

協働型双腕ロボットによる複雑形状部品の仕上げ加工に関する試験研究事業

石川 卓* 若生 進一*

1. はじめに

茨城県には自動車部品を製造する企業が多く、それに関連し、ダイカスト部品を扱う企業も多い。ダイカスト部品は、寸法精度や機械的強度、生産性が高く、複雑な形状にも対応できる特徴がある。そのため、ダイカスト部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、金型鑄造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。

一方で、製造現場へのロボット導入は進んできており、ロボットの作業幅も広がっている。近年は労働安全衛生規則の一部改正により、規定を満たすことで安全柵なしでロボットを設置できるようになった(以下、「協働型ロボット」と表記)。協働型ロボットの利点として、少ないスペースに設置でき、人とロボットが作業領域を共有して作業できることが挙げられる。仕上げ工程の自動化については、ロボットを用いた試みも行われている。しかし、現状の方法では複雑形状で複数面にバリのある部品に対しての展開が難しい。双腕ロボットを用いることで部品と工具の各々の自由度が増え、複雑形状部品に対しても柔軟に対応できる可能性がある。

2. 目的

本研究では、複雑形状部品を対象に、協働型双腕ロボットによる安定的な部品の把持方法及びバリの検出方法の検討と仕上げ処理にかかる力の特性評価を行い、協働型ロボットによる複雑形状部品の仕上げ加工方法の確立及びシステムの構築を図る。その中で今回は、安定的な部品の把持方法の検討と仕上げ処理にかかる力の特性評価、カメラによるバリ位置検出についての研究経過を報告する。

3. 研究内容

3.1 対象部品とバリ

本研究で対象にしたダイカスト部品を図1に示す。材質はアルミニウム合金であり、サイズはおおよそ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。表面仕上げを施す箇所を図1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。そのため、対象とするバリを選定しなければならない。

ダイカスト部品は鑄造後に金型から取り外す際に、エジェクタピンで押し出す工程がある。そのため、ダイカスト部品には必ずそのピンの跡が円形状のバリとして生じる。ある面には5箇所、別の面には4箇所にピン跡のバリが生じている。このバリの特徴として、

部品の両面に生じることが挙げられる。バリの大きさとしては、直径が3～5mmで、高さは1mm以下のものが多い。本研究ではこの円形状のバ리를対象とする。

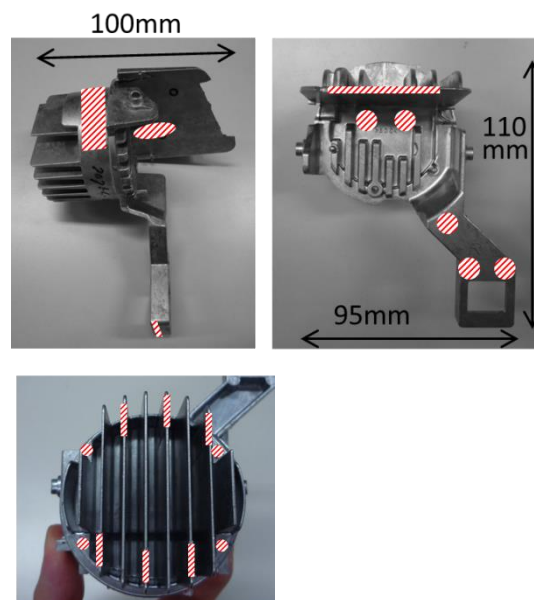


図1 研究対象のダイカスト部品

3.2 安定的な把持方法の検討

3.2.1 物体把持に関する先行研究

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フォームクローージャ (form closure) が提案され¹⁾、広く研究に用いられている。

Gopalakrishnan ら²⁾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フォームクローージャを形成する‘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^{3~5)}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^{6~10)}。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、器用な動作を実現できるがために、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。

3.2.2 ロボット指の設計

ロボットのハンドは、低コストであることから汎用グリップを用いることとする。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。指となるアタッチメントは形状を設計し、3Dプリンタで試作した。なお、設計手順については既報¹¹⁾に準じて行った。最終的なロボット指は図2となった。

