

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 26 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K04297

研究課題名（和文）ゲルとワイヤ駆動機構により超多関節構造を実現する軽量柔軟ロボットハンドの開発

研究課題名（英文）Development of lightweight and soft robot hands with many joints using shape memory gel and wire-driven mechanism

研究代表者

山野 光裕（Yamano, Mitsuhiro）

滋賀県立大学・工学部・准教授

研究者番号：70323178

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：形状記憶ゲルとワイヤ駆動機構を用い、軽量な多関節ロボットハンドを数種、開発した。一般に、多関節のロボットハンドは、多くの作業に対応しやすいが、重量が大きくなりやすい。温度による硬軟の切り替えが可能な素材である形状記憶ゲルとワイヤ駆動機構を用いた設計により、軽さと関節の多さを両立させることができた。試作したロボット指やロボットハンドを用いて基礎的な実験を行い、有効性を示した。開発したロボットハンドの構造に合った動作フォームの計算も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

工場や物流施設等における省力化や人手不足解消のため、ロボットハンド技術の向上が近年、強く求められている。また、人と共同で作業できるロボットも望まれているが、人の近くで利用するロボットは、万一の衝突時の安全性確保のため、軽量であることが望ましい。本研究では、低コストで製造可能な軽量多関節ロボットハンドを開発しており、ロボットハンド技術の向上に寄与すると考えている。

研究成果の概要（英文）：We have developed some types of lightweight and many-joint robot hands using shape memory gel and wire-driven mechanism. In general, many-joint robot hands can be used for many kinds of tasks, but their weights tend to be large. We have achieved both lightness and many joints of the robot hands by using wire-driven mechanism and shape memory gel which is the material switchable between hardness and softness depending on its temperature. We have shown the effectiveness of the robot fingers and robot hands by some basic experiments. We have calculated some suitable motions for the structures of the robot hands.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボットハンド ソフトロボット ソフトロボティクス ワイヤ駆動機構 形状記憶ゲル

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。

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ロボットハンドは、多様な物品の取り出しや箱詰め、組み立て作業などの際に重要となり、作業能力等の今後の発展が強く望まれている。例えば、塗装や溶接などの作業でロボットアームが広く活躍していることと比べても、ロボットハンドと人間の手の能力差は大きい。人間の手は、多関節と多くの筋肉や感覚器により、高度な作業が可能であるが、ロボットハンドに多数のアクチュエータを搭載しようとする、重量やコストの面で不利になりやすい。単純な構造のグリップは、広く利用されているが、把持可能な対象が限定される。そこで、少ないアクチュエータで比較的種類の作業が可能でロボットハンドの研究がさかんに行われている。例えば、機構的な工夫によりモータ数より関節数が多いロボットハンドや、ジャミング転移を利用して硬軟を切り替えることで様々な物体の形状に馴染んで把持するグリップなどが開発されている。ロボットハンドは、その方式により、長所、短所が異なる。その中の一つとして、多数の関節を少数のアクチュエータで多様に動かすことができるロボットハンドを実現できれば、軽量、安全で、多様な作業に利用できるが、まだ十分なものが開発されていない。

2. 研究の目的

形状記憶ゲルとワイヤ駆動機構を組み合わせ、軽量・安全で多様な動きが可能な多関節ロボットハンドを実現することを目的とする。ロボットハンドの器用さ向上のため、多関節を持たせ、少ない個数のアクチュエータで多関節を駆動することにより、ロボットハンドを軽量化する。形状記憶ゲルを牽引用系製ワイヤと組み合わせることで、軽さと関節の多さを両立させたロボットハンドを開発する。

