

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 機械宇宙システム 専攻
Department of
学生氏名： 堀米篤史
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 遠藤玄
Academic Advisor(main)
指導教員 (副)： 鈴木康一
Academic Advisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

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た。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、高強度かつ軽量化化学繊維ロープとプーリーを用いて、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。

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た。具体的には、プーリー直径 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ー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。

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姿勢を明らかにした。次に、ワイヤとプーリー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、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た。

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た。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ー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た。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た。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。

第5章「試作機的设计と実験」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た。段階的実証として、6自由度マニピュレータ試作機(全長5.7 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。

第6章「結論」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題と展望について述べた。

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-プーリー駆動系により、干渉駆動と自重補償を組み合わせる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。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： 機械宇宙システム 専攻
Department of
学生氏名： 堀米篤史
Student's Name

申請学位 (専攻分野)： 博士 (工学)
Academic Degree Requested Doctor of
指導教員 (主)： 遠藤玄
Academic Advisor(main)
指導教員 (副)： 鈴木康一
Academic Advisor(sub)

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis proposed a new mechanism combining a coupled tendon-driven mechanism and a weight-compensation mechanism and control method of it with synthetic fiber ropes. Finally, it clarified effectiveness of the proposed mechanism and control method through various experiments of synthetic fiber ropes and development of a prototype of a long-reach multi-joint manipulator.

In the first chapter, it discussed requirement of a long-reach manipulator and problems of developing the manipulator.

In the second chapter, it clarified the basic property of synthetic fiber ropes for tendon-driven mechanism by the developed devices. Finally, it presented versatile technical guideline to design a tendon-driven mechanism.

In the third chapter, it proposed the mechanism and control method to expand an ordinary coupled tendon-driven mechanism to move in a 3D space. Conducting control experiments of a prototype of a coupled tendon-driven multi-joint manipulator with the proposed mechanism, it clarified effectiveness of them.

In the fourth chapter, it introduced a weight-compensation mechanism into a coupled tendon-driven mechanism in order to support the weight of a long-reach manipulator. Numerical simulation clarified the possibility of long-reach manipulator with a length of 10 m.

In the fifth chapter, it clarified effectiveness of the mechanism and control method to develop a long-reach manipulator by control experiments of the prototype models. Finally, it presented the problems for realization of the practical manipulator.

In the sixth chapter, it summarized the results obtained in this research and described future work and prospects.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).