

令和 2 年 6 月 8 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H05898・19K21073

研究課題名(和文)MR流体と電磁石によるソフトロボットハンドの把持姿勢制御に関する研究

研究課題名(英文)A Study on Grasping Posture Control of Soft robotic hand by using MR fluid and Electromagnet

研究代表者

柯 強 (OR, Keung)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任研究員

研究者番号：70821122

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、機能性流体と空気圧を合わせることによるハイブリッド駆動を実現することで、シリコン製のソフトロボットハンドの性能を向上させることを目的としている。具体的には以下の項目に関して取り組んだ。

(1)シリコンと近い力学性能の柔らかい電極の開発；(2)シリコンに侵襲しにくい電気粘性流体(ER流体)の開発；(3)ER流体、導電エラストマーをソフトロボット指に組み合わせた構造の設計。最後に組み合わせたシステムの効果について考察した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ソフトロボットハンドは指全体が柔らかい素材で構成されるため、物体の把持やマニピュレーションをする際に対象物が潰れにくい。一方で従来のソフトロボットハンドは自由度不足のため、指の姿勢が変わると把持力が下がる問題が存在している。

そのため、本研究で提案した構造でソフトロボットハンドの指の屈曲特性と把持力の制御を分離させる。ソフトロボットハンドの自由度を高めることで、ソフトロボットハンドのハンドリング性能の向上に貢献することを目指している。

研究成果の概要(英文)：In this research, we aim at improving the performance of soft robotic hand by introducing functional fluid into pneumatic soft robotic hand.

The contribution of this research includes: (1)Development of soft electrode which has similar mechanical properties to silicone rubber; (2) Development of Electrorheological Fluid which does not attack silicone rubber; (3)Structure design to combine ER fluid, conductive elastomer and pneumatic soft robotic hand.

Finally, we investigated the performance of our proposed system.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ソフトロボティクス ロボットハンド

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、柔らかい材料で構成されるソフトロボットハンドの研究が盛んに行われている。従来の剛的ハンドと比べ、ソフトハンドは把持安定性が高く、食品産業やサービスなど様々な分野への応用が期待される。従来の空気圧駆動のソフトロボットハンドの制御手法では、アクチュエータ内の空気圧により指の屈曲角度を調整する。しかし、気圧の強弱が把持力に直結するので把持姿勢によって把持力が不足する場合が存在し、ハンドリングにとって重要な巧緻性が下がる問題点がある。この要因としてロボットハンドの「自由度」が不足していると考えられる。従来のソフトハンドを考察すると、一度材料や形状を決めると指の屈曲特性は二度と変更できないため、既存の構造では指の姿勢と把持力をそれぞれ制御できない。

2. 研究の目的

本研究では、ソフトロボットハンドの「自由度」を著目し、把持姿勢の制御と把持力の制御を分離することにより、ハンドの自由度を増加させる構造を提案した。従来のソフトロボットハンドと比べ、把持姿勢を実現する際に把持力も維持できることでソフトロボットハンドのハンドリング性能を向上させることが目的となる。

3. 研究の方法

本研究は空気圧駆動のソフトロボットハンドに機能性流体を導入することで、指の屈曲特性を制御できるアクチュエータを開発する。指内の流体の粘度を制御することによって指の屈曲特性を調整し、空気圧を合わせることで指の姿勢と把持力をそれぞれ制御する手法を提案した。

4. 研究成果

本研究の初年度に確認した小型電磁石の磁場が不足する問題に対して、磁気粘性流体(MR流体)の代わりに電気粘性流体(ER流体)を利用して多自由度を備えるソフト指を開発する。具体的には以下の項目に関して取り組んだ。

(1). 導電エラストマーの作製：ER流体を制御するために電極が必要となる。指の変形への影響を考慮し、電極の力学性能はソフト指の素材に近いことが求められる。従来のソフトハンドはシリコンゴム(Smooth-on社のDragon Skin 30やEco-flex 30など)より構成されるため、本研究はシリコンゴムにカーボンブラックなど導電性のある粉状素材を入れることで伸縮が可能な電極を開発した(導電エラストマー)。

