

1. はじめに

形成外科の場合、生体の形状操作を主な目的としており、生体形状の相対的位置関係を計測できるシステムがあれば、正確な骨の歪みなどの異常が数値として定量的に評価され、手術計画を立てる上で役に立つことであろう。そこで本研究では、形成外科のために頭蓋骨変形具合いなどおもに頭蓋骨を計測することを主眼とし、生体形状の非破壊計測法として、X線CTを用いた生体形状計測システムを提案し、その全体構成、機能、計測結果について報告する。

2. 生体形状計測用三次元測定機

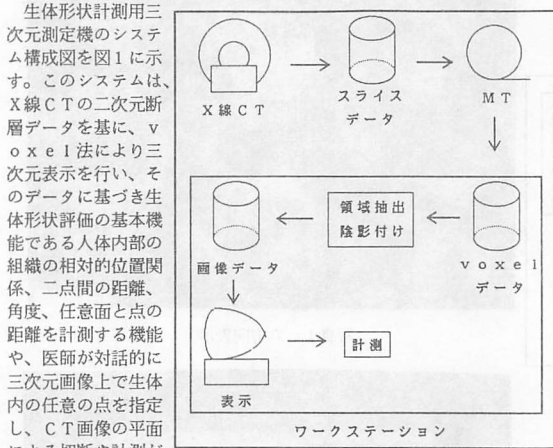


図1 システム構成図

生体形状計測用三次元測定機のシステム構成図を図1に示す。このシステムは、X線CTの二次元断面データを基に、voxel法により三次元表示を行い、そのデータに基づき生体形状評価の基本機能である人体内部の組織の相対的位置関係、二点間の距離、角度、任意面と点の距離を計測する機能や、医師が対話的に三次元画像上で生体内の任意の点を指定し、CT画像の平面による切断や計測ができるマン・マシンインターフェース機能を持つ生体形状計測システムである。そこで以下では、三次元表示方法と計測機能について述べ、実際にドライスカル(標本)を三次元測定機で計測したデータと、X線CTを用い三次元表示でそのドライスカルを計測したデータとを比較、検討する。

3. 三次元表示方法

ここでは、X線CTデータが、図2に示すように三次元集合であるvoxelデータとして扱われるということ、voxelモデルが生体形状のような自由曲面の境界形状を表現でき、複雑な内部構造を表現できるということから生体形状モデルとしてvoxelモデルを使う。以下にvoxelモデルと三次元表示のためのデータ加工について述べる。

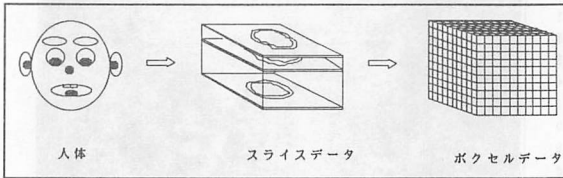


図2 X線CTによる人体の三次元データ収集

1) voxelモデル

一つのスライスは(340×340)のvoxelによりできている。また実際のスライスの大きさは、X軸方向、Y軸方向ともに250mmであり、厚さは2mmである。よって1 voxelの一辺の長さは(a, b, c)それぞれ(250/340, 250/340, 2)(mm)となる。データとしては、voxel

e1の中心点をX、Y、ZとしてZにはスライスナンバーを与える。このvoxelデータから表皮、骨などの表面を抽出してある視線方向から見た陰影のついた表面像を表示する。表面抽出にはCT値のしきい値を用いて領域抽出処理を施す。

2) 領域抽出処理

表面抽出を行うために、輪郭点の抽出に際してはvoxelデータから表示したい目的部分のCT値をしきい値として用い三次元表示に必要な輪郭点を求める。X線CTの情報量は最大約23Mバイトである。これをそのまま画像データとして用いたのでは記憶容量が足りない。ここでは図3のように、ある方向から見た三次元表示したい組織の表面画像を得るために二次元平面上に投影する方法を使い、1スライス毎にデータを読み込み、あるしきい値を設定し投影面から探索して行き最初にそのしきい値を越えたvoxel座標を記録して置くことにする。この様にして得られた表面データはvoxelモデルを囲む六つの平面のおのおのに対し二次元配列でとり、平面からの距離となる座標を記憶させておくことにする。

