

FA システムの設計におけるイベントベースのモーションシミュレーション

庄司 英明*

Design of Factory Automation Systems using Event-based Motion Analysis

Hideaki Shoji*

要旨： 庄内校制御機械科では、平成 30 年度から総合システム実習において自動生産システムの設計・製作を行ってきた。今年度の実習ではキャップ収納装置に着手し、SOLIDWORKS のモーション解析によりモータのトルクを検証しながら設計を進めた。本報では、イベントベースのモーションシミュレーションを利用し、このシステムのスカラ型ロボットとキャップ収納装置の連携動作をシミュレーションした事例について報告する。

キーワード： 機構運動解析、イベントベース、モーションシミュレーション

1. 緒言

産業技術短期大学校庄内校制御機械科では、平成 30 年度から、専門実習科目の総合システム実習において自動生産システム（以下 FA システム）の設計・製作に取り組んできた。

この FA システムでは、仕様を満足するアクチュエータの必要トルクを求める際、理論的な計算に加え、CAE 技術として機構運動解析のシミュレーションを行い、方向性に問題がないか検討しながら設計を進めてきた。

本報では、FA システムのベルトコンベアに組み込んだスカラ型ロボットと今年度製作したペットボトルキャップの収納装置との連携動作について、従来の時間ベースの解析と異なるイベントベースの手法を使いシミュレーションした事例について報告する。

2. FA システムについて

自動販売機などで扱っている清涼飲料水のペットボトルは様々な色のキャップが使われている。令和 2 年度の総合システム実習では、このキャップの色を判別し各色に分別回収する収納装置を製作した。3次元 CAD SOLIDWORKS2018 で設計した FA システムを図 1 に示す。このシステムは使用済のペットボトルのキャップ内面の汚れ状態を画像処理で検査し仕分けをする装置として開発

に着手したもので、キャップをセットするターンテーブル装置、汚れ検査用のベルトコンベアライン、そしてキャップを移送するための 2 基のスカラ型ロボットを設置していた。

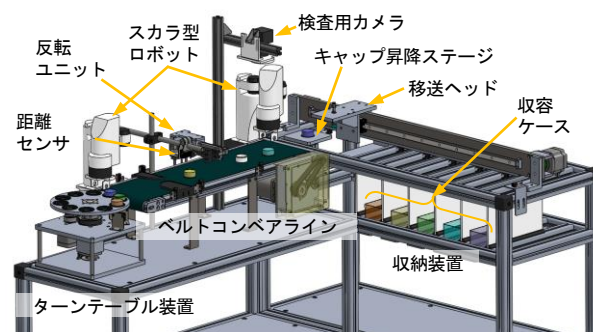


図 1 FA システムの構成

ターンテーブル装置にはキャップを表裏の区別なく最大 10 個までセット可能で、ピックアップ位置まで回転移動したキャップは、スカラ型ロボットにより次の検査用ベルトコンベアラインに移送される。コンベアでは、上部に設けた距離センサを使い、キャップの表裏の状態を判断し、空気圧のロータリーアクチュエータとエアチャックによる反転ユニットでキャップ内面を検査用カメラに向けるよう反転させる。画像処理による汚れ判別後、コンベア終端に設置したもう一台のスカラ型ロボットが分別作業を行うところまで完成していた。

今年度の実習では、FA システムの最終工程となる収納装置を設計製作することにしたが、システム全体のタスクタイムの短縮が必要であると考え、設計仕様を表 1 のようにした。

* 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: shoji@shonai-cit.ac.jp

* Shonai College of Industry & Technology
3-57-4 Kyoden, Sakata City, Yamagata, 998-0102, Japan
e-mail: shoji@shonai-cit.ac.jp

表1 収納装置の設計仕様

駆動方式	タイミングプーリとタイミングベルト駆動
ベルト駆動用アクチュエータ	5相ステッピングモータ
最大移動距離	搬送ヘッドの移動距離 600mm
移動時間	位置決め時間 0.5 秒以内
モータ制御方法	加減速による台形駆動とし加減速時間はそれぞれ 0.1 秒
キャップのハンドリング方法	ガイドロッド形空気圧シリンダによりキャップが置かれた昇降ステージを持ち上げ、真空エジェクタとバッファ付き真空パッドφ13で吸着後、格納位置まで水平移動し、真空破壊により収容ケースへ投下

