

## 審査の結果の要旨

氏 名 八 木 昭 彦

論文題目「スライダリンクと空気圧を用いた手術器具挿入支援用柔剛可変外套管に関する研究」の学位論文は、体内深部組織に対する低侵襲治療を行う際、前方組織を迂回させて治療機器を挿入するための通路を確保する外科手術支援機器に関する研究論文である。本研究の成果として体内の複雑な通路へ自身を変形させながら進入し、進入したときの形のまま形状を固定することで体内に手術器具通路を作成する柔剛可変外套管マニピュレータの開発に成功している。

本論文は8章からなる。第1章では内視鏡による低侵襲手術での体内深部治療時における課題と手術器具通路確保の必要性を述べている。第2章では本研究の目的として通路確保を行うマニピュレータに必要な機能の検証及び実装した機器挿入支援マニピュレータの開発を行うことを述べている。第3章では外套管マニピュレータの機能として変形した形のまま形状固定をする柔剛可変機能の必要性とこの機能を実現させるための方法に関する検討を述べ、第4章では前章の検討に基づいて考案した柔剛可変機構と開発した外套管マニピュレータの特徴について述べている。第5章では考案した柔剛可変機構に関する機構学的及び力学的な特徴について述べている。第6章では開発したマニピュレータの性能評価のために行った実験とその結果について説明しており、第7章では本研究の工学的及び医学的な効果と意味について考察を述べている。そして最後の第8章で結論を述べている。

本研究では柔剛可変機能の実現に対して多くの関節を直列につなげた多関節マニピュレータを用い、姿勢を固定する方法として各関節にスライダ、リンクと空気圧で駆動するストッパを組み合わせることで回転を機構的に固定する方法を用いている。機構的な手段を形状固定に用いることで外套管にかかる大きな変形外力に対して、小さなアクチュエータの駆動力での姿勢の維持が可能となる。そして駆動原理に空気圧を用いることで体内挿入時でのトラブルなどの患者へのリスクを小さくすることが可能である。また外套管を体内へ挿入する際に外套管の先の部分を術者が操作し、目的の方向へ誘導させられることが求められる。この方法として二種類のワイヤによるロックと引っ張りを組み合わせ、複雑な制御を行わずに外套管の先端部分を操作することを可能としている。この原理を用いて外径が16mm、内径が8mmのマニピュレータを開発している。

開発したマニピュレータの性能を評価するための実験を行っている。まず、外套管に実装した柔剛可変機能の評価実験では、200kPaの空気圧によって形状を固定させること、固定した際に480mNmの変形外力に対して姿勢を維持させることに成功している。そして二種類のワイヤを組み合わせた外套管操作原理の評価実験では外套管全体の変形を3°以内に抑えた状態で先端部分を28°屈曲させることに成功している。ガイドピン及び模擬材料を用いた生体内部への進入性能の評価実験では屈曲半径50mm以上の通路に進入させること、及び分岐点において複数の通路から適切な通路を選択して進入させることに成功している。形状を固定した状態では内部を通過する機器の操作に伴う先端の移動を20mm以内に抑えることを達成している。画像機器を用いた実験では超音波エコー及びMRIからの外套管の位置確認が可能であることを確認している。最後にブタを用いた動物実験では従来の内視鏡手術機器で届かない場所へ外套管を挿入し、機器を誘導することに成功している。

方法と評価実験の結果から、機構的なロックを用いた柔剛可変機構と先端屈曲方法の有効性が検証されて

おり、体内深部への低侵襲治療のための有効な手段としての可能性をもつと判断できる。次の研究課題として挙げられている機構的な遊びによる運動範囲の削減と画像誘導装置による位置姿勢の確認性能の向上に対する方法が今後検討されることでさらに活用度の高い機器への発展が予想される。

本論文の結論として、開発した外套管マニピュレータの体内進入性能と柔剛可変の性能から、体内深部へ低侵襲な手段での通路確保を実現でき、体内深部組織の低侵襲治療のための有効な機器としての可能性を述べている。

以上のように本論文ではスライダ、リンク、空気圧を組み合わせた独創的な方法によって柔剛可変の機能を実現させることにより、低侵襲に体内深部への手術器具通路を確保する方法を開発した。開発したマニピュレータは体内深部組織に対する低侵襲手術を支援する新たな機器として発展することが期待される。

なお、本論文は、東京大学の土肥健純 教授、正宗賢 助教授、松宮潔 先生、廖洪恩 先生との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発及び検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（情報理工学）の学位請求論文として合格と認められる。