

協働ロボットによる作業補助を実現する操作システムの開発（第3報）

—柔軟なオートメーションシステムを実現するコンセプトモデルの提案—

坂東直行*、渡辺博己*、安部貴大*

Development of support system for the operators using collaborative robots (Ⅲ)

- Proposal of a concept model for flexible automation systems -

BANDO Naoyuki*, WATANABE Hiroki* and ABE Takahiro*

本報では、企業における生産活動のオートメーション化に役立つことを期待し、企業技術者の人材育成における教材や、現場で求めに応じて改良をしていくベースとなるオートメーションシステムのコンセプトモデルを開発した。本モデルではシステムを構成するデバイス間の接続は Ethernet を基本とし、Web アプリが一括管理する仕組みを採用した基本コンセプトにより改変性・拡張性のあるシステムを実現した。本稿では、基本コンセプトに基づいたコンセプトモデルを開発し、一連の動作が可能であることを確認するとともに、開発によって明らかになったことについて検討したので報告する。

1 はじめに

製造業における生産性を向上させるため、DX に関心が高まっている。そうした背景のもと、筆者らは協働ロボットに着目し、中小企業における多品種少量生産に対応するロボットシステムを開発している¹²⁾。

現場のオートメーション化を推進するため、ロボットは重要なツールである。特に協働ロボットは、産業用ロボットと異なり、柵が不要のためスペース確保の制限が少なく、外部接触があった場合に自動停止することから開発中の不注意で本体や周辺装置を壊す可能性が低い。そのため、オートメーションシステムを必要としている企業が自力開発するうえで便利なツールとなる。しかし、多くの場合、企業におけるオートメーションシステムの導入は SIer など外部リソースに頼っているのが現状である。この理由としては社内の開発人材の不足や知識・技術不足が挙げられる。外部リソースによって導入したシステムは、利用者である企業が現場の状況に応じて柔軟にレイアウトや動作を変更することが難しく、運用・保守に継続して外部リソースに頼らざるを得ない。これにはコストがかかることから、一旦導入したオートメーションシステムは硬直的な傾向にある。一方、多品種を少量生産する企業においては、常に新しい製品が生み出されており、その製品を生産するシステムが求められる。よってシステムは、生産内容・状況に応じて改変、拡張できるポテンシャルを有している必要がある。つまり、外部リソースに頼ったシステム導入では、その企業が本来求めているオートメーションシステムとは異なるものが導入されてしまうことになる。

この問題の解決には、企業が自らオート

メーションシステムを開発・運用する方向に舵を切り、社内の人材育成・技術習得に向き合う必要がある。人材育成・技術習得の方法としては、できる範囲から少しずつ自動化を実現していき、その経験から学んだことを次の開発につなげていくというサイクルを繰り返すことが効果的である。このサイクルを開始するきっかけとして、素早く実現でき、且つ柔軟性に富んだオートメーションシステムのコンセプトモデルがあれば、一助になるものと思われる。

こうした状況を踏まえ、本研究ではオートメーションのコンセプトモデルを開発したので報告する。

2 基本コンセプト

本章では、改変・拡張が容易なオートメーションシステムを実現する基本コンセプトについて述べる。

図1に基本コンセプトの構成図を示す。

従来の FA システムが PLC によって制御されるのに対し、本研究で提案するオートメーションシステムで

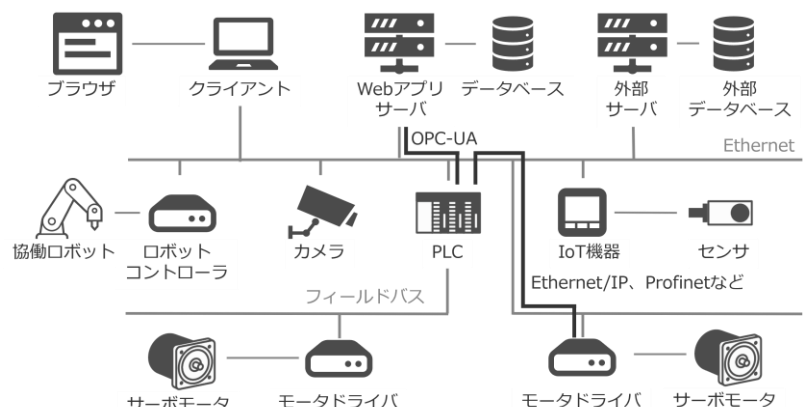


図1 基本コンセプトの構成図

* 情報技術部

は、ネットワークサーバ内のプログラムによってすべてのデバイスが制御される。このプログラムは Web アプリとしても機能し、ネットワーク経由で遠隔からの操作に対応する。デバイスとしては、協働ロボットの他、PLC、従来の FA 機器、IoT 機器等に対応する。Web アプリサーバとこれらのデバイスとは Ethernet で接続することで、システムが接続・制御できるデバイスの数を物理ポートの制限から解放し、異種デバイスの同時制御が可能になる。ネットワークによる制御を直接受け付けられないデバイスの場合は、IoT 機器や PLC を介して制御する。

