

## X線画像による股関節部の立体モデル作成

提供者：東京電機大学理工学部

齋藤之男

### 1. はじめに

股関節部の三次元モデルの生成に関しては、既にX線CT画像から画像の再構成としてコンピュータの発達と共に発展してきた。

一般のX線画像の特徴は、股関節画像の輪郭が連続的にしかも目標とする画面の全体像が示されていることである。X線CTによるスライス断面の場合、臨床的には3mmピッチ程度であり被爆量を考慮すると断面数に限界が有る。

本研究は、通常のX線フィルムから三次元物体のモデルを生成する手法を確立することである。本手法による研究成果として

はモデル化までの時間の短縮、X線被爆量の減少、更に、担当医による判断によっては1mm以下の凹凸形状の再現が可能となることである。

### 2. 研究の手法

図1は三次元的に生体形状測定を行う三次元測定機の外観図である<sup>1)2)</sup>。(図1)業界で用いられている三次元測定機との違いは、やわらかい物体の形状を自動的に測定できる点に有る。図中、生体測定のセンサにあたるプローブの部分のカッターに取り替えることによってプラスチックや木

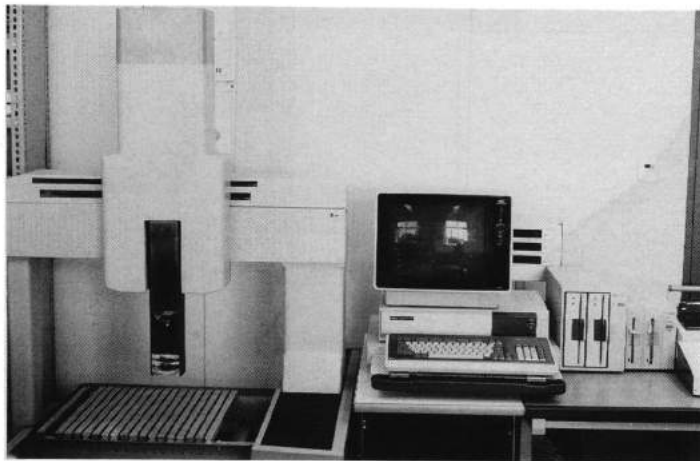


図1 三次元的に生体形状測定を行う三次元測定機の外観図

材を直接加工することができる。システムとしては、測定機本体とパーソナルコンピュータと専用のマイクロプロセッサによるコントローラ部によって測定データを逐次処理していく。

従って、股関節部の生体形状を精度良く、しかも高分解能で測定することができればその測定データはデータベースとして比較活用される。

基本的な三次元測定機の測定方法は、測定対象物をスライスしながら各断面について1点ずつ測定する。測定ピッチは、0.1mm以下に細かく設定することができる。断面と直角方向である長手方向に対してもデータの統一をとりながら処理していく。生体の場合には、上下分割、または、幾つかの部分分割後統合していく。統合作業だけはオペレータにより形状の一致、長さの一致、それに厚さの一致が確認されるが測定中はルールにしたがって自動測定される。その測定条件は、断面ピッチ間の寸法及び測定時間間隔、生体の輪郭形状にたいするプローブの経路指定によって行われる。



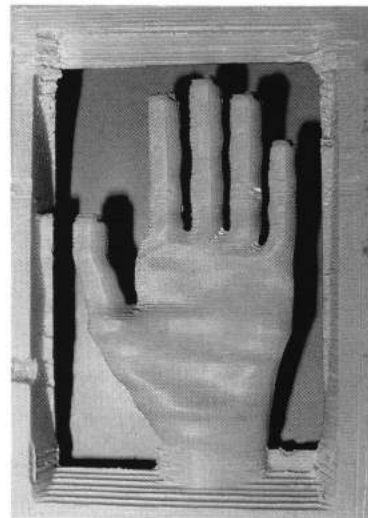
(b) 測定したデータをB-スプライン変換によって形状を自由曲面として生成

図2(a)は、手部の三次元形状計測例を示している。測定点数は約6,000点である。図2(b)は、測定したデータをB-スプライン変換によって形状を自由曲面として生成したものである。

