

平成30年6月25日現在

機関番号：11501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13903

研究課題名（和文）伸縮・角度可変な爪機構により超人的把持動作を実現するロボットハンドの基礎研究

研究課題名（英文）Fundamental study on robotic hand to realize superhuman grasping motion by using movable nail mechanism with translational and rotational motions

研究代表者

多田 隈 理一郎 (Tadakuma, Riichiro)

山形大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号：50520813

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）：本研究においては、ロボットハンドの指の爪機構を、伸縮・回転させるための機構として、J型の全方向駆動歯車を作製した。これにより、伸縮・回転の動作を、1つの歯車機構で行うことが可能となり、かつ広い可動範囲を確保した。逆向きにも曲がる指関節を実現するための機構として、球状全方向駆動歯車を開発し、1点で直交した2つの回転関節を球状の歯車1個のみで実現し、広い可動範囲を実現した。可動式の爪機構を先端に取り付けるための指機構を3個の球状全方向駆動歯車を用いて製作し、実験を行った。指先端の爪機構については、形状記憶ゲルを利用した機構を製作し、把持する物体や障害物の形状に指先が適応しやすくなるようにした。

研究成果の概要（英文）： In this research, J-type omnidirectional driving gear was produced as a mechanism for motions of translation and revolution of the fingernail mechanism on the fingers of the robotic hand. As a result, motions of translation and revolution of the fingernail mechanism with only one gear was realized. Its wider motion range was also achieved.

A spherical omnidirectional driving gear was newly developed as a mechanism to realize a finger joint that turns in the forward and backward direction, and realized with only one spherical gear with two orthogonal rotating joints at one point, realizing a wide movable range. A finger mechanism for attaching a movable claw mechanism to the tip was manufactured using three spherical omnidirectional drive gears and experiments were carried out.

For the fingertip nail mechanism, a mechanism using a shape memory gel was manufactured so that the fingertip was more likely to adapt to the shape of the object or obstacle to be gripped.

研究分野：工学

キーワード：歯車 ロボットハンド マニピュレーション

1. 研究開始当初の背景

工場や倉庫の中で作業する従来型の産業用ロボットアームに加えて、より複雑な人間の生活環境において作業して、人間を補助する高機能ロボットアームの需要が高まっている。このような需要に対応するために、高機能ロボットアームが可能とする作業の種類を増やす必要がある。特に、従来のロボットハンドでは把持することが困難であった、小型・薄型の物体を把持できるロボットハンドの開発の必要性が高まっている。

2. 研究の目的

本研究においては、障害物の多い人間の生活環境において、狭隘な空間でも小型・薄型の物体を安定的に把持することが可能なロボットハンドの開発を行うことを目的とする。具体的には、伸縮・回転を行うことが可能な爪機構を有するロボットハンドを開発し、薄いカード状の物体や、コイン状の物体を把持することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 爪の伸縮・回転を、ロボットハンドの指先に収まるような、小型・軽量の機構で実現するためのアクチュエータとして、ゼロと正の曲率を1つの歯車構造上で有するJ型の全方向駆動歯車を開発する。それにより、1つの歯車機構だけで、爪の伸縮のための並進運動と、回転運動とを実現する。

(2) 逆向きにも曲がる指関節を実現するための機構として、球状全方向駆動歯車を開発し、1点で直交した2つの回転関節を球状の歯車1個のみで実現し、広い可動範囲を実現する。

(3) 指先端の爪機構については、形状記憶ゲルを利用した機構を製作し、把持する物体や障害物の形状に指先が適応しやすくなるようにする。

4. 研究成果

(1) ゼロと正の曲率を有する爪駆動用のJ型全方向駆動歯車

本研究においては、ロボットハンドの指における爪の伸縮・回転を1つの曲面上で実現するための特殊な歯車機構として、図1のような「J」の形をした全方向駆動歯車を新たに開発して、小型・軽量の可動爪機構を実現した。具体的には、ゼロと正の曲率をそれぞれ有する2種類の全方向駆動歯車を連結して、1つの曲面を構成し、直交する2方向への「並進」と、ロボットハンドの指関節と同じ方向への「回転」とを、同一の曲面上で行えるようにした。これにより、爪機構が、前後左右に伸縮すると共に、ロボットハンドの指関節と同じ方向に回転することも可能となり、薄いカード状の物体や、コイン状の物