液体状態のシリコンゴム素材は高い粘度のため、カーボンブラックなど導電性のある粉状素材はシリコンゴムに分散しにくい。そのため、有機溶剤を添加してカーボン粉を分散させる工夫が必要となる。しかし、有機溶剤の種類とカーボン粉の濃度によっては液体状のシリコンゴムはうまく凝固できない場合がある。本研究では、導電エラストマーの凝固特性に関する実験を行った。その結果を図1に示した。

図の○記号は凝固でき、×は凝固できない、△は実験を行う必要がないことを意味する。

		Ratio of CB(wt%) Mixture(Silicon:CB+Dispersant)						
		3	4	5	6	7	22	
[(IPA+ISO)	VXC72	Sylgard 184	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	○ (Around 1MΩ)
		Eco-flex 30	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	○ (Around 1MΩ)
	Kerjenblack	Sylgard 184	×	(×)	(×)	(×)	(×)	(×)
		Eco-flex 30	×	(×)	(×)	(×)	(×)	(×)
[(n-Heptane)	VXC72	Sylgard 184	(○)	(○)	(○)	(○)	(○)	○ (Around 1MΩ)
		Eco-flex 30	(△)	(△)	(△)	(△)	(△)	(△)
	Kerjenblack	Sylgard 184	○ (Around 0.1MΩ)	○ (Around 0.01MΩ)	○ (Around 0.001MΩ)	○ (Around 0.001MΩ)	(△)	(△)
		Eco-flex 30	(○)	○ (Around 0.01MΩ)	○ (Around 0.001MΩ)	○ (Around 0.001MΩ)	(△)	(△)

図 1 導電エラストマーの凝固実験

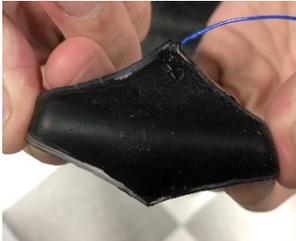


図 2 作製した導電エラストマー

上記の図 1 の結果を利用し，カーボン濃度と有機溶剤の種類を適切に選択して導電エラストマーを作成した．例として，SYLGARD 184(硬さ:Shore A43)で作成した導電エラストマーを Dragon Skin 30(硬さ:Shore A30)の表面に着けたサンプルを図2に示した．図2で見られるように導電エラストマーと Dragon Skin 30のシリコンは分離せずに伸びるという結果を得た．

(2)シリコンに侵襲しにくいER流体の作製：市販のER流体にはシリコンを侵襲する問題が存在する．つまり，従来のER流体はシリコンと接触するとシリコンを膨張させる現象が発生する．ER流体の媒体はシリコンオイル

オイル種類	浸漬日数(日)	重量(g)	厚み(mm)	長さ(mm)	幅(mm)	変化率(%)	
						重量	体積
シリコン系	0	0.17	0.48	30	10	100	100
	1	0.3	0.6	38.6	12.4	176	193
	3	0.3	0.6	39	12.4	176	195
従来媒体	0	0.16	0.5	29.4	10.2	100	100
	1	0.32	0.63	36.3	12.3	200	188
	3	0.32	0.64	37.3	12.4	200	197
フッ素系	0	0.2	0.49	34.5	10.8	100	100
	1	0.2	0.49	34.5	10.8	100	100
	3	0.2	0.48	34.5	10.9	100	99

