

協働ロボットによる産業用ロボットプログラム 教育環境とシミュレーション学習

新居 徹哉*

Industrial robot program educational environment and simulation learning using collaborative robots

Nii Tetsuya*

要旨： 少子化による労働人口の減少がますます加速する中、製造業における生産工程の自動化・ロボット化はこれまで以上に重要であり、ますます広がっていくと考えられる。本校生産エンジニアリング科でもそのような自動化への対応のため、デンソーウェーブ社製協働ロボット COBOTTA を導入し、ロボット教育に活用している。本報では、ロボット制御方式の一つであり、産業用ロボットを組み込んだ自動化システムのプログラムに広く用いられているオフラインティーチングの効率的な学習を行うため、ロボット向けエンジニアリングツール・シミュレーションツールの活用を考え、検討を行った。その取り組みについて紹介する。

キーワード： 協働ロボット, 産業用ロボット, オフラインティーチング, WINCAPS III, RoboDK

1. はじめに

製造業においては、生産工程の自動化・省力化を目的として産業用ロボットは広く用いられており、今後も活躍の場はますます広がっていくと考えられる。産業用ロボットを実際に職場等で活用するにはロボット特有のプログラミング技術が必須である。

本校では、令和3年度に教育用としてデンソーウェーブ社製垂直多関節型協働ロボット COBOTTA を導入した。この協働ロボットは協働ロボットに特化した操作・プログラム環境のみではなく、一般的な産業用ロボットと同等のコントローラを内蔵しており、産業用ロボットと同じプログラム環境を利用してプログラミングを行うことが可能であり、そのまま産業用ロボットのプログラミング実習装置として利用可能である。選定経緯・特徴については既報の通りである¹⁾。

今回、この協働ロボットを用いた産業用ロボットプログラミング学習について、ロボットプログラミング用エンジニアリングソフトウェアを用いたオフラインティーチングを取り入れることで、全員が一度にプログラム作業にあたる事が可能となり、効率的な授業展開が可能になると考え、評価を行った。

2. 協働ロボット COBOTTA

協働ロボット(Collaborative ROBOT, COBOT とも言

う)は、ロボットと人間の協働(共同作業)を目的に開発されたロボットである。その最大の特徴は、労働安全衛生法に基づく労働安全衛生規則に定める「産業用ロボットに接触することにより危険が生ずるおそれがあるときは、さく又は囲い等を設けること」というルール²⁾の適用除外²⁾対象となり得る安全構造を持つロボットであり、一定の条件を満たせば安全柵なしでの運用が可能であることである。安全柵なしでの運用が可能であれば、機械・電気系生産工場などの安全確保可能なように管理された場所だけでなく、食品や医薬などの製造や飲食・販売など店舗業務にも活躍の場が広がると期待されている。

本学では、令和3年度に学科設備として協働ロボット COBOTTA を教習装置・環境と共に2セット導入した。また、令和4年度には県の実施する「スマート化人材育成事業」のための実習装置としてさらに追加で2セット導入し、合計4台の協働ロボットを揃えている。図1に本校で導入している協働ロボット COBOTTA および教習装置、実習環境一式を示す。



図1 協働ロボット COBOTTA

* 山形県立産業技術短期大学校庄内校
〒998-0102 山形県酒田市京田三丁目 57-4
e-mail: shonai@shonai-cit.ac.jp

* Shonai College of Industry & Technology
3-57-4 Kyoden, Sakata City, Yamagata, 998-0102, Japan

3. ロボットプログラミング

産業用ロボットのプログラミングには、一般に「ティーチング・プレイバック」という手法が用いられる。一般には略して「ティーチング」とのみ称することが多い。これは、ロボットを逐次人間が操作しながら、位置情報・速度情報・経路などを記録し、その動作を繰り返し実行させることにより作業の自動化を実現する、という手法である。