図2(c)は、その後、同三次元測定機にカッターを取り付け、ロー材(ロストワック



(a) 手部の三次元形状計測例



(c) 健手である左手の形状を測定しコンピュータにより右手に反転し切断部の断端形状に合せてた加工状況

図2

クス)に加工する。図は粗加工の状況を示しており三次元モデルが生成されていく過程が分かる。

図2(c)の例では、健手である左手の形状を測定しコンピュータにより右手に反転し切断部の断面形状に合わせて加工する加工プログラムが実行されている。

図3は、最終の三次元モデルであるコスメティック・グローブを示したものである。装飾義手の場合には、単に形状の一致だけではなく指紋、筋にいたる細部を仕上げる必要があるが、本研究の場合には切断部の断面形状に合わせるプログラムが適用される。即ち、X線フィルムから三次元モデルへの拡張プログラムとしてである。

通常、測定したデータを滑らかな曲線で結ぶと図2(b)に示すような表現となる。

要するに裏側の陰曲線まで示しているがX線CT画像のようにソリッドモデルとは異なっている。本方式は、産業界における数値制御工作機械のデータ表示と同じ手法であり図2(b)の指の動きとして運動方程式を導入すれば図4のように任意の指の動作として表現できる。

局部的に表現する場合には、測定ピッチを必要な部分にたいして細かくするかデータ処理後に部分拡大、縮小、データの追加により特徴を表現する。

図5は、大腿骨を8,727点の測定によって表現したものである。中間部のデータは圧縮しており、座標系に基づく相対位置関係を重視するものである。

図6は、月面状凹部を局部的に表現したものであり、測定点数は約2,000点、60

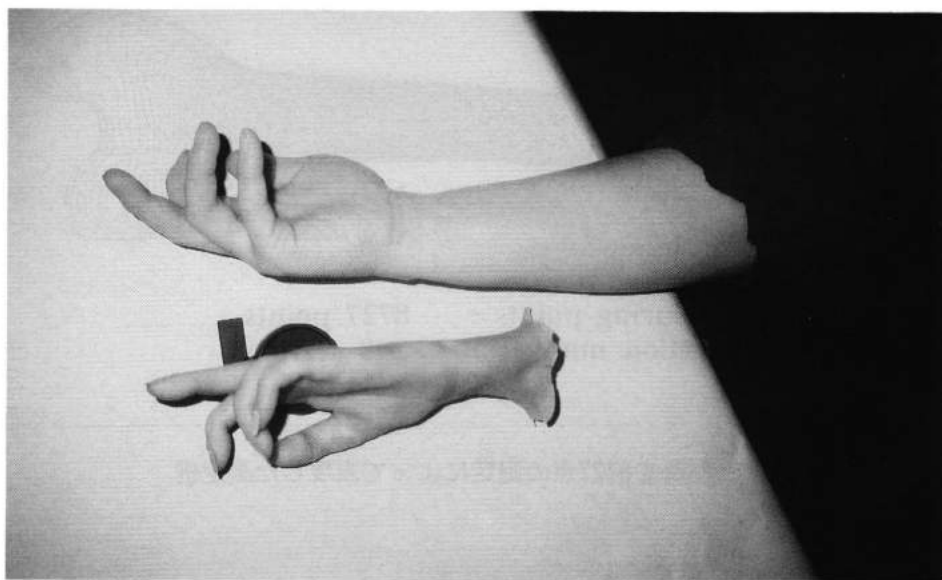


