



Virtual Modeling Toolbox

FMI ベースの開発環境向けの効率的な
ツールチェーンの構築

FMI (Functional Mockup Interface)

FMI (Functional Mockup Interface) は、ツールに依存せずさまざまなベンダーが提供するプラントモデルのやり取りやジョイントシミュレーションを行うためのオープン規格であり、FMI for Co-Simulation および FMI for Model Exchange というバリエーションが存在します。モデルのやり取りにはいずれの FMI バリエーションも使用できますが、特定の使用事例における利点や欠点は異なります。FMI

for Model Exchange の主な利点は、ある領域のコンポーネントサブモデルなど、強力的に結合されたシステム部分のシミュレーションをより容易かつ数値的に安定した状態で行えることです。これは、外部の中央ソルバーにより、シミュレーション結果を計算するのに必要なあらゆる情報が提供されるためです。このため、FMI for Model Exchange のインターフェースは、ツールチェーン内のツールやパートナー間

で行われるより高度な情報交換や多様な互換性にも対応できる複雑な構造を備えています。これに対し、FMI for Co-Simulation のインターフェースは無駄のない構造となっており、インポートするツールの機能から (ソルバー実装を含む) FMU の機能を体系的に分離することにより、さまざまなタイプやバージョンの FMI サポートツールが含まれたツールチェーンで発生し得る互換性の問題も処理できる



仮想環境を使用すれば、プロトタイプ車両を開発してテストドライブを行うよりもはるかに前の段階から、車両を仮想的に走行させてテストすることができます。自動車部品サプライヤであるデンソーの開発者は、FMI規格を活用することにより、多様なコンポーネントモデルを組み合わせながらこのような仮想テストドライブを実行しています。dSPACEのシミュレーションプラットフォームはその基盤として使用されています。



日の車両は複雑なシステムを基盤としているため、その開発や統合をさらに進めていくには、さまざまな専門分野や領域の知識とモデルが必要となります。そのため、車両の開発においては、個別のシステムをすべて含む全体的な仮想システムを構築することがますます重要になっています。このような技術的な課題がある一方で、市場では技術革新サイクルがこれまで以上に急速に進むことが見込まれており、製品の市場投入までの時間はますます短縮化しています。そのため、あらゆるシステムのハードウェアとソフトウェアを完成させてから統合するのではなく、その前の段階に

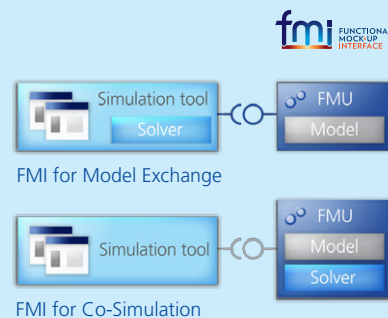
おいて個々のシステムのテストをシステムネットワーク内で早期に実施しておかなければならないという固有の課題が開発者にもたらされています。この課題の対象には、実際の車載コンポーネントだけでなく、システム全体の挙動にも重要な役割を果たす環境条件やドライバー操作も含まれます。

