

令和 5 年 6 月 21 日現在

機関番号：13904

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04307

研究課題名(和文) ソフトセンサスーツを着た人間型ロボットによる柔軟物の学習型全身マニピュレーション

研究課題名(英文) Whole-body manipulation method for flexible objects by a humanoid robot with a soft-sensor suit

研究代表者

垣内 洋平 (Kakiuchi, Yohei)

豊橋技術科学大学・エレクトロニクス先端融合研究所・教授

研究者番号：70501328

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：等身大人間型ロボットで扱えていなかった大きくて柔らかいものを傷つけずに扱えるように、衝撃吸収機能を持つ多数のソフトセンサモジュールが配置されたソフトセンサスーツを、ロボットが着ることによるソフトロボットの構築法について行った。ロボット本体の柔らかさを扱うため、センサからの情報と従来ロボットが用いることのできるセンサ情報を統合し、シミュレーションと実機動作によって、センサモジュールの構成と動作の生成を行う。これによって、扱う対象に適した柔らかさ、センサの数などのソフトロボットとしての必要な特性を導出し、それを従来ロボットへ付加することで構成される柔らかいロボット構成手法を構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、従来の人間型ロボット研究の成果を基盤として、柔らかいモジュールを装着することによって等身大の人間型ソフトロボットの構築法を示した。シミュレーションを用いてロボットの全身の有効な装着場所を探索できる、また、ソフトモジュール装着時のロボットの制御パラメータ決めことができ、対象に応じたソフトロボットの構築と制御を行える手法となっている。さらにソフトロボットの知見と融合することで「柔らかいロボットが柔らかい対象をあつかう」ことができるようになるための新たなソフトロボットの構成法と制御法の基礎の構築となっていると考えている。

研究成果の概要(英文)：We have studied a method of constructing a soft robot by having the robot wear a soft sensor suit with many soft sensor modules that can absorb shock so that the robot can handle large and soft objects without damaging them. It had not been possible with a life-size humanoid robot. To handle the softness of the robot body, the information from the soft sensors and the sensor information that can be used by conventional robots are integrated to generate the configuration of sensor modules and action methods of the robot through simulation and actual robot experiments.

We established a configuration method of a soft robot that consists of deriving the characteristics of a soft robot, such as softness appropriate for the handled object, by adding these characteristics to a conventional robot.

研究分野：ロボティクス

キーワード：ヒューマノイドロボット ソフトロボット ソフトセンサーモジュール

1. 研究開始当初の背景

近年では、食品などの柔らかな物のマニピュレーションなど対象を傷つけないようにする目的で、高分子材料や紙などを使ったソフトロボットがロボティクスの分野で注目を集めている。

これらは、ボディとなる高分子材料の成型時にセンサやアクチュエータを埋め込むことによって、多数のセンサを持つ柔らかいハードウェアを一体で作り出している。等身大人間型ロボットのような関節数が多く大型のロボットとしては、いまだソフトロボットとして構成されていないが、柔らかいセンサとしてロボットに服を着せたり、ロボット用の皮膚や肉を構成し、人間型ロボットの全身が環境と接触し、その接触が分かる状況で運動や作業を行う研究が行われている。

このようにロボットの体を、環境、他者、扱う対象に配慮して柔らかく構成しようとした場合、従来のロボットよりも身体モデルの推測が困難であるためセンサを多く内在させる必要がある。本研究においては、ソフトロボットにおける多数のセンサを柔らかい材料で構成する知見を用い、従来の人間型ロボットにソフトセンサを組み込み等身大のソフトロボットの構成法としている。

未知の環境や不確実性の下での動作実現に有効なロボットの制御に関する手法としては、既知の物理モデルを用いて数理的にマニピュレーション動作を導出するのではなく、深層学習を用いた強化学習によって、観察されている画像列からロボットが動くべき制御入力が導出される学習獲得型の手法が研究されている。本研究においては、ソフトセンサモジュールのセンサ情報が画像様であることから、同様の手法が学習適応手法として用いることができ、ソフトロボット特有の学習構造の導出に発展させて行くことができる。

本研究は、このようにソフトロボットの知見と人間型ロボット研究の成果を基盤として、等身大の人間型ソフトロボットを構築し、構築したロボットから得られたセンサデータを深層学習を用いた手法によってソフトロボットの制御手法として確立する。

2. 研究の目的

従来の人間型ロボットにおいて扱えていなかった大きくて柔らかいものを傷つけずに扱えるようにするにはどうしたらよいかという問題について扱う。ロボットが柔らかいということは、既存の剛体物理モデルを用いた解析的手法によって、実環境においてロボットの意図した動作を構成することが困難であることを意味し、扱う対象が柔らかいということは、対象がどのように動くか事前にモデルを用いて推定することが難しく、未知の対象の動きを動作時に推定し、対象の動きと意図した動きとの差異によって動作を変えてゆく学習獲得型の動作手法が必要であることを意味する。また、柔らかいロボットの体は精密に作る事が難しく、個々のロボットに応じて適応した制御を行う必要があり、扱う対象に応じて適した柔らかさの構成法を明らかにする必要がある。

