

要旨

生体器官模型製作システムを用いて、皮膚に覆われた脳の形状が外側から判別できるような模型を作成する方法について提案する。模型の表面形状を線形補間で滑らかにすることによって、皮膚に透明感を持たせる。この着想に基づいたモデルの模型を作成し、外側から内部の形状が判別できることを確認した。

1.はじめに

外科手術において手術対象となる内臓器官の立体形状や組織間の位置関係を術前に認識できると、執刀部位を同定できたり、手術手順を前もって確認できるので手術計画の立案や手術シミュレーションの手助けとなる。本研究は、MRIデータから生体器官、特に脳の形状モデルを抽出して、光造形法を用いて模型の作成を行う生体器官模型製作システムの開発を目的とする。

2.多層構造を持つ模型

これまで、本研究は複雑な形状を有する脳の形状を直観的に認識できる手段として脳模型を作成した[1]。

だが、実際の手術において、執刀したり、頭部に固定金具をつけるといったアプローチを行うのは、皮膚からである。そこで、皮膚に覆われた脳の模型を作成すると、Photo.1のように、外側からは皮膚だけが見える模型が作成される。手術支援システムとしては、外から脳の輪郭だけでもわかる必要がある。

そこで本報は、多層構造を持つ生体模型の内部の層の形状を外側からみられるように、外部の層の形状を線形補間を行って滑らかにして、透明感を増す方法について報告する。

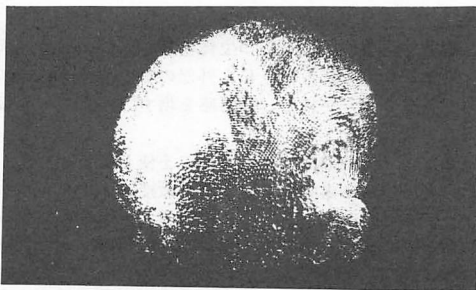


Photo.1

3.生体器官模型製作システムの構成

Fig.1に本システムの全体構成を示す。本システムは、シーメンス社のMRI装置から得られたMRIデータを入力とし、脳と皮膚を抽出してシーメット社の光造

形法加工システムSOUP 530RHが、模型を作成するのに必要な形状データへ変換を行うシステムである。

本システム内部では、MRI装置から得られたMRIスライスデータを基に、二次元画像対話処理で脳と皮膚の各スライスデータを抽出する。さらにボクセルモデル化処理で、各スライスデータをそれぞれのボクセルモデルとする。その際に、MRIデータの線形補間を行う。これは形状を滑らかにして皮膚に透明感を出すためと加工に必要な精度を確保するために行う。次に、輪郭線抽出処理でボクセルモデルから輪郭線の形状データを作成する。

光造形法とは、物体の形状を水平方向にスライスして、その輪切り像に沿って一層ずつ紫外線硬化樹脂に照射し硬め、各層を重ね合わせ立体モデルを製作する技術である。光造形法は、中空形状など、内部形状が重要となる形状や、オーバーハングなどがある形状を加工することができるため、生体形状のような複雑な形状を加工するのに適している。

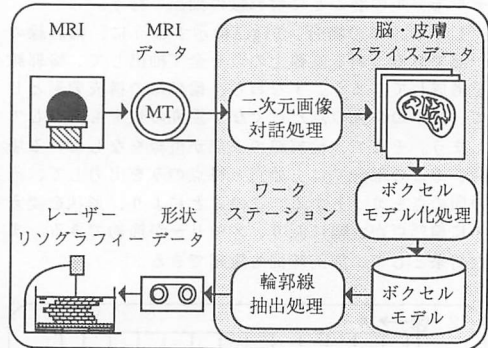


Fig.1 システム構成図

4.三次元線形補間

二次元画像対話処理で得られたスライスデータをボクセルモデル化処理でボクセルモデルに変換する。

模型に透明感を与えるためには、模型を元の生体形状に近い滑らか形状にする必要がある。また、スライス間隔をボクセルモデルのZ軸間隔とすると光造形法の積層間隔の許容域を越えてしまう。

そこで、ボクセルモデルに変換の際、次式を用いてMRI値を三次元線形補間する[2]。(Fig.2参照)

$$P(i,j,k) = \sum_{p=0}^1 \sum_{q=0}^1 \sum_{r=0}^1 B_{1-p}(\alpha) \cdot B_{1-q}(\beta) \cdot B_{1-r}(\gamma) \cdot V(a+p, b+q, c+r)$$

$$B_0(t) = t, B_1(t) = 1-t, t = \alpha, \beta, \gamma$$

$$a = \left\lfloor \frac{u_i}{t} \right\rfloor, b = \left\lfloor \frac{u_j}{t} \right\rfloor, c = \left\lfloor \frac{v_k}{s} \right\rfloor, \alpha = \frac{u_i}{t}, \beta = \frac{u_j}{t}, \gamma = \frac{v_k}{s}$$

