

FMI ベースでサブモデルを交換するための
HIL パイロットプロジェクトの紹介

Always the
Right
Model

HIL (Hardware-in-the-Loop) テストを現実に即して行うには、要求されるシステム挙動を適切な精度でシミュレートできるリアルタイムモデルが必要です。BMW 社、ITI 社、および dSPACE は、ツールに依存しないオープンなインターフェースを使用して、リアルタイムモデルの各パーツを交換して使用するため、共同でテストしています。



B MW 社、dSPACE、および ITI 社は共同プロジェクトの中で、Functional Mock-up Interface 規格 (FMI 2.0) がリアルタイムの HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションでの使用に適しているかどうかをオートマチックトランスミッションのモデルを使用して分析しました。また各社は、既存のシミュレーションモデルを FMI ベースのサブモデルに置き換えるためのプロセスプロトタイプのテストを行いました。

テストシステムの構成

ECU を HIL シミュレータでテストする際にフォールトメモリへの入力が発生しないようにしながら現実に近いシミュレーションを行うためには、HIL シミュレータと ECU のインターフェース間の適切な相互作用と現実的なシミュレーションモデルの 2 つが必要です。これらは、ECU の挙動を現実的に即してテストするためには

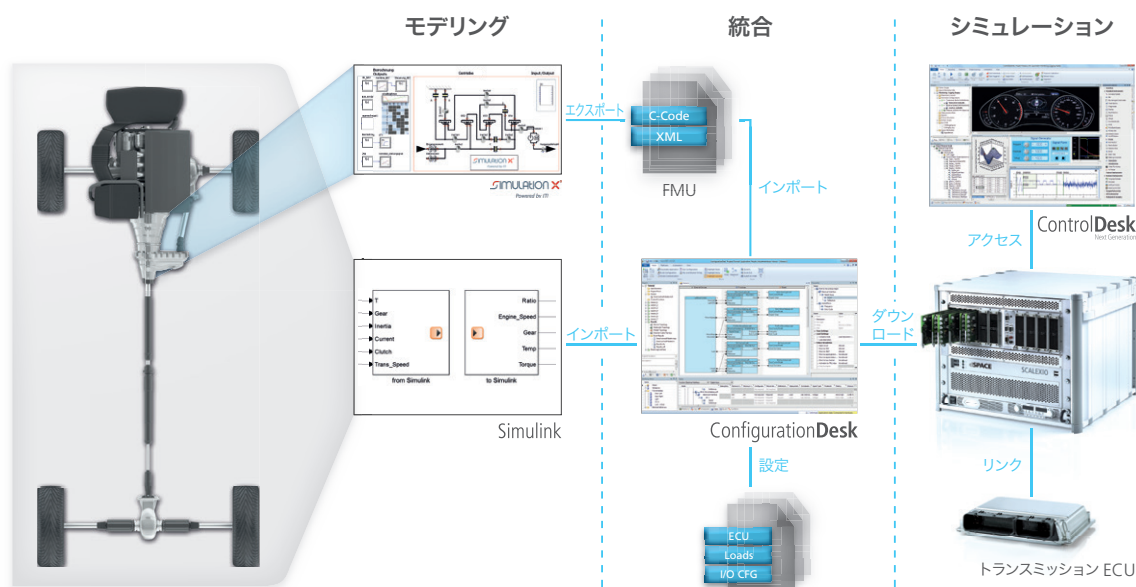
不可欠です。このプロジェクトでは、8 速オートマチックトランスミッション ECU 向けの既存の HIL 構成で使用されている電氣的インターフェースと環境シミュレーションモデルを dSPACE の HIL シミュレータ SCALEXIO® での使用に応じて調整し、現実的な使用事例に即したテストを行いました。このプロジェクトでは、MATLAB®/Simulink® に加えて、モデリングに ITI 社の SimulationX®、SCALEXIO のシステム設定用に dSPACE の ConfigurationDesk®、HIL シミュレーション制御用に dSPACE ControlDesk® Next Generation を使用しました (図 1)。

FMI の背景にある目的

Functional Mock-up Interface (FMI) の基本的なコンセプトは、作業の重複を避けることです。提供元のサプライヤ、開発フェーズや開発部署により、異なるシミュレーションモデルを再利用できるよう

