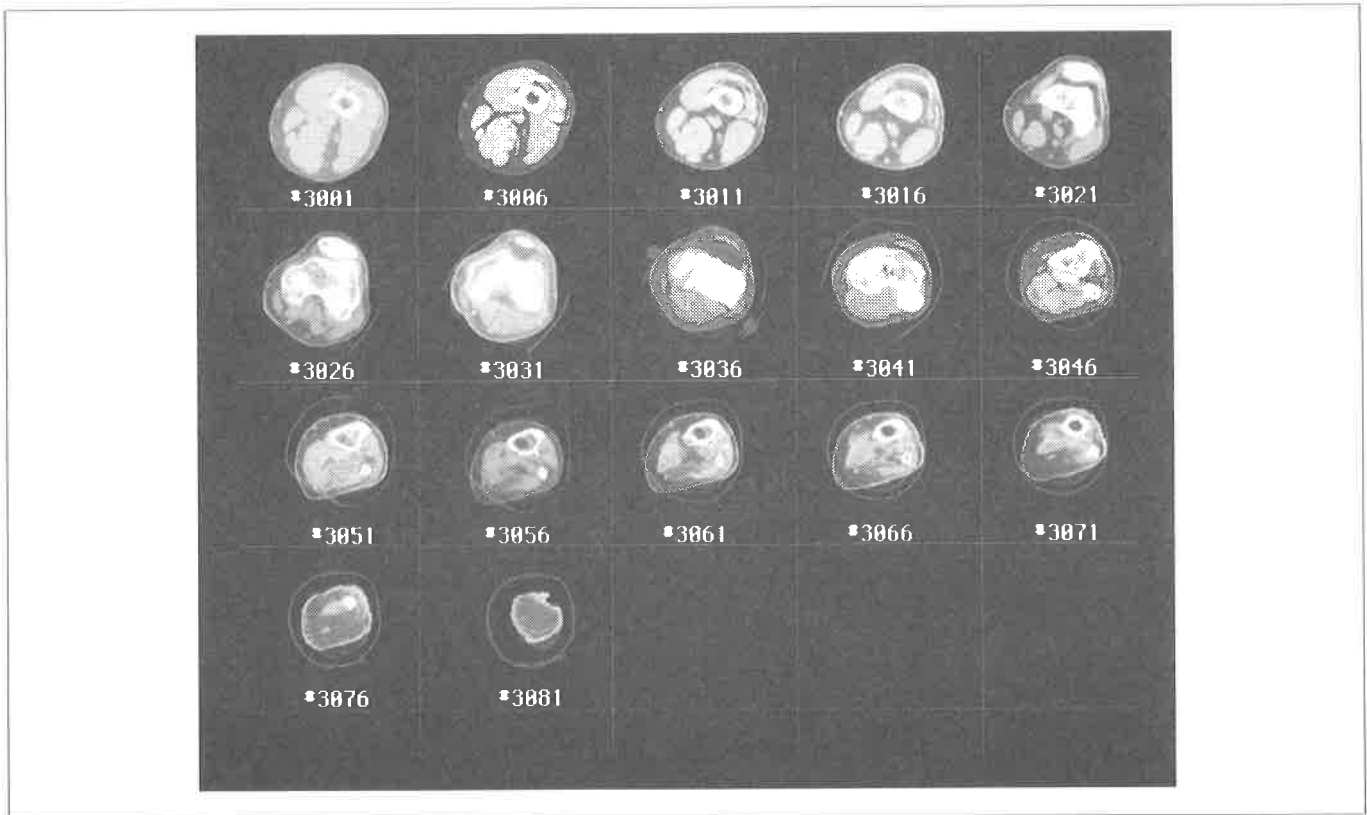


図7 15mmごとの比較画像

解像度を $512 * 512 * 12\text{Bit}$ , 画素間隔を $0.6899\text{mm}$ の断層画像として再構築を行った。

### 3-1-2 測定結果

義肢ソケットを装着し、下半身をスキャナーによって撮像した状態を図5に示す。義肢ソケット（PVCやアクリル樹脂を材料としている）を装着していても、十分人体内部の

構造が把握できることがわかる。

次に、ソケット装着時と非装着時の断層画像の比較を図6に、15mm毎に画像を抽出し比較したものを図7に示す。一般的な荷重ポイントである頸骨下部では、ポイント周辺では脚中心部への7mm程度の変形に伴うふくら脛部分への5mmの逃げが確認された。ソケット着用による人体への変形影響は、測定開始点から24mmの位置から、断端部へ行く

に従って大きくなる。これは、仰向けでの撮影のため、切断に伴い脚部の筋組織が減少し重力の影響を受けて下部に垂れているためと、撮影用のテーブルによる変形の影響を受けたためと思われる。

#### 4. 結 言

下腿義足製作支援用CAD/CAMシステムの開発として、CADシステムのソフトウェア開発と義肢の設計環境の開発を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 断層画像から身体形状の再構築が可能となった
- (2) 次の機能を持つ義肢用3次元CADシステムを試作した
  - ・2次元画像から3次元モデルを構築する機能の組み込み
  - ・高速な画像表示を行うためOpenGLを使用したグラフィックス機能
  - ・最適な義肢を設計するための曲面操作機能
- (3) 従来、把握が困難だった義肢ソケット内の形状の変化や圧力分布を知ることが可能となった。

最後に本システムの研究において、CT撮影でご協力いただきました山梨医科大学附属病院放射線部の中村修先生、また義肢製作のモデルとなっていただきました板橋氏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 Activites Report, Northwestern University PRL-RERC, (1995)
- 5) 大柴他：義肢製作支援システムの開発－3次元弾性体の計測制御技術－，山梨県工業技術センター研究報告No11, (1997)