

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 (共通)

科学研究費助成事業

研究成果報告書



令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：20103

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2022

課題番号：21K17828

研究課題名（和文）変形機構を有するロボットの3Dプリンタによる自動設計手法の構築

研究課題名（英文）Development of an automatic design method using a 3D printer for a robot with a deformation mechanism

研究代表者

山内 翔（Yamauchi, Sho）

公立はこだて未来大学・システム情報科学部・准教授

研究者番号：60781200

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000 円

研究成果の概要（和文）：3Dプリンタを活用した立体的内部構造によりロボットの設計を簡略化でき、最適化問題として計算機による自動設計を実現した申請者のロボット自動設計手法と変形に対する理論化を元に、変形機構を有し身体構造をタスクに合わせて変化させる変形ロボットの設計手法を実現する。この研究により計算式に沿って変形を定義することが可能となった。また変形後の望ましい形状と一つの変形が表す変形後の形状のうち、一致する部分の体積を求め、適応度とすることによって最適化計算が可能となった。実際に入力モデルに対して最適化計算を行い、変形機構の自動設計が可能であることを実験を通して確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年では状況に合わせて最適な身体構造に素早く切り替えて複数の機能を実行できるロボットの可能性を模索した事例が多数発表されている。しかしそれら事例では変形機構を有したロボットに対する根本的な設計手法が議論されておらず、切り替えられる身体構造の範囲も限定的である。こうしたことから、今後ロボットの活動範囲のさらなる拡大を考える上で既存の手法では限界があると考え、ロボットの变形機構設計に対する理論的な基盤を構築し、実現するという本研究の着想に至り、その第一歩となる研究成果である。

研究成果の概要（英文）：Based on the automatic robot design method and theorizing on deformation, which can simplify the design of robots with a three-dimensional internal structure and realize automatic design by computer as an optimization problem, a design method for robots that have a deformation mechanism and change their body structure to suit the task is realized. This research has made it possible to define deformations according to a computational formula. Optimization calculations can be performed by determining fitness values based on the shape of robots and the desired shape. The optimization calculations were performed on the input model, and the feasibility of automatic design of the deformation mechanism was confirmed through experiments.

研究分野：自律ロボット

キーワード：ロボット 変形 3Dプリンタ 自動設計 最適化計算

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

近年ロボットの社会的な利用が進むことに伴い、ロボットに行わせる仕事の内容は複雑化し、活動範囲は徐々に拡大してきている。これに対しそれぞれのタスクに適した身体構造は異なる場合があるため、本来であれば実行するタスクごとに最も適した身体構造で対処し、タスクが切り替わるごとにその身体構造を変化させることが望ましい。こうした身体構造の変化を利用する変形ロボットの需要はあったが、変形機構による複雑化、変形を扱う理論的基盤の欠如の2つの原因からこれまではごく限られた範囲の事例しか実現できなかった。

2. 研究の目的

一方で3Dプリンタを活用した立体的内部構造によりロボットの設計を簡略化でき、最適化問題として計算機による自動設計を実現した申請者のロボット自動設計手法では、複雑化の問題を解決できる。またこれまでに変形に対する理論化も行った。そこで本研究では申請者のそうした基礎技術と理論を元に、変形機構を有し身体構造をタスクに合わせて変化させる変形ロボットの設計手法を実現する。

3. 研究の方法

「変形」、すなわち身体構造を状況に合わせて変化させ、全く異なる行動を取ることができるという性質は、実現可能であればロボットならではの強みであり、その利便性からロボットの応用可能な範囲を大幅に拡張すると考えられる。しかしこれまでの事例では未だ変形機構がごく単純なものに限られていたり、単純な動作のみに対応したものであったりと、限定的で非効率な実装になっている。こうした背景には、変形機構による実装の複雑化と変形機構に対する理論的基盤の欠如という2つの原因が挙げられた。

まず前者の解決のため、申請者らが構築した3Dプリンタによりロボットの設計を大幅に簡略化しつつ強度を確保するロボットの内部構造を実現し、従来手法では困難であったデザインや構造のロボットを実現するロボットの自動設計手法を利用する。また後者の解決のため、ロボット身体における変形の数学的表現方法について検討し、変形の定義、及び形状と機能に基づいた変形機構の詳細な分類と定式化を行い、変形機構とその変形方法の手順を数学的に扱うことができるようにする。また変形機構の複雑さを評価する指標として「形状の類似性」、「原型形状の分割数」、「各部位の移動・回転数」を基準としたものを考案し、求めた変形機構がロボット身体としてどの程度適切かを事前に数値的に判断することも可能とする。これにより変形機構とその変形方法についても最適化問題として扱うことができ、計算機による自動設計も可能となる。