図3 三次元モデルとしてのコスメティック・グローブ

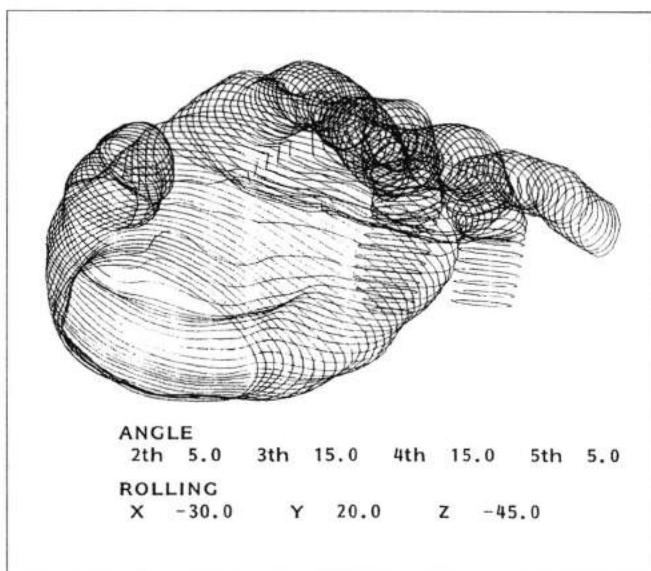


図4 指の動作として表現した三次元モデルの応用

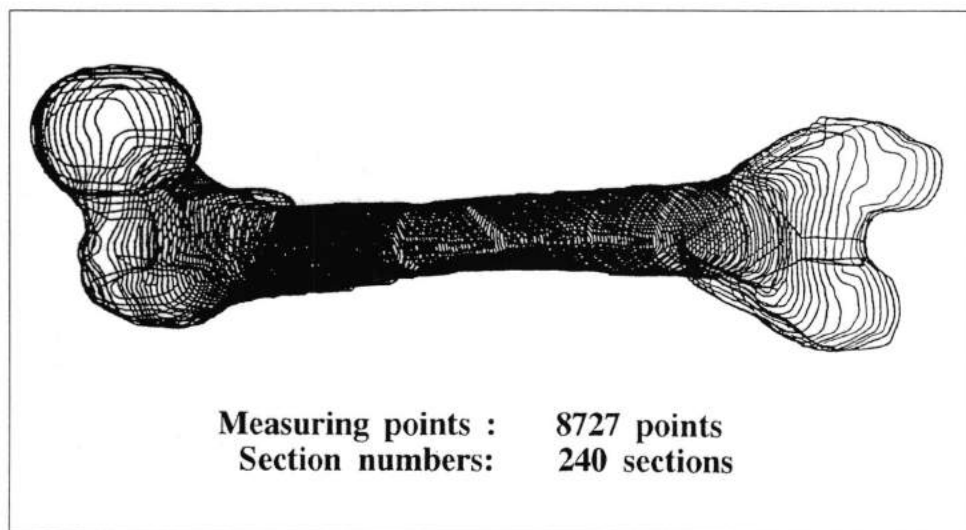


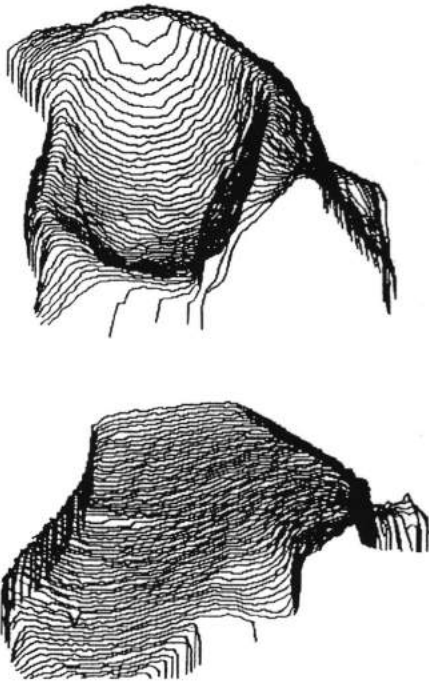
図5 大腿骨を8727点の測定によって表現した測定例

断面である。

生体のモデル化は、いかにそのデータを滑らかな曲線で表し、しかも均等に表現できるかが重要となる。図7は数学的な処理による滑らかな曲線表現の違いを現したも

のである。

図7の上部は穂坂理論<sup>9)</sup>による曲線群であり、下部はB-スプラインによる曲線群を比較したものである。滑らかさに違いのあることが分かる。



Measuring points : 2000 points  
Section numbers: 60 sections

図6 月面状凹部を局部的に表現

本研究の手法は、一方では、データベースとして予め骨の形状計測を行いサンプルデータとし、他方、X線フィルムからの画像データを抽出し両者を比較することでX線フィルムからの輪郭および密度差による輪郭を特徴点として捉え、データの拡大、縮小等の修正により三次元モデルを生成する。

X線撮影条件としては、正確な座標系を得るために撮影方向の角度を設定する。通常は簡単な目盛円盤から角度を割り出しているができれば電子式回転角度計を用いた

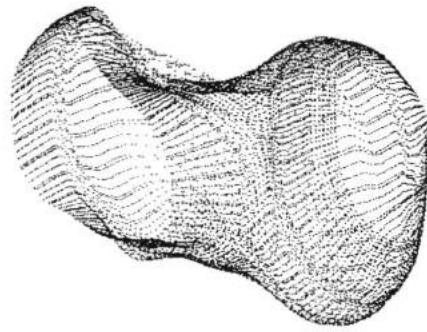
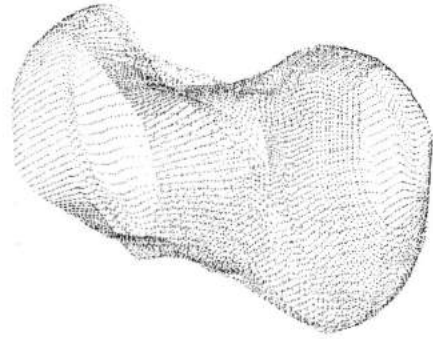