この収納装置の設計では、0.5 秒以内で高速位置決めを行うアクチュエータの選定が問題となった。そこで、真空パッドを取り付ける移送ヘッドの材質をアルミ合金とし、SOLIDWORKS でモデリングしたパートからアセンブリを構築し慣性特性を調べ、加減速に必要なモータトルクを理論式に基づき計算したが、計算結果の確認と運転パターンを変更した場合の必要トルクをすぐに再検討できるように、モーション解析も行うことにした。

3. 時間ベースの運動解析

機械システムの設計において機構運動解析を利用する目的は、動力的現象を再現し、設計の方向性の事前検証や設計変更を検討していく場合が多く、力学的現象をいかにモデル化するかが重要になる。SOLIDWORKS のモーション解析では、機構運動解析ソフト ADAMS と同様にアクチュエータの運動定義として STEP 関数を使用することができる。この STEP 関数は、運動の状態が過渡的で不連続に変化するような現象を 3 次曲線で滑らかに変化させる際に利用でき、機構運動解析ではよく使用される関数である。今回の収納装置において設計仕様を満足するためには、ステッピングモータの回転数を、静止状態から 0.1 秒間に 1000[r/min] (6000[deg/s]) まで加速させ、その後 0.3 秒間は等速度回転運動を行い、最後の 0.1 秒で停止させることにした。この回転速度の定義を STEP 関数で記述すると

$\text{step}(\text{time}, 0, 0, 0.1, 6000) + \text{step}(\text{time}, 0.4, 0, 0.5, -6000)$

となり、二つの STEP 関数を加算しなければならず運動の定義が複雑になっていた。SOLIDWORKS では容易に運動を定義する方法として、データ点による定義が利用可能となってい

る。この方法を使うと、各時刻に対する運動を表形式で入力でき、定義した運動の変位・速度・加速の状態をグラフで確認できるため、STEP 関数に比べ定義作業が簡単にできるようになっている。データ点入力によるステッピングモータの運動（速度）の定義を表 2 に示す。この解析では台形駆動とするため補間タイプには線形を用いたが、このほか Cubic スプライン、Akima スプラインなども利用することができる。時間ベースの運動解析で確認したステージの変位と、この運動を実現するために必要なトルクを図 2 に示す。理論計算による必要トルクは約 0.18[N・m]であり、モーション解析もほぼ一致する結果が得られている。

表2 データ点による台形駆動の定義

時間 [s]	ステッピングモータの回転速度 [deg/s]
0	0
0.1	6000
0.4	6000
0.5	0

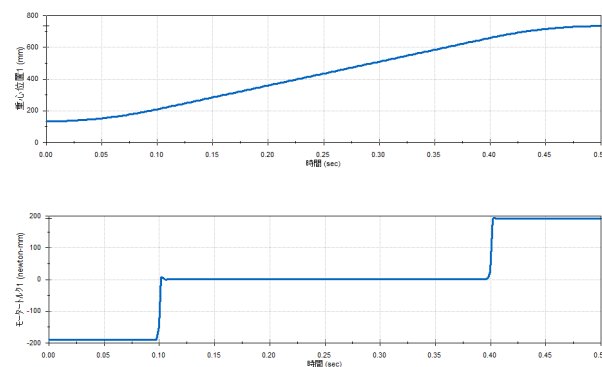


図2 時間に対する変位とモータの必要トルク

収納装置は、キャップを吸着し収容ケースに投下させるため、ガイドロッド形シリンダとステッピングモータの二つのアクチュエータを連携して制御することにした。ステッピングモータの運動は表 2 に示す台形駆動とするため時間に対する速度で定義し、空気圧シリンダはストロークの二位置間での運動となるため時間に対する変位を使い定義することにした。ステッピングモータとシリンダの運動定義をそれぞれ図 3 と図 4 に示す。時間ベースのモーション解析では、このように定義した運動を一つずつ入力していく作業となるため、シリンダの動作タイミングを変更してしまうと、それに追従し連動させるステッピングモータの運

