

# リアルタイム産業機械向けエミュレータの開発

## - 個別ユニットエミュレータの試作 -

横山 哲也    田畑 克彦    藤井 勝敏    大野 尚則    稲葉 昭夫

## Development of Real-time Emulator for Industrial Machine

### - Prototype of Emulator for Arm Robot -

Tetsuya YOKOYAMA    Katsuhiko TABATA    Katsutoshi FUJII  
Naonori OHNO    Akio INABA

**あらまし** 産業用機械の組込みソフトウェアの開発には、実機の動作を模擬するエミュレータの活用が有効である。本研究では、産業機械を構成する個別ユニットを制御する組込みソフトウェアの検証用エミュレータとして、組込みソフトウェアの挙動と論理的に同期して実機の動作を模擬する「個別ユニットエミュレータ」の開発を行った。本稿ではその試作について報告する。

**キーワード** 組込みソフトウェア、マイコン、エミュレータ、HIL (Hardware In the Loop)

### 1. はじめに

近年、製造業で多用される産業機械の開発期間は短縮傾向となっている。また、産業機械における組込みソフトウェアへの機能要求が高度化している。このため、組込みソフトウェアの検証時間が十分に確保できずに、機能安全性の低下を招いている。実機と、実機を動かす組込みソフトウェアの統合検証は、両者の完成を待って行われる。多くの場合、組込みソフトウェアが先に完成することから、実機が完成するまでの間に手待ち状態が生じ、開発効率が低下する。また、複数の部署が開発を行う場合、実機が部署数分ないと並行して検証を行うことができないため手待ち状態が増加し、更に開発効率が低下する。この解決策として、数値計算に基づき実機と同様に振舞うシステム（以下、エミュレータ）を用いて、実機の完成を待たずに検証を行う手法、HIL(Hardware In the Loop)<sup>[1]</sup>がある。HILは開発期間が短い自動車業界において、電装部品ECU(Electronic Control Unit)の検証に、多く活用されている。

エミュレータを実現するにあたり、組込みソフトウェアが実装される組込みコントローラとエミュレータ間で計算を同期させる必要がある。これは両者のクロックおよび計算量が異なることを前提に、論理的な時間軸（以下、論理時間）を同期させることである。先述のECU検証で利用されているHILによるエミュレータは、専用ハードウェアを用いてエミュレータクロックをECUクロックより速くすることで、同期を実現している。つまり、エミ

ュレータを高速化することで組込みコントローラの計算周期に同期している。しかしながら、エミュレータは組込みコントローラのクロックより高速な装置を用意しなければならないため、必然的に高価となる。

本研究では、産業機械を構成する個別ユニットの機構の挙動を、組込みコントローラの挙動と論理時間軸で同期して計算する「個別ユニットエミュレータ」を開発する。計算周期を論理時間軸で同期させることで、高速クロックの装置を用意する必要がなく、廉価な装置を開発できると考える。本稿では、平成19/20年で開発した個別ユニットエミュレータの試作について記述する。

### 2. 個別ユニットエミュレータ

個別ユニットエミュレータは、図1に示すエミュレータ部、デバッグインターフェースとデータコンバータで構成され、組込みコントローラで制御される。以下に、個別ユニットエミュレータの構成要素について記載する。

#### 2.1 エミュレータ部

エミュレータ部は、産業機械を構成する個別ユニットの機構の挙動を、組込みコントローラの挙動と論理時間軸で同期して計算する。本研究では個別ユニットとしてアームロボットを取り上げ、機構解析ソフトMD adamsと数値計算ソフトMatlab/Simulinkを用いて、エミュレータ部を構築した。