3. 研究の方法

上記の目的のため、多関節ロボットハンドの構造等の考案、試作、評価実験、動作フォームの生成を行った。主な内容は以下のとおりである。

- 形状記憶ゲルとワイヤ駆動機構を用いた数種の多関節ロボット指およびロボットハンドの構造を考案し、試作した。
- ロボット指試作機単体を動かす実験により、考案した構造の有効性を確認し、さらに複数の指を用いたロボットハンドの実験により、物体把持動作が可能なることも示した。
- 多数の関節を持つロボットハンドが物体把持を行う際の動作フォームについて、計算方法を検討し、シミュレーションにより有効性を評価した。

4. 研究成果

(1) 形状記憶ゲルを用いた4指ロボットハンドの試作と基礎実験

形状記憶ゲルとワイヤ駆動機構を用いた図1のようなロボット指および図2のような4指ロボットハンドを、過去の研究の知見も活用して開発した。各指は棒状の形状記憶ゲル、リング状の樹脂部品、腱駆動用の糸、糸巻き取り用のギアドモータ、電熱線からなる。一部の電熱線に通電させるとその箇所の形状記憶ゲルが軟化し、ギアドモータで糸を巻き取った際に軟化したゲル部分だけが大きく曲がり、その他の部分の曲がる角度は小さい。1本の指に4本の腱駆動用糸が備えられており、指を前後左右に曲げることができる。また、指の異なる部位を異なる方向に曲げる際は、1か所を加熱により軟化させ、変形させてから冷却により硬化させ、その後、他の箇所を同様に变形させる。基礎的な実験により、上記の原理による指の变形が可能であることを確かめた。

