

協働ロボットと AI による作業連動システムの開発（第2報）

渡辺博己*、坂東直行*、安倍貴大*

Development of cooperation system using collaborative robots with artificial intelligence (II)

WATANABE Hiroki*, BANDO Naoyuki* and ABE Takahiro*

本研究では、DXの推進によるものづくりの高度化を実現するために、協働ロボットとAI技術を組み合わせることで、人の作業状況に合わせてロボットが動作する作業連動システムの技術開発に取り組んでいる。今年度は、作業者がベルトコンベア上の部品取得位置から部品をピックアップすることで、ベルトコンベアが次の部品の搬送動作を開始すると同時に、搬送動作によりベルトコンベア上の部品配置位置に空きが生じることで、ロボットが次の部品のピッキング動作を開始し、ベルトコンベア上に部品を供給する作業連動搬送システムを試作した。

1 はじめに

AI（人工知能）やIoTを含むデジタル技術の進展により、様々な業界でDX（デジタル変革）の実現に向けた取り組みが行われている。こうした中、ものづくりの現場でも、新たなビジネスモデルの創出や競争優位性の確立を目指し、製造プロセスの自動化や生産システムの連携、製品データの高度な分析等が求められている。

生産工程の自動化技術においては、従来の産業用ロボットに加えて、人間と同じ空間で作業可能な協働ロボットにも注目が集まっている。安全性や柔軟性に優れた協働ロボットの活用により、単純な繰り返し作業だけでなく、人の動きや生産ラインの変化に合わせた複雑な作業の自動化技術の開発が期待されている。

そこで、本研究では、協働ロボットとAI技術を組み合わせることで、人の作業状況に合わせてロボットが動作する作業連動システムの技術開発に取り組んでいる。本稿では、組立作業を想定し、作業者が部品をピックアップする動作に合わせて、ロボットがベルトコンベアを介して次の部品を供給する作業連動搬送システムを試作したので、その内容について報告する。

2 作業連動搬送システムの試作

2.1 システムの概要

試作したシステムの外観を図1に示す。作業エリアと部品エリアの上部には、二つのカメラ（RealSense D455、D435）をセンシングデバイスとして設置している。作業エリア上部のD455カメラでは、作業者の手や部品、部品エリア上部のD435カメラでは、部品の検出処理のためのカラー画像を取得する。また、部品供給用のロボットには、吸着グリッパを装着した4軸の小型ロボットアーム（DOBOT Magician）を使用し、ピッキングした部品をベルトコンベア（DOBOT Magician Conveyor Belt）に載せて作業者に部品を供給する。なお、D435カメラ

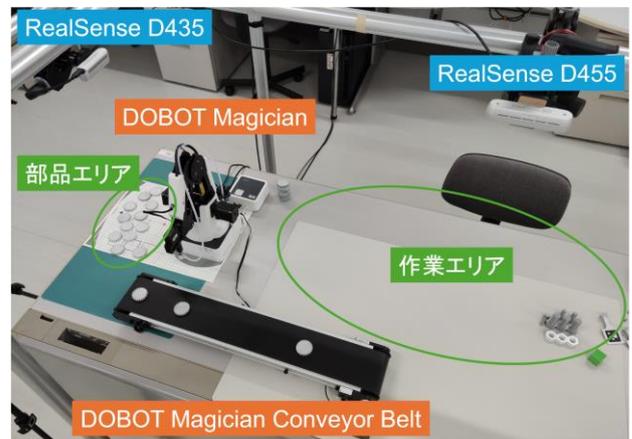


図1 試作システムの外観

とロボットの位置関係については、事前にキャリブレーションを行っている。

システムの動作フローを図2に示す。まず、作業検出領域、ロボット稼働領域、および三つの部品検出領域を設定し、カメラ画像を取得する。次に、図3に示すように、手や部品の検出処理を行い、「作業検出領域で手が検出され、かつ部品検出領域①で部品が検出されない」場合は、ベルトコンベア制御処理を、「ロボット稼働領域で手が検出されず、かつ部品検出領域②で部品が検出されない」場合は、ロボット制御処理を並列して実行する。ここで、図3(a)、(b)はD455カメラから取得した同一時刻の画像であり、(a)は手検出処理画像、(b)は部品検出処理画像である。また、(c)はシステム全体の動作確認のために設置したカメラから取得した画像であり、(d)はD435カメラから取得した部品検出処理画像である。最後に、図3(d)の「部品検出領域③で部品が検出されない」場合は、各処理の終了処理を行い、システムを停止する。なお、図中の部品検出領域①には、作業者が部品をピックアップする部品取得位置を、部品検出領域②には、ロボットがピッキングした部品をブレースする部品

