

審査の結果の要旨

氏 名 山 下 紘 正

論文題目「リンク・ワイヤ駆動方式による細径屈曲機構を用いた内視鏡下手術用鉗子マニピュレータに関する研究」の学位論文は、内視鏡下手術用マニピュレータの多自由度化・多機能化・細径化を実現するためのリンク機構とワイヤ機構を融合した屈曲駆動方式と、細径鉗子マニピュレータの開発に関する研究論文である。

本論分は 8 章からなり、第 1 章では内視鏡下手術の現状と問題点について触れ、解決方法として、本研究の提案手法の位置付けについて述べている。第 2 章では本研究の目的として内視鏡下手術用マニピュレータの多自由度化・多機能化・細径化を実現するため、リンク・ワイヤ駆動方式による屈曲鉗子マニピュレータを開発することを述べている。第 3 章ではリンク・ワイヤ駆動方式による屈曲機構解析について述べている。第 4 章では開発したバイポーラ型電気メス屈曲鉗子マニピュレータについて述べている。第 5 章では開発した胎児内視鏡下手術用屈曲鉗子マニピュレータについて述べている。第 6 章では各マニピュレータについて性能評価実験、ファントム実験、In vivo 実験を行ない、その結果について述べている。第 7 章では実験結果を基に考察を行い、提案した駆動方法とマニピュレータの臨床応用における有用性を検証している。最後に第 8 章で本論分の結論を述べている。

リンク機構による駆動力伝達要素と、ワイヤ機構による多関節フレーム間の滑り防止要素を組み合わせることで、3つのフレーム、1本のリンク節、2本のワイヤロープによる1自由度屈曲機構を構成している。両端のフレームは、各々が有する円弧部分を向かい合わせる形で、中間のフレームと2本のワイヤロープで連結される。中間のフレームがリンク節のスライド運動により根元側のフレームに対して回転すると、先端側のフレームも連動して同じ角度だけ回転し、合計で $\pm 90^\circ$ の屈曲角度を得ることができる。

本研究では水平・垂直方向に屈曲可能な2自由度屈曲機構を構成している。そしてマニピュレータの先端部に組み込むことで、外径5mmのバイポーラ型電気メス屈曲鉗子マニピュレータと、外径3.5mmの胎児内視鏡下手術用屈曲鉗子マニピュレータを開発している。前者ではワイヤ駆動式の把持鉗子ブレードにバイポーラ型電極を搭載し、後者ではワイヤ駆動式の把持鉗子や剪刀、Nd:YAG レーザ凝固用のファイバを交換可能に搭載している。リンク駆動用アクチュエータを搭載した直動ユニットとグリップ式インタフェースは、マニピュレータ先端側の屈曲部分と着脱可能であり、洗浄や滅菌作業に対応させている。

バイポーラ型電気メス屈曲鉗子マニピュレータでは、最大 153.9° の駆動範囲、最高0.2mmのマニピュレータ先端位置精度、最大6.61Nの屈曲力、3.70Nの把持力を確認し、in vivo 実験ではブタ腸間膜上の組織凝固と血管閉塞に成功している。胎児内視鏡下手術用屈曲鉗子マニピュレータでは、最大 150.1° の駆動範囲、最高0.2mmの位置精度、最大2.57Nの屈曲力、3.70Nの把持力を確認し、Nd:YAG レーザ凝固実験では、 80° まで屈曲させた状態であっても96.6%以上の照射効率による組織凝固に成功している。

方法と評価実験の結果から、本論分で開発したマニピュレータは、従来のリンク駆動やワイヤ駆動によるマニピュレータと比較しても高い屈曲性能を示しており、提案手法による細径屈曲機構が内視鏡下手術用マニピュレータ技術の向上に有効であると判断できる。

本論分の結論としては、リンク機構とワイヤ機構の融合による駆動方式を採用した屈曲機構は、マニピュ

レータのスケールに依らず、多自由度化・多機能化・細径化をバランスよく両立しつつ、広い屈曲範囲・高い精度・十分な発生力を実現でき、様々な内視鏡下手術をより低侵襲に行なえる臨床応用可能性を示している。

以上のように、本論分では外径の縮小と内径チャネルの拡大を満たす独創的な屈曲駆動方式を考案し、スケールの異なる 2 種類の屈曲鉗子マニピュレータを開発した。今後は屈曲駆動力の伝達機構やマニピュレータの使用感について改善を加え評価を進めることで、実用化可能な内視鏡下手術用屈曲鉗子マニピュレータ装置としての発展が期待される。

なお、本論分は東京大学の土肥健純教授、佐久間一郎教授、正宗賢助教授、小林英津子助教授、松宮潔助手、廖洪恩助手、ハーバード大学の波多伸彦助教授、国立成育医療センターの千葉敏雄先生、九州大学の橋爪誠教授との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発並びに評価を行なったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論分は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。