

## 製造装置向け簡易シミュレーション環境構築技術 Lightweight Simulation Technology for Response Timing of Manufacturing Systems

内海 力郎<sup>†</sup> 大貫 智洋<sup>†</sup>  
Chikara Utsumi Tomohiro Onuki

### 1. はじめに

製造装置の机上シミュレーションは制御プログラムやパラメータの検証、装置異常原因の特定などに有効である。一般的な製造装置は PLC(Programmable Logic Controller)とメカ(物理的な機構や応答システム)が相互に連携することで一連の動作を行う。このため、全体をシミュレーションするためには PLC だけでなく、被制御側であるメカのシミュレーションも行う必要がある。メカのシミュレーションには一般的に応答モデルや 3D シミュレーションなどを用いるが、入出力信号の設定や実機との合わせこみにコストがかかることが課題である。

そこで、本稿では PLC から収集した制御信号のログデータに基づき、メカ側のシミュレーションを半自動構築する手法を提案する。ログデータからメカ側の信号の関係を分析し、その変化関係をモデル化することでメカ側の応答モデルを構築する。本技術を使用することで、既に動作可能な装置において、実態に即したシミュレーション環境を比較的容易に構築可能である。

### 2. 背景

#### 2.1 PLC とメカの関係

製造装置において PLC はメカの動作開始と完了の信号を ON/OFF の状態を持つ信号(PLC 内ではデバイスと言われる)で扱うことが多い。PLC から見て入力(メカ側の応答)を X デバイス、PLC から見て出力(メカ側にとっての指令値)を Y デバイスとして扱うのが一般的である。X,Y デバイスを用いた連携の例を図 1 に示す。この例では PLC から搬送部動作指令信号(Y1)が ON になるとメカである搬送部が動

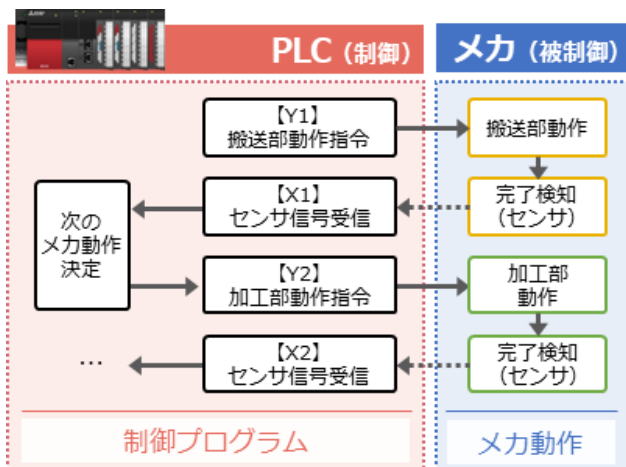


図 1 PLC とメカの相互通信

<sup>†</sup>三菱電機株式会社 情報技術総合研究所, Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corporation

作し、結果として完了位置のセンサが反応する。センサ反応は PLC 側にセンサ信号(X1)として入力され、PLC 内の制御ロジックの結果として加工部の動作指令(Y2)が ON になる。このように、製造装置では PLC による制御とメカによる応答を繰り返すことで一連のプロセスを実行する。装置構成によってはアナログ信号やネットワーク通信を介してデータの送受信を行う場合もあり、こういった場合には制御プログラム上で比較演算などを通じて ON/OFF の信号に置き換えて扱うことが多い。

#### 2.2 装置シミュレーションの課題

製造装置のシミュレーションにおいて、PLC 側のシミュレーションはメーカー各社が提供するソフトウェアを用いることで、比較的簡単に実施できる。対して、メカのシミュレーションには模擬応答システムの構築や 3D シミュレーションの活用[1]などの方法が使用される。これらの手法に共通する課題は、PLC シミュレーションと比較して構築コストが高い点にある。これは、メカ側の応答が物理的な位置関係や機構動作の結果として生じるため、関係性を正しく定義するために複数の情報源にあたる必要があるためである。さらに、実機の動作速度などを厳密に反映させるには実測や物理的な計算を要し、メカの応答モデル1つを設定するだけでも、装置に対する深い理解が必要となる。また、ある時点での正確なシミュレーション環境を構築できても、装置の拡張や改造などに伴い実機の動作が変わると、シミュレーションと実機が整合しなくなる問題もある。

### 3. 提案手法

本稿では、メカのシミュレーションを簡単に実施するため、PLC から収集したログデータを活用する方法を提案する。PLC のログデータは実機動作時の各デバイス値を定周期で記録したデータである。このデータからメカの応答パターンを抽出することで、最小限のユーザー作業でメカの応答モデル(以降メカモデル)を構築することが可能である。本システムのメカモデルは、ある Y デバイスの変化(ON/OFF)から X デバイスの変化の時間間隔として定義される。メカの動きを模擬するという観点では、より高度なメカモデルも設定可能だが、実施の容易性を考慮して最も簡単な機能のみ持つものとした。

Y デバイスの変化に対して原因となる X デバイス変化をログデータから特定するため、図 2 の様な判定ロジック(デバイス関係性抽出)を用いる。Y デバイスの変化は周期的に発生するため、まずパターンごとに X デバイスの変化の時間間隔をデータ化する。次に、Y デバイスの変化に対して十分に発生している X デバイス変化のうち、変化間隔のばらつきが小さいものを原因デバイスとして定義する。この作業をすべての Y デバイス変化に対し行い、最後にメカモデルを含めた全体の流れが確認できれば抽出を完了する。

