

円筒状物体把持のための柔軟爪を有するロボットハンドの開発

柴田 瑞穂*1

Robotic Hand with Flexible Fingers for Grasping Cylindrical Objects

Mizuho SHIBATA*1

In this manuscript, a robotic hand for grasping a cylindrical object is proposed. This robotic hand has flexible fingers that can hold a cylindrical object during moving. We introduce a grasping strategy for a cylindrical object in terms of state transition graph. In this strategy the robotic hand picks up the cylindrical object utilizing a suction device before the hand grasp the object. We also design the flexible fingers; then, we investigate the validity of this robotic hand via several experiments.

Keywords: Flexible finger, Robotic hand, Grasping, Cylindrical Object

1. はじめに

近年、種々の産業においてロボットシステムによる作業の自動化が進められている。これらロボットシステムの実現により、作業の効率化だけでなく安全性の向上が見込まれる。本研究では、円筒状物体を把持・搬送するためのロボットハンドを開発する。ロボットハンドの研究分野は多岐にわたる。人間の機能を模することを目的としたハンドの開発^①、柔軟指を有するハンドによる位置決め問題の安定性に関する研究^②、ハンドによる把握作業の実現^③などの研究が活発に行われている。しかしながら、実際の生産現場では作業を確実に実現するという観点から、対象となる物体に合わせて、専用に設計されたロボットハンドを利用することが多い。真空吸着ハンド、電磁マグネットハンドなど、様々なエンドエフェクタを有するロボットシステムが活用されている^④。単純に把持することだけを実現するロボットハンドでは、ハンドの自由度を1とするものが多い。しかしながら、その対象物体・環境に応じて他自由度を利用する必要がある。布地を扱うロボットハンド^⑤では、スカラアームの先端に4自由度ハンドを搭載することで、作業を実現している。

本研究では、円筒状物体を搬送するためのロボットハンドを製作する。本研究は、直径3mm、長さ42mm

の円筒状物体を所定の位置から搬送するロボットハンドを製作する。図1に対象となる円柱形状を示す。本報告では、対象物体搬送のための作業手順を議論する。図2に対象となる実験環境を示す。図に示すように対



図1. 円筒状物体



図2. 実験環境

原稿受付 2015年5月7日

*1 近畿大学工学部 ロボティクス学科 講師, 次世代基盤技術研究所 講師 (〒739-2116 東広島市高屋うめの辺1番)

E-mail shibata@hiro.kindai.ac.jp

対象物体が容器内に乱雑に置かれている状態から1つの対象物体を把持・搬送する作業を実現する。状態遷移グラフからの議論に基づき、より簡便に把持を実現する作業手順を導入する。また、物体を運動中に落下させることがないように、金属製のロボット指を設計・製作する。その有効性は実験を通して確認する。

物体を把持するためには、カメラなど視覚センサを用いて位置・姿勢を認識する必要がある。本研究では、この物体認識の部分については研究対象とせず、把持前に物体の位置・姿勢があらかじめ分かっているものとする。

2. 仕様の決定

本研究では、図2に示す容器内にある円筒状物体（図1）を搬送時に把持するロボットハンドを実現する。対象物の両端面はそれぞれ異なる形状であり、決められた向きで決められた場所に置く必要がある。本ロボットハンドを製作する上での設計条件を挙げる。

- ・吸着パッドやエアシリンダなど制御が容易なアクチュエータを利用する。電磁モータを利用した複雑な制御は利用しない。
- ・高速で搬送した場合に対象物がハンドからはずれないように、爪状の部材で把持する。
- ・ロボットアームの可搬重量にあわせて、ハンドの質量は5kg以下とする。
- ・可動域を多く確保するために、ハンドの長さを約250mm程度とする。
- ・ワークを把持する場合、ハンドの一部が対象物体以外の物体に干渉しないようにする。
- ・円筒状物体をつかんだときに、爪部との間に隙間が空かないようにする。

3. ロボットハンド

3.1 作業方策

本節では、前節の問題設定に基づいて、円筒状物体を把持・搬送するための作業方策を決定する。ここでは、作業全体を複数の物体の接触状態で表現し、その接触状態を遷移させる問題として考える。ここで、接触状態グラフ⁶⁾とは、物体同士の接触状態とその遷移をノードとエッジの集合で表現するものである。ある作業において、接触状態を表すノード数を n とすると、エッジの最大数 L は、 $L = n(n - 1)/2$ と計算できる。したがって、ノード数 n が大きくなると、エッジ数 L は組み合わせ爆発を起こす。つまり、状態遷移の観点からは n が可能な限り少なくなるような作業方策を選定することが望ましい。例えば、ある物体を、爪部を用いて把持する場合、把持