体を把持しやすくなるのが可能となる。

これは、当初はラック・ピニオン機構や差動歯車機構の組合せで行っていた爪の伸縮・回転を、より小型・軽量で部品点数の少ない歯車機構で行うことを可能にしたものである。

(2) 爪駆動用のJ型全方向駆動歯車の試作

J型全方向駆動歯車の形状や材料の改良を進め、ロボットハンドの指の先端に、爪の伸縮・回転のために取り付けられるくらいに小型・軽量の機構になるように、数回の試作を行った。

図1に示すように、上下左右への並進とヨー軸周りの回転とを1つの歯車面で実現できるJ型全方向駆動歯車を、小型・軽量化を進めながら数回試作した。その結果、ロボットハンドの指先端の爪構造を駆動するのに十分な大きさの出力と可動範囲とを有していることを、実験的に確認出来た。

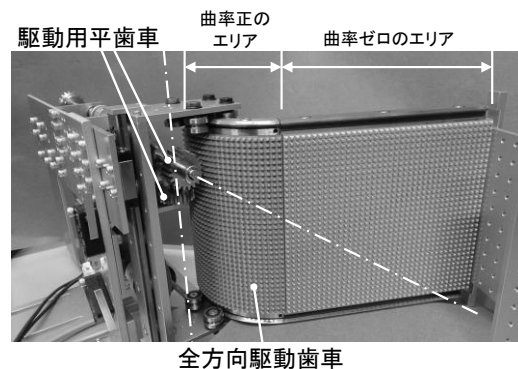


図1 J型全方向駆動歯車の試作機

(3) ロボットハンドの指関節用の球状全方向駆動歯車

一点で直交する2つの回転軸を有する小型・軽量のロボットハンドの指関節機構を実現するために、球状の全方向駆動歯車を図2、図3に示すように、新規に開発した。これは、従来型の二重関節よりも、小型・軽量でかつ広い可動範囲を実現するものであり、さらに、2つの直交する回転軸を有するという優位性を持っている。この球状全方向駆動歯車については、機構の改良を進めながら5段階以上の試作を繰り返し、さらに、これらに関節部分に有するロボットハンド用の3関節の指機構を図4～図7のように作製した。これは、この指機構の先端に、伸縮・回転が可能な可動爪を取り付けるためのものであり、直交する2方向にそれぞれ200°以上の可動範囲を有する関節により、広い可動範囲と操作性を実現した指機構である。この指機構の有する7つの自由度と合わせて、指先端の伸縮・回転が可能な爪機構を駆動することにより、薄いカード状の物体や、コイン状の物

体を把持することが可能になっている。

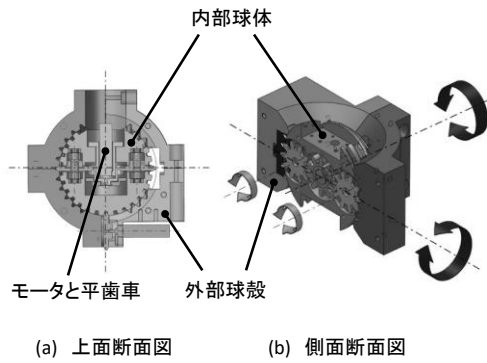


図2 球状全方向駆動歯車の内部構造

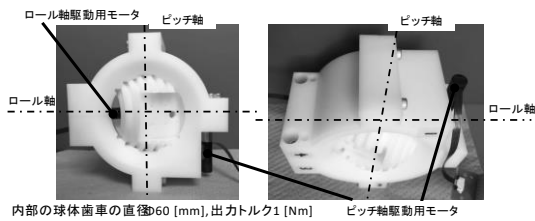


図3 球状全方向駆動歯車の全体写真

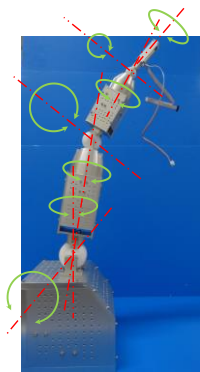


図4 球状全方向駆動歯車を用いた指機構 (側面写真)

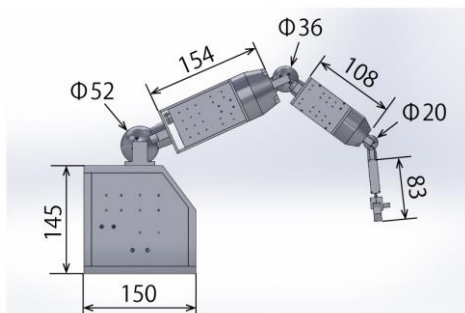


図5 球状全方向駆動歯車を用いた指機構の寸法 (側面図)

