

## 柔軟メカニズムを用いた低侵襲軟性内視鏡デバイス

大澤, 啓介

<https://hdl.handle.net/2324/4784613>

---

出版情報 : Kyushu University, 2021, 博士 (工学), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 大澤 啓介

論 文 名 : 柔軟メカニズムを用いた低侵襲軟性内視鏡デバイス

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

大腸がんは罹患数の多いがんの 1 つであるが、早期発見・治療することで完治可能であり、自然開口部から病変にアプローチできる軟性内視鏡が有用である。一方で、その操作には熟練を要する手技が必要であり、医師の技術習得の不足による検査・治療時間の増加は患者・医師の双方の負担となる。このような背景から内視鏡操作を支援するための低侵襲デバイスが盛んに研究されているが、従来の機械部品を用いた構造では、部品点数が多く、小型化が困難という課題がある。そこで近年、弾性体の変形を用いて動力を伝達、変換し所望の動作を達成する柔軟（コンプライアント）メカニズムが注目され、その医療応用が検討されている。柔軟メカニズムは一体型として構成できるため構造がシンプルであり、軽量かつ小型である。一方で、比較的大きな力が加わると柔軟部に応力が集中し破損しやすい点や非線形性を伴う大変形が起りやすく、形状設計に繰り返しの解析、疲労試験等の特段の配慮を要する点が欠点として挙げられる。このような観点から柔軟メカニズムを用いた軟性内視鏡デバイスの設計手法は確立されていない。

そこで本研究では、柔軟メカニズムを用いた低侵襲軟性内視鏡デバイスの設計手法と力学モデルを構築し、模擬腸管や摘出ブタ大腸を用いてその妥当性を評価し、従来手法と比較することで柔軟メカニズムの優位性について検証する。

第 1 章では、本研究の背景、目的について述べた。社会的背景と医療技術の現状、柔軟メカニズムの医療応用について説明し、本研究が解決すべき課題を明らかにした。

第 2 章では、低侵襲手術を支援する医療ロボットの関連研究についてまとめた。機械工学の観点から硬性内視鏡ロボットと軟性内視鏡ロボットの 2 軸で分類することを試み、その中で本研究の意義を示した。また、先行研究で開発したウォームギア機構を用いて複数の歯車を駆動することで推進する機構を用いた自走式大腸内視鏡ロボットについて説明し、その研究開発過程で明らかとなった課題について述べ、解決すべき課題を示した。

第 3 章では、柔軟メカニズムについて体系的にまとめた。柔軟メカニズムの根幹となる弾性ヒンジを用いた柔軟関節の設計手法やモデリング手法に関する研究は多く行われてきたが、その中で本研究の位置付けを明らかにした。

第 4 章では、柔軟メカニズムを用いた自走式大腸内視鏡ロボットの新たな推進機構を提案し、その設計手法と力学モデルを構築した。提案機構は柔軟なパドルにより組織をかき分けながら推進する機構であり、直径 26 mm、長さ 40 mm のシンプルかつコンパクトな試作機の製作に成功した。また、模擬腸管を用いた試作機の動作試験によって、提案機構の基礎的な駆動特性と力学モデルの妥当性を定量的に評価した。この評価実験により、提案機構は内径の異なる模擬腸管において 1N 近い推進力を安定して得られることを示した。これにより、軟性臓器内での内視鏡推進手法として、柔軟メカニズムの応用が有用な手段となることを示した。

第5章では、第4章の柔軟メカニズムを用いた推進機構について、内視鏡下で組織を扱うためのマニピュレータへの展開を検討した。提案手法は柔軟メカニズムを用いてマニピュレータを1部品で構成し、直径2.5 mmのコンパクトな試作機の製作に成功した。また、提案機構の設計手法と運動学モデルを構築し、有限要素法と比較しながらそれらの有効性を定量的に評価した。さらに、手持ちデバイスを用いた評価実験を行い、内視鏡下で摘出ブタ大腸粘膜の持ち上げが可能なことを明らかにした。これにより、本論文で提案する柔軟メカニズムが内視鏡下で組織を扱うためのマニピュレータへの応用においても有用であることを示した。

第6章では、結論として以上の研究結果を総括すると共に、残された研究課題と今後の発展性について言及した。本研究の重要な貢献は、柔軟メカニズムを用いた軟性内視鏡デバイスの新たな機構とその設計手法とモデリング手法を提案し、定量的評価によりその有用性を示した点にある。これらの成果は、柔軟メカニズムを用いた実用的な医療デバイス開発の契機となりうる。