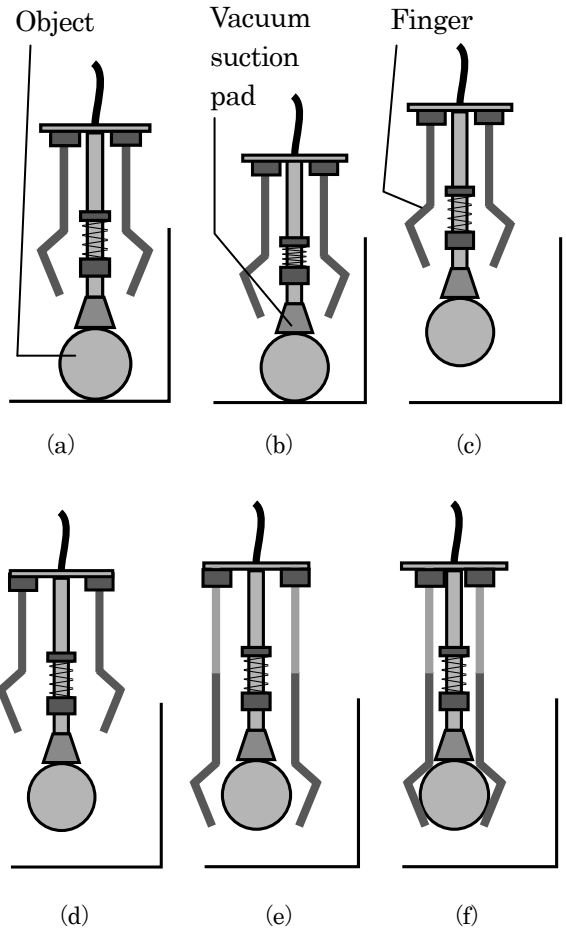


図3. 作業方策

物体と爪部以外に接触状態を遷移させる物体がなく、物体を把持している（爪部が物体と接触している）、物体を把持していない（爪部と物体が接触していない）の2つしか接触状態がないという作業を選定できれば、エッジ数 L は1となり、そのエッジに相当する作業のみを実機によって実現することだけを考えればよいことになる。本研究では、この接触状態のノード数が2となる状況を実現するために、事前に対象物体を空中で持ち上げ、対象物体と爪部のみが存在する状況での把持を作業方策として選定する。対象物体の位置・姿勢の認識が成功していれば、この作業方策は実現可能であると考えられる。

この議論を踏まえ、図3に作業方策を示す。図の記号は下記の過程に対応する。

- 吸着パッドを対象物体に接触させる。
- 吸着パッドを対象物体に押しつける。パッド内を減圧することで、持ち上げるために必要な力を環境圧（今回の場合大気圧）との差圧から得る。

- (c) 対象物体を持ち上げる。対象物体を落とした場合には、パッド内部の圧力が変化する。
- (d) 上部に爪部が格納されている場合、爪部を水平方向に移動させる。
- (e) 爪部を把持が行える位置まで下げる。対象物体と干渉して対象物体を落とした場合には、パッド内部の圧力が変化する。
- (f) 爪部を左右に移動させ、対象物体を把持する。