図7 上部は穂坂理論による曲線群、下部はB-スプラインによる曲線群を比較

いところである。更に測定の条件として、この測定座標系にたいし特別な保持具によりX線フィルムを固定する。

### 3. 測定結果

図8は、X線撮影状況を表したものであり、図9は、上肢からの視野を表している。被写体にたいし、上部からの角度の場合測定レンジに幅があることが分かる。このレンジを巧く利用すれば少なくとも4枚のX線写真を撮影可能であり三次元モデルとしての立体表現ができる。これは今回の第

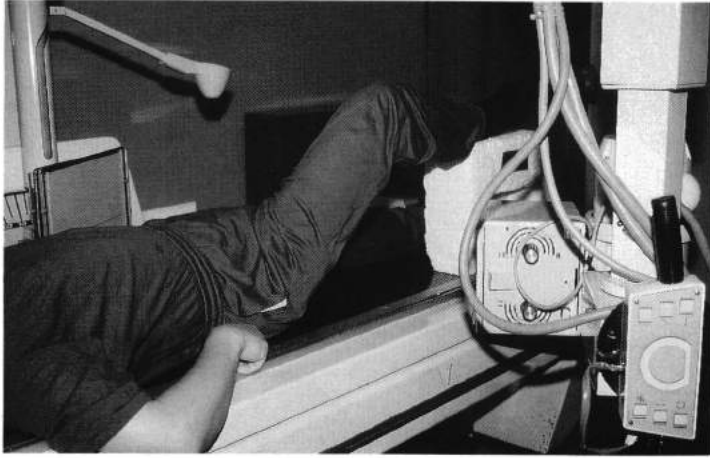


図8 X線撮影状況

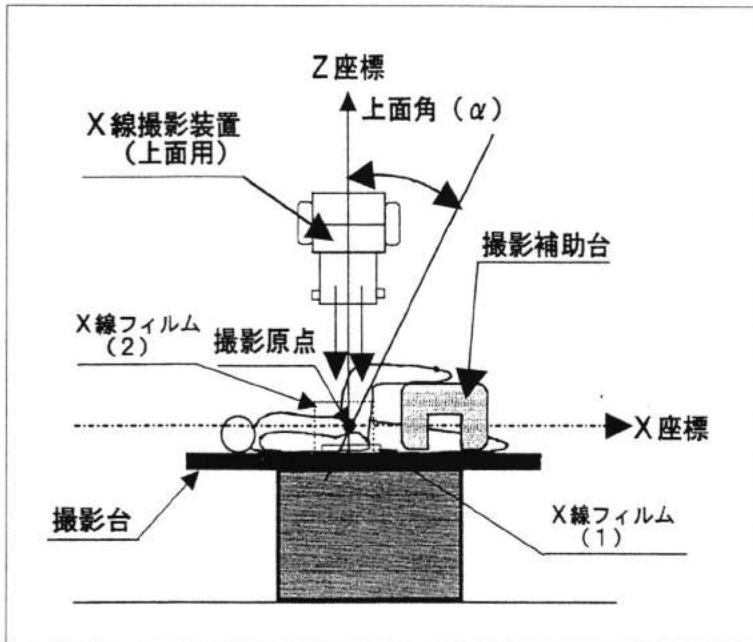


図9 上視からの視野を表したX線撮影条件

一の研究成果である。

このようにして得られたX線フィルムは少なくとも上面角方向から2枚、側面角方向から1枚得ることができる。

最少X線画像数は上面角、側面角の2画面でも可能である。しかし、患部の形状を見極める場合、どこが境界線であるか分りにくいことである。これに関しては、担当医の協力を得る。

