

卒業論文

早戻り機構を有するロボットハンドへの柔軟指の導入

指導教員：西田 健 准教授

九州工業大学 工学部

機械知能工学科 知能制御工学コース

学籍番号：15104026

提出者氏名：川崎 雄太郎

平成31年 2月 13日

概 要

現在、産業用ロボットは多種多様な作業を遂行するためにエンドエフェクタの交換をおこなっている。把持や運搬、組み付け作業を行うときのものをグリッパと呼ばれ、対象物の姿勢や形状に合わせて適切なグリッパへの交換が一般的に行われている。しかし、グリッパの交換には複雑な把持計画や交換作業が伴い効率的な作業の障害となる問題が存在する。また自動車部品の製造工場などでは上記の問題に加えて車種固有の意匠部品などは形状の多岐に及んでいるため把持の複雑さや部品自体がデリケートなものによることから従業員の手作業で組み付けが行われており、自動化できていない課題がある。

こうした問題を解決するために近年把持対象物の姿勢認識とグリッパの交換を省略し、作業効率を向上させるユニバーサルグリッパと呼ばれるものの開発が行われている。ユニバーサルグリッパの中でも把持部に柔軟性のあるグリッパは、把持対象物を包み込むことで把持部を対象物に密着させて接触面積を増やし、対象物との間に生じる摩擦を増やして柔軟な把持を可能にする。また、はや戻り機構を有するグリッパは高速で把持と開放を高速で行うことができタクトタイムの減少を期待できる。

本研究では、柔軟な把持を可能にする指をもちはや戻り機能を有するグリッパの提案をする。

目 次

1	序論	4
2	基本構造	5
2.1	サーボモータ	5
2.2	3D プリンタ作成物	5
2.3	柔軟物	6
2.3.1	ゲル	6
2.3.2	ゴムで覆ったスポンジ	6
2.3.3	ばね	7
2.4	試作	7
3	把持原理	9
3.1	摩擦力による把持	9
3.2	早戻り機構	9
4	実験	11
4.1	把持実験	11
4.1.1	実験手順	11
4.1.2	実験結果	12
5	考察	13
6	まとめ	15
	参考文献	15

1 序論

産業用ロボットは多様な作業を遂行に対応するためにエンドエフェクタの交換がなされている。エンドエフェクタの一種にグリップがあり対象物の把持や搬送、組み付けに利用されている。近年、グリップの交換の省略が期待される汎用性の高いグリップとしてユニバーサルグリップの研究開発が行われている。[1]. グリップの交換の省略は作業環境における最適なグリップの選定や複雑な把持計画の省略につながり作業の効率化につながる。ユニバーサルグリップには把持面に柔軟性をもたせたグリップの開発が進んでおり、このようなロボットに柔軟性を取り入れたソフトロボティクス [2] という学術分野が近年注目されている。

柔軟性のあるグリップの例にジャミンググリップ [3] がある。このグリップは柔軟な半球形状袋に粒体が封入してある。このグリップの把持方法は柔軟な状態で把持対象物に押し付け包み込んだ後エアーコンプレッサで袋内の内圧を下げることによって把持部が固化するジャミング現象を利用する。しかし、柔軟膜の耐久性や周囲の気圧などの問題があり長時間の利用が制限される。

半球状の柔軟膜の中に MR 流体を封入した MR 流体グリップ [4] がある。このグリップは MR 流体に磁界を印加することで粘性が変化することを応用し把持に用いる。これらのような柔軟な把持は把持対象物の形状、姿勢に左右にされない強みがある。

またグリップの把持動作の高速化はタクトタイムの短縮になり、産業用ロボットの作業効率化、生産性向上につながると考えられる。指の開閉の高速化により把持動作の高速化を可能としたグリップに早戻り機構を用いたグリップがある [5]。

本研究では早戻り機構を用いたグリップに焦点を当てた。早戻り機構を有するグリップの把持部に柔軟性をもたせることで高速な開閉が可能なグリップに把持対象物の形状や姿勢によらない汎用性を付加可能か検証する。

2 基本構造

提案するグリッパの構造を Fig.1 に示す. 本グリッパはサーボモータ, 3D プリント作成物 (内円盤, 固定盤, 指, 指先), 柔軟物で構成される. 本グリッパは指の開閉に早戻り機構を用いている. サーボモータが内円盤を回転させ, その回転に伴い三本の指がグリッパの中心方向に閉じる. この機構により高速な指の開閉を実現する. 柔軟物の入れ替えを容易にするために着脱可能な指先に柔軟物を取り付けた. 本研究で用いた柔軟物はゲル, バネ, ゴムで覆ったスポンジの三種類とした.

