

CT 画像からの頭部 3 次元形状モデリング

藤村誠, 鈴木弘之, 今村弘樹, 黒田英夫

3D Modeling Technique of Human Head Constructed from CT Images

by

Makoto FUJIMURA, Hiroyuki SUZUKI,

Hiroki IMAMURA, Hideo KURODA

Three dimensional computer graphics has advantages for visualization of large data. Also computer tomography(CT) is important medical instruments, and makes many X-ray images. In this paper, we made the three dimensional computer graphics of human head from CT X-ray images. At first, outlines of slices of human head are derived from CT X-ray images used Snakes algorithm. Next, vertex lists are made from outlines and polygon mesh are defined with edge lists of human head. Experiment results show the extracting outline from CT X-ray images and the constructing three dimensional computer graphics of surface model of human head.

1. まえがき

近年, 計算機の性能の向上により, 従来は高性能ワークステーションなどでしか利用できなかった3次元コンピュータグラフィックス(以下, 3次元CGと称する)をパーソナルコンピュータでも利用することが可能となった。

一方, 歯科矯正や口腔外科において頭部や顎の3次元CGを用いた診断や治療の支援についての研究が行われている(1)-(3)。これらは, 医師や患者に分かり易い形で治療の効果を予測し, 顔貌の変化などを3次元CGによって視覚化することによって, 診断支援を行うものである。

顔貌の3次元CG化のためには, 頭部の形状を何らかの方法で測定する必要がある。これにはステレオ画像やレーザー光を利用した非接触型3次元計測装置などが用いられることがあるが, 非接触型3次元測定装置は精度や顔面にレーザー光を照射する必要があるなどのいくつかの問題点がある。

一方, Computer Tomography(以下, CTと称する)は多数の頭部断面レントゲン画像から成り, 診断と治療に必要な頭部の内部構造情報が得られ, 精度の高い3次元形状情報が得られる。しかし, CTからの3次元CG化には, 内部構造も表現できるボクセルモデルが使用されることが多いため, データ量が多いため高性能の計算機が必要とされる。

顔貌のみを表示するためには, 内部構造を含むボクセルモデルを必ずしも用いる必要はなく, データ量が少ないサーフェイスモデルによる表示でも十分である。また, サーフェイスモデルであれば, パーソナルコンピュータでも性能的には十分であり, CTの頭部レントゲン写真から3次元CGを生成することも可能である。

本論文では, CTの頭部断面レントゲン画像からパーソナルコンピュータ上でのサーフェイスモデルによる3次元CG生成について検討する。

まず, 多数の頭部断面レントゲン画像から頭部領域の輪郭線を抽出する必要がある。この処理にはSnakes(4)を用いる。Snakesは初期輪郭線を与えられれば反復計算によって比較的安定した処理結果を得ることができ, 輪郭線が得られる。

次に, 得られた輪郭線から3次元CGの3角パッチのための頂点を生成する。最後に, 生成した頂点を3角パッチとして再配置し, サーフェイスモデルを完成させる。頂点の再配置を行う理由は, 単に輪郭線から3次元CGのためのサンプルをとると不規則な配置となり, 表示した際に形状に歪みが生じるためである。

以下, 2. では輪郭線抽出について, 3. では3次元CG表示のための頂点生成について説明する。4. では評価実験の結果について説明する。

平成17年12月14日受理

<http://www.lb.nagasaki-u.ac.jp/reports/kougaku/default.html>

*情報システム工学科(Dept. of Computer and Information Sciences)

**鈴木矯正歯科(SUZUKI ORTHODONTIC OFFICE)

***大学院生産科学研究科(Graduate School of Science and Technology)

2. 輪郭線抽出

CT は多数の頭部断面レントゲン画像から成り、それぞれの画像から輪郭線を抽出する必要がある。図 1 に頭部断面レントゲン画像から頭部輪郭線を抽出する処理の流れを示す。まず、すべてのレントゲン画像に対して雑音除去を行い、次いでSnakesを用いて順次レントゲン画像から輪郭線を抽出する。

Snakes はエネルギー最小化アプローチによる輪郭線抽出モデルであり、抽出処理の際に初期輪郭線を与える必要がある。そのため、レントゲン画像ごとに初期輪郭線を設定する必要があるが、すべてを手動で設定すれば大変な労力を必要とする。そこで、頭部断面レントゲン画像は隣接した画像間の形状が似ているという点に着目し、得られた輪郭線を基にして次画像の初期輪郭線を得ることによる自動化を検討する。なお、1 枚目の頭部断面レントゲン画像の初期輪郭線についてはマウスによる手入力で設定することとする。

