

## ダイカスト部品の製造自動化に向けたロボット指の形状設計

石川 卓\* 原田 研介\*\* 永田 和之\*\*

### 1. はじめに

#### 1.1 背景

茨城県には自動車部品を製造する企業が多く、これに関連し、ダイカスト製品を扱う企業も多い。ダイカスト製品はその製造方法ゆえに寸法精度が高い、生産性が高い、複雑な形状に加工できる特徴がある。そのため、ダイカスト製品は自動車部品の他にも、電化製品、機械部品、玩具などにも適用されている。しかし、その製造工程において、金型 casting からトリミングまでの自動化は進んでいるものの、バリ取りや表面研磨といった仕上げ工程は自動化が進んでいない。その原因として、形状の複雑さとバリの不均一性が考えられる。人が製品を手に取り、バリの有無を目で確認しながら仕上げ処理をしているのが現状である(図1)。この工程の自動化に向けて最初に取り組むべき課題が、複雑形状の製品の把持方法である。なお、1つの製品でも仕上げ処理を施す箇所が部品全体に散在しており、複数種類の工具を用いて処理を施すため、1つの持ち方で全ての仕上げ処理に対応することは難しく、複数の持ち方が必要になる。



図1 バリ取りの様子

#### 1.2 関連研究

3次元形状の物体把持に関して、様々なロボットハンドが研究されている。拘束手法では、物体を幾何学的に拘束するform closureが提案され<sup>1)</sup>、広く研究に用いられている。Gopalakrishnanら<sup>2)</sup>は、対象物の凹部に対し、2本の円柱指が付いたグリッパを用いてform closureを形成する‘v-grip’を提案した。凹部を有する対象物を把持する際に有効な手法である。また、土橋ら<sup>3~5)</sup>は、対象物を正確に把持し、組立作業ができるような複数の円柱指が付いた汎用ハンドの研究を進めており、外レンチと指先力の大きさの関係から最適な把持点を決定する手法を提案した。しかし、複雑形状の物体に対して、把持のみであれば円柱指を有するハンドの適用が考えられるが、対象物の仕上げ処理に対しては指が処理工程の妨げとなる可能性がある。また、製品化された多指ハンドもある<sup>6~10)</sup>。これらの多指ハンドの形状や動作は人間の手を模範としていて、対象物に対する汎用性が高い。ただ、器用な動作を

現できるがために、機構や構造が複雑となりコストが高くなる。ダイカスト部品を把持対象とする際、人の手であれば必ずしも最適な把持ができるというわけではない。そのため、複数種類のダイカスト部品が把持対象になった場合、1つのハンドで対応することは困難であり、部品ごとに専用のハンド、もしくは治具が必要になると考えられる。

### 2. 目的

本研究では、ダイカスト製品の仕上げ工程をロボットが行うことを想定し、複雑形状のダイカスト部品に複数の持ち方ができるロボット指を考案する。その際、対象物を安定して把持するために幾何学的な拘束原理を考慮する。そして、ロボット指を試作し、各々の持ち方について双腕ロボットを用いて評価を行う。なお、対象とした部品は、実際にこのニーズをもつ茨城県の企業(株式会社サンキャスト)から提供していただいた。

### 3. 研究内容

#### 3.1 対象部品と表面仕上げの想定

本研究で対象にしたダイカスト部品を図2に示す。材質はアルミニウム合金であり、大きさはおおよそ110×100×95mm、重さは約160gである。自動車部品として用いられている。