2.1 サーボモータ

サーボモータは ROBOTIS 製 Dynamixel AX-12A を用いた. 制御には Robotis 製 USB2Dynamixel と SMPS2Dynamixel を用いた. これらを Fig.2 に示す. USB2Dynamixel は PC 上で Dynamixel AX-12A を直接制御可能である. SMPS2Dynamixel は Dynamixel AX-12A に電力を供給する装置である. また, サーボモータには安定化電源 (Fig.3) を用いて 12V の電力を供給した.

2.2 3D プリント作成物

3D プリントで作成した内円盤, 固定盤, 指, 指先を Fig.4 に示す. 使用した 3D プリントは KEYENCE 製 AGILISTA-3200 (Fig.5) を用いた. 作成物の材質は AR-M2 (透明樹脂) とした.

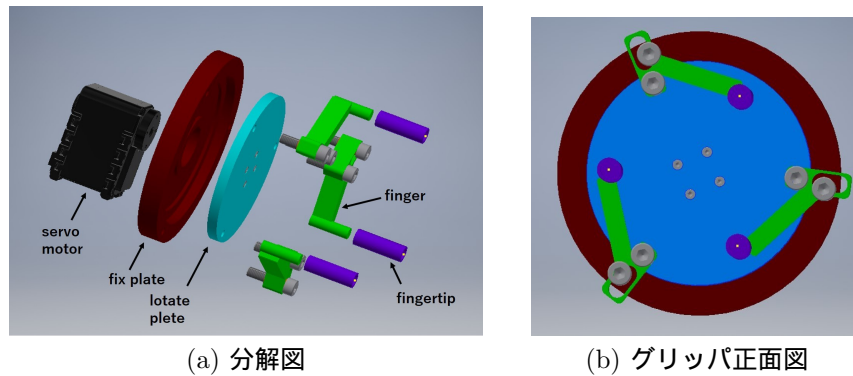
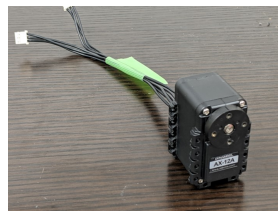


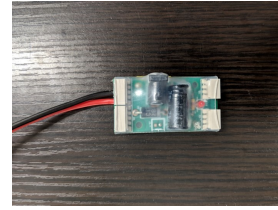
Fig. 1 本グリッパの構造



(a) Dynamixel AX-12A



(b) USB2Dynamixel



(c) SMPS2Dynamixel

Fig. 2 サーボモータと制御装置



Fig. 3 安定化電源

2.3 柔軟物

2.3.1 ゲル

ゲルを取り付けた指を Fig.6 に示す．ゲルとはある高分子が網目状になり溶媒を取り込んだ状態のものである [7]. 本研究で用いたゲルの仕様を Tab.2.1 に示す．適したゲルの厚さを検証するために厚さを 3 [mm], 6 [mm], 9 [mm] の三種類用意した．

2.3.2 ゴムで覆ったスポンジ

ゴムで覆ったスポンジを取り付けた指先を Fig.7 に示す．使用した素材は以下の通りである．

- (1) 厚さ 0.5mm のアメゴム
- (2) 緩衝材用のウレタンスポンジ

スポンジをゴムで覆うことによって把持対象物に生じる摩擦を大きくした．適したスポンジの厚さを 6 [mm], 8 [mm], 10 [mm] の三種類用意した．

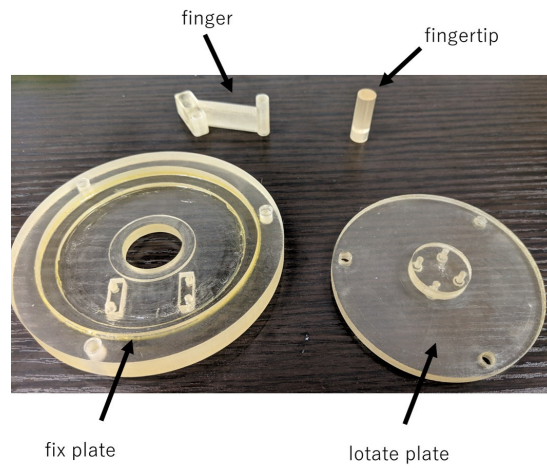


Fig. 4 3D プリント作成物



Fig. 5 3D プリント Agilista

2.3.3 ばね

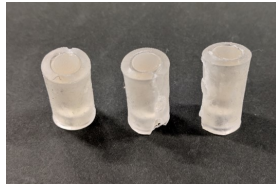
コイルばねを使用した. 他の柔軟物と異なりばね自身を指とした. ばねを取り付けた指を Fig.8 に示す.

