

技術紹介

5

3次元 CAD を用いたコネクタ生産用協働ロボットのデジタルツイン環境の開発

The Development of a Digital Twin Environment for Collaborative Robots Using 3D CAD

藤木 尊明

Takaaki Fujiki

コネクタ事業部 製造部 主任

キーワード: 3次元 CAD、協働ロボット、デジタルツイン

Keywords: 3D CAD, Collaborative Robots, Digital Twin

要 旨

近年、モノづくりの業界では人手不足やスキル依存の対策として産業用ロボットや協働ロボットを導入した自動化や省人化が進められております。コネクタ生産においても協働ロボットを導入し、人とロボットの協働による省人化ラインの立ち上げの推進を行っております。協働ロボットのアプリケーション開発において、設備組立後のデバッグや調整作業で発生する修正作業の無駄を排除する効率化が求められています。この課題を解決するため、設計段階で姿勢や動作の仮想検証を行う方法を検討しました。その結果、3次元 CAD にカスタマイズを施し、PLC およびロボットプログラムを連携させて、ロボットの動作を仮想空間で再現する「デジタルツイン環境」を構築しました。3次元 CAD 上で複数の協働ロボットをアニメーションで動作させることで、動作不具合の検出や生産タクトの事前検証が可能となり、効率的なアプリケーション開発が実現しました。本寄稿では、その開発過程と成果について詳細に述べます。

SUMMARY

In recent years, automation and labor-saving have been advancing in manufacturing, and the introduction of collaborative robots (cobots) is also being promoted in connector production. In the development of cobot applications, there is a demand for improving efficiency by eliminating the waste of rework during debugging and adjustments after equipment assembly. To address this challenge, we explored the possibility of performing virtual verification of posture and motion during the design phase. As a result, we customized a 3D CAD system and integrated it with PLC and robot programs to create a "digital twin environment" that reproduces robot motion in a virtual space. By animating the movement of multiple cobots in 3D CAD, we were able to detect motion defects and conduct pre-verification of production takt time, enabling more efficient application development. This paper details the development process and results of this approach.

1. はじめに

近年、製造業をはじめとするさまざまな業界で、高齢化社会などによる労働力不足やノウハウの継承の難しさが深刻な課題となっています。特に、熟練の作業者の確保が困難になり、品質維持や生産性向上における依存度が高まる中で、協働ロボットの導入が進んでいます。協働ロボットは、人と同じ空間で作業を行うことができ、安全性が高く、決められたフローでの作業を可能にするため、製造現場での自動化に最適な選択肢として注目されています。

協働ロボットは、従来の産業用ロボットに比べて導入が容易で、比較的少ない初期投資で運用できるというメリットがあります。産業用ロボットでは、センサーや安全装置による作業エリアの隔離が必要で、高いコストと手間がかかりましたが、協働ロボットは人と共存しながら作業を行うことができるため、作業環境が柔軟に変更可能です。また、複雑かつ反復的な作業、負荷の高い労働をロボットに任せすることで、作業者は高付加価値な業務に集中することができ、製品の品質向上にもつながります。これらの協働ロボットのメリットを最大限に生かすことで、人手不足の課題解決や省人化による製造コスト削減に向けた大幅な改善を推進することが可能となりました。

一方で、協働ロボットを活用したアプリケーション開発にはいくつかの課題があります。仕様策定、機構設計、組立、プログラミング、デバッグ、量産性評価と複数のプロセスを経て量産設備として稼働を始めますが、組立やデバッグのプロセスにおいて下記の問題が発生します(図 1)。

発生する問題点

装置組み立て後の協働ロボットのティーチング作業において、アーム先端部分が治具に干渉したり、アーム同士で干渉してしまい、設計の見直しと架台上の再配置のレイアウト変更を余儀なくされる。その結果、修正に時間と経費が発生する。

発生する原因

設計するときには、先端のロボットハンドがロボット仕様書に記載されている動作可動領域に収まる範囲で設計する。しかし、どのような姿勢で、どのような軌跡で動作するか、確認することが不可能である。

