

距離計測機能を持つ CCD 搭載型レーザー鉗子の開発

66810 久岡哲也

指導教員 小林英津子 准教授

Presently, the coverage of the laser device in the medical treatment is various with inspection, measurement, and medical care. We developed the laser forceps with which the semiconductor chip is mounted at the tip, not be guided with fiber. It is a novel idea. In addition, Using a semiconductor chip with a higher output, we proposed the laser forceps with sufficient arrest of hemorrhage and solidification by calculation of object distance by triangulation. After we develop it, we perform the performance evaluation of the laser forceps.

Key words: Laparoscopic surgery, Laser forceps, Surgical robot, Semiconductor laser

1. 背景

近年、腹腔鏡下手術(Fig. 1)は広く行われるようになってきている⁽¹⁾。これは侵襲性が低く、患者への負担が少ないという利点があるからである。一方で開腹手術とは異なり、モニター画面を通しての間接的な視覚提示と限られた作業域で得られた触覚情報で手術を行う必要があるため難しい手術を行うのは専門的な技術を持った外科医に限られている。

現在、医療におけるレーザー装置の適用範囲は検査・測定・治療と多岐にわたっている。腹腔鏡下手術でのレーザー凝固治療は体外よりファイバもしくは光学系を用いて導光させるため、ファイバの曲率限界や導光レンズ系の大きさなどの問題により小型化や多自由度が困難なことから、腹腔内での使用には制限が多い。この問題を解決するため、半導体レーザーをファイバで導光せず先端に直接半導体チップをマウントさせて発振させることで屈曲自由度の高いレーザー鉗子を開発してきた(Fig.2)⁽²⁾。

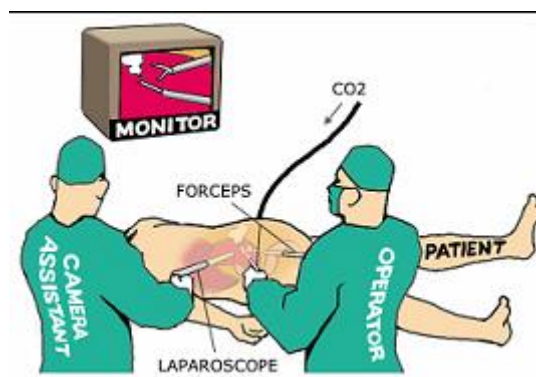


Fig.1 Scene of laparoscopic Surgery



Fig.2 Whole figure of 3rd laser forceps

2. 目的

開発してきたレーザー鉗子の問題点を解決する新たなレーザー鉗子の開発が本研究の目的である。

具体的には、

-先端部

- ・レーザー出力向上
- ・距離計測機能の搭載

- 屈曲部

- ・ スムーズな屈曲の実現

を目指す。

3. 設計

3.1 先端パイプ部

Fig.3 が新しく設計した先端部の断面図である。

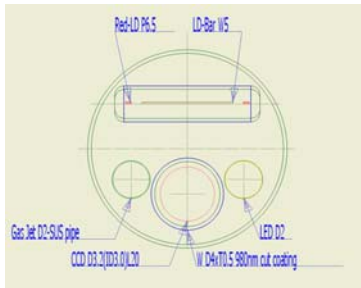


Fig. 3 : 2D CAD of the distal end of 4th laser forceps

先行試作機との変更点は

- ・ 半導体レーザーチップの変更(3W×10→6W×9)
- ・ 半導体レーザー電極配置の変更
- ・ エアノズルの設計変更
- ・ 冷却水と先端部との接触面積の増加
- ・ 距離計測機能の搭載
- ・ パイプ部へのパーティション設置

である。

3.1.1 レーザ

先行試作機ではレーザー出力が低く、In vivoでの肝臓切断面止血実験において、止血しきれなかった。そこで高出力の半導体素子を用い、止血性の向上をはかった。

それに伴い電流が増加し、導線の径を増加させる必要がある。パイプ自体の径を変更せず、他の配線を細径化することで電極の断面積を出来る限り増加させた。電極は断面積 1.5mm×3mmの銅を用いた。