2.4 試作

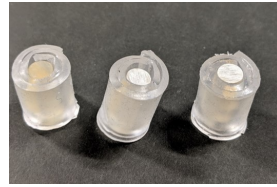
サーボモータ, 3D プリント作成物, 柔軟物を用いて試作したグリップを指先の柔軟物 Fig.14 に示す.

Tab. 2.1: ゲルの仕様

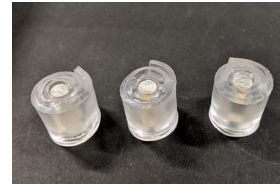
材質	スチレン系エラストマ
硬度	0
比重	0.8



(a) 厚さ 3 mm

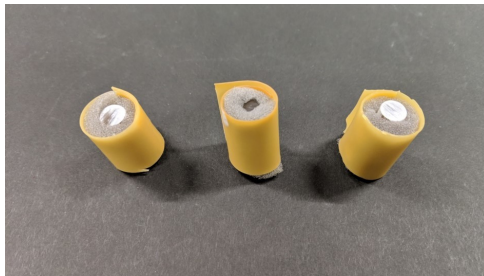


(b) 厚さ 6 mm

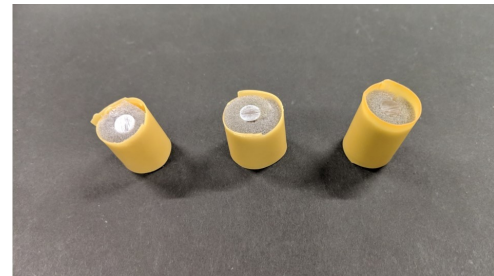


(c) 厚さ 9 mm

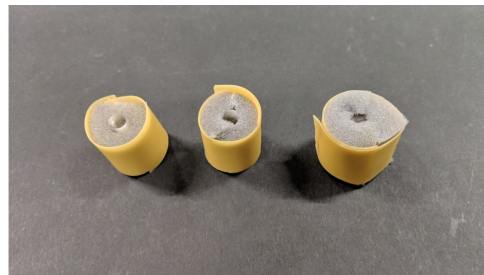
Fig. 6 ゲルを取り付けた指先



(a) 厚さ 6 mm



(b) 厚さ 8 mm



(c) 厚さ 10 mm

Fig. 7 ゴムで覆ったスポンジを取り付けた指先

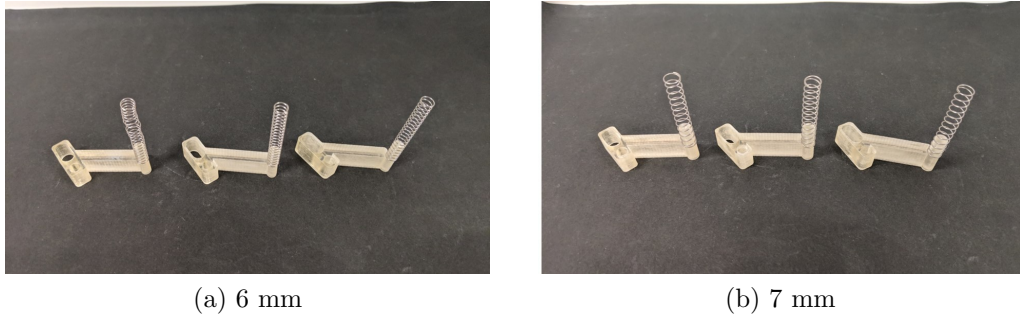


Fig. 8 ばねを取り付けた指先

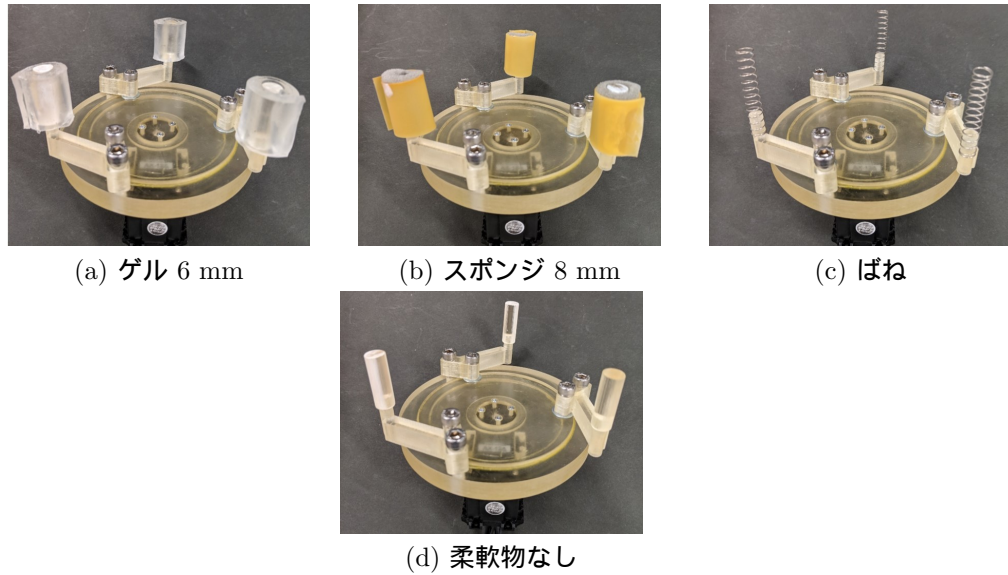


Fig. 9 グリッパ試作

3 把持原理

3.1 摩擦力による把持

本グリッパは摩擦力が把持力となり重力やその他外力とつりあうことで把持を実現する。本グリッパの指は固い円筒状の指の表面が柔軟物に取り付けてある。把持時指を対象物に接触させ力を加えていくと表面の柔軟物是对象物の形状に倣い変形する。このとき指と把持対象物の接触面積が大きくなり摩擦力が増加する。

3.2 早戻り機構

早戻り機構 [6] の基本的なメカニズムをレバースライダを例とし Fig.10 に示す。クランクアーム A-Q が Q を中心に回転すると、レバーが P を中心として往復運動する。クランクアームが一定速度で回転すると点 P から離れる外側を通るときの A-B-C の角度が 240 [deg] で、内側の

C-D-A を通るとき角度が 120 [deg] となりクランクアームが内側の軌道を通る時の時間は外側の軌道のものよりも短くなるので早戻り機構と呼ばれている。

早戻り機構を用いたグリッパは内円盤がサーボモータによって回転すると内側のボルトを軸に回転し三本の指が中央に向かって閉じる機構となっている。三本の指の動きがカメラのシャッターのように見えることからシャッターハンドと呼ばれる。指の外側の穴は小判形になっており早戻り機構の高速に動作する範囲のみを抽出できるので高速な開閉を可能にしている。シャッターハンドの開閉の様子を Fig.11 に示す。

