

令和 2 年 5 月 11 日現在

機関番号：11501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K12756

研究課題名(和文) 災害現場における効率的な不整地踏破ロボットの開発に向けた進化ソフトロボティクス

研究課題名(英文) Evolutionary Soft Robotics for Traveling Rough Terrain at Disaster Site

研究代表者

小川 純(Ogawa, Jun)

山形大学・有機材料システム研究推進本部・准教授

研究者番号：20773724

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,500,000円

研究成果の概要(和文)：災害対応ロボットにおいて採用される事例の多いクローラ形状の移動機構に対する弾性体シミュレーション解析手法を提案し、金属とシリコン材料から構成されるロボット部品の自動設計を進化アルゴリズムを導入することで実現した。また弾性部品による身体性拡張がもつ作業効率性について検証するため、従来のロボットハンドと本研究手法により設計したソフトグリップを装着したロボットハンドが把持性能を効率化することを示した。加えて、柔らかい身体性によるロボット性能の向上を考察するために、硬い素材と柔らかい素材における圧力センシングの特性を分析することで、柔らかい身体性によるロボット拡張の学術的知見を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボティクス領域において剛体を仮定した力学計算と形状設計が普及している中で、ソフトマテリアルを導入する場合の異種材料のロボットの身体設計を動力学分析に基づく最適化手法を示すことは、学術的に身体性の拡張とその機能の相対効果を明瞭にすることにつながる。学術的にはソフトロボットの制御するための理論に関する実用的な知見を示しており、また社会的には今後のロボット開発にタスクおよび環境に適應する柔らかい部品の設計に有意義な情報処理技術を提供できるといえる。

研究成果の概要(英文)：We proposed an elastic embodiment simulation for a crawler-shaped moving mechanism that is often used in disaster response robots, and we realized the evolutionary design of robot parts composed of metal and silicon materials by introducing an evolutionary algorithm. Moreover, in order to verify the task efficiency of the embodiment extension by elastic parts, it is shown that the robot hand equipped with the soft grip designed by this research method improve the grip performance. In addition, in order to discuss the improvement of the robot performance by the softness, we analyzed the characteristics of pressure sensing in the hard material and the soft material, and we showed the academic knowledge of robot embodiment by the soft physicality.

研究分野：情報科学

キーワード：ソフトロボティクス 進化設計 弾性体シミュレーション 災害対応ロボティクス

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

当該研究課題の開始当初は、災害対応ロボティクスにおいて、柔らかい素材をパーツの一部に用いて、不整地移動の性能を改善を求めたり、エンドエフェクタを柔らかい材料に変換することで繊細な把持動作の実現を目指すなどソフトロボティクスの技術を導入する試みが積極的になされていた。課題代表者は、災害対応ロボットにおけるクローラベルトやエンドエフェクタの形状設計に対し、情報科学領域の人工生命技術として研究が進められていた形態進化の概念を導入することで、対象とする災害現場およびタスクに対して適した形状を自動設計するための技術開発を進めるに至った。また、所属機関では災害対応ロボットのテストフィールドや標準性能試験およびシミュレーションロボットのソフトウェア技術の研究を実施していたため、主に所有しているデュアルアームクローラロボットを対象とした研究として進めた。

2. 研究の目的

本研究では、災害対応ロボティクスの分野において、災害現場を複数の環境に分割し、各々の環境でのタスク遂行を主目的とするソフトロボットを構築し、それらのロボット群の情報通信、コミュニケーションシステムを提案するとともに、各々の環境に適応するロボット形状を進化計算などの応用した設計者の先入観に依存しない手法を用いて決定するロボット機構の新たな設計論の確立を目指すものである。また従来の災害対応ロボットに対して、ソフトロボティクスとシミュレーション技術を融合したアプローチから、効率的に課されたタスクを遂行できるロボット要素を発見し、実ロボットに搭載することでタスク達成性能を向上することである。そして、柔らかい身体設計がなされたロボットが柔らかい材料のどのような性質を活かすことで災害対応の効率的なタスク達成を実現しうるかという問いに対して学術的知見を残すことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究の目標達成のために、初年度において弾性体の動力学シミュレーション技術に基づいた金属とシリコン材料の異種混合ロボットの自動設計をパレート最適化手法および進化戦略を導入することで実現する手法を提案した。つぎに物理シミュレーションに基づきクローラ移動機構のロボットが段差を走破する際に局所的な面圧がどのように遷移するのか分析し、移動原理の理解を試みた。自動設計においてクローラベルトの移動原理を加味した定量的タスクを設定し、そのタスクを最適化するような走破を実現する形状を求める手法を提案することに着手した。次年度においては、クローラベルトのみを対象とせず、実際のデュアルアーム型クローラロボットを対象とした物理シミュレーション上でのロボット操作から、効率的に災害対応ロボットを走破させるために必要な形態要素とそのロボットの身体性が操縦者の制御に与える影響を考察し、ソフトロボット技術の導入により効率的な貢献が見込める要素を分析した。特にロボットハンドの把持動作において、操縦者の創造するロボットハンドの身体感覚と実際のロボットハンドの身体感覚のズレが制御性能に著しく影響しており、ロボットハンドへのソフトマテリアルパーツの導入により、柔らかい身体性の追加が弾性による接触への適応性を向上させるという仮説を立て、災害対応ロボットの操縦制度を競う WRS2018 の操縦者を対象とした実証実験を実施した。また、前述の手法を適用し、ロボットハンドの把持動作を人間の指での動作に近づけるための自動設計の手法の提案に着手した。最終年度では、柔らかい身体性によるロボット性能の向上を材料科学的視点から考察するために、硬い素材とロボットに導入した柔らかい素材における圧力センシングの特性を分析することで、前述の柔らかい身体性によるロボット拡張の学術的知見を示した。

