

# メカ・エレ・ソフト連携型リアリスティックシミュレーションの研究 (第5報) —コントローラを実ハードウェアとする Hardware-in-the-loop Simulation 環境の実現—

北海道大学 ○宮下卓, 金井理, 岸浪 建史  
北海道工業試験場 多田 達実

## 要 旨

本研究は, HLA(High Level Architecture)を用いたメカトロニクスシステムのための体系的な協調シミュレーション環境の開発方法論の提案を目的とする. 本報では, ハードウェア化された試作品をこの環境に参加させるため必要となる通信データモデルとインタフェースソフトウェアを, 対象システムに依存せず統一的に構築する方法を提案する.

### 1. はじめに

メカトロニクスシステム開発の期間短縮と品質向上への要求から, 効率的かつ高精度なシステムシミュレーション技術が求められている. しかし現状では, メカ・エレ・制御ソフトの分野ごとにシミュレーションが実施され, システム全体の機能検証を行う状況には至っていない. そこで本研究は, 分散シミュレーション標準 HLA (High Level Architecture) [1]に準拠したミドルウェア RTI(Run-Time Infrastructure)を利用し, 市販シミュレータ間を相互接続できるメカ・エレ・ソフト連携型協調シミュレーション環境をこれまで提案してきた. さらにハードウェア試作品を, この協調シミュレーションの一部として参加させる Hardware-in-the-loop Simulation (HILS)を実行可能な機能も実現した[2].

しかし提案した HILS では, 対象システム毎に通信データ構成や RTI とハードウェア間の接続インタフェースソフトを個別実装しなければならない問題があった. そこで本報では, メカ・エレ・ソフト連携型シミュレーションで共通利用できる通信用 FOM(Federation Object Model)の構造と, これに適合した HILS 用 RTI インタフェースソフトウェアの体系的な実装手法を提案する. また全方向車輪電動車椅子を対象に, 制御対象がシミュレータ, 制御装置がハードウェアの場合の HILS を行い, その有効性を検証する.

### 2. HLAに基づく連携シミュレーションとその特徴

図 1 に, 提案する HLA に基づく連携協調シミュレーション機能を示す. まず開発初期は, RTI を用いてメカ・エレ・ソフト分野の各シミュレータ同士を協調させ, ①に示された Software-in-the-loop Simulation (SILS)を行なう. さらに開発が進行すると, 高精度な機能検証を行うため, RTI を介して物理試作品やハードウェアをこの協調シミュレーションに参加させ②③の Hardware-in-the-loop Simulation (HILS)を行なう. HILS の通信部分にも RTI を共通利用することで, 1)SILS から HILS への移行に要する作業が著しく低減される, 2)SILS と HILS を同時に実行しながら挙動の比較検証が容易となる, などの利点を得ることができる.

### 3. 設計対象に非依存な HILS 環境の構築方法

HLA に基づく協調シミュレーションを行うには, a)シミュレータ間で通信されるオブジェクトのクラスと属性を FOM 内に宣言的に定義し, b)RTI から送受信さ

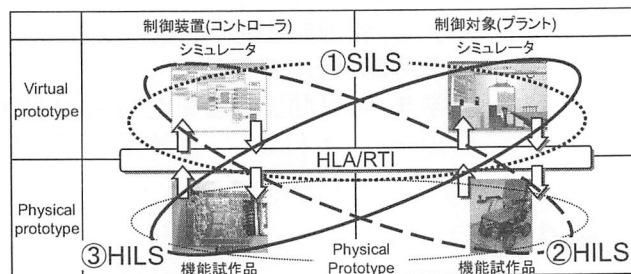


図 1. HLA に基づく協調シミュレーションの機能

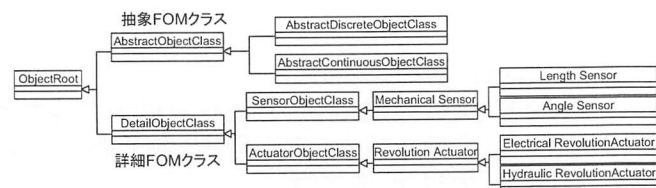


図 2. 協調シミュレーション用 FOM クラス (1部)

れる FOM オブジェクトとシミュレータ内部モデルとの間の変換を実行する RTI インタフェース(I/F)ソフトウェアのコードを実装する必要がある. さらに HILS の場合, c) RTI から送受信される FOM オブジェクトと, ハードウェア接続用 I/F の信号間を変換する HILS 用 RTI-I/F ソフトウェアの実装作業が必要である. 効率化の観点から, a),b),c)は設計対象に依存せず統一的方法で実施できることが望ましい. 以下にその実現方法を示す.