2 枚目以降の頭部断面レントゲン画像に対する初期輪郭線の設定方法について説明する。まず、図 2 のように、 n 枚目のレントゲン画像を上下左右から探索し、頭部領域を含む長方形の最小領域を求める。この領域の左上点を $p_1 = (x_1, y_1)$ 、右下点を $p_2 = (x_2, y_2)$ とし、この長方形の対角線が交わる点をこの領域の中心点 A とする。中心点から長方形の各辺への距離の最大値を b_n とする。

$n-1$ 枚目である前画像の頭部領域中心から輪郭線までの最大距離を b_{n-1} とすると、差分値が $k = b_n - b_{n-1} < 0$ である場合は、現画像の方の距離が短いので前画像で抽出した輪郭線をそのまま初期輪郭線として使用できる。

一方、差分値 $k = b_n - b_{n-1} > 0$ のように現画像の方の最大距離が長い場合は、図 3 に示すように初期輪郭線を求める。前画像における頭部領域中心点から輪郭線上の点を通る直線を引く。この直線方向に中心点 A から輪郭線上の距離 r に、差分値 k および増加分 α を加えた位置を次画像の初期輪郭線の位置とする。

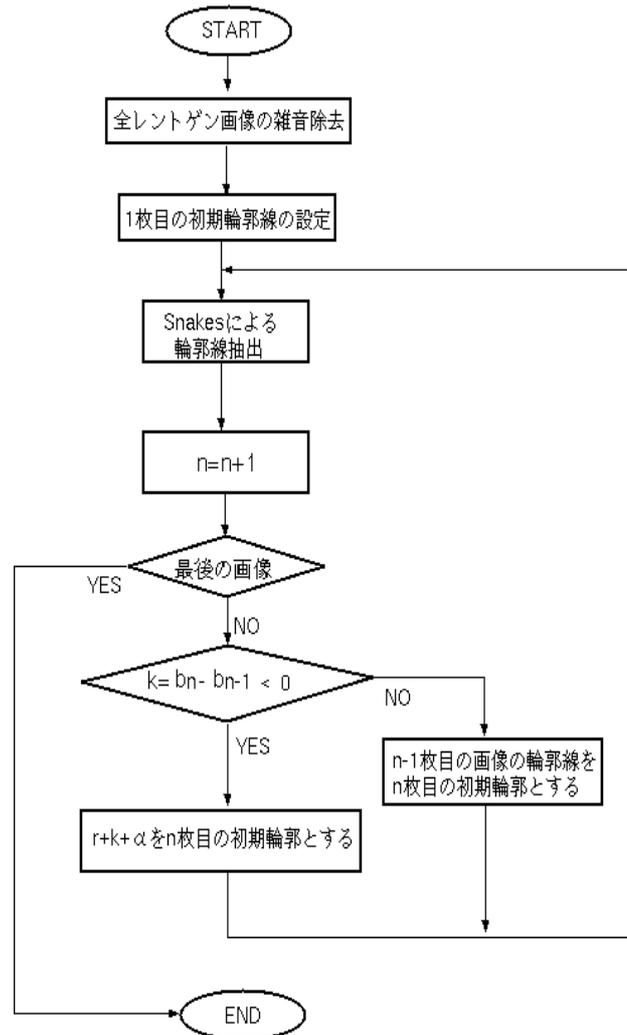


図 1 頭部レントゲン画像からの輪郭線抽出処理

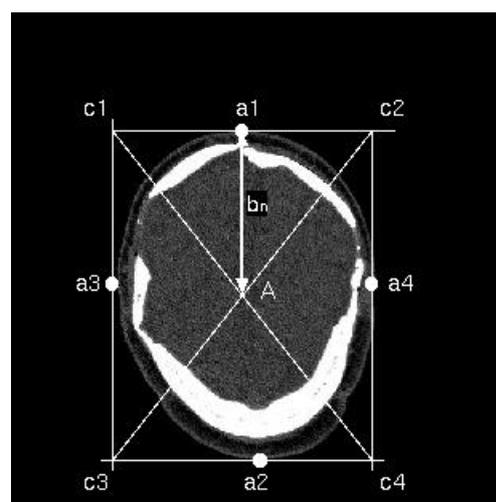


図 2 頭部断面領域の範囲

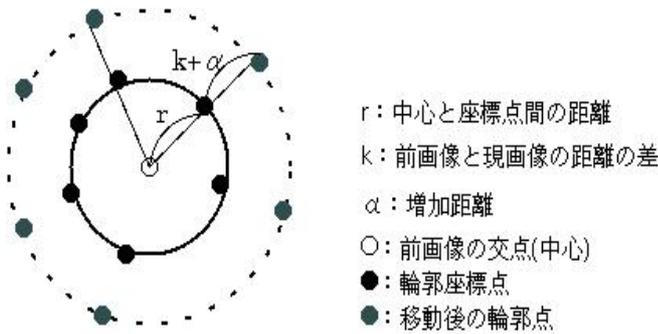


図 3 初期輪郭線の生成

3. 頂点データの生成

3次元CGを生成するためには、頭部断面レントゲン写真から得られた輪郭線の2次元座標から3次元座標を生成する必要がある。このため、まず輪郭線上の点の2次元座標から3次元座標を生成し、これを頂点とする。次に、これらの頂点を再配置して3角パッチとし、サーフェイモデルを構成する。

