

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涉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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	堀米 篤史	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	遠藤 玄	准教授	菅原 雄介	准教授
	審査員	鈴森 康一	教授		
		小田 光茂	教授		
塚越 秀行		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「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」と題し、以下の6章よりなる。

第1章「序論」では、本論文の研究背景と目的を述べている。すなわち、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出来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と述べている。これらを実現するために、高強度かつ軽量の化学繊維ワイヤとプーリを用いて、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と述べている。

第2章「ワイヤ駆動のための高強度化学繊維の基礎的諸特性」では、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ている。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などをパラメータとしたワイヤ引張強度や、繰り返し曲げに対する耐久性など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ている。

第3章「三次元ワイヤ干渉駆動型多関節マニピュレータの開発」では、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ている。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姿勢などを明らかにしている。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ている。開発した6自由度マニピュレータ試作機(全長 2.4m, 質量 15kg)を用いた位置制御実験の結果、マニピュレータ全長に対する手先位置誤差が最大 0.83%であり、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ている。

第4章「自重補償機構の導入」では、前章の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ている。まず、前章の干渉駆動機構に加えて、各関節に配置した二重プーリに一本の太径ワイヤを巻きかけ、そのワイヤを大出力アクチュエータにより牽引し張力制御することで、自重トルクの大部分を補償する新たな機構構成法を提案している。これにより関節を駆動する干渉駆動用ワイヤを細くすることが可能となり、その結果、マニピュレータも細径化できることを明らかにしている。次に、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、関節角度を制御する干渉駆動ワイヤの最大の張力を最小化することを目的関数として、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 10m, 直径 0.2m, 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ている。

第5章「試作機の設計と実験」では、第2～4章で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ている。段階的実証として、6自由度マニピュレータ試作機(全長 5.7m, 質量 28kg)を開発し、これを用いた手先位置制御実験および1000N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ている。次に10自由度マニピュレータ試作機(全長 10m, 質量 50kg)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ている。

第6章「結論」では、本研究で得られた結果を総括し、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、高強度化学繊維を用いたワイヤ-プーリ駆動系により、干渉駆動と自重補償を組み合わせた新しい機構構成法と制御法を提案し、長尺多関節マニピュレータ試作機を用いた実験によって、これらの有効性を明らかにしたものであり、工学上、工業上、貢献するところが大きい。よって本論文は博士(工学)の学位論文として十分な価値があると認められる。(1934 字)