Web アプリと PLC は OPC-UA プロトコルで通信する。これにより、Web アプリ上での設定が PLC 内のプログラムパラメータに反映され、PLC に接続された機器の制御が可能になる。なお、OPC-UA は Ethernet 上に構成される産業用の通信プロトコルで、メーカー・デバイス・機種の違いに依らず、統一的なインタフェースを提供するものである。これにより、Web アプリをプログラムする際、対象 PLC のメーカー・機種によってコードを変更する必要がなくなる。

Web アプリと IoT 機器は HTTP プロトコルで通信する。HTTP プロトコルは Web サーバと通信するプロトコルで、インターネット等で用いられている。HTTP プロトコルでは、Web クライアントが HTTP リクエストを Web サーバに送り、Web サーバは HTTP レスポンスを Web クライアントに返す。このとき、送出するリクエストやレスポンスに互いにやり取りする情報を付加すれば、情報の伝達が可能になる。

PLC と FA 機器の接続には、従来のフィールドバスのほか Ethernet/IP や Profinet も想定する。Ethernet/IP や Profinet は Ethernet ケーブルで接続する産業用の通信規格であり、Ethernet ハブを介することで、PLC で制御できる機器数を PLC の端子数の制限から解放できる。

従来のオートメーションシステムの場合、ロボットの動きの定義はロボットコントローラが、FA 機器の動きの定義は PLC がプログラムとして有している。一方、本システムでは、ロボットコントローラや PLC は Web アプリからの情報を各デバイスに伝達するための仲介役として存在し、各デバイスの動きの定義は、Web アプリがプログラムとして一括管理する。これにより、システムの振る舞いを変更する必要が生じても、プログラムの変更は Web アプリに対してのみ行えばよい。また、各種情報が Web アプリサーバに集約することになるため、システムの稼働状況や生産状況などの見える化も可能になる。

システムは Ethernet によって接続されているため、複数のシステムを連結することもできる。システム全体を制御する Web アプリは HTTP 通信によって情報をやり取りし、例えば前工程の情報を参照して、続く工程の内容を変更するといったことが実現できる。これにより、

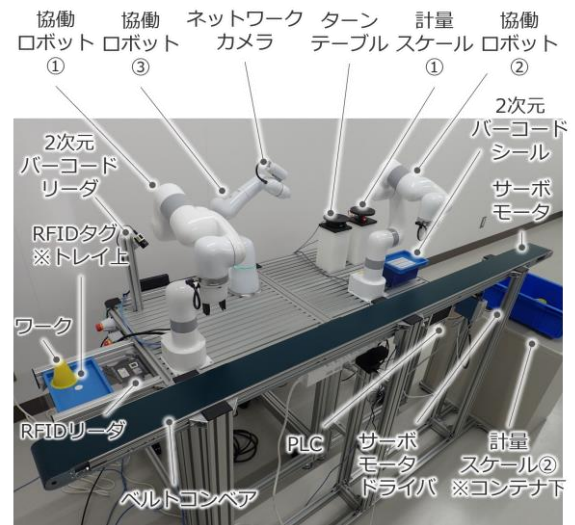


図2 コンセプトモデル

手の付けやすい工程からオートメーション化し、オートメーションが実現した工程間を連結していくことでシステムを拡大していくという、ボトムアップ形式での自動化の推進が可能となる。

以上のような構成とすることで、改変・拡張する必要が生じたときに、柔軟に対応できるオートメーションシステムが実現できる。

3 コンセプトモデル

前章の基本コンセプトに基づいた実際のシステムとして、コンセプトモデルを開発した（図2）。

3.1 構成

コンセプトモデルは3台の協働ロボット、サーボモータによって駆動されるベルトコンベア、およびそれを制御するための PLC、ネットワークカメラ、および IoT 機器によって制御される RFID リーダ、2次元バーコードリーダ、ターンテーブル、2台の計量スケール、およびシステム制御用 Web アプリサーバ PC、Web アプリ用クライアント PC によって構成される。

協働ロボットは UFacroty 社の Lite6 2 台（図2 協働ロボット①、②）と DensoWave 社の Cobotta（図2 協働ロボット③）を採用した。これらは Ethernet 経由で PC から制御できる。また、Python で利用できる制御用 API ライブラリが公開されており、本モデルにおいてもこれらを活用している。

