

デジタルマニュファクチャリング支援のための ロボットソリューション開発

Robot Solution Development for Digital Manufacturing Support

吉崎好彦*
Yoshihiko YOSHIZAKI

村上勇介**
Yusuke MURAKAMI

伊藤隆行*
Takayuki ITO

田所明典**
Akinori TADOKORO

菅井駿*
Shun SUGAI

要旨

近年、製品開発や製造現場の様々なデータを収集、分析し、生産効率や製造品質の向上につなげるDM (Digital Manufacturing) への取り組みが盛んである。

一方、昨今の労働力不足により、製造現場でのロボットによる自動化の需要は年々高まりを見せているが、現場課題分析・必要デバイス選定などを含めた高度なシステム構築力が必要となるため導入障壁は依然として高い。

コニカミノルタにおいても、これまでコア技術をベースとしたプロダクトとICT (Information and Communication Technology) の融合による、DM支援IoT/AIソリューションを提案しているが、我々はその一つとしてバラ積みピック&ロール&プレースロボットを制御対象とした開発に取り組んだ。

その中で我々は、ワーク姿勢を変更するロール機能にはセッティング時間短縮や専用治具廃止のメリットがある、ロボット統合コントローラーが、他設備と連携するフレームワークを提供する、などのポイントを見出した。この延長上で、設備導入時や工程変更時のセッティングの手間を低減でき、ロボット導入の障壁が下げられることを示した。

こうした活動により、ユーザーは製造現場での煩雑な作業から解放され、工程改善などの付加価値業務にシフトすることが可能となる。工程・ワーク変更でのロボットへの動作教示に強化学習などのAI活用が進めば、さらに導入の障壁を下げるができる。

Abstract

In recent years, DM (Digital Manufacturing) is getting popular, which is improvement of production efficiency and manufacturing quality through collection and analysis of various data for product development and manufacturing sites.

On the other hand, due to the recent labor shortage, the demand for automation by robots at manufacturing sites is increasing year by year. However, due to the need for advanced system development capabilities including analysis of issues at manufacturing sites and selection of necessary devices, the entry barriers is still high.

Konica Minolta has also proposed DM-supported IoT / AI solutions by fusing products based on core technology and ICT (Information and Communication Technology). As an example of this, we have also worked to develop the control of bulk pick and roll and place robots.

Of these solutions, we found that a rolling function that changes the workpiece posture has the merits of shortening the setting-up time and making a dedicated jig unnecessary. Also, the robot integrated controller provides a framework that works together with other equipment. It shows that this extension of functionality can reduce the time and effort required for setting-up when installing equipment or changing processes, lowering the entry barriers for robot.

Through these accomplishments, users can be freed from complicated work at the manufacturing site and can shift to value-added work such as process improvement. If AI utilization is increased, e.g. for reinforcement learning to teach movements to robots when changing processes and work, the entry barriers can be further lowered.

* 情報機器開発本部 デバイス制御開発センター 第2デバイス制御開発部
** 情報機器開発本部 オプトメカトロサービス開発部

1 はじめに

今日、世界はVUCA (Volatility/Uncertainty/Complexity/Ambiguity)の頭文字からなる造語)の時代と呼ばれ、製造業を取り巻く環境も未来予測が困難なほど急激に変化し、不確実性が高まっている。このような不確実性の高い世界では、企業変革力(ダイナミック・ケイパビリティ)の強化が重要とされる。企業変革力とは、環境の変化を感知し、その変化に対応すべく組織内外の経営資源を再構成し、組織全体を変容する能力のことである。この能力強化にはDX (Digital Transformation)の推進が欠かせないものとされている¹⁾。

近年、製造業においても大規模製造業を中心に、製造工程からさまざまなデータを収集、分析し、生産効率や製造品質の向上につながるDMへの取り組みが盛んになっている。また、これに関連して世界の産業用ロボット販売台数も、ここ5年間で2倍になるなど急激に増加している²⁾。昨今の深刻な労働力不足、コロナ禍における非接触への要請、ワークスタイル変革などの社会環境変化に伴い、ロボットによる自動化の潮流は、今後もますます加速していくものと考えられる。

