

## 顎変形症手術後シミュレーションのための柔らかな3次元モデルの生成

岩崎洋平 金子豊久

豊橋技術科学大学工学研究科情報工学系

顎変形症手術は本人の認識を誤るほどに顔を大きく変貌させるため術前に術後の形状を知っておくことは医師および患者にとって重要である。本研究では患者の手術前のCT画像および顔写真と、手術の定量的な3次元入力を基に、主に3次元コンピュータグラフィックスおよび仮想現実感技術を駆使して、術後の顔形状を推定するシステムを構築する。本報告では手術前の患者の3次元モデルおよびテクスチャマッピングについて述べる。特に、用いるCTは眼および眼より上が含まれていないこと、金属アーチファクトの影響を受けていること、頭髪の形状の3次元推定などの困難な技術的課題を解決する方法を述べる。

### Facial Modeling for Maxillo-Facial Surgery

Yohei Iwasaki and Toyohisa Kaneko

Toyohashi University of Technology

Maxillo-facial surgery may alter facial appearance considerably so that it is important to show the post-surgery appearance in advance to the surgeon and patient. We describe a modeling system based upon partially obtained CT image and three photographs (front, right, and left). Several difficult problems including how to reconstruct complete CT from partial CT, how to eliminate metal artifacts on CT, and how to reconstruct hair style from three photographs are addressed.

#### 1 はじめに

顎変形症とは先天的なまたは成長上の要因で顎に何らかの変形が起こる症例のことである。この症例は歯科・口腔外科あるいは形成外科の分野で取り扱われ、顎の一部を切除する、または移動させるなどの矯正手術を行い、上下の歯のかみ合わせを良くするとともに、なるべく正常な外見に戻すことが行われている。

顎変形症手術は本人の認識を誤るほどに顔を大きく変貌させる。医師および患者にとって、手術後の形状を手術前に知っておくことは極めて重要である。そこで、本研究では、顎変形症の術後顔形状推定システムの構築を行う。具体的には、患者の手術前のCT画像および顔写真と、手術の定量的な3次元入力を基に、主に3次元コンピュータグラフィックスおよび仮想現実感技術を駆使して、術後の顔形状を推定するシステムを構築する。このシステムの目的を以下に挙げる。

1. 術後3次元形状をシミュレーションし、患者へのインフォームドコンセントに用いる。躊躇しがちな患者や家族へ手術の恩恵を画像・映像により伝える。
2. 術後の3次元形状シミュレーションにより、より最適な手術法を決定する。
3. 術前後の顔貌をコンピュータでデータ化して比較し、手術により顔のどの部分がどの程度変化するか、数値データとして評価し予測に役立てる。

#### 1.1 過去の研究事例

顎部手術に対するシミュレーションの過去の研究事例としてはKeeveら[1][2]による報告例がある。この研究では解剖学的な階層構造を持つモデルを作成し、顎変形症手術の手順に従って、骨の切断、移動を行い、その際に起こる軟部組織の変位を有限要素法で求めるものである。患者の完全な頭部CTの

みを基に顔前面に対しての再現しかされておらず患者への術後推定形状を提示する際にこのままでは不十分であると思われる。また、各ノードが等間隔に配置されていないため、このままではバネマスモデルには適応しづらいものとなっている。また、慶應義塾大学の今野ら [3] のよる報告は、技術的にはほぼ Keeve らの方法を採用しているが、顔のテクスチャを得るために Cyberware などの 3 次元デジタイザにより得られた画像を用いるシステムで、簡便なものではない。

## 2 本研究のアプローチ

### 2.1 問題の設定

1. 使用するデータは CT 画像と患者の（正面と左右から撮影された）顔写真（図 1、2）。
2. CT 画像は顔下部（眼部より下）しか提供されない（図 2）。
3. 金属製の歯の詰物や矯正用の金属ブレースレットの影響により CT の歯の部分に金属アーチファクトがあるために除去する必要がある（図 3）。
4. 頭髪は外見上大きな影響があるために写真から形状およびテクスチャを再現する必要がある。



