

低侵襲手術用内視鏡のオーバーチューブの開発に関する研究 ～ 空気圧による屈曲機構の開発 ～

Development of Overtube for invasive Surgery

～ Development of pneumatic bend section ～

○ 佐伯 晋一郎, 花房 昭彦 (芝浦工業大学),

鈴木 直樹, 服部 麻木 (東京慈恵会医科大学 高次元医用画像工学研究所)

Shinichiro SAEKI, Akihiko HANAFUSA, Shibaura Institute of Technology,

Naoki SUZUKI, Asaki HATTORI, Institute for High Dimensional Medical Imaging Jikei University School of Medicine

Abstract: Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES) and single port surgery (SPS) have attracted the attention as a new minimally invasive surgery. NOTES is a surgery that inserts a flexible endoscope from the mouth or other natural orifice, and reaches into the abdominal cavity through the lumen wall, such as stomach. SPS is a surgery that penetrates the body surface through single port and goes into the abdominal cavity. Therefore, the procedure offers many advantages; prevent the development of wound on the body surface, reduce infection and hernia, improve post operative recovery and effect of early rehabilitation. The endoscopic robot that adapts to NOTES and SPS has been under development, however, they don't have enough feature to reach target organ. Therefore, it is necessary to develop technologies and equipments for supporting the endoscopic robot. In this study, overtube that supports the movement of the endoscopic robot used in NOTES and SPS has been developed. Rubber actuator made by silicon tube has been developed and about 162[deg] bending was possible using fluid such as air and water. Also, the endoscopic robot was able to bend in three direction by setting three rubber actuators around the robot.

Key Words: Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery, Single port surgery, Minimally invasive surgery, Overtube

1. 序論

近年, 新たな低侵襲手術として, Natural Orifice Transluminal Endoscopic Surgery (NOTES) や Single port surgery (SPS) と呼ばれる内視鏡手術が注目されている. NOTES は, 軟性内視鏡を口や肛門などの自然開口部から挿入し, 胃などの管腔壁を貫いて腹腔内で処置を行う事により, 感染やヘルニアの減少, 早期回復, 優れた美容性など多くの利点がある⁽¹⁾. また, SPS は腹部に設けた単一の切開創から内視鏡を挿入して処置を行う手術方法であり, NOTES と同様に注目されている⁽²⁾. しかし, 単純な検査や処置を目的として開発された通常の内視鏡と周辺機器のみで, これらの外科的処置を行うための十分な機能がなく, 到達方法や処置技術などの安全性に多くの欠点が残っている. 幅広く普及するためには, NOTES や SPS のための技術や機器の開発が必要とされている. これまでには, スライダリンク機構と空気圧を用いた柔剛可変な外套管⁽³⁾や管腔内ロボットシステム⁽⁴⁾等が研究されている.

現在, NOTES や SPS などの内視鏡による外科的処置に対応するための内視鏡ロボットが東京慈恵会医科大学の高次元医用画像工学研究所で開発されている⁽⁵⁾. それにより通常の内視鏡を利用した内視鏡手術よりも, 安全で高度な外科的処置が可能となる. しかし, 目的の手術部分への到達方法や処置を行う際の姿勢制御を行うための手段がまだ十分ではない. そこで内視鏡ロボットの動作性を向上させるための機器の開発が求められている.

本研究では, 内視鏡ロボットを目的の場所へ誘導し, 姿勢形状の維持をするために, 能動的に屈曲が可能な屈曲部を有する支援システムの開発を目的とする. 本報告では, 流体によって駆動する屈曲機構の開発について述べる.

2. 対象と方法

2.1 システム構成

使用する内視鏡ロボットは, 内視鏡スコープ(PENTAX EG-1840)の両脇に先端が鉗子のロボットアームを装備し, 病変部を持ち上げる, 切開部を閉じる等の高トルク作業を可能にしている. ロボットアームは位置と角度を保持するためにチタン製の固定具で内視鏡と固定されている.

