

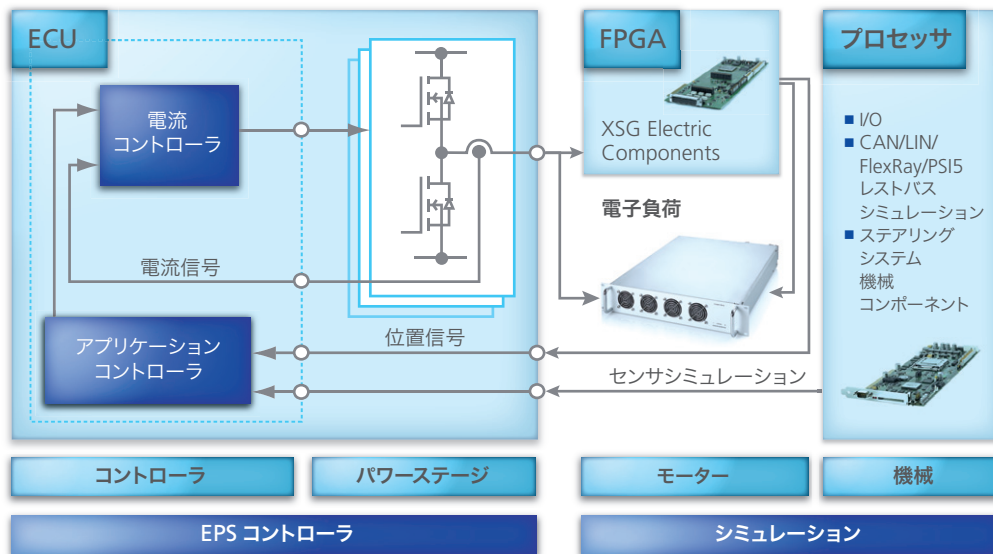
Safe steering

パワーレベルでの電動パワーステアリング
システム ECU の妥当性確認テストシステム

電動パワーステアリングシステムは、非常にセーフティクリティカルな車両コンポーネントの1つです。その開発において満たすべき安全基準は、最も厳格である必要があります。日本のステアリングシステムメーカーである株式会社ジェイテクトは、ISO 26262に準拠したプロセスとECU開発を実現するための強力なテストシステムを導入しています。

ステアリングシステム ECU 用テストシステムを使用して作業を行う担当者





負荷シミュレーションの構成例。電動パワーステアリング (EPS) ECU は図の左側に表示され、プロセッサユニット (FPGA、プロセッサ) と負荷モジュールは右側に表示されています。

セーフティクリティカルなシステムの開発

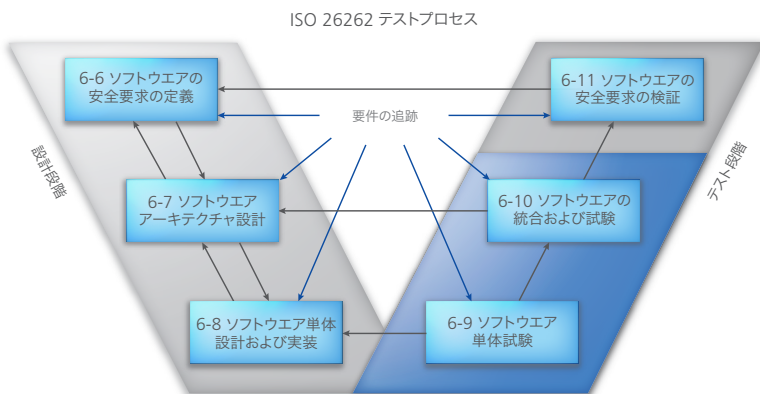
株式会社ジェイテクトは、ステアリングシステムや駆動系コンポーネントといった厳格な安全基準を満たす必要がある部品を自動車メーカーに供給しています。特に電動パワーステアリング (EPS) システムは、道路を走行する自動車の機能安全規格である ISO 26262 に準拠して開発する

必要があります。ISO 26262 は、自動車装備に関する機能安全を規定しており、車載電子/電気安全関連システムの製品ライフサイクル全体を通じて適用されます。ISO-26262 に準拠した製品開発では、顧客の仕様、中間結果の評価、および最終検証を含むシームレスで完結した開発プロセスを構築することが基本要件となります。