3.1 頂点座標の3次元化

図4に示すように、頭部断面レントゲン画像から抽出した頭部領域はz軸方向に間隔bでn枚重ねることによって3次元座標を生成することができる。頂点データを生成する手順は次の通りである。

まず、各レントゲン画像から抽出した頭部領域の輪郭線上の点を頂点としてサンプリングする。図5に示すように、頭部領域の中心点から一定角度きざみで直線を引き、輪郭線と交わった点を頂点とする。ここでは、予備実験より2度きざみで頂点を求めることとする。このようにすることで、それぞれの頭部領域で頂点の位置を合わせることができ、以後の3次元CG化のための処理が行いやすくなる。この処理で得られる頂点は、それぞれの画像平面上の2次元座標で表される。

次に、次式で得られるz座標を、各頭部領域で求めた輪郭線上の2次元座標にz成分として加えて3次元座標を生成する。

$$z = n \cdot b + c$$

ここで、cは1枚目の頭部領域のz座標値であり、n、bはそれぞれ頭部領域間の距離、頭部領域の番号である。

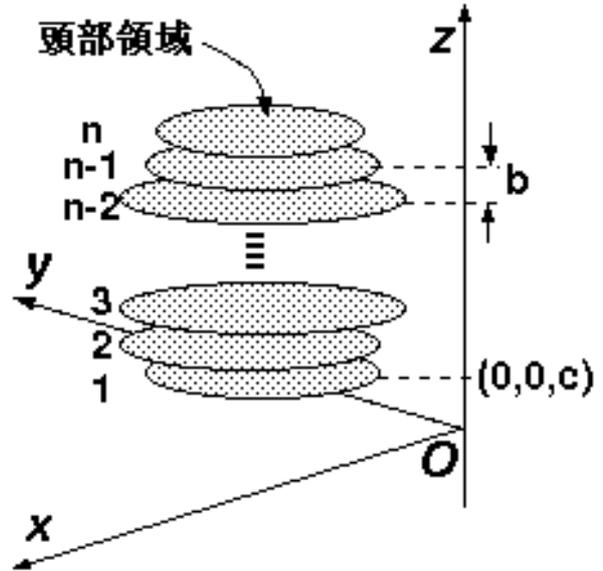


図 4 3次元座標の生成

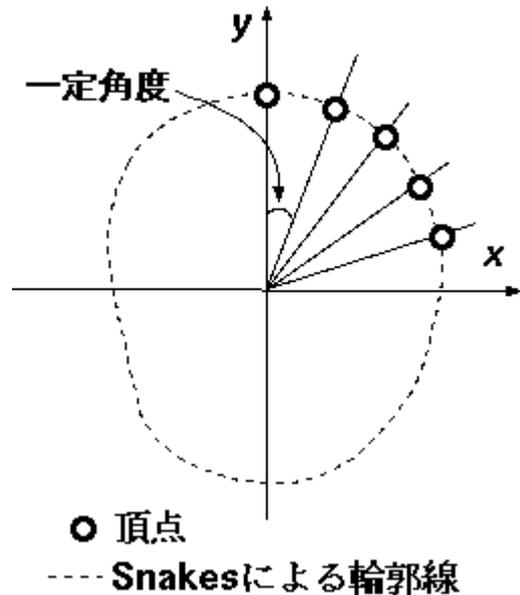


図 5 3次元座標の生成

3.2 頂点データの再構成

図6に3次元座標で得られた頂点を3角パッチとして構成する様子を示す。

隣接する頭部領域において、一方の頭部領域輪郭線の頂点2個、他方の頭部領域輪郭線の頂点1個をそれぞれ選択し、3角パッチを構成して面にする。このとき、全レントゲン画像で得られる頂点数が同じであれば、3角パッチの頂点指定が容易になる。また、光源や周囲の光(環境光)、視点からの見え具合、物体表面の色