目的とする動作が可能なシステムとして, 能動的に屈曲が可能な屈曲機構を複数連結する構造を提案した. 内視鏡ロボットの周囲を覆うように装着し, 共に体内に押し進め, 機構が屈曲動作を行う事で中心の内視鏡ロボットも同様の動作を行う. また, 屈曲状態を維持する事で姿勢を保持する事を可能にする.

2.2 屈曲機構

屈曲機構を備えた手術補助ツールとして, ワイヤで駆動する方法は多く研究されている. しかし, 屈曲部分を複数有する場合, 配線の増加による内部の複雑化, それによる柔軟性の低下が考えられる. さらに, 内視鏡の挿入経路が長く複雑な場合, ワイヤの制御が困難である. また, 電気による駆動方法は, 漏電した際に大きな危険が生じる. 以上の理由から, 安全で柔軟, 軽量の CO₂ などの気体や生理食塩水などの液体によって駆動する屈曲機構を提案する. Fig.1 のように伸長・湾曲動作を行うアクチュエータを3つ配置し, 単数または複数のアクチュエータを駆動する事で任意の方向へ屈曲を可能にする.

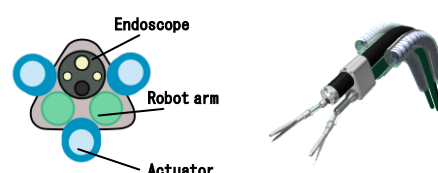


Fig.1 Mechanism of flexion for endoscopic robot.

2.3 ラバーアクチュエータ

伸長動作を行うアクチュエータとして、ゴムチューブを膨張させる方法を提案した。しかし、内視鏡ロボットの剛性が高いため、径方向に膨張力が分散してしまい、屈曲動作を行う力が不十分であった。また、ゴムチューブが圧力に耐えられずに変形・破損してしまった。条件を満たすためには伸長方向・湾曲方向への効率的な力の伝達と高い圧力に耐えられる素材や形状が求められる。

それらの条件を満たすアクチュエータとしてラバーアクチュエータを作成した(Fig.2)。使用したシリコンチューブは外径7mm、内径5mmで全長が100mmである。効率的に伸長方向に力を伝達し、高い圧力の負荷に耐えることができるように、シリコンチューブに糸を4mm間隔で網目状に巻き、一定間隔で径方向への膨張を抑えるようにした。また、シリコンチューブの片側にのみ同素材のシリコンで1mm厚みをつけ、膨張を制限することで湾曲動作を可能にしている。試作したアクチュエータは、空気と水の各媒体で駆動するとFig.3に示すように約162°屈曲させることが可能であった。

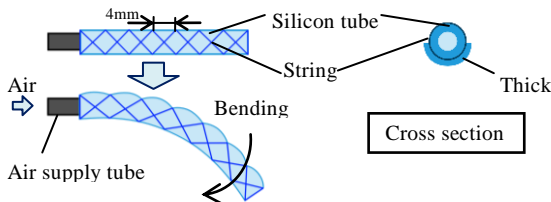


Fig.2 Mechanism of rubber actuator.

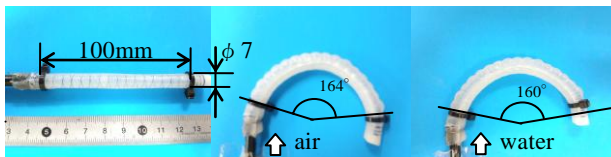


Fig.3 Motion of rubber actuator that utilize air pressure and water pressure.

