

ジグソーブロックスライドを用いた能動鉗子の開発

Development of the Active Forceps using Jigsaw Block Slide

千代田 真吾 (東大) 岡田 昌史 (東大) 中村 仁彦 (東大)

Shingo CHIYODA, Masafumi OKADA and Yoshihiko NAKAMURA
University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo

Abstract:To make the endoscopic surgery more precise, computer-enhanced surgical robot systems has been introduced. We have proposed a Jigsaw Block Slide for the link driven mechanism of active forceps and developed the prototype. Compared with the wire driven forceps, which is often used for driving mechanism of endeffector, it has higher rigidity, durability and a response. In this paper, we develop second prototype of link driven forceps, which has higher durability and less components than the previous prototype.

Keywords : Medical robotics, Active forceps, High stiffness, Parallel mechanism

1 はじめに

内視鏡下外科手術は従来の開腹手術と比較して患者の負担は緩和される一方、術者にかかる負担は大きくなる。この課題に対して、近年、外科手術支援システムとして手術ロボットが開発され、すでに臨床応用されている [1][2]。これらのロボットで用いるために開発されている能動鉗子の多くはワイヤ駆動で、高い剛性が実現しにくく耐久性が悪いといった欠点があり、臓器摘出手術など力の必要な作業には不向きといえる。本研究では能動鉗子の駆動機構としてこれまでに開発したジグソーブロックスライドを応用し、部品点数の少ないパラレルメカニズムによって、鉗子の高強度化と小型化を実現することを目的とする。

2 リンク駆動型能動鉗子

2.1 ジグソーブロックスライド

渡部ら [3] は鉗子の先端に屈曲 2 自由度、鉗子の軸周りの回転の 1 自由度と併せて合計 3 自由度を腹腔内で実現する機構として、ジグソーブロックスライドを提案した (Fig.1)。この機構は円筒を 3 分割したものを鉤状の直動機構で束ねたものである。3 つのリンクのうち 1 つは固定し、残りの 2 つを軸方向に摺動させることによって先端の傾きを一意に決定することができる。リンク構造によって先端部に動力を伝えるため高い剛性、耐久性、応答性を有するといった利点をそなえている。滑りが起こる部分の材質には主に高珪素ステンレス鋼で、滑りに適した素材であるシリコイを用いた。

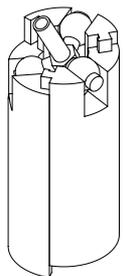


Fig. 1: Jigsaw Block Slide



2.2 問題点

ジグソーブロックスライドを用いて能動鉗子のプロトタイプを開発したところ以下の課題が明確になった。

1. ジグソーブロックスライドによるリンク駆動の採用により、アクチュエータの駆動力を先端部まで効率よく伝達した。しかし、鉗子先端の部品は、Fig.2 のように六角材の側面に直径 1 [mm] の 3 本の軸を溶接して固定しているため、急激な力に対して破損の危険がある。高剛性を実現するためには先端部の強度化が必要である。
2. 鉗子先端の部品を支える 3 本のリンクが中心から外径に向かう構造になっているため、把持機構が極めて小さい。縫合等の作業に用いることを想定すると、針を持つのに十分な大きさと把持力を持つ機構が必要である。
3. 滅菌性を確保するために鉗子部と駆動部とを着脱可能としているが、着脱の際に鉗子部が駆動部の中心を通過するような構造になっているため、十分に清潔性を保っているといえない。
4. 駆動部がやや大型で、複数で使用することを考えるとさらなる小型化が必要である。駆動部の空間をなくし、小型な設計を実現するべきである。



Fig. 2: Tip Mechanism

3 三脚プラットフォーム型能動鉗子の開発

3.1 三脚プラットフォーム

鉗子先端部は機構の単純化による高剛性化と大型化を図るために、三脚プラットフォームをもつ機構を採用した。ジグソーブロックスライドの 3 本のリンクのうち 1

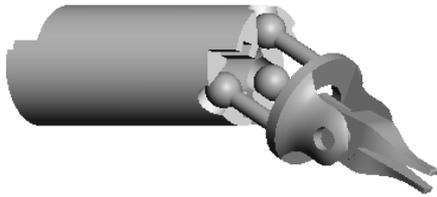


Fig. 3: The Active Forceps Mechanisms

本は固定し、残りの2本を独立に摺動させることにより、先端に2自由度を与える。3分割されたリンクの先端には円柱形の溝が中心から外径に向かって掘ってあり、滑り軸受けとなっている。それぞれの軸受けを滑る球に固定された3本のリンクによってエンドプレート固定される、パラレルメカニズムとなっている。パラレルメカニズムを採用したことで鉗子径と同程度のエンドプレートを先端に設けることができ、プロトタイプに比べて大きな把持部を装着できるようになった。エンドプレートに取り付けられた鉗子把持部は鉗子の軸の中心を通るリンクによって開閉することができる。姿勢3自由度と把持部開閉1自由度の合計4自由度が鉗子先端で実現できる構造になっている。鉗子先端の形状を Fig.3 に示す。