電動パワーステアリングシステムの安全要件

開発プロジェクトではまず、ハザード分析および危険性評価を行います。ここで、適用する自動車安全度水準 (ASIL) を確認し、割り当てます。EPS システムの高度な機能は、一般的に安全度水準の最も厳格な基準である ASIL D に分類されます。ISO 26262 に準拠した電子制御ユニット (ECU) の妥当性確認には 100 項目を超えるテスト要件があります。すべての顧客プロジェクトでこれらの要件を効率的に満たすには、明確に定義および構造化された作業プロセスに基づく、完全に保証されたテストが必要です。特に、製品の設計からテスト結果に至るまでのプロセス全体を通じて要件を追跡できる必要があります。

電動パワーステアリング (EPS) システムのソフトウェア開発プロセス。テスト段階では、ソフトウェア単体テストとソフトウェア統合テストが実施されます。



ソリューション：シームレスなツールチェーン

シームレスかつ透明性の高いプロセスの構築には、適切なツールチェーンが必要です。このようなツールチェーンの中核となるのは、要求管理システムおよび ECU テストシステムです。ジェイテクトでは要求管理に IBM® 製ソフトウェア DOORS® を使用しています。ECU テストには多くの確立した手法が存在します。再現可能なテストを自動的に行う必要がある場合は、HIL

「ASIL D 安全基準に準拠した電動パワーステアリングシステム用コントローラの効率的な評価のためには、HIL (hardware-in-the-loop) シミュレータによる自動的なテストの実行が不可欠です」

株式会社ジェイテクト、益 啓純 氏

(Hardware-in-the-Loop) シミュレーションが使用されます。ジェイテクトではこの用途のシミュレータを使用しています。ジェイテクトでは、電動パワーステアリング (EPS) システムの新ファミリの妥当性確認用に、テスト作業に合わせた HIL システム構成を特注しました。

テストシステムの基本要件

ECU を改変してパワーステージをバイパスさせることはできないため、EPS ECU のテストはパワーレベルで実施する必要があります。この場合、HIL シミュレータでモーターのエミュレーションを行うことが重要になります。モーターの電流は正確にエミュレートする必要があるため、HIL シミュレータは高速なプロセスと大電流を正確にシミュレートできなければなりません。また、シミュレータは ECU テストに関係するすべての自動車コンポーネントをシミュレートできるだけの十分な柔軟性も備えている必要があります。さらには、すべてのテストが自動化され、かつ要件、テストケース、およびテスト結果のシームレスな連携が可能で、それらを追跡できる必要もあります。

プロジェクト固有の要件

電動パワーステアリング (EPS) システムの詳細な要件は、以下の技術的および組織的側面によって構成されます。

- 1) テストエンジニアがすぐに使用可能な自動化されたテストシーケンスの作成
- 2) ユーザによるテストシーケンスで指定された ECU 向けの HIL 信号の生成
- 3) HIL シミュレータおよび ECU の信号計測、およびテストシーケンス中のパラメータの調整
- 4) テスト結果の自動評価 (ステータスレポートとして使用)
- 5) テストデータ ((3) の計測データ、および (4) の評価) の外部システムへのエクスポート
- 6) モーターシミュレーション値 (モーター相電流、ECU パワーステージでのモーター相電圧、および逆起電力) の生成