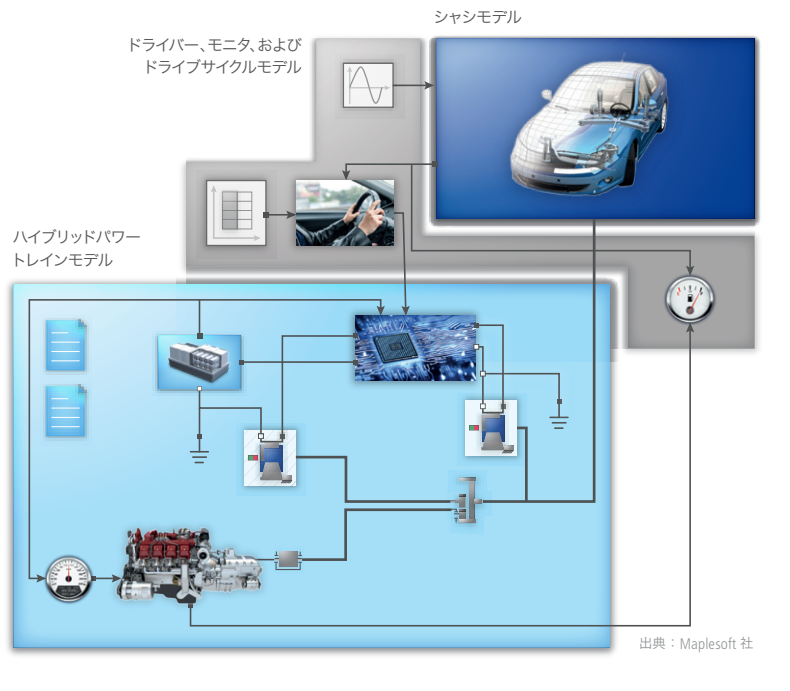
連携の標準化

解決策の1つは、すべてのコンポーネントやシステムのプラントモデルに対してシステム全体のレベルでシミュレーションを行うことです。通常、開発段階で入手できるモデルは形式や複雑さが異なるため、容

>>

ようになっています。つまり、協調シミュレーション型のFMUを使用すると、検証済みのソルバーコードとモデルコードの組み合わせを転送し、さまざまな物理領域やシステムダイナミクスを持つモデルをさらに容易に結合できるようになります。
www.dspace.jp/go/fmi





パワースプリット HEV の商用シミュレーションモデルの構成。色分けされた部分はシステム全体モデルを分割した領域モデルを示します。

易にモデルを組み合わせられるようにするためには、標準化された中間レベルを用意しなければなりません。このため、FMI (Functional Mock-up Interface) 規格が定められました。この規格を使用するこ

とにより、さまざまな領域のモデルを異なるツールでやり取りし、同時にシミュレートすることができます。シミュレーションを行うため、モデルは標準化された FMU (Functional Mock-up Units) として作

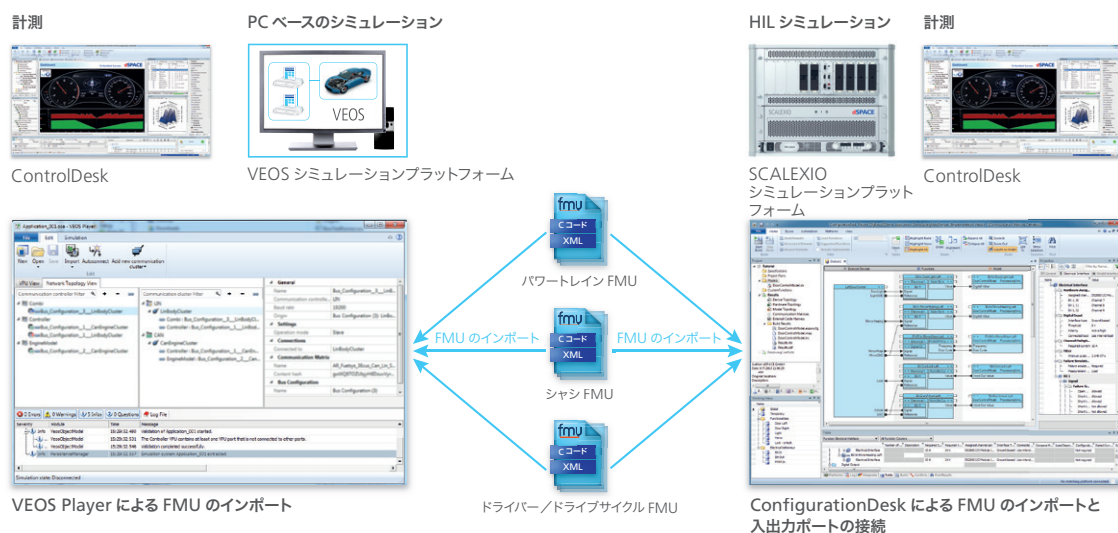
成されます。FMU にはモデルインプリメンテーション、そのメタデータ、FMI インターフェースのインプリメンテーションが含まれます。規格には FMI for Co-Simulation と FMI for Model Exchange という 2 つのバリエーションがあります。両バリエーションともモデルをやり取りできますが、基盤となる技術的アプローチは異なります。