動時刻も、修正しなければならなくなる。

このように、時間ベースによるシミュレーションでは、一つの運動の動作タイミングを変更すると、関連するすべての運動の時刻を修正する作業が発生するため、アクチュエータが多数組み込まれた FA システムの動作検証には適した手法ではないことから、イベントベースのシミュレーションを行うことにした。

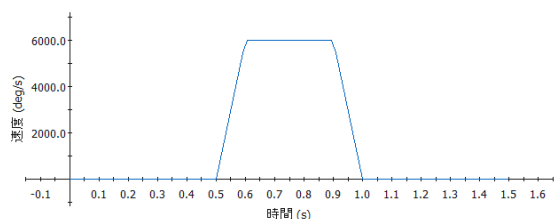


図3 モータの速度

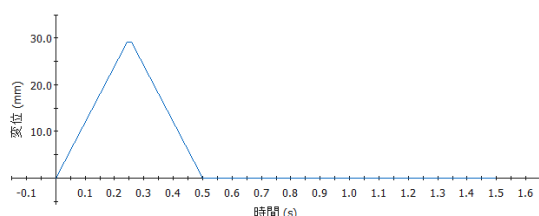


図4 空気圧シリンダの変位

4. イベントベースの運動解析

SOLIDWORKS では、実際の FA システムのようにセンサの入力やアクチュエータの動作完了により次の動作を制御する方法としてイベントベースの運動解析が提供されている。このイベントベースでは、「動作」とその動作を開始させる「トリガ」のセットを一つの「タスク」として設定し、動作テーブルとタイムチャートを使い定義していく入力作業になる。動作テーブル上でタスクの変更が可能であり、他のアクチュエータとのタイミングがわかりやすいため、運動定義の修正作業も効率よくできる。「トリガ」は動作の開始を定義するもので、近接、干涉認識、寸法（機構部品の相対的な位置）などのセンサや、あるモーションの開始・終了時刻を利用できるようになっている。また、トリガではセンサが反応した数秒後に動作を開始させるような遅延時間も設定が可能である。「動作」は、任意のアクチュエータ（直動モータ、回転モータ）の起動・停止、指定時間における運動や力の変更、各対偶の拘束状態の変更などが設

定できる。アクチュエータの運動プロファイルには、直線、等加速度、サイクロイド、調和関数なども指定することが可能となっている。

5. スカラ型ロボットと収納装置の連携

イベントベースのシミュレーション手法により、キャップの色判別の完了後、ロボットがキャップをベルトコンベアから収納装置のキャップステージに移動させ、収容ケースに投下するという一連の動作を解析してみた。実際に使用しているスカラ型ロボットは、2本のアームのそれぞれの回転、ハンドの上下移動と回転、ハンドの開閉の動作が可能である。通常、産業用ロボットは、各可動軸の回転角度や手先効果器の座標指示で操作できるよう専用のコントローラで制御される。SOLIDWORKS ではこのような制御ライブラリは用意されていないが、イベントベースの解析では、動作テーブルの設定に従い運動するサーボモータが利用できるようになっている。

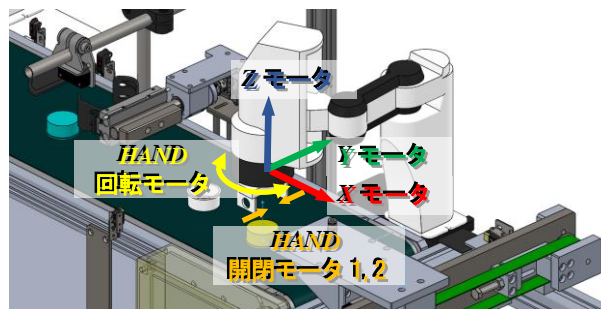


図5 スカラ型ロボットのサーボモータ

そこで、ロボットの各関節がハンド先端部に設定したローカル座標系の運動定義で追従するように、XYZ 軸の各軸方向に3個のサーボモータを設定することにした。このほか、ハンドの回転に1個、ハンドの二つの爪の開閉用として2個の運動もサーボモータで定義した。図5にスカラ型ロボットに定義したサーボモータを示す。また、収納装置ではステージ昇降用空気圧シリンダと、タイミングベルト駆動用ステッピングモータの回転軸にそれぞれサーボモータを定義した。