* 情報技術部

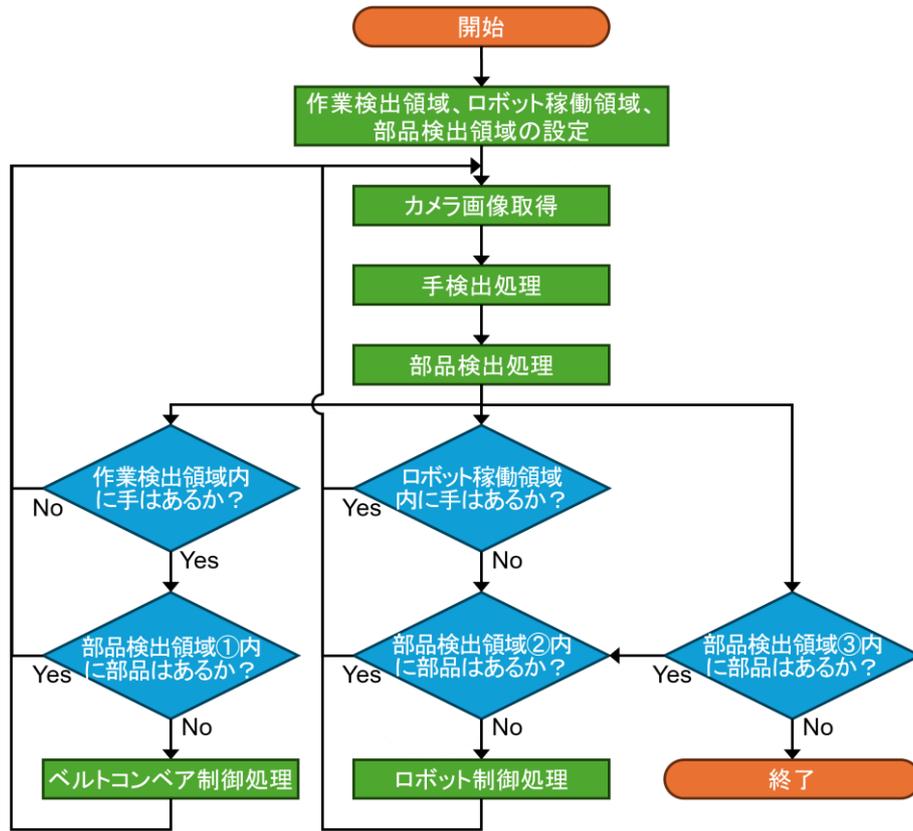


図2 試作システムの動作フロー

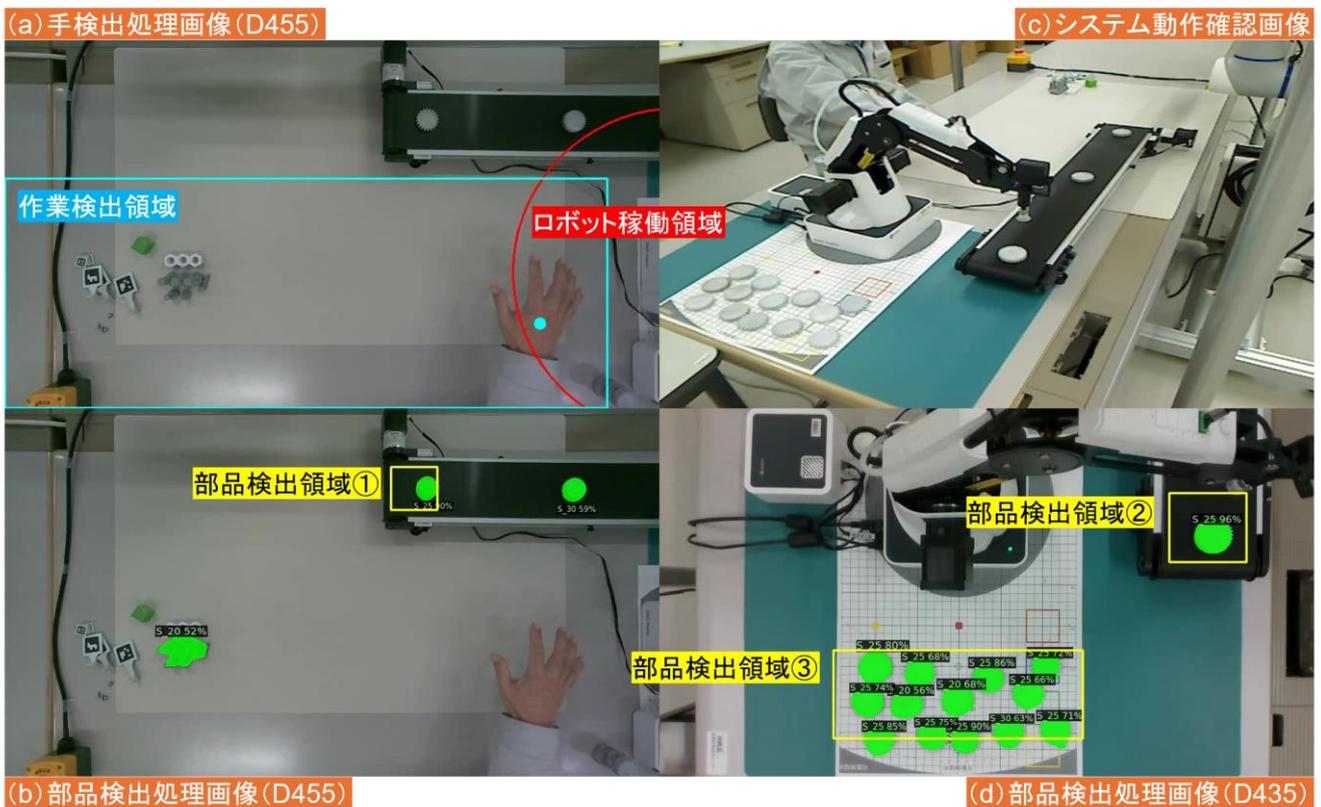


図3 手、及び部品の検出処理画像例

配置位置を含んでいる。

2.2 手検出処理

作業者の作業状況を把握するために、取得画像から手を検出し、作業中の手位置を推定する。本稿では、図3(b)の部品検出領域①から部品を取り、机上に並べる作業を想定しているため、作業検出領域内に手が存在すれば作業中であると判定する。

手検出処理は、MediaPipe Hands¹⁾を使用し、図3(a)の水色の点で示すとおり、手位置を推定する。MediaPipe Handsは、21個ある手指の各関節(図4)の3次元座標を推定することが可能で、本稿では、手首(0)、及び各中手指節間関節(2、5、9、13、17)の6点の2次元座標の重心を手位置として算出する。なお、MediaPipe Handsは、最大二つの手を同時に検出できるが、本稿では、左右の手の区別は行っていない。

2.3 部品検出処理

作業者の作業状況に応じて部品を供給するために、取得画像から部品を検出し、部品位置を推定する。本稿では、部品位置が三つの部品検出領域内に存在するかどうかを判定することにより、ベルトコンベアやロボットを制御する。

部品検出処理では、昨年度生成したセグメンテーションモデル³⁾により、部品位置を推定する。推定可能な部品は、図5に示すような歯車形状の部品で、歯数が20、25、30歯の3種類と、直径が30、35、40mmの3種類を組み合わせた9種類である。なお、セグメンテーションモデルは、Mask R-CNN⁴⁾を使用し、図5に示す手順で生成した画像(1080×1080pixel、300枚)を用いて学習したモデルである。また、特徴抽出器となるCNN(Convolutional Neural Network)モデルには、ImageNetデータセット⁵⁾で事前学習済みのResNet50⁶⁾を使用している。

昨年度は、歯車形状部品9種類の何れであるのかも推定していたが、本稿では種類に関係なく、一つの部品として検出する。図3(b)、(d)の緑色の領域が検出結果であり、領域の重心位置が部品位置である。なお、図3(b)には過検出した結果も含まれるが、部品検出領域で検出された部品のみを使用するため、試作システムの動作上は問題とならない。

2.4 ベルトコンベア制御処理

ベルトコンベアは、部品が部品検出領域①で検出されるまで搬送動作を継続する。ただし、搬送動作は、作業検出領域内で手が出検された場合のみ実行し、手を出検できなかった場合は、動作を停止する。