エミュレータ部は、入出力部、モータモデル部、機構モデル部の3つのモジュールで構成される。入出力部は、

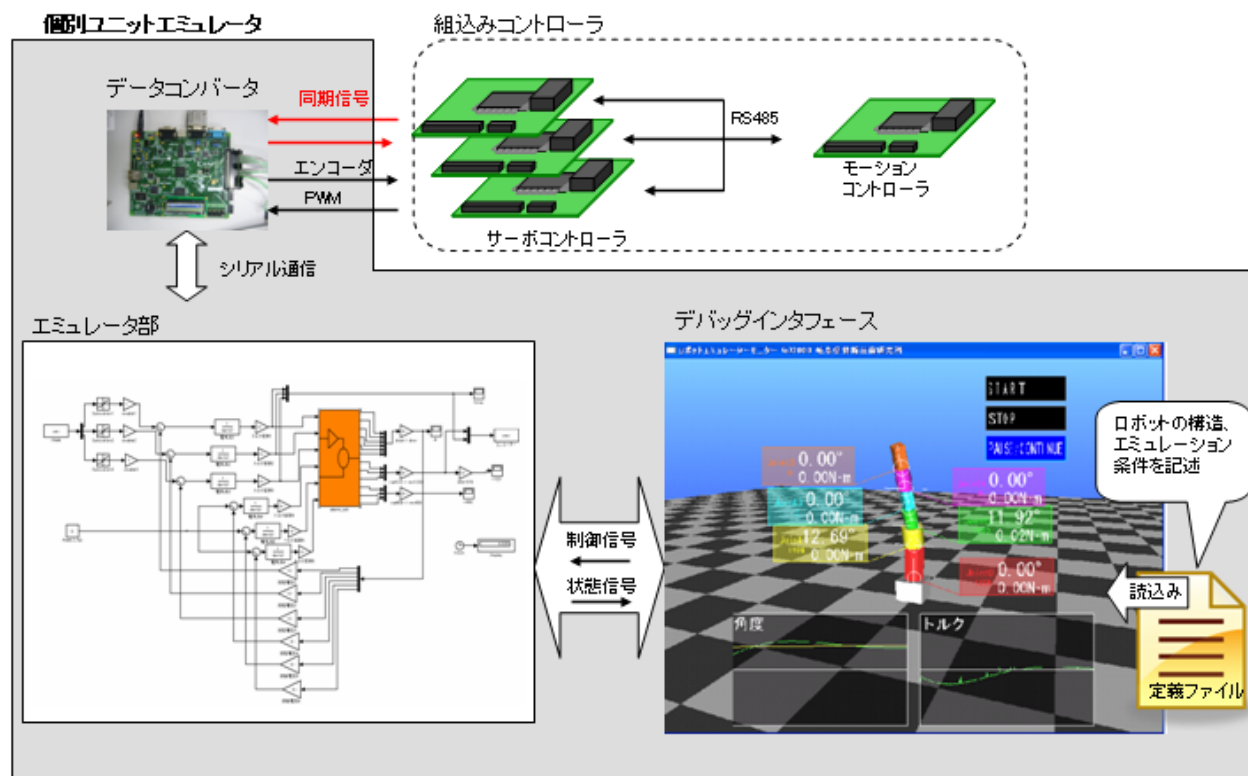


図1 個別ユニットエミュレータの構成

組込みコントローラからデータコンバータを介して制御信号を受取り、モータモデル部と機構モデル部の処理結果を、データコンバータを介して組込みコントローラに出力する。モータモデル部は、組込みコントローラからの制御信号と機構モデル部でのエミュレーション結果に基づいて、電気的な挙動を模倣する。機構モデル部は、個別ユニットのアームロボット機構部分のモデルデータとモータモデル部の出力（トルク情報）に基づいて、機構の挙動をエミュレートする。

エミュレータを実現するにあたり、組込みコントローラとエミュレータ部間で計算の歩調を同期させる必要が

ある。本研究では、組込みコントローラの計算周期をエミュレータの計算周期に合わせる手法とした。同期信号のフラグに基づいて、エミュレータ部と組込みコントローラをあらかじめ定めた論理時間だけ実行することにより、両者の挙動の同期を実現した。

図2に機構解析ソフトで構築したアームロボットの機構モデルを示す。ロボットの機構は6関節を有するシリアルリンク型で、各関節には減速器を備えた構造となっている。

## 2.2 データコンバータ

データコンバータは、エミュレータ部と組込みコントローラとの通信を行うユニットである。その機能は、開発対象となる複数の組込みコントローラから送信されるモータ駆動用のPWM信号を計測し、必要データをエミュレータ部に送信すること、また、エミュレート後のモータ回転角を表すエンコーダデータを解析し、各コントローラにエンコーダパルスをフィードバックすることである。