図 3 膨潤実験

とフッ素系オイルから構成される場合が多い．本研究では実験で各成分の侵襲特性を

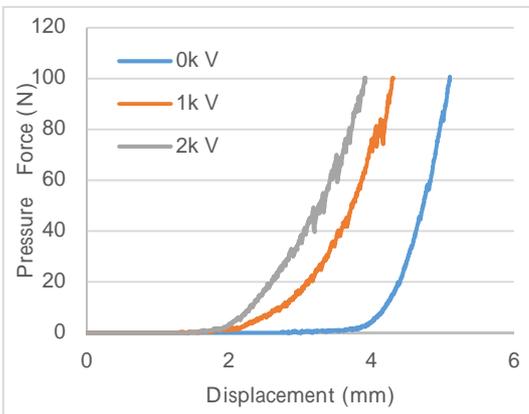


図 4 圧力実験

考察し，結果を図3に示した．図3より，ER流体の中のシリコンオイルはシリコンゴムに侵襲することを明らかにした．その結果を利用し，フッ素系オイルのみのER流体を開発した．開発したER流体と導電エラストマーを統合したモジュールで圧力実験を行い，結果を図4に示した．図4より，導電エラストマーから印加した電界はシリコン内のER流体の粘性を調整でき，モジュールの変形量を制御できることを確認した．

(3) ER流体，導電エラストマーをソフトロボット指に組み合わせた構造の設計：上記(1)

と(2)の成果を利用して空気圧駆動のソフトロボットハンドに統合した．プロトタイプは図5に示した．ショートを防ぐため，電極同士の間にはポリプロピレンのネットを配置した．「関節」として三組の電極を用意して屈曲実験で有効性を確かめた(図6)．今回開発したプロトタイプは指腹にER流体を配置したタイプであるため，対象物と接触する際に影響を与えることを考慮した．今後の課題として，指背

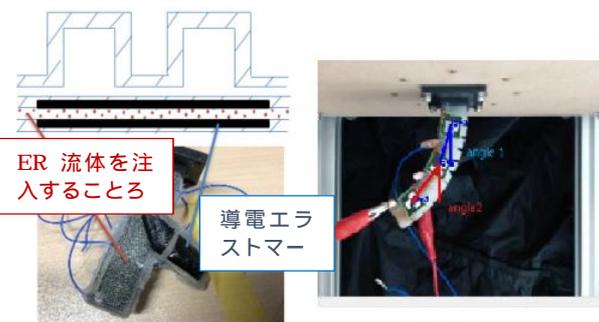


図 5 作製したソフト指のプロトタイプ

のチャンバーにER流体を配置するタイプの検討を行った．また，今回作製したER流体の媒体はフッ素系オイルだけであるため，長時間使用すると流体と粒子が分離する問題が存在する．そこで適切な比重の媒体の開発も検討した．

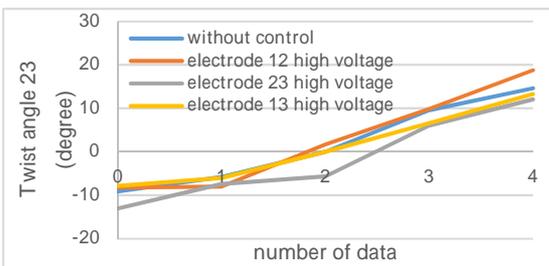


図 6 屈曲実験

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Wang Zhongkui, Or Keung, Hirai Shinichi	4. 巻 125
2. 論文標題 A dual-mode soft gripper for food packaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Robotics and Autonomous Systems	6. 最初と最後の頁 103427 ~ 103427
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.robot.2020.103427	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Rosle Muhammad Hisyam, Kojima Ryo, Or Keung, Wang Zhongkui, Hirai Shinichi	4. 巻 5
2. 論文標題 Soft Tactile Fingertip to Estimate Orientation and the Contact State of Thin Rectangular Objects	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 159 ~ 166
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2019.2950118	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Keung Or, Tadashi Matsuo, Nobutaka Shimada, Zhongkui Wang, and Shinichi Hirai
2. 発表標題 A ROS System for Automating Food Packaging Process
3. 学会等名 The 14th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR 2018)（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 （ローマ字氏名） （研究者番号）	所属研究機関・部局・職 （機関番号）	備考
---------------------------	-----------------------	----