

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	高強度化学繊維を用いたワイヤ干渉駆動型長尺多関節マニピュレータの機構と制御の研究
Title(English)	
著者(和文)	堀米篤史
Author(English)	Atsushi Horigome
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10467号, 授与年月日:2017年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:遠藤 玄,鈴森 康一,小田 光茂,塚越 秀行,菅原 雄介
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10467号, Conferred date:2017/3/26, 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

高強度化学繊維を用いたワイヤ干渉駆動型

長尺多関節マニピュレータの機構と制御の研究

東京工業大学 大学院理工学研究科 機械宇宙システム専攻

堀米 篤史

福島第一原子力発電所に代表される、人が立ち入ることのできない狭隘かつ危険な作業現場では、手先三次元位置を制御可能な細径かつ長尺の冗長多関節マニピュレータが有効であるが、これを開発するためには、長尺化に伴い急激に増大する自重による関節トルクを支持可能な機構と、その制御法の確立が必要である。これらを実現するために、高強度かつ軽量の化学繊維ロープとプーリを用いて、干渉駆動と自重補償を組み合わせた新たな機構構成法と制御法を提案し、これらの有効性を数値シミュレーションおよび試作機による実験で明らかにすることが本研究の目的である。

まず、ワイヤ駆動のための高強度化学繊維の基礎的諸特性を、開発した試験装置を用いて実験により明らかにし、汎用的な設計指針を提示した。具体的には、プーリ直径 D とワイヤ直径 d の比である曲げ比率 D/d やワイヤ端部固定法およびプーリの溝形状をパラメータとしたワイヤ引張強度や、繰返し曲げに対する耐久性を実験により明らかにし、実験式を導出することで汎用的な設計指針を提示した。

次に、従来平面に運動が限定されていたワイヤ干渉駆動機構を、三次元空間の運動に拡張するための機構構成法とその制御法を提案し、試作機による実験でこれらの有効性を明らかにした。すなわち、ピッチ軸関節とヨー軸関節を直鎖状に連結し干渉駆動する新たな機構構成法を提案し、ワイヤ張力の伝達特性、ワイヤを巻き取るリールの適切な配置、マニピュレータの格納手法を明らかにした。次に、ワイヤとプーリの配置により定められる行列から、ワイヤ張力と関節トルクの関係、ワイヤ巻き取り長さとの関係が解析的に求められることを示し、これらを用いた制御法を提案した。開発した6自由度マニピュレータ試作機（全長 2.4 m、質量 15 kg）を用いた位置制御実験の結果、この試作機が高い位置決め精度を有していることを明らかにした。さらに、この手法によるマニピュレータに自重補償機構を導入することで、さらに細径かつ長尺な多関節マニピュレータを実現する機構構成法と、その制御法を提案し、これらの有効性を数値シミュレーションにより明らかにした。干渉駆動機構と自重補償機構で分担して関節トルクを生成するため、マニピュレータ姿勢に応じて自重補償ワイヤの張力を最適化する制御法を提案し、干渉駆動ワイヤの最大張力と手先可動範囲の数値シミュレーションにより評価することで、地上で運用する作業用多関節マニピュレータとしては世界最長となる全長 10 m、直径 0.2 m、ピッチ軸 7 自由度、ヨー軸 3 自由度の構成が実現可能であることを明らかにした。

最後に、これまでに提案した機構構成法および制御法を用いた試作機を開発し、これらの有効性を明らかにした。図 1 に示す6自由度マニピュレータ試作機（全長 5.7 m、質量 28 kg）を開発し、これを用いた手先位置制御実験および 1000 N の荷重負荷実験の結果から、これらの提案手法の有効性を明らかにした。次に 10 自由度マニピュレータ試作機（全長 10 m、質量 50 kg）を開発し、基礎動作試験の結果から、実機実証のための課題を明確化した。

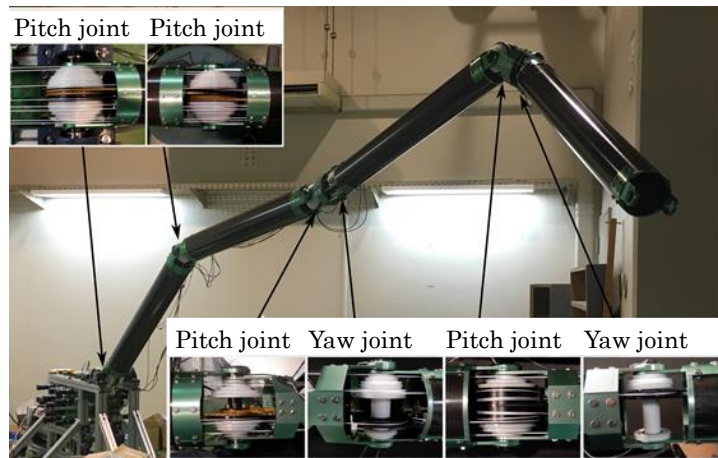


図 1: 長尺多関節マニピュレータ Super Dragon 5.7 m