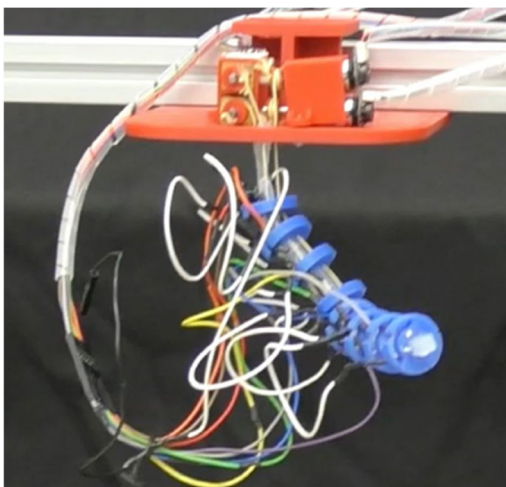


図1 前後左右に屈曲可能なロボット指

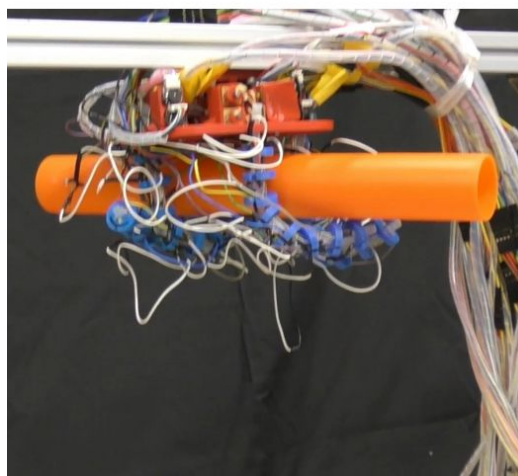


図2 4指ロボットハンドによるバトンの把持

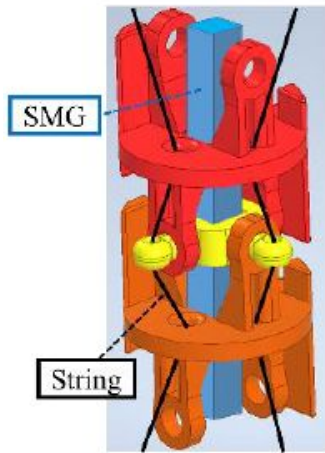


図3 ユニバーサルジョイントを用いたロボット指の関節

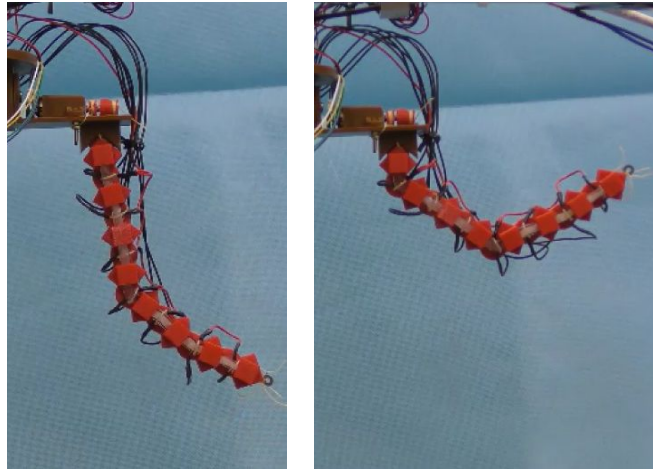


図4 1モータで多関節を駆動可能なロボット指

(* 図3は、「岡本，柴田，山野，他6名，形状記憶ゲルとユニバーサルジョイント骨格を用いた腱駆動型ロボット指の開発，計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会シンポジウム講演論文集」より引用)

4指ロボットハンドの多くの個所を選択的に変形可能にするため，多数の電熱線を配置している．これらの電熱線のための配線やマイコン，電子部品等の量を少なく抑えるための回路およびその使用法を提案し，実験により有効性を確かめた．さらに，試作した4指ロボットハンドを用いて，手渡された陸上競技用のバトンを図2のように4指で包み込むように把持させる実験を行い，ロボットハンドの有効性を示した．

(2) 形状記憶ゲルと腱駆動ユニバーサルジョイントを用いたロボット指の開発

上記(1)のロボット指にユニバーサルジョイントを加えたロボット指を開発した．本研究のロボット指の各関節は，作業に応じて様々な方向に屈曲可能なのが望ましいが，ゲル部分のねじれや伸縮は望ましくない．図3のように棒状の形状記憶ゲル(図中のSMG)の周囲を取り囲むようにユニバーサルジョイントを配置することで，各方向への曲げを可能にしたまま，ねじれや伸縮を抑えることができる構造にすることができた．

(3) 1モータで多関節を駆動可能なロボット指の開発

形状記憶ゲルと腱駆動機構を用い，1モータで多関節を駆動可能なロボット指を開発した．基本的な動作原理は，上記の(1)と同じであるが，腱駆動用の糸の経路を工夫することにより，1組2本の糸の一方の巻き取りと他方の送り出しを1個のモータで行い，モータの数を大幅に減らしている．図4のロボット指は，1モータで7関節を駆動可能な構造となっている．形状記憶ゲルの加熱により軟化させる関節を選び，選択した1関節を曲げる動きや多関節を曲げて物体に巻き付く動きなどが可能である．このロボット指は上記の(1)のように前後左右には動かず，平面内でのみ動作するが，根元に旋回用のギードモータを追加し，図5のように3指ロボットハンドとすることにより，3次元的な動作が可能である．図5のロボットハンドは旋回用のギードモータを含めて5モータで3本の多関節指を駆動する．このロボットハンドの機能を，数種の実験により確認した．指1本の指定した1関節や2関節の回転，指の多関節を曲げて物体に巻き付かせる動作の実験により指単体の機能を示した．また3指ロボットハンド全体の実験も行い，人から手渡された物体を把持する動作例を示した．例えば，箱状の物体に対しては3指で取り囲んで把持し，図5のようなT字型のパイプに対しては，3指の指先をパイプ先端に入れて把持する．指の各関節が外側にも屈曲可能であるため，リング状の物体に対して，リング内側に3指を入れた後，外側に開いて引っ掛ける動作も可能である．