しかしながら、ロボットの導入においては、現場課題を分析し、さまざまなロボットから必要なものを選定し、現場に適したロボットシステムを構築しなければならない。通常、これには、ロボットSler (Systems Integrator)と呼ばれる高度な専門性を有した技術者のサポートが必要で、中小規模製造業におけるロボット導入の大きな障壁となっている。

一方、コニカミノルタでは、長年、オフィス・プロダクションプリント分野において多くのプリンタエンジンを開発し、販売している。プリンタエンジンは、印刷における用紙の給紙・搬送、電子写真プロセスによる作像・定着などを担うメカ機構部のことである。このプリンタエンジン開発には、数千点ものメカ部品を統合して製品構造に具現化するメカ設計技術、電子デバイス群を高精度かつハードリアルタイムに制御するエレキハード設計技術が必要になる。これら技術はメカトロニクス技術の集合体といえるもので、ロボット開発との親和性は極めて高い。

このような背景のもと、コニカミノルタではメカトロニクス技術を立脚点に、前述の社会課題の解決に貢献できるものと考えている。そこで、自動機と自動機の間をつなぐ手作業を代替するバラ積みピック&ロール&プレースロボットを制御対象とし、誰もが簡単にロボットを導入し、設備稼働率を上げることができるロボット統合コントローラーを開発した。具体的には、バラ積みピック&ロール&プレースロボットにおいて、ワーク姿勢を変更するロール機能を有したハンド、設備毎のコントローラーを1つに統合して制御するロボット統合コントローラーを開発し、設備導入初期や工程、ワーク変更時のセッティングの手間を低減できるようにした。また、

ロボットの内部データをリアルタイムに収集し、稼働状況を見える化する仕組みを構築し、ロボットの稼働ボトルネック分析やメンテナンス時期判断などを正確におこなえるようにした。

以下、2章ではバラ積みピック&ロール&プレースロボットのプロトタイプについて説明する。3章ではこのロボットのソフトウェアアーキテクチャと採用技術を示す。4章ではさらなる進化に向けた最新の取り組み内容について概略を説明する。最後に、5章で今後の展望を述べ、本稿をまとめる。

2 バラ積みピック&ロール&プレースロボット

一般に、ピック&プレースロボットは、特定の位置にあるワークをピックし、所定の位置へ運び、その位置にワークをプレースするという一連の作業をおこなうロボットである。製造分野を中心に、食品や医療など様々な分野で広く利用されている。このロボットの主要な構成要素として以下の4つが挙げられる。

- 1) ワークの位置を認識する「ビジョン」
- 2) ワークをピックし、プレースする「ハンド」
- 3) ピック及びプレース位置へハンドを移動させる「アーム」
- 4) ビジョン、ハンド、アームを統合制御する「ロボット統合コントローラー」

今回、コニカミノルタでは、上記のうちのビジョン、ハンド、ロボット統合コントローラーの技術開発をおこない、Photo 1に示すようなプロトタイプを構築した。

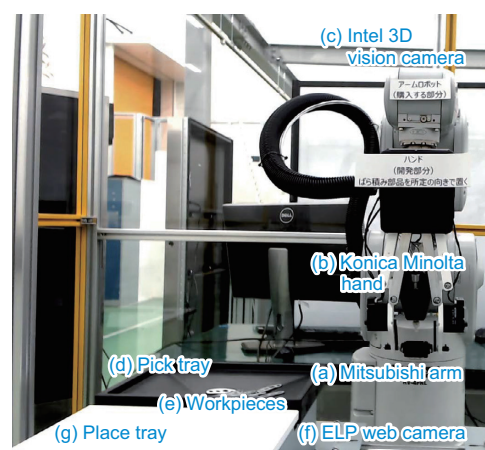


Photo 1 Bulk pick and roll and place robot prototype system

このロボットは、バラ積み状態のワークをピックし、ハンド内でワークをロールしてプレースに適した姿勢に変更することができる。本稿では、この特徴を踏まえ、バラ積みピック&ロール&プレースロボットと称する。このワーク姿勢を変更するロール機能には、以下のメリットがあると考えられる。

- 1) ワーク変更が、後述するハンド内のアタッチメント交換だけでよく、ワーク変更での工程変更箇所を局所化できることからセッティングに要する時間を大幅に短縮することができる。
- 2) ハンド内でワーク姿勢を変更できるので、これまで工程間でワーク姿勢を変えるために設置されていた専用治具を廃止することができる。

