

腹腔鏡手術用ミニチュアロボットハンドの腕部の開発

Development of the wrist part of the miniature hand robot for laparoscopic surgery

○中楯龍(九大) 荒田純平(九大) 小野木真哉(九大) 小栗晋(九大) 宗崎良太(九大) 大内田研宙(九大)

赤星朋比古(九大) 池田哲夫(九大) 橋爪誠(九大)

Ryu NAKADATE, Jumpei ARATA, Shinya ONOGI, Susumu OGURI, Ryota SOZAKI, Kenoki OHUCHIDA, Tomohiko AKAHOSI, Tetsuo IKEDA, Makoto HASHIZUME, Kyushu University

Abstract: The master slave robot for laparoscopic surgery provides a intuitive control interface for surgeon. In order to provide further intuitive control, we propose a master slave robot hand with five fingers which can be inserted into abdominal cavity. In this paper, the developments of a wrist part of the proposed robot hand is described. The proposed robot hand has 22 degrees of freedom (DOF) in total, which consists of 3 DOF in each finger x 5, and 6 DOF in wrist. The cross section is less than 12 mm in diameter which is the maximum size of the inner diameter of standard trocar.

Key Words: Robot hand, Master slave, Surgical robot

1. はじめに

外科手術では患部臓器にアクセスするため健常な皮膚等にも切開を加える必要がある。腹腔鏡手術はこれをできるだけ減らすため、小さい体表の穴から細長い道具とカメラを挿入して行う手術である。カメラ越しに体外から道具を操作するのは難しい。これを解決するため、これまでにマスタスレーブ型手術ロボット⁽¹⁾が普及しており、直感的な操作を提供している。

マスタスレーブ型の内視鏡手術ロボットはその操作が直感的であることに特徴がある。この直観的な操作感を極限まで追求したスレーブの形態として、著者らは人の手と同一形状を持ち、腹腔内で操作者の手指の動作を再現するミニチュアハンドロボットを提案する。あたかも自分の手を体内に突っ込んでいのように感じられる手術ロボットを最終的な目標とするため、形状は人の手と同じとし5本指を持たせる。一般的なトロッカーの最大内径が12mmであるので、スレーブ側の断面径はそれ以下である必要がある。

ハンドロボットは過去に多くの研究があるが⁽²⁻⁴⁾、多くは人の手のサイズである。小型ハンドロボットの研究⁽⁵⁾は1指あたりせいぜい1自由度が限界であった。

著者らはこれまでの研究で、手首径10mm、内径12mmのトロッカーに挿入可能な15自由度5本指ロボットハンドの、手指部分(Fig.1)、および同自由度数の検出が可能なデータグローブ(Fig.2)を開発し報告した⁽⁶⁾。

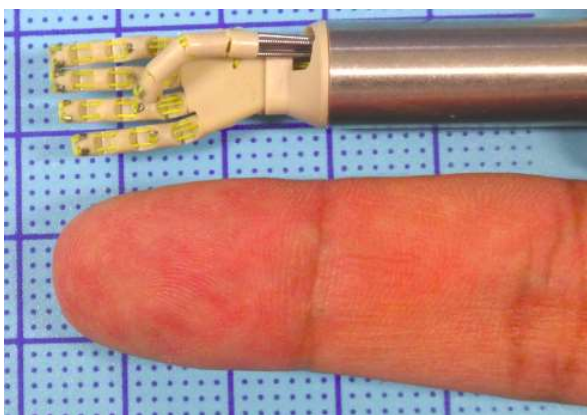


Fig.1 Hand part of the slave robot.