3. 1 オンライン・ティーチング

オンライン・ティーチングは、産業用ロボットの最も基本的なティーチング方式である。専用のロボットコントローラ(ティーチングペンダント)でロボット本体を操作し、その位置や移動経路を座標として記録、その座標点をつなぐように移動経路やタイミングを設定することで、ロボットのプログラムを作成する手法である。産業用ロボットの現場プログラミングの手法として、もっとも理解しやすく、かつ実際のロボットを動かして動作を確認するため、ロボットの周辺装置への衝突や作業エリアからのみだし事故などが起こりにくいという利点がある。ただし、

- ・プログラム作業にある程度習熟が必要。

- ・プログラムをオンライン(実際の生産ライン上)で行う必要があるため、プログラム作業中、およびプログラムの変更・修正作業の際にも生産ラインを止めて対応する必要がある。

- ・ティーチング作業中はロボットの至近で作業するため、設定ミスなどで接触事故が起こる危険性がある。

などの問題が知られている。特に、安全問題については、このような事故を避けるため、産業用ロボットのオンライン・ティーチングを行う際には労働安全衛生法に定める「特別教育」を受講する必要がある。

協働ロボット COBOTTA では、このオンライン・ティーチングは専用のティーチング・ペンダントを用意しなくても、Windows 上で動作する仮想ティーチングペンダントソフトウェア「バーチャル TP」、Android タブレット上で動作する「Remote TP」を利用して行うことができる。

オンライン・ティーチングによるロボットプログラムでは、操作により得られたロボット姿勢・座標点の情報を変数として使い、ロボット制御のためのプログラム言語「PacScript」でロボットの動作や、プログラムのフロー制御を記述する。「PacScript」は DENSO 産業用ロボットコントローラ RC8(9)シリーズ用プログラム言語で

ある。そのため、COBOTTA環境での学習成果は、広く産業用ロボットプログラムの技術として活用可能である。

協働ロボット COBOTTA では、また、次に説明するダイレクトモードの機能を一部利用し、ロボットの姿勢を自分の手で動かし、ロボットの姿勢・手先位置座標をキャプチャすることで、産業用ロボット方式のプログラミングでもロボットを自らの手で動かしてのティーチングも可能である。

3. 2 ダイレクト・ティーチング

ダイレクト・ティーチングは、協働ロボットに広く採用されているプログラミング手法で、ロボットを人間の手で動かして教示を行うという手法である。一般の産業用ロボットでは、ティーチングペンダントを用いて移動量や数値を入力してロボットの動きのプログラミングを行うが、ロボットの関節の動きが人間の思わぬ挙動になるケースや注意不足による事故が起こっている。協働ロボットではダイレクト・ティーチングモードではロボットは静止中には姿勢を維持するだけの力(重力補償)しか発生せず、ロボットを人間が動かすのに合わせてトルクを発生する。そのため、そもそも危険な力を発生することはあり得ないため安全である。また、ロボットの姿勢による抗力なども確認しながら動かせるのでロボットの構造を理解していない作業員でもプログラムが可能である。

COBOTTA では、ダイレクト・ティーチングを「Cobotta World」という協働ロボットプログラミングツールと「バーチャル TP」「RemoteTP」で実行可能である。

3. 2 オフライン・ティーチング

コンピュータ上のロボットプログラム環境でロボットをプログラムし、それをロボットに転送して実行するプログラミングスタイルをオフライン・ティーチングと言う。近年、工場設備の設計のデジタル化が進む中、採用の広がる開発手法である。産業用ロボットの作業・移動経路などのプログラムをコンピュータ上で設計情報(数値)のみを頼りに行う(テキスト型)。単純な作業についてはライン上にロボットを置いたまま、ダウンタイムなしでプログラムの入れ替えが可能のためメリットは多いが、複雑な環境での作業では調整に時間が取られるなどの問題もある。

ただ、例えば溶接ロボットによる自由曲線溶接作業や、曲面塗装作業など、人間によるティーチングでは達成困難な仕事についてはオフライン・ティーチングが必須である（自動ティーチング）。また、設計のデジタル化によって対象システムの CAD 上でのシミュレーションが行えるため、ロボットシミュレータ上でプログラムを行うことで、ダウンタイムなしでオフライン・ティーチングが可能になる（エミュレータ型）。

教育面で考えた場合、オフライン・ティーチングはエミュレータ対象とはいえ、ロボット台数より多い人数が同時にプログラムに取り組むことが可能であり、活用できれば高い教育効果が得られると考えられる。