や反射率などを考慮して物体の表面の色や輝度, 陰影, 光沢などを決めるシェーディングにおいて, 3 角パッチの面を揃えておく必要がある. このため, 図 6 に示すように上から下に作った 3 角パッチと下から上に作った 3 角パッチで頂点の順番が反時計回りになるように統一する必要がある.

これは, 3 角パッチは面を構成する 3 個の頂点の指定順序によって裏表が決定されるためである. 図 7 (a) に示すように, すべての 3 角パッチにおいて 3 個の頂点の指定順序が反時計回りとした場合は 3 角パッチの表裏が揃うためシェーディング処理が良好に行えるが, (b) のように頂点の指定順序が異なると 3 角パッチの向きがそろわないためシェーディング処理が行えない.

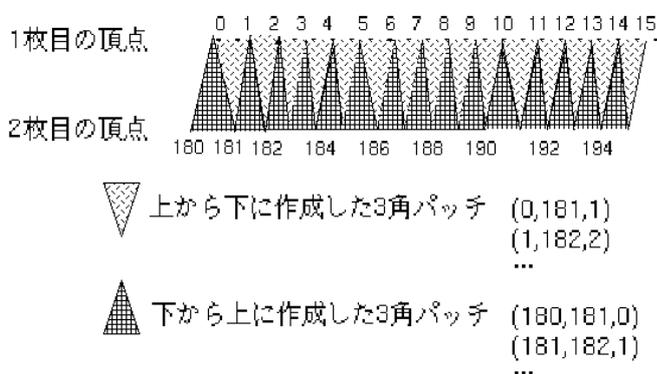
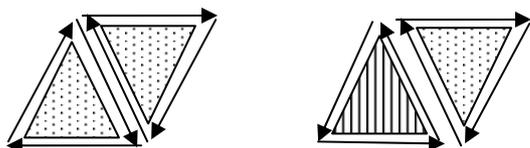


図 6 生成した 3 角パッチ



(a) 面の向きが同じ (b) 面の向きが異なる

図 7 3 角パッチの頂点順序

CT による頭部断面レントゲン画像では, 頭部に対する断面の位置により頭部領域の周囲長が異なるため, 求めた頂点数がそれぞれの頭部領域で異なる場合がある. 隣接する頭部断面レントゲン画像間で頂点数が異なる場合には, 3 角パッチの隙間ができるなど配置ずれが生じるという問題がある. 図 8 は, 頂点数が異なる場合に単純に頂点を選択して 3 角パッチを構成しようとして 3 角パッチが重なってしまった例を示している.

そこで, 頭部領域間で頂点数が異なる場合は, 図 9 に示すように, 同一頂点を複数回選択することで 3 角

パッチの配置を補正する. 3 角パッチが重複する場合もあるが, すべての頭部領域で頂点数が等しいものとして頂点を処理できるので, 簡単に面の法線方向を揃えることができ滑らかな面を作成することができる.

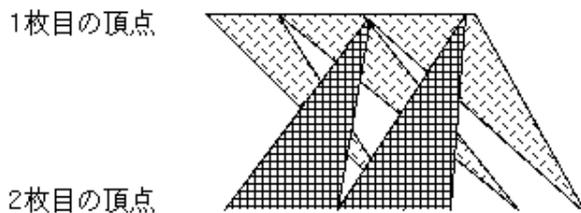


図 8 3 角パッチの配置の歪

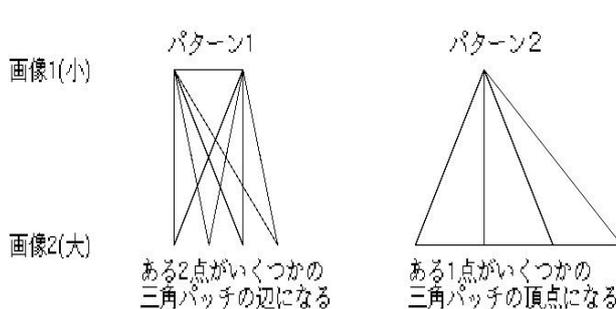


図 9 例外的な 3 角形

4. 実験

評価のため, CT の頭部断面レントゲン画像を用いてサーフェスマodelによる3次元CGを作成した. なお, 今回は顔貌の 3 次元表示における形状について検証するため, テクスチャパッチなどの処理は行わずに形状表示のみを行った. 実験環境は下表の通りである.

