

High Voltage, Low Risk



FPGA と CPU を併用した柔軟な HIL シミュレーションにより、
モーターの効率性と開発時の安全性を向上

最新の Electric Drive は、高出力であると同時にマイクロ秒単位での制御も完璧に行えるようになってきました。こうした高出力を発揮しながら信頼性の高い動作を保証する効率的なプラットフォームは、今日の駆動システムを開発するメーカー各社にとって不可欠です。JEE 社では、このような Electric Drive の実現に向けて、dSPACE の強力なモデリングソフトウェアや SCALEXIO ハードウェアによる HIL (Hardware-in-the-Loop) テストを活用しています。

「このプロジェクトでは、オープンな dSPACE モデルライブラリを使用することが非常に重要でした。ASM や XSG ライブラリにより、実際のテストベンチでは極めて難しい課題であったラボ条件下での計測を実行することができました。」

Ying Jiang 氏、JEE 社

JEE 社は、中国の大手 Electric Drive システムサプライヤーであり、個々のコンポーネントからモーターやコンバータ、減速ギアを高度に統合したソリューションに至るまで、さまざまな分野で開発を行っています。同社では、産業用車両や乗用車向けの完全なバッテリー電源システムだけでなく、プラグインハイブリッド車 (PHEV) 向けの Electric Drive システムの開発にも重点を置いています。ISO 26262 規格においては、モーター制御システムの機能安全も保証するよう求められています。同社は、Electric Drive 開発時の安全性を確保しながら可能な限り最高の効率性を実現するため、dSPACE HIL システムを活用して開発の早期の段階でソフトウェアの安全性テストとターゲットハードウェアの妥当性確認を行うことにしました。

多段階の制御

一般的なモーター制御システムは、コントローラとパワーモジュールで構成されています (図 1)。この強力なシステムによってアルゴリズムが計算され、制御信号が高電圧の 3 相交流に変換されることで、モーターが駆動します。モーターによって生まれたトルクは、ドライブトレインに伝達されます。

妥当性確認のシステムと設計

dSPACE では、JEE 社がモーター ECU の妥当性を確認できるよう、信号レベルのシミュレーション用に設計された HIL シミュレーションシステムをカスタマイズして提供しました。これにより、同社はパワーステージをバイパス処理する HIL シミュレータに ECU の実際のコントローラを接続し、関連する信号のみを入力できるようになり

ました。このプロセスの利点は、ラボの条件下で実際の電流や電圧を生成することなく、コントローラの妥当性を十分に確認できることです。HIL シミュレーションを使用することで、テスト段階で起こりかねない危険な電圧や電流のリスクを回避し、コストやリソース消費を削減し、さらには職場の安全も確保できるようになります。

HIL シミュレータのモデル

この HIL システムでは、シミュレーションモデルにインバータモデル、モーターモデル、バッテリーモデル、および機械モデルを統合したモデルトポロジが採用されています (図 2)。インバータおよびモーターモデルの動特性と制御プロパティを向上させるには高速なシミュレーションと処理が必要であり、そのためにはシミュレーションアルゴリズムをフィールドプログラマブル >>