Web アプリの開発には Python で開発できる Web アプリフレームワークである Django を採用した。これにより、従来の Web アプリ開発の煩雑さを軽減している。

IoT 機器を開発するためのマイコンモジュールとしては、はんだ付け不要でデバイス開発できる M5Stack を採用した。M5Stack のコントローラは Wi-Fi 機能を有する ESP32 であり、ESP32 のプログラムは広く普及したワンボードマイコンである Arduino の統合開発環境で、

充実したライブラリやサンプルコードなどを活用しながら開発できる。これにより、目的とする動作のラビットプロトタイピングを実現している。

PLC は、CodeSys を用いてソフトウェアで実現し、Raspberry Pi CM4 に搭載した。サーボモータを動かすためのサーボモータドライバは Oriental Motor 社の AZD-KERP を採用し、Ethernet/IP で PLC と接続する。CodeSys は OPC-UA をサポートしており、これを使って Web アプリは PLC 内部のパラメータを変更して、サーボモータを制御する。

3.2 動き

コンセプトモデルの動きは以下のとおりである。

1. RFID が貼られたトレイに乗ってワークが所定の位置に到達する (図 3)
2. 所定の位置で RFID リーダが RFID タグ情報を読み取り、その情報を使って外部データベースからワークの情報を取得する
3. 取得したワーク情報に基づいて協働ロボット①がワークをピックアップする
4. ピックしたワークに、協働ロボット②が 2 次元バーコードシールを貼り付ける (図 4)
5. 協働ロボット①がワークを移動し、2 次元バーコードリーダが貼付した 2 次元バーコードを読み取り (図 5)、ワークを個体識別する
6. 協働ロボット①がワークをベルトコンベアにプレースし、ベルトコンベアがワークを協働ロボット②の前まで搬送する
7. 協働ロボット②がワークをピックアップし、ターンテーブルにプレースする
8. 協働ロボット③に取り付けられたカメラが所定の角度になるよう協働ロボット③が姿勢を変え、カメラがワーク外観を撮影する (図 6)
9. ターンテーブルが所定の角度まで回転する
10. 8.9.を所定の回数繰り返し、ワーク全周の外観撮影を行う
11. 協働ロボット②がターンテーブルからワークをピックアップして計量スケール①にプレースし、計量スケールがワークを計量する (図 7)
12. 協働ロボット②が計量スケールからワークをピックアップし、ベルトコンベアにプレースする
13. ベルトコンベアがワークを搬送し、端にあるコンテナにワークを収める
14. コンテナ台に設置した計量スケール②が、コンテナを計量する

これらの動作は、製造現場における前工程でのワークの受け入れから、ワークへの加工、ワークの検査、製品の出荷までの一連の工程を模擬している。なお、4 は製造日や製造場所の情報を 2 次元バーコードで貼り付ける等の、ワークへの何らかの加工処理、10 はワークの外観検査、11 はワークに対して行う何らかの個体検査、