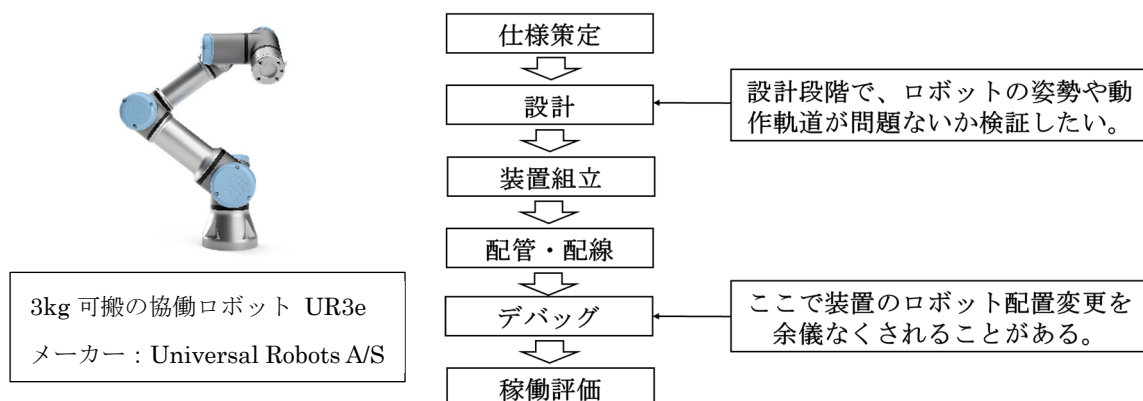


図 1. 協働ロボットアプリケーションの開発の流れ

これらの問題を解決するためには、機構設計段階で協働ロボットの姿勢や動作する軌跡を正確に把握する必要があります。そこで3次元 CAD のカスタマイズに提供されている SDK(Software development kit)の機能に着目し、3次元モデルの位置情報を取得し、モデルの位置を移動させることで、協働ロボットの動作を再現する方策がないか検討を行いました。その結果、協働ロボットのオフラインシミュレータ、装置全体の制御を統括する PLC(Programmable Logic Controller)を3次元 CAD と連携させることで完全実機レスでのデジタルツイン環境の構築が可能であることがわかりました。

本稿においては、オフラインシミュレータ、PLC と3次元 CAD の各アプリケーション間の通信を統括し、制御するミドルウェアを開発した内容の報告をいたします。

2. デジタルツインの開発概要

デジタルツインとは、物理的なシステムやプロセスを仮想空間上で再現する技術です。これにより、設計段階から運用段階までの全てのプロセスを仮想環境でシミュレーションし、最適化することが可能となります。

本開発では、3次元 CAD を用いて協働ロボットのデジタルツイン環境を構築しました。図2に示すように、ロボットコントローラ、PLC の各シミュレータと連携し、3次元 CAD のモデルを制御するためのミドルウェアを開発しました。このミドルウェアには以下の機能が実装されています。

1. 3次元 CAD の空間上で協働ロボットをアニメーションで動作させる:
⇒ これにより、ロボットの動作を視覚的に確認し、動作不具合を早期に検出することができます。
2. 先端座標 (TCP 座標) からロボットの関節の角度を計算する^{1,2)}逆運動学のアルゴリズムを実装:
⇒ 逆運動学アルゴリズムにより、ロボットの次の移動に必要な関節角度を瞬時に計算し、3次元 CAD に動作指令を出します。
3. ロボットコントローラのシミュレータから座標値を常時受信:
⇒ これにより、逆運動学アルゴリズムを用いて3次元 CAD でのアニメーション動作が可能となります。
4. 協働ロボットのほか、PLC のシミュレータまたは実機と通信連携:
⇒ シリンダやサーボモータなどのアクチュエータの動きも協働ロボットと同期させることができます。