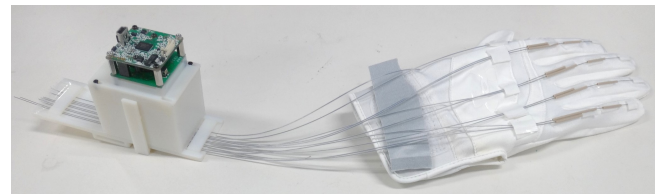


Fig. 2 Master glove

しかし、手術システム全体を構成するためにはあと腕部分(手首・肘・肩)とカメラ、およびそれらのマスタが必要である。本稿ではこのスレーブロボットの腕部分の開発について報告する。

2. 腕部の構成

腕部の自由度は手掌を任意の位置姿勢に移動可能な6自由度とした。Fig.3に自由度配置示す。指部と同じく関節には凹凸積み上げ式のヒンジを用い(Fig.4)、1関節あたり2本のワイヤで拮抗駆動を構成した。

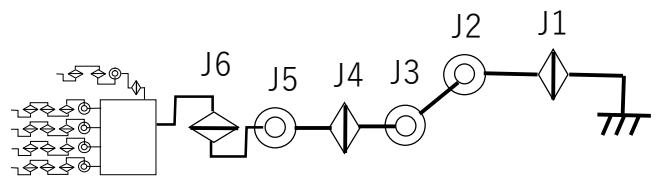


Fig. 3 Configuration of degrees of freedom

15自由度の指部の駆動にワイヤ30本を用いており、これらは腕の中を経由してモータに接続される。既報告のプロトタイプでは腕は曲がらないためワイヤ経路は直線であったが、本開発では腕が曲がるため、ワイヤ経路長が曲げに対し不変となる蛇管ワイヤ方式を採用した。シースにはコイルチューブを使用した。指駆動用のワイヤ30本に加え、腕の基端関節(J1)以外の動作に10本のワイヤを用いるため、計40組のワイヤ・コイルチューブが腕の内部を通っている。手首の曲げによりこれらコイルチューブが腕内を移動するため、腕の内部に適度なクリアランスが必要であり、外径11mmとなった。開発した腕部をFig.5に示す。モータにはR/Cサーボを用い、汎用PCから角度指令値をUSB経由で与えた。

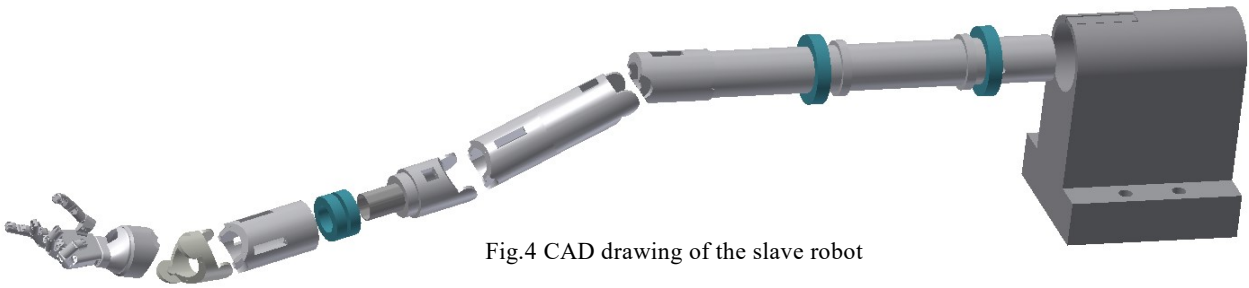


Fig.4 CAD drawing of the slave robot

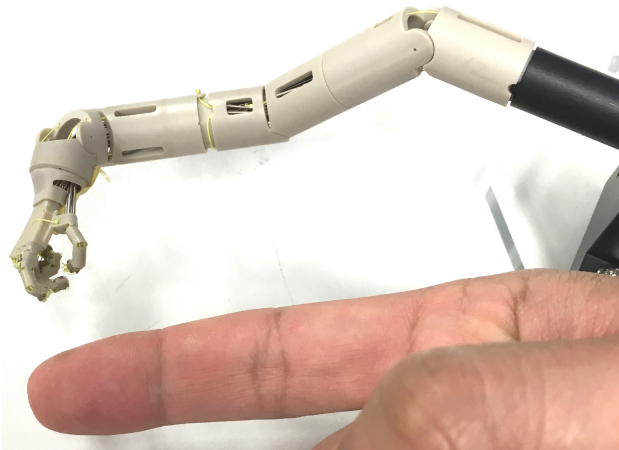


Fig.5 Slave robot with wrist part

3. 評価試験

3.1 関節角度

腕の関節について指令値への追従性を評価した。可動範囲フルストロークの指令値を2往復与え、実際の屈曲角を画像解析機能つきカメラで計測した。肘関節(J3)の計測結果を Fig.6 に示す。ヒステリシスが最大 10 deg 程度見られた。