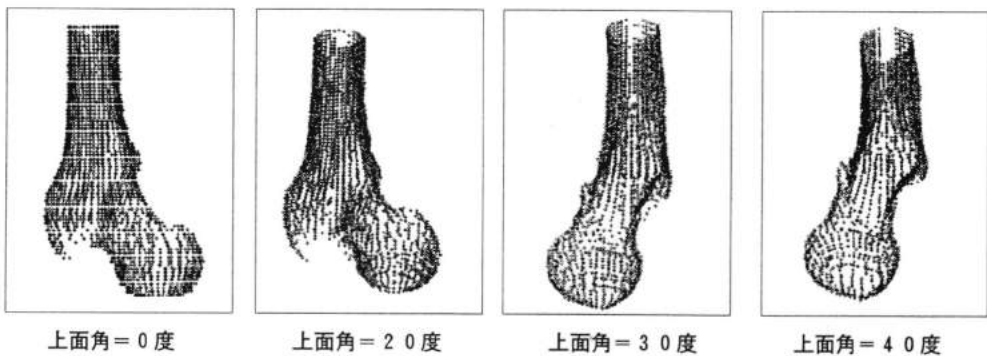
このエキスパートの知識を導入により鉛

筆なりに境界線を引いてもらい患部のデータ

をできるだけ再構成することが重要となる。

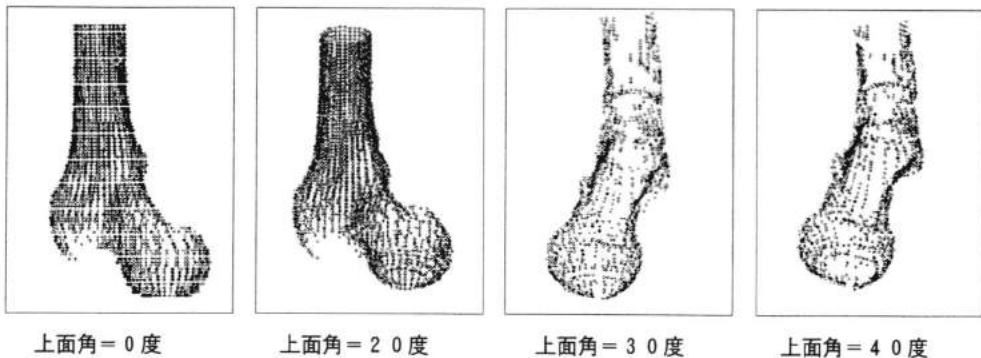
図10(a)は、最初に算出した1段目のデータ処理であり、上面角、側面角により撮影されたフィルムの輪郭からデータベースとして準備されている三次元測定機による基本モデルとの角度補正を行っている。これらの算出は、コントローラとして用いているPC-パソコンで処理しており、処

