

手術室環境を占有しない小型スレーブロボット

小林祐樹 岡田昌史 中村仁彦 (東京大学)

Slave Robot System that does not Occupy Large Space in Operating Rooms

*Yuki KOBAYASHI, Masafumi OKADA and Yoshihiko NAKAMURA (Univ. of Tokyo)

Abstract—Present computer-enhanced surgical robot systems unfortunately occupy a significant amount of space in operating rooms. It sometimes prohibits a surgeon from accessing to the patient covered with these bulky equipments. We propose the Active Trocar as an approach to miniaturize the surgical slave robot system. It has three DOF and realizes six DOF with active forceps. It has various uses with replacing the active forceps with various surgical instruments.

Key Words: Minimally Invasive Surgery, Surgical Robot, Master-Slave Robot

1. はじめに

近年、低侵襲外科手術支援システムとして手術ロボットが開発され、臨床応用の段階にある¹⁾²⁾。術者の手の震えを鉗子に影響させることなく微細な鉗子の動作を実現でき、患者から術者への感染を避けることができるといった利点を持つが、大型の本体から伸びるマニピュレータは手術室環境を広く占有し、手術助手の作業を妨げ非常時に術者が患者に直接アクセスすることを困難にしている。本研究では腹壁の切開孔上に全ての装置を持つ小型ロボットを開発する。このシステムは手術室環境を占有せず、複数の手術器具を腹壁上の任意の位置に配置することが可能で、様々な術式に対応できるものである。本稿ではマスタスレーブシステムの概要と追従実験結果について示す。

2. 小型スレーブロボットシステム

スレーブロボットは手術器具先端の腹腔内での位置を決める能動トロカール³⁾と、姿勢を決める多自由度高剛性能動鉗子⁴⁾とからなる。Fig.1のように手術台に取り付けた多自由度手術器具把持・固定装置ポイントセッター(三鷹光器)を用いてスレーブロボットを腹壁上に設置する。この手法により複数のスレーブロボットを腹壁上の任意の位置姿勢に設置することができ、様々な手術手法に応用できるものとする。

能動トロカールは腹腔内に挿入する鉗子等の鞘とな

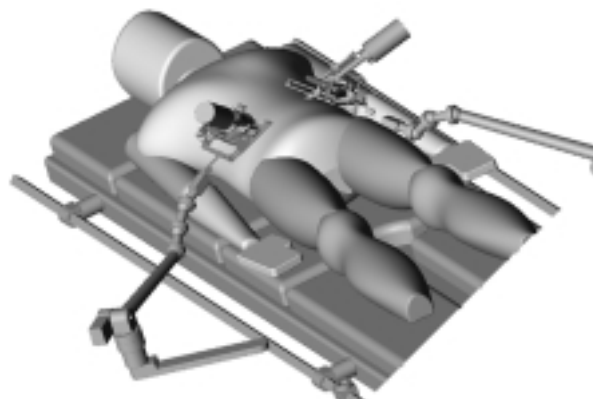


Fig.1 Slave Robot System Compared with Participant

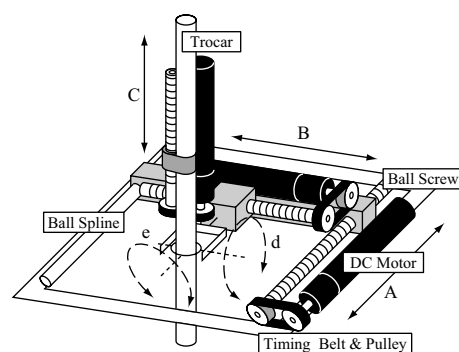


Fig.2 Mechanism of Active Trocar

るトロカールを把持・駆動することにより腹腔内における手術器具先端の自由な位置を実現する。本システムの大きさは約130[mm]×130[mm]で、従来の一般的な腹腔鏡下胆嚢摘出術に用いられる4 portal techniqueと同等の配置においても各スレーブロボットが互いに干渉しない。駆動には3組のDCサーボモータとボールスクリュの直動機構を用いた。機構図をFig.2に示す。腹壁上約40[mm]の平面内で直動機構(図中A, B)によりトロカールの把持点を決定すると、把持点と腹壁上の挿入孔により、腹壁に対する手術器具の挿入角度が一意に定まる。更に手術器具軸方向の直動機構(図中C)により腹腔内での位置が決定される。直動機構には出力4.5[W]のDCサーボモータと減速比1:4.4の減速器、ピッチ1[mm]のボールスクリュを用いた。小型化のためモータとボールスクリュは平行に配置し、タイミングベルトにより駆動力を伝達する。直動機構の可動範囲は80[mm]×80[mm]で、腹壁上40[mm]に設置した際可動角度範囲は腹壁法線方向に対し±45°となる。能動トロカール駆動時、トロカールは腹壁上の挿入孔から拘束を受ける。腹壁に対して大きな力を加えることは、筋組織を傷めることにもなり兼ねないためトロカール把持点に2自由度の受動回転関節(図中d, e)を設けることで、腹壁に無理な力が作用しない設計とした。能動トロカールには、能動鉗子のみでなく様々な手術器具を手術中にも素早く交換可能とするため、レバーによる装着機構を設けた。