#### 3.1 協調シミュレーション用 FOM モデリング

FOM を統一化するため, 開発進捗度に対応して, 抽象 FOM と詳細 FOM の 2 種類で構成される協調シミュレーション用 FOM を新たに定義した[3]. 抽象 FOM は, 開発初期で利用され, メカ・エレ・ソフト各シミュレーションモデル内の状態量自身をオブジェクトとして通信するモデルである. 一方, 詳細 FOM は, 開発後期で利用し, 実システム内でサブシステム間を接続する具体的なセンサやアクチュエータを表現したオブジェクトを通信するモデルである. 図 2 にそれらのクラス構造の一部を示す.

#### 3.2 HILS 用 RTI-I/F ソフトウェア実装方法

HILS 用の RTI-I/F ソフトウェアでは, 3.1 の構造をもつ FOM オブジェクトと, ハードウェア接続用 I/F (A/D, D/A 変換, DIO 等) 信号との間のデータ変換を行なう必要がある. 本研究では, この RTI-I/F ソフトウェアを Hardware Interface Federate として実装する.

Hardware Interface Federate 内でのハードウェアの入出力値を FOM の属性値に対応付けるマッピングを実行するため、図 3 の 3 種類のモデルを作成した。Hardware Interface Model (HIM) は、個々の AD や DA 変換器の仕様と、得られる信号を属性に持つモデルである。一方 Federation Object Meta Model (FOMM) は、図 2 で規定した FOM のメタモデル[1]に個別オブジェクトを表現可能な属性を追加したモデルで、抽象・詳細 FOM のオブジェクトは全て FOMM インスタンスとなる。HIM と FOMM 間での変換を行なうため、HIM\_FOM Mapping クラスを規定し、各インスタンスで、HIM より得られる Physical Value と FOMM インスタンス上の属性値間の一对一の変換ルールを記述する。またこれらのモデルのインスタンス群を、FOM ファイルとは別に Mapping File 内に記述しておく、Hardware Interface Federate の起動時に利用する。

例えば、図 4(a)のように、センサから得られたアナログデータ  $A_m$  を、AD 変換器を介してデジタルデータ  $D_m$  として取得する。この  $D_m$  を AD 変換器が計測した物理量  $V_m$  に再度戻し、FOM 内の指定クラスの指定属性値へマッピングする。その結果、Angle\_Sensor クラスの 1 オブジェクトが RTI へ送信される。一方、図 4(b)のように RTI 側からアクチュエータなどのハードウェアへ出力する場合は、この逆方向のマッピングを行う。

#### 4. 電動車椅子を対象とした SILS, HILS

HLA に基づく SILS, HILS の実施対象として、図 6(a) の全方向車輪電動車椅子を用いた。この車椅子は、前後・左右・その場旋回が可能な車椅子である。図 5 ①—③に SILS・HILS 環境を示す。①の SILS では、ユーザからの 3 自由度ジョイスティック操作電圧を、制御シミュレータ(MATLAB/Simulink)を用いて四輪モータ電圧値に変換し、その値を VRML ビューア(図 6(c))上の車輪回転数に反映させた。②の HILS では、制御シミュレータ出力を車椅子実機(図 6(a))に、RTI 経由で接続した。また③の HILS では、逆に自作の速度制御基板(ADuC7026, 図 6(b))と VRML ビューアとを接続した。①の実行結果と②③の実行結果を比較した所、全て同一の運動を再現できることが確認された。

#### 5. おわりに

本研究ではメカ・エレ・ソフト連携型シミュレーションで共通利用できる FOM 構造と、これに適合した HILS 用 RTI インタフェースソフトウェアの体系的な実装手法を提案すると共に、電動車椅子の設計へ適用しその有効性を確認した。