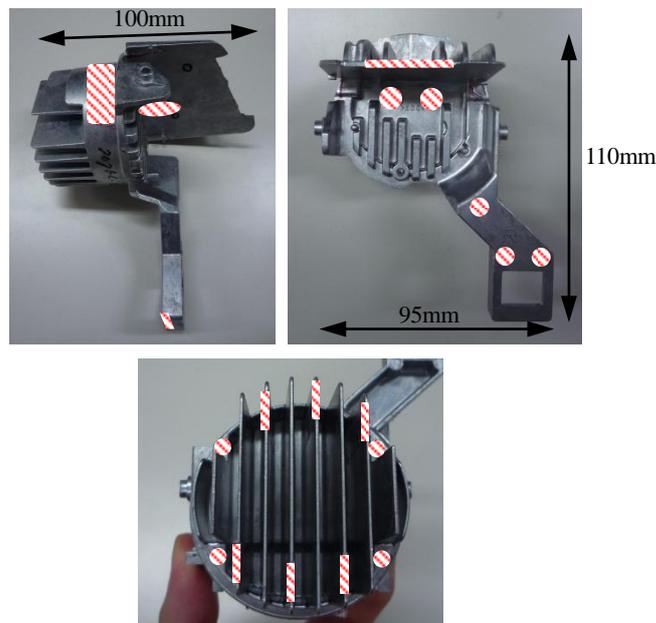


図2 本研究で対象としたダイカスト部品

表面仕上げを施す箇所を図2の斜線で示す。処理を施す箇所が各面に散在している。また、部品の箇所によって仕上げ処理に用いる工具が異なる。これらを踏まえ、仕上げ処理の種類に応じて部品を3分割し(図

3), そのうち2区画を把持できるハンドを設計することとした。

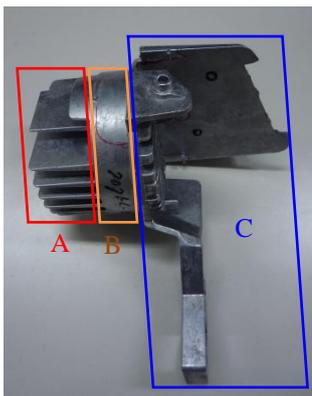


図3 3区画に分けた対象物

### 3.2 ハンドの構成

低コストであることと、ロボットへの装着が容易であることから汎用グリッパを用いる。そして、開閉ストロークやアタッチメント間距離等を考慮し、空圧式平行開閉型の幅広タイプを選定した(表1)。指となるアタッチメントは形状を設計し、3Dプリンタで試作を行う。

表1 本研究で選定したグリッパ

写真	
大きさ(閉時)	(W)156×(L)55×(H)58mm
質量	0.935kg
片側ストローク	40mm
実効把持力(閉時)	45N
アタッチメント間距離	43mm

### 3.3 把持・拘束の原理

物体同士の接触により生じる制約を定式化することで、理論的に物体の拘束を表現する。

4点(A~D)で支持された長方形物体を仮定する(図4)。ここで長方形と支持材は剛体とみなし、接触点における摩擦はなしとする。長方形物体の運動は点Oの速度、角速度で表すことができ、それぞれ  $\vec{v}_O = (v_x, v_y)$ ,  $\omega$  とする。長方形物体は支持材と接触しているため、運動に対して制約を受ける。

点Aの速度を  $\vec{v}_A$ , 支持側への法線ベクトルを  $\vec{n}_A$  とし、点Aに着目する。図5に示すように、点Aは支持材に向かう方向に動くことはできない。点Aが動くことができる方向は、支持材から離れる方向と支持材に沿う方向のみに限られる。つまり、 $\vec{v}_A$ の向きは  $\vec{n}_A$ となす角が90度から270度の方向となる。この制約条件は次の式で表すことができる。

$$\vec{n}_A \cdot \vec{v}_A \leq 0 \quad \dots (1)$$

式(1)は点Aの位置ベクトルを  $\vec{x}_A$ として、次のように展開することができる。

$$\vec{n}_A \cdot \vec{v}_O + (\vec{x}_A \times \vec{n}_A) \cdot \omega \leq 0$$

点B~Dについても同様に制約条件から不等式を立て、4つの連立不等式から  $v_x, v_y, \omega$ の解が求まる。解が  $(v_x, v_y, \omega) = (0, 0, 0)$  のとき、長方形物体は運動ができず、固定されることになる。また、不等式の解が上記解のみに限られるとき、その状態をform closureという。その状態になるためには、接触点の数の他に位置と角度も考慮する必要がある。