また, CT による頭部断面レントゲン画像は 240 枚であり, それぞれの画像は 256 階調, 512×512 画素の濃淡画像である.

表 1 実験環境

ハードウェア	
CPU	インテル Celeron 1GHz
主記憶	256MB
グラフィックカード	Millennium G400(メモリ 32MB)
ソフトウェア	
OS	Vine Linux(バージョン 2.6)
開発言語	GNU C
グラフィック API	Mesa(OpenGL 準拠)

4.1 輪郭線抽出

Snakes における初期輪郭線の設定方法として 2. で説明したパラメータである拡大距離 α の値について検証するため、頭部断面レントゲン画像からの輪郭線の抽出を行った。1 枚目の頭部断面レントゲン画像に対してはマウスで初期輪郭線を設定し、それ以降のレントゲン画像に対しては自動的に輪郭線抽出処理を行った。

実験結果の一部を図 10 に示す。(a)は原画像、(b)は拡大距離を $\alpha = 10$ とした場合の輪郭線抽出結果であり、画像上の白点が抽出した輪郭線上の点を表している。

(c)は拡大距離を $\alpha = 80$ とした場合の輪郭線抽出結果である。なお、(b)および(c)は輪郭線上の白点が見え易いように明るさおよびコントラストを調整してある。

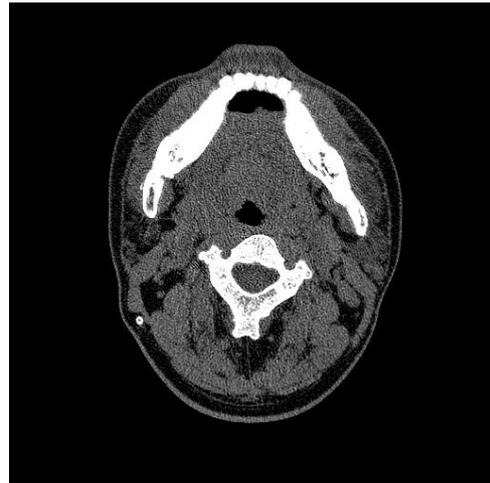
(b) $\alpha = 10$ の場合は、白点が小さいため若干見にくいのが、頭部領域の境界と Snakes による輪郭線抽出結果とがほぼ一致しており良好な結果を得ている。一方、(c) $\alpha = 80$ の場合は、側頭部など輪郭線抽出結果が頭部領域から外れている部分がある。

これらの結果より、初期輪郭線によって抽出結果に影響が出ることが分かる。また、拡大距離を $\alpha = 10$ とした場合は、CTの頭部断面レントゲン画像240枚中170枚が抽出に完全に成功しており、それ以外については耳の部分など輪郭線の変化が大きい領域については一部精度が低下している。

4.2 頂点の再配置

次に、実際に輪郭線抽出処理および 2 次元座標の 3 次元座標化処理から得た頂点を用いて 3 次元 CG を作成した。拡大距離 $\alpha = 10$ とし得られた頂点を用い、3 次元パッチの頂点の再配置がある場合および無い場合のサーフェイスモデルを作成し比較した。なお、実験に用いたパーソナルコンピュータの性能を考慮して、頭部断面レントゲン画像 240 枚すべての頂点データを使用するのではなく、80 枚分の頂点データを使用した。

図 11 および図 12 は、それぞれ頂点の再配置が無い場合および有る場合の 3 次元 CG の表示結果である。頂点再配置処理が無い図 11 において、頭部断面の大きさが変化する頭頂部や鼻の周辺の表面が粗くなっていることが分かる。一方、頂点再配置処理がある図 12 では、そのような粗い部分はほとんど無く、表面が滑らかであることが分かる。これらの結果より、頂点再配置処理が有効であることが示された。