また、部品検出領域①で部品が検出されると、ベルトコンベアは搬送動作を停止し、作業者が部品をピックアップするまで停止状態を維持する。

2.5 ロボット制御処理

部品検出領域②で部品が検出されなかった場合、ロボットは、部品検出領域③にある部品のピックアップ動作を

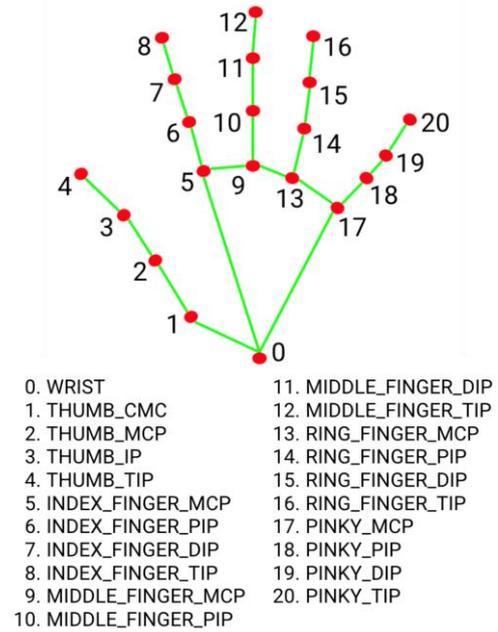


図4 MediaPipe Hands が対象とする手指の各関節²⁾

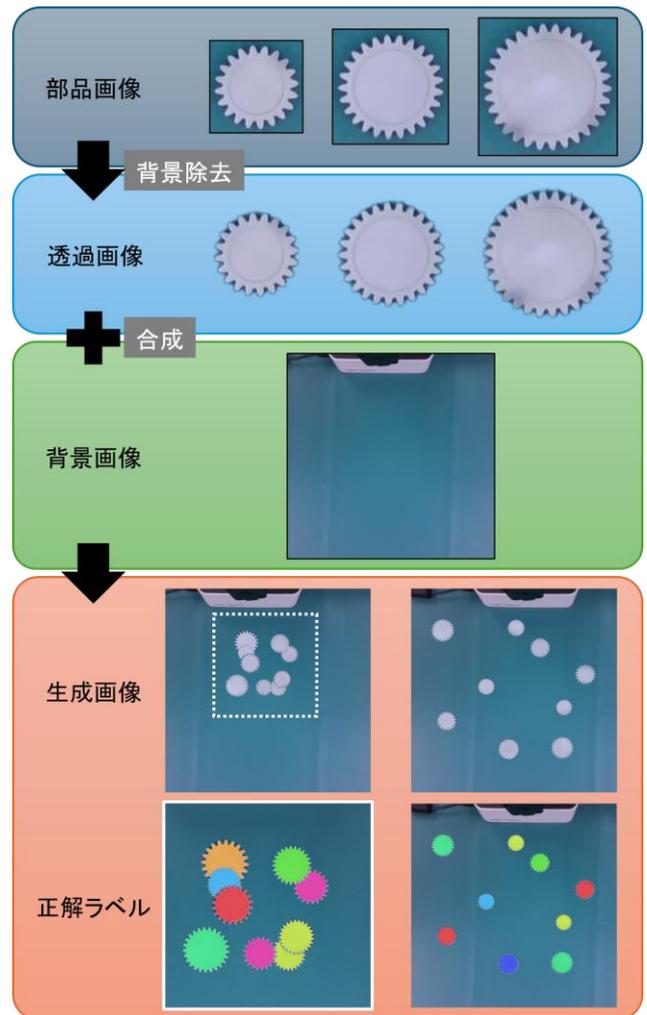


図5 学習用画像の生成手順³⁾

開始する。ただし、ピッキング動作中に、ロボット稼働領域で手が検出された場合は、ピッキング動作を停止して、次の命令前で待機する。

ピッキング動作では、ロボットのツール先端は、開始点から部品位置上空、部品位置、部品位置上空、部品配置位置上空、部品配置位置、部品配置位置上空の順に移動し、開始点に戻る。なお、ロボットは、精密な位置制御、および動作の効率性を重視して、ある点から別の点へ直接移動する PTP (Point-to-Point) モードで動作命令を実行する。しかしながら、部品検出領域③で検出された部品の位置によっては、開始点から部品位置までの経路を直線で移動すると、図6に示すようにロボットの可動域外を通過する経路(赤色点線)となるため、動作命令エラーが発生する。そこで、本稿では、図6に示すとおり、ロボット位置を原点とし、開始点までの距離を半径とする円周上に中継点(円周上の中点)を設定することで、開始点から中継点、中継点から部品位置までを経路(赤色実線)として生成し、移動命令を実行する。また、部品位置から部品配置位置に移動する際にも、同一の中継点を経由する。