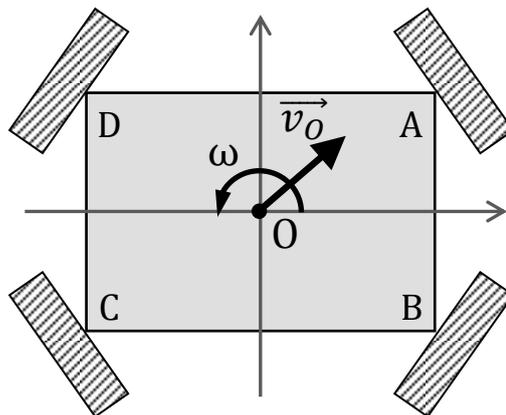


図4 長方形物体の模式図

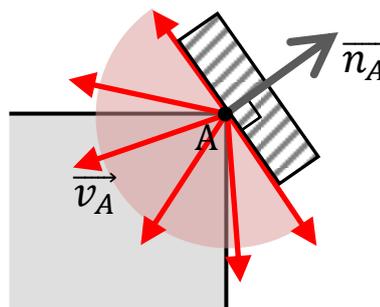


図5 点Aにおける運動の制約

### 3.4 把持計画

対象部品の2区画を把持するためには、2区画両方に対応できるアタッチメントを作るか、区画ごとにアタッチメントを用意する必要がある。本研究では部品の形状から後者を選択した。

部品に仕上げ処理を施すためには、外力に対して部品をより安定して固定する必要がある。そのためには、form closureとなる幾何学的拘束ができることが理想である。この拘束方法には、部品の位置・姿勢が一意に決まるという利点もある。しかし、部品が複雑形状であること、また、グリッパの可動域が直線状であるといった制約から、対象区画を幾何学的に拘束するアタッチメントの形状を創造することは容易ではない。

そこで、まず、対象区画を平面に置き換え、その平面形状を拘束する。その後、その平面形状を 3次元に展開し、追加される自由度を拘束するアタッチメントの形状を構築する。

### 3.5 ロボット指の設計

本研究で設計した 2 種類の指をそれぞれロボット指①、②として以下に結果を示す。

#### 3.5.1 ロボット指①

ロボット指①は区画 B を把持対象とした。区画 B は突起が 2 つあるものの、それを除けば円柱形とみなすことができる (図 6)。XY 平面において、4 つの接触点を設けて X 軸と Y 軸に対する並進運動を拘束した。ここで、摩擦がなかった場合、円形物体の回転運動を拘束することができない。そのため、各接触点にラバーを貼り、摩擦によって回転運動を拘束した。Z 軸方向においては、指の平面形状を区画 B の厚さだけ厚みをもたせた。そのため、最終的にロボット指①は図 7 となり、区画 B に対して 4 本の線接触によって把持することになる。この 4 本の線接触により X 軸と Y 軸回りの回転運動を拘束し、ラバーとの摩擦力により Z 軸方向の並進運動を拘束する。