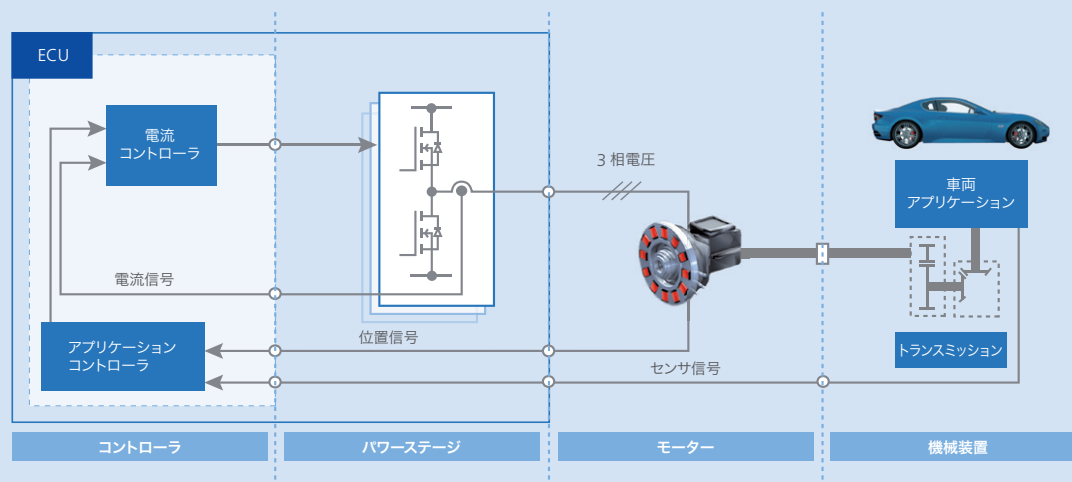


図 1：モーター制御の構成

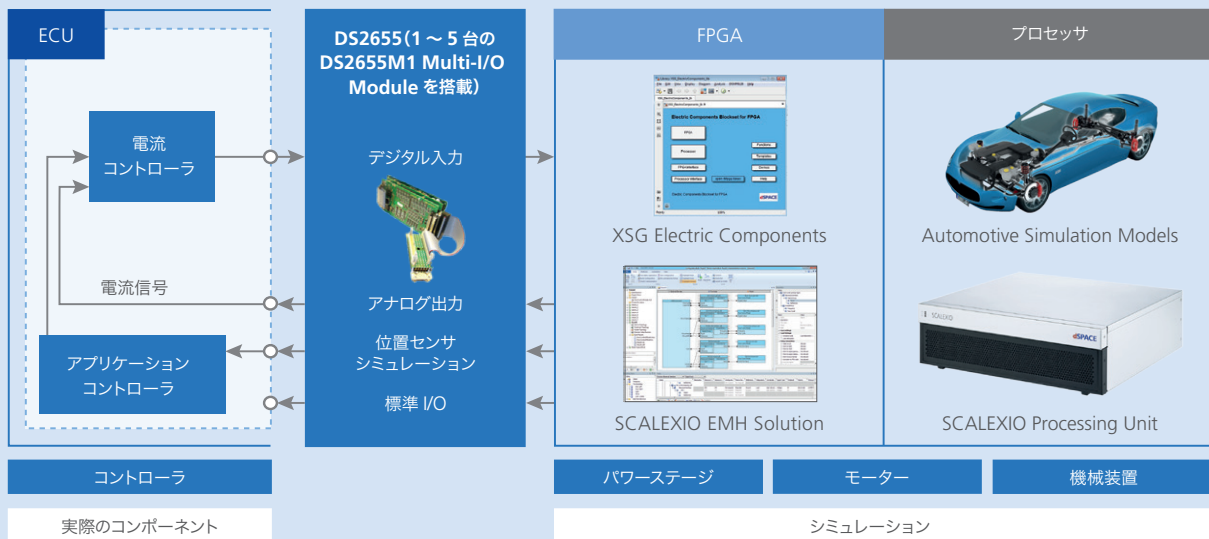


図 2 : HIL モデルの構造

ルゲートアレイ (FPGA) を使用して実装する必要があります。そのため、JEE 社のシミュレーション構成は段階的に分割されています (図 3)。FPGA 部分には高速処理が必要なモデル (インバータ、モーター、およびレゾルバ) が含まれているのに対し、メインプロセッサ部分には負荷モデルなどの時間的制約の少ないモデルが含まれています。

容易に調整できるオープンなモデル

JEE 社のシミュレーション構成では、

dSPACE XSG Electric Components Library と ASM Electric Components のソフトウェアモデルも中心的な役割を果たしました。同社は、dSPACE ASM のオープンなライブラリを使用し、車両全体のシミュレーションや、非同期モーターやコントローラなどといった単独の部品のシミュレーションを行いました。また、XSG Electric Components Library も活用することにより、さまざまなお客様が dSPACE エンジニアリングサービスと併用して新しいモデルを開発できるようにしま

した。さらに、JEE 社は既存の非同期モーターモデルを修正して非同期モーター向けのコントローラを開発し、計測作業も行えるようにしましたが、これはプロジェクト全体の成功の決め手となるほど重要でした。なぜなら、計測テストは実機テストベンチ上で実施することもできますが、その方法には大きな課題があるためです。

