

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：12602

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K18001

研究課題名(和文)直感的な手術を実現する多自由度手術支援ロボット

研究課題名(英文)Multiple-DOF surgical robot for intuitive operation

研究代表者

菅野 貴皓(Kanno, Takahiro)

東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・助教

研究者番号：50714234

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、手術支援ロボットにおいて、アームの干渉などを防ぐために、従来のロボット鉗子よりも自由度の高い多自由度鉗子を開発した。それぞれ2自由度の肘関節と手首関節、すなわち合計4自由度を有する鉗子を試作した。実用化を考慮してアクチュエータのある駆動部と作業を行う鉗子部を分離できるように、クランクと磁石を用いた着脱機構を提案した。

また、このような多自由度アームを操作者が容易に取り扱えるシステムの実現を目指し、1台のマスタ(操縦装置)を用いて2本のロボット鉗子を操作する制御手法を開発した。運動学情報と力覚情報を用いて、縫合針の刺入を検知し、一方の鉗子から他方の鉗子へと縫合針を自動で受け渡した。

研究成果の概要(英文)：In this research, in order to prevent interference of arms in the surgery assistance robot, we developed a multi-degree-of-freedom forceps with higher degree of freedom than conventional robot forceps. We developed a prototype forceps with elbow joint and wrist joint with 2 degrees of freedom, i.e. 4-degrees-of-freedom in total. Considering practical application, a detachable mechanism using cranks and magnets was proposed so that a driving part with an actuator can be separated from a forceps part that performs surgery inside abdominal cavity. In addition, with the aim of realizing a system that allows an operator to easily handle such multi-degree-of-freedom arm, we developed a control method to operate two robotic forceps using one master arm. Using the kinematics information and force sense information, insertion of a suturing needle is detected. The suture needle was automatically delivered from one forceps to the other forceps.

研究分野：ロボット工学

キーワード：手術支援ロボット 鉗子マニピュレータ マルチラテラル制御

### 1. 研究開始当初の背景

内視鏡手術は、従来の開腹手術と比較して傷口が小さく術後の回復が早いという利点があるものの、鉗子の機構上の制約から開腹手術よりも高度な技能が必要である。現在、この課題を解決するための手術支援ロボットが多数開発されている。現在実用化されているロボット鉗子の多くは2自由度の手首関節を有しているが、体外のアームの干渉を抑えるために体内に4自由度を有する鉗子を開発した。

実際の手術現場においては、鉗子マニピュレータを洗浄・滅菌するためにアクチュエータから容易に着脱できることが望まれるが、体内で4自由度を有し、かつ着脱が容易なものは実現されていない。また、体内4自由度鉗子と既存の体外4自由度ユニットを組み合わせると計8自由度の冗長マニピュレータとなるが、その冗長自由度を医師が直感的に操縦するための方法も確立していない。

### 2. 研究の目的

本研究では、上記の課題を解決するために、洗浄が可能な鉗子部と洗浄が不可能な駆動部を容易に着脱することが可能な腹腔内4自由度鉗子の機構を提案する。

また、ヒトよりも自由度の高いロボットの制御方法についての基礎的検討として、1台のマスタアームを用いて2台のロボットを操作可能な半自動遠隔操作システムを試作する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 着脱機構を有する多自由度鉗子

本研究では、直動アクチュエータで駆動される手術支援ロボットの駆動部と鉗子部を容易に着脱できる機構を提案する。

提案する伝達機構を図1に示す。駆動部は、直動の空気圧シリンダの先端に磁石を装着している。一方、鉗子部については、図中のクランク機構を用いることによって、シリンダの押し動作をワイヤを引く動作に変換している。クランク機構の先端に鉄板が装着されており、この鉄板と駆動部の磁石が磁力により吸着され、駆動部と鉗子部が繋がる。この機構を用いることの利点としては次のようなものが挙げられる。

- 駆動力の伝達を引っ張りではなく押しによって行うため、駆動部と伝達部を噛み合わせる必要がない。
- 空気圧シリンダの断面積は押しの方が大きいため、押し側を用いることで出力を大きくできる。
- 摺動部のないシンプルな滅菌アダプタによって駆動部と鉗子部を分離できる。
- クランクのプーリ径を変更するだけ

で鉗子の動作倍率を変更できるため、駆動部を変えずに鉗子の可動範囲や出力、外径などの設計変更が可能である。

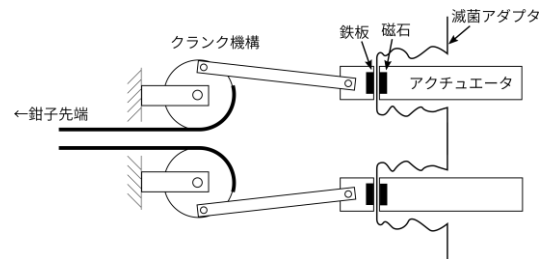


図1 クランクを用いた着脱機構

#### (2) マルチラテラル半自動遠隔操作

本研究では、手術ロボットの手からもう一方の手へと縫合針を受け渡す作業を半自動で行うことを目的として、1台のマスタにより2台のロボットを操作するシステムを提案する。2台のスレーブ（以下A1, A2）のうち一方をマスタ・スレーブ方式で遠隔操作し、もう一方を作業タスクに応じて以下のように自動化する。

1. 手でA1を臓器モデルへ移動。
2. A1は針が臓器モデルに刺入したことを検知し、自動的に停止。A2が針の位置まで自動的に移動。
3. A2が自動的に針を把持。
4. A1は針を離し、A2が手動に切り換わり針を臓器モデルから引き抜く。