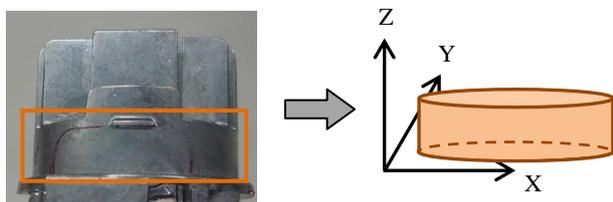


図 6 区画 B の模式図

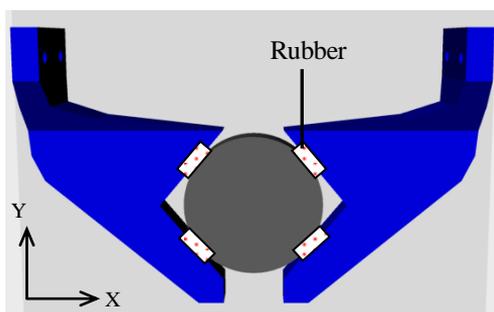


図 7 ロボット指①の設計

#### 3.5.2 ロボット指②

ロボット指②は区画 C を把持対象とした。区画 C は平面と凹凸面から構成される。図 8 に示すように、区画 C を XY 平面に置き換え、平面側に 1 つ、凹凸面側に 8 つの接触点を設けて、XY 平面における並進運動と回転運動を拘束した。Z 軸方向に展開する際、凹凸面側の指は部品の形状に即して平面形状を延長した。平面側は区画 C の下部にある丸穴の淵に接触点を設け (図 9)、計 2 つの接触点で支持する形状とした (図 10)。これにより、X 軸と Y 軸回りの回転運動を拘束することができる。また、Z 軸方向の並進運動に関しては、凹凸面にある凸部によって制限される。

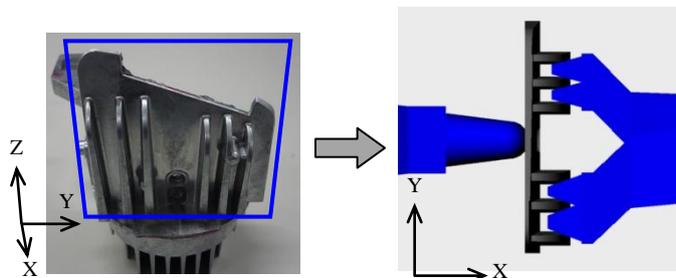


図 8 区画 C の模式図

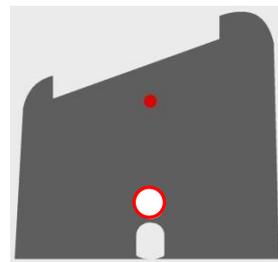


図 9 区画 C における接触点

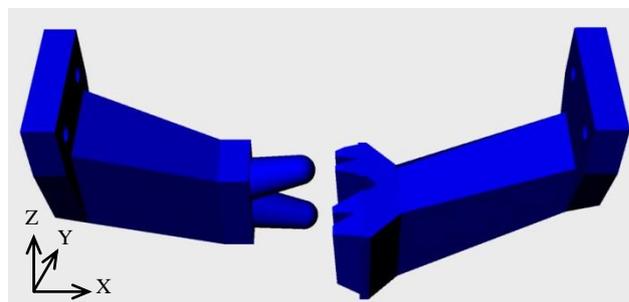


図 10 ロボット指②の設計

### 3.6 双腕ロボットを用いた検証実験

設計した 2 種類のロボット指を 3D プリンタで造形した (図 11, 図 12)。ロボット指①についてはアルミニウムによる造形も行った。そして、双腕ロボットにグリッパとロボット指を装着して把持の実験をした (図 13, 図 14)。その結果、どちらも部品を把持することができた。しかし、安定性に関して、ロボット指②は図 10 の Z 軸回りの回転運動を僅かに許容していた。これは、指と部品の間で想定していた接触が取れていないことを示している。造形誤差などが原因として考えられる。その点、ロボット指①は僅かな造形誤差があっても把持計画にほとんど影響がないため、実用性が高い形状と言える。各ロボット指が仕上げ処理に対応できるものかどうかを定量的に評価する必要があるが、それについては今後の課題とする。