4. 研究成果

まず、変形機構について定式化を行った。まず前提条件を図1のように定めた。

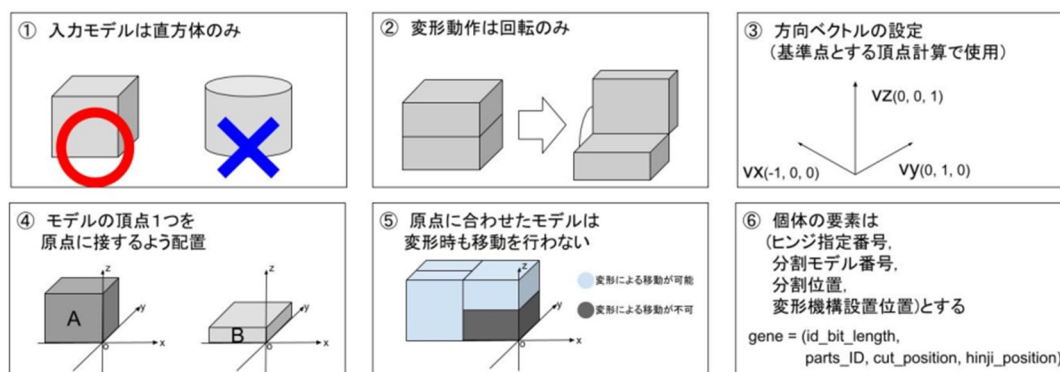


図 1 変形の前提条件

今回は入力モデルを直方体に限定し、変形機構も回転運動に限定する。その上で、最適化計算可能な形で変形を表現する。最適化に関して、実数として遺伝子型のコーディングを行い、実数 GA や PSO による最適化を行うものとする。そこで遺伝子型の値に応じて3パターンに場合分けを行い、変形を表現する。

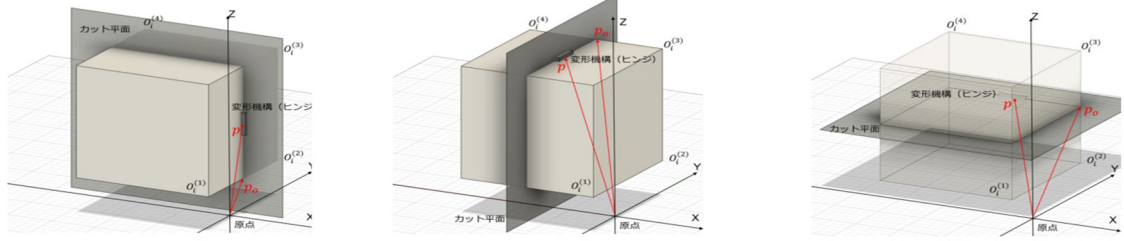


図 2 3通りの分割と変形

例えば、図2左の場合、直方体の切断位置を p_o 、回転運動を行うヒンジ位置 p として数式で表すと以下ようになる。遺伝子座の値から v_c 、 v_k が得られており、直方体の4点を $o_i^{(j)}$ で表すものとする。

$$p_o = o_i^{(1)} + 3v_c(o_i^{(2)} - o_i^{(1)})$$

$$p = v_k(v_c(o_i^{(3)} - o_i^{(2)}) + p_o$$

このような計算式に沿って変形を定義することが可能となった。

次に変形後の望ましい形状と一つの変形が表す変形後の形状のうち、一致する部分の体積を求め、適応度とすることによって最適化計算を行う。

最適化計算は変形箇所一つに対して行い、その中で一定の基準を満たした個体のみ次の変形について順次最適化計算を行う方式を取った。

その際の適応度変化のグラフの一部を図3に、その際の最良個体の図を図4に示す。

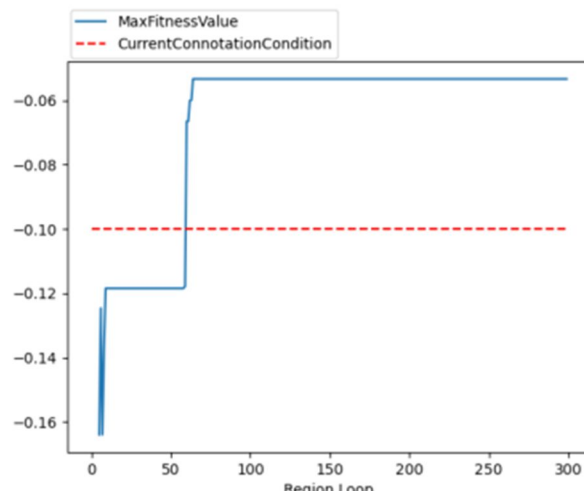


図 3 適応度の推移

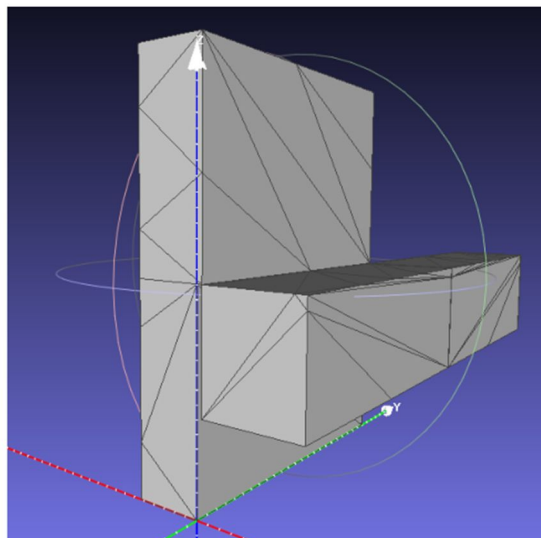


図 4 最良個体の変形後の形状

このように直方体形状から特定の形状に変形する機構を備える変形機構の自動設計が可能となった。

一方で更に複雑な変形を行わせる場合、計算量の増大によって難しい場合があり、また最適化を順次行い変形機構を追加していく中で次の段階に進む基準の設計が難しい場合があることがわかった。そのため今後は効率のさらなる改善と、中途状態での変形の評価方法について改めて考案し実施していく予定である。また回転機構以外の機構を備えた変形ロボットの自動設計、及び複雑な形状へも適用可能な形への本研究の拡張を検討している。

また現段階でも変形機構の自動設計自体は実行できているため、この手法にて設計された変形機構を有する実機ロボットの作成も順次進める予定である。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------	---------