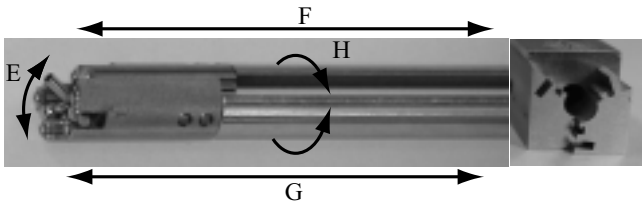


Fig.3 Tip of Active Trocar and Jigsaw Block Slide

腹腔内での姿勢は多自由度高剛性能動鉗子により実現される。先端機構とジグソブロックスライドを Fig.3 に示す。鉗子先端は円筒を3分割した構造になっており、それぞれが鉗子根元から剛体リンクにより支持されている。剛体リンクは1本が固定され(図中E)、他の2本(図中F, G)を上下に駆動することで鉗子先端部の姿勢を変化させる。根元部分の3分割されたジグソブロックスライド(Fig.3右)をDCサーボモータおよびボールスクリュを用いた直動機構により駆動する。鉗子全体を回転させる自由度(図中H)を合わせ、能動鉗子で姿勢3自由度を実現する。

能動トロカールの持つ位置の3自由度に、姿勢の3自由度を有する能動鉗子を装着することで、スレーブロボットは6自由度を持ち、腹腔内で自由な位置姿勢を実現することが可能となる。試作したスレーブロボットを Fig.4 に示す。スレーブロボットの駆動制御には RT-Linux を使い、各モータを PID 制御則により制御している。



Fig.4 Slave Robot Positioning with Point-Setter

3. 追従実験

能動トロカールのマスタスレーブ操作追従実験をサンプリングタイム 0.5[msec] で行った。追従実験の結果を Fig.5 に示す。追従実験として、スレーブロボットは常に心臓の拍動に追従し、それに加えてマスタからの入力を目標値として与えるタスクを用いた。ブタの心臓の拍動は in-vivo 実験において周波数解析した結果、呼吸運動に伴う振動(周波数約 0.18[Hz]) および心臓拍動固有の2種の振動(周波数約 1.5[Hz], 約 3[Hz]) の3つの振動モードを持つことがわかっている⁵⁾。心臓と同様の振動モードを持つ信号を与え、それにマスタによる操作量を加えた。上段のグラフにスレーブロボットに与えた目標値と実験値を、下段に拍動を模擬した振動とマスタによる操作量を示す。サンプリングタイム 0.5[msec] で、拍動臓器の運動に追従しているスレー

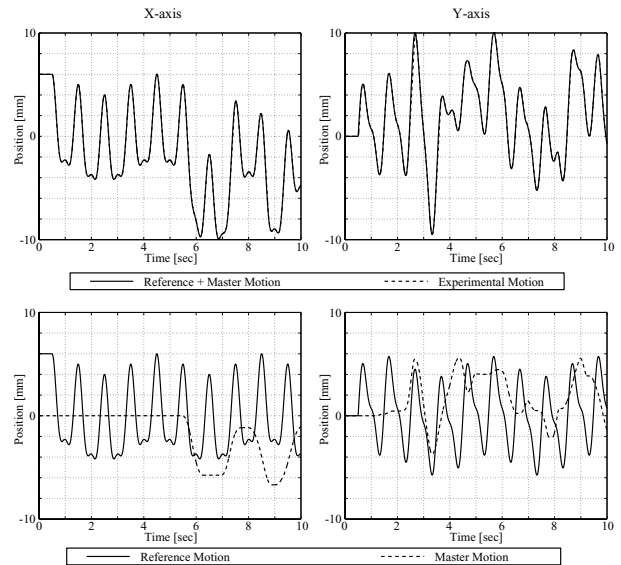


Fig.5 Time Response of the Active Trocar System

ブロボットをマスタからの入力により操作するに十分な応答追従性が得られた。この結果から十分な応答性を得られることが確認されるとともに、拍動臓器の運動を補償するマスタスレーブロボットシステム⁶⁾に適用可能であることが確認された。

4. おわりに

従来の外科手術支援ロボットの問題点を踏まえた小型スレーブロボットを開発し、追従実験によりその追従性能を検証した。拍動臓器運動補償マスタスレーブシステムへの応用に十分な応答追従性を有することを示した。今後拍動臓器への適用を視野に、更なる高精度化、小型化をはかり、in vivo 実験等で医療の現場への適用を進めていきたい。

なお、本研究は未来開拓学術研究推進事業「手術ロボティクスシステム開発プロジェクト」(代表: 東京大学 辻隆之) 及び科学研究費補助金基盤研究 B(1)「腹腔鏡下手術用超音波駆動メスの高機能化による操作性の改善」(代表: 信州大学 橋本稔) の支援を受けた。

参考文献

- 1) 橋爪誠ほか: 手術支援ロボットの実際と今後の課題: ダビンチの使用経験から, 第9回日本コンピュータ外科学会大会論文集, pp.1 - 2 (2000).
- 2) Reichensperner H, et al: Use of the voice-controlled and computer-assisted surgical system ZEUS for endoscopic coronary artery bypass grafting. J Thorac Cardiovasc Surg. Vol. 118 pp.11 - 16 (1999).
- 3) 小林祐樹, 岡田昌史, 中村仁彦: トロカール駆動による小型外科手術支援ロボット, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01, 2P1-D9 (2001).
- 4) 渡部耕一, 岡田昌史, 中村仁彦: リンク駆動型高剛性多自由度能動鉗子の開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01, 2P1-D10 (2001).
- 5) 川上洋生, 岡田昌史, 中村仁彦: 画像処理を用いて拍動する心臓のバイパス手術を支援するロボットシステム, 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, Vol. 3 pp.1007 - 1008 (2000).
- 6) 岸宏亮, 中村仁彦, 岡田昌史: 3次元運動計測による臓器運動補償型手術支援ロボットシステム, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'01, 2P1-D8 (2001).