

Title	Tactile sensorization of highly-deformable materials for enriching physical interactions
Author(s)	川節, 拓実
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/70749
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏 名 (川 節 拓 実)	
論文題名	Tactile sensorization of highly-deformable materials for enriching physical interactions (柔軟素材の触覚センサ化—多様な接触インタラクションを目指して)
<p>論文内容の要旨</p> <p>環境との接触インタラクションで生じる情報を取得するために、ロボットへ触覚センサを実装することは重要である。豊かな触覚情報を得るためには接触インタラクション自体を豊かにすることが重要であり、そのために触覚センサの表面は柔軟素材で覆われることが望ましい。この理由として、柔らかな表面は接触物との接触面積を増やすようになり、また3次的に大変形可能な接触表面は薄く硬い表面に比べて多様な接触パターンを可能とすることなどが挙げられる。加えて、人との接触インタラクションが想定されるソーシャルロボットにおいては、柔らかな表面は接触しようとする動機を与える。これまでも数多くの柔軟素材を表面に持つ触覚センサが提案されてきたものの、柔軟素材へのセンサ素子等の固形物の埋め込み等がもたらす数多くの課題が残されている。本論文ではこれらの課題を解決するため、磁性粒子を含有する柔軟素材である磁性エラストマを電磁気現象に基づいて触覚センサ化する2つの手法を提案した。提案センサの表面には磁性エラストマシートの下にシリコーンゴムシートを敷いた2層構造のエラストマシートを用いる。提案センサでは、このエラストマにはセンサ素子等の固形物を埋め込む必要なく、表面に印加された接触力を磁性エラストマの変位として測定することができる。</p> <p>1つ目の手法は、磁石と磁気センサのペアを用いた触覚センサ化である。この手法では、2層構造のエラストマシートの直下に磁石と磁気センサのペアを設置する。センサ表面に押込力が与えられた時、磁性エラストマは磁石と磁気センサに接近するように変形する。ここで磁性エラストマは高い透磁率を持つ磁性粒子を含有しているため、磁石が作る磁場分布が磁性エラストマの接近とともに変化する。磁気センサでこの磁場の変化を測定することにより、磁性エラストマの変位、すなわち磁性エラストマに印加された押込力が推定できる。提案する触覚センサ化手法で接触力の測定が可能かどうかを確認するため、本論文では磁場シミュレーション及び実機実験により提案センサの応答を調べた。実験の結果より、提案センサは磁気センサで磁場の変化を測定することにより2層構造のエラストマシート表面に印加された押込力を測定可能であることを確認し、シミュレーションと実機実験の結果が良好に一致することを確認した。加えて、センサの基本的な性能である感度や測定レンジを2層構造のエラストマシートの厚みを変化させることで調節可能であることを示した。さらにセンサがメキシカンハット型の双極性の空間応答を持つことを示し、この空間応答がシリコーンゴムの非圧縮性によってもたらされることを実験により明らかにした。</p> <p>2つ目の手法は、コイルを用いた触覚センサ化である。1つ目の手法で用いた磁石・磁気センサのペアの代わりにコイルを2層構造のエラストマシートの直下に設置する。1つ目のセンサと同様に、センサ表面に押込力が与えられると磁性エラストマがコイルに接近するよう変形する。ここで、高い透磁率を持つ磁性エラストマがコイルに接近することにより、コイルのインダクタンスが増加する。このコイルインダクタンスを測定することで、磁性エラストマの変位、すなわち磁性エラストマに印加された押込力が推定できる。提案する触覚センサ化手法で押込力の測定が可能かどうかを実機実験により調べた。その結果、提案センサは押込力を約53dBの高い信号ノイズ比で再現性良く測定可能であることを確認した。また、空間分解能とこの信号ノイズ比の間にはトレードオフの関係があることを確認した。</p> <p>さらに2つ目の手法を発展させ、4つのコイル及びシリコーンゴムに円盤形状の磁性エラストマを埋め込むことにより、エラストマ表面に印加した3軸力を測定可能とする触覚センサ化手法を提案した。このセンサでは円盤形状の磁性エラストマが4つのコイルの直上で3次的に変位することでそれらのインダクタンスが変化するため、4つのインダクタンスの組み合わせから磁性エラストマの3次的な変位、すなわち表面に与えた3軸力を推定できる。実機実験より、提案センサは4つのインダクタンス値の総和もしくは差分を取ることでセンサ表面に印加された3軸力を推定可能なことを示した。</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (川 節 拓 実)			
	(職)	氏	名
論文審査担当者	主 査	教授	浅田 稔
	副 査	教授	細田 耕
	副 査	准教授	宮坂 史和
	副 査	教授	中谷 彰宏
	副 査	教授	平田 勝弘
	副 査	教授	南 埜 宜俊
	副 査	教授	

論文審査の結果の要旨

本博士論文は、柔軟素材である磁性エラストマを磁気現象により触覚センサ化する 2 つの手法について提案し、実験からこれらの手法によって得られた 3 つの柔軟触覚センサが従来センサの抱える課題を解決できることを示した。提案手法では、センサ表面に磁性エラストマとシリコンゴムを組み合わせたゴムを用いており、このゴムの外部に磁石と磁気センサのペア、もしくはコイルを設置することにより、磁場の変化もしくはコイルインダクタンスの変化としてゴムに加えられた接触力を測定できる。

本論文の第 1 章では、ロボットが環境との接触インタラクションで生じる情報を取得するために触覚が重要な感覚であること、豊かな触覚情報を得るためには接触インタラクション自体を豊かにすることが重要でありそのために触覚センサの表面は柔軟素材で覆われることが望ましいことを示した。また 第 2 章ではこれまで開発されてきた柔軟表面を持つ触覚センサの特徴と課題を概説し、この課題を解決するキーアイデアについて述べている。

第 3 章では 1 つ目の提案手法である、磁気センサ・磁石のペアを用いた磁性エラストマの柔軟触覚センサ化について示している。磁性エラストマに与えた接触力が、磁石が作る磁場の変化として磁気センサで測定可能であることを磁場シミュレーションおよび実機実験から検証した。これらの実験より提案手法によって押込力が測定可能な触覚センサを構築可能であることを示した。加えて、センサの基本的な性能である感度や測定レンジをエラストマの厚みを変化させることで調節可能であること、センサがエラストマの非圧縮性によりメキシカンハット型の双極性の空間応答を持つことを明らかにした。

第 4 章では 2 つ目の提案手法である、コイルを用いた磁性エラストマの柔軟触覚センサ化について示している。磁性エラストマに与えた接触力がコイルインダクタンスの変化として測定可能であることを実機実験から示した。結果、提案センサは押込力を高い信号ノイズ比で再現性良く測定可能であること、空間分解能と信号ノイズ比の間にトレードオフの関係があることを明らかにした。またセンサに金属を近づけた場合、コイル同士を近接させた場合に生じるインダクタンス変化についても検証している。第 5 章ではこの手法を拡張し、4 つのコイルと円盤形状の磁性エラストマを用いることで 3 軸力の測定が可能であることを明らかにした。ここでも実機実験を行い、4 つのコイルインダクタンスの総和もしくは差分によりセンサ表面に与えた 3 軸力を推定できることを明らかにした。

以上のように本論文では柔軟素材である磁性エラストマを触覚センサ化する手法を提案し、そのセンサ化手法によって得られた柔軟触覚センサが従来センサの抱える数多くの課題を解決できることを明らかにした。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。