(a) 原画像

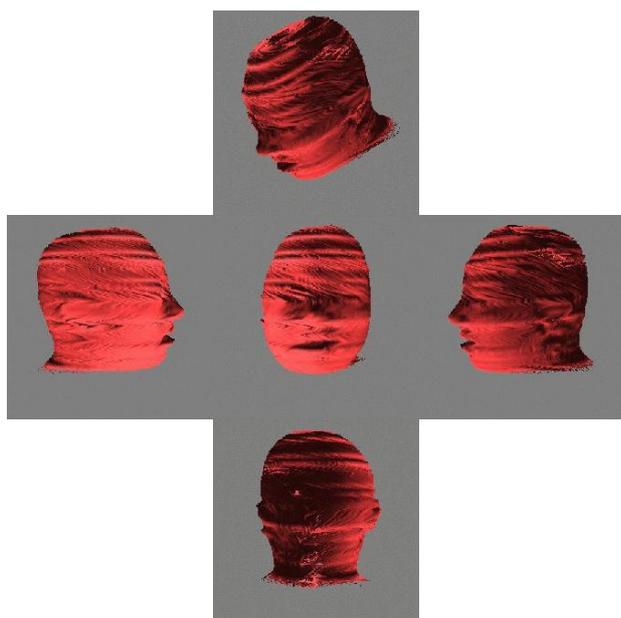
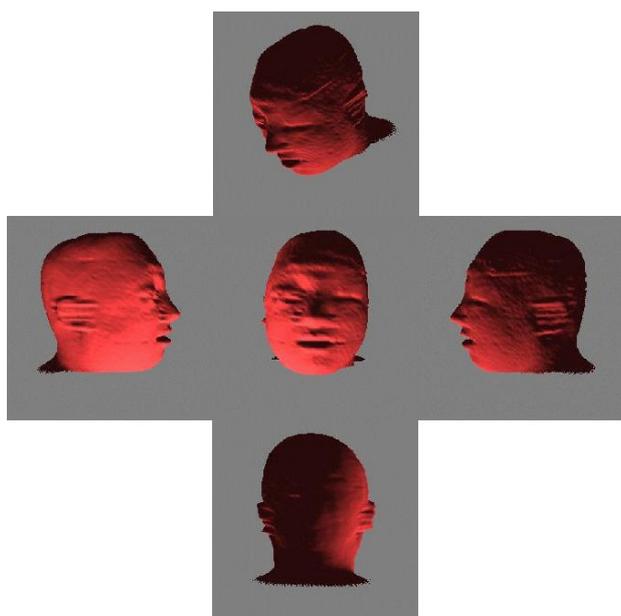


(b) $\alpha = 10$ の場合



(b) $\alpha = 80$ の場合

図 10 輪郭線抽出結果

図 11 頂点再配置無し($\alpha = 10$)図 12 頂点再配置有り($\alpha = 10$)

たより精度の高い輪郭線抽出法およびサーフェイスモデルへのテクスチャパッチの適用による現実感のある3次元CGの生成について検討する予定である。

謝辞

本研究を行うにあたり, 当時大学院修士課程の時津賢一氏, 当時4年生の佐々木章子氏, 安藤淳至氏に実験などで助力いただいた。ここに感謝の意を表わす。

参考文献

- (1) 寺嶋雅彦, 青木義満, 徳森謙治, 橋本周司, 中島昭彦: “下顎前突症患者の下顎枝矢状分割術による形態変化の三次元シミュレーション”, 日顎変形誌, Vol. 11, No. 3, pp. 194-204, 2001
- (2) 青木義満, 寺嶋雅彦, 中島昭彦, 橋本周司: “X線規格画像を用いた3次元頭部物理モデルの構築とその臨床応用”, 信学誌, Vol. J84-D-II, No. 2, pp. 390-399, 2001
- (3) 石川聖二, 後藤昌昭, プレドラグ ミノヴィッチ, 佐藤圭一, 加藤清史: “CT像に基づく頭部形状の3次元対称性解析”, 信学誌, Vol. J76-D-II, No. 2, pp. 334-341, 1993
- (4) MICHAEL KASS, ANDREW WITKIN and DEMETRI TERZOPOULOS: “Snakes: Active Contour Models”, International Journal of Computer Vision, pp. 321-331, 1988

5. むすび

本論文では, CTの頭部断面レントゲン画像からのサーフェイスモデルによる3次元CGの生成について検討した。各レントゲン画像からSnakesを用いて輪郭線を抽出した後, 3次元CGのための3角パッチの構成を行った。実験では, 実際のCTデータを用いてサーフェイスモデルによる3次元CGを作成し, 形状を確認することができた。

今後の課題としては, 輪郭線の大きな変化に対応し