

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	誘電エラストマアクチュエータを用いたマルチバルーン搬送機構
Title(English)	
著者(和文)	JANGYUJIN
Author(English)	Yujin Jang
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12690号, 授与年月日:2024年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:鈴森 康一,遠藤 玄,岩附 信行,前田 真吾,高山 俊男
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12690号, Conferred date:2024/3/26, 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

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		Jang Yujin	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	鈴森 康一	教 授	審査員	高山 俊男	准教授
	審査員	遠藤 玄	教 授			
		岩附 信行	教 授			
		前田 真吾	教 授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「誘電エラストマアクチュエータを用いたマルチバルーン搬送機構」と題し、以下の6章からなる。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的について述べている。物体搬送や移動を目的としたソフトアクチュエータとして弾性進行波を利用したものが注目されているが、柔軟な構造と高い駆動周波数を両立させたものはまだ開発されていない。また空圧で駆動されるアクチュエータでは外部から空気を供給するホースが不可欠で、アクチュエータの自立化を妨げていた。本論文では、上記の課題を解決するために、空圧バルーンアクチュエータと誘電エラストマアクチュエータ(dielectric elastomer actuator; DEA)によって発生する弾性進行波による搬送機構を提案し、その特性と設計法を示すことが本研究の目的であると述べている。

第2章「シリコーンゴムのプラズマ処理接合における表面性状の影響」では、空圧バルーンアクチュエータを製作する際に必要となる、プラズマを用いたシリコーンゴムの接合について述べている。まず、3Dプリンタでモールドを製作する際にできるシリコーンゴムの表面形状が接合強度に与える影響を明らかにすることが新たな重要課題になってきたと述べている。次に、プリンタ方式、プリント条件、材料、等が異なる種々のモールドを用いて成形したシリコーンゴムにシリコーン膜を接合して引きはがし試験を行い、引きはがし強度と破壊面の観察から、シリコーンゴムの表面形状と接合強度の関係を論じている。その結果、接合強度の推定において、接合面の算術平均粗さ Ra は、滑らかな表面と周期的な形状を持つ接合表面に対して有効であるが、それ以外の接合面に対してはばらつきが大きいことを示し、突起形状の尖度、密度、高さ等の表面形状を考慮した新しい指標 R_{w*} を提案し、 Ra と R_{w*} を併用することで、シリコーンゴムの表面形状から接合強度が推定できることを示している。

第3章「進行波生成空圧アクチュエータの有限要素法による構造最適化」では、有限要素法を利用したマルチバルーン構造の設計法について述べている。3本の空気室を渦巻状に配置したマルチバルーン構造を持つ空圧アクチュエータを提案し、このアクチュエータの寸法最適化のプロセスを具体的に述べている。搬送方向の変位を最大化する各部の寸法を算出したのち試作を行い、マルチバルーン構造の変形動作が有限要素法による数値解析結果と一致することを示し、有限要素法を用いて適切なマルチバルーン構造が設計できることを実証している。

第4章「DEA 駆動3-バルーン搬送機構」では、DEA で駆動される、3つのバルーンを並べた直動の搬送機構を提案し、その設計法と特性について理論と実験の両面から論じている。すなわち、外部のコンプレッサと電磁バルブで駆動する従来の方法は、高速駆動ができない、自立化ができない、システムが大型化する、といった問題があるが、一定の空気を封入した複数のバルーンを DEA で駆動する構造を採用することでこれらの問題が解決できると述べている。まず、バルーンを構成するシリコーン膜の誘電特性と弾性特性を考慮した理論モデルをたて、膜厚、形状、プリストレッチ量、印加電界強度が、バルーンの変形動作に与える影響を明らかにした後、隣り合うバルーンが互いに干渉することにより適切な進行波が生成できることを示している。次に、電極のスクリーン印刷、ゴム成形、接合からなる製作プロセスを利用して試作を行い、評価実験を行っている。その結果、設計とよく一致する進行波を生成できることを示したのち、物体の搬送動作を実現し、提案する搬送機構の有効性を示している。

第5章「DEA 駆動バルーン機構の自励振動」では、搬送機構の完全な自立化を目指し、制御回路を不要とする新しいバルーン搬送機構の構成法を提案している。すなわち DEA の変形に伴う固定電極との近接、放電を利用することで、直流電圧の印加のみで自励振動を行う DEA の設計法を示し、これによってバルーンアクチュエータを駆動できることを実証している。電気回路の電気特性とバルーンアクチュエータの運動特性をモデル化し、外部電極と DEA 間の距離、電源に直列接続する抵抗値、および電圧値を適切に選ぶことで、自励振動の周波数と振幅を設定できることを示している。この構成によって、直流電池を搭載できれば完全に自立して動作する DEA 駆動マルチバルーン搬送機構ができる可能性があるとして述べている。

第6章「結論」では、本研究で得られた結果を総括し、今後の課題と展望について述べている。以上を要するに、本論文は、誘電エラストマアクチュエータで駆動されるマルチバルーン搬送機構を提案し、その機構と制御に関する設計法を示すとともに、その有効性を実証したものであり、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ものと認められる。