4. 産業用／協働ロボットプログラミング実習

当校生産エンジニアリング科(令和2年度～)では、生産システム工学という科目において、協働ロボット COBOTTA を用いてロボット操作・プログラミングの実習を行っている。実習の内容と順序としては以下のように進めている。

- ① CobottaWorld を用いた協働ロボットプログラミング
- ② Remote TP を用いたオンラインプログラミング
- ③ バーチャルTPを用いた、ロボット言語による制御
- ④ EVP(手先カメラによる画像処理・物体検出ソフトウェア)を利用した、物体検出・移送

まずは、①でロボットの関節の動きや幾何的の性質を理解し、②では実際の産業用ロボットのプログラミング技法に近い作業手順を学ぶ。その際に、ロボットの姿勢指示における拘束条件設定や、直角座標系・関節座標系・ツール座標系などの多関節ロボット特有の運動系についても学習する。

その後、③で繰り返し動作などフロー制御と自動運転、IO などについて学び、③～④間で画像処理について学習し、その応用事例としてロボットを使った物体検出・移送を用いたバラ積みピッキング作業を実習の達成目標としている。

4. 1 実習の達成点と改善点

協働ロボット COBOTTA を導入後、上記の実習を導入し、3年が経過している。6軸垂直多関節ロボットの運動学的性質の理解と、ロボットプログラミング、特にティーチングについては十分な理解が得られ、実

習課題としているロボットによる、障害物がある環境でのピックアンドプレイス作業も課題として各自達成できている。半面、本来③の部分で説明するロボットプログラム言語によるプログラムについては実習で説明はするものの、その後ほとんど活用されておらず、十分理解が得られているとは言えない状況である。実際に実習で取り上げているコマンド(経路移動)を例に示す。図2に2種類の経路移動コマンドと、そのオプションによる動作変化を示す。経路点で一度停止する動作を「エンド動作」、経路点手前から、停止せずに次の動作に滑らかに接続、経路点近傍を通過する動作を「パス動作」という。エンド動作は、ティーチングを行った通りの動作であり、直線的で動作の予想もしやすい反面、必要のない経路点で停止するため、全体の動作が遅くなる。パス動作は、経路点に近づく段階で減速から次の動作の加速に転じるため、ロボットが動作を停止せず、結果動作時間が短縮できる。ただし、経路点自体は通過しないこと、障害物回避のために経路点を設定した場合に、経路点の内側を通過することで衝突が起きる危険性があることなどの問題がある。このような経路差異が、実際にはロボットの動作改善、生産効率改善にもつながるが、なかなか実際にロボットを動作させても体感することが難しく、また、定量的な比較も困難である。

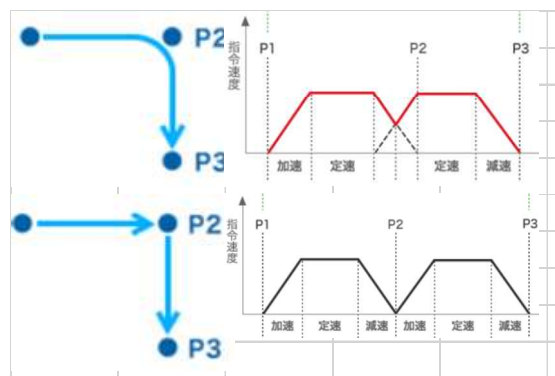


図2 ロボットの手先経路の命令による違い

5. シミュレーション・オフラインティーチングの活用

現在、協働ロボット COBOTTA を4台、実習では利用が可能である。しかし、4台に学生を振り分けて各自でプログラムを行うとした場合では、一人当たり作業時間は必ずしも多くなく、プログラムの動作を一通り検証することで終わってしまい、パス動作などの動作の確認・検証などまで行うには困難である。そこで、

③プログラム実習をロボットシミュレータ上に移し、ロボット言語でのプログラム学習をロボットシミュレータ上で行う方法を検討した。

5. 1 WINCAPS III

デンソーウェーブ社の提供する、産業用ロボットのオフラインプログラミングソフトウェア、WINCAPS III は、Windows 環境で動作するロボット開発プラットフォームである。主な機能として、