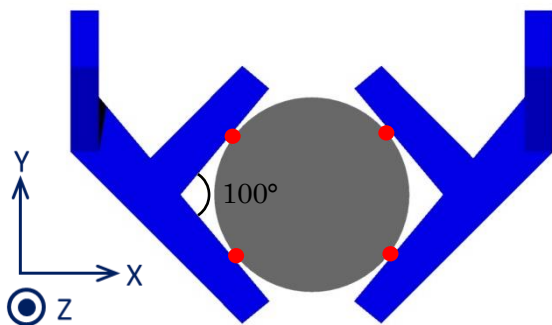


図2 ロボット指の設計図

3.2.3 ロボットを用いた把持実験

3Dプリンタで試作したロボット指を汎用グリップに取り付け、ワーク把持用ハンドとした。そのハンドをロボットに取り付け、実際に対象部品を把持する実験を行った（図3）。実験に用いたロボットはカワダロボティクス製の協働型双腕ロボットNEXTAGEである。実験により、ロボットが対象部品を把持できることを確認した。対象部品がハンドの中央にない場合でも、部品とハンドの水平度が同等であれば、グリップを閉じると部品が中央部に移動して図2のように4点接触で固定された。

把持の際に部品が移動することは、把持前の部品位置をバリ取り作業時に利用できないことを表す。そのため、バリ取り作業の際にはカメラ等でバリ位置を確認する必要がある。

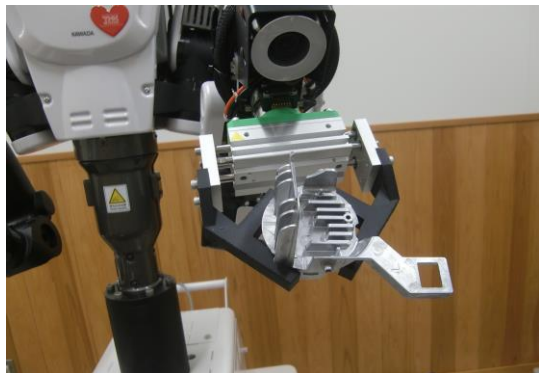


図3 ロボットによる把持実験

3.3 仕上げ処理にかかる力の定量的評価

3.3.1 力覚評価システムの構成

協働型ロボットに仕上げ処理をさせるには、対象部品の仕上げ処理にどのような力がどのくらいかかるか、力の定量的特性を把握しておく必要があるため、力覚評価を行うシステムを用意した。力覚評価システムは、6軸（X/Y/Z軸方向の力と各軸回りのモーメント）の力が測定可能な多分力計、6軸の力を同時に計測するデータレコーダ、仕上げ処理の様子を映像として記録するビジュアルレコーダとカメラから構成される。バリの特徴と仕上げ処理の力を対応させて評価するために、データレコーダとビジュアルレコーダは同期して記録する。

多分力計とグリップは直接固定することが困難だったため、多分力計用とグリップ用のプレートを製作した（図4）。そのため、多分力計とワークとの間には、アタッチメント、グリップ、2枚のプレートが介在する。

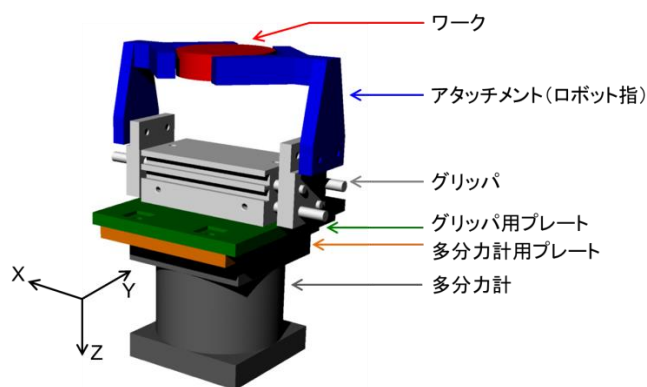


図4 多分力計とグリップの固定

仕上げ処理の工具として、先端に表面用エンド型のブラシを付けたマイクログラインダーを用いた。一定方向から部品に工具を当てられるように、グラインダーは専用スタンドに固定した（図5）。このスタンドに設置されたグラインダーは、手動で鉛直方向（図4の+Z方向）に動かすことができる。



図5 工具の固定

3.3.2 力覚評価システムを用いた定量的評価

対象のバリを表面仕上げした際の結果を記述する。使用したブラシは推奨回転速度（7000回/min）で回転させ、対象のバリを研磨した。この仕上げ処理を施したときに多分力計にかかった力（F）とモーメント（M）を図6と図7に示す。なお、この図の座標系は図4と同じである。グラインダーを+Z方向に動かしたため、+Z方向に最も力がかかっている。Fzの時間変化は、工