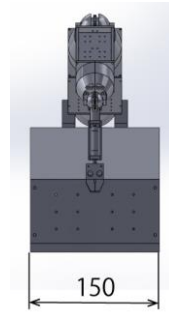


図6 球状全方向駆動歯車を用いた指機構の寸法 (正面図)

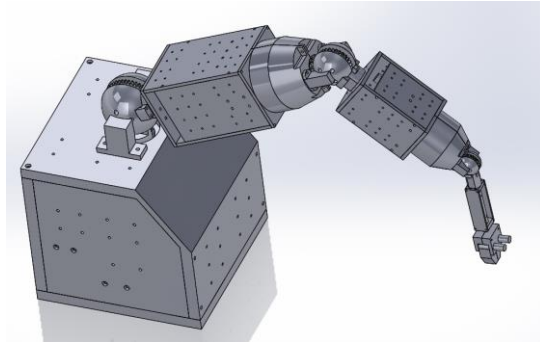


図7 球状全方向駆動歯車を用いた指機構の全景 (斜視図)

これは、当初は二重関節機構で行っていた指の回転関節の駆動を、より小型・軽量で部品点数の少ない歯車機構で行い、かつ、1軸周りの回転運動のみならず、直交する2つの回転軸周りの回転運動まで可能にすることで、人間の指を超えた複雑で繊細な把持動作を可能にするものである。

(4) 形状記憶ゲルを用いた伸縮・回転を可能とする爪機構

ロボットハンドの指先端において、主に金属製の部品を用いた従来型の爪機構に加えて、滋賀県立大学の山野光裕准教授との共同研究において、形状記憶ゲルを用いた構造を図8～図10のように用いることにより、ロボットハンドが把持する物体の形状や、外部環境における障害物の形状に、爪機構や指先が高度に適応することを可能とした。

形状記憶ゲル (Shape memory gel, SMG) とは、山形大学の古川英光研究室で開発された高分子材料であり、常温では硬く、変形しにくいですが、加熱して摂氏 60 度以上になると軟化して、容易に変形出来るようになる。軟化した形状記憶ゲルを、力を加えて変形させたまま冷却して常温に戻すと、変形した状態で形状が維持され、擬似的な塑性変形が出来る。ただ、変化するのはゲルの内部の結晶の構造のみであり、結晶のフォーメーション自体は変化していないために、再び熱を加えると、元の形状に戻るといった特性を持つ。

この形状記憶ゲルにより構成された節を、

図8のように連続して接続した上で、各節に図9のようにニクロム線を内蔵させて、節を個別に熱することを可能とし、節の弾性を独立に制御することを可能にした上で、図8、図10に示すように、ワイヤによる張力で、熱せられて柔らかくなった形状記憶ゲルの節部分で、爪機構を変形させ、ロボットハンドが把持する物体に馴染みやすくすることを可能にした。

形状記憶ゲルで構成された節の数を増やすことにより、把持する物体の形状に馴染むのみならず、爪機構の伸縮・回転運動における可動範囲を広げ、通常型のロボットハンドでは不可能だった、狭隘空間において、薄いカード状の物体や、コイン状の物体を把持することも可能となる[1]。

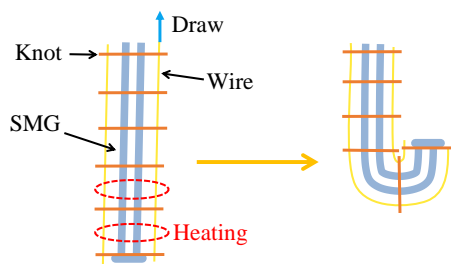


図8 形状記憶ゲル製の爪の駆動原理[1]

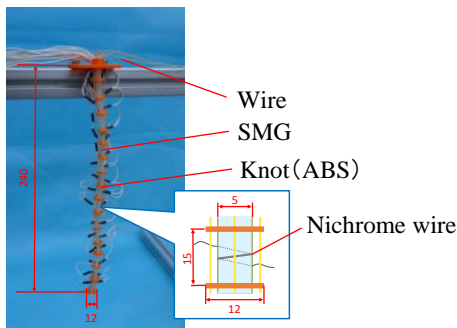


図9 形状記憶ゲルを用いた伸縮・回転が可能な爪機構[1]

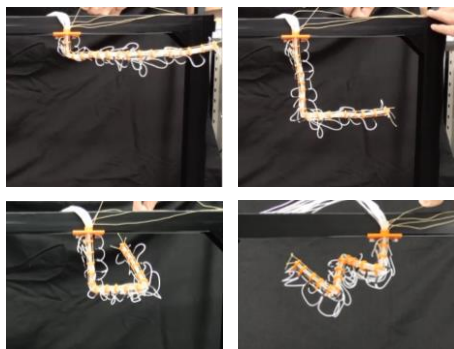


図10 形状記憶ゲルを用いた爪機構の動作[1]

