

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	化学繊維ロープを用いたワイヤ干渉駆動型長尺マニピュレータの力学と制御
Title(English)	
著者(和文)	高田敦
Author(English)	Atsushi Takata
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11743号, 授与年月日:2022年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:遠藤 玄,鈴森 康一,武田 行生,岡田 昌史,中西 洋喜
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11743号, Conferred date:2022/3/26, 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

# 化学繊維ロープを用いたワイヤ干渉駆動型

## 長尺マニピュレータの力学と制御

東京工業大学 工学院 機械系 機械コース

高田 敦

災害現場など危険で奥まった場所に侵入し作業を行う長尺な多関節マニピュレータが求められている。本論文では長尺マニピュレータの実現方策として、化学繊維ロープを用いたワイヤ干渉駆動機構に注目した。前任者により全長 10 m のマニピュレータ試作機が設計されたが、全体の空中支持、マニピュレーション動作が実証されていなかった。この原因を整理し、本研究で取り組む研究課題を関節駆動機構の耐荷重向上と、腱の剛性限界に起因する関節角制御の不安定性を回避する運動生成とした。鋼鉄に匹敵する剛性を仮定しても腱の剛性が十分でないことから、腱の強度だけでなく剛性もまた、長尺マニピュレータの実現を制約するものであることを指摘した。これらの課題を解決し、マニピュレーション動作を全長 10 m 試作機にて実証することが本論文の目的である。

続いて、腱の伸びが無視できないマニピュレータの制御方策として、ダイナミクスベースト制御、すなわち、関節角は腱の弾性と重力によるポテンシャルに従って動き、関節角目標値が平衡点となるようにアクチュエータ変位が制御される枠組みを採用した。つまり、目標の手先位置までの関節角経路を定める必要がある。従って、運動生成の課題を、ポテンシャルの形状を左右する冗長な関節角の定め方、関節角を支える冗長な腱の張力の定め方、関節剛性を左右する化学繊維ロープの伸び特性の解明の 3 つに課題をさらに分析した。

まず、マニピュレータの瘦身さを保ったまま伝達機構の耐荷重を向上させる方法として材質変更を行い、全長 10 m 試作機の空中支持を達成した。加えて、ダイナミクスベースト制御に基づくアクチュエータ変位制御の導入を行った。

続いて、自重を支えるために大きな張力が必要な腱を助けるように駆動冗長性を活用する張力決定法を提案した。さらに、手先の可動範囲の大きさは前章の張力決定法だけでなく、逆運動学の解き方に依存することを指摘し、腱の負担が最も大きくなる最悪ケースで逆運動学解き、可動範囲を評価した。そして、前述の張力決定法の評価として可動範囲の体積を計算し、従来の張力決定法の場合と比較した結果、提案手法は従来手法にくらべ、大きな可動範囲を達成することを確認した。

次に、化学繊維ロープの複雑な伸び特性の表現として、非線形塑性と線形粘弾性を直列に分解したモデルを用いて粘弾性パラメータを応力緩和法により測定した。その結果、化学繊維ロープの弾性係数は鋼鉄製ワイヤロープの半分程度となった。しかし、機構の関節剛性は腱の弾性係数を腱の長さで除した値として表れるため、一概に小さいとは言えない。実際、全長 10 m 試験機の腱の長さを模擬した 1 自由度試験機にて周波数応答を測定したところ、化学繊維ロープは鋼鉄製ワイヤロープと同程度の駆動帯域を実現することを確認した。

最後に、関節角の安定性解析を行った。大きな張力によって大きな伸びが生じるため、アクチュエータを固定しても関節角の安定性は定かではない。そこで、極配置法により体幹を上向きにする姿勢では不安定となる機序を分析し、このような不安定な姿勢を避け、なおかつ腱の張力が設計強度を超えずに与えられた目標手先位置に到達するまでの関節角経路を計画する運動生成法を提案し、提案手法で探索した経路の実証実験を全長 10 m 試作機にて行い、有効性を示した。