具が部品に接触する瞬間に大きい力がかかる傾向が観察できる。その後、工具の高さを一定にしておくことで F_z もほぼ一定の力がかかっていた。 F_z の最大値は 5.02N であった。それに比べて F_x と F_y は小さいものの、回転工具を使用したため、どちらも最大 2N ほどの力がかかった。

0.2 秒間を拡大すると、振動の様子がわかる。1 波長の時間は 0.008~0.01 秒ほどであり、グラインダーの回転周期と同等であることが確認できた。

Z 方向の力が卓越していたため、モーメントについては M_z より M_x と M_y の方が変化量が大きかった。この実験では XY 平面における第一象限で +Z 方向に負荷をかけたため、 M_x が正、 M_y が負の値となった。 M_x と M_y の絶対値はほぼ同じ値で推移しており、絶対値の最大はどちらも 0.37Nm であった。

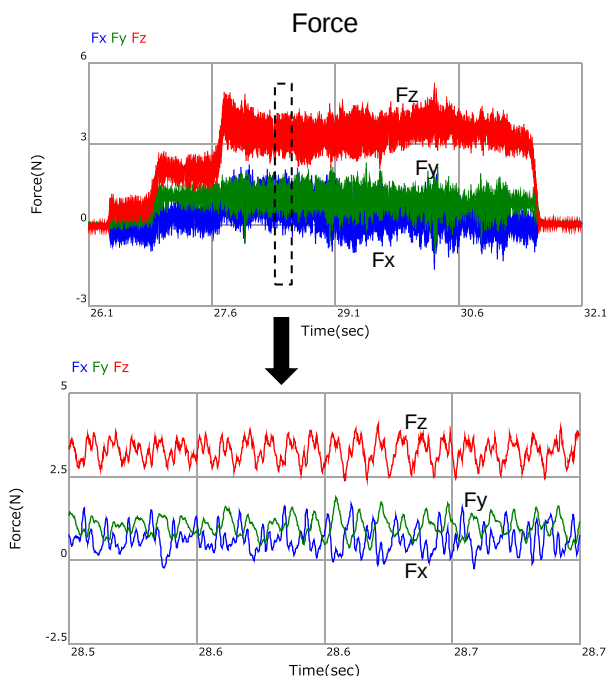


図 6 多分力計で計測された力

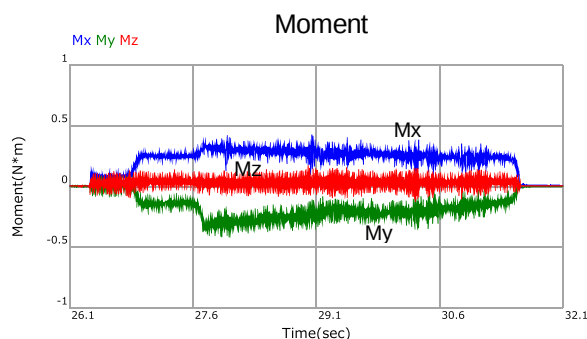


図 7 多分力計で計測されたモーメント

3.3.3 バリ取り用ハンドの構築に向けて

バリは大きさや形が一様ではないため、産業用ロボットを用いたバリ取りシステムには力覚センサやコンプライアンス機構をアームに取り付けることが多い。力覚センサを用いる場合、負荷に応じたハンドの位置

制御ができる。コンプライアンス機構を用いる場合は、高さ方向の変化を機械的に吸収することができる。そのため、大きな力をつけることは難しいが、ロボット本体への過負荷防止の役目も果たす。本研究の対象となるバリは微細であるが、協働型ロボットの可搬重量が小さいこと（片腕 1.5kg）を考慮し、応答性の高いコンプライアンス機構を優先的に取り入れることとした。また、力覚評価の実験で測定されたように、回転工具を用いる場合、ロボット本体にもその振動が伝わることになる。振動の負荷を軽減するため、防振材を組み込むことを検討している。コンプライアンス機構と防振材を取り入れたバリ取り用ハンドが図 8 である。ただ、防振材は柔らかい素材でできているため、今後、ハンドの安定性を検証する必要がある。



