

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 28 日現在

機関番号：24201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26420192

研究課題名(和文)形状記憶ゲルの軟化・硬化により超変形する生活支援スマート柔軟ロボットハンドの研究

研究課題名(英文) A Research of Smart and Soft Life-Support Robot Hands that Deform Drastically Because of Softening and Hardening of Shape Memory Gel

研究代表者

山野 光裕 (Mitsuhiro, YAMANO)

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、形状記憶ゲルを用いた新しいタイプのロボットハンドを開発し、利用手順を考案した。形状記憶ゲルは室温では硬く、高温では柔らかい性質を持つ。形状記憶ゲル製のロボットハンドは、外力により、形状を平板状からフォーク状、スプーン状などに変形させることができる。形状記憶ゲル製のロボットハンドを加熱により軟化するシステムや、変形させるシステム、冷却により硬化させるシステムも開発した。実験によりロボットハンドの様々な変形が可能であることや変形後のロボットハンドで作業が可能であることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this research, robot hands made of shape memory gel and the sequence to use the robot hands have been developed. The shape memory gel is hard at room temperature and soft at high temperature. The flat robot hands made of the shape gel can be deformed to some shapes such as the fork-like shape and spoon-like shape by external forces. The system to soften the hand by heating and to harden the hand by cooling are developed. The results of the experiment show that the hand can be deformed and deformed hand can be used.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボットハンド 形状記憶ゲル ソフトロボット

1. 研究開始当初の背景

人間による作業をロボットにより代替するため、これまで様々なロボットハンドが開発されてきた。代表的なロボットハンドとして、開閉の1自由度を持つグリッパと多自由度を持つ多指ハンドがあり、グリッパは軽量化しやすいが用途や使用条件が限定され、多指ハンドは高い汎用性を持つが重量が大きくなりやすい。多指ハンドの自由度を、人間の手を模して多くすると、多くの関節とアクチュエータが必要になり、小型化や軽量化が難しくなる。そのため、自由度を少なく抑えながら、多様な把持ができるようにするよう工夫されたロボットハンドが研究、開発されている。一方、指で挟みつけずに、吸引力で対象物を吸着してハンドリングするロボットハンドや、ジャミング現象を利用して物体を把持するグリッパも開発されている。

2. 研究の目的

(1) 柔軟ロボット制御技術と形状記憶ゲルという新素材を組み合わせ、形状と柔軟性を自在に変化できるロボットハンドを開発し、人間生活を安全に支援できるようにすることを目的とする。平板状からスプーン状、フォーク状など多彩な変形を繰り返し実行可能で、ハンド各部の柔軟性を自在に制御可能なロボットハンドを設計・製作する。そのロボットハンドを変形させるための装置も併せて開発する。

(2) 形状記憶ゲル部の変形により、多彩な形状で物体の把持などを行えるようにする。その際、変形部分には個別にモータ等を取り付けたりせず、軟化させた状態で外力を加えて粘土細工のように変形させた後、硬化させる。このような方法により、本研究で開発するロボットハンドは、グリッパのような少数のモータで駆動することで軽量化を図りつつ、多彩な把持作業等も可能になるようにする。

3. 研究の方法

(1) 本研究のロボットハンドは、変形作業と把持等の物体操作作業を交互に繰り返しながら利用する。物体操作作業中は、一定の形状で作業を行い、1種類の物体操作作業を終えた後、別の作業を行う前にロボットハンドを別の形状に変形させる。例えば、平面状のハンド形状で箱状の物体を把持する作業を行った後に、スプーン状のハンド形状に変形させて、粒状物体を扱うなどのような使い方で利用する。作業後に、ロボットハンドを再加熱すると、形状記憶ゲルの性質により、外力を加えなくても初期形状に戻る。

(2) 本研究では、一枚板のゲルを用いたロボットハンドと多指型のロボットハンドを試作し、それらを変形させるためのシステムも開発した。また、開発した試作機やシステムを評価する実験も行った。詳細については、

次章で述べる。

4. 研究成果

(1) 本研究で開発した一枚板のゲルを用いたロボットハンドは、溶液を型に流し込んだ状態で紫外線照射することにより、一枚板の形状記憶ゲルを作り、切れ込みを入れて変形しやすくしたものである。その写真を図1に示す。2枚のゲルを用い、それぞれの根元に開閉用のモータを配置している。一枚板型のゲルを用いたロボットハンドは温風で加熱し、軟化させてから外力により変形させる。その後、外力を加えたまま、空冷により硬化させて変形後の形状を維持する。



図1 一枚板型のゲルを用いたロボットハンド (文献より引用)

