

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Design and Control of Single and Parallel Soft Pneumatic Helical Deformation Actuators
著者(和文)	YUANPeizheng
Author(English)	Peizheng Yuan
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12536号, 授与年月日:2023年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:塚越 秀行,三平 満司,倉林 大輔,鈴森 康一,高山 俊男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12536号, Conferred date:2023/9/22, 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		YUAN Peizheng		
			氏名	職名			
論文審査 審査員	主査		塚越秀行	教授	高山俊男	准教授	
	審査員		三平満司	教授			
				倉林大輔	教授		
				鈴森康一	教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Design and Control of Single and Parallel Soft Pneumatic Helical Deformation Actuators」と題し、全6章から構成されている。

第1章「Introduction」では、本研究の背景、意義、目的および構成について述べている。空気圧ソフトアクチュエータは、形状適応性や人体との親和性に優れるため、狭隘空間の点検作業や生活支援を行うロボットの要素技術として進化が期待されている。なかでも、索状空気圧ソフトアクチュエータは、多様な形状を能動的に生成できれば、対象物を傷めずに把持・マニピュレーションなどを行える可能性を有する。しかし、従来の設計法でこの動作を実現しようとするとチャンバー数の増加を招き、無加圧状態のチャンバーや配管がアクチュエータの可動範囲を狭めやすいことが課題となっていた。以上を踏まえて本論文の目的は、上記課題の解決のために、極力少ないチャンバー数で索状空気圧ソフトアクチュエータに曲げやねじりを含む複数パターンの曲線形状を生成させるための新たな設計概念として螺旋干渉駆動を提案し、その設計と制御の有効性を検証することであると述べている。

第2章「SHA: Single Helical Actuator」では、螺旋干渉駆動を構成する基本要素として、索状から常螺旋に変形する単体の空気圧ソフトアクチュエータ (SHA) を提案し、その設計、製作方法、動作特性を明らかにしている。まず、柔軟ゴム、異方性伸縮布、非伸縮性ワイヤから成る構造とその製作方法を示し、中心軸に対する異方性伸縮布の繊維角度が収縮率に影響を及ぼすことを明らかにしている。そして、内径 11.6mm の SHA の試作機に空気圧 0.3MPa を印加したときに最大収縮率 78%、牽引力 23N が生成可能なこと、および構築した力学モデルの妥当性、を実験で確認している。

第3章「DHA: Double Helical Actuator」では、螺旋干渉駆動を具現化する構成として、SHA を2本並列に配置し、それに可変構造機能を付加した2種類の設計方法を提案している。まず、DHA-I は、各 SHA の中心軸周りの回転機能を付加した螺旋の位相、ピッチの従属可変構造であり、4入力により C 型湾曲、常螺旋、不均一螺旋などの形状を含む曲線が生成されることを示している。次に、DHA-II は、各 SHA の繊維角度・繊維長さを可変にした螺旋の位相、ピッチ、長さの独立可変構造であり、6入力により DHA-I で実現される曲線に加えて I 型、J 型、S 型湾曲など6種類の代表形状を含む曲げとねじりの複数パターンの形状が生成されることを示している。さらに、当該形状の遷移過程を活用すると、ペットボトルを把持しながら注ぎ動作も生成できることを実験で確認している。

第4章「Direct Kinematics and Inverse Kinematics of DHA-II」では、DHA-II の曲線形状を制御するための順運動学と逆運動学の演算手法を検討している。はじめに、順運動学として、索状体の中心軸方向に沿って設けた複数の離散点の運動に着目し、各点の断面で湾曲方向と曲率を示すベクトルを逐次加算することにより、DHA-II の形状と向きが求まることを示している。また、逆運動学として、構造の制約条件下で導かれる曲線形状と向きを定める6つの特徴パラメータに着目し、これらが DHA-II の6つの入力パラメータで制御可能であることを述べている。さらに、実用化を視野に入れて曲線形状の計測を簡素化するために、DHA-II の上部2点と下部2点の座標情報から、長さ一定の条件下で4つの入力パラメータを求める逆運動学を簡易化した手法も提案し、シミュレーションと試作機の実験結果の比較より、本手法の有用性を確認している。

第5章「Control System of DHA-II」では、順運動学と逆運動学を使って、DHA-II の曲線形状と向きの制御手法を示している。まず、DHA-II への入力を手動操作で調整するインターフェースの構築により、試作機の可動範囲を実験的に確認する手法を説明するとともに、その際に得られた先端軌道が計算結果とおおむね一致したことから、順運動学の妥当性を確認している。次に、逆運動学を簡易化した手法で求まる DHA-II の4つの入力パラメータと、深度カメラから計測される4点の位置情報を用いたフィードバック制御系により、目標曲線の形状と向きに自動的に追従できたことから、逆運動学を簡易化した手法の妥当性を確認している。

第6章「Conclusion」では、各章で得られた知見を総括し、残された課題と今後の展望について述べている。

以上を要するに、本論文は、索状空気圧ソフトアクチュエータの設計概念として螺旋干渉駆動を提案し、螺旋を生成する2本のアクチュエータの並列配置に可変構造機能を付加した構造により、曲げやねじりを含む複数パターンの曲線の形状と向きの制御が可能なことを実験的に検証するとともに、対象物を柔軟に把持、マニピュレーションを行う作業に適することも示しており、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を有すると認められる。