図 8 開発中のバリ取り用ハンド

3.4 カメラによるバリ位置検出

3.4.1 実験環境

協働型ロボットが仕上げ処理を施すためには、バリの位置を把握する必要がある。そこで、カメラを用いてバリを検出する実験を行った。カメラ（約 47 万画素）、レンズ、照明、コントローラを用いて、図 9 のように実験環境を整えた。対象物が金属であり、バリの大きさが微細であることから、1 方向からの光の照射でバリを検出することは困難であるため、8 分割されたリング照明を使用した。これにより、カメラ下に部品を固定した状態で、8 方向から光を照射した画像を取得することができる。

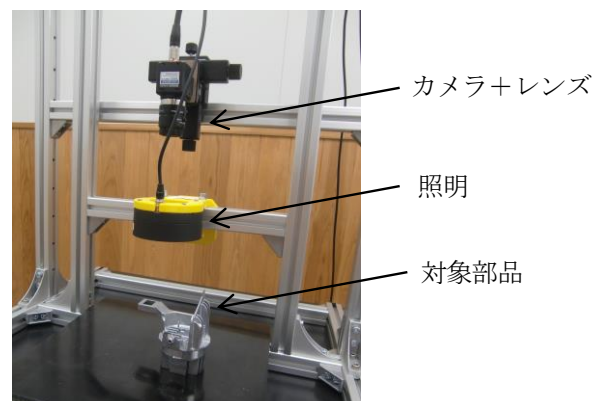


図 9 バリ位置検出のための実験環境

3.4.2 実験結果

対象部品のバリをカメラで撮影し、円形状のバリの検出を試みた。その結果、円形状にバリが生じているものに対してはその円を捉えることができた。しかし、バリがほとんど生じていない、つまりバリの高さが低いものに対しては画像でバリを検出することができなかった。

バリの程度は個体差があるため、バリの大きさに関わらずバリ位置を検出する必要がある。そこで、部品の特徴を目印にバリ位置を特定することを試みた。対象部品のバリの面には必ず「R」か「L」の印字がある。この文字の位置と傾きを特定することでバリの位置を求めることができる。同じ環境で実験を行ったところ、印字の位置と傾きを検出することができた（図10）。この情報をロボットと共有することで、ロボットはバリ位置を認識することができる。

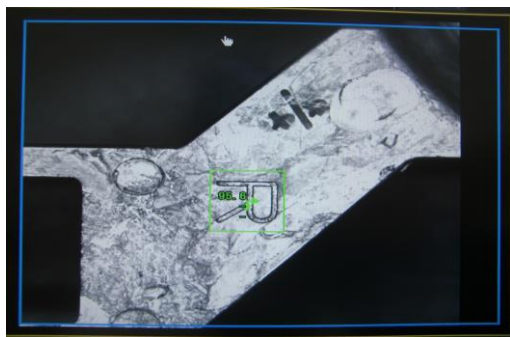


図10 バリ面の印字検出

4. まとめ

協働型ロボットによる複雑形状部品の仕上げ加工方法の確立及びシステムの構築に向けて、安定的な部品の把持方法の検討と仕上げ処理にかかる力の特性評価、カメラによるバリ位置検出の実験を行った。

- ・複雑形状部品を対象にロボット指の試作をした。フォームクロージャの拘束原理に基づいて安定的な把持方法を検討し、設計に反映させた。その際、まず、対象区画を平面に置き換え、その平面形状を2次元的に拘束し、その後で平面形状を3次元に展開して接触点の位置を検討した。
- ・協働型ロボットの適用可能性を評価するため、力覚評価システムを使って仕上げ処理にかかる力とモーメントを計測した。これまでの実験での最大負荷は5Nほどであった。回転工具を用いる場合、ロボット本体にもその振動が伝わることになるため、防振材を組み込んだバリ取り用ハンドを開発中である。
- ・カメラを使ってバリ位置の検出を試みた。バリの箇所を画像認識することはできなかったが、バリの面の特徴を利用してバリ位置を検出することが可能であることがわかった。

5. 今後の課題

- ・バリ取り用ハンドの構築と安定性の評価
- ・カメラとロボットの位置座標の共有
- ・最終的なロボットシステムの構築

6. 参考文献等

- 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.
- 11) 石川, 若生, 茨城県産業技術イノベーションセンター研究報告書第46号, P5~8 (2018)