

BMW : 分散型コントローラ用の 量産コード

BMW グループの新しいダンパー制御

TargetLink を自動化された開発プロセスで使用

時間が節約され品質が向上

アクティブサスペンションは、車体の動きをダンパーなどで確実に抑制することにより、乗り心地を一層快適なものに変えてくれます。BMW グループでは、1つの中央電子制御装置 (ECU) と複数のサテライト ECU からなる分散型コントローラをベースにして、動的な安定を確保するための新しいダンパー制御システムを開発しました。拡張機能モデルに対する量産コードは、TargetLink によって大部分が自動化された開発プロセスで生成されました。FlexRay を備えた他のツールも使用されました。

サスペンション制御システム

最新式の車両では、制御されたダンピングシステムを用いることで、あらゆる状況において快適性と安全性の理想的な組み合わせが実現されています。従来のサスペンションは、この2つの間における単なる妥協の結果でした。



▲ BMW の最新のダンパー制御により快適性と安全性が確保されます。

BMW グループの新しいダンパー制御では、車体の動き、ホイールにかかる負荷の変動、および外乱がすべて制御下に置かれています。この複雑な制御システムは、複数のセンサとアクチュエータ、および合計 5 つの ECU から構成されています。

分散型コントローラ

分散型コントローラは、中央の 1 つの ECU と複数のインテリジェントサテライトが組み込まれたシステムとして設計されました。ホイールサスペンションの近くに配置された 4 つのサテライトは、FlexRay バスを経由して中央 ECU と通信を行います。中央 ECU では、加速度ピックアップにより検出された車両の状態が評価され、通常の制御方式に

よる計算が行われます。次にサテライトにより、アクティブダンパーが直接制御されます。さらに、車体の大量の動作データが検出され、取り込まれます。

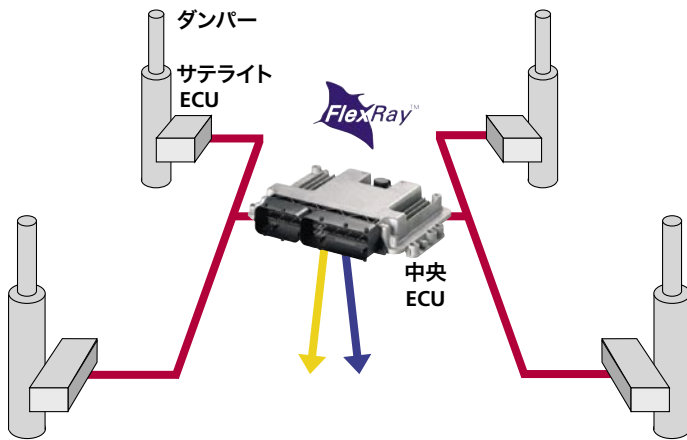
分散型コントローラを用いると、関係する ECU それぞれに分散された、システム非依存型の複数の制御モデルを使用できるようになります。メリットは、すべての制御アルゴリズムが 1 つの Simulink® モデルで作成されるので、アルゴリズム全体をまとめてシミュレートできることです。

ツールチェーンとプロセス

このソフトウェア開発プロセスは、複数の要件を満たすように設計されました。1つのモデル内で複数のシステムの開発をサポートできるようにすること。またラピッドプロトタイプリング、コード生成、および Hardware-in-the-Loop (HIL) のすべてのフェーズで同じモデルを使用できるようにすること。モデル変換処理とコード生成処理をシームレスな方法で自動化し、またバージョン管理できるようにすること、というものです。Simulink® および TargetLink の各ツールは、モデル変換処理およびコード生成処理を行うために、大部分が自動化された 1 つのツールチェーンに統合されました。独自のユーザインターフェースを持つシーケンス制御により、さまざまな作業手順の自動化、データ処理の容易化、さらにモジュラーのバージョンングやマネージメントが実現できるようになりました。このモデルは、50 以

「量産コード生成ツール TargetLink を基に、シームレスな自動化された開発プロセスをセットアップして、開発効率を大幅に向上することができました。」

Tobias Schmid



▲ 制御システムは分散型の設計が採用されています。インテリジェントサテライトは、FlexRay バスを経由して中央 ECU と通信します。

上のサブシステムから構成されています。これらのサブシステムは、ユーザインターフェースで個別に選択およびバージョンングが可能で、さらに TargetLink によって量産コードに変換することができます。このようにして、モデリングプロセスの簡素化、テストの簡単な再現、およびプロセス全体の合理化という目標を達成することができました。このツールチェーンは、BMW 開発プロセスの要件を満たしています。