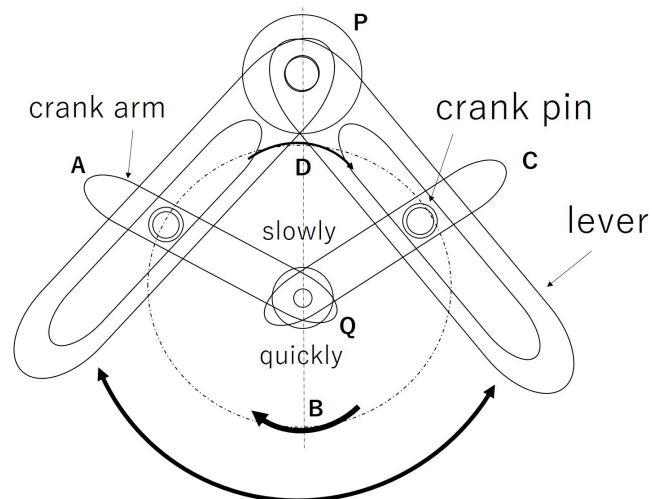


Fig. 10 レバースライダの例

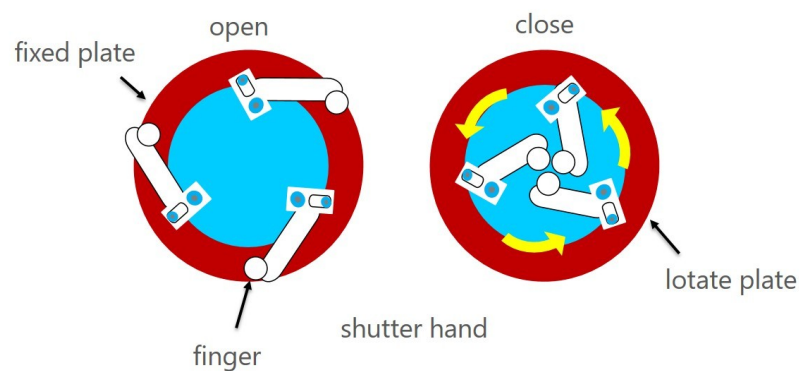


Fig. 11 シャッターハンド

4 実験

4.1 把持実験

本グリップの指を入れ替えて対象物の把持の可不可を検証する．指の種類はゲル，バネ，ゴムで被覆したスポンジ，柔軟物なしのものとし以下にまとめる．検証に用いる把持対象物を Fig.12 に示す．把持対象物は自動車部品工場で用いられる部品のモデルの 5 種類とし，それぞれ A,B,C,D,E の記号を部品ごとに割り振った．また，把持対象物 E は Fig.13 上部の突起部と下部の外周部でそれぞれ把持実験を行った．

4.1.1 実験手順

- (1) 上記の把持対象物を作業台に配置した．
- (2) グリップの指を開き作業台の鉛直上方向から把持に適切な位置まで接近させた．
- (3) グリップの指を閉じ把持対象物を把持した．
- (4) 把持対象物を把持したまま鉛直上方向に持ち上げることができれば把持可能，持ち上げることができなければ把持不可能と判別した．