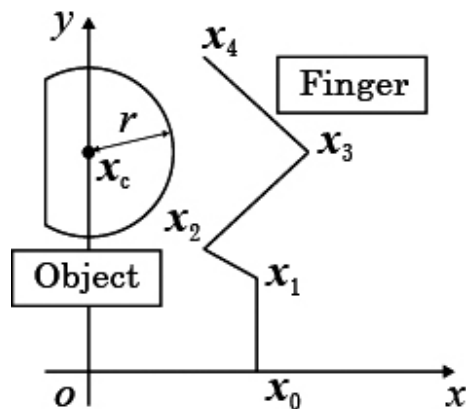


図 4. 指と物体の関係

過程(e), (f)が前述した 2 つのノードに対応する。また、過程(d)は、爪部と吸着パッド干渉させないために実施するため、ハンドの設計によっては省かれる。

3.2 爪部の設計

本節では、爪部の設計を行う。図 4 に対象となる把持物体および爪部の模式図を示す。簡単のために把持は平面で行われると仮定する。このとき、把持物体は半径 r の円として表現する。円の中心の座標は、 \mathbf{x}_c とする。爪部は 4 つの剛体リンク、 $\mathbf{x}_0 \mathbf{x}_1$, $\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_2$, $\mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3$, $\mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$ として近似する。それぞれの長さを L_0 , L_1 , L_2 , L_3 とする。把持状態のときには、 $\mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3$ および $\mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$ が対象物体と接触する。したがって、リンク物体と爪部の接触判定は、 $\mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3$ および $\mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$ と \mathbf{x}_c との距離が r 以下になるかどうかで判定する。リンク $\mathbf{x}_0 \mathbf{x}_1$, $\mathbf{x}_1 \mathbf{x}_2$, $\mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3$, $\mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$ が x 軸となす角をそれぞれ、 θ_0 , θ_1 , θ_2 , θ_3 とする。使用する対象物体およびハンドに使用する機器（エアシリンダなど）のサイズより \mathbf{x}_c , \mathbf{x}_0 および r が既知であるとする。また、今回はこの条件下で $L_0 \sim L_3$, θ_0 , θ_1 が既知のパラメータとして、 θ_2 , θ_3 を決定することを考える。一般には、これらの値を一意に決定することは不可能である。しかしながら、加工上の制約や把持の際に発生する接触の力の大きさなどを考慮して、決定することになる。N 番目の点 $\mathbf{x}_N = [x_N, y_N]^T$ は下記のように求められる (N は 1~4 までの自然数である。添え字の T は転置行列であることを示す)。

$$\mathbf{x}_N = \mathbf{x}_{N-1} + L_N \cos(\alpha_{N-1}) \quad (1)$$

$$y_N = y_{N-1} + L_N \sin(\alpha_{N-1}) \quad (2)$$

ただし、角度 α_{N-1} は、

$$\alpha_{N-1} = \sum_{k=0}^{N-1} \theta_k \quad (3)$$

で与えられる。この式に基づき、適当な θ_2 , θ_3 を選定し、逐次的に計算すると、 \mathbf{x}_3 および \mathbf{x}_4 を求めることができる。

ここで得られた $\mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3$ および $\mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$ が円筒状物体と接触するかを考える。リンク $\mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3$ の直線の方程式は、 $ax+by+c=0$ とおくと、

$$a = -\frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} \quad (4)$$

$$b = 1 \quad (5)$$

$$c = -y_3 + \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2} x_3 \quad (6)$$

となる。このとき、 $\mathbf{x}_c = [x_c, y_c]^T$ とするとリンク $\mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3$ と円筒状物体との接触判定は、

$$\frac{|ax_c + by_c + c|}{\sqrt{a^2 + b^2}} < r \quad (7)$$

を満たすかどうかになる。上記の式を満足する場合、円筒状物体とリンク $\mathbf{x}_2 \mathbf{x}_3$ は接触する。同様の考え方に基づき、リンク $\mathbf{x}_3 \mathbf{x}_4$ が円筒状物体と接触するかどうかにも判定が可能となる。これらの式に既知パラメータを代入することで、物体が把持可能であるかを検討する。式(7)の条件を不等号としているのは、把持に必要な接触力を爪部の変形により得るためである。指先の材質はばね鋼を想定しており、ある程度の変形は許容される。

3.3 試作機

図 5 に試作したロボットハンドを示す。この試作機では、エアシリンダ (コガネイ製 ATBDA 25×60), 平行ハンド (ミスミ製 FH100series F125-D), 吸着パッドを用いた。エアシリンダで爪部の上下運動を、平行ハンドで爪部による把持動作を実現している。爪部は SUS304 で作成した。前節の設計指針を踏まえて、左右鏡面对象型の爪部が配置されている。質量は爪部を含めて、約 5 kg となっている。ロボットハンドの本体の大きさは、高さが約 250 mm, 幅が約 80 mm, 奥行き約 150 mm である。試作機は、市販のロボットアーム (川崎重工業製 RS10L) の先端に取り付ける。