プロトタイピングと実装

Simulink によって開発された機能アルゴリズムは、FlexRay バスに接続された dSPACE AutoBox を使用して最初にテストされました。このときテストされたモデルは、量産コードの生成と実装に直接使用されました。ターゲットプロセッサへの実装の準備をするために、基本となる機

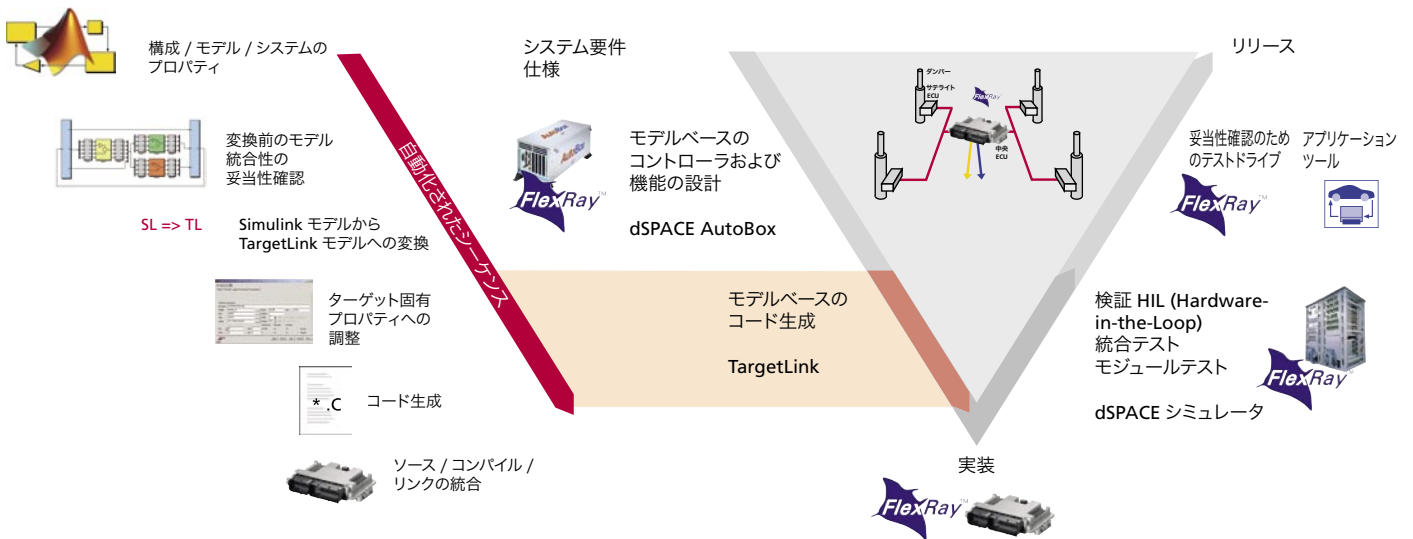
能ユニットの Model-in-the-Loop (MIL) によりリファレンスシミュレーションが生成され、次のステップで Software-in-the-Loop (SIL) により TargetLink コードと比較されました。このようにして、サテライト内の固定小数点効果などの問題を検出して解決することができます。特有の課題として、サテライトには Star 12 (HC12S) 固定小数点プロセッサが搭載されている一方で、中央 ECU には浮動小数点プロセッサ MPC 565 が装備されていることが挙げられます。このため、モデルから量産コードを生成するには、非常に

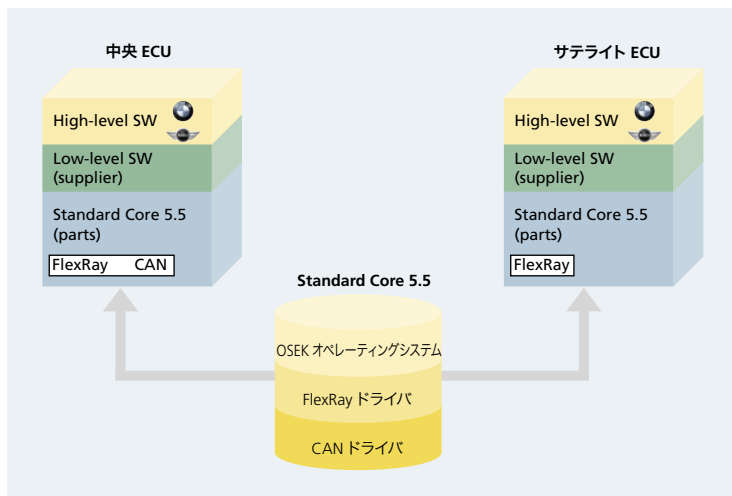
特殊な方法が必要になります。ECU をパラメータ化する前に、Processor-in-the-Loop (PIL) シミュレーションを使用して、ターゲットプロセッサに対してアルゴリズムとリソース要件のテストを直接行いました。これには、開発の初期フェーズでメモリ管理と実行時間に関する問題が検出されるという特別なメリットがあります。これらは、TargetLink の診断機能のサポートにより評価されます。サブシステムに対して生成された TargetLink コードは、BMW Standard Core Software に統合されました。BMW Standard Core Software には、さまざまなサプライヤからの低レベルの機能、FlexRay と CAN 用のドライバ、および OSEK オペレーティングシステムが組み込まれています。機能モデル全体は 12,000 個のブロックからモデル化されており、そこから、中央コントローラ用に 100 KB のコードが生成され、サテライト用にそれぞれ 11 KB のコードが生成されています。

