

MRI 画像に基づく粘弾塑性脳モデルの構築

Construction of elasto-visco-plastic brain model based on MRI image

本間 達¹⁾ , 若松 秀俊¹⁾
Satoru HONMA and Hidetoshi WAKAMATSU

1) 東京医科歯科大学 大学院保健衛生学研究科
(〒113-8519 東京都文京区湯島 1-5-45, hommttec@tmd.ac.jp, wakamats.mtec@tmd.ac.jp)

Abstract: The technique of artificial reality is applied to medical trainings of brain surgery. Virtual objects corresponding to actual tissues are used for the representation of their destruction, taking into account the breakdown of objects following to their dynamic deformation. The mutual action among brain tissues is represented as interaction of their virtual objects. In the present study, we propose how to construct the elasto-visco-plastic brain model based on MRI image of the brain for its further application.

Key Words: *Elasto-Visco-Plastic Model, Virtual object, Real-time destruction, Interaction*

1. はじめに

人工現実感の目的として肉眼で見えない事象の可視化と安全性あるいは倫理上の理由により実行困難な実験の模倣が挙げられる。例えばそのような事例として体内の臓器を処置する医療技術の修得などがある。医療従事者は臨床の患者に医療行為を行う前に十分な技術の向上が必要なので、練習用に人工現実感を利用したシステム開発が求められている。ところで操作者に本物と変わらぬ操作感覚を提示する力覚表示システムは現実の世界を力学的観点により再現する人工現実感の構築であり、事象の本質を数学的に記述する手法が有用であることが示されてきた[1]。この中で、物質の力学的動態を表すために物理モデルを用いた仮想物体の構築手法が研究され、実時間で弾性、粘性のみならず塑性も表現しうるモデルが提案されている[2]。このモデルを用いて操作対象の物体のみならず操作作用の器具も構築し、それらの相互作用を考慮して物理法則を反映する仮想作業環境の構築が提案されており、その有効性が示唆されている[3][4][5]。本研究では、これらの仮想環境内での作業を前提として、医療での応用を念頭に力学的性質を反映する粘弾塑性固体モデルで複雑な形状の物体を設計する手法を用いて、MRI データに基づいて仮想の脳モデルを構築する。

2. 粘弾塑性体モデル

生体組織の物理モデル化では、骨のような一部の硬い組織を除けば、多くは粘弾性組織と考えるのが適切である。これらの組織に操作を加えたときに生じる、切離などの非可逆的な変形を表現するには塑性も考慮しなければならない。仮想空間内での変形・破壊を実時間で表現するために、

物理モデルで仮想物体を構築するが、人間が操作するシミュレータでは、計算機単独のシミュレーションと異なり、演算時間を操作する人間と同一、すなわち実時間での計算が必要である。ところで破壊をとまなう場合には運動方程式の再構築が必要であり、実時間でこれを実現するために、本間らは粘弾性固体を表現する Kelvin-Voigt モデルに塑性を組み合わせた粘弾塑性体モデル(以下、バネと表記)を提案している[2]。正四面体構造の各辺にモデルを、頂点に質点をそれぞれ配置した基本構造を連続的に接続して任意の形状の物体を構築することが可能である。このモデルでは物体同士の相互作用による変形・破壊も表現できるだけでなく、一般的な PC でも実時間での演算が可能であることが示されており、力覚表示システムへの応用に適している。

本研究では仮想空間内に存在する固体の物体を全てバネで構築する。物体ごとに異なるかたさ、もろさ、密度などはモデルに与える弾性、粘性、塑性、質量の各パラメータを変更して表現する。これらのパラメータはモデルの要素ごとに設定可能なので、現実の物体に存在する物性の不均一さなども表現可能である。

3. 任意形状の仮想物体の構築手法

仮想環境内の物体を、前述のように正四面体を基本構造とする質点とバネで構築する。具体的には、物体の形状と一致する領域を空間内に設定し、基本構造を連続的に配置し、対象領域の内部を充填する。図 1 のように、基本構造の一部が領域外にある場合は、該当する質点およびバネが存在しないとする。このために正四面体を連続的に配置した各頂点を格子点と考える。すなわち、領域内に存在する格子

点に対応する質点およびそれらを接続するバネによって仮想物体を構築する。格子点は一定間隔の平行な平面上に存在するので、領域を平行面で分割し、各平行面ごとの領域の断面内に存在する質点と隣接する断面内の質点同士をバネで接続する。物体内部の空洞は、領域外と同様に該当する質点もしくはバネが存在しないとして設定する。空洞内部に格子点が該当する場合は、質点とバネ、該当しない場合は、バネのみが存在しないとする。

また、複雑な形状を設定する場合は、物体の断面ごとに設定する。格子点は一定間隔の平行な面上に存在するので、この面ごとに領域を分割し、断面ごとに質点とバネの接続などを設定する。

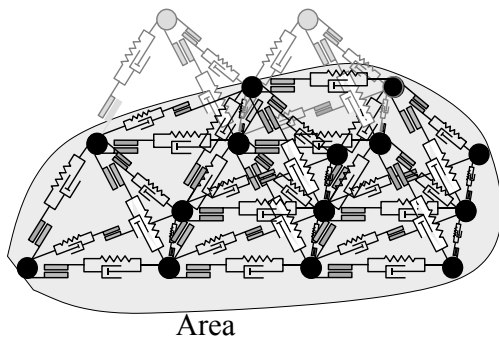


図 1 領域に充填した基本構造モデル
Fig 1 The concerning area filled with tetrahedral model.