ター相電流、ECU パワーステージでのモーター相電圧、および逆起電力) の生成

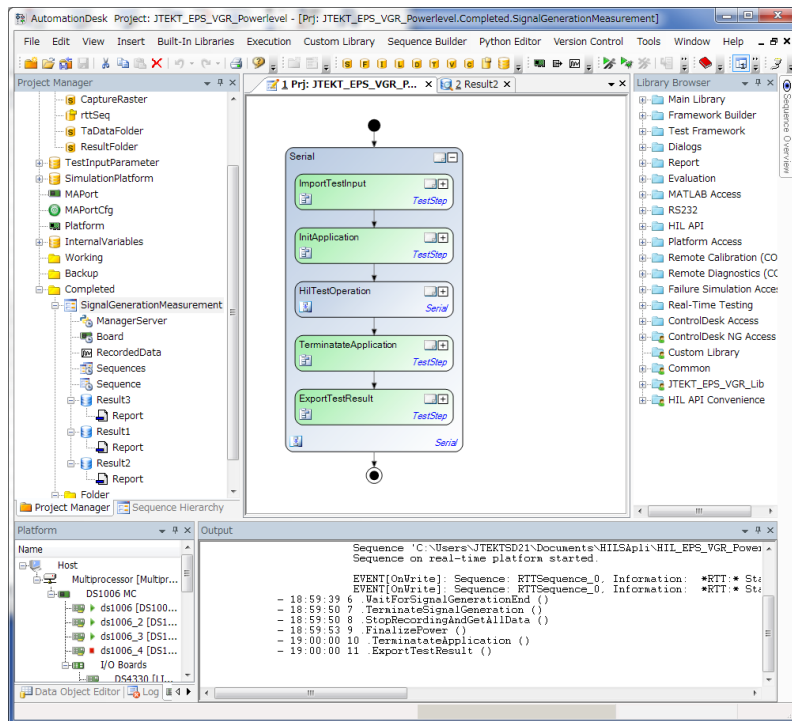
テストシステム

ジェイテクトは市販のさまざまなソリューションを検討および評価した結果、EPS プロジェクトの要件に基づくテストシステムの構築を dSPACE に委託しました。シミュレータは、自動車機械コンポーネントおよびレスタバスのさまざまなタスクをシミュレートするプロセッサユニット (クアッドコア DS1006 Processor Board) と、モーターの計算処理を行う高速な FPGA (Field Programmable Gate Array) プラットフォーム (DS5203) で構成されました。FPGA は電子負荷システムを制御してモーターをエミュレートします。この処理には、電子負荷モジュール DS5381 が使用されます。このモジュールは、最大切替周波数が 3.2 MHz のカスケード接続スイッチング MOSFET パワーステージを備えているため、

モーターの高度に動的なシミュレーションを保証します。また、このシミュレータは CAN/LIN/FlexRay インターフェースを備えているため、接続されたシステムのレスタバスシミュレーションを実行することも



高度に動的な負荷エミュレータ DS5381 (中央) を搭載した dSPACE シミュレータ

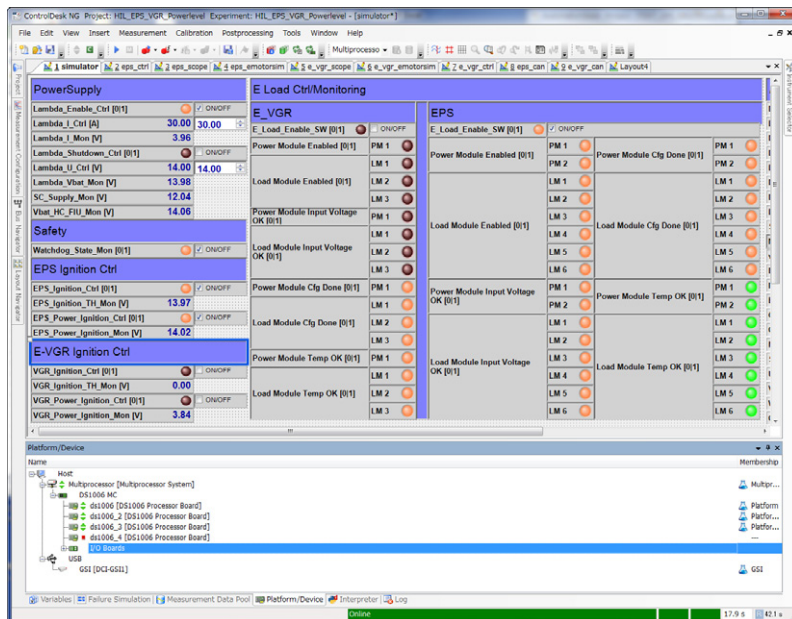


AutomationDesk は自動化されたテストの定義、実行、および評価を行います。

できます。セーフティクリティカルなアプリケーションのセンサシミュレーション用には、PS15 インターフェイス (Peripheral Sensor Interface 5) を備えた DS2302

ボードを使用できます。大電流コンタクトを備えた欠陥生成ユニット (FIU) も搭載されており、他の配線間やグラウンドへ短絡する場合にも ECU 動作をテストできま

ControlDesk Next Generation での信号の監視と表示



す。EPS のブラシレス DC モーター (BLDC) のモーターシミュレーションを行う場合は、FPGA 上の XSG Electric Components Library の BLDC モーターモデルを使用します。位置エンコーダと回転角度処理ユニットのモデルも、同じライブラリを使用して実装されています。信号評価には、FPGA 上で XSG Utils Library のソフトウェアモデルが使用されます。このモデルは、(モーター電流などの) シミュレートされた信号や (ECU パワーステージの相電圧などの) 計測された FPGA I/O 信号の記録と表示に使用することができます。時間分解能はナノ秒レベルです。