このロボットのシステム構成を Photo 1 を用いて説明する。まず、アームには産業用の三菱製アーム(a)を採用し、その先に後述する新開発のロール機能付きハンド(b)を接続している。そして、アーム上方にインテル製3Dビジョンカメラ(c)を設置し、アーム斜め前方のピクトレイ(d)にバラ積みされたワーク(e)の位置を認識するのに使用する。また、アーム下方には、ピック後のワーク姿勢を認識するため、ELP製ウェブカメラ(f)を上向き撮像方向に設置している。最後に、所望の位置、姿勢でワークをプレースするためのトレイ(g)をピクトレイ前方に配置している。

2.1 ロール機能付きハンド

ロール機能付きハンドは、Fig. 1 に示すようにピック機構とロール機構の2つの主要部で構成されている。

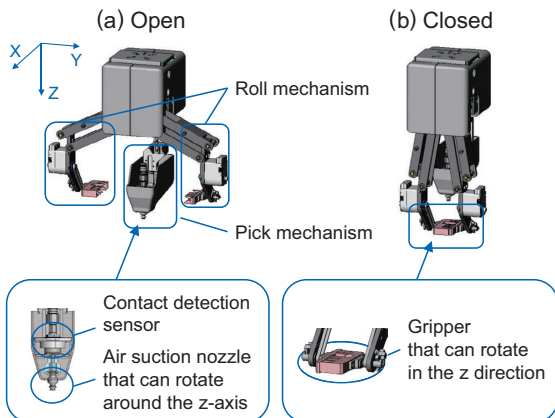


Fig. 1 Hand with rolling function.

The rolling mechanism can be controlled and switched between two states, open (a) and closed (b). After the workpiece is air-sucked by the picking mechanism, the rolling mechanism is closed, the workpiece is gripped from the left and right, and the workpiece is rotated together with the gripper. This achieves a change in posture.

ピック機構はハンド中央部にある棒状の機構で、Z軸方向に伸縮、Z軸周りに回転することができる。また、この機構は接触検知センサを内在し、機構をZ軸方向に伸ばした時に、センサがZ軸方向に変位することでワークとの接触を検知できる。ワークとの接触を検知した後、機構先端のエアーノズルでワークをエアー吸着／解除してピックとプレースを実現している。ワークのピックとプレースが正しくできたかは、エアー吸着時の真空圧を検知して判断する。

ロール機構はピック機構を左右から挟み込む機構で、オープン (Fig. 1(a)) とクローズ (Fig. 1(b)) の2状態に制御切り替えできる。また、先端にはグリッパーを備え、このグリッパーはY軸周りに回転することができる。ピック機構でワークをエアー吸着した後、ロール機構をクローズしてワークをグリッパー内に取め、グリッパーごと回転することでワークの姿勢変更を実現している。なお、グリッパーのアタッチメントはワーク形状に応じて交換することができる。

2.2 ピック&ロール&プレース動作フロー

バラ積みピック&ロール&プレースロボット (Photo 1) の動作フローを Fig. 2 に示す。

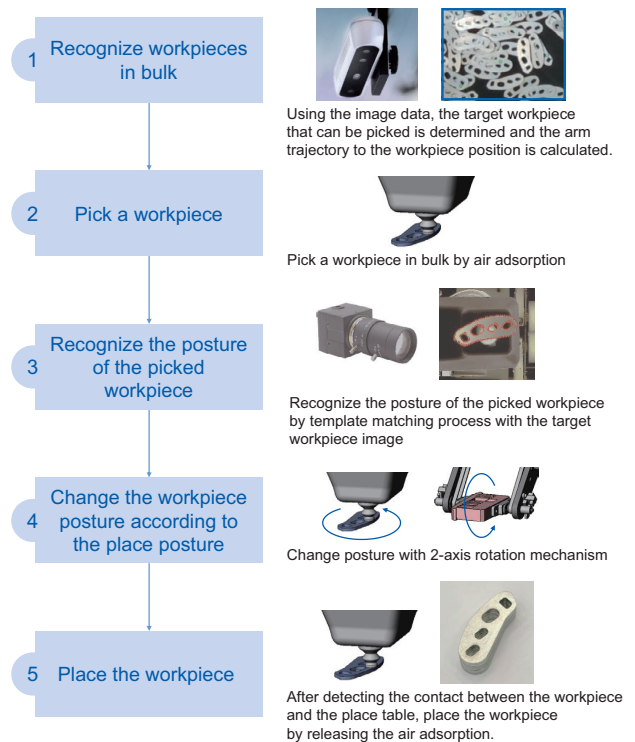


Fig. 2 Operation flow for bulk pick and roll and place robot.