上記の手順を図2に示す。

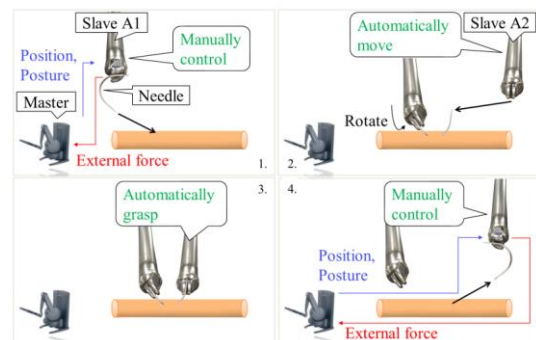


図2 半自動縫合の手順

### 4. 研究成果

#### (1) 着脱機構を有する多自由度鉗子

試作した4自由度鉗子を図4に示す。体内の第1関節、第2関節はそれぞれステンレスの切削スプリングを用いた柔軟関節であり、先端に接続したステンレスワイヤを引っ張ることによって柔軟関節の屈曲動作を実現する。従来は8本の内径φ10mmのシリンダで駆動していたが、本稿では6本の内径φ16mmのシリンダで駆動し、3本を第1関節に、残りの3本を第2関節の駆動に用いる。

また、中央にグリッパなどの自由度を駆動できるようにシリンダを1本配置している。本機構を用いることで、着脱に要する時間は5秒程度であった。着脱の際にクランク機構



図3 試作した鉗子

が固定されていないため位置合わせに時間を要したが、ガイド機構を追加することにより着脱時間をさらに短縮することが可能と考えられる。

また、本研究で試作した鉗子は空気圧シリンダの位置計測に小型で高分解能なセンサが必要であったため、分解能 2[um]の磁気式エンコーダを試作した。

#### (2) マルチラテラル半自動遠隔操作

本研究ではスレーブ鉗子マニピュレータが貫通対象物に針を刺入したことを検知するための閾値を実験的に決定した。実験の様子を図4に示す。本実験では、スレーブ鉗子マニピュレータで湾曲針を把持し、胆管モデル(Wetlab, 胆管キット:  $\Phi 8[\text{mm}] \times 60[\text{mm}]$ )に刺入し、湾曲針を胆管の空洞内に通し、二回目の貫通を行うことで針を露出させる。予備実験により、貫通に伴う外力が小さく、力の大きさの情報のみで湾曲針の貫通の有無を

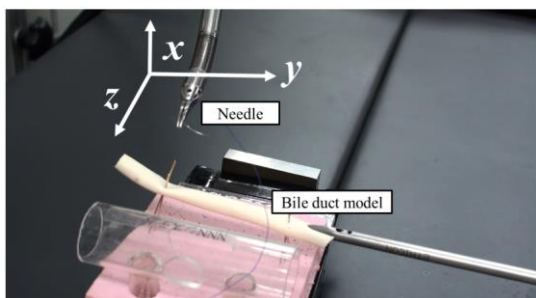


図4 胆管モデルを用いた実験

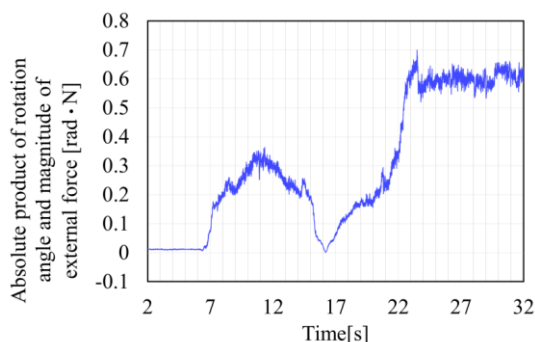


図5 鉗子先端の力と角度の積

判定することは困難であると判断した。そこで、新たな検出方法として、鉗子マニピュレータの先端にかかる力の大きさと鉗子マニピュレータの回転角度の積の絶対値を求めた。その値を図5に示す。図より、貫通時(22[s])において積が十分大きな値をとつ

ており、針の貫通を検出できることが分かった。今後は、より高次元なデータや AI を利用して複雑なタスクの自動化を試みる予定である。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計2件)

- ① K. Watanabe, T. Kanno, K. Ito, K. Kawashima, Human-Integrated Automation of Suturing Task with One-Master Two-Slave System for Laparoscopic Surgery, 2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM), Banff (Canada), 2016, pp. 1180-1185.
- ② 萱野貴皓, 只野耕太郎, 川嶋健嗣, 清潔部と不潔部の着脱を考慮した空気圧駆動腹腔内4自由度鉗子マニピュレータ, 第16回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市), 2015, p. 113-2.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計2件)

名称: Sterile attachments for a surgical robotic system

発明者: Daisuke Haraguchi and Takahiro Kanno

権利者: Tokyo Medical And Dental University and Riverfield, Inc.

種類: 特許

番号: 62/261,208

出願年月日: 2015/11/30

国内外の別: 国外

名称: 細径チューブの接合方法

発明者: 萱野貴皓、川嶋健嗣

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2016-001248

出願年月日: 2016/01/06

国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

<http://www.tmd.ac.jp/i-mde/www/bmc/research/index.html>

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅野 貴皓 (KANNO, Takahiro)  
東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・  
助教  
研究者番号：50714234

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：

(4) 研究協力者

原口 大輔 (HARAGUCHI, Daisuke)  
渡邊 賢吾 (WATANABE, Kengo)