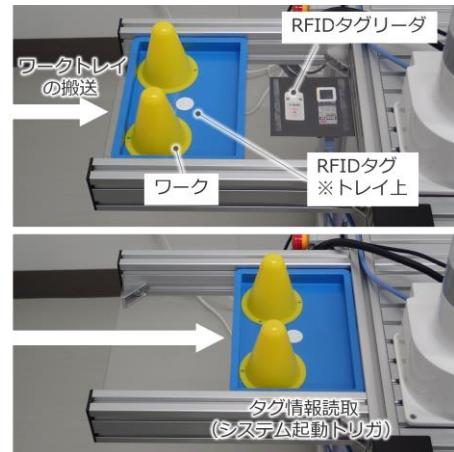


図 3 ワークの到達

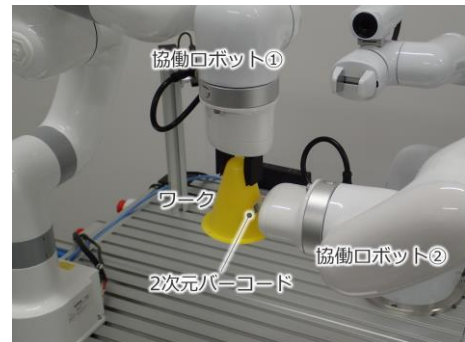


図 4 2次元バーコードシールの貼り付け



図 5 2次元バーコードの読み込み



図 6 ワークの外観撮影

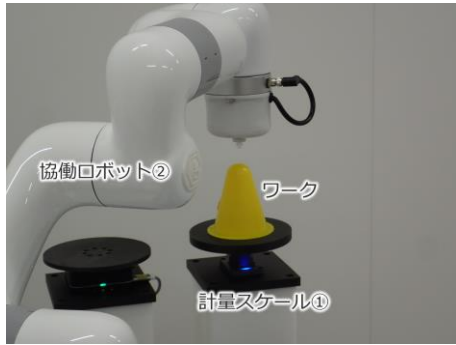


図7 ワークの質量測定

14 は製品の出荷検査をイメージしている。

2 において、読み取ったタグ情報は RFID リーダから HTTP リクエストのパラメータとして Web アプリに送付される。4 における 2 次元バーコード読み取り、11、14 における計量は、Web アプリから HTTP リクエストを各デバイスに送付して実行される。このように IoT 機器とは、HTTP 通信で接続される。協働ロボットとは専用のソケット通信で接続され、Web アプリと PLC との接続は OPC-UA、PLC とサーボモータドライバは Ethernet/IP というように、本モデルでは、物理的に同一の Ethernet ネットワーク上に、複数の異なる通信プロトコルが共存している。

4 考察

本章では、前章のコンセプトモデルを構築し、実際に動作確認したうえで、判明したことを述べる。

まず、コンセプトモデルが実現できたことから、トレイにタグ情報を付加することで種類が異なるワークに対して、柔軟に動きを変えるオートメーションシステムの実現が可能であることが分かった。

多品種少量生産の現場においては、ワークの種類とオートメーションシステムを 1 対 1 で対応するように構築することは難しく、1 つのシステムで複数のワークに対応できなければならない。このとき、ワークの種類が変更となる度に、システム設定を変更するためシステムの稼働を停止することは効率を下げる。また、システムの都合に合わせて現場が動くのではなく、現場の不規則な生産状況に合わせてシステムが自動で対応することが望ましい。本モデルは、トレイに乗せられたワークの情報を事前にデータベースに登録しておく必要があるものの、システムの稼働状態を保ったまま、ワークの種類に応じた動きを行うことができる。

データベースに登録しておく情報としては、トレイ上のワークの座標のほか、ロボット台上のロボット・デバイスの座標、ロボット台から見たときのベルトコンベアの座標などがある。これらをシステムに与えた場合、ロボットの稼働に必要な、ロボット座標系からみた目標座標の導出が計算により可能になる。また、こうした座標

値をシステムに与えた場合、デバイスのレイアウトが変更になったとしても、データベース上の変更となったデバイスの座標値を変更すれば、プログラム本体を変更することなく振る舞いを変更できるため、システムの改変性が高まる。一方で、現物を対象にこれらの座標値を逐一計測していくことは手間であった。この解決方法としては、システム全体のレイアウトを仮想空間上に再現して各物体間の相対位置を求める、シミュレーション技術の活用が効果的と思われる。

本モデルでは、協働ロボットに付属のハンドツールを用いたが、これらで扱えるワークは極めて限定的であった。これは、1 つのシステムで複数のワークに対応するというニーズに、大きな制限を与えるものである。多種のワークに対応できる汎用ハンドツールの開発、もしくは市販のツールチェンジャーを導入し、ワークの種類に応じてツールチェンジするなどの対応が求められる。

本モデルでは、前述のように、データベースに座標値を登録して、そこから、ロボットの動作に必要な目標座標を計算している。しかし、座標値には誤差が含まれるため、結果として、ロボットの動作にも誤差が生じ、ワークピッキングに支障があった。計測する座標値の誤差を低減することは現実には難しいことから、カメラで撮影したワーク画像を使って補正動作を行うシステムや、ワークと接触した時に微細な位置調整をする補正機構等、何らかの補正システムの併用が効果的と思われる。

5 まとめ

本報では、柔軟性のあるオートメーションシステムを実現するコンセプトモデルを開発した。システムを構成するデバイス間の接続は Ethernet を基本とし、システムの振る舞いは Web アプリが一括管理する仕組みを採用した基本コンセプトによって、改変性・拡張性のあるシステムを実現した。また、基本コンセプトに基づいて開発したコンセプトモデルが一連の動作が可能であることを確認するとともに、開発によって明らかになったことについて検討した。

企業において、オートメーションを進めていくには、その推進力となる人材の育成が不可欠である。本研究で開発したコンセプトモデルは、こうした人材の育成における教材としたり、現場で求めに応じて改良するベースシステムとすることで、企業におけるオートメーション化に役立つことを期待する。

【参考文献】

- 1) 坂東ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp7-8,2022
- 2) 坂東ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.4, pp85-88,2023