- ・プログラム作成

デンソーのロボット言語である、PacScript のプログラムの作成、編集ができる。

- ・オンライン機能

ロボットコントローラとネットワークで接続、ロボットへのプログラムの転送や、ロボットの起動・停止、デバッグ作業、位置情報などの変数編集作業などができる。

- ・アーム3Dビュー

ロボットと周辺デバイスを3D画像で表示し、WindowsPC 上でロボットの動きをシミュレーションできる。拡大縮小、視点のマウスでの切り替えにより、360度好きな方向から動作を確認できる。

- ・シミュレーション

作成したプログラムをパソコン上で実行し、サイクルタイムやロボットの動作・姿勢・干渉などがチェックできる。

今回は、この WINCAPS III のこれらの機能を用いて、シミュレーション上でのロボットプログラムの製作・動作・確認作業を行った。

5. 2 シミュレーションモデルの製作

シミュレーションを実行するにあたり、ロボット本体については、3D ビューとして形状データは WINCAPS III 上に実装されているものの、プログラムの動作確認の COBOTTA 教習装置を合わせて導入している。この教習装置の各部品を 3D CAD でモデル化、WINCAPS III に転送して利用することとした。図3に実際の装置と WINCAPS III に取り込んだモデルデータを示す。

モデルデータは 3D CAD で製作、WINCAPS III の受付可能なデータ形式である VRML 形式に変換して取り込んだ。VRML 形式で取り込んだ際、座標軸の反転のためかモデルの左右逆さまになる、という現象が生じたが、これは元データを反転する機能で解決できる。

5. 3 シミュレーションでの実習

WINCAPSIII 上で実際にロボットプログラムを動作させ、プログラムを作成、シミュレーションを行い、また、作成したプログラムをロボットに転送し、動作を確認する、という流れの作業を今年度はまず、ゼミ生と取り組んだ³⁾。

3D ビュー中で、取り込んだモデルを位置の参考として座標点のティーチングを行い、移動経路途中でのロボットの姿勢・干渉を確認しながらプログラムを作成したのち、実際のロボットに転送・動作確認を行うという手順で、実ロボット上でまったく問題なく動作させることができた。

また、今回取り入れたかった経路点通過方式オプションの設定による動作の違いは、シミュレーション実行時、わざと大きな値を入れることで経路が大きく内側をショートカットする動作が確認でき、経路設定によっては障害物にぶつかるなど、動作に支障が出ることも確認できた。