4. 研究成果

本研究の目標達成のために、初年度では下記の研究を重点的に遂行した。1) 災害対応ロボットにおいて採用される事例の多いクローラ形状の移動機構に対する弾性体シミュレーションおよび局所的な面圧解析を行い、結果として平面 走行時の移動特性を力学的に示した。2) 水中におけるロボット形状と移動特性を解明するため、クラゲ型ソフトロボットを対象としたシミュレーションを通して、セルオートマトンをアクチュエータ駆動原理に導入した新たな手法を提案し、水中におけるソフトロボットの移動をセルオートマトンの動作分類に当てはめて記述する方法論を提案した。次年度は、災害対応ロボティクスにおいて弾性部品による身体性拡張がもつ作業効率性について検証するため、次点について重点的な研究を遂行した。3) ソフトマター3DCAD システムからシリコンゴム化剤によるソフトボディの造形技術の提案。4) 災害対応ロボットのエンドエフェクタに対するソフトマターによる身体性拡張効果の検証項目3) における検証では、会津大学は保有する災害対応ロボット Spider のロボットアーム JACO2 のエンドエフェクタを対象とした身体性拡張を実施している。EcoFlex と呼ばれるシリコンゴム化剤と弾性体数値解析ソフトウェア VoxCAD から設計された指形状の鋳型を組み合わせ、ロボットの指に密着型サポータを造形する技術を提案した。項目4) において、作成したロボットハンドのソフトグリップについてロボットの世界大会 WRS2018 の災害対応標準性能部門で採用された把持タスクを対象とした把持性能の検証実験を行なった。本検証実験は、双腕ロボットによるバルブ開栓と狭小空間からの棒引き抜きを遠隔操縦で行うものであり、従来のロボットハンドとソフトグリップを装着したロボットハンドでその性能を定量的に評価した。その結果から、与えたタ

スクの難易度はソフトマターにより易化し、オペレータに厳密な制御コマンドを要求する必要がないことが示された。最終年度では、進化ソフトロボティクスの中核的構成要素の中で、ハイドロゲルやシリコンゴムを身体構成材料に採用し、3D プリントを駆使することで異種材料のソフトロボットの身体設計を実現した。災害対応ロボティクス領域において設計したソフトロボットから得られる学術的知見を検証するためにやわらかな身体性がロボット操縦者に与える効果を変形に含まれる力学的情報の観点から学術的な考察を実施した。本成果として、ロボットの身体の一部を柔軟化することで、人とロボットの身体性の違和感が抑制され、ハンドリングに有効な効果をもたらすことが明らかとなった。次に、圧電素子を持つソフトロボットを用いて、接触者による変形に含まれる情報をセンシングし、柔軟材料ごとに介在する信号データの差異について検証した。その成果として、シリコンゴムは金属材料やPLA樹脂のような硬い材料では微弱でノイズを多分に含むデータをシリコンゴムに変換することで挙動ごとに特有の周波数特性で表現することを可能とし、機械学習の分類アルゴリズムを用いることで、接触挙動と接触物の高精度判定を実現できることを明らかにした。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Jun Ogawa
2. 発表標題 Evolutionary Multi-objective Optimization for Evolving Soft Robots in Different Environments
3. 学会等名 The 11th EAI International Conference on Bio-inspired Information and Communications Technologies 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Ogawa, Syota Seki, Ryuya Ninomiya, Yuki Funayama, Keita Nakamura
2. 発表標題 Soft Material Gripper for Extending Robotic Hand Embodiment
3. 学会等名 The 24th International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Jun Ogawa
2. 発表標題 Dynamic Evolution for Soft Matter Robot: Integrated Fabrication of Geometric and Motion of Gel-like Robot with Embedded Virtual Link Structure
3. 学会等名 The First International Conference on 4D Materials and Systems - Gel Symposium 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Jun Ogawa, Miki Taira, Keita Nakamura, Keitaro Naruse
2. 発表標題 Cellular Automaton Approach for Motion Pattern Analysis of Soft-bodied Agent
3. 学会等名 The 1st International Conference on Digital Practice for Science, Technology, Education, and Management (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小川純, 中村啓太, 成瀬継太郎
2. 発表標題 固定トポロジーの結合振動子系による生物表現
3. 学会等名 計測自動制御学会SI2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小川純, 平美紀, 中村啓太, 成瀬継太郎
2. 発表標題 弾性体ボクセルを用いたクローラロボットシミュレーション
3. 学会等名 2017年度精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小川純
2. 発表標題 ソフトロボットシミュレーションと機構知
3. 学会等名 第6回サステナブル/ロボティック・システムデザイン研究会(招待講演)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Jun Ogawa http://www.junogawa.com/</p>

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
--	---------------------------	-----------------------	----