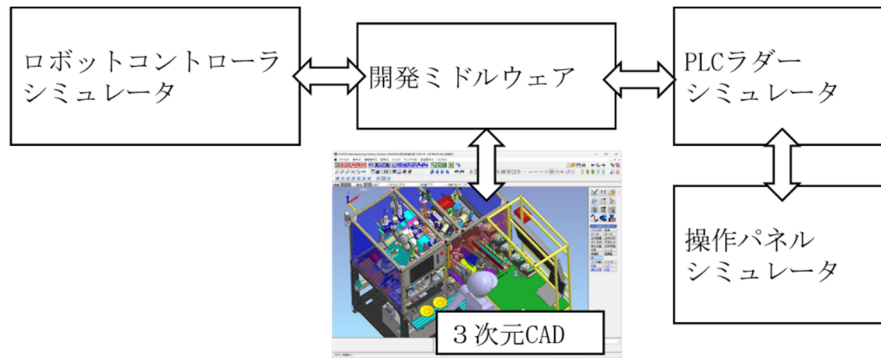


図 2. デジタルツイン環境の仕組み

今回のデジタルツイン環境の構築に対象とした機器を下記に示します。

- 協働ロボット：ユニバーサルロボット UR3, UR3e (3 kg 可搬 6 軸協働ロボット)
- PLC：キーエンス KV-8000
- タッチパネル：キーエンス VT5-W10
- 3次元 CAD：FUJITSU Manufacturing Industry Solution COLMINA 設計製造支援 iCAD SX

このデジタルツイン環境により、設計段階での仮想検証が可能となり、装置組み立て後のデバッグや調整作業の無駄を削減することができます。具体的には、複数の協働ロボットが 3 次元 CAD 上でアニメーション動作することで、動作不具合の早期検出や生産タクトの事前検証が可能となり、効率的なアプリケーション開発が実現できました。

3. デジタルツイン環境のインターフェースの紹介

今回開発したデジタルツイン環境ミドルウェアのインターフェースについてご紹介します。このミドルウェアには、以下のインターフェースが実装されています。

1. 協働ロボットコントローラシミュレータと 3 次元 CAD モデルの連携：
 - ⇒ 協働ロボットのコントローラシミュレータと 3 次元 CAD 上のモデルを紐づける機能です。これにより、仮想空間でロボットの動作を正確に再現できます(図 3)。
2. PLC シミュレータとの通信機能：
 - ⇒ PLC シミュレータとミドルウェアが通信する機能です。これにより、ロボットの動作と PLC の制御を同期させることができます。
3. モーション設定：
 - ⇒ ロボット以外のシリンダやサーボモータなどのアクチュエータの動作を設定する機能です。これにより、ロボット動作とのタイミング検証が可能になります。
4. I/O 設定：
 - ⇒ アクチュエータを動作させるためのトリガとなる PLC アドレスや条件を設定する機能です。