図 1: 顔写真



図 2: CT 画像

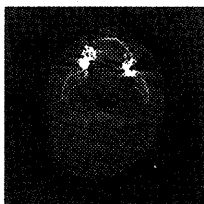


図 3: 金属アーチファクト

本研究では以下のプロセスを行い、提示用モデルの作成を行った。

1. 金属アーチファクトの除去
2. 頭部モデルの補完
3. 頭髪モデルの作成
4. テクスチャマッピング

仮想手術と術後の顔顎部の治療のモデリングは現在進行中であるが、本論文では取り扱わない。

### 2.2 金属アーチファクトの除去

金属アーチファクトは図 3 のように CT 画像上に現れる放射状のノイズである。これは顎変形症患者が歯に嵌めている矯正器具や金属製の歯への詰物の影響が CT 画像上に現れたものである。この金属アーチファクトにより皮膚表面の形状や歯の形状の情報が失われてしまうためこれを除去する必要がある。

本研究ではしきい値法を用いて、CT 画像を骨部、歯部、軟部組織の 3 つに判別し、それぞれに輪郭線の補完を行った後、その 3 つの CT 画像を合成することにより、金属アーチファクトの除去を行う（図 4）。

この時点での CT 画像は、ボリュームデータであるため、Marching Cubes 法（MC 法）を用いてポリゴンモデルに変換する（図 5）。

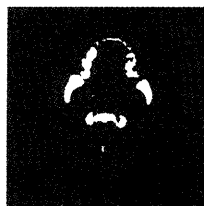


図 4: 処理後の CT 画像

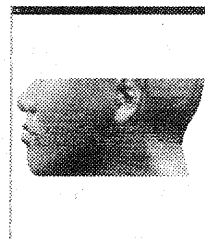


図 5: 頭部下部モデル

## 2.3 頭部モデルの補完

図2に示したCT画像には眼部より上の部分が存在しない。これは患者の眼球へのX線の影響を考え、手術に不必要な部分の撮影を行わないためである。そのため、作成されたポリゴンモデル（頭部下モデル）には眼部より上の部分が存在しない（図5）。より説得力のある形で患者に術後形状を提示するために、この不足部分を補完する必要がある。そこで完全に頭部の形状を持っているモデル（図6）から不足部分を抽出し、患者モデルにフィットするように変形させ合成する方法により上部モデルの補完を行った。

ここで、CT画像として合成する方法とCT画像よりポリゴンモデルを作成しておいてから合成する方法の2つの手法が考えられるが、本研究ではポリゴンモデルでの合成を行った。これは他のポリゴンモデル（一般的なモデラーで作成されたものなど）との合成も考慮したためである。また使用した完全ポリゴンモデルは当研究室で今まで用いられてきた頭部全体の情報を持つCT画像よりMC法で作成したモデルを使用した。

以下にその手順を示す。

1. 全体モデルより不足部分（頭部上部モデル）を抽出する。
2. 上部モデルと下部モデルの中心を合わせる。
3. 中心より放射状に直線を引き、この直線と上部、下部モデル断面の交点の座標から変形率を決定し、上部モデル断面を変形する。

またこの変形率を角度毎に保存しておき、頭部上部モデル全体のノードに適用し変形することにより滑らかに接続される頭部上部モデルを得る。また同時に患者の側面から撮られた顔写真から顔輪郭を抽出し、これと頭部上部モデルの輪郭が一致するように変形処理を行い、2つのモデルを合成する（図7）。