前述したデータコンバータの機能は下記の3つの通信に分類することができる。これらの通信は、同期信号線を用いて送受信を行う。この通信の接続図を図3に示す。なお、図中では組込みコントローラの数として3としている。

### ① 組込みコントローラ間通信（モータ駆動関連）

各コントローラから指令値として、モータ駆動のためのPWM信号のパルス幅と回転方向を受信し、計測する。

現在、3個のコントローラが接続されており、それぞれの計測結果を時系列的に変換する機能を有する。



図2 アームロボットの機構モデル

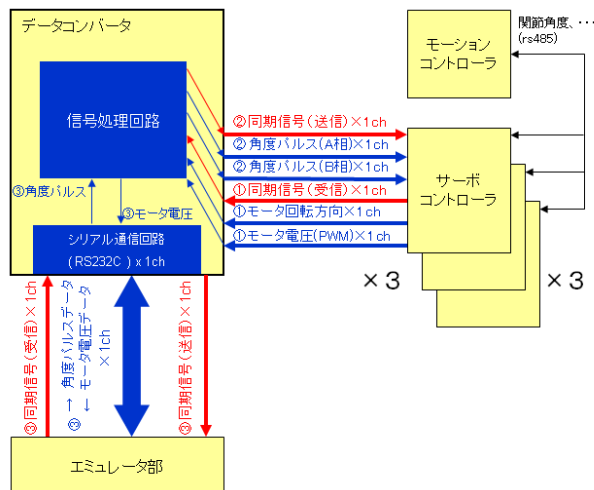


図3 データコンバータ信号配線図

## ② 組込みコントローラ間通信（関節角度パルス関連）

エミュレータ部にて計算した結果として、制御周期間のモータ回転数（エンコーダパルス数）と回転方向が、データコンバータにシリアル通信で送信される。データコンバータは受信したデータをもとに、各コントローラへ擬似的なエンコーダパルスをパラレルに送信する。

エンコーダ送信用の信号は、A相およびB相パルスを生成可能とし、これらに位相差をもたせることで、実機と同様の手法でモータ回転方向を表現できる。

## ③ エミュレータ部間通信

エミュレータ部とデータコンバータとの通信は、1CHのシリアル通信を用いて行う。データコンバータは、3個のコントローラから①のモータ駆動関連の信号をほぼ同時に受信するので、これらの信号情報を1CHで送信できるよう変換する。また、データコンバータは、エミュレート後の3個のコントローラに関する関節角度関連の信号を受信後、②を介して各コントローラへ同時に送信する。

## 2.3 デバッグインターフェース

デバッグインターフェースは、エミュレータ部の計算結果を表示する機能、およびエミュレータ部に対する制御機能を有する。図1に記載する定義ファイルで、デバッグインターフェースの制御機能を定義することができる。

デバッグインターフェースの具体的な機能を以下に記す。

### ➤ エミュレータ部の計算を一時停止／再開。

…GUI に表示されるボタンのクリックによって、エミュレータ部に制御信号を送ることができる。

### ➤ 計算結果の表示とログ保存

…エミュレータ部から送られてきたロボットの関節角度およびトルクデータを、数値として表示するとともに、グラフとしても表示する。また、ログファイルとしても記録し、後から参照できるようにする。

## ➤ ロボット機構のCG描写

…定義ファイルで記述されたロボットの構造に従って、CGで表示する。

## ➤ 条件ブレイク

…定義ファイルでロボットの関節角度、トルクの値の閾値を設定する。その閾値を越えた値を受信すると、エミュレータ部に対して、一時停止の制御信号を送る。

## ➤ ステップ実行

…エミュレータ部の計算を1ステップ毎に実行できるように、制御信号をエミュレータ部に送る。

図1に記載する定義ファイルでは、エミュレータ部にどのようなデータを送信するか、ユーザが決めることができる。また、ロボットアームの形状および構成も記述可としている。

