腹腔鏡下外科手術ロボットのための光力覚センサー

Fiber Optic Force Sensor for Laparoscopic Surgery Robot

佐々木 優聡 (岩手大) ○学 中村 昇 (岩手大) 正 島地 重幸 (岩手大)
正 橋元 皓 (岩手大) 正 箱崎 義英 (岩手大) 正 萩原 義裕 (岩手大)

Yuto Sasaki*, Noboru Nakamura*, Sigeyuki Simachi*, Akira Hasimoto*,
Yoshihide Hakozaiki*, Yosiyuki Hagihara* (*: Iwate University)

The endoscopic surgical robot system in commerce can't feed back the contact force of the tip end of the surgical instrument. As the force measurement method, overcoat method has proposed using strain gauges. By the way, electric scalpel is used as one of essential tools. The electric scalpel uses high frequency electric current and gives electric noises to the strain gauge output. This paper proposes a force sensor which has to be constructed in a thin and narrow space for the overcoat sensing and to be free from the electric noises. In the force sensor, the fiber wiring traces are devised and light from the end of an optic fiber is injected to two ends of the other optic fibers which are attached on the force-deflection part. Experiments show that the sensor has sufficient possibility as the x and y direction force sensor.

1. 緒言

腹腔鏡下外科手術は、従来の開腹手術に比べて患者に対する負担少なくした。しかし逆に、この方法は術者に難しい術具操作を要求することになった。術者への負担を軽減するため、マスター・スレーブ手術ロボットが考案され、かなり負担が軽くなった。しかし未だに、手術器具先端にかかる力の測定方法が無く、それを術者に伝えられない問題点が残された。その力を測定する方法として外套法が提案された。外套法では、術具シャフトと外套管の間のセンサー変形部に歪ゲージを貼り付けることで、先端部にかかる力を測定する。

ところで、電気メスは、生体に 300kHz~5MHz の高周波電流を流して生体を切開あるいは凝固する手術器^[1]で、外科手術で広く用いられている。上述の外套法においては力覚センサーに歪センサーを使用しているため、電気メスの電気ノイズは、力測定の障害となる。

本研究は電気ノイズの影響を受けない光量変化による力覚センサーを考案し、それを外套法力覚センサーシステムに組み込むことを目的とする。

2. 基礎実験

2.1 実験方法

センサーに光ファイバーを用いることとし、まず、光ファイバーの位置と出力の関係を知るために基礎実験を行った。この実験では、光ファイバーを切断し、入射側ファイバーを固定、受光側ファイバーの位置を XY ステージにより μm 単位で変位させた際の電圧の変化を測定した。

2.2 光モジュール

本研究では、外径 0.25 mm のプラスチック製光ファイバーを用いた。光を入射させるためのモジュールは出力 3 mW、波長 650 nm の赤色レーザダイオード (LD) を使用した。光センサーに必要とされる応答性、感度に優れている PIN フォトダイオードを受光側モジュールとして使用した。焦点距離 13.5 mm のレンズを用いて集光した。

2.3 結果

基礎実験の結果より、ファイバーの間隔 X が 0, 0.1 mm の時、ファイバーのずれ Y の値が正負ともに 50~200 μm の範囲で計測に使用が可能と思われる比例関係がみられた。

3. 力覚センサー

3.1 光ファイバー測定原理

基礎実験の結果より、図 1 に示すように、入射側光ファイバ

ー 1 本に対し、ファイバーの半径 125 μm だけずらした 2 本の受光側光ファイバーにより変形量を測定することとした。

Fig.1 Measurement principle of sensor

3.2 センサー変形部の設計

本研究では鉗子先端部分にかかる力として 10N を想定することとした。力覚センサーの変形部の形状は、X, Y の 2 方向の力が測定でき、しかも既存のセンサーシステムの形状・寸法に合わせる必要があり、図 2 に示す形状としてその概要が与えられている。

Fig.2 Summary of force sensor transformation

この変形部の内径は 9 mm、その外径は 11.5 mm である。内径部分には術具シャフトが通る内管 (内径 8.6 mm、外径 9 mm) が取り付け、外径部には外套管 (内径は 11.5 mm、外径 12 mm) が取り付け構造となっている。センサー変形部全体としての肉厚は 1.25 mm である必要がある。

このスペースに納まり、変形部では 10N に対して 0.1 mm のたわみが起きる、図 3 に示すように、厚さ $b=0.5\text{ mm}$ 、幅 $h=2.2\text{ mm}$ 、長さ $l=10\text{ mm}$ の両端支持はりを持つ構造とした。

Fig.3 Details of sensor dimensions

3.3 光ファイバーの配置

(X 方向センサー) センサーに光ファイバーを配置する方法として変形部分に対して 90° の位置に光ファイバーを接着剤で固定した。

(Y方向センサー)図4に示すように、Y方向センサーの部分においては、ファイバー取り付け位置であるスリットからばね部までの距離は4mmしかない。そこに垂直にファイバーを配置する場合、ファイバーの最小曲げ半径である5mm以下に曲げねばならず、損失が大きくなり、測定自体が不可能となる。そこで曲げ半径を小さくせずに、スリット部分にファイバーを配置する方法として、スリットに対して垂直ではなく、45°傾けるという方法を採用した。

Fig.4 Y direction sensor

3.4 実験

内管に取り付けたセンサー変形部の外観を図5に示す。

Fig.5 Sensor appearance

変形部をカバーするように外套管をかぶせることになるが、本実験では、同図左端の平坦部を外套管に接着剤あるいは半田で固定する予定であるが、一度固定すると取り外しが難しく、取り外しの際に与える熱の影響で光ファイバーが使用不可となってしまうことになる。そこで、外套管の代わりとなるセンサーの固定部を持つ、図6に示すような実験器具を製作した。図7に、X、Y方向への負荷の様子を示す。

Fig.6 Appearance of experimental instrument

(a) Loading to direction X

(b) Loading to direction Y

Fig.7 Method of loading

3.4 実験結果

実験で得られた結果を図8、9に示す。

Fig.8(a)に見られるようにXセンサーにおけるXの正、およびFig.9(b)に見られるようにY方向の正負の力およびYセンサーのY方向負の力はある程度の結果が得られた。

しかし、Fig.9(a)に見られるようにYセンサーにおけるX方向の力に対しては思わぬ結果となってしまった。これはYセンサーの光ファイバーをスリットに対して45°傾けたことにより、センサーの曲面に光ファイバーを貼り付けることになり、測定部での入射側と受光側の光ファイバーの軸心がずれてしまったからではないかと考えられる。

(a) Relation between X direction loading and voltage

(b) Relation between Y direction loading and voltage

Figure.8 X direction sensor

(a) Relation between X direction loading and voltage

(b) Relation between Y direction loading and voltage

Fig.9 Y direction sensor

4. 結言

薄くて狭いスペースの中で光ファイバー断端のずれによる光量変化を利用して電気ノイズの影響を受けないX、Yの2方向の感度を持つ力覚センサーを試作し、性能を調べた。その結果、1)切断した光ファイバー間の距離が小さいとき、ずれと電圧の関係には比例関係が見られ、45°ずらすことにより光の入射量を増大させることが可能であることがわかった。2)取り付けにおいては0.5mmのスペースが存在すれば、光ファイバーを接着剤によって配置することが可能であり、センサーを作成するための設計値が得られた。今回の試作ではY方向で設計から少しはずれた結果しか得られなかったがこれらについては、ファイバー配置の際の接着や精度を高めることが今後の課題である。

5. 参考文献

- [1] 木村雄治, 医用工学入門, コロナ社(1997)