にすることが目的です。これを実現するには、各プロバイダから提供されたツールによって開発されたさまざまな環境モデルを容易に変換、統合できる規格が必要になります。FMI は、このような目的で使用される、ツールに依存しないオープンな規格です。FMI を使用することで、エンジニアは各サブモデルを 1 つのプロジェクトに容易に統合できるようになり、より完全なモデリングに近づきます。サブモデルは、Functional Mock-up Unit (FMU) を介して変換されます。FMU は、モデル機能や必要なインターフェース記述を ANSI-C 互換の API や XML ファイル形式で格納する圧縮フォルダ構造です。FMU には、モデルで必要となるドキュメントやその他のデータを追加することもできます。FMI 2.0 規格には、シミュレーションの実行中にパラメータの値を調整する機能やリアルタイムモデルに最適化されたソルバのステップサイズを直接定義する機能など、

図 1 : システム全体の構成。Simulink モデルと ITI 社の FMU が、ConfigurationDesk で 1 つの全体的なモデルに統合されています。次に全体的なモデルが設定され、SCALEXIO にロードされて、HIL シミュレーションが実行されます。シミュレーションは、ControlDesk Next Generation で制御されます。



HIL プロジェクトに役立つ新機能が追加されています。そのため、このプロジェクトでは、FMI 2.0 for Co-Simulation が使用されました。FMI for Co-Simulation バリエーションでは、リアルタイムモデルに最適化されたソルバが FMU にあらかじめ含まれています。

新しいモデルの利点

プロジェクトの目的は、上記の FMI の利点を使用して、非因果的で動的な新しい Modelica ベースのトランスミッションモデルを Simulink ベースの全体的なドライブトレインモデルに統合することであり、全体的な挙動のシミュレーションにおいて、トランスミッションの弾性的な挙動をより現実的に再現することに重点が置かれました。そこで、ITI 社は SimulationX を使用して、関連するイナーシャ、弾性、入力、出力および摩擦トルクを含む、可変ギア比を持つ 4 組のプラネタリギアをモ

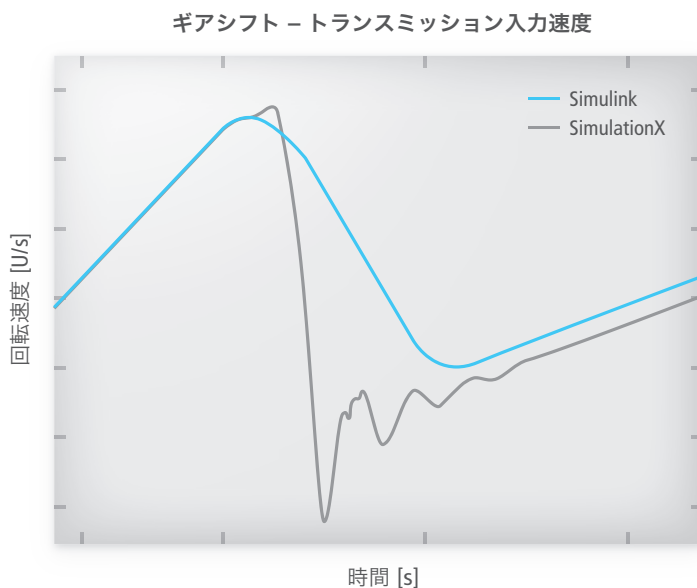
デル化しました。切替式クラッチは、ロックおよび非ロック状態の交互切替を含む、適切な物理的摩擦動作を行う摩擦面としてモデル化されました。このクラッチは、速度およびトルクに依存するギアシフト線図を備えたギアシフトロジックにより制御されます。図 2 では、シンプルな Simulink モデルを使用してシミュレーションを行った場合、また SimulationX モデルを使用してシミュレーションを行った場合とで動的なトランスミッションの挙動に関するシミュレーション精度が両者でどれほど異なるかを示しています。ドライブトレインの環境モデルは、1 ms のシミュレーションステップでリアルタイムに計算されます。SimulationX でモデル化され、FMU としてエクスポートされた新しいトランスミッションのサブモデルは、これらのリアルタイム要件を満たしています。 >>