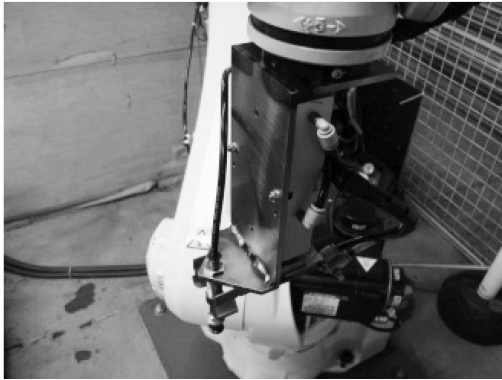


図5. 試作したロボットハンド

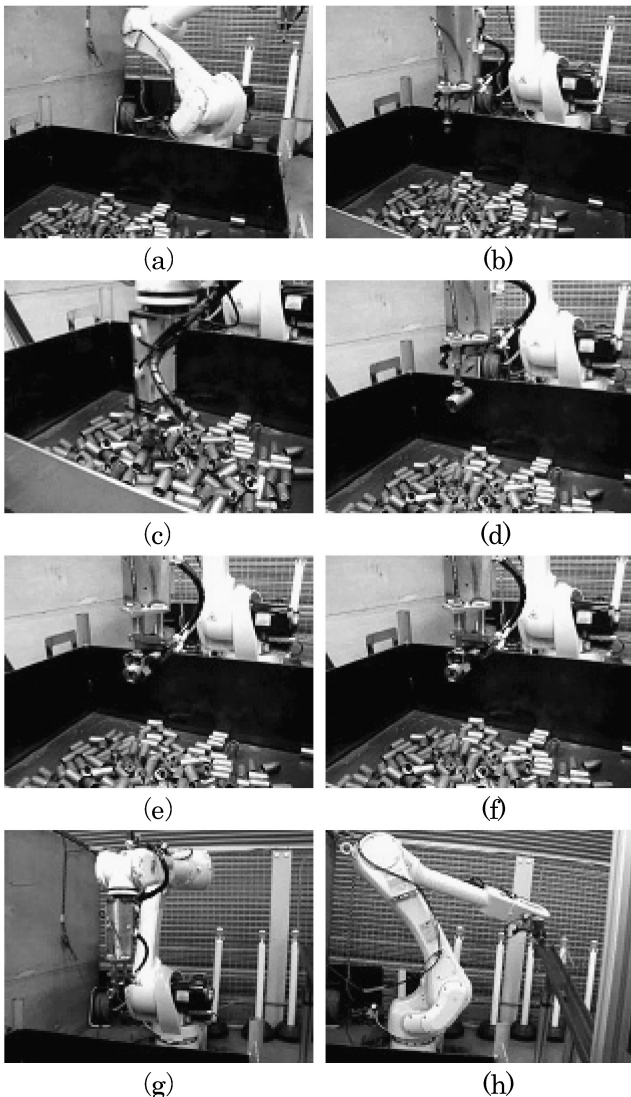


図6. 実験風景

4. 動作試験

図6に本試作機を利用した円筒状物体の搬送例を示す。図の記号は下記の過程に対応する。

(a) 距離センサを利用して、把持する対象物体(ワーク)

を決定する。

(b) 把持するワークの上にロボットハンドが移動する。

(c) 吸着パッドをワークに押しつけて吸引する。

(d) ワークを持ちあげる。

(e) 爪部をワークの位置まで下げる。

(f) ワークを爪部で把持する。

(g) 把持後、ロボットアームを動かす。

(h) 定められた位置にワークを置く。

図に示すように、本研究で試作したハンドを利用して円筒状物体を把持・搬送可能であることを確認した。過程(a)の際に、対象物体の位置や向きを誤検出してしまう可能性があり、その際、過程(d)または過程(e)のいずれかが正しく完了しない。これは吸着パッドの圧力変化を検出することで、成功の可否を判別することができる。

5. まとめ

本報告では、円筒状物体を把持・搬送するためのロボットハンドを設計・製作した。容器内に乱雑に置かれた対象物を把持するために、吸着パッドおよび金属製の爪部に有するハンドとした。爪部の設計を簡便なものにするためには、対象物体と爪部の接触状態グラフのノード数を減らす必要がある。そこで、爪部で対象物体を把持する前に、あらかじめ吸着パッドで対象物体を持ち上げ、爪部が対象物体以外と接触しない作業方策を導入した。また、吸着パッドで対象物を持ち上げるときに、爪部と対象物が干渉しないよう、爪部を上下に運動させる設計とした。爪部の材質はばね鋼とした。運動中に爪部が把持し続けることを目標に、爪部の形状を設計・製作した。実験を通してハンドの有効性を確認した。

謝辞

本研究は、シグマ株式会社との共同研究の成果である。また、本研究の一部は元木勇君の卒業研究に基づいている。ここに謝意を表する。

参考文献

- (1) 川崎晴久, 毛利哲也, 伊藤聡, 下村尚之, 松波俊宣, 花田伸, 東輝明, “人間型ロボットハンド Gifu Hand III”, 日本ロボット学会誌, Vol. 22, No. 1, pp. 55-56, 2004.
- (2) 田原健二, 有本卓, 吉田守夫, “柔軟3指ハンドによる仮想フレームを用いた把持物体の外界センサレス位置・姿勢制御”, 日本ロボット学会誌, Vol. 29, No. 1, pp. 89-98, 2011.
- (3) 金子真, 今村信昭, 横井一仁, 谷江和雄, “摩擦を考

- 慮した多指ハンドの剛性モデルによる安定把握解析”, 日本ロボット学会誌, Vol. 7, No. 3, pp. 161-171, 1989.
- (4) G. J. Monkman, S. Hesse, R. Steinmann, H. Schunk, “Robot Grippers”, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007.
- (5) 柴田瑞穂, 太田剛士, 平井慎一, “摘み滑り動作を利用した布地の展開動作”, 日本ロボット学会誌, Vol.27, No.9, pp.67-74, 2009.
- (6) 平井慎一, 若松栄史, “ハンドリング工学”, コロナ社, 2005.