

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

(2000字程度)

報告番号	乙 第 号	学位申請者	野田 幸矢	
	氏 名	職 名	氏 名	職 名
論文審査員	主査 小俣 透	教授	石田 忠	准教授
	吉田 和弘	教授	高山 俊男	特定准教授
	松村 茂樹	准教授		
	只野 耕太郎	准教授		

本論文は「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」と題し、以下の5章から構成されている。

第1章「緒言」では、これまでに低侵襲外科手術のための手術マニピュレータが開発されてきたが、その先端に加わる力が手元側に伝わりにくいため、操作性が低い問題があることを指摘している。具体例として、(1)単孔式腹腔鏡下手術や咽頭がん手術で用いられる彎曲鉗子の場合、先端に加わるトルクが手元に伝わりにくいこと、(2)手術マニピュレータ先端側に力センサを装着する場合、長手方向の分解能が横手方向に比べて低いこと、(3)口腔がん小線源刺入マニピュレータでは、刺入力の手元に伝わりにくいことを挙げている。これらの原因として、手術マニピュレータの細長い形状に起因し、横手方向の剛性の調整や確保が難しいこと、および摩擦の低減が難しいことを指摘している。できる限り簡潔な方法でこれらの問題を解決するために、柔軟構造を用いて力伝達特性を改善することが本研究の目的であると述べている。

第2章「先端が低摩擦で回転する彎曲鉗子」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軸回りに低摩擦で回転させるための彎曲鉗子の設計手法を提案している。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が、回転に応じて曲った内パイプの形状と外パイプの曲げ形状が一般に異なるため、内パイプの剛性が高いとそれらが大きな力で接触し、摩擦トルクが大きくなり、先端に加わるトルクが手元に正確に伝わらないだけでなく、先端と手元側での角度差(ねじれ角)が増大することを指摘している。低摩擦かつ低剛性なプラスチックパイプを使用することにより摩擦トルクを下げるができるが、金属パイプに比べ横弾性係数が低いためねじり剛性も低く、ねじれ角が増大することを指摘している。

そこで、摩擦トルクを下げるために、内パイプと外パイプを端部のみで接触させ、それらの彎曲形状をできる限り一致させることを提案し、内パイプに切り込みを入れて、その曲げ剛性を局所的に変化させ、内パイプの曲げ形状を調整する方法を示している。外径8mmと5mmの鉗子に関してシミュレーションを行い、鉗子先端に20Nmmのトルクを加えたとき、8mmの鉗子(Ti-6Al-4V使用)ではねじれ角が4.3°、5mmの鉗子(SUS304使用)ではねじれ角が2.8°となり、ねじれ角が十分小さい値にできることを確認している。外径5mmの鉗子を実際に製作し、実際の手術環境を想定した*ex vivo*実験を行い、鉗子を鶏のレバー、豚挽肉、豚血液に挿入した後、および、外パイプに豚血液を挿入し固化させた後でも、回転に必要なトルクの増加は小さいことを確認している。さらに、滅菌・洗浄するために、容易に分解可能な構造にできることを示している。

第3章「分解能を等方化する力センサ起歪体」では、二重ダイヤフラム構造に着目した起歪体を考案し、手術器具先端に装着する力センサの計測範囲を均等化し、分解能を等方化する手法を提案している。一般に先端側に装着する力センサでは、長手方向の分解能が横手方向に比べて低く、それを高くすると、横手方向の計測範囲が小さくなることを指摘している。二つの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一方で、長手方向の剛性は距離に依存しないことに着目し、ダイヤフラムの厚さで長手方向、距離で横手方向の剛性を調整する分解能等方化方法を提案している。また、ダイヤフラムにかかる応力が許容値を超えないようにするためには、ダイヤフラムにらせん状の切込みを入れればよいことを示している。

外径5mmの鉗子(Ti-6Al-4V使用)と10mmの鉗子(SUS304使用)に関してシミュレーションを行い、5mmの鉗子ではダイヤフラム間距離が6mmで分解能を等方化できること、10mmの鉗子ではダイヤフラム間距離が12mmで分解能を等方化できることを確認している。さらに外径10mmの鉗子を製作し、力の計測範囲が長手方向と横手方向で均等化され、分解能が等方化されることを実験的に確認している。

第4章「刺入力帰還口腔がん小線源刺入マニピュレータ」では、刺入力を操作者に呈示できる遠隔操作口腔がん小線源刺入マニピュレータを提案している。視覚情報だけでは刺入針が患部と接触しているかの判断が難しいこと、および過大な力での刺入を避ける必要があることを指摘し、柔軟構造を活用して、ワイヤを押すことで刺入動作を行うマニピュレータを提案している。このようにワイヤを用いることにより、駆動系の慣性、摩擦が抑えられ、刺入力が帰還しやすくなることを指摘している。ただし、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し座屈を防止することが有効であることを示している。刺入力が操作者に呈示できることを実験的に確認している。

第5章「結言」では、本論文を総括するとともに、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は手術マニピュレータの細長い形状のために難しい先端に加わる力の手元側への帰還を柔軟構造を用いて実現しており、工学上および工業上貢献するところが大きい。よって本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値があるものと認める。