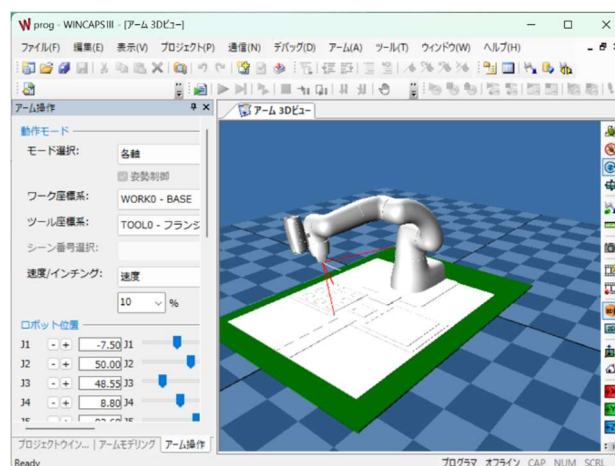


図3 WINCAPSIII 3D ビュー上に配置した協働ロボット COBOTTA モデルと教習装置モデル

5. 4 WINCAPS III 活用上の現時点での課題

WINCAPS III を利用してのプログラム実習を行うにあたり、対象物の「掴み・移動」動作を行いたいと考えていた。

しかし、実際に対象とするワーク(移送対象物)を画面上に配置することは可能であるが、手で掴んで持ち上げる、という動きがシミュレーション上で再現が出来ていない。

また、経路の改良によるロボットの一連動作にかかる時間(サイクルタイム)の改善を評価したい、と考えていたが、現状でサイクルタイム計測について行えていない。

これら2つについては、カタログ等では可能な記述

はあるが、マニュアル等から設定方法が確認できていない。COBOTTA 標準添付バージョンで利用可能かどうかも含め、今後解決したい。

6. ロボットシミュレータ RoboDK

ロボットプログラムの作成環境としては、メーカ提供のエンジニアリングツールだけでなく、サードパーティー製のツールも活用されている。中でも、生産ライン構築にあたり、各社ロボットのデータを持ち、シミュレーションによって適合するロボットの選定を行ったり、ロボット以外の各種専用機・汎用機のデータも持ち、仮想空間上で生産システムを構築し、ロボットのみならず生産システム全体のシミュレーションを行うことのできる汎用ロボット生産システムシミュレータも活用されるようになってきている。

6. 1 RoboDK

RoboDK 社はカナダ ETS 大学の Control and Robotics 研究所からのスピンオフで 2015 年に設立された企業である。同名の RoboDK というロボットプログラム・シミュレーションツールを提供している。

RoboDK の特長は、

- ・座標や命令をアイコン選択で作成可能
 - ・800 以上の各社ロボットを網羅するライブラリ
 - ・ロボットコントローラ用プログラムの出力機能
 - ・多軸加工・3D 印刷などのロボット加工プログラム作成機能
 - ・仮想環境上でのオフラインプログラミング
 - ・協働ロボット対応
- など多岐に渡っている。

今回、RoboDK の国内代理店である IDEC ファクトリーソリューションズ株式会社より教育機関向け製品を導入し、COBOTTA のプログラミングへの活用・評価を行った。図 4 に RoboDK に COBOTTA モデルを読み込んだスタート画面を示す。

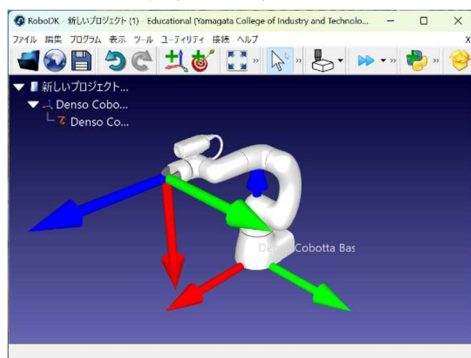


図 4 RoboDK 画面(COBOTTA モデル)

6. 1 RoboDK によるプログラミング

RoboDK 上でのプログラミング作業は、命令を選択し、命令に関連する座標を指示する作業を行う形で進められ、また、その操作は全て仮想空間内での GUI 上での操作で行うことが出来るようになっている。

また、作業指示とロボットは独立しており、例えば製作したプログラムが、予定していたロボットで実現可能かどうか、また、他のロボットに入れ替えた場合にはどのように動作するか、などを確認することが可能であり、「ロボット選択のためのテストベンチ」という多くの会社のロボットを扱うことが出来る CAD ツールならではの使い方が可能である。また、動作のタクトタイムなども、ライブラリ上のデータから計算して求めることが出来る。また、最終的に完成したプログラムは、ロボットコントローラに直接ダウンロード、またはロボット言語のプログラムソースコードとして出力させることが可能である。

6. 2 RoboDK によるシミュレーション

RoboDK には 3D シミュレーション機能が実装されており、仮想空間内に配置したオブジェクトとロボットの動作を関連付けて生産システム全体のモデリングも可能になっている。データは当研究室で 3D CAD Solidworks で製作したものを IGES 形式で出力し、RoboDK に取り込んだ。RoboDK では一般的な CAD データの読み込みをサポートしている。

また、読み込んだオブジェクトとの衝突・干渉検出もサポートしており、ロボットの動作シミュレーションを行い、途中衝突が起こればメッセージ、およびオブジェクトの変色により確認できる。

また、オブジェクトの移動もシミュレーションすることが可能である。空間内に配置したオブジェクトに移動可能属性を付加しておくことで、ロボットのエンドエフェクタの接近により、エンドエフェクタに付着した状態とし、ロボットに合わせて移動することが可能である。