導入済みのツールチェーンによる FMI の評価

デンソーの目的は、開発プロセスにおける FMI ベースのアプローチの利点を分析することでした。同社は、導入済みのツールチェーンを考慮し、次の 2 つのステップを用いることにしました。

- ステップ 1 では、プロジェクト部分を再利用しながら、複数の FMU に分割された車両モデルを VEOS による PC ベースのシミュレーションや SCALEXIO による HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションに使用できるか、そしてこの方法でシステムの全体モデルのシミュレーション結果を再現できるかについて分析しました。FMU のセットアップは FMI for Co-Simulation 規格に従って行われました。
- ステップ 2 では、FMI for Model Exchange 規格に従い、複数のコンポーネント、つまり FMU としてモデリングされた車両の 1 つの領域において強力に

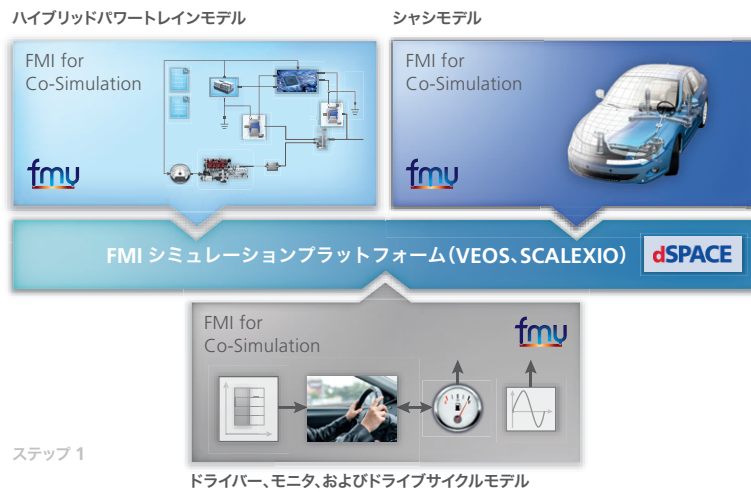
準備された FMU はシミュレーションプラットフォームである VEOS (左) および SCALEXIO (右) で統合されます。



上：システム全体モデルを領域モデルの FMU (FMI for Co-Simulation) に分割し、シミュレーションプラットフォームである VEOS や SCALEXIO 上で実行します。

中央：個別のコンポーネントにおけるモデル部分の一部は、領域モデルで FMU (FMI for Model Exchange) に置き換えられます。これらの領域モデルを FMU (FMI for Co-Simulation) としてエクスポートし、シミュレーションプラットフォームである VEOS や SCALEXIO 上で実行します。

下：dSPACE ControlDesk によって VEOS (赤) や SCALEXIO (青) から取得したシミュレーション結果の定性的な概要および比較。図中：(1) 車速、(2) エンジン回転数、(3) 燃料消費、(4) 充電状態



