

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)	要約
Type(English)	Outline

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

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。しかし、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りにくいことが問題である。彎曲鉗子の場合、先端を回転させる際のトルクが手元に伝わりにくい。また、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が挙げられる。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。具体的には、「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用マニピュレータの刺入力帰還」について論じる。

第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(図1)。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はできよう。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(図2)。8 mm 鉗子と 5 mm 鉗子でシミュレーションを、5 mm 鉗子(図3)ではさらに *ex-vivo* 実験を行い本手法の有効性を確認した。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できることを示した。

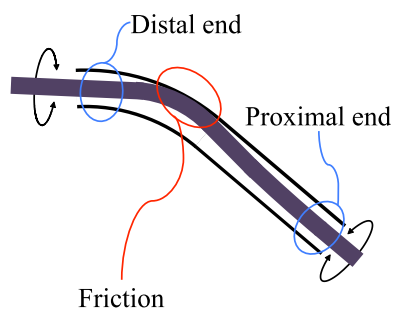


図1 内パイプと外パイプの接触

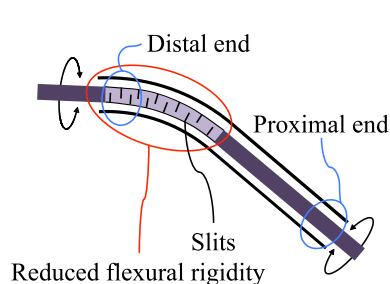


図2 内パイプの剛性調整

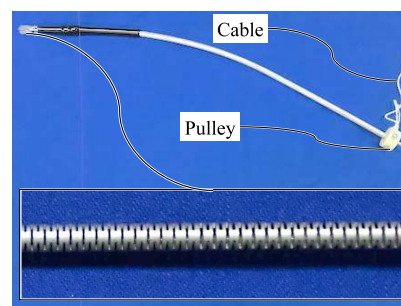


図3 開発した彎曲鉗子

第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(図4)。そこで、本論文では二重ダイヤフラム構造に着目する(図5)。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。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。直径5mmの鉗子と10mmの鉗子でシミュレーションを行い、さらに10mmの鉗子の起歪体を製作し実験を行った(図6)。5mm鉗子(Ti-6Al-4V 使用)では起歪体間距離が6mmで分解能を等方化できることを確認した。一方、10mm鉗子(SUS304 使用)では起歪体間距離が12mmで分解能を等方化できることを確かめた。本起歪体を製作するため、四つの部品に分割して組み立てた。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プで変形を吸収することについて考察した。

第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。本装置と把持装置を組み合わせ、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した。

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。

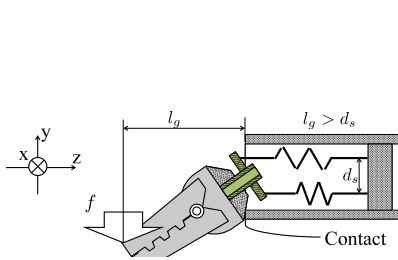


図4 分解能の異方性

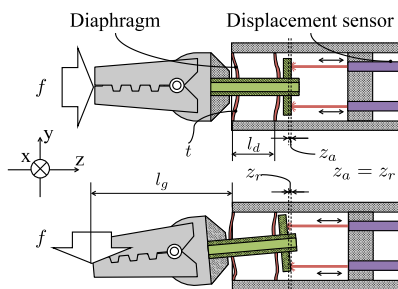


図5 二重ダイヤフラム構造

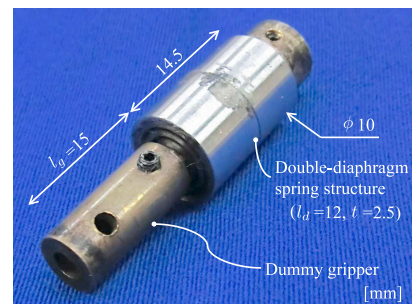


図6 開発した起歪体