このほか、解析モデルでは、ベルトコンベア装置のベルトとキャップの接触、スカラ型ロボットの爪とキャップで保持状態を再現するためのロック拘束、キャップの昇降ステージや真空パッドとの接触、真空パッドに吸着し搬送するためのロック拘束、キャップが収容ケースへ投下し収まるた

めの接触も定義している。

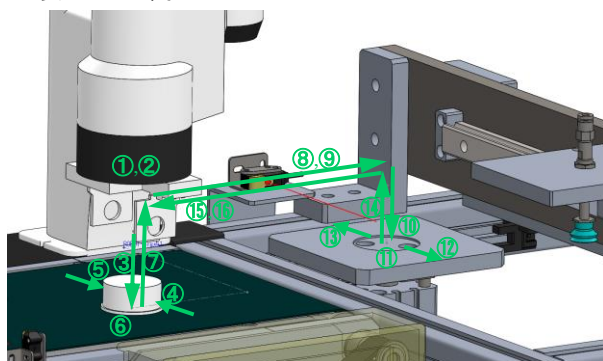


図6 検査用スカラロボットの動作工程

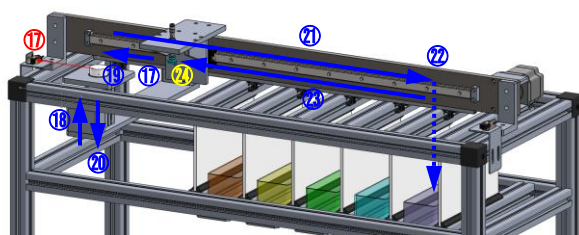


図7 収納装置の動作工程

表3 FA システムの動作テーブル

工程	タスク名	トリガー		時間/遅延	動作					
		トリガー	状態		フィード	動作	値	継続時間	プロファイル	
①	拘束解除	時間		0.01s	移動点拘束一致	OFF				
②	HAND-回転ロック	時間		0.1s	HAND回転センサー	変更	0deg	0s	直線	
③	MOV1-Z接近	時間		0.1s	Zセンサー	変更	-35mm	0.5s	直線	
④	HAND1-閉	MOV1-Z接近	タスク終了	0.1s	遅れ	HANDセンサー1	変更	-4.25mm	0.2s	直線
⑤	HAND2-閉	MOV1-Z接近	タスク終了	0.1s	遅れ	HANDセンサー2	変更	-4.25mm	0.2s	直線
⑥	CAP保持	HAND2-閉	タスク終了		<なし>	CAPとHANDロック2	ON			
⑦	MOV2-Z上昇	HAND2-閉	タスク終了	0.1s	遅れ	Zセンサー	変更	35mm	0.5s	直線
⑧	MOV3-Y移動	MOV2-Z上昇	タスク終了	0.01s	遅れ	Yセンサー	変更	20mm	0.5s	直線
⑨	MOV4-X移動	MOV2-Z上昇	タスク終了	0.01s	遅れ	Xセンサー	変更	167.5mm	0.5s	直線
⑩	MOV5-Z降下	MOV4-X移動	タスク終了	0.01s	遅れ	Zセンサー	変更	-24mm	0.5s	直線
⑪	CAP開放	MOV5-Z降下	タスク終了	0.01s	遅れ	CAPとHANDロック2	OFF			
⑫	HAND1-開	CAP開放	タスク終了	0.01s	遅れ	HANDセンサー1	変更	4.25mm	0.2s	直線
⑬	HAND2-開	CAP開放	タスク終了	0.01s	遅れ	HANDセンサー2	変更	4.25mm	0.2s	直線
⑭	MOV6-Z戻り	HAND2-開	タスク終了	0.01s	遅れ	Zセンサー	変更	24mm	0.5s	直線
⑮	MOV7-Y戻り	MOV6-Z戻り	タスク終了	0.01s	遅れ	Yセンサー	変更	-20mm	0.5s	直線
⑯	MOV8-X戻り	MOV6-Z戻り	タスク終了	0.01s	遅れ	Xセンサー	変更	-167.5mm	0.5s	直線
⑰	CAP感知	近接センサ1	警告	1.5s	遅れ	STEPセンサー	変更	-540deg	0.3s	調和
⑱	シリンダ上昇	キャッチ感知	タスク終了	0.1s	遅れ	LIFTUPシリンダ	変更	30mm	0.3s	調和
⑲	CAP吸着	シリンダ上昇	タスク終了		<なし>	CAPとPADロック3	ON			
⑳	シリンダ降下	シリンダ上昇	タスク終了	0.1s	遅れ	LIFTUPシリンダ	変更	-30mm	0.3s	調和
㉑	格納位置移動	シリンダ降下	タスク終了	0.1s	遅れ	STEPセンサー	変更	2400deg	0.5s	調和
㉒	CAP投下	格納位置移動	タスク終了	0.1s	遅れ	CAPとPADロック3	OFF			
㉓	待機位置戻り	CAP投下	タスク終了	0.1s	遅れ	STEPセンサー	変更	-1860deg	0.4s	調和
㉔	解析停止	待機位置戻り	タスク終了		<なし>	モーション解析終了				