これは、体の構成、制御則、対象の動きとそれぞれに不確かさがある状況を解決しなければ、柔らかいロボットが柔らかい対象を取扱うことが難しいということであり、本研究では、等身大の柔らかい人間型ロボットの構成法、柔らかい身体パラメータを推定し、適応的に柔らかい対象を取り扱う手法の構築し、その結果を再び身体の柔らかさやセンサ配置の決定に用いることで、統合的な「柔らかいロボットが柔らかい対象を扱う」手法の構築を目指す。

ロボットが着脱することが可能な服を様々な環境に応じて変更することで、ロボットのハードウェアを変更することなく様々な環境に対応が可能になる。そのロボットスーツに服としての環境対応性のみではなく、接触位置とおおよその荷重を知ることのできるセンサを内蔵させ、表面の柔軟性や摩擦力、ロボットと環境との間の衝撃の吸収の機能を持たせることで、既存のロ

ロボットハードウェアをソフトロボットへと機能拡張させることができる。

この手法で構成されたソフトロボットは、柔らかさを持つ外装部は必要機能に応じて様々な構成となるが、内部には従来の制御則にて動作するロボットが存在するため、外装部の変化に影響されない、基準となる動作や制御則を近似的に構築することができ、モデル化が難しいソフトスーツと環境との接触に起因する問題のみを、実際にロボットを動作させ学習することによって適応的動作を構築することができる。と考える。

これまで、等身大の人間型のソフトロボットは、期待はされるものの、構成法、制御法に有効なものの実現されておらず、従来ロボットへのスーツ装着によって得られる柔らかさとセンサ配置の身体構成論と、そのセンサ情報によって柔らかい身体と対象の制御の学習適応を含んだ制御構成論を統合して扱い、ソフトロボットとしての構成の最適化まで行うことを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、以下の(1)、(2)、(3)の順に研究を進め、(3)の結果で(1)のスーツの構成を対象に応じて構成を変化させることによって、最終的に、ソフトセンサモジュールを装着した等身大の人間型ロボットが、多様な柔軟で変形する対象を取扱う実証実験を行い、提案する手法の実効性を示す。

(1)ソフトセンサスーツの構成

(2)ソフトセンサスーツを用いた全身環境接触動作

(3)ソフトセンサモジュールを用いた柔軟物環境マニピュレーション

(1)ソフトセンサスーツの構成では、接触位置を計測でき、柔らかさと衝撃吸収性を兼ね備えたソフトセンサスーツを構成し、それをロボットに装着してデータ取得、堅牢性等の評価を行う。次に、柔らかいロボットスーツに適応した環境に接触するバランス保持動作を目的として、(2)ソフトセンサスーツを用いた全身環境接触動作を構築する。ここでは、ロボットが全身を環境に接触させる動作が、シミュレーションと実機動作の繰り返しによって、ロボットスーツの柔らかさへ適応する近似パラメータの同定を行う。(3)ソフトセンサモジュールを用いた柔軟物環境マニピュレーションとして、ソフトセンサスーツの接触情報時系列を画像様に用いた学習手法によって、マニピュレーション動作修正が有効に行えることを示す。最終的に、この柔軟物マニピュレーションを対象物の種類毎に、実行性、精度を評価し、スーツの構成を修正変更することによって最適なソフトロボットの構成を示す。

4. 研究成果

(1)ソフトセンサスーツの構成

ロボットの触覚として用いるセンサには、多数のセンサを指定した位置に配置すること、堅牢性、交換の容易性が求められる。本研究では、ロボットスーツに壊れにくいソフトセンサモジュールを組み込むことで、多数のセンサをロボットに脱着可能に配置することができる。ロボットスーツに組み込むセンサモジュールとして、接触状態のセンシングができ、柔軟性と衝撃吸収性を兼ね備えた空気ダンパー体型接触荷重センサモジュールを構築し、スーツ内部に配置することでソフトセンサスーツを構成した。(文献①)

このスーツに使用しているセンサモジュールは接触時の柔軟性を目的として、高強度繊維を用い縫合することで耐久性と耐圧性を満足しながら柔軟である構成とすることができる。このセンサモジュールは圧縮されることで空気を排出し、その時に空気流路の抵抗によりダンパ性能を持たせる。空気袋内部に疎な高分子素材を配置することでバネ性を確保し、荷重が抜けたと