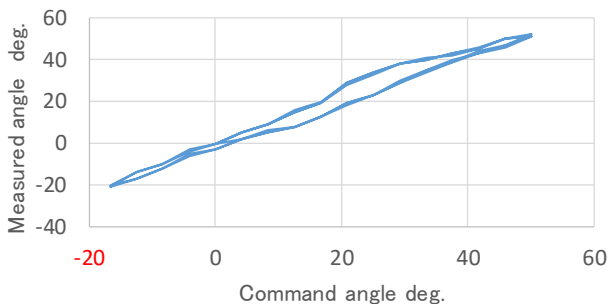


Fig.6 Angle of elbow joint J3 and its command value

3.2 指部の応答性

腕を曲げたときの指部の運動性能の劣化を検証するため、示指に屈曲・伸展の指令値をマスタグローブにより約 2Hz で与え、マスタ・スレーブ双方を同時にカメラで撮像した動画から双方の位相差とスレーブのストロークを計測した。結果を Fig.7 に示す。腕を直線にした場合と、肘・手首を最大限曲げたときの位相差は共に約 100ms、スレーブの屈曲ストロークは約 70deg.となり、差異が見られなかった。100ms の応答遅れは主にマスタ内センサ (USB カメラ) のレイテンシと考えられる。

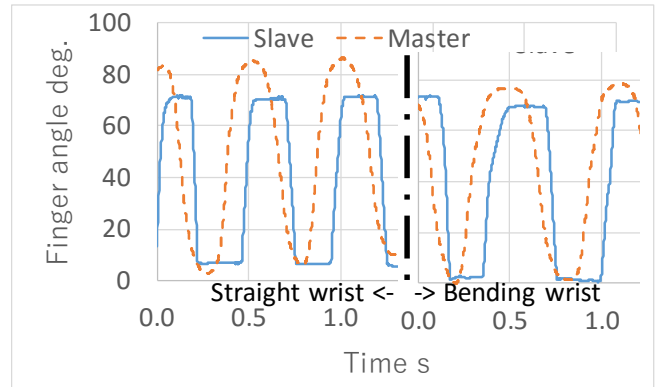


Fig. 7 Slave response to master input. (Left half) wrist, elbow are straight. (Right half) wrist, elbow are fully bending.

4 おわりに

12mm ポートを通るロボットハンドの腕部分を 6 自由度、ワイヤ駆動、直径 11mm で開発し、動作を確認した。多少のヒステリシスが見られた。ワイヤ経路の屈曲による指部の動作の劣化は見られなかった。

謝辞

本研究は九州大学病院 ARO 次世代医療センターおよび JSPS 科研費 16H03195 の助成を受けた。

参考文献

- (1) G.S. Gurthart, J. K. Salisbury, The intuitive telesurgery system: over-view and application, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp. 618-621, 2000.
- (2) M. A. Diffler, J. S. Mehling, M. E. Abdallah, et al., Robonaut 2 - The first humanoid robot in space, Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.2178-2183, 2011.
- (3) K. Kojima, T. Sato, A. Schmitz, et al., Sensor Prediction and Grasp Stability Evaluation for In-Hand Manipulation, Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, pp.2479-2484, 2013.
- (4) M. Grebenstein, A. Albu-Schaffer, T. Bahls, et al. The DLR hand arm system. Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, pp.3175-3182, 2011.
- (5) K. Shinya, S. Sawano and S. Konishi. Fluid-resistive bending sensor having perfect compatibility with flexible pneumatic balloon actuator, Proc. of IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems, pp. 615-618, 2007.
- (6) 中楯 龍, 荒田 純平, 他, 12mmポートから体内に挿入可能なマスタスレーブ式腹腔鏡手術用15自由度5本指ロボットハンドとマスタの開発, 第33回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 1J1-05, 2015.