1. Recognize the workpiece in a bulk-stacked state; 2. Pick the workpiece; 3. Recognize the picking workpiece posture; 4. Change the workpiece posture to the placement posture; 5 Place the workpiece.

最初に、ピクトレイにバラ積みされたワークを認識する (Fig. 2(1))。このプロセスでは、アーム上方の3Dビジョンカメラで撮影した画像データを元に、ピック可能な対象ワークの決定とそのワーク位置へのアーム軌道を計算する。なお、ピック対象のワークは、ワーク毎の認識結果精度とピックのし易さを考慮して決定する。また、アーム軌道はピクトレイの枠などの障害物を回避するよう計算する。

次に、アーム軌道に従ってアームを移動し、バラ積みされたワークの中から対象ワークをピックする (Fig. 2(2))。ピックでは、ピック機構でワークをエアー吸着するが、バラ積み状態では、エアー吸着したワークの上に他の

ワークが積み重なっている可能性があるため、エア吸着後にピック機構をZ軸周りに少し回転して他のワークを振り落とすようにしている。

その後、アームをウェブカメラ位置まで移動し、ピックしたワークの姿勢を認識する (Fig. 2(3))。このプロセスでは、ロボット統合コントローラーに事前登録したワーク形状データとウェブカメラで撮影した画像データのテンプレートマッチングによってワーク姿勢を判断する。

ピックしたワーク姿勢が、プレスする姿勢と一致するようロール機構のグリッパーを回転してワーク姿勢を変更する (Fig. 2(4))。その後、再度、ピック機構でワークをエア吸着し、ロール機構をオープンしてプレスの準備を整える。

最後に、アームを所定のプレス位置へ移動し、ワークをプレスする (Fig. 2(5))。プレスでは、ピック機構をZ軸方向に伸ばし、ワークとの接触を検知してエア吸着を解除する。Fig. 2(5)のワークプレス写真に示すとおり、ワークの表裏と前後の向きが揃い、ズレなく正確に重ねてプレスできている。これは、ワークとの接触検知を1msオーダーの高分解能にし、積み重なったワークを崩すことなく、優しくプレスしているためである。

以上の動作フローをピクトレイのワークが無くなるまで繰り返す。

2.3 稼働状況の見える化

製造現場が生産計画を遂行する上で、設備の安定稼働は欠かせない。これには、日々の稼働状況を把握し、生産効率を低下させるボトルネック要因や設備の故障予兆、メンテナンス時期などを的確に分析する必要がある。

この稼働指標には、単純な停止時間の測定だけでなく、故障やワーク・工程変更などの停止ロス時間、チョコ停と呼ばれる軽微な障害復旧や速度低下などの性能ロス時間、不良品の手直しなどの不良ロス時間を含めた設備総合効率が有効とされる。これらのロス時間を正確に測定するには、工程全体を俯瞰する監視データに加え、設備内部のデータが重要となる。

ここでは、バラ積みピック&ロール&プレスロボットのデータ活用例についてFig. 3を用いて説明する。

ピックミスによる性能ロスは、ピックのリトライ制御でリカバリされるため、ロス要因として表面化しづらい。しかしながら、Fig. 3(a)に示すように、1日のピック試行回数とプレス回数のロボット内部データを収集し、見える化することで、その差分からピックミス発生状況を容易に把握することができる。このピックミス発生データとエア吸着時の真空圧データを関連付けてエアノズルの交換時期を判断したり、ワーク認識結果を関連付けてカメラレンズのメンテナンス要否を判断したりできる。