(5) 結言

J型の全方向駆動歯車で駆動される形状記憶ゲル製の爪機構と、それを先端に有する指機構とを用いて、狭隘空間における様々な物体把持実験を行い、開発した可動爪付きのロボットハンド機構が、薄いカード状の物体や、コイン状の物体を把持するために有効であることを定量的に確認した。今後は、引き続き可動爪機構や指の関節機構の改良を進め、人間との協調作業において、人間以上に安定して小型・薄型の物体を把持できる機能を活用して人間の作業を効果的に補助可能なロボットハンド機構・ロボットアーム機構の開発を進めてゆく予定である。

<引用文献>

- ① 三好 竜平、山野 光裕、安田 寿彦、西岡 靖貴、宮 瑾、古川 英光、多田隈 理一郎、形状記憶ゲルとワイヤ駆動機構を用いたロボットハンドの開発 -第2報：16 関節を有する指の試作と基礎的実験-、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018、2018 年

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計2件)

- ① 多田隈 理一郎、球状全方向駆動歯車の研究開発、日本設計工学会誌「設計工学」、査読無、Vol. 52、No. 6、2017、pp. 383-386
- ② 多田隈 理一郎、2つの回転軸を一体化した球状歯車機構の開発と適用の可能性、機械設計、査読無、Vol. 61、No. 9、2017、pp. 128-131

[学会発表] (計6件)

- ① 三好 竜平、山野 光裕、安田 寿彦、西岡 靖貴、宮 瑾、古川 英光、多田隈 理一郎、形状記憶ゲルとワイヤ駆動機構を用いたロボットハンドの開発 -第2報：16 関節を有する指の試作と基礎的実験-、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018、2018 年
- ② 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 年
- ③ 小林 修、山野 光裕、安田 寿彦、西岡 靖貴、宮 瑾、古川 英光、多田隈 理一郎、形状記憶ゲルを用いたロボットアーム用剛性可変多自由度受動関節の試作、日本機械学会関西支部第92期定時総会講演会、2017 年
- ④ 三好 竜平、山野 光裕、安田 寿彦、西岡 靖貴、宮 瑾、古川 英光、多田隈 理一郎、形状記憶ゲルとワイヤ駆動機構を用いた

- ロボットハンドの開発、第35回日本ロボット学会学術講演会、2017年
- ⑤ 齋藤 寛人、阿部 一樹、多田隈 建二郎、多田隈 理一郎、2自由度を持つ球状全方向駆動歯車の研究、第34回日本ロボット学会学術講演会、2016年
- ⑥ 高木 稔、MOSES MUKIRA MWAI、多田隈 建二郎、多田隈 理一郎、自由曲面に対応した全方向駆動歯車の研究、第34回日本ロボット学会学術講演会、2016年
- ⑦ 松本直、加藤寛昭、福島悠也、高橋健太、瀬口昌俊、多田隈建二郎、多田隈理一郎、小型全方向駆動歯車の研究、計測自動制御学会東北支部 第297回研究集会、2015年

[産業財産権]

○出願状況 (計3件)

名称：複数方向駆動装置、ロボット関節機構及び複数方向駆動方法
発明者：小林正嗣、岡崎泰典、多田隈理一郎、茂木和樹、羽尾伸之介
権利者：同上
種類：特許
番号：特願2017-220367号
出願年月日：平成29年11月15日
国内外の別：国内

名称：多方向駆動装置及び自動カメラ
発明者：松田智美、多田隈理一郎、齋藤寛人、阿部一樹
権利者：同上
種類：特許
番号：特開2017-067165号
出願年月日：平成27年9月30日
国内外の別：国内

名称：被格納物の格納展開装置
発明者：鈴木紀之、岡崎泰典、多田隈理一郎
権利者：同上
種類：特許
番号：特開2017-024485号
出願年月日：平成27年7月17日
国内外の別：国内

[その他]

ホームページ等

<http://tadakuma.yz.yamagata-u.ac.jp/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

多田隈 理一郎 (TADAKUMA, Riichiro)
山形大学・大学院理工学研究科・准教授
研究者番号：50520813

(2) 研究分担者

多田隈 建二郎 (TADAKUMA, Kenjiro)

東北大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号：30508833

(3) 連携研究者

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

(4) 研究協力者

山野 光裕 (YAMANO, Mitsuhiro)
滋賀県立大学・工学部・准教授
研究者番号：70323178