(2) このロボットハンドの軟化時に外力を加えるために、プレス機型の変形装置を開発した。この装置は、1自由度の直動機構の先に金型を取り付け、機構の動作によってロボットハンドを金型で挟みつけられるようにしている。形状記憶ゲル製のロボットハンドを変形させるためには、軟化したロボットハンドを金型で挟んで変形させ、冷却して硬化するまで挟み続ける必要がある。冷却時間を短縮するため、挟みつけられたロボットハンドに、小型の送風機で風を当てられるようにしている。ロボットハンドを温風で加熱し、軟化させるため、温風を発生する装置をロボット付近に配置して利用する。1台の装置で複数種の変形を可能にするため、変形装置に3種類の金型を備えるようにした。3種類の金型はロボットハンドをフォーク状、スプーン状、L字状に曲げるように作成した。

(3) 開発したロボットハンドを図2のような川田工業株式会社製上体ヒューマノイドロボット HIRO の6自由度ロボットアームの片腕に取り付けて変形させる実験を行った。ロ

ロボットアームの動きにより、ロボットハンドを金型に挿入したり、金型から取り出したりする。ロボットハンドを次のような手順で変形させることができた。

- ・ ロボットアームを動かし、ロボットハンドを温風の吹き出し口付近に近づけ、加熱する。
- ・ ロボットアームを動かし、変形装置に取り付けられた3種類の金型のいずれかにロボットハンドを挿入する。
- ・ 変形装置がセンサでロボットハンドの接近を検出し、変形装置の直動機構により、ロボットハンドを金型で挟みつける。
- ・ 変形装置でロボットハンドを挟みつけたまま、冷却ファンで風を当てて、ロボットハンドを硬化させる。
- ・ 変形装置の直動機構を反転させて金型を開き、ロボットハンドから金型から離し、ロボットアームを動かして、ロボットハンドを変形装置金型部から引き抜く。

実験の結果、3種類の金型により、初期形状が平板状のロボットハンドの形状をフォーク状、スプーン状、L字状に変形させ、その後、初期形状に戻せることを確認できた。



図2 プレス機型の変形装置(写真左側)、片腕にロボットハンドを装着したロボット(写真中央)および温風吹き出し口(写真右側)(文献より引用)

(4) 一枚板型のロボットハンドよりも大きな変形をできるようにするため、複数の板状のゲルを組み合わせた図3のような多指型のロボットハンドを開発した。ロボットハンド根元部に開閉用のサーボモータ2個を配置し、それよりも先端側にはモータを配置せず、ゲルの変形により対応する。各サーボモータの先端側に3本ずつ、計6本の指を持ち、各指に2枚の板状の形状記憶ゲルを利用している。各指2枚のゲルは、根本側と先端側で板の向きを90°変えることにより、変形しやすい方向を変え、ハンド全体を様々な形状に変形できるようにしている。

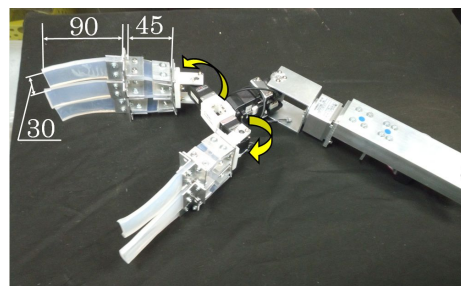


図3 多指型ロボットハンド(文献より引用)

(5) 多指型のロボットハンドの変形も、本来は、一枚板型のゲルを用いたときと同様にロボットアームの動きにより実現するものであるが、その前段階の試行として、人の手作業により、様々な形状への変形が可能か確認した。その結果、指を円筒面状、スプーン状、フォーク状に変形させることができた。また、指間隔を大きく開いて、6本指の4本を外側に退避させ、2本を箸のように利用するような形状にも変形可能なことを確認した。

(6) 図3の多指型ロボットハンドに、ハンドを変形させるシステムを追加して図4のように改良した。一枚板型のゲルを使ったロボットハンドは温風で加熱していたが、多指型のロボットハンドは電熱線を指の形状記憶ゲルに巻いて、加熱するようにしている。複数の電熱線への通電はマイコンで制御し、マイコンで加熱のON/OFFを切り替えられるようにしている。加熱により軟化した指は、ある位置に指先を拘束して、手首側を動かすことにより、指を変形させ、その状態のまま冷却して、硬化させる。指先をある地点に拘束するため、指先に鉄片を固着させ、ロボット付近に配置した電磁石で吸着させるようにした。さらに、冷却を早めるために、電磁石付近に送風機を配置し、空冷するようにした。以上の装置により、次のような手順で指1本を変形させるようにした。

- ・ マイコンからの指令により、電熱線に通電して、形状記憶ゲルを加熱し、軟化させる。
- ・ ゲルの軟化後、電熱線への通電を止め、電磁石に通電する。
- ・ ロボットハンドを移動して、ロボットハンド指先の鉄片を電磁石に接近させ、指先を電磁石に吸着させる。
- ・ 指先の鉄片が吸着した状態でロボットハンドの位置・姿勢を変え、形状記憶ゲル製の指を変形させる。
- ・ ロボットハンドを静止させたまま、送風機を動作させ、形状記憶ゲルを空冷し、硬化させる。
- ・ 形状記憶ゲルの硬化後、送風機と電磁石を止め、ロボットハンドを電磁石から離す。