FMI について

FMI 規格は、2011 年の MODELISAR プロジェクトで初めて定義され、現在、Modelica Association の FMI プロジェクトによってさらなる開発が進められています。この規格は、微分、代数、および離散方程式などによって定義されたモデルを動的なシステムで交換することに重点を置いています。現在のバージョン 2.0 には、HIL シミュレーションでプラスになる新しい機能が含まれています。大きな利点の 1 つは、リアルタイムモデルに最適化されたソルバのステップサイズを定義したり、あらかじめシミュレーション実行時にパラメータ値を変更できる可変パラメータを定義したりできる点です。このような機能は、制御ループに実際のハードウェアを含んでいるために簡単に再起動ができない対話型試験や HIL シミュレーションで必要となります。

www.dspace.jp/go/fmi

図 2: 青の曲線 (Simulink) は、信号フローに適応した既存のトランスミッションモデルにおけるギアシフト期間中の理想的な回転挙動を示しています。グレーの曲線 (SimulationX) は、振動を考慮に入れ、より現実に近い非因果的モデルでのトランスミッションの挙動を示しています。



ProSTEP について

ProSTEP iViP Association は、製品データの管理や仮想製品の作成に関する問題を解決し、最新の規格を策定するための革新的アプローチを開発している国際な団体です。

www.prostep.org

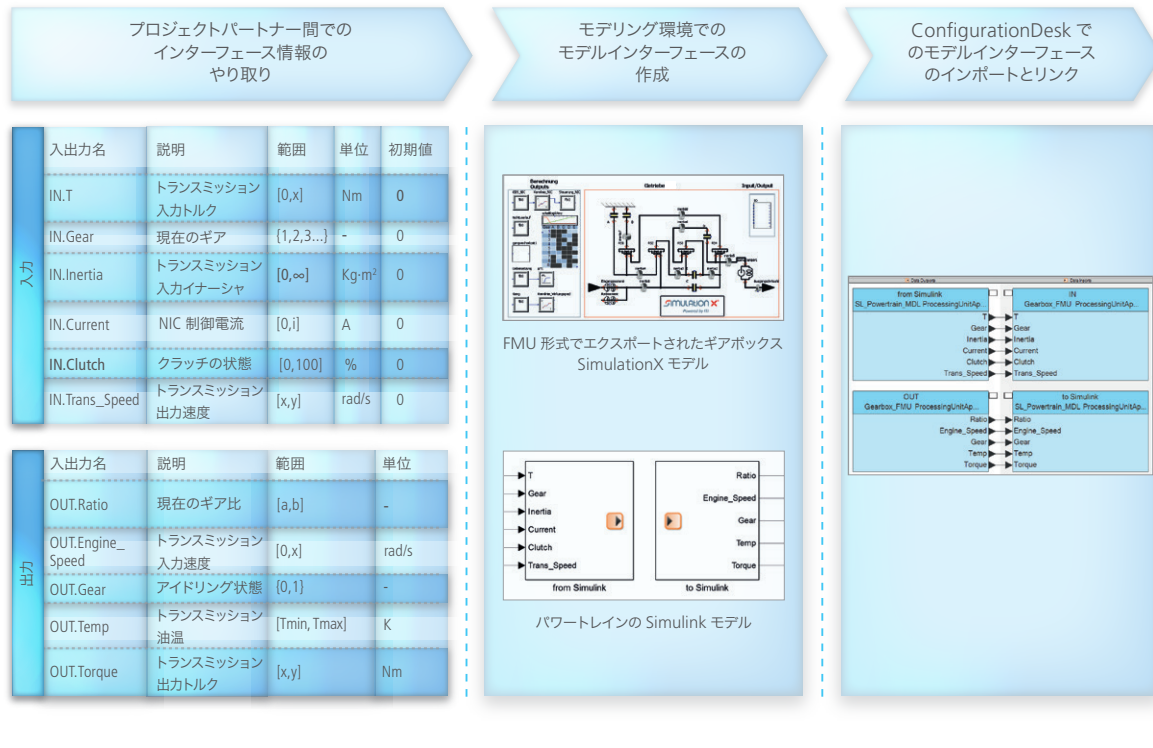


図3：各作業ステップで、あらかじめ定義されたモデリングインターフェースが考慮されて実装されます。

新しいモデルの統合

プロジェクト開始時にトランスミッションモデルを統合するためのモデルインターフェースが定義され、プロジェクト全体を通じてすべてのプロジェクトパートナーによって使用されました(図3)。新しいトランスミッションモデルを既存のSimulinkベースのドライブトレイン環境モデルに統合するために、次のステップを実行しました。