また、Fig. 3(b)のようにロボット内部の制御状態データの1日の推移を見える化すれば、ロボットが稼働していた時刻や停止していた時刻だけでなく、その稼働内容

まで定量的に計測することができる。これにより、生産計画とのズレを生じさせた要因などを詳細に分析することができる。

他にも、工程レイアウトのボトルネック特定やロボットの故障、消耗品交換時期の予測など、ロボット内部データを組み合わせれば、より深化した分析が可能となる。本ロボットは停止ロス、性能ロス、不良ロスのカテゴリ毎で要因分析に繋がるデータ群を規定し、リアルタイムに収集する仕組みを構築している。ユーザーは、この中から所望のデータを見える化し、設備の安定稼働に向けた日々の分析に活用することができる。

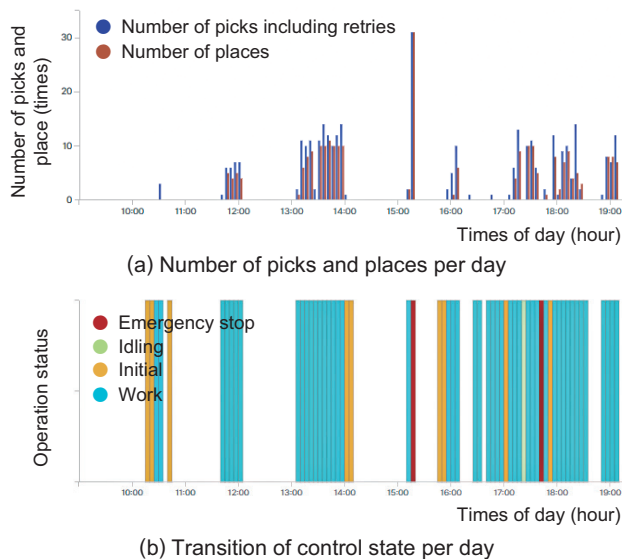


Fig. 3 Control Status of bulk pick and roll and place robot.

It is possible to analyze the picking error occurrence situation and factors causing deviations from the production plan. This is accomplished by visualizing (a) daily changes in the number of picking and placement operations, and (b) daily changes in the robot's internal control status data.

2.4 他設備との連携

製造現場の自動化範囲を拡大し、生産効率を向上するには、工程設計の自由度を高め、ユーザーの既存設備を含む複数設備を「つなぐ」必要がある。しかしながら、設備間をつなぐには、設備毎のコントローラー仕様を理解し、所望の連携動作になるよう設計しなければならない。

これには、高度な専門性に加え、設計期間が必要で、誰もが容易にできるものではない。

ここで、ロボット統合コントローラーが、バラ積みピック&ロール&プレスロボットの前後工程をつなぐベルトコンベアーなどの周辺設備をも含んだ制御連携を実現する。そのような製造現場での一連の作業フレームワークを提供すれば、そのフレームワーク内での設備連携を容易に実現することができる。このような考えのもと、製造現場で想定される工程間のフレームワーク例として、バラ積みピック&ロール&プレスロボットにワークを補給するロボットとの連携システムを構築した。システム構成をPhoto 2に示す。

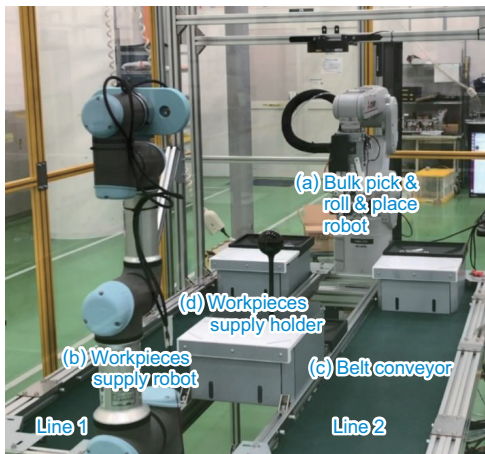


Photo 2 Cooperation with other equipment by bulk pick and roll and place robot

バラ積みピック&ロール&プレースロボット(a)と正対する位置にワーク補給ロボット(b)を配置する。このワーク補給ロボット(b)は、UR製アームと着磁手で構成され、着磁手でワーク補給台(d)を持ち上げ、ワーク補給台のワークをピクトレイに補給することができる。また、着磁手でプレーストレイを持ち上げ、プレーストレイのワークをワーク補給台(d)に回収することもできる。