図 5 に、実際にロボットに移動対象物(ブロック)を持たせ、その状態で移動中にロボットが障害物に衝突した際のシミュレータ画面を示す。ブロックの搬送中に、仮想空間内に配置した角柱型の障害物にロボットアームが衝突し、そこでプログラムが停止し、また衝突したオブジェクトが変色することでどこで問題が生じたかが即座に理解できる。

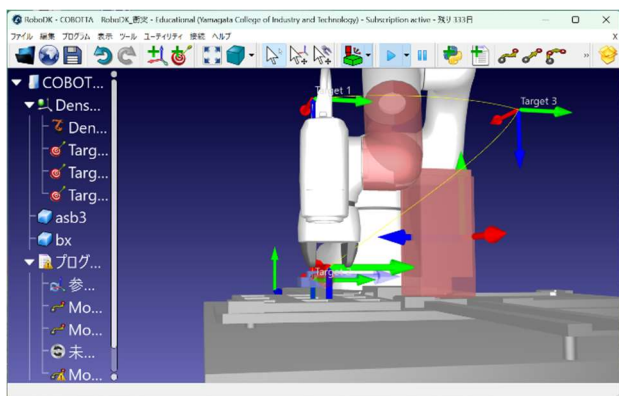


図5 RoboDKでの物体搬送シミュレーション画面

6. 3 RoboDK 活用上の現時点での課題

RoboDK では、今回オフライン・ティーチングの学習効率の向上のために検討している

- ・協働ロボット COBOTTA のオフラインプログラミング
- ・自作ロボット制御プログラムの教育装置との干渉チェック

・タクトタイム評価

などが実現できることが確認できた。その点では今回検討する授業用としては十分要件を満たすが、その反面、

- ・独自の視覚的操作系を持っているため、学習内容が、一般的産業用ロボット制御学習よりソフトの使い方、になってしまう恐れがある
- ・市販ソフトのため導入コスト・維持費用がかかる

という問題がある。今後、同様の仮想空間利用の生産シミュレータという分野の要求が広がり、各種シミュレータの需要が高まるようであればより効果的な教育活用が可能となると考える。

また、それとは別に RoboDK ではロボットによる加工や 3D 造形のためのロボット制御プログラム製作が可能であり、こちらの機能については、3D プリンタ建築など、現在非常に要求の高い技術を容易に実現できるため、是非今後も利用法などを検討したい。

7. おわりに

本校生産エンジニアリング科に導入した協働ロボットを利用した産業用ロボット教育において、ロボットプログラミングにコンピュータシミュレーションを活用し、一斉授業として実施、ロボット本体でのトライアンドエラーを減らすことによる実習の効率化について検討し準備を行った。デンソーウェーブ社製ロボット用エンジニアリングソフトウェア WINCAPS III を用いて検証を行った結果、仮想環境でのシミュレーションでもロ

ボットのプログラミングは実施可能であり、その結果を、実際のロボットに転送して実施・確認できるため、より効果的な学習が可能と考える。

また、さらに高度かつ各種ロボットにも対応したロボットシミュレータ RoboDK についても検証を行い、活用可能性を検証した。

令和6年度より実際の授業においてもオフライン・ティーチング環境を授業に取り入れて実施する予定である。

謝 辞

今回の協働ロボット教育設備の導入にあたりご尽力頂きました関係各位にこの場を借りまして感謝の意を表します。また、COBOTTA 教習装置の 3D データー一式を、今年度卒業研究の一環で製作・提供してくれた生産エンジニアリング科池田真己君に感謝致します。

文 献

- 1) 協働ロボット COBOTTA の導入について, 新居 徹哉, 山形県立産業技術短期大学校 庄内校 紀要 第 18 号 pp.3-6 (2022)
- 2) 産業用ロボットに係る労働安全衛生規則第 150 条の 4 の施行通達の一部改正について, 厚生労働省労働基準局 基安安発 1224 第 2 号 平成 25 年 12 月 24 日
- 3) 協働ロボット教育・開発支援環境の構築, 池田 真己, 山形県立産業技術短期大学校 庄内校 生産エンジニアリング科 令和 5 年度卒業論文 (2023)