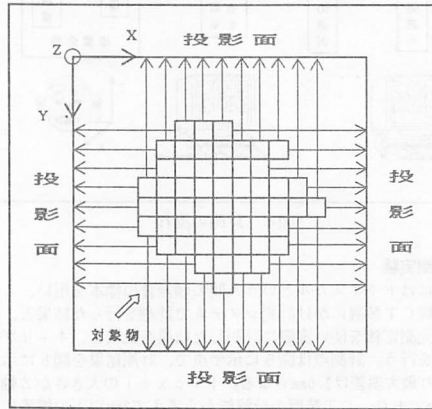


図3 領域抽出処理

3) 陰影付け¹⁾

三次元表示を生体形状計測に使うためには微細な構造が把握でき、明瞭な輪郭の抽出と自然な遠近感をもつ表示が必要である。本研究で用いた陰影付けは仮想視点からの距離のみに応じて明るさを決定するため興行きを直感的にとらえやすく、ボリュームを把握しやすいという利点がある反面、微細構造の把握が難しいという欠点がある。pure depth shading法¹⁾と、隣接するvoxelの相対的位置関係から各voxelの法線ベクトルを算出し、それからそのベクトルと視点ベクトルの角度を算出し、この角度により明るさを決定するreflectance shading法¹⁾を組合わせたmixture shading法¹⁾を用いた。

4) 画面表示例

今まで述べた処理を加えることにより写真1に示す六方向からみた画像が得られる。また今までの画像処理により求められた三次元表示上で、任意の点を選んで、その点を通るX-Y平面、Y-Z平面、Z-X平面に平行な平面のうちどれかで三次元表示物体を切断するように選択し、更にその選択した面を境にどちらを残すかを選ぶ。これにより切断面の輪郭点を探索するため再び三次元画像処理を行う。つまり残す様に選択した側のCT値が入っている三次元voxelデータだけを用い今まで述べた三次元画像処理を加えることにより簡単に三次元表示物体の切断面表示画像が得られる。この処理により隠れて見ることのできなかった内部の構造を三次元情

報として表示することができるようになった。表示例を写真2に載せておく。

4. 計測機能

1 voxelの大きさが決まっているので、voxelの座標がわかれば計測が行える。形状計測は図4に示すような流れで行われる。写真1に示す六つの面の画像上で点を指定することにより以下に述べる計測が行える。計測機能としては、1)画面上で二点を指定することにより求められる二点間の距離の計測、2)画面上で三点を指定することにより求められる角度の計測、3)画面上で三点を指定しまず面を決め、それから一点を指定しその面と点の最小距離を求める計測、4)画面上で三点を指定し、一点目を座標原点とし、二点目と一点目を結ぶ線をX軸と規定し、X軸の正の方向を一点目から二点目に向かう方向に決め、三点を含む平面をX-Z平面とし、左手系の任意の座標系を設定する。それから一点を指定し座標変換を行いこの規定した座標系の座標値を求める計測機能がある。この六面表示により、一面だけの画像を回転させて計測する方法よりも速く計測が行えるようになった。写真2、写真3に示すように切断面表示上でも、一つの面の拡大画像上でも計測可能である。

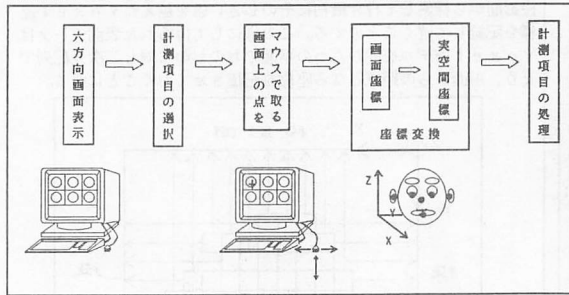


図4 計測の流れ

5. 計測実験

これにはドライスケルという人間の頭蓋骨の標本を用い、この標本をX線CT装置にかけ計測システムで計測を行った結果と、標本を三次元測定機を使い実際に計測した結果を比較し、キャリブレーションを行う。計測点は図5に示す点で、計測結果を図6に示す。これより最大誤差は2.0mmとなる。1 voxelの大きさがZ軸方向では2mmであり、CT装置の分解能から考えて2mm以下の誤差におさまっているため精度についてはシステム上問題は無い。