図6と図7にスカラ型ロボットと収納装置の連携動作を、また表3と図8に動作テーブルとタイムチャートを示す。表3において、工程①から⑯まではロボットのタスク、⑰から㉓までは収納装置のタスクを示している。⑰のタスクでは、キャップが昇降ステージに設置されるのを近接センサで常に監視しており、感知後0.8秒後に⑰以降の

タスクが動作するようになっている。

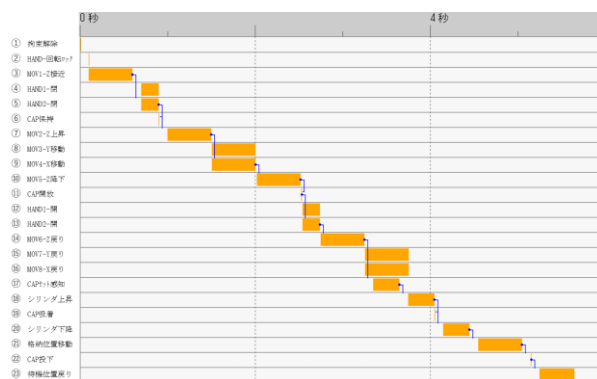


図8 各タスクのタイムチャート

FA システムの設計では、ロボットなど装置の動作範囲やレイアウト、動作タイミングとタスク時間の検討も重要な項目である。スカラ型ロボットは各可動軸の動作範囲に限界があり、指示した移動の軌跡を満足する姿勢をとることができない場合があるが、この解析でベルトコンベアからキャップ昇降ステージまでのピックアンドプレイス動作(X方向167.5[mm], Y方向20[mm]の直線補間移動)が可能であることを確認した。

6. 結 言

令和元年度に開催された県立職業能力開発大学校職員研修会において、各校のメカトロニクス装置開発における CAE によるシミュレーションの状況を聞いたところ、ほとんど利用していないということであった。3次元 CAD でモデリングからアセンブリまでは構築しても、その先のシミュレーションまでは必要がない、または解析や操作が難しいことなどが背景にあると思われる。

本報では、ロボットを組み込んだ FA システムの動作を検討する手法として、イベントベースによるモーションシミュレーションの導入事例を紹介した。各動作のタイムチャートを参考に PLC と同じような思考で解析を実行できるため、シーケンス制御を学ぶ学生にとっても比較的容易にシミュレーションが可能であり、今後の FA システムの設計開発手法としてカリキュラムに導入していきたいと考えている。

文 献

- 1) ㈱電通国際情報サービス：Adams 入門セミナー(MD Adams2011, MSC Adams2011), 初版 2011.5.17