3.1.2 エアノズル

先行試作機では CCD、レーザー部を CO2 ガスが覆いきれていなかったため、再設計を行い全体を

ガスが覆うように改良した。



Fig.4: Air nozzle of 3rd laser forceps



Fig5: Air nozzle of 4th laser forceps

3.1.3 還流冷却水

先行試作機では吸熱が足りず、先端部の熱により半導体レーザーチップが破損してしまった。また、半導体レーザーチップの出力向上に伴いより高い冷却性が必要となる。

そこで、最大発熱量 80W を吸熱できるように先端部銀ブロックと冷却水の接触面積を増加させ、流量を 0.2l/min から 0.4l/min に上げることでより高い冷却効果を実現した。

3.1.4 距離計測機能

レーザーの反射光による CCD 画像変色を防ぐための光学フィルタにより、メインレーザーの照射位置を目視することが出来ないという問題があった。さらに半導体レーザーは他のレーザーに比べ出力が低く、短時間の焼灼のためには正確に焦点位置に対象を合わせる必要がある。そこで、対象表面までの距離を把握する機能が不可欠であると考え、距離計測機能を搭載した⁽³⁾⁽⁴⁾。

屈曲の不具合やパイプの外径増加を防ぐためにデバイスにすでに組み込まれている CCD とガイドレーザーを用いて三角測量を用いての距離計測を採用した(Fig.6)。

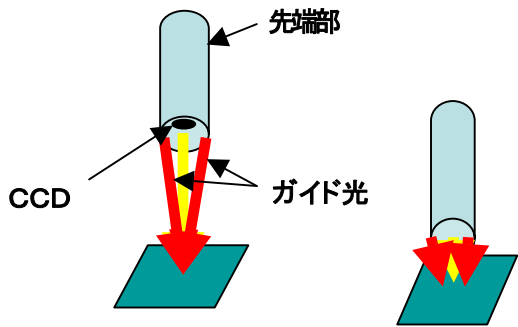


Fig.6: The conceptual drawing of a distance measurement

3.2 屈曲部

先行試作機において、配線の振れにより十分な屈曲が見られなかった。そこでシリコンチューブをsus管に変更し配線の細径化をはかり、パイプ先端と根本にパーティションを入れることにより振れを防いだ(Fig.7)

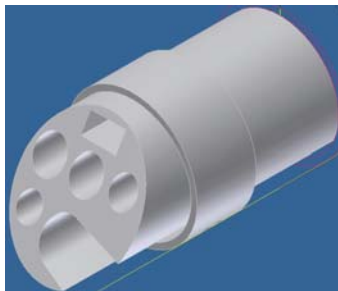


Fig.7 : the partition of 4th laser forceps

以上より完成した試作機は Fig.8 である。



Fig.8: 4th laser forceps

4. 評価

4.1 先端部

4.1.1 レーザ部

対物距離 10mm での電流-出力特性を Fig.9 に示す。

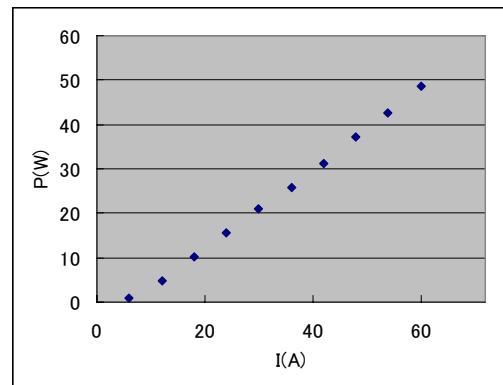


Fig.9: I-P graph(direct measurement)

対象面でのレーザーの照射面積はおよそ 7mm × 1mm となった。

先行試作機の in vivo 実験により凝固止血に必要なエネルギー密度は約 8.3J/mm² であることがわかっており、30A で 5s の時間が必要とされた。Fig.9 から本試作機では同電流で 2.8s の時間で凝固止血が可能であると考えられる。