部品検出領域③で複数の部品が検出された場合は、部品位置の座標値が小さいものから順にピッキング対象として動作命令を実行する。また、部品検出領域②で部品が検出されなければ、部品検出領域③で部品が検出されなくなるまでピッキング動作を繰り返す。

3 まとめ

本研究では、作業者が部品をピックアップする動作に合わせて、ロボットがベルトコンベアを介して次の部品を供給する作業連動搬送システムを試作した。具体的には、作業環境に設置したカメラにより手や部品の位置を推定し、作業者のピックアップ動作の完了を検出することにより、ベルトコンベアによる搬送処理、ロボットによるピックアンドブレース処理を制御するシステムを開発した。なお、ピックアップ動作の完了については、部品検出領域①から部品を取り除いた時とした。

システムの動作確認を行ったところ、ピックアップ動作の完了に合わせて、ベルトコンベアが搬送動作を開始することを確認した。また、搬送動作の開始により部品検出領域②で部品が検出されなくなると、ロボットが次の部品のピッキング動作を開始し、部品配置位置に部品を供給することが可能であることも確認した。これらのことから、作業者とロボットが連動して作業を進めることが可能となり、生産プロセス全体の効率化や改善に貢献することが期待できる。

今後は、複数の異なる種類の部品に対応可能な作業連動搬送システムの開発を検討する。そのために必要と考えられる技術としては、部品の位置姿勢推定技術やロボットハンドによるグリッピング技術等が挙げられる。位置姿勢推定技術として、昨年度は 2D-3D マッチングモ

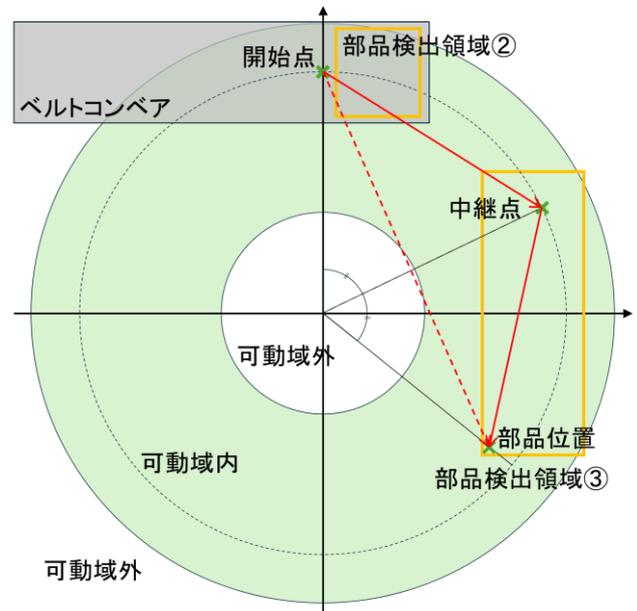


図6 移動経路の生成例

デルである OnePose⁷⁸⁾について検討したが、OnePose による位置姿勢推定では、モデル自体の学習を行わずに推論処理を実行できる利点がある一方で、SfM (Structure from Motion) での密な点群の構築や、位置姿勢推定前のワーク位置の切り出しが課題となることが判明したため³⁾、再度、位置姿勢推定方法について検討する予定である。また、ロボットハンドによるグリッピング技術については、部品の形状や素材に応じて適切なグリッピング方法を選択する必要があるため、まずは部品の形状や素材について検討する予定である。さらには、部品の傷つけや落下防止のための力覚センサによるフィードバック制御や、センサの誤差やロボットの不確実性を補正するためのオフセット補正等、重要と考えられる技術は多くあるが、必要に応じてこれらの技術についても検討する予定である。

【参考文献】

- 1) F. Zhang, et al., arXiv: 2006.10214, 2020
- 2) MediaPipe, “Hand landmarks detection guide”, Google for Developers, 2023/11/03, https://developers.google.com/mediapipe/solutions/vision/hand_landmarker, (参照 2024/02/22)
- 3) 生駒ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.4, pp81-84, 2023
- 4) K. He, et al., arXiv: 1703.06870, 2017
- 5) J. Deng, et al., Proc. of CVPR, pp248-255, 2009
- 6) K. He, et al., arXiv: 1512.03385, 2015
- 7) J. Sun, et al., arXiv: 2205.12257, 2022
- 8) X. He, et al., arXiv: 2301.07673, 2023