#### 参考文献

- [1]IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA), IEEE Std 1516, 1516.1, 1516.2, (2000)
- [2]清水他;メカ・エレ・ソフト連携型リアリティシミュレーションの研究(第1~3報),2006年度精密工学会春季大会講演論文集, P-95-97
- [3]宮下他;メカ・エレ・ソフト連携型リアリティシミュレーションの研究(第4報),2006年度精密工学会秋季大会講演論文集
- [4]付属 ARM 基板を使ったシステム開発チュートリアル, Design Wave Magazine 3月号(2006), P-40-110

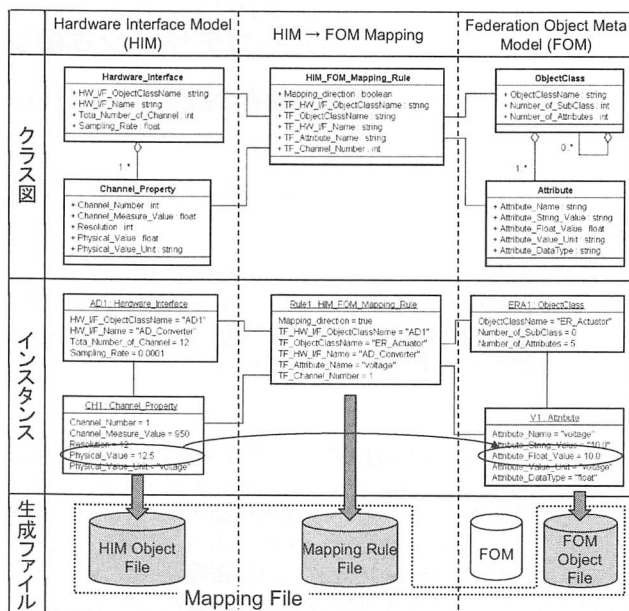


図 3. HIM と FOM 間の属性値マッピングモデル

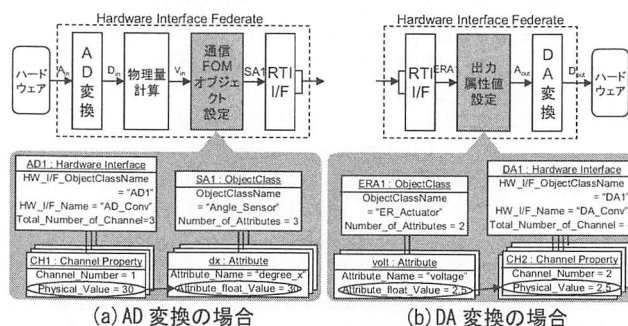


図 4. Hardware Interface Federate のマッピング例

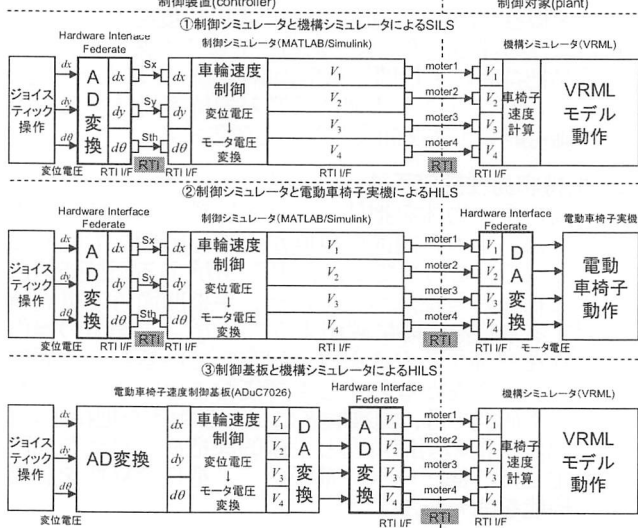


図 5. 電動車椅子の SILS, HILS 実施例

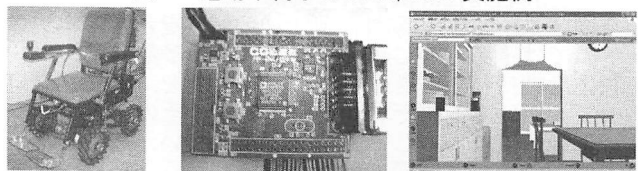


図 6. 電動車椅子の HILS 用制御装置と制御対象