4.1.2 距離計測

予備実験として実際の試作機との相似比が 4:1 である拡大モデルを製作し距離計測を行った。結果は Fig.10 のとおりである。

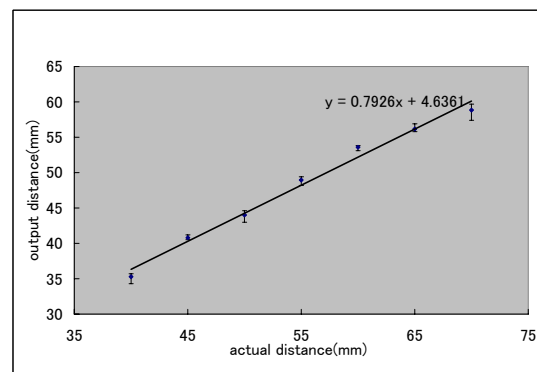


Fig.10 : The Relation between actual and output distance

4.2 屈曲部

PC からの指令角度と実際の屈曲角度とを比較した(Fig.11)。

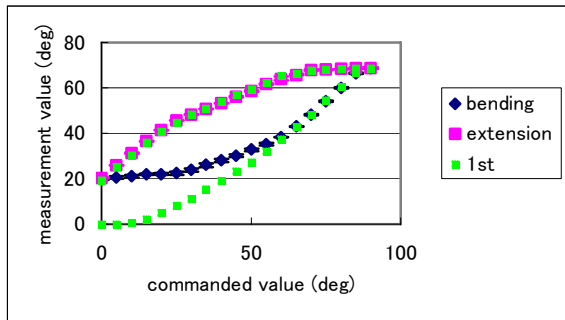


Fig.11 : Characteristic of bending motion

屈曲範囲は約 20~70° に留まった。

5. 考察

5.1 先端部

先行研究より肝臓の焼灼にはメインレーザはおよそ $8.3\text{J}/\text{mm}^2$ のエネルギー密度が必要であるが、十分な出力が得られ、短時間での焼灼が可能であると考えられる。また、還流冷却水の接触面積と流量の増加により、チップの暴走も無く十分な冷却効果が得られた。

距離計測は得られた結果から可能であることは示唆されたが、四次試作機を用いて距離計測を行い、精度の高い結果を得るため、補正する必要がある。

5.2 屈曲部

配線をシリコンから sus に変更し、パーティションを入れることにより、高出力のレーザ用配線をパイプに通す空間は確保でき、振れによる屈曲動作の不具合が解消された。屈曲と伸展の動作の再現性は見られたが屈曲範囲が狭かった。

モータの動きはスライドからロッドに伝達され先端部が屈曲する。そのスライドとロッドとの間に遊びがあり、屈曲・伸展ともにモータの初期の動きが先端部に反映されなかった。

また、スライダ部がパイプでカバーされず露出しているため、ロッドの力が先端部に伝わりきらなかったことも原因として挙げられる。

さらにモータ部と配線が駆動部で接触し、70° 以上屈曲できなくなった。

モータの力が屈曲部まで伝達するように駆動部を再設計する必要がある。

6. 結論

本研究では先行試作機を改善し、距離計測機能を搭載した半導体レーザ鉗子を開発した。

・先端部

凝固止血が可能である高出力の半導体チップを搭載し、CCD とガイドレーザを用いた距離計測を可能にした。また、還流冷却水と銀ブロックとの接触面積を増加させ、流量を増加することで、半導体チップからの発熱による暴走を防ぐようにした。

・屈曲部

パイプ部にパーティションを入れ、配線をシリコンから sus に変更することでパイプ内部での振れを防ぎ、スムーズな屈曲動作を可能にした。

以上より、本研究にて開発したレーザ鉗子はレーザ凝固治療器として、手術手技の模倣ではなく高度な術式が期待できる。

文献

- 1) Anthony R. Lanfranco, et al, Robotic Surgery A Current Perspective, Anals of Surgery, Vol.239, No.1, pp.14-21, 2004
- 2) 大木 智之,腹腔鏡下手術支援用 CCD 搭載型屈曲レーザ鉗子マニピュレータシステムの開発,東京大学大学院新領域創成科学研究科,修士論文,2006
- 3) 加藤 高志,脳腫瘍治療レーザ手術装置用オートフォーカス機構の開発,東京大学工学部精密機械工学科,卒業論文,2002
- 4) 野口 雅史,他 6 名,脳外科用レーザ手術装置のための小型オートフォーカスシステムの開発,日本コンピュータ外科学会誌 Vol.6 No.4,pp.484-489,2005