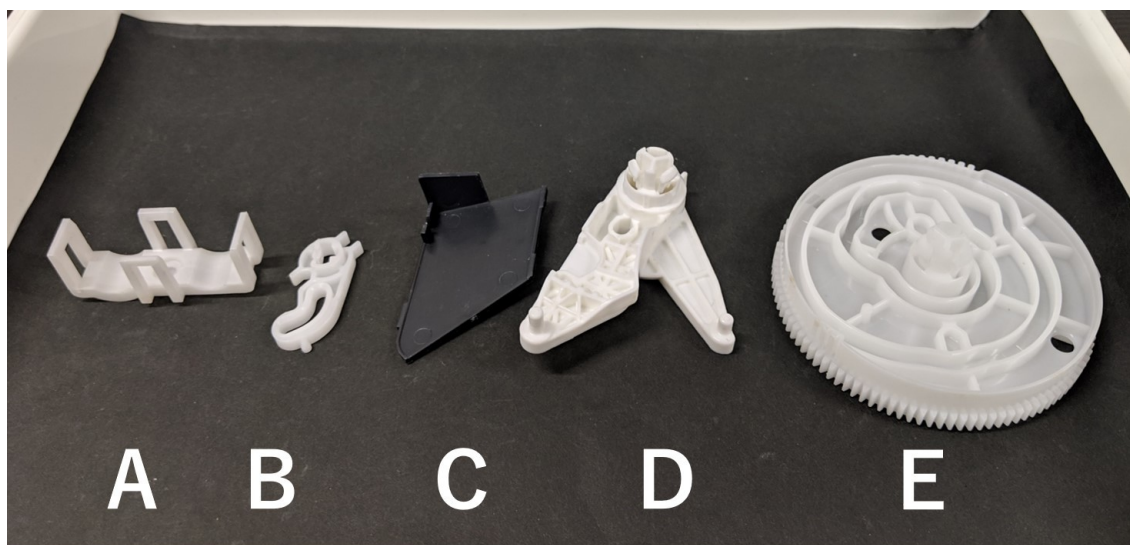


Fig. 12 自動車部品

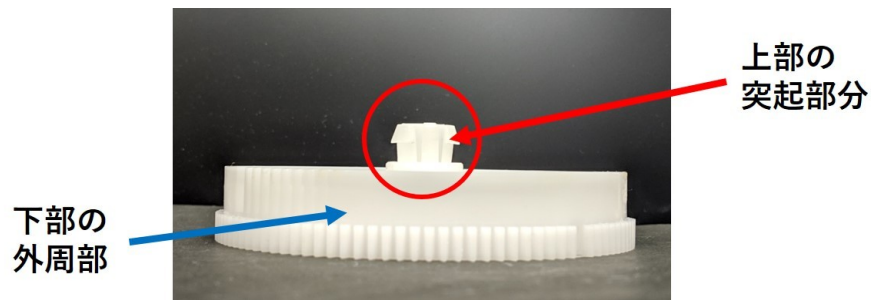


Fig. 13 把持対象物 E

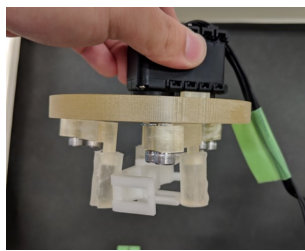
4.1.2 実験結果

使用した指は以下の通りである. 実験結果を Tab.4.2 にまとめる. 把持成功は , 把持失敗は × を表している. 把持対象物 E は上部の突起部と下部の外周部での把持が両方成功した時把持成功とみなした. Tab.4.2 の横軸は Fig.12 の割り振った記号と対応し縦軸は以下の指の番号と対応している.

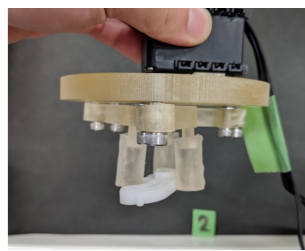
- (1) 柔軟物のない指
- (2) 厚さ 3mm のゲルを取り付けた指
- (3) 厚さ 6mm のゲルを取り付けた指
- (4) 厚さ 9mm のゲルを取り付けた指
- (5) 厚さ 6mm のゴムで覆ったスポンジを取り付け指
- (6) 厚さ 8mm のゴムで覆ったスポンジを取り付け指
- (7) 厚さ 10mm のゴムで覆ったスポンジを取り付け指
- (8) 内径 6mm のばねを取り付けた指
- (9) 内径 7mm のばねを取り付けた指

Tab. 4.2: 把持実験結果

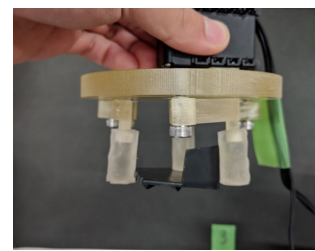
	A	B	C	D	E
(1)			×		×
(2)					
(3)					
(4)					×
(5)					×
(6)					×
(7)					×
(8)	×	×	×	×	×
(9)	×	×	×	×	×



