

論文審査の結果の要旨

氏名 鈴木 孝司

本論文は7章から構成されている。

第1章は本論文が対象としている核磁気共鳴画像(MRI)誘導下手術支援マニピュレータを用いた手術支援の背景と問題点が述べられている。MRIガントリ内は強磁場環境であり、また強い電磁波が照射される特殊環境であるが、その内部へのマニピュレータ導入の問題となる、機構材料・機構要素の磁性、サイズ、画像を劣化させるノイズの3点について論じている。そして先行研究によって試みられた解決法とそれらの問題点が挙げられている。

第2章は、MRI誘導下手術支援マニピュレータにおいて必要とされる小型化とモータから発生するノイズによる影響を受けない画像取得を実現する、という目的が述べられている。それらの目的を実現するために、小型鉗子駆動機構とMRI対応モータ駆動法を提案し、その評価を行うとされている。

第3章では、小型鉗子駆動機構について述べられている。これは狭いMRI装置内での鉗子操作支援を対象としたマニピュレータであり、その設計・試作・評価試験が行われた。機構構成として、鉗子軸方向並進運動・軸周り回転運動を実現するための摩擦駆動機構、鉗子ピボット動作の実現のためのジンバル機構を組み合わせることにより最低限の自由度を確保しつつ小型化された機構を実現した。またマニピュレータとしての性能限界を生じさせた機構精度と超音波モータの制御方式について問題点を明らかにして、今後の改良の指針を提示した。

第4章では、MRI装置ガントリ内でノイズを発生させた場合にも画像を劣化させない手法について述べられている。MRI誘導下支援手術により高精度な手術を実現するために、手術支援マニピュレータをMRI装置ガントリ内に導入するが、その際にモータから発生するノイズが画質を劣化させる。その対策案として、MRI撮像パルスシーケンスにおいてMRI装置が信号の受信を行っていない時間間隙に限定してモータの駆動を認めることにより、ノイズの影響を生じさせない画像取得するというMRI対応モータ駆動法を実現した。

第5章では、第3章にて開発した小型鉗子駆動機構に第4章にて提案したMRI対応モータ駆動法を適応することによって、MRIガントリ内で駆動可能かつ画像に劣化を生じさせないMRI誘導下手術支援マニピュレータとしての統合を行った。機構要素等のMRI対応化を図り、また評価実験として画像誘導下にマニピュレータの位置決めを行った結果、誤差の標準偏差1mmとなり、高い位置決め精度が実現された。

第6章は、研究全体の考察がまとめられている。第4章で述べたMRI対応モータ駆動法の適応限界を決定するのは画像取得の更新速度とその中に含まれるモータ駆動時間の長さである。その点について第3章の小型鉗子駆動機構を例に適応限界の例を示した。また実験に用いたMRI装置について高磁場のMRI装置を用いた場合の発展や、今後の改良点について述べている。

そして第7章に研究全体の結論として研究をまとめると同時に、今後の展望として画像から対象とする臓器を抽出するセグメンテーションアプリケーションや、骨や重要血管を避けてマニピュレータの動作を計画する軌跡生成ツール、本研究が対象としているRFA治療において重要と

なる焼灼範囲予測シミュレーションシステムとの統合について提案している。

なお本論文第 3 章, 第 4 章は片山洋一(第 3 章), 廖洪恩, 小林英津子, 佐久間一郎との共同研究であるが, 論文提出者が主体となって機構の性能評価および理論的な誤差解析を行ったものであり, 論文提出者の寄与が十分であると判断する。

MRI スキャナ内で使用される画像誘導手術支援マニピュレータ開発に関して, マニピュレータ機構ならびに動力源であるモータ駆動法の両面から研究した論文となっており, 発展性のある手法を提案し, その基礎的特性を検討している。したがって, 博士(科学)の学位を授与できると認める。