

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A Novel Design of Parallel Continuum Robot with Enhanced Dexterity and Rigidity
著者(和文)	LEIYuhang
Author(English)	Yuhang Lei
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第261号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:武田 行生,菅原 雄介,遠藤 玄,松浦 大輔,三浦 智
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第261号, Conferred date:2025/3/26, 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	Lei Yuhang		
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名	
	主査	武田 行生	教授	三浦 智	准教授	
	審査員	菅原 雄介	准教授			
		遠藤 玄	教授			
		松浦 大輔	特任准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「A Novel Design of Parallel Continuum Robot with Enhanced Dexterity and Rigidity (パラレル連続体ロボットの器用さと剛性を向上させる新しい設計)」と題し、全5章よりなる。

第1章「Introduction (緒論)」では、研究の背景、従来の研究、研究目的および本論文の構成について述べている。本論文で対象とする、パラレル連続体ロボット (以下、PCR) は、中央に配置された1本の弾性ロッド (背骨)、並列に配置された弾性ロッド、出力リンク、静止リンクおよび複数の中間リンクからなり、並列配置された複数の弾性ロッドを駆動することにより出力リンクの空間内の位置・姿勢が制御され、連続体ロボットとパラレルロボットの特徴を活かした細長い形状のロボットとして、低侵襲手術、狭隘空間でのマニピュレーション、宇宙探査等、従来のロボットでは実現が困難な作業への応用が期待されると述べている。そして、その実現のためには、PCRの器用さと剛性を向上させる設計が必要であると述べ、本論文は、その形状特性を維持しつつ適切な剛性を有するとともに大変位のねじり動作が可能で器用さに優れたPCRを、新たな構造の提案とモデル化、運動・力学解析および実験的検討を通して、明らかにすることが目的であると述べている。

第2章「Methodology, Mechanism, and Modeling (方法、機構およびモデル化)」では、まず、大変位のねじり動作が可能なPCRの機構として、自由度と構造の異なる3形式の機構:3自由度の3PFS-FR機構と6自由度の6PFS-PFS機構および6PFS-FS機構 (P:直進対偶, R:回転対偶, S:球対偶, F:弾性ロッド, 下線のある対偶:能動対偶)を提案し、それらの構造を説明するとともに実験用の試作機を紹介している。そして、Cosserat/Kirchhoffロッド理論に基づくこれらの機構のモデル化と運動・力学解析のための式の導出を行い、Shooting法に基づく順問題および逆問題の解析手順を示している。

第3章「3PFS-FR Robot Analysis and Experiments (3PFS-FRロボットの解析と実験)」では、第2章で示した3自由度の3PFS-FRロボットの解析モデル・手順を用いて、姿勢に関する作業領域解析、コンプライアンス解析、特異点解析を行った結果を示すと同時に、位置決め精度および特異点における挙動を実験結果により示している。また、出力リンクと弾性ロッドを接続する対偶の種類と中間ディスクの枚数が出力ねじり変位に及ぼす影響を具体的に示し、適切な構成を明らかにしている。以上により、提案した3PFS-FRロボットは大変位のねじり動作が可能で器用さが優れるものの、ねじり動作に関連した特異点の存在、低い位置決め精度および低剛性であること等の問題を有することを明らかにしている。

第4章「6PFS-PFS/FS Robot Analysis and Experiments (6PFS-PFS/FSロボットの解析と実験)」では、第2章で示した6自由度の2つのPCRの運動・力学解析のモデルと手順を用いて、位置および姿勢に関する作業領域、コンプライアンス解析、特異点解析を行うとともに、位置決め精度および出力リンクに作用する外力の検出に関する実験結果を示して検討を加えている。そして、これらの結果より、6PFS-PFSロボットおよび6PFS-FSロボットはともに、第3章で取り上げた3PFS-FRロボットに比較して構造的な剛性が格段に向上するとともにねじり動作に関連した特異点の存在は確認されず、従来のPCRに比べて大きな出力ねじり変位を達成できるとともに位置決め精度も良好であって外力の検出も可能であると述べている。さらに、6PFS-PFSロボットと6PFS-FSロボットの作業領域を比較し、これら2つのロボットの動作に対応する作業モードを適切に選択可能とした1つのロボットを構成できれば、より優れた特性が期待できると述べている。

第5章「Conclusion and Future work (結論および今後の展望)」では、本論文で得られた結果と今後の展望を簡潔にまとめて述べている。

以上を要するに、本論文は、低侵襲手術等の優れた器用さと適切な剛性が要求される用途向けのロボットとして、新たな構造のパラレル連続体ロボット (PCR) を3形式提案し、それらの運動・力学解析のためのモデル化と手順を示し、理論解析および実験的検討を行って、特にねじり動作において器用さを大幅に向上させ、構造的に良好な剛性特性を有するPCRを具体的に明らかにしたもので、工学上および工業上、貢献するところが大きい。よって、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。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」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。