機能安全

JEE 社では、モーター制御システムの安全機能の開発やテストを行う際には、障

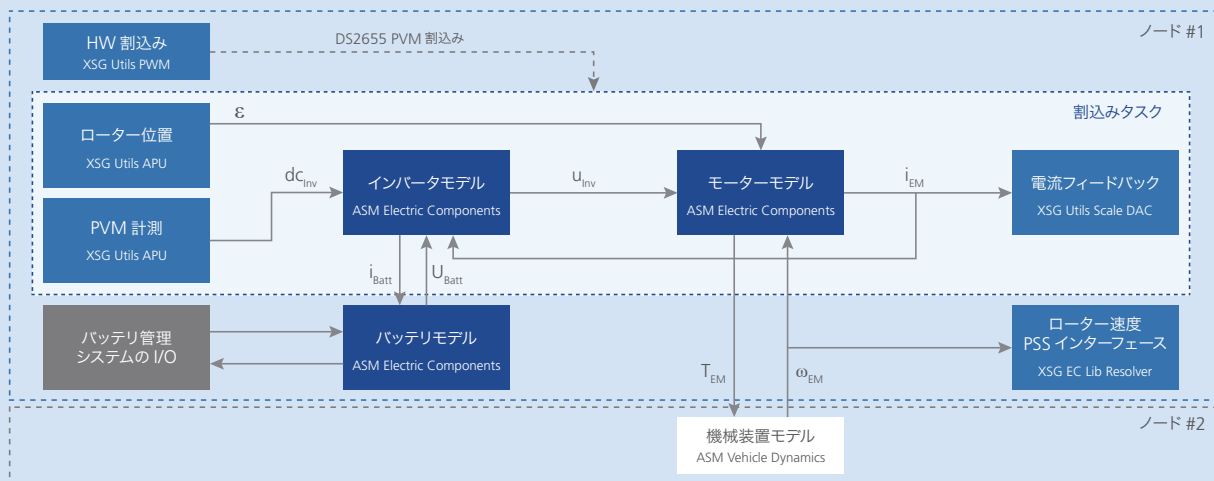


図 3 : モデルトポロジ

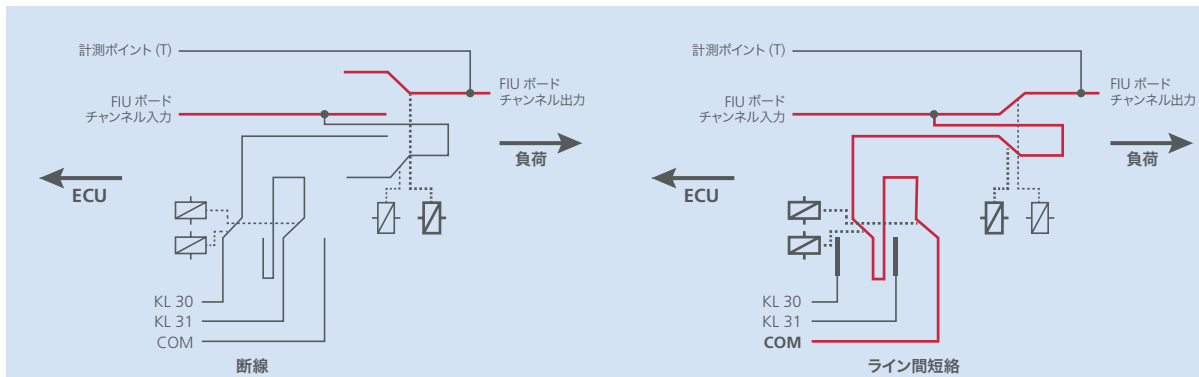


図 4：欠陥生成ユニット (FIU) のダイアグラム

「dSPACE HIL システムを早期の段階から使用したことにより、開発プロセス全体の効率性と作業の安全性が大幅に向上しました。」

Ci Zhang 氏, JEE 社

害を制御システムで診断し処理する制御方式をテストするため、HIL システムでさまざまな障害のシミュレーションを行いました。ECU のワイヤーハーネスに対しては、主に dSPACE HIL システムの欠陥生成ユニット (FIU) の障害診断ユニットを使用して、グラウンドまたは電位への短絡やピン間の短絡、電圧降下など、ワイヤーハーネスに発生し得る障害をテストしました。これは、対応するハードウェアモジュールを RS232 インターフェース経由でホスト PC から制御しながら実行しました。安全関連機能のテストや欠陥挿入は、dSPACE HIL システムの欠陥生成ユニットを活用することで簡単に実行できました (図 4)。未完成のシステムに対しては、柔軟性に優れたリアルタイムレストバスシミュレーションで対応しました。また、各種のテストケースは再現可能な形式だったため、同社は開発期間を短縮することもできました。

テストオートメーション

テストオートメーションは、HIL テストの重要な要素の 1 つです。テストオートメーションでは、あらかじめ設定された自動化シーケンスに基づいて、テストとコミッショニングを反復可能な形で自動的に実行します。JEE 社では、さらに複雑なテストルーチンを実行できるようにするため、dSPACE エンジニアのサポートを受けながら、dSPACE ControlDesk の Python

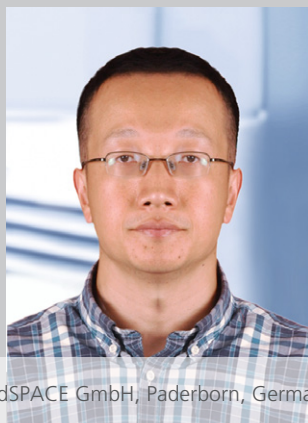
API ライブラリを使用してテストケースをプログラミングしました。また、さまざまなプロジェクトに対応するため、HIL テストオートメーションプラットフォームを構築し、HIL テストケースのデータベース作成も実行しました。これにより、開発時の効率性とテストケースの再利用性が大幅に向上しました。

結果

JEE 社では、開発の早期の段階から実際のテスト段階に至るまで、広範囲に dSPACE HIL システムを活用したことにより、モーター制御プロジェクトを極めて迅速に遂行することができました。そのた

め、製品の技術的完成度を効率的に高めつつ実機テストベンチの運用時間を削減し、さらには HIL システムによってリソース消費の削減と職場の安全性向上も実現することができました。■

Ci Zhang 氏
研究開発部門の責任者、
JEE 社、合肥 (中国)



Ying Jiang 氏
シニアシステムエンジニア、
JEE 社、合肥 (中国)