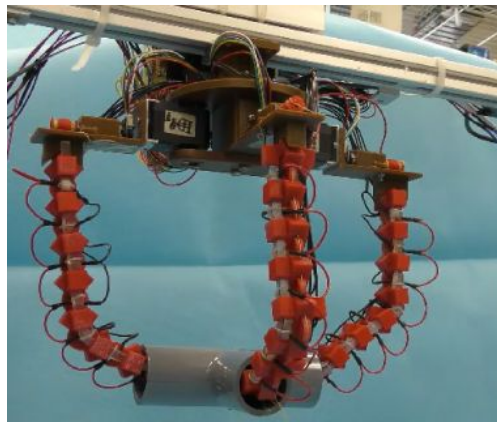


図5 T字型のパイプの把持

(4) 動作生成

本研究のロボットハンドは、多関節を持つため、多種多様な物体の把持等に対応しやすい。一方、多数の関節の中から屈曲させる関節を選択しながら動作させるため、動作フォームの計算方法が既存の多くのロボットハンドと大きく異なる。本研究のロボットハンドに適した動作フォームの計算方法の基礎的部分を考案し、単純な形状の物体を把持するシミュレーションにより有効性を確かめた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Mitsuhiro Yamano, Naoya Hanabata, Akira Okamoto, Toshihiko Yasuda, Yasutaka Nishioka, MD Nahin Islam Shiblee, Kazunari Yoshida, Hidemitsu Furukawa, Riichiro Tadakuma	4. 巻 -
2. 論文標題 A Robot Finger with Many Joints Driven by One Motor Using Shape Memory Gel and Tendon-Driven Mechanism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA)	6. 最初と最後の頁 1472-1477
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICMA52036.2021.9512604	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 -

1. 著者名 Mitsuhiro Yamano; Naoya Hanabata; Akira Okamoto; Toshihiko Yasuda; Yasutaka Nishioka; M.D. Nahin Islam Shiblee; Kazunari Yoshida; Hidemitsu Furukawa; Riichiro Tadakuma	4. 巻 Vol.9, No.2
2. 論文標題 Development and motion analysis of a light and many-joint robot finger using shape memory gel and tendon-driven mechanism with arc route	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Mechatronics and Automation (a revised and expanded version of 2021 IEEE ICMA Proceedings paper)	6. 最初と最後の頁 99 - 111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1504/IJMA.2022.122325	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 -

1. 著者名 Yamano Mitsuhiro, Okamoto Akira, Miyoshi Ryuhei, Yasuda Toshihiko, Nishioka Yasutaka, Islam Shiblee MD Nahin, Yoshida Kazunari, Furukawa Hidemitsu, Tadakuma Riichiro	4. 巻 -
2. 論文標題 Prototype of 32-Joint Robot Hand Using Shape Memory Gel and Tendon-Driven Mechanism	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICM46511.2021.9385678	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 花畑 直哉, 山野 光裕, 安田 寿彦, 西岡 靖貴, シブリ エムディ ナヒン イスラム, 吉田 一也, 古川 英光, 多田隈 理一郎
2. 発表標題 形状記憶ゲルと腱駆動機構を用いて1モータで 駆動される多関節ロボット指の摩擦力低減のための改良
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡本曜, 柴田大雅, 山野光裕, 安田寿彦, 西岡靖貴, シブリ エムディ ナヒン イスラム, 吉田一也, 古川英光, 多田隈理一郎
2. 発表標題 形状記憶ゲルとユニバーサルジョイント骨格を用いた腱駆動型ロボット指の開発
3. 学会等名 2021年度 計測自動制御学会関西支部・システム制御情報学会シンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 下條紘輝, 山野光裕, 西岡靖貴, シブリ・エムディナヒンイスラム, 渡邊洋輔, 吉田一也, 古川英光, 多田隈理一郎, 片山仁志
2. 発表標題 形状記憶ゲルとユニバーサルジョイントを用いた多関節ロボット指の開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023
4. 発表年 2023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