2P2-C2 人工臓器の埋め込みシミュレーション

Computer simulation to determine the anatomical compatibility of implantable artificial organs

○小暮宗史, 雨宮真一郎, 福長一義*, 福井康裕, 本間章彦**, 巽英介**, 妙中義之**, 北村惣一郎**

東京電機大学大学院理工学研究科 電子情報工学専攻, *フロンティア共同研究センター,

**国立循環器病センター研究所

Takashi Kogure, Shinichirou Amemiya, Kazuyoshi Fukunaga, Yasuhiro Fukui,

Akihiko Homma**, Eisuke Tatsumi**, Yoshiyuki Taenaka**, Souichirou Kitamura**

Graduate School of Electronic and Computer Engineering, Tokyo Denki University,

*Frontier Research and Development Center, **Research Institute of National Cardiovascular Center

1. はじめに

近年, バーチャルリアリティー技術に応用した仮想空間における手術の計画支援や, 術前シミュレーションなどが行われている。

本研究では, 人工心臓を合併症なく患者の限られた胸腔内に埋め込むために, 接触や圧迫による変形をコンピュータ上で表現することが可能な埋め込みシミュレーション技術の開発に取り組んでいる。

現在までに, CT 画像から構築した臓器の 3 次元イメージと, CAD ソフトにより作成した人工心臓の 3 次元イメージをコンピュータ上で合成表示することで, 手術方針の決定や人工心臓形状検討のための埋め込みシミュレーションを行ってきた。例として, 国立循環器病センターで開発を行っている電気油圧駆動方式全人工心臓の埋め込みシミュレーション結果を Figure 1 に示す。

Figure 1. Simulation Result.

Figure 1 において, 人工心臓が心嚢内に収まっていない部分や, 肝臓などの周辺臓器への接触や圧迫が確認できる。このような場合において人工心臓と周辺臓器との接触, 圧迫の程度を定量的に評価することが必要である。

2. 目的

人工心臓と周辺組織との接触の判定, それに伴う変形, 応力値を求め, リアルタイムでそれらを確認できる埋め込みシミュレーション技術の開発を目的とする。今回, 臓器モデルの変形, 応力値の算出を効率的に行うための弾性変形モデルについて基礎的検討を行った。

3. 弾性変形モデル

生体組織をコンピュータ上に構築するための基本モデルとして, バネ質点モデルを用いた。対象物体を微小要素に分割,

各頂点に質点を配置し, 物体の変形を全質点の挙動で模擬する。このとき質点は(1)式の運動方程式に従う。このモデルは構造が単純なため, リアルタイム演算に向いている。

$$m_i \frac{d^2 \mathbf{x}_i}{dt^2} = \mathbf{F}_i \quad (1)$$

m_i : Mass point,
 $\mathbf{x}_i$: Position of mass point,
 $\mathbf{F}_i$: Force

Figure 2. Spring-mass model.

4. シミュレーション結果

CT 画像より 3 次元構築した肝臓モデルと人工心臓パーツを想定した剛性物体モデルを用いて, 接触に伴う物体の変形, 応力値を算出するシミュレーションを行った。肝臓の物性値¹⁾は, 密度 1[g/cm³], 縦弾性係数 2.7[N/cm²], ポアソン比 0.36 とした。

マウス操作により, 一辺が 40[mm]の立方体の剛性物体モデルを肝臓モデルに接触させるシミュレーションを行い, Figure 3 のように変形することを確認した。

Figure 3. Simulation result of deformation.

Nodes of liver model: 1002, Elements of liver model: 2000,

Nodes of cube: 26, Elements of cube: 48,

Response: about 20-25Hz

5. まとめ

本プログラムにより, 臓器モデルと剛性物体の接触による変形の程度を視覚的に確認するだけでなく応力値を算出するなど定量的に評価することが可能となった。

6. 参考文献

- 1) G. DeBunne, M. Desbrun and M. -P. Cani and A. H. Barr: "Dynamic Real-Time Deformations using Space & Time Adaptive Sampling", Proceedings of SIGGRAPH'01, August 2001.