これらロボットの左右にベルトコンベアー(c)を設置し、ピクトレイとプレーストレイを置いて2つの製造ラインを構築している。ベルトコンベアーはKEYENCE製PLCを介して個別に駆動でき、ピクトレイとプレーストレイが2つのロボットの間を往復移動できるようになっている。

本連携システムの動作フローを以下に示す。

- 1) バラ積みピック&ロール&プレースロボット(a)が、前述のとおりピクトレイからプレーストレイにワークを所定数移す。
- 2) ベルトコンベアーを駆動し、ピクトレイとプレーストレイをワーク補給ロボット(b)の位置まで搬送する。
- 3) ワーク補給ロボット(b)が、プレーストレイ上のワークをワーク補給台(d)に回収する。ピクトレイがエンプティの場合は、ワーク補給台(d)にあるワークをピクトレイに補給する。
- 4) ベルトコンベアーを駆動し、ピクトレイとプレーストレイをバラ積みピック&ロール&プレースロボットの位置まで搬送する。

これらの動作フローが、ライン1とライン2で同時並行に繰り返して実行される。

3 ロボット統合コントローラー

バラ積みピック&ロール&プレースロボットのソフトウェアアーキテクチャをFig. 4に示す。

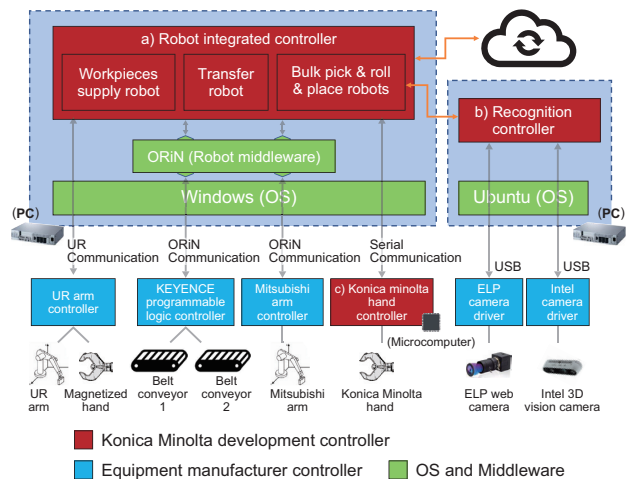


Fig. 4 Bulk pick and roll and place robot Software Architecture.

a) The robot integrated controller integrates control of peripheral controllers and controllers made by other companies. Application function is packaged to enable support of various equipment cooperation frameworks in future, realizing a highly reusable system.

今回開発したソフトウェアは、ロボット統合コントローラー a)、認識コントローラー b)、Konica Minolta ハンドコントローラー c)の3つのアプリケーションコントローラーで構成されている。

ロボット統合コントローラー a)は、バラ積みピック&ロール&プレースロボット、搬送ロボット、ワーク補給ロボットのアプリケーション機能を搭載した本システムの中核コントローラーである。このコントローラーが、認識コントローラー b)とKonica Minoltaハンドコントローラー c)に加え、三菱及びUR製アームコントローラーやKEYENCE製PLCなどの他社設備コントローラーを統合制御し、前述の設備連携システムを実現している。

アプリケーション機能は、今後、多様な設備連携フレームワークに対応していけるよう機能ごとにパッケージ化し、再利用性の高い設計にしている。また、アプリケーション機能間のデータのやりとりをTCP/IP通信にし、各機能が別PCに分散配置できるようにも考慮している。

OSは製造現場で広く使用されているWindows、ミドルウェアにORiN (Open Resource interface for the Network)を採用している。ORiNは製造現場の設備同士を柔軟に接続できるよう、メーカーや機種の違いを吸収し、統一的なアクセス手段を提供する通信インタフェースである。これにより、設備選択の自由度を高め、ユーザーの既存設備を活用しやすくしている。

認識コントローラー b)は、インテル製3DビジョンカメラやELP製ウェブカメラで撮影した画像データを元にワークの位置と姿勢を検出するコントローラーである。OSはUbuntu、外部ソフトウェアとOSSを採用している。Konica Minoltaハンドコントローラー c)は、コニカミノルタ製のロール機能付きハンドを制御するコントローラーで、ここでは、プリンタエンジンの設計ノウハウを最大限に活かし、組込みマイコンを使って高精度かつリアルタイム性を確保したメカ機構制御を実現している。