3.2 鉗子駆動部

駆動部はリンクの摺動用に2つ、鉗子の開閉用に1つ、全体の回転用に1つの合計4つのモータを搭載している。鉗子部を駆動部の下から装着する構造にしたことで鉗子軸が駆動部内を通らないため、部品をより密集させることが可能になり小型化を実現した。駆動部は旧型機と比較して体積にして70%近く削減した。Fig.4 に設計した鉗子の外形を示す。

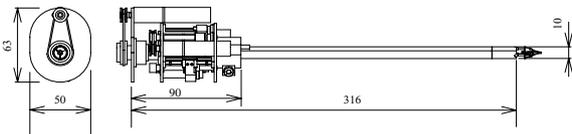


Fig. 4: Outline of the Forceps Mechanisms

3.3 滅菌性

手術支援ロボットで大きな問題となる点が装置からの感染症である。滅菌不可能な機械部品は術創から離しておかなければならない。また直接術部と接触する器具については分離・滅菌可能とする必要がある。本能動鉗子では Fig.5 のように駆動部と鉗子部を容易に分離できるようにした。装着の際には駆動部の下から鉗子部を挿入するため、術部に触れる先端部は清潔性を保つことが可能である。

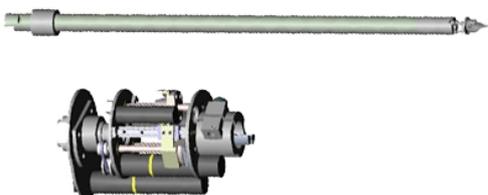


Fig. 5: Separation of a Forceps Part and a Drive Part

3.4 可動範囲

Fig.6 のように鉗子軸方向を z 軸とする座標系を設定し、鉗子先端部の逆運動学問題を考える。 z 軸周りの回転角 ϕ 、屈曲角 θ と、2本のリンクの摺動量 h_1, h_2 との関係は

$$h_1 = d \sin \theta \sin(\phi + \frac{\pi}{3}) \quad (1)$$

$$h_2 = -d \sin \theta \sin(\phi - \frac{\pi}{3}) \quad (2)$$

となる。ここで d はエンドプレートを支える3本のリンクから成る正三角形の1辺の長さである。この式に基づき、リンク間の干渉を考慮して鉗子先端部の可動範囲を求めると、鉗子の最大屈曲角のグラフは Fig.7 のようになる。鉗子軸周りの全ての方向に約 50[deg] 屈曲できることが分かる。

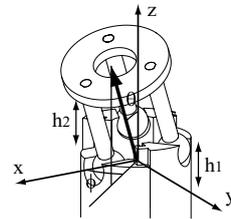


Fig. 6: The definition of the parameters

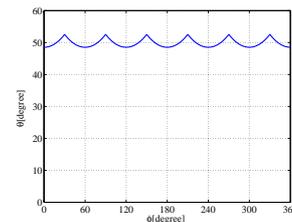


Fig. 7: Maximum bending angle

4 おわりに

本稿では以前に開発したジグソーブロックスライドを用いた能動鉗子機構のプロトタイプにおける問題点を明確化し、それを解決する新しい能動鉗子機構を提案した。新たに考案した能動鉗子は先端部の高強度化、大型化に加え、駆動部の小型化を実現した。

なお、未来開拓推進事業「外科領域を中心とするロボティクスシステムの開発」「手術ロボティクスシステム開発プロジェクト」(代表：佐久間一郎)の支援を受けた。

参考文献

- [1] Guthart G.S., and J.K. Salisbury, "The Intuitive Telesurgery System: Overview and Application," Proc. of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, San Francisco CA, April 2000.
- [2] Reichenspurner H, Damiano RJ, Mack M, Boehm DH, Gulbins H, Detter C, 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, No.1, 1999.
- [3] 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 講演論文集, 2P1-D10, 2001.