コントローラ機能の検証と妥当性確認

ECU は、dSPACE シミュレータのネットワーク上に構築された、Hardware-in-the-Loop (HIL) テスト環境でテスト

▼ 開発プロセスは V サイクルに従い、部品ごとに自動化されています。使用された設計ツールには、FlexRay インターフェースが組み込まれています。





▲ 実装するコンポーネントは、BMW グループのオペレーティングシステム、ECU サプライヤの低レベルのソフトウェア、および BMW により生成された高レベルのソフトウェアです。

されました。これにより、システム全体がシミュレートされ、個々の ECU 上のコンポーネントテストからネットワークテストに至るまで、システム上のフォールトシミュレーションテストが実行されました。最後には、AutomationDesk を使用して、機能モデルに対するダンパー制御の検証を行いました。モデルシミュレーション (MIL) は、同じ環境を使用して実際のシステム (HIL) の結果と比較されました。

「TargetLink を使用することで、BMW グループの高度な要件を満たす、分散型コントローラのシステム非依存機能モデルに対する量産コードを生成することができました。」

Florian Büttner

dSPACE の設計ツールは、プロトタイプフェーズから実装、さらに ECU 上でのリリーステストに至るまで、問題なく機能することが実証されました。最新のバスシステムである FlexRay を使用する場合、適切に調整された強力なツールが必要になります。dSPACE はこれらを提供できます。

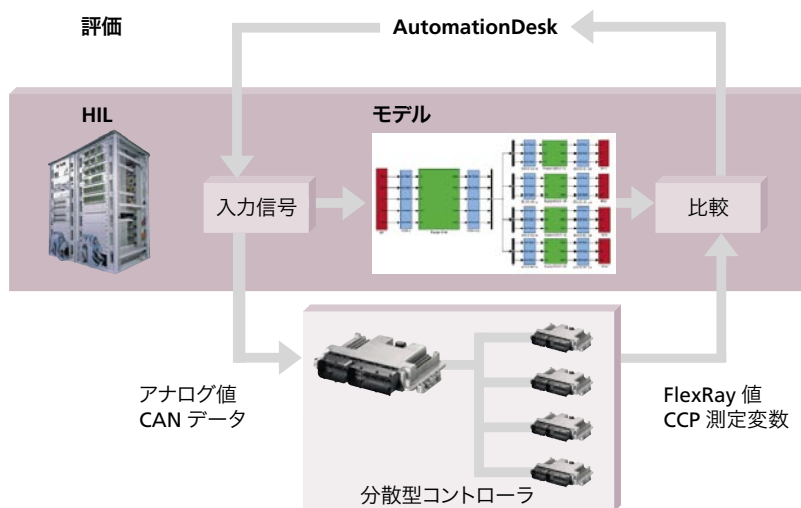
プロジェクトの現状と今後の見通し

システムは現在車載テストを実施中で、生成されたコードの適合を行っています。一方、開発プロセスに対する改良も行われています。追加テスト (コードカバレッジ、静的コードチェック) が統合され、データの処理と交換が改善されています。Simulink から TargetLink への変換で取得されたスケール情報を利用する方法についても、現在開発中です。このような改善に基づき、TargetLink を用いたさらに高度な量産プロジェクトが計画されています。

Florian Büttner,
Tobias Schmid
Department EF-63
BMW AG
ドイツ

結果

BMW グループは、このダンピング制御を実装することにより、快適性と安全性を大幅に向上させることに成功しました。たとえば、運転状況ごとに、以前のシステムと比較して、車体の動きが大きく削減されました。大部分が自動化された一連の処理を用いてセットアップされたツールチェーンは、プロセスがほぼシームレスになっており、非常に良好な再現性が得られます。これにより、コントローラ開発に必要な時間が大幅に削減され、生成されたコードの品質も向上しました。また、制御システムの開発と実装も著しく軽減されました。



▲ ソフトウェア実装後に、コントローラの機能を検証するために、HIL 環境のシステムの動作が機能モデルのシミュレーションと比較されます。