尚、全体の確認作業は現時点では人手で行っているため、メカモデルの設定は完全には自動化されていない。

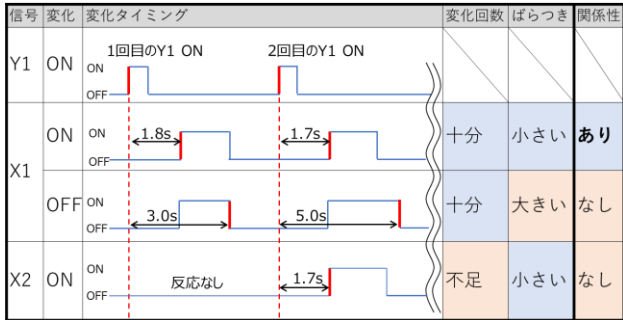


図 2 デバイス関係性抽出の例

#### 4. 検証実験

##### 4.1 実験設定

提案シミュレーションシステムの機能検証のため、模擬製造装置を用いた実験を行う。模擬製造装置は特定の条件で異常が発生する設定になっており、シミュレーション上でこの異常の再現と修正検証を行う。対象となる模擬製造装置の概要を図 3 に示す。

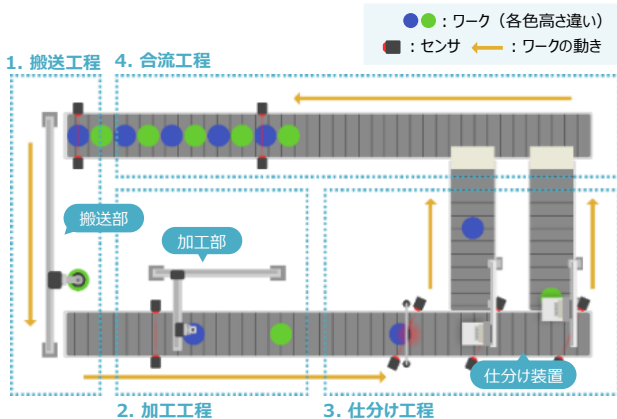


図 3 検証用装置の概要

模擬製造装置には 4 つの工程があり、それぞれの工程で複数のメカが動作している。搬送工程を例に挙げると、軸移動、吸着など 5 個のメカが順に動くことでコンベア間のワーク受け渡しを行う。工程間の同期処理は行われておらず、工程毎にワークを検出次第プロセスが進行する。

装置異常の発生原因について説明する。模擬製造装置では高さの違う 2 つのワークを扱っており、ワークごとに搬送速度と加工速度が異なる。ワーク A では搬送が遅いが加工が早く、ワーク B では搬送が速いが加工が遅い。通常はワーク A,B が交互に投入されるが、ワーク B が連続して投入されると搬送工程完了時点で一個前のワークの加工工程完了が間に合わず、異常状態として装置全体が停止する。

実験では加工速度の調整は変更できないものとし、搬送時間を調整することで異常の発生を抑制できるか検証する。シミュレーションでは軸移動のメカモデルの動作時間を変更することで搬送時間を調整可能である。シミュレーション、実機の双方で搬送時間を変更しつつ動作を行い、異常発生有無を比較した。

#### 4.2 実験結果

シミュレーション、実機における搬送時間ごとの異常発生有無を表 1 に示す。シミュレーションでは搬送時間を 3.1 秒以上に設定することで異常が発生しなくなることが確認された。対して実機では 2.8 秒以上で異常が発生しなくなることが確認でき、0.3 秒程度の誤差が確認された。

表 1 シミュレーション結果

搬送時間 [s]	シミュレーション時の異常の発生有無	実装置における異常発生有無
2.7	有	有
2.8	有	無
2.9	有	無
3.0	有	無
3.1	無	無

#### 4.3 考察

実験結果から、提案シミュレーションシステムで実機における異常の再現や、解決のためのパラメータの探索がある程度可能であるといえる。一方で、異常が発生するパラメータには実機とシミュレーションで誤差があった。この誤差は PLC シミュレーションとメカモデルの通信遅延によるものである。今回の実装においてはメカモデルと PLC の通信にリクエスト/レスポンス方式を用いており、PLC シミュレーション上のデバイス変化をメカモデルが検知するまでに最大 0.1 秒の遅延が発生する。メカモデルは搬送工程より加工工程の方が多く、結果としてシミュレーションでは実機より搬送時間の猶予が短くなったと考えられる。

#### 5. おわりに

本稿では製造装置の動作を机上シミュレーションするための簡易シミュレーション環境構築技術を提案した。PLC のログデータを分析することで、従来は構築コストが大きかったメカの応答モデルを半自動で構築することが可能となる。また、実機の改造への追従もデータを取り直すだけで良いため、容易であるといえる。

検証実験ではシミュレーション上でも実機と同様の装置異常が発生することが確認でき、パラメータ変更による異常修正もシミュレーションできた。一方でシミュレーションと実機には誤差があることも確認された。誤差の原因は実装上の通信遅延であり、MQTT など Pub/Sub 方式の通信や共通メモリを使用することで改善が可能である。ただし、これらは PLC シミュレーション側の I/F にも依存しており、高速化と実施の容易性がトレードオフになる場合がある。今後の研究ではシミュレーションの実施容易性を重視しつつ、実機との誤差解消、メカモデル設定の自動化を目指してシステム改良を行う予定である。

製造装置シミュレーションは対象装置の構成やシミュレーション目的によって適切なシミュレーション方式が異なる。提案方式は最も簡単なシミュレーション構成として導入的に実施し、必要に応じてより高度なシミュレーションを実施するなど、段階的な活用拡大を期待している。

#### 参考文献

[1] Tebani Karima, Mihoubi Bachir, Kadri Mohamed, Mehdi Gaham, Bouzouia Brahim, Hardware-In-the-Loop Simulation for Validating PLC Programs, (2015)