

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	手術マニピュレータのための柔軟構造を用いた力伝達特性の改善
Title(English)	
著者(和文)	野田幸矢
Author(English)	Satsuya Noda
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10865号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小俣 透,吉田 和弘,松村 茂樹,只野 耕太郎,石田 忠,高山 俊男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10865号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)

論 文 要 旨 (和文2000字程度)

報告番号	乙 第	号	氏 名	野田 幸矢
<p>(要 旨)</p> <p>低侵襲手術において複雑な作業を行うため、医療用マニピュレータが開発されてきた。ただし、手術マニピュレータにおいて鉗子先端の力が手元に伝わらない問題がある。彎曲鉗子の場合、先端を回転させるときのトルクが手元に伝わりにくい。一般的な力センサの場合、長手方向と横手方向で分解能が異なる。これらの原因として、鉗子の細長い形状に起因し、横手方向の剛性調整および摩擦・慣性の低減が難しいことにある。できる限り簡潔な技術で、これらの問題を解決するのが望ましい。よって、本研究では柔軟構造体を用いることを提案する。具体的に、「先端が回転する彎曲鉗子の開発」、「分解能を等方化する力センサ起歪体の開発」、「口腔がん小線源治療」について述べる。</p> <p>2章では彎曲鉗子の操作性を向上させるため、鉗子先端を長手方向に回転させるための設計手法を提案する。一般的に鉗子先端を回転させるため二重パイプ構造が用いられる。この方法では、内パイプに力をかけ曲がる形状と、外パイプの形状が異なる。これにより、内パイプの剛性が高いと外パイプと内パイプが強く接触する。このため、摩擦トルクと先端と根元での角度差(ねじれ角)が増大する。もちろん、低摩擦かつ低剛性なプラスチックパイプの使用により必要なトルクを下げることでできよう。しかし、プラスチックパイプは金属パイプに比べヤング率が低いためねじり剛性も低く、ねじれ角が増大する。摩擦トルクを下げるためには、両パイプが端部のみで接触するのが望ましい。そのため、内パイプに力を加え曲がる形状が外パイプの彎曲形状とできる限り一致すればよい。そこで、内パイプの曲げ剛性を局所的に変化させ、内パイプの彎曲形状を調整する方法を提案する。内パイプには切り込みを入れ曲げ剛性を調整する。8 mm鉗子と5 mm鉗子でシミュレーションを、5 mm鉗子ではさらにex-vivo実験を行い本手法の有効性を確認する。鉗子先端に20 Nmm加えたとき、8 mm鉗子(Ti-6Al-4V)ではねじれ角が4.30 deg、5 mm鉗子(SUS304)ではねじれ角が2.8 degとなり、実用的な値であることを確認した。ex vivo実験では、提案鉗子を鶏のレバー、豚挽肉、豚血液に挿入したのち必要なトルクを測定した。その結果実験前の5.1 Nmm から5.3, 5.4, 3.8 Nmm にそれぞれ変化した。さらに、外パイプに豚血液を挿入し固化させたときの必要トルクは5.3 Nmmであった。これらのトルクの増加は十分に小さい。さらに、滅菌・洗浄するため容易に分解可能な構造にすることを検討する。</p> <p>3章では二つの起歪体を用い計測範囲と分解能を容易に等方化する手法を提案する。一般に医療ロボット用力センサでは鉗子長手方向と横方向で力の計測範囲と分解能が異なる。そこで、本論文では二重ダイヤフラム構造に着目する。ダイヤフラム間距離を調整すれば、横手方向の剛性は距離に依存し大きくなる。しかし、長手方向の剛性は距離に依存せず、1枚のダイヤフラムの剛性の2倍となる。よって、厚さで長手方向、ダイヤフラム間距離で横手方向の剛性を調整すれば、容易に分解能を等方化できる。</p>				

長手方向に力をかけたときに応力を下げるため、ダイヤフラムにらせん状の切込みを入れる。ただし、らせんの変形原理はねじりコイルばねと同様に、らせん部のねじれによるものである。このため、長手方向に力をかけると鉗子先端が傾く。よって、傾きを抑制するためらせん方向と位相を調整する。5 mm 鉗子と10 mm 鉗子でシミュレーションを、10 mm 鉗子ではさらに実験を行う。5 mm 鉗子(Ti-6Al-4V使用)では起歪体間距離が6 mmで分解能を等方化できることを確認した。一方、10 mm 鉗子(SUS304使用)では起歪体間距離が12 mmで分解能を等方化できることを確かめた。本起歪体を制作するため、4つの部品に分割して組み立てる。力を加えたときの変位をレーザ変位計で計測し、力の計測範囲と分解能が等方化されることを確認した。分解能の誤差の原因として加工誤差と推定し、顕微鏡で加工誤差を確かめた。さらに、実環境での使用を検討し、過剰な力が加わったときストッパで変形を吸収することについて考察する。

4章では口腔がん小線源治療用の医療マニピュレータに柔軟構造体を活用することについて述べる。特に、線源を刺入するときの反力の提示が求められる。そこで、ワイヤの押しで刺入動作を行うマニピュレータを提案する。ワイヤにより慣性・摩擦を抑え、力を伝達しやすくなる。刺入時にワイヤの座屈が予想されるため、パイプでワイヤの横手方向の変形を抑制する。本装置と把持装置を組み合わせて、豚の舌に刺入できることを確認した。また、刺入時の反力が操作部に提示されることも確かめた。さらなる、操作性を向上させるため彎曲鉗子および力センサの活用法についても検討する。

今後の展望として、実環境を模したin vivo実験、および操作性の評価がある。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(論文博士)

論 文 要 旨 (英 文)

(300語程度)

(Summary)

報告番号	乙 第	号	氏 名	野田 幸矢
<p>(要 旨)</p> <p>This thesis consists of the following five chapters. In chapter 1, this thesis presents the introduction and objective of this research. In surgical manipulators, force sensing and force transmission still remain problems. In arc-shaped forceps, friction significantly increases a torque to rotate its gripper. In a force sensor installed at the tip of a forceps, the force resolution in the axial direction is worse than that in the radial direction. A slender shape of a surgical manipulator causes difficulty of reducing friction and also causes difficulty of adjusting flexural rigidity in the radial direction of the manipulator, which results in these problems. To solve them, this thesis proposes the use of flexural structures for surgical manipulators.</p> <p>In chapter 2, this thesis describes a method of reducing the friction torque for an arc-shaped forceps that employs a concentric pipe structure consisting of inner and outer pipes. Generally, the shape of the bent inner pipe is different from that of the outer pipe. This causes contact between the outer and inner pipes, resulting in friction. This thesis proposes a procedure to fit a metal bent inner pipe to the outer pipe by adjusting the flexural rigidity of the inner pipe with slits to reduce the friction.</p> <p>In chapter 3, this thesis describes a method of equalizing force resolutions for forceps force sensor, which employs a double diaphragm structure. The distance between the two diaphragms can adjust the rigidity in the radial direction without changing the rigidity in the axial direction when the thickness of the diaphragm is constant.</p> <p>In chapter 4, this thesis describes a force feed-back method for a radioactive seed insertion manipulator of oral cancer. The insertion manipulator employs a bicycle control tube, which can transmit the insertion force to the operator.</p> <p>In chapter 5, this thesis presents conclusion and future work.</p>				

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).