4. MRI 画像に基づく粘弾塑性脳モデルの構築

人体臓器はその形状が複雑であり、また個体差があるので正確にモデル化するのは困難である。しかし、上述の理由から、一定間隔の平行面に沿って計測した人体断面画像データを用いれば、比較的正確に領域を設定し、現実の臓器形状を反映した臓器モデルが構築可能である。この観点から、一定間隔で人体を傷害することなく、核磁気共鳴によって内部状態をとらえ、断面像を連続的に提示する MRI 画像は、組織の違いが輝度の変化として表わされており、断面画像内での領域の区別が容易である。したがって、人体内部にある臓器をモデル化する場合、この画像を利用するのが有用である。ところで一般的な MRI 画像の解像度は 256×256 画素であるが、計算機の演算性能を考慮し、臓器モデルを 1 断面あたり 40×40 の要素で構築する。本研究では、頭部のデータを用いてモデルを構築する。人体頭部は比較的軟らかい脳と硬い頭蓋骨からなり、眼球・筋肉・耳下腺などが付随する。本研究では議論を単純化するために脳と眼球以外の組織について頭蓋骨に付属すると考える。すなわち、図 2 に示すように脳、頭蓋骨、眼球の 3 つのモデルのみで人体頭部モデルを構築する。図中、白丸は頭蓋骨およびこれに付随する周辺組織を構成する質点、黒丸は眼球を構成する質点、灰丸は脳組織を構成する質点を表わしており、同一座標を基準とする 3 つの仮想物体の重ね合わせで頭部モデルを構築する。

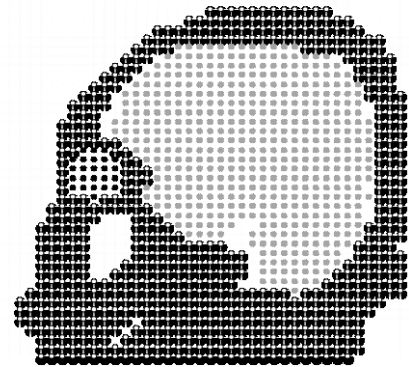
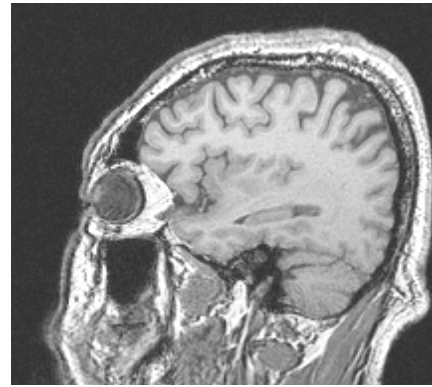


図 2 MRI 画像に基づく質点の配置
Fig 2 Mass-arrangement based on MRI image.

5. おわりに

MRI 画像データに基づいて、粘弾塑性体モデルにより脳モデルを構築する手法について検討した。粘弾塑性体モデルを正四面体に組み合わせ、物体の領域を充填して仮想物体を構築する手法は、一定間隔でデータを取得する MRI の適用が容易である。なお構築したモデルに、適切な物性値を与えなければならない。このためのパラメータ同定手法については今後の検討課題である。

参考文献

- [1]本間達, 若松秀俊: 仮想物体の変形破壊の研究を振り返って, 日本 VR 学会第 1 回力触覚の提示と計算研究会報告書, Vol.001, No.HDC01, pp.25-28, 2009
- [2]本間達, 若松秀俊: 粘弾塑性体モデルで表現した物体間の相互作用による破壊, 計測自動制御学会論文集, Vol.44, No.7, pp.600-608, 2008.
- [3]本間達, 若松秀俊: 採血時の穿刺による血管変形の表現, 生体医工学 Vol.47(supple), p.214, 2009
- [4]本間達, 若松秀俊: とともに種々の粘弾塑性を備えた仮想臓器と仮想器具間の相互作用による変形, 信学技報, Vol.109, No.75, pp.119-122, 2009
- [5]本間達, 若松秀俊: 構成要素のすべての運動を反映した仮想器具の力覚提示, 信学技報, Vol.109, No.82, pp.101-102, 2009