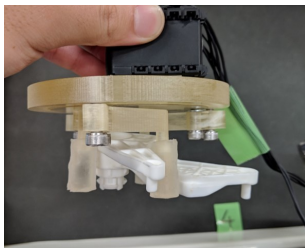
(a) 把持対象物 A



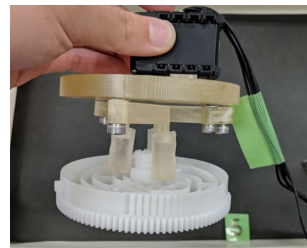
(b) 把持対象物 B



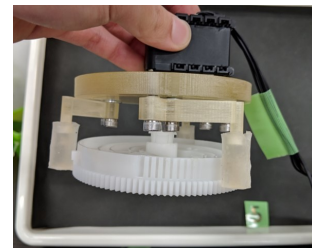
(c) 把持対象物 C



(d) 把持対象物 D



(e) 把持対象物 E 上部の突起



(f) 把持対象物 E 下部の外周部

Fig. 14 厚さ 3mm のゲルの指での把持の様子

5 考察

柔軟物の無い指では把持対象物 C, E が把持できなかった. 把持対象物の形状に倣いによって摩擦力を大きくすることの不可能な柔軟で無い指では薄い板状の把持対象物 C では接触面積が小さすぎるため把持できなかったと考えられる. 把持対象物 E についても同様の理由で把持できなかったと考えられる.

ゲルを指先に取り付けた指は厚さが 3mm と 6mm の場合が全ての対象物が把持出来た. 厚さが 9mm の指では把持対象物 E の上部の突起部分をつまむことは出来た (Fig.15) が外周部の把持は出来なかった. この理由はゲルの厚さが 9mm と比較的指が太くなってしまい指の開きが狭くなり指を把持対象物に接触できなかったからである. ゲルの厚さを厚くすると指の開きが狭くなるのでゲルの厚さは薄くするのが望ましいと考えられる. しかし, ゲルを薄くすると把持対

象物に倣う接触面積が小さくなり把持力が低下が考えられる. 本実験では最もゲルの厚さが薄い 3mm の指での把持は安定していた. これよりゲルの厚さ 3mm の時に把持力は低下しないと考えられる. よって 3mm より薄く把持が安定する厚さの検証を今後の課題とする.