これにより、特定の条件下でアクチュエータを動作させることができます(図 4)。

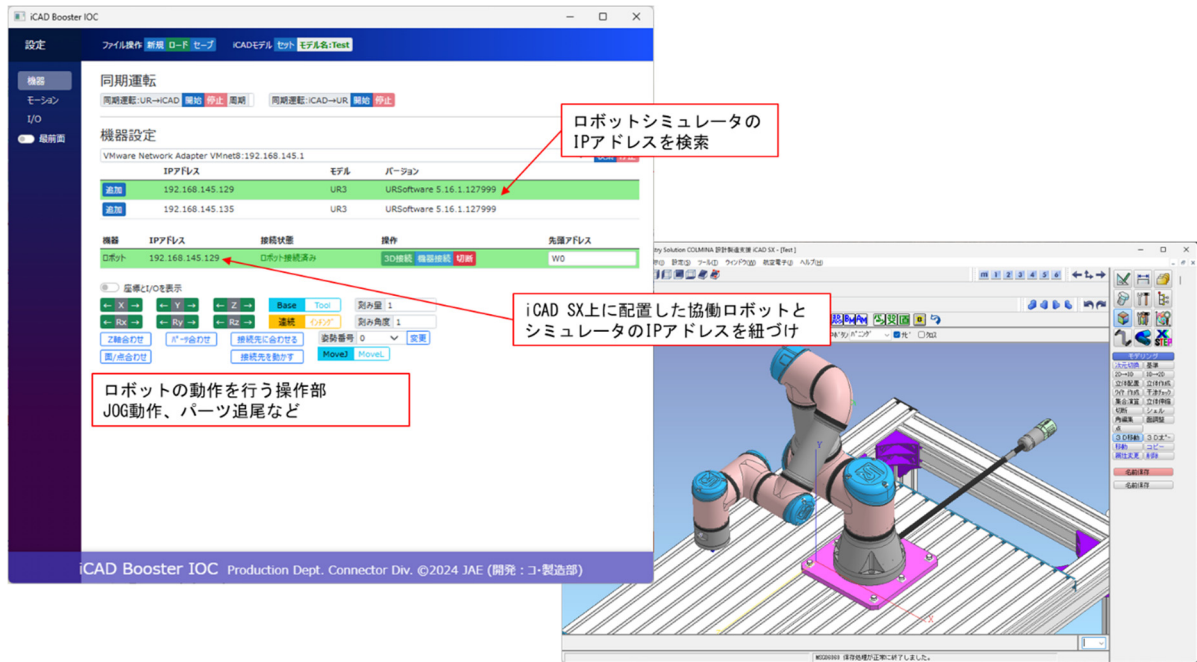


図 3. ロボット連携とロボット動作のインターフェース



図 4. モーション設定と PLC 通信連携のインターフェース

4. デジタルツイン環境の実運用の狙い

デジタルツインを開発することで、以下の効果が期待されます。

1. 装置組み立て後の問題点の事前排除:
 - ⇒ 部品発注前に CAD 上で動作上の問題を視認できるため、装置組み立て時の問題発生を排除できます。これにより、無駄なコストや時間の浪費を防ぎます。
2. デバッグ作業の効率化:
 - ⇒ 設計完了後に仮想空間でのプログラムデバッグが可能になるため、装置組み立て後のデバッグ作業の時間を大幅に短縮できます。これにより、製品の開発サイクルが短縮され、迅速な市場投入が可能となります。
3. タクト検証の実現:
 - ⇒ 協働ロボットのシミュレータと連動してアニメーション動作が可能であるため、実機のタクト検証を行うことができます。これにより、生産ラインの効率性を事前に確認し、最適化することができます。

これらの効果により、デジタルツイン環境は製造プロセスの効率化とコスト削減に大きく貢献します。さらに、設計段階での問題点を早期に発見し、修正することで、製品の品質向上にも寄与します。

5. まとめと今後の展望

本協働ロボットのアプリケーション開発における課題解決を目指し、3次元 CAD を活用して「デジタルツイン環境」を構築しました。このデジタルツイン環境により、設計段階でロボットの姿勢や動作軌道を仮想的に検証することができ、装置組み立て後のデバッグや調整作業における無駄を削減することが可能となりました。

具体的には、3次元 CAD システムをカスタマイズし、PLC およびロボットプログラムとの連携を通じて、ロボットの動作を仮想空間上でリアルタイムに再現することができました。この環境において、複数の協働ロボットがアニメーションで動作することにより、装置組み立て後の問題点検出や生産タクトの事前検証が可能となり、アプリケーション開発の効率化が実現しました。

また、このデジタルツイン環境は、設計段階での問題点を事前に可視化し、装置組み立て後の修正作業やデバッグ作業にかかる時間とコストを大幅に削減する効果がありました。さらに、協働ロボットと PLC のシミュレーションが連動することにより、シリンダやサーボモータなどのアクチュエータの動作も同期させ、より精緻な動作検証が可能となりました。

今後は、協働ロボットのデジタルツイン技術をさらに発展させ、より多くの生産現場での自動化、省人化、そして活人化を推進していくことが求められます。特に、作業のスピードと正確さを両立させるために、デジタルツイン技術は今後ますます重要な役割を果たすと考えています。引き続き、現場のニーズに対応できる柔軟なシステムを構築してまいります。

【参考文献】

- 1) 遠山茂樹、ロボット工学、コロナ社 (1994)
- 2) Keyley P. Hawkins, Analytic Inverse Kinematics for the Universal Robots UR-5/UR-10 Arms, Georgia Institute of Technology, (2013)