テストシステムの評価

ジェイテクトでは、dSPACE エンジニアリングのサポートにより、シミュレータが納品されるとすぐに運転を開始することができました。変更や設定が一切不要であるため、開発者はこれらの作業にかかる時間をすべて省くことができました。dSPACE は HIL シミュレータの導入後も継続的なサポートを提供しました。

こうして導入されたテストシステムは、総合的な EPS テスト要件を完全に満たしています。計測およびシミュレートされた電流、トルクおよび位置信号に対する評価をさまざまなステアリング操作毎に行なった場合でも、仕様通りの精度で信憑性の高い結果が出されています。FPGA プラットフォームを負荷ユニットと組み合わせることで、EPS ECU の安定した閉ループ制御動作に加えて、十分に高速なサンプル時間でのモーターシミュレーションも保証されています。

また、ControlDesk Next Generation と AutomationDesk の組み合わせにより、テストシステムの直感的な操作と自動化も実現しています。

さらに、DCI-GSI1 (汎用シリアルインターフェイス) では、ECU の RAM の読み取りも可能なため、テスト担当者は EPS ECU のプロセスを十分に理解し、必要に応じて診断タスクを実行することができます。また、DOORS で管理された要件はツールチェーン全体を通じて追跡することができます。

まとめと今後の展望

dSPACE シミュレータおよび統合された負荷ユニットは、開発プロジェクトでその真価を証明することができました。さまざま

「当社のステアリングシステムのモーターシミュレーションには、dSPACE DS5203 FPGA Boardと XSG Electric Components Library を使用しています。提供される高いパフォーマンスとシミュレーション品質は、当社のアプリケーションに最適です」

株式会社ジェイテクト、野澤 哲也 氏

な顧客車両のステアリングシステム向けのEPS 電子制御ユニット (ECU) で妥当性確認を行うという目標も達成することができました。V サイクル全体をサポートする dSPACE 製品ポートフォリオにより、得られた HIL テストの結果をラピッドコントロールプロトタイピング (MicroAutoBox) や量産コード生成 (TargetLink) 用のツールの結果と連携させることもできます。このシミュレータには、将来的な電子制御式ギア比可変機構 (E-VGR[®]) 用のモーターシミュレーションにも対応できるよう、FPGA ボードと電子負荷モジュール DS5381 が追加搭載されています。ステアリングシステムの機械的負荷、つまりシミュレートされるモーターの機械的負荷のエミュレート用には、ASM Vehicle Dynamics モデルが使用される予定です。このテストシステムは、ECU の妥当性確認だけでなく、可能な限り早期に ECU 機能のテストと最適化を行えるよう開発プロセスの初期段階で使用することが計画されています。当社では、適切なソリューションを開発するため、

dSPACE と緊密に協力しています。このような計画では、主にシームレスなデータ管理やツールチェーン全体での互換性確保のためのさらに別のツールが必要です。この課題は、データ管理ツール SYNECT[®] により解決することができます。■

株式会社ジェイテクト、
益 啓純 氏、
野澤 哲也 氏

要旨

日本のステアリングシステムメーカーである株式会社ジェイテクトは、ISO 26262 に準拠した電動パワーステアリング (EPS) システムの開発を行っています。ジェイテクトでは、すべての開発段階を通じて要件を追跡できるよう、シームレスなツールチェーンを使用しています。ここでは、要求管理ツール IBM DOORS、dSPACE シミュレータ、およびテストオートメーションツール dSPACE AutomationDesk が重要な役割を果たしています。ジェイテクトでは、完全な検証を行うために、ECU テストの際に HIL (Hardware-in-the-Loop) 手法をパワーレベルで使用しています。この場合、モーターの電気的な挙動をシミュレータで正確にエミュレートする必要があります。この要件は、高速な FPGA (Field Programmable Gate Array) プラットフォーム (DS5203) と電子負荷モジュール (DS5381) を組み合わせることで達成されています。これにより、高度に動的なモーターの大電流をリアルタイムでエミュレートすることができます。ジェイテクトでは、これらのツールチェーンを使用して、ISO 26262 に準拠した EPS システムの開発と妥当性確認を行っています。

益 啓純 氏
株式会社ジェイテクト
自動車部品事業本部 システム開発部
第 2 開発室 室長



野澤 哲也 氏
株式会社ジェイテクト
自動車部品事業本部 システム開発部
開発エンジニア