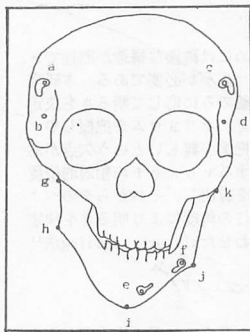


図5 計測点

位置	測定機	システム	誤差
a-b	62.5	63.3	0.8
a-c	129.8	130.2	0.4
a-d	129.6	129.2	-0.4
b-c	127.7	128.5	0.8
b-d	99.4	100.0	0.6
c-d	58.6	59.0	0.4
c-e	160.4	161.6	1.2
c-f	100.2	100.9	0.7
d-e	125.4	125.7	0.3
d-f	87.5	86.7	-0.8
e-f	70.6	71.9	1.3
g-h	44.9	45.3	0.4
h-i	72.6	72.7	0.1
h-j	85.9	83.9	-2.0
i-j	71.9	70.3	-1.6
j-k	48.7	46.9	-1.8

単位 (mm) 最大誤差 2.0mm

図6 計測結果

6. 結論

- 1) ワークステーションを用いたCTデータによる生体形状計測用三次元測定機を開発した。
- 2) 計測機能として、1)二点間の距離計測機能、2)角度計測機能、

- 3) 平面と点との距離計測機能、4)座標系設定機能を実現した。
- 3) 対象物をXY、YZ、ZX平面に平行な面で切断し、切断面上での計測を可能にした。
- 4) 計測システムの精度検定を行い誤差2mm以下の計測が可能であることを確認した。

7. 参考文献

- 1) 桜井信彰、新橋武、高木博：X線CT画像を用いた三次元画像表示に関する基礎的研究、東京慈恵会医科大学雑誌第103巻第2号別刷
- 2) 木村徳典：医療における三次元画像処理の応用、日本機械学会誌Vol. 92, No. 843

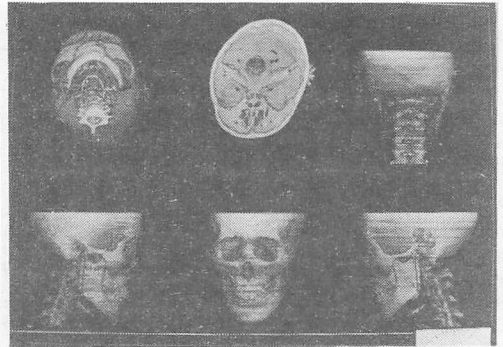


写真1 六方向表示

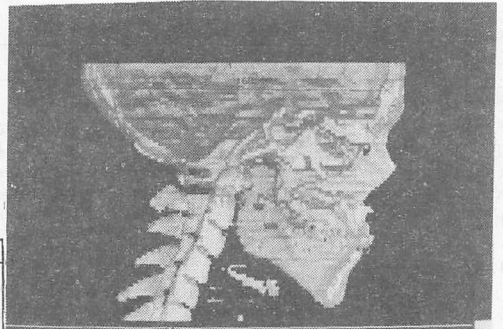


写真2 切断面表示

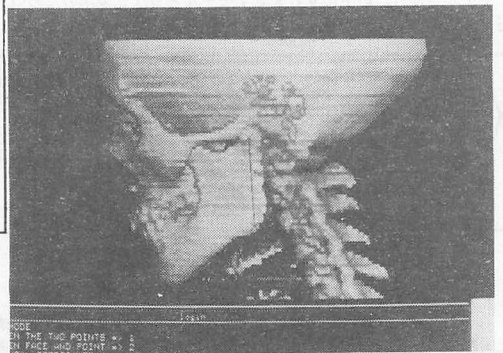


写真3 拡大表示