

# 論文審査の結果の要旨

氏名 小野木 真哉

本論文は 8 章から構成されている。

1 章では序論として、1)手術支援システムの利用において術中の位置・姿勢計測が不可欠であること、2)外科領域における今後の傾向として MRI ガイド下手術や軟性鉗子の説明とそれによる新しい位置計測法の必要性について、3)MRI を用いた位置計測法であるアクティブトラッキング法の説明とその課題について述べられている。

2 章では目的として、先行研究であるアクティブトラッキング法の課題を解決するために 3 軸周りの姿勢計測が可能なアクティブトラッキング法の提案とその評価を行うことが述べられている。

3 章では提案手法である拡張アクティブトラッキング法の原理として、位置姿勢計測用小型受信コイルのインダクタンス成分を 3 つに直列分解し不等辺三角形を成すように術具表面に設置することによる 3 点の三次元位置計測の可能性が述べられている。

4 章では実験装置として、実験に使用した MRI スキャナや製作したトラッキングコイル、評価のために製作した樹脂製計測器具について説明されており、製作したトラッキングコイルを用いて 3 点の三次元位置計測が可能であることが示されている。また、受信アンプが 1 台の場合の複数のトラッキングコイルの動的な切り替え法についても示されている。

5 章では基礎的評価として 1)姿勢計測可能性の確認、2)トラッキングコイルの位置・姿勢計測精度評価、3)計測環境に関する評価について説明されている。姿勢計測可能性の確認では、トラッキングコイルによって計測される 3 点の位置が計測対象上に固定されていること、および 3 点の成す三角形が一定の形状であることを明らかにし、提案手法によって位置・姿勢計測が可能であることを示している。トラッキングコイルの位置・姿勢計測精度評価では、計測器具を用いて位置・姿勢計測再現性および位置・姿勢計測精度評価を行い、計測再現性は位置 0.3 mm, 姿勢 1 度であり、計測精度は位置 0.21 mm, 姿勢 2.4 度であること、また計測分解能を 0.39 mm とした場合の姿勢計測精度は 1.17 度であり、MRI スキャナの計測分解能および 3 つのインダクタンスの配置による精度で計測可能であることが述べられている。計測環境に関する評価では、トラッキングコイルが MRI 画像へ与える影響評価、計測環境におけるピーク値の SNR に関する評価が行われている。MRI 画像への影響評価においてはトラッキングコイルを含む断面においては内部の信号源が描出されるがトラッキングコイルによる計測対象の輪郭に対する歪みは確認されないことを示している。ピーク値の SNR に関する評価においては、フリップ角を 6 度程度とすることで水中においても明確なピークが得られること、空気中においては静磁場とコイル長軸の成す角が 0 度であっても計測可能であること、不均質なノイズ源中においては、静磁場とコイル長軸の成す角が 30 度以上であればフリップ角を 3 度とすることで明確なピークを得られることが示されている。

6章では応用実験として 1)計測対象端点位置のキャリブレーション, 2)キャリブレーションされた計測対象の位置・姿勢計測精度評価, 3)画像誘導可能性の確認について説明されている。計測対象端点のキャリブレーションにおいて, 計測対象端点を中心とする球面上の計測を行うことで計測値を端点位置に変換できることを明らかにしている。キャリブレーションされた計測対象の位置・姿勢計測精度評価では, 計測器具を用いた評価を行い, 位置 0.92 mm, 姿勢 0.47 度で計測対象の位置・姿勢計測が可能であることを明らかにしている。画像誘導可能性の確認では, MRI 画像から求めた計測対象の位置・姿勢と提案手法によって求めた計測対象の位置・姿勢の比較を行い, 先端位置の誤差は 1.32 mm, 姿勢誤差は 1.08 度であり, 位置 1 mm, 姿勢 1 度程度の精度で画像誘導が可能であることを示している。

7章では考察として, 1)拡張アクティブトラッキング法について, 2)トラッキングコイルのハードウェアについて, 3)臨床応用に対する課題について述べられている。拡張アクティブトラッキング法については, 既存の位置計測装置と比較して MRI 下における術中位置・姿勢計測においては先端位置を直接計測可能であることから, 先端位置における計測精度においては既存の位置計測装置に対して遜色なく, 有用な計測法であることが述べられている。トラッキングコイルのハードウェアについては, 計測されるピーク値の SNR を一定以上に保つ場合, 計測分解能とトラッキングコイルのサイズがトレードオフの関係にあることが述べられている。臨床応用に対する課題においては, 既存の MRI スキャナにおいてもハードウェア上の改造をすることなく提案手法を適用できる反面, ソフトウェア上では位置・姿勢計測のためのパルスシーケンスの追加や一部パラメータ制限の撤廃の必要性, リアルタイムにデータを出力する機能の必要性が述べられている。

8章では結論として, 提案手法である拡張アクティブトラッキング法は位置・姿勢計測精度が MRI の計測分解能の程度で安定に位置・姿勢を計測することが可能であり, 既存の MRI スキャナで分解能を 0.39 mm とした場合に位置計測精度 1 mm, 姿勢計測精度 1 deg 程度で計測対象の端点位置・姿勢が計測可能な手法であると述べられている。

本論文は MRI 画像誘導治療技術の発展に不可欠な, 手術機器の位置・姿勢計測法を提案し, その基礎特性を詳細に検討している。今後の MRI 画像誘導手術技術の発展に寄与する成果であると考えられる。以上より, 博士(科学)の学位を授与できると認める。