

審査の結果の要旨

氏名 志野 亮作

本研究は、医用画像に基づいた乳房変形の粒子法シミュレーションに関する研究で、4章より構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景、関連研究、研究の目的および論文の構成が示されている。現在、日本は乳がんの死亡率と罹患率がともに増加傾向にある。乳がんの検査にはマンモグラフィー、超音波、MRIなどの機器があるが、それぞれ撮像体位が異なるため乳房は重力により異なる変形を生じる。そこで本研究では、粒子法を用いて体位の変化に伴い生じる乳房の変形を解析し、異なる機器による医用画像間の対応を取れるような技術を開発するとともに、その検証を行うことを目的としている。

第2章では乳房を模した半球形状で行った解析について述べられている。半径50mmの半球に脂肪の物性値であるヤング率1000Paおよびポアソン比0.49を設定して、有限要素法(FEM)との比較が行われている。粒子法(MPS法)では粒子間距離を5, 2, 1mmと設定している。その結果、FEMでは頭頂部で6mm程度の変位が生じているのに対し、MPS弾性体解析では0.3mm程度大きい値に収束している。次に、解析に必要な初期形状を得るための方法が提案されている。医用画像として撮像された乳房は腹臥位であれば背から腹の方向に重力がかかっており、背臥位であればその逆向きに重力がかかっている。初期形状では無重力状態を考える必要があり、両者のどちらとも異なるだけでなく、実際に初期形状を求めるには逆問題を解く必要があり計算時間がかかる。そこで初期形状を求める過程を省略し、腹臥位形状を無重力状態における初期形状と仮定し、2倍の重力をかけて変形させることにより背臥位形状を計算する方法が提案されている。さらに、解析の信頼性を向上させるために、事前情報を用いて解の補正を行う手法について示されている。半球粒子モデルの表面一層に対してFEMで求めた解を与えて解析を行なったところ、空間解像度の向上に伴い半球内部においてはFEMの解に収束することが確かめられた。最後に、ヤング率同定手法が検討された。乳房の形状や硬さには個人差があるが、得られている乳房の変形情報をもとにデータ同化手法によって硬さを推定することができると考えられる。そこで、半球粒子モデルの表面一層に対してFEMで求めた解を観測値として与え、拡張カルマンフィルタを用いてヤング率同定が行われた。その結果、観測雑音とシステム雑音はできるだけ小さい方がよいこと、収束

値は観測雑音の分散値に依存しないことなどが明らかとなった。

第3章では実際の乳房を撮像したMRI画像を用いて本研究で開発した方法の検証が行なわれている。患者を撮影した胸部腹臥位MRI画像に対して、皮膚、脂肪、軟組織、筋肉、腫瘍の領域をマニュアルで特定し、各領域に粒子間距離2mmで粒子を生成して乳房粒子モデルが作成された。次に生成した乳房粒子モデルを用いて初期形状の検証が行なわれた。半球形状と同様に粒子数2個分程度の微小な誤差に収まるので、以降は腹臥位形状に2倍の重力をかけることで背臥位形状を計算するとしている。次に、様々な境界条件を設定して解析を行い、背臥位形状の計算結果と、患者を撮影した背臥位MRI画像を比較した。粒子全てをヤング率1000Paおよびポアソン比0.49と設定し、胸骨側の境界をスライド境界、腹側の境界を自由境界、肩側の境界を固定境界、背中側の境界をスライド境界、腕側の境界を自由境界として解析が行われた。その結果では、重力方向への潰れは定性的には再現されるが、体側方向への組織の流れが底部境界(背中側の境界)により止められてしまうため再現されていない。次に、体側方向への組織の流れが阻害されないように境界に粒子を追加して解析が行われた。その結果では、体側方向への組織の流れも再現することができたが、変形が過大となってしまう。これをふまえ、腕側の境界を固定境界として解析が行われた。その結果、定性的な挙動がほぼ再現されたが、定量的にはまだ誤差が存在し、物性値に再考が必要であった。感度解析として、境界条件はそのままでヤング率を様々に変えて計算が行われた。体表位置および腫瘍位置に関して妥当な解を与えるようなヤング率をそれぞれ得ることができたが、乳房内部と体表位置の双方で妥当な解を得ることはできなかった。最後に、胸筋のみヤング率1000Paとし、他の組織をヤング率1000Pa以下として解析を行った。胸筋が潰れないまま体表位置で妥当な結果を得ることができており、最も妥当な結果となっている。

第4章は結論と今後の課題であり、粒子法による乳房変形手法が開発され、患者のMRI画像との比較において良い一致が得られたと総括されている。また、本研究で開発された技術は、乳がん診断の際に体位の異なる撮影画像を予測するために利用できるとされる。特に、MRIにおいて腹臥位で撮影された画像から、超音波診断での体位である背臥位での画像を予測できれば、超音波による乳がんの診断を容易にすることができると位置づけられている。

以上を要するに、本研究は粒子法を用いて乳房の変形挙動の解析手法を開発するとともに、実際の医用画像との比較によりその有用性を示している。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。