複数の指を変形させる際は、指毎に上記の手順で行う。

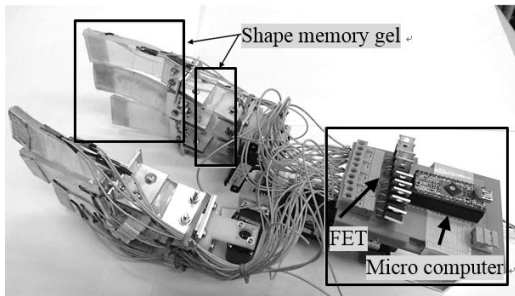


図 4 変形システムを組み込んだ多指型ロボットハンド (文献 より引用)

(7) 試作したシステムを用いて、ロボットハンドを変形させる実験と変形後のロボットハンドで物体を把持する実験を行った。このロボットハンドはロボットアームに装着して、コンピュータで制御されることを想定して開発しているが、本実験では基礎的な性能の確認のため、人の手でロボットハンドを持ち、手で実験装置を操作して利用した。ロボットハンドの指を図4のような平板状から、図5のように内側に曲げることができ、曲げて固めた指でテニスボールを把持できることを確認した。図5下側の機械は形状記憶ゲル冷却用の送風機であり、奥の支柱は電磁石を固定するためのものである。さらに、他の種類の変形や他の種類の作業も行えることを確認した。

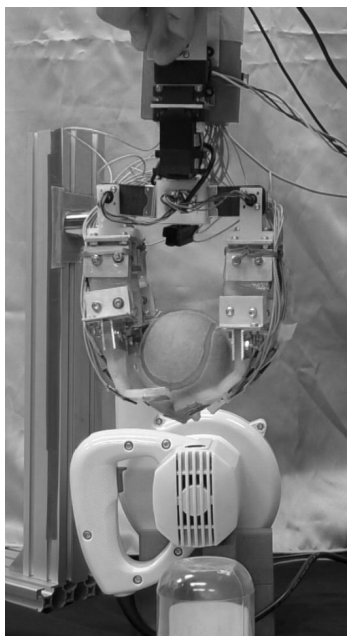


図 5 変形後のロボットハンドによる物体把持と周辺装置 (文献 より引用)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 8 件)

西村健汰, 山野光裕, 安田寿彦, 西岡靖貴, 宮瑾, 古川英光, 多田隈理一郎, 形状記憶ゲル製多指型ロボットハンドのための変形システムの開発, 日本機械学会 関西支部第 93 期定時総会講演会, 2018.

大島一輝, 山野光裕, 三好竜平, 安田寿彦, 西岡靖貴, 赤松正人, 宮瑾, 古川英光, 多田隈理一郎, 短時間で軟化および硬化が可能な形状記憶ゲル製ロボット部品の試作, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 2017.

山村悠輔, 本田雄也, 山野光裕, 三好竜平, 安田寿彦, 西岡靖貴, 宮瑾, 古川英光, 多田隈理一郎, 形状記憶ゲル製ロボットハンドの深度カメラによる計測, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2017.

市田尚也, 西村健汰, 千代恭兵, 山野光裕, 安田寿彦, 西岡靖貴, 宮瑾, 古川英光, 熊谷充彦, 多田隈理一郎, 形状記憶ゲル製多指型ロボットハンドを有する双腕ロボットシステムの開発, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2016.

山野光裕, 佐藤彰太, 氏家健司, 宮瑾, 古川英光, 多田隈理一郎, 妻木勇一, 多指型形状記憶ゲル製ロボットハンドの試作, 第 16 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2015.

山野光裕, 氏家健司, 多田隈理一郎, 宮瑾, 古川英光, 妻木勇一, 八鍬一史, プレス機型装置による形状記憶ゲル製ロボットハンド複数形状への変形, 第 20 回ロボティクスシンポジウム, 2015.

山野光裕, 後藤大典, 氏家健司, 宮瑾, 古川英光, 多田隈理一郎, 妻木勇一, 形状記憶ゲル製ロボットハンドによる画紙抜き実験, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 2014.

氏家健司, 山野光裕, 多田隈理一郎, 宮瑾, 古川英光, 妻木勇一, 八鍬一史, プレス機型装置を用いた形状記憶ゲル製ロボットハンドの変形実験, 第 32 回日本ロボット学会学術講演会, 2014.

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

宮瑾 (GONG, Jin)
山形大学・大学院理工学研究科・助教
研究者番号: 30631759