## 3. 動作確認

個別ユニットエミュレータと組込みコントローラを用いて、アームロボットの動作を制御できるか確認する。

アームロボットの動きは、図1に記載する組込みコントローラを用いて制御する。組込みコントローラは、モーションコントローラとサーボコントローラに分類される。モーションコントローラはPCから送られるコマンドを解釈し、サーボコントローラにコマンドを送信する。サーボコントローラは、アームロボットの関節毎に用意され、ロボットの関節角度を制御する。ただし、ここではベース関節からの関節#1～3に対してのみ、サーボコントローラを用意した。図4に、組込みコントローラの構成を示す。PCとモーションコントローラ間はPeer to Peer(RS232C)、モーションコントローラとサーボコントローラ間はマルチドロップ(RS485)となっている。

関節#1に対して目標角度5度、関節#2に対して目標角度10度、関節#3に対して目標角度15度を与えた際のデバッグインターフェース画面を図5,6に示す。図5は目標値を与えた直後のスナップショットであり、グラフよりトルクが垂直に立ち上がっていることがわかる。図6は十分な時間が経過したあとのスナップショットで、目標角度に対して近い値にロボット関節が動いていることが、数値表示からわかる。

以上より、組込みコントローラを用いてアームロボットのエミュレータを制御し、その際のエミュレータ計算結果を、デバッグインターフェースを介してモニタできることを確認した。

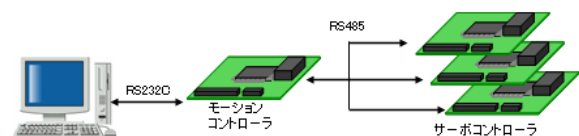


図4 組込みコントローラの構成

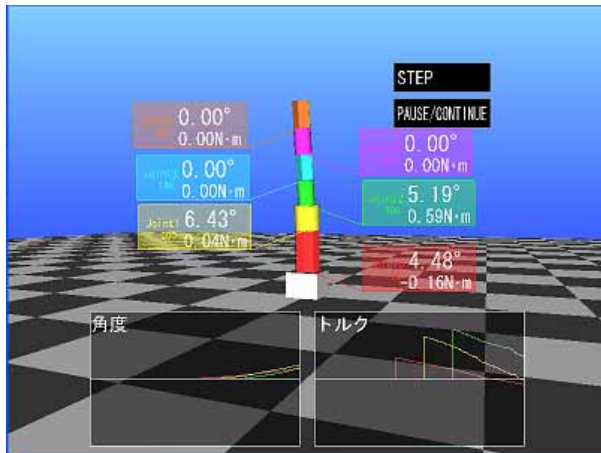


図5 デバッグインターフェース表示(1)

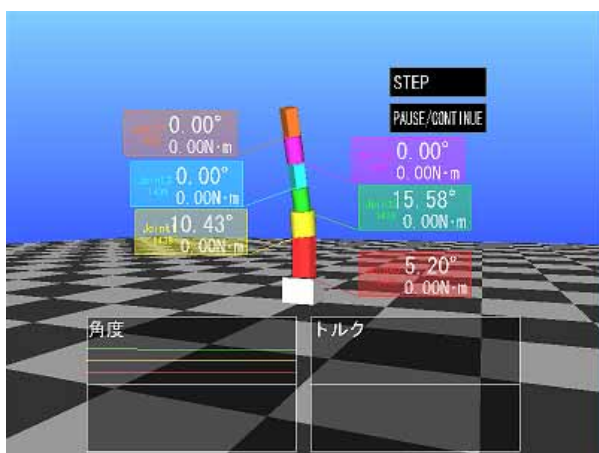


図6 デバッグインターフェース表示(2)

#### 4. まとめ

本稿では産業機械を構成する個別ユニットと、組込みコントローラの計算周期を論理時間軸上で同期させて模倣する「個別ユニットエミュレータ」の試作について述べた。

現在、個別ユニットエミュレータの機構解析部分を市販の機構解析ソフトウェアを用いて研究を進めているが、将来的にこの部分をハードウェア化することでより高速化・低コスト化を図り、実用化を目指す。

#### 謝 辞

本研究は、経済産業省戦略的基盤技術高度化支援事業の一環として実施しました。

#### 文 献

[1] dSPACE社, “Solutions for Control 日本語版”, 2007.