1. Simulink モデルから既存の単純なトランスミッションモデルを切り取る。
2. dSPACE Model Port ブロックを介して Simulink モデルに必要なモデルインターフェースを追加する。
3. 新しいトランスミッションモデルの作成に必要なデータを ITI 社に受け渡す。このデータには、以下の要素が含まれています。
 - a. インターフェース記述ファイル
 - b. 必要なモデル機能
 - c. 技術的なフレームワーク (C コンパイラ、リアルタイム要件など)

4. このデータに基づき、ITI 社は物理的な SimulationX モデルを開発し、FMU と Simulink ベースの S-function をテストベンチマークとして提供する。

5. 最初に、S-function をモデルに組み込み、SimulationX トランスミッションモデルの機能が正確であるかどうかをテストする(バリエーション 1)。次に、FMU を統合し、インターフェースの機能をテストする(バリエーション 2)。

テストおよび結果

プロジェクトパートナー各社は、ControlDesk Next Generation を使用して、dSPACE の HIL シミュレータである SCALEXIO 上で 2 つのバリエーションのクローズドループテストを実行しました。2 つのバリエーションとは、Simulink を使用した S-function による統合(バリエーション 1)と、ConfigurationDesk を使用した FMU による統合(バリエーション 2)のことで、テスト対象モデルの計算時間は両者ともほとんど同一で、テスト結果も、ほとん

ど同一でした。その結果、1 ms のステップ幅で、リアルタイムの数値安定性、且つ、最大 40 Hz の振動現象を考慮に入れながら、新しいトランスミッションモデルバリエーションを計算することができました。つまり、FMI 2.0 for Co-Simulation は、ツールに依存しないリアルタイムモデルの標準化に適しており、FMI 規格が容易に部署間での環境モデルの交換を実現するために有効であることが示されました。

ツールチェーンの統合

ただし、モデルパーツの交換は最初のステップに過ぎません。交換される要素が既存のツールチェーンでどのように使用できるかをテストすることも重要となります。可能な限りリソースを節約しながら短期間で適応過程の構築を行うには、設定および試験ツールへの大幅な変更は避ける必要があります。Simulink と FMI の両方を環境モデルのインポート形式としてサポートしている ConfigurationDesk では、モデルインターフェースを使用すること

で、モデルパーツの交換を素早く簡単に行うことができます。ConfigurationDesk は新しいモデルインターフェースを認識するため、このインターフェースを使用したモデル信号の受け渡しが可能でした。ControlDesk Next Generation では、Simulink ベースのモデルの場合と同じ方法でモデルのパラメータと FMU の変数を利用することができるため、トランスミッション HIL システム用の既存のテストおよび試験レイアウトを簡単に調整して再利用することができます。この新しい FMI ベースのトランスミッションモデルをプロジェクト全体に統合すれば、既存のワークフローや関連する HIL テストをほとんど変更せずにプロジェクト内で再利用することができます。

今後の展望

ProSTEP は、このパイロットプロジェクトで得た経験を Smart Systems Engineering プロジェクトで活用し、FMI ベースのモデル交換におけるさまざまなパートナーの共同作業について記述したワークフロー

を開発しました。今後も、この記事で紹介したプロジェクトを継続し、知的財産権が保護された FMU の HIL テストでの交換に関するワークフローを分析していく予定です。 ■

BMW AG 社のご厚意により寄稿

まとめ

BMW 社、dSPACE、および ITI 社はパイロットプロジェクトの中で、Functional Mock-up Interface (FMI) 規格がリアルタイムの HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションでの使用に適しているかどうかをオートマチックトランスミッションのモデルを使用して分析しました。その結果、新しい FMI ベースのトランスミッションモデルのバリエーションを SimulationX でモデル化し、1 ms のステップサイズの数値をリアルタイムで安定させることに成功しました。そのため、リアルタイムモデルの交換には FMI 2.0 for Co-Simulation が適していると考えられます。dSPACE ツールチェーンに統合された FMI ベースのモデルでは、既存のテストや試験レイアウトをほとんど変更せずに再利用することができました。SCALEXIO HIL システムでは、フォールトメモリへの入力が発生しないようにしながらオートマチックトランスミッション ECU を実行できるため、トランスミッションの動的な影響を考慮した詳細なテストをリアルタイムで実行することが可能です。

将来的には、FMI 規格を使用して、製造元に関係なく最適なモデル要素のみを組み合わせることが可能になります。