図1-1 造形したロボット指①



図1-2 造形したロボット指②

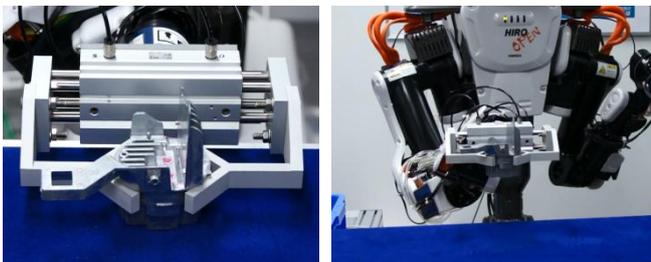


図1-3 ロボット指①を用いた把持実験

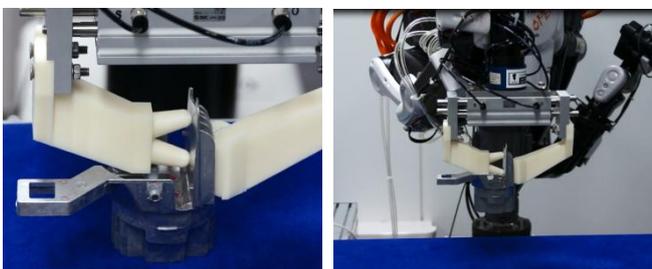


図1-4 ロボット指②を用いた把持実験

#### 4. まとめ

本研究では、複雑形状のダイカスト部品を対象に、幾何学的な拘束原理を考慮してロボット指の設計を行った。2種類のロボット指を試作し、双腕ロボットを用いて把持の実験をした。どちらも部品の把持には成功したが、一方のロボット指には造形誤差により安定性に欠ける部分があった。複雑形状の部品を把持対象にすると、ロボット指の形状も複雑になる可能性がある。その場合、把持計画で想定した支持点で確実に接

触させることが困難となる。実用化に向けては、想定した接触の確実性と、加わる外力に耐えうる安定性が必要になる。

#### 謝辞

本研究は、産業技術総合研究所の平成27年度地域産業活性化人材育成事業により実施されたものである。

#### 参考文献

- 1) F. Reuleaux, "The Kinematics of Machinery", Macmillan, 1876.
- 2) K. "Gopal" Gopalakrishnan and Ken Goldberg, "Gripping Parts at Concave Vertices", IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.1590-1596, vol.2, 2002.
- 3) 土橋, 横小路, 野田, 奥田, "ロボットセルにおける組立作業用汎用ハンドの設計手法", 電子情報通信学会技術研究報告ヒューマン情報処理, vol.108, no.282, pp.177-182, 2008.
- 4) 土橋, 横小路, 野田, 奥田, "準静的押し操作解析に基づく多指ハンドによる把持シミュレーションと対象物体の許容初期誤差範囲の導出", 日本ロボット学会誌, vol.28, no.10, pp.1201-1212, 2010.
- 5) 土橋, 神岡, 深尾, 横小路, 野田, 長野, 永谷, "組立作業のための平行スティック指汎用ハンドによる三次元形状部品の把持の最適化", システム制御情報学会論文誌, vol.28, no.6, pp.258-266, 2015.
- 6) 2-Finger Adaptive Robot Gripper, ROBOTIQ, <http://robotiq.com/products/adaptive-robot-gripper/>
- 7) W. Townsend, "The BarrettHand Grasper-Programmably Flexible Part Handling and Assembly", Industrial Robot: An International Journal, vol.27, no.3, pp.181-188, 2000.
- 8) Shadow Dexterous Hand, Shadow Robot Company, <https://www.shadowrobot.com/products/dexterous-hand/>
- 9) H. Liu, K. Wu, P. Meusel: "Multisensory Five-Finger Dexterous Hand: The DLR/HIT Hand II", IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 3692-3697, 2008.
- 10) T. Mouri, H. Kawasaki, K. Yoshikawa, J. Takagi, and S. Ito, "Anthropomorphic Robot Hand: Gifu Hand III", Proc of International Conference on Control, Automation and System, pp. 1288-1293, 2002.