

大学発ベンチャーによる 腹腔鏡手術支援ロボットの開発

Development of surgical robot by university venture

只野 耕太郎¹⁾・川嶋 健嗣²⁾

Key Words: Minimally Invasive surgery, Surgical robot, Camera holder, Master-slave system, Haptics, Pneumatic control

■はじめに

腹腔鏡手術を支援するロボットシステムとして da Vinci が有名であるが、国内では最近 Senhance が導入された。また、いくつかのベンチャーが実用化を目指して開発を進めているなど新しい展開が見られる。世界的な高齢化に伴いロボットでの手術件数は、今後大きく伸びることが予想されており、手術支援ロボットの実用化に向けた開発が活発となっている¹⁾。

著者らは、空気圧駆動システムの精密制御技術を基盤とし、2003年から東京工業大学と東京医科歯科大学の共同研究を実施して腹腔鏡手術を支援するロボットの開発を行っている。2012年から文部科学省の大学発新産業創出拠点プロジェクトの支援を得て、2014年に大学発ベンチャーであるリバーフィールド株式会社を起業して手術支援ロボットの開発を進めている。本稿では実用化した内視鏡保持ロボットおよび開発中の手術支援ロボットを紹介する。

■内視鏡保持ロボット

腹腔鏡手術では、執刀医のほかに内視鏡カメラを執刀医の口頭指示の下に操作するスコピストが必要である。医師不足の解消や安定した視野の提

供のため、術者の目を支援するロボットが求められている。スコピストの代わりに内視鏡を把持するロボットの開発は以前から行われているが、著者らも手術支援ロボットの研究開発過程から、より早く実用化できるロボットとして、内視鏡保持ロボットに着目した。市販品はすべて電動駆動であり、モータ音が若干生じるものがある。また、操作インターフェースにスイッチや音声入力を用いられており、より直感的な操作が求められていると考えた。そこで、術者の帽子にジャイロセンサを装着し、術者の頭部の動きに同期して空気圧駆動の内視鏡保持ロボットが左右上下に動作するシステムを開発した⁴⁾。フットスイッチを押している間はジャイロセンサでの動作が実現される。ズームインアウトと内視鏡の軸回りのロール動作は誤動作を防ぐため別途フットスイッチを設けて操作する方法とした。空気圧駆動による滑らかで静音な動作を実現した。

2011年から開発を開始し、2015年に大学発ベンチャー企業で実用化した。図1の左に示す製品名 EMARO (Endoscope Manipulator Robot から命名) である。手振れがない、スコピストが不要である、5段階の操作スピード選択が可能などの特長を有している。本製品は国内のみの販売である。徐々にではあるが、医師不足が深刻な地方の病院などでの導入が進んでおり、現在全国16の病院で導入されている。ただし、da Vinci など手術支援ロボットで広く使われている遠隔回転中心機構を採用したことから、挿入孔の上空をロボットが占

Kotaro Tadano¹⁾, Kenji Kawashima²⁾

¹⁾東京工業大学 未来産業技術研究所 / リバーフィールド株式会社 : Laboratory for Future Interdisciplinary Research of Science and Technology, Tokyo Institute of Technology/RIVERFIELD Inc.

²⁾東京大学大学院 情報理工学系研究科 / リバーフィールド株式会社 : Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo/RIVERFIELD Inc.



図1 開発の実績と計画

有する。そのため、一部手技では術者との干渉が生じるなどの課題がある。そこで、図1中央に示す次世代の内視鏡保持ロボットの開発を進めている。遠隔回転中心機構ではなく、多関節アーム型とすることで、関節数は増えるが挿入孔上空をロボットが占有しない利点がある。