$V(x,y,z)$ はzスライス目の (x,y) ピクセルのMRI値、 $P(i,j,k)$ は補間されたボクセルモデルの (i,j,k) 座標のMRI値である。 $f(R)$ は、 R 以下の最大の整数を表し、 $g(R)$ は、 R の小数部分を表す。 s,t は、スライスデータのスライス間隔とピクセル間隔で、 u,v は、ボクセルモデルのX-Y方向とZ方向の補間間隔である。

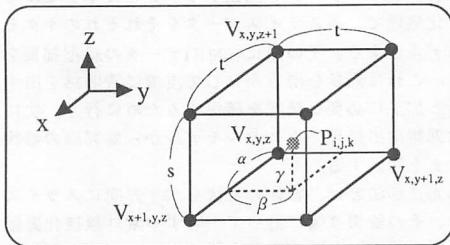


Fig.2 三次元線形補間

5. 輪郭線抽出処理

光造形法加工システムは、物体断面の輪郭線を硬化させて、それを積み重ねて加工していく。そこでボクセルモデルの層ごとに輪郭線の抽出を行う。

しかし、この場合、Fig.3に示すように、輪郭線の一部である、ある直線上の点を全て抽出して、輪郭線を構成してしまう。すなわち、輪郭線の構成要素として、図中の白丸の点だけでなく黒丸の点をも抽出してしまう。そこで、輪郭線の一部が直線をなしている場合、その部分では、始点・終点のみを出力して、その間の点をカットする。このことにより、形状を変えずに輪郭点が大幅に減り、メモリーが節約できる。また結果として、加工時間も短縮できる。

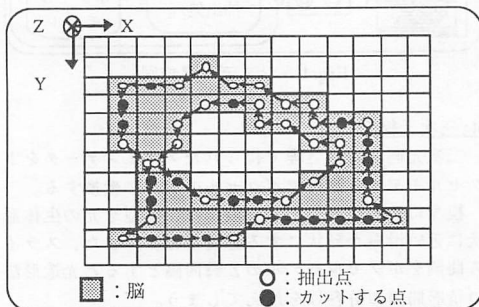


Fig.3 輪郭線抽出処理

6. 適用例

Photo.2は、生体模型製作システムを用いて脳のみを作成した模型である。模型にスプレーで着色して形状を判別しやすくしている。

Photo.3は多層構造を持っているモデルの模型である。外側の層を写真のように薄く滑らかにすると、内部の層の形状を見ることができる。

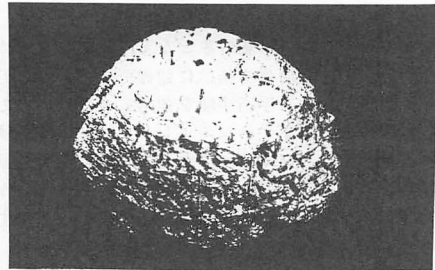


Photo.2

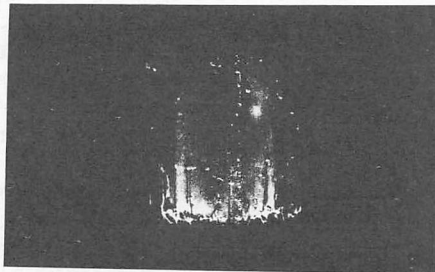


Photo.3

7. おわりに

本報は、多層構造を持つ生体模型の内部の層の形状を外側からみられるように、外部の層の形状を線形補間を行って滑らかにし、透明感を増す方法について報告した。

最後に、光造形法加工システムを使わせていただいた、北海道大学歯学部第二補綴科教授 内山洋一先生データを提供して下さった、北海道大学医学部放射線科助教授 宮坂一男先生、脳神経外科講師 宝金清博先生、及び、模型の評価を行って下さった、医師 鎌田恭輔先生に謝意を表します。

参考文献

- [1]高森ほか：1992年度精密工学会秋期大会学術講演会講演論文集,(1992) p.969-970
- [2]木本ほか：1990年度精密工学会秋期大会学術講演会講演論文集,(1990) p.507-508