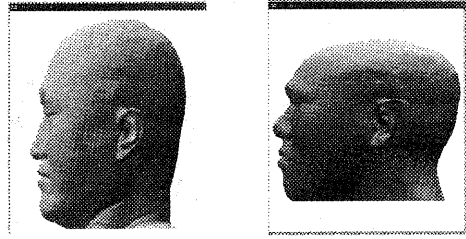


図6: 頭部完全モデル

図7: 合成後のモデル

## 2.4 頭髪モデルの作成

以上のように作成したモデルには頭髪が無い。そこでよりリアルな術後推定形状を提示するために患者の顔写真よりおおまかな頭髪モデルを作成する。頭髪モデルの作成には患者顔正面写真と左右面写真の3枚の画像（図1）を用いる。通常、2ないし3枚の画像を用いる方法では髪の毛の一番盛り上がっている場所（稜線）、前髪の分け目などの情報を得ることができない。しかし、今回作成する頭髪モデルはおおまかな形状が再現できれば良い（細かい部分はテクスチャマッピングにまかせる）ので次の仮定を与えることにより頭髪モデルの形状を決定する。

1. 前面写真、側面写真の輪郭線を頭髪の稜線とする。
2. 前面（側面）の稜線は、側面の（前面）の稜線の間地点にあるとする。
3. 前面から見た場合、髪の毛の分け目に応じて稜線が2本になる部分が存在する。
4. 右側と左側は独立にモデル化する。

以上の仮定のもとに、写真から得た輪郭線を稜線として設定する（図8）。この稜線上の点を各頂点として持つ楕円を組み合わせた断面を作成し、その断面を接続することで頭髪モデルを作成する。

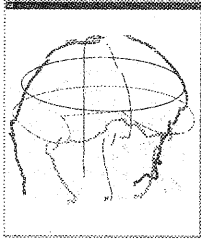


図 8: 頭髪稜線図

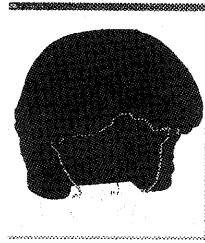


図 9: 頭髪モデル



図 10: 提示用モデル



図 11: テクスチャマッピング

## 2.5 作成した提示用モデル

作成した頭髪モデル(図9)とCT画像より作成した頭部モデル(図7)を合成する。この際には、写真のプロファイルから情報を得、それに添った形となるようにこの両者のモデルの位置合わせを行う(図10)。

こうして作成されたモデルにテクスチャマッピングを行う(図11)。

## 3 まとめ

十分に患者に対する術後形状推定の提示が行えるモデルが作成できた。

今後の課題としてはまず提示用モデル作成時(CTの前処理を含む)の手作業の割合を減らし、ある程度の自由度を持った自動作成システムの構築が挙げられる。

今後は仮想手術が行えるシミュレーション用モデル

の作成を行う。このモデルにはバネマスモデルを採用し、頭部の柔らかさを表現可能なモデルを構築する予定である[4][5]。

また、CTの前処理、提示用モデル作成、シミュレーション用モデル作成、仮想手術、術後形状シミュレーション、患者への提示などの機能を持つ統合的なシステムの構築を行いたいと考えている。

## 4 謝辞

本報告に使用したCT画像、写真、医学上のガイダンスを提供していただいた東京医科歯科大学歯学部顎顔面外科天笠光雄教授・小林淳二助手に感謝いたします。

## 参考文献

- [1] Keeve, E., Girod, S., Pfeifle, P. and Girod, B.: Anatomy-Based Facial Tissue Modeling Using the Finite Element Method, IEEE Visualization '96 Proceedings, pp.21-28(1996).
- [2] Keeve, E., Girod, S., and Girod, B. : Craniofacial Surgery Simulation, 3D Image Analysis and Synthesis '96 Proceedings, pp.219-224(1996).
- [3] 今野立也: 形成外科手術シミュレーションのための頭部の統合的モデリング, <http://www.coe.keio.ac.jp/report/html96/KOBA/KONNNO/six.html>
- [4] 高橋英嗣, 金子豊久, 広田光一ほか. 顔部がんの手術と再建形状推定. MEDICAL IMAGING TECHNOLOGY, Vol.17, No.2, pp.137-146, 1999
- [5] 溝淵友樹, 広田光一, 金子豊久. CT画像に基づいた顔部変形モデルの生成と実測に基づく力覚の再現. 豊橋技術科学大学工学研究科情報工学系修士学位論文