■開発中の手術支援ロボット

術者の手を支援するロボットとしては、直感的な操作性からマスタ・スレーブ型が有効である。著者らはスレーブ側の駆動に空気圧を採用し、力覚提示が可能であることを特長とした手術支援ロボットを開発している³⁾。2003年からこれまでに、動物実験や医師のヒアリングを通じて10回以上の試作を実施した。それらの成果を踏まえて、2022年に図1の右に示すシステムを上市予定である。図2に最新の試作機を示す。製品版にかなり近い試作の開発に成功している。マスタ側はオープンコンソールとし、鉗子による押付け力、引張り力および鉗子グリップ部での把持力を操作者に提示するために電動モータを搭載したマニピュレータとなっている。

スレーブ側は、大きくロボット鉗子、鉗子保持ロボットとベース部で構成される。ロボット鉗子は外径5mmと8mm、鉗子先端は様々な形状のものを試作している。先端の関節部はワイヤを介して根本駆動部の空気圧シリンダで屈曲動作を実現している。空気圧シリンダは手首に相当する2関節の屈曲と把持を実現するために、鉗子根本部に合計3本配置されている。

鉗子保持ロボットは、挿入孔に大きな力が作用しないことが求められる。そこで、図2に示した手術支援ロボットでは、スレーブ側の保持ロボットアームに、遠隔回転機構ではなく、多関節アーム型を採用した。人の腕に例えると肩の2関節、肘の1関節は電動駆動を採用し、高剛性な動作を実現した。一方で、手首の2関節は空気圧駆動を採用することで、ロボット鉗子を柔らかく保持し、挿入孔に過度な力が作用しない制御方法を実装した⁴⁾。アームは3本構成とし、中央に市販の内視鏡カメラが搭載できる。内視鏡カメラは術者が自由に選択できるオープンプラットフォームとした。

ベース部はなるべく床の占有面積を小さくでき



図2
開発中のマスタ・スレーブ型手術支援ロボット

ること、セッティングおよび移動が容易であることなどを考慮した設計とした。重量は約 450kg であり、100V 電源で駆動することができる。2020 年 2 月に製品版一步手前の β 試作機が完成し、実用化に向けた最終の改良を進めている。

■今後の手術支援ロボットの展開

手術支援ロボットをデジタルプラットフォームと位置づけ、仮想空間とロボットをつなぎ、医療データを収集して AI を活用、より付加価値の高い情報などの提供を目指す Surgery4.0 の概念が提唱されている⁵⁾。

著者らが開発している手術支援ロボットは、術中の把持力や臓器への接触力がデータとして取得できることから、医療データとしての利活用が期待される。また、マスタ・スレーブ型の手術支援ロボットは 5G など高速通信の普及によって、遠隔での治療や熟練医による指導での活用に有効である。その際に画像からの位置情報だけでなく、力覚情報が安全性、操作性の向上や習熟度の短縮に大きく寄与するものと期待される。

■おわりに

国立大学発ベンチャー企業として、実用化した空気圧駆動の内視鏡保持ロボット EMARO、開発中の次世代システムおよび力覚提示機能を有するマスタ・スレーブ型手術支援ロボットを紹介した。今後の手術ロボットはサイバー空間とのリンクによる知能化、高機能化が進むと予想される。手術支援ロボットは今後様々なものが実用化され、成長期を迎えることが期待される。

文 献

- 1) 安藤岳洋, 腹腔鏡手術支援ロボットの製品化動向, 日本コンピュータ外科学会誌, 2019; 21(2), 55.
- 2) 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 田中直文, 小嶋一幸, 空気圧駆動ロボットアームとヘッドマウントディスプレイを用いた立体内視鏡操作システム, 日本医工学治療学会, 2012; 24-3:177.
- 3) Tadano K, Kawashima K, Kojima K, Tanaka N, Development of a pneumatic surgical manipulator IBIS IV, Journal of Robotics and Mechatronics, 2010; 22-2:179.
- 4) 相澤航輝, 金澤雅夫, 原口大輔, 只野耕太郎, 準能動関節を有する挿入孔への位置合わせが不要な手術支援ロボットアームの開発, 1A1-B06, 2019, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会.
- 5) Feußner H, Park A, Surgery 4.0: the natural culmination of the industrial revolution?, Innovation Surgical Science, 2017; 2-3:105.