きには空気を吸い込みながら形状を回復し再び接触時に空気ダンパとして働くことができ、環境に接触した行動や、意図しない転倒などの場合にもロボットの身体と環境への衝撃を和らげることができる。



図1：モジュール装着ロボットと転倒実験（文献①）

(2) ソフトセンサスーツを用いた全身環境接触動作

本研究においては、ロボットの柔らかさは、芯となる従来型ロボットの外側にソフトセンサスーツを着ることで達成している。スーツを構成する空気ダンパ一体型接触荷重センサモジュールは、小さい荷重の時には、スポンジ様の柔らかい弾性材料と空気ダンパの効果により人間と同等程度の柔らかさを持つ。また、ロボットの体重を支えるといった大きな荷重には、空気ダンパと同等の働きにより過大な衝突荷重を回避し、荷重の変動が無くなると内部構造が圧縮され、剛とみなせる接触状態となる特徴を持つ。この特徴について詳細に計測し、ソフトモジュールへの衝撃（衝突速度及び力）を吸収できる構成パラメータを得ることが出来た。（文献②）

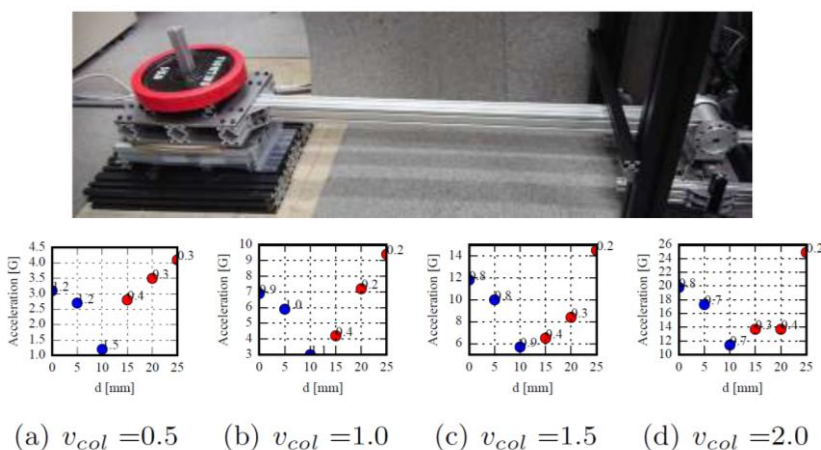


図2：ソフトモジュールのパラメータ同定実験（上）

18kgの重量を落下させたときの計測値（下）（文献②）

シミュレーションによってロボット転倒時のソフトモジュールと環境の接触速度、かかる力を推定し、推定値に対応するソフトモジュールを構成して実機に搭載し実機実験を行い、開発したソフトモジュールの構成法とシミュレーションでの衝撃推定によって、ロボット転倒時の衝撃が有効に吸収できていることが確認できた。

(3) ソフトセンサモジュールを用いた柔軟物環境マニピュレーション

配置したセンサモジュールによる環境との接触状態をシミュレーションによって評価できるシミュレーション手法を確立した。これによって、導出されたセンサモジュール配置が現実の動作においてどのように振る舞うかを、シミュレーションにより評価を行うことで、様々なロボットタスクに対応するロボット構成とセンサモジュール配置の自動設計ツールとして用いることができる。

環境接触の実機実験を行い、センサモジュールを搭載した実機が動作できることが確認できた。モジュール以外のロボットパラメータに起因すると考えられる影響によって、シミュレーションの結果と実機の結果が良く一致しない結果となっており、シミュレーション結果と実機結果の一致度について改良の余地がある。シミュレーションと実機がよく一致するパラメータの同定方法について今後の研究課題であるとする。

文献①：武田 博樹, 垣内 洋平, 野田 晋太郎, 小島 邦生, 板東 正祐, 菅井 文仁, 岡田 慧, 稲葉 雅幸: 「等身大ヒューマノイドにおける転倒緩衝のための空気ダンパ衝撃吸収外装の設計と受身動作生成」, in 第 37 回日本ロボット学会学術講演会講演論文集, 3L3-01, 2019.

文献②：武田博樹, 垣内洋平, 野田晋太郎, 小島邦生, 板東正祐, 菅井文仁, 岡田慧, 稲葉雅幸: 「等身大ヒューマノイドにおける空気ダンパ衝撃吸収外装を用いた受身動作」, in 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'20 講演論文集, 2A2-G16, 2020.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 垣内洋平
2. 発表標題 等身大ヒューマノイドにおける空気ダンパ衝撃吸収外装を用いた受身動作
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会'20
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田 博樹
2. 発表標題 等身大ヒューマノイドにおける転倒緩衝のための空気ダンパ衝撃吸収外装の設計と受身動作生成
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019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
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------