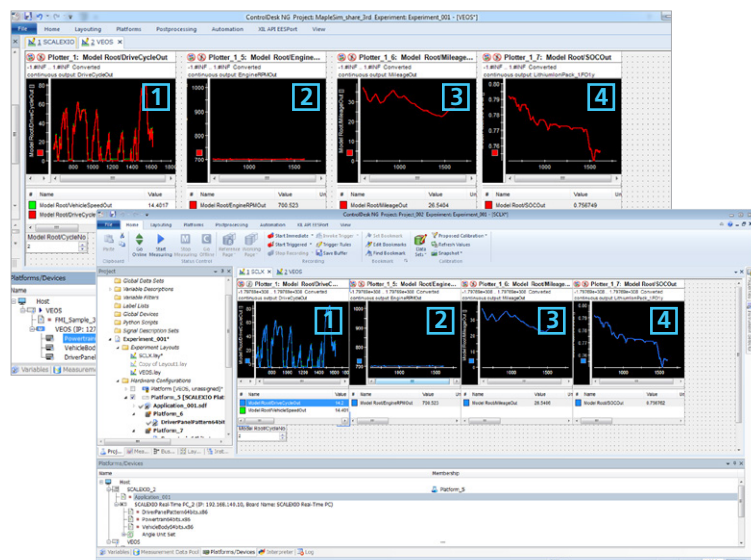
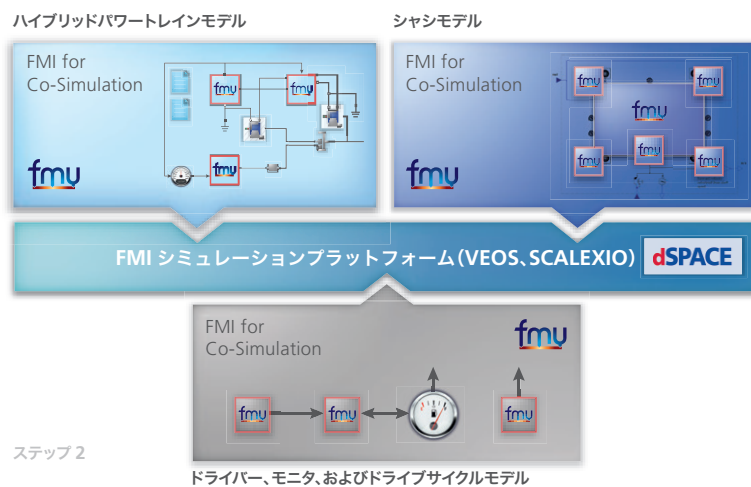
結合されているモデル部分をまず接続し、この結果生じる領域モデルを FMI for Co-Simulation 規格に従って FMU としてエクスポートします。最後にステップ 1 が可能かどうかを確認します。

評価モデル

分析には MapleSim® ライブラリのパワースプリットハイブリッドカー (パワースプリット HEV) の商用モデルを使用しました。このモデルを使用すると、既存の全体車両モデルに FMI ベースのワークフローが適しているかを確認することができます。詳細なモデルの説明には、次の用語が使用されています。

- システム全体モデル：複数の FMU で構成された完全な車両モデル
- 領域モデル：内燃エンジン、モーター、トランスミッションなどで構成されたドライブトレインといった機能単位のモデル
- コンポーネントモデル：トランスミッションなど、ある領域を構成するコンポーネントのモデル

パワースプリット HEV モデルは、エンジン、トランスミッション、スロットルバルブ、単純なコントローラ、モータージェネレータ、バッテリー、インバータ、ホイール、デファレンシャルトランスミッション、およびシャシのコンポーネントモデルで構成されます。



「私たちは、複数の Functional Mock-up Unit (FMU) で構成されたハイブリッド車両のモデルをシミュレーションプラットフォームである dSPACE SCALEXIO に実装し、リアルタイムでシミュレーションを行うことに成功しました。」

白井文祥氏、株式会社デンソー

FMU の準備

最初のステップでは、FMI for Co-Simulation 規格に従って、システム全体モデルを FMU として準備された 3 つの領域モデルに分割しました。さらに、それらをハイブリッドシステム、シャシ、およびドライバー/ドライブサイクルモデルに分割して、クアッドコア搭載の SCALEXIO プロセッサユニットの単一の専用プロセッサコアに割り当てられるようにしました。第 4 コアはホスト PC との通信に使用されます。

FMU の実装と評価

準備した領域 FMU は、まず PC ベースのシミュレーションプラットフォームである VEOS で使用し、次に同じパラメータ設定を使用して SCALEXIO HIL シミュレータで使用しました。この作業の目的は、両プラットフォームで FMU の機能および性能

の正確性を確認することでした。すべてのテストにおいて、PC ベースのシミュレーションと HIL シミュレーションの間には強い相関性が示され、MapleSim ではシステム全体モデルのシミュレーション結果が一致しました。このため、複雑かつ動的なモデルをリアルタイムで実行できることが分かりました。さらに、強力な SCALEXIO プロセッサプラットフォームには、より複雑なモデルや I/O、バスシミュレーションにも対応できる余力が残されていました。