3. 動作実験

内視鏡ロボットに、作製したラバーアクチュエータを3個等間隔で固定し、動作実験を行った。現状では機能確認をするためのモデルとして、アクチュエータの両端を簡易的に結束バンドで固定している。アクチュエータ中心部も約20mm間隔で2カ所結束バンドで固定し、動作時にアクチュエータと内視鏡ロボットが密着するようにしている。駆動媒体には水を使用し、シリンジで圧力を負荷した。

動作実験の結果をFig.4に示す。各アクチュエータを順に駆動する事で内視鏡ロボットを3方向に約41°屈曲させることが可能であった。また、屈曲を維持し、内視鏡ロボットの姿勢を保つことが可能であった。駆動させた際、アクチュエータ先端部のずれや中腹部にうねりが発生していたことから、内視鏡ロボットとアクチュエータを接続するための固定具の作製が必要だと考える。今回は3方向のみに屈曲動作を行ったが、各アクチュエータを制御することで、その他の方向への屈曲動作も可能にする予定である。

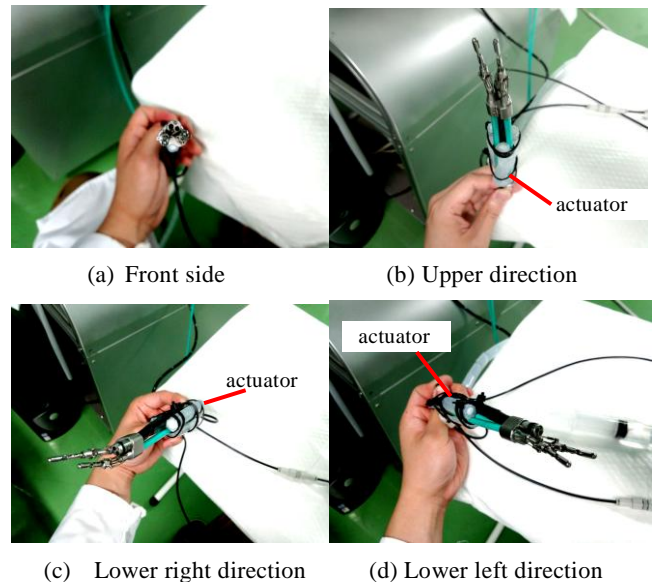


Fig.4 Experiment result of bending motion in each direction: a) front side. b) upper direction. c) Lower right direction. d) Lower left direction.

4. まとめ

内視鏡ロボットの動きの支援を目的とした、流体で駆動するアクチュエータを利用した屈曲機構のプロトタイプを作成した。動作検証実験では3つのアクチュエータを結束バンドで固定し、各アクチュエータにシリンジで水圧を負荷する事で、内視鏡ロボットを3方向に屈曲させる事が可能であった。今後は内視鏡ロボットへのアクチュエータの接続方法の検討や水圧による制御部の開発を進めていく。また、医学的な面から必要な条件を考え、部材や構造の小型化などの改善を行っていく必要がある。

参考文献

- (1) 徐号, 富川盛雅, 小西晃造, 家入里志, 田上和夫, 橋爪誠, Natural Orifice Translumenal Endoscopic Surgery(NOTES)の現状と将来展望, 福岡医誌, vol.100, no.2, pp.43-45, 2009
- (2) Nobutsugu Abe, Hirohisa Takeuchi, Hisayo Ueki, Osamu Yanagida, Tadahiko Masaki, Toshiyuki Mori, Masanori Sugiyama, Yutaka Atomi, Single-Port endoscopic cholecystectomy, J Hepatobiliary Pancreat Surg, pp.633-638, 2009
- (3) 八木昭彦, 松宮潔, 正宗賢, 廖洪恩, 土肥健純, スライダリンク機構及び空気圧を用いた可撓性外套管のための柔剛可変機構における基礎的検討, 第14回日本コンピュータ外科学会大会, pp.129-130, 2005
- (4) Daniel J. Abbott, Chris Becke, Richard I. Rothstein, and William J. Peine, Design of an Endoluminal NOTES Robotic System, international Conference on intelligent Robots and Systems San Diego, pp.410-416, 2007
- (5) Suzuki, N., Hattori, A., Tanoue, K., Ieiri, S., Konishi, K., Tomikawa, M., Kenmotsu, H., Hashizume, M.:Scorpion shaped Endoscopic Surgical Robot for NOTES and SPS with Augmented Reality Functions.MIAR2010. LNCS, vol.6326,pp.541-550. Springer, Heidelberg(2010)