具体的に、ピック機構の伸縮制御やエア吸着制御では、それぞれ接触検知センサや真空圧を1ms周期で検知し、ステッピングモータによる伸縮量やエアエジェクタ流量をフィードバック制御している。

4 さらなる進化への取り組み

本章まででバラ積みピック&ロール&プレースロボットのプロトタイプ実現手段について説明した。しかしながら、誰でも簡単に使用目的に応じてロボットを導入するためには、いくつかの専門性を必要とする箇所が残る。

例えば、ワークの姿勢変更の動作フローが挙げられる。ワークの形状によって取りうる姿勢は異なるため、ワークの種類毎に姿勢変更の動作フローを用意する。ここで動作フローとは、狙いの姿勢とピック機構の回転とロール機構の回転の組み合わせを表す (Fig. 2(4))。このため、ユーザーはワーク変更に応じて動作フローを追加するために、機構制御技術を前提としてプログラミングをしなければならないが、ユーザーに常にこのような専門技術を要求することは望ましくない。ワーク形状をある程度パターン化した形で動作フローを提供することも可能ではあるが、全てのユーザーの全てのワークに事前に対応することは難しい。そこで、強化学習を用いてワークに合わせた姿勢変更の動作フローを自動的に決定させ、ワーク変更時の動作教示のスキルレス化を図る。強化学習はシステムが自ら試行錯誤することにより、目的に沿った動作を学習することが可能であり、コニカミノルタにおいてもプリンタの制御を強化学習で自動化する検証を進めている³⁾。現在では、試行錯誤の中で使用環境や機械のばらつきを考慮した用紙搬送制御モデルを生成できており、強化学習は実用性のある技術として認識されつつある。

上記は一例であるが、AI技術を活用することにより、ユーザーの目的・対象となるワーク・ユーザーの環境に合わせた柔軟なシステムの構築を目指す。

5 まとめ

本稿では、バラ積みピック&ロール&プレースロボットのプロトタイプについて説明した。このロボットは、1) ワーク姿勢を変更するロール機能を有したハンド、2) 設備毎のコントローラーを1つに統合して制御するロボット統合コントローラーにより、設備導入初期や工程、ワーク変更時のセッティングの手間を低減できる可能性を示した。また、ロボットの内部データから稼働状況を見える化し、稼働率改善に向けた詳細な分析ができることを述べた。最後に、ロボットのソフトウェアアーキテクチャと採用技術を示した。

これにより、ユーザーは製造工程内の単純、単調な手作業から解放され、設備稼働率の改善に向けた付加価値業務にシフトすることが可能となる。

今後は、コニカミノルタの他事業への貢献を加速するために、製造現場での単調作業の自動化や、情報機器事業での新規色材やヘルスケア事業でのバイオマーカー開発といった実験オペレーションの自動化などを進めていく。そしてその領域で価値検証や社内実践を通じて、製造業のみでなくラボ、物流、食品といった新たな領域へ本ソリューションの展開先も拡大していく。また、最新のAI技術を活用することで、ロボットの動作教示のスキルレス化や、顧客の使用環境に合わせてワークハンドリング動作を自動的に順応させるような技術を開発していく予定である。そして、誰でも・簡単に・目的の用途でロボットを使いたいというニーズに応え、より多くの領域の顧客の企業変革力の強化に貢献したいと考える。

●参考文献

- 1) 経済産業省, “2020年版ものづくり白書”, 2-4 (2020-10-27) https://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2020/honbun_pdf/pdf/all.pdf
- 2) 経済産業省, “ロボットを取り巻く環境変化と今後の施策の方向性 ~ロボットによる社会変革推進計画~”, 1 (2020-10-27) https://www.meti.go.jp/shingikai/mono_info_service/robot_shakaihenkaku/pdf/20190724_report_01.pdf
- 3) 斎藤浩一, 菅井駿, 桐山知宏, “強化学習によるメカトロニクス制御自動設計技術の獲得”, Konica Minolta Tech. Rep., Vol.17, pp.49-55 (2020)