シームレスかつ効率的な開発

dSPACE ツールチェーンを使用すると、各 FMU のシミュレーションをいずれのシミュレーションプラットフォーム上でも継続的に行うことができるだけでなく、パラメータへのアクセスも可能です。さらに、dSPACE ツールチェーンは HIL テストや

仮想検証向けの他のツールと合わせてシームレスに使用することもできます。つまり、開発者はリアルタイム対応の FMU だけでなく、dSPACE ControlDesk や AutomationDesk などのツールや XIL API 規格と関連付けられたテストや試験も再利用することができます。これにより、仮想検証と HIL テストの両方においてモデルを容易かつ直接的に再利用するという FMI のコンセプトを確立し、効率的かつシームレスな開発プロセスを実現することが可能になります。

FMI をより幅広く活用

デンソーでは、パワースプリット HEV モデルでの経験から得た知見をシミュレーションモデルの開発に継続的に取り込んでいく予定です。この取り組みを通じて、複数の関連部門が関与する車両開発プロジェクトにおけるモデルのやり取りが容易にな

「PC ベースのシミュレーションプラットフォームである dSPACE VEOS を使用すると、複雑な FMI ベースのシミュレーションを開発プロセスの早期の段階にフロントローディングすることができます。」

三輪修也氏、株式会社デンソー

SCALEXIO マルチコアプロセッサ向けの FMI モデル

SCALEXIO ベースの HIL プロジェクトには、さまざまなモデリングツールから生成したリアルタイム FMU (Functional Mock-up Units) を直接統合することができます。これらの FMU は、さらに別の FMU やサポートされているその他のモデル形式に統合し、全体モデルに統合することが可能です。また、特定の SCALEXIO プロセッサコアに割り当てることにより、最

高の演算性能を実現することもできます。dSPACE Release 2017-B で発表された SCALEXIO では、単一の SCALEXIO プロセッサコア上での複数の FMU の実行がサポートされています。dSPACE では、FMI 規格のサポートを SCALEXIO で一貫して提供することにより、さまざまなソースからのモデル統合のためのオープンシステムを実現しています。

「シームレスな dSPACE ツールチェーンを活用することで、当社の FMI ベースの開発プロセスをより効率化することができます。」

小池理氏、株式会社デンソー

ります。同社の目的は、開発中の車両の既存のコンポーネントモデルを FMI for Model Exchange 規格に従って FMU として準備し、FMI for Co-Simulation に従って領域 FMU に結合することです。このアプローチにより、FMI 規格の両バリエーションの利点を組み合わせながら、柔軟性に優れ、数値的に安定したリアルタイム対応のシステム全体モデルを構築することができます。 ■

小池理氏、
三輪修也氏、
白井文祥氏、
株式会社デンソー

主な特長

タスク

- FMI ベースの開発手法を評価
- 潜在的に異なるソースからのサブモデルを使用して自動車システム全体をシミュレート

技術的課題

- 導入済みのツールチェーンへの FMI ベースのワークフローの実装
- 効率性の高い開発プロセスの保証

ソリューション

- シミュレーションプラットフォームである VEOS (MIL/SIL ベース) および SCALEXIO (HIL ベース) での FMU の統合
- dSPACE のシームレスかつオープンなツールチェーンにより、プロジェクトデータの効率的な再利用を実現

FMI/FMU : Functional Mock-up Interface/Unit
MIL/SIL/HIL : Model-/software-/hardware-in-the-loop



小池理氏
株式会社デンソー（愛知県）
電子基盤システム開発部
プロセス開発室
担当課長

三輪修也氏
株式会社デンソー（愛知県）
電子基盤システム開発部
プロセス開発室 開発 2 課
担当課長

白井文祥氏
株式会社デンソー（愛知県）
電子基盤システム開発部
プロセス開発室 開発 2 課