### ●検索点 (算出1)



(a) X線フィルムによる1段目のデータ処理画像

### ●検索点 (算出4)



(b) 4段目の画像データ処理結果

図10

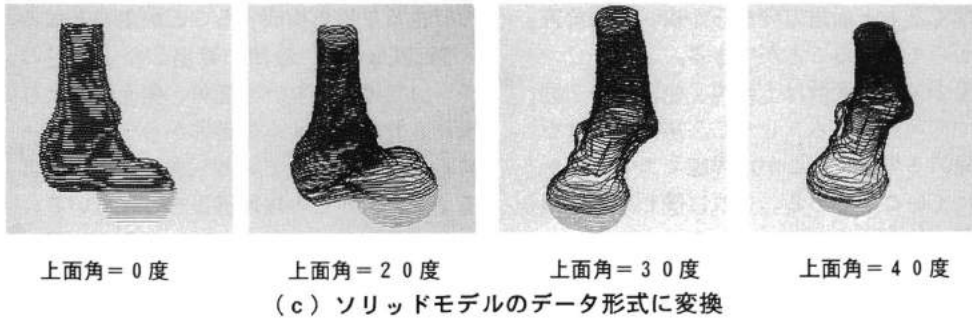


図10

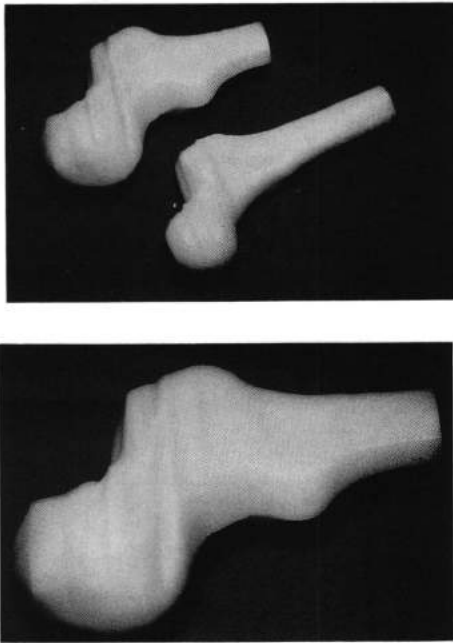


図11 上面角、側面角各1枚による  
三次元モデルの造形結果

理時間はデータ点数にもよるがパソコンレベルで処理可能である。

図10 (b) は、4 段階目の状況を表示したものである。

部分部分に補正が加えられ最終的に輪郭

線で表現したときに測定における座標系との違いを確認する。図10 (c) は、最終段階の三次元モデルの処理結果である。

当初、三次元モデル化としては、図2 (c) に示すような三次元測定機を用いた機械加工を行っていたが加工時間が2日間ほどかかり、ロストワックスよりプラスチック製の方が利用上有利なことから光硬化性樹脂を用いモデル化を進めた。

光硬化樹脂は紫外線領域で硬化する樹脂の特性を生かしたもので、機械加工と異なる点は袋とじのような形状、いわゆるアンダーカット形状にたいして対応できる点である。今回は、帝人製機製の光硬化樹脂製造機を用いた。

ここで、帝人製機製の装置を用いるために図10(c)のデータからソリッドモデルのデータ形式に変換する必要がある。そのために、滑らかな曲線部から三角パッチで表面をあてがう変換操作を行うこととなる。また、使用したアルゴンレーザーの照射速度は毎秒2.4メートルであるから積層により得る三次元モデルは積層の厚さによって造形時間は決定される。

図11は、上面角、側面角各1枚による三次元モデルの造形結果である。造形時間は16時間、積層の厚さは0.254mmである。



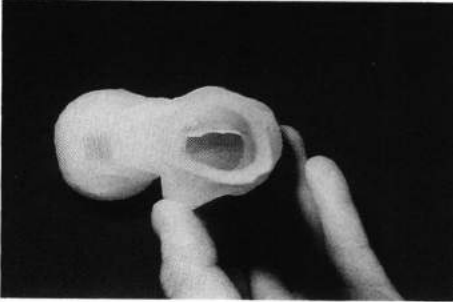
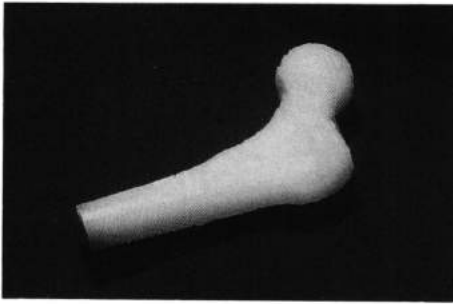


図12 上面角2枚、側面角1枚による三次元モデルの造形結果

最少のX線画像の条件、2枚からのモデル化であるから形状的な精度は低い。

図12は、上面角2枚、側面角1枚による三次元モデルの造形結果である。造形時間は9時間、積層の厚さは0.254mmである。ソフト上の補正を加えることで時間の短縮が図れた。

#### 4. まとめ

光硬化樹脂による三次元モデル化までの一連の処理システムを確立した。特に、本研究の特徴は次の点にある。

①X線CT画像を用いずに通常のX線撮影によるフィルム画像より三次元化が可能となった。

- ②X線フィルムから判断できる1mm以下の凹凸形状を三次元画像として追加修正が可能である。
- ③X線フィルムからのデータとして輪郭データ意外に密度分布による輪郭データを取り込むことができる。
- ④判断のつかない境界領域にたいしては担当医によるエキスパートの知識を導入することができる。
- ⑤被爆量の少ない、時間的に短い測定条件とデータ処理システムが確立できた。

謝辞：本研究を進めるにあたり、埼玉医科大学整形外科教室の東博彦教授ならびに整形外科教室の方々のご指導とご援助により進められたことをここに厚く感謝申し上げます。

#### 参考文献

- 1) 大島徹・斎藤之男；足形状にたいする自動計測と形状処理、バイオメカニズム学会、バイオメカニズム8、89-97、1986。
- 2) Y.Saito, et al; Application of the Three Dimensional Coordinate Measureing Machine (CAD/CAM for the New Cosmetic Hand), Journal of Robotics and Mecha-tronics, Vol. 1, 192-201, 1989.
- 3) M.Hosaka; Modeling of Curves and Surfaces in CAD/CAM, Springer-Verlag, 1992.