ゴムで覆ったスポンジを取り付けた指では, 全ての厚さで把持対象物 A,B,C,D は把持出来, 把持対象物 E は把持できなかった. 把持対象物 E の上部をつまむ把持は全ての厚さの指で出来なかった. 外周部の把持は厚みが 8mm,10mm のときは指が太さにより外周部に指が沿わず把持が不可能であった. 厚みが 6mm のときは外周部に指を沿わすことは可能だが把持は不可能であった. この理由は把持力が不足していたためであると考えられる. 把持力を大きくするためにスポンジを覆うゴムをより摩擦係数の大きなゴムに変更することが有効であると考えられる.

ばねを取り付けた指は全ての把持対象物を把持出来なかった. ばねの指が柔軟すぎる故に外側に反り返ってしまい把持対象物に倣うことが出来ず把持力が著しく不足しているためであると考えられる. 本グリップパで用いたばねよりもより固いばねを使用すれば外側への反り返りが改善され把持が可能になると考えられる.

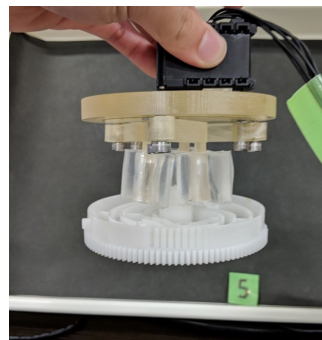


Fig. 15 厚さ 9mm のゲルの指による把持対象物 E のつまみ把持

6 まとめ

本論文では早戻り機構を有し指に柔軟物を取り付けたグリッパを提案し, その基本構造や把持原理を述べ, 把持実験を自動車部品を用いて行った. 実験より柔軟でない指では把持対象物 C と E は把持出来なかった. 対象物 C においてはゲルとゴムで覆ったスポンジを取り付けた指で把持成功し, 対象物 E においては厚さが 3 [mm], 6 [mm] のゲルを取り付けた指で把持成功した. よって指に柔軟物を取り付けたことによって把持の汎用性の向上を示すことが出来たと言える. 取り付ける柔軟物は全ての把持対象物を把持成功した厚さ 3 [mm], 6 [mm] のゲルが適していると結論付ける.

今後は本グリッパを産業用ロボットに取り付け工場で実際に使われる場面を想定して把持実験を行っていくと共に, 実際に工場においての使用を想定し柔軟物の耐久性などを考慮に入れ指の改良を行っていく.

謝辞

本論文作成にあたり御指導下さった九州工業大学大学院工学研究院機械知能工学研究系知能制御工学部門西田准教授に深く感謝致します.

参考文献

- [1] Tetsuyou Watanabe, Kimitoshi Yamazaki, Yasuyoshi Yokoko-hji, “ Survey of robotic manipulation studies intending practical applications in real environments -object recognition, softrobot hand, and challenge program and benchmarking- ”, Advanced Robotics , Vol. 31, Iss. 1920, pp. 1114-1132, 2017.
- [2] 中村太郎, “生物・生体の機能を規範としたソフトロボティクス ”, システム/制御/情報, 61 巻, 7 号, pp.265-270, 2017.
- [3] J. R. Amend Jr, E. Brown, N. Rodenberg, H. M. Jaeger, H. Lipson: “ A Positive Pressure Universal Gripper Based on the Jamming of Granular Material, ” IEEE trans. on Robotics, Vol.28, pp.341350, 2012.
- [4] T . Nishida , Y . Okatani , K . Tadakuma , “ Development of universal robot gripper using MR fluid, ” Int . Journal of Humanoid Robotics , vol.13 ,No.4 ,p13,2016.

- [5] 天吞将成, 鈴木陽介, 辻徳生, 渡辺哲陽, "はや戻り機構を用いた高速グリッパの開発", SICE, 2018.
- [6] 熊谷英樹, "必携「からくり設計」メカニズム定石集", 日刊工業新聞社, p140, 2017.
- [7] 柴山充弘, "ゲルの物理と化学の新展開", 日本物理学会誌 Vol 72, No.4, 2017, pp.226-227, 2017.