

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	伸展可能な折り紙の部材の干渉と変形を考慮した運動特性解析と伸展機構への応用
Title(English)	Kineto-elasto-static characterization of a deployable origami and its application to extendable mechanisms
著者(和文)	松尾博史
Author(English)	Hiroshi Matsuo
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11980号, 授与年月日:2021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,岩附 信行,遠藤 玄,坂本 啓,松浦 大輔
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11980号, Conferred date:2021/3/26, 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		松尾 博史		
			氏名	職名			
論文審査 審査員	主査		武田 行生	教授	坂本 啓	准教授	
	審査員		菅原 雄介	准教授	松浦 大輔	特任准教授	
				岩附 信行	教授		
				遠藤 玄	准教授		

### 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「Kineto-Elasto-Static Characterization of a Deployable Origami and its Application to Extendable Mechanisms (伸展可能な折り紙の部材の干渉と変形を考慮した運動特性解析と伸展機構への応用)」と題し、全6章よりなる。

第1章「Introduction (緒論)」では、本研究の背景と関連研究、本論文の目的と貢献および構成について述べている。展開可能な折り紙には部材の変形を伴いながら多自由度の出力運動を創成可能な、柔軟で展開可能な折り紙があり、伸展装置等への応用が期待される一方、その運動学および力学的特性の解明は十分に進んでいない。本研究では、柔軟で展開可能な折り紙の一つで3自由度の機構としてモデル化される一方でほぼ1自由度の伸展挙動を示す特徴を有する Origami Spring を取り上げ、これを剛体と柔軟物体および回転対偶によりモデル化して運動力学的特性を解明するとともに、その結果に基づいて具体的な伸展装置の応用例を示し設計と実験的検討を行って、柔軟で展開可能な折り紙に基づく伸展装置の設計を可能とすることが目的であると述べている。

第2章「Origami Spring (折り紙スプリング)」では、本研究で対象とする Origami Spring の基本的な特徴を述べ、その構造において伸展時に変形が生じる部材を特定してそれ以外を剛性の高い部材で置き換えた模型を製作し、その伸展挙動を実際の折り紙と比較して、模型の構造が妥当であることを示している。また、既存の Origami Spring の展開図の形状寸法を変えることにより、異なる形状特性が得られることを示している。

第3章「Characterization with Consideration to Collision and Deformation of Components (部材の干渉と変形を考慮した特徴解析)」では、第2章で製作した模型をもとに、Origami Spring の運動力学モデルとして剛体と弾性体および回転対偶からなる3自由度空間リンク機構を提案し、その剛体部材同士の干渉を考慮した機構のコンフィギュレーション空間を明らかにしている。これにより、剛体部材の太さが Origami Spring の運動範囲に影響を与えること、Origami Spring は伸展に伴って全体の形状が湾曲することを理論的に明らかにしている。さらに、弾性体部材同士の接触による変形の影響をその変形によって構造内に蓄えられる弾性エネルギーによって評価することを提案し、Origami Spring で観察されるほぼ1自由度の伸展挙動がこのエネルギーの大きさおよび分布によって説明できると述べている。

第4章「Application to an Extendable Arm for Working in a Narrow Space (狭隘空間で作業する伸展アームへの応用)」では、狭隘空間内で作業を行うための伸展アームへの応用を想定し、Origami Spring の構造をもとに、高い伸展率と十分な耐荷重性を備え、大曲率形状を出力可能な多自由度伸展機構を設計している。第3章の結果に基づき部材の変形と干渉を除去および軽減した機構を具体的に示し、これにより大曲率形状の出力が可能となることを示している。さらに、この機構に基づく5自由度の伸展アームの駆動方法を具体化するとともに試作・実験を行って、所期の形状創成が可能であることを示している。また、先細り形状となる Origami Spring の展開図に基づく伸展アームを試作し、その伸展形状における自重および負荷に対する姿勢保持特性について理論解析および実験により明らかにしている。

第5章「Application to an Assistive Device for Fall Prevention (転倒防止用の支援装置への応用)」では、本論文で対象とする Origami Spring の特性を活用し、高速かつ能動的に伸展して杖のように振る舞って高齢者の転倒を防ぐことを可能とする装置の開発を目指し、機構の駆動箇所による入出力速度比の違いに着目して、適切な駆動・固定箇所の選定を行っている。そして、高速伸展動作のための空気圧駆動アクチュエータと固定用結束バンドを装備した実験装置を試作して、所期の動作を実現するとともに、転倒回避動作を想定した耐衝撃特性を明らかにしている。

第6章「Conclusions and Future Work (結論および今後の課題)」では、本論文で得られた成果、と今後の課題および展望を述べている。

以上を要するに、本論文は、種々の応用が期待される柔軟で展開可能な折り紙を対象として、その運動力学モデルを提案し、解析を行ってその運動創成の本質を明らかにするとともに、高い伸展率と大曲率変位、高速伸展および十分な耐荷重性を有する具体的な伸展装置の設計・試作例を示して、柔軟で展開可能な折り紙に基づく伸展装置の設計を可能としたものであり、工学上および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。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(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。