



動的特性の高い制御対象システムに対応する  
FPGA ベースシミュレーションモデル

# Things Are Speeding Up

厳しい条件下で高度なダイナミクスを扱う電気自動車アプリケーションでは、FPGA を使用することによりリアルタイムシミュレーションの大幅な性能向上が得られます。dSPACE は、全面的に FPGA に基づいたシミュレーションモデルを提供することにより、将来のための一歩を踏み出しつつあります。

HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションでは、プロセッサの負荷を軽減するために FPGA (フィールドプログラマブルゲートアレイ) を使用するのが一般的になっています。時間的制約が特に厳しい I/O 計算を FPGA 上で実行することにより、プロセッサの処理能力の多くをプラントモデルの計算に割り当てることができます。ただし、この方法はモデルがそれほど複雑ではなく、サンプリングレートが高すぎない場合に限って有効です。電気自動車に搭載されるダイナミックで非常に精密な ECU 用のコントローラ開発においては、この方法では限界に達することがあります。このような場合は、I/O だけでなくプラントモデル全体も FPGA 上で計算することで問題を解決することができます。dSPACE は、このようなアプリケーションですぐに使用できるコンポーネントのライブラリを提供しています (図 1)。

#### 非常に高度なダイナミクス要件に対応

従来のアプローチでは、平均値モデルのシミュレーションを行うだけでプロセッサの計算能力に余裕がなくなり、出力信号の更新は PWM サイクルあたり 1 回のみということもよく起こります。ダイナミクス要件や信号精度の要件が非常に厳しいときは、FPGA ベースのモデル

計算に決定的な利点があります。FPGA を使用すれば非常に高いサンプリングレートが可能になり、出力信号を PWM サイクルあたり 1 回よりも大幅に高い頻度で更新できます。これにより、シミュレーション品質が確実に向上します (図 3)。たとえば、高周波シミュレーションを使用して、PWM 制御によって発生する誘導電流リップルのシミュレーションや、より高い周波数での高精度のシミュレーションが可能であり、制御ループの高い安定性を保証することができます。一般的にプロセッサベースのモデルと比較して、サイクルタイムが 50  $\mu$ s から 100 ns に短縮されます。

#### 便利なモデルライブラリ

FPGA ベースのモデル作成において最大の利便性を提供するために、dSPACE は完全にモデリングされた電気コンポーネントライブラリ、XSG Electric Components Library を用意しています。このライブラリは Simulink<sup>®</sup> での作業中に使用することができます。モデルは Xilinx<sup>®</sup> System Generator (XSG) ブロックセットを使用して作成されています。コード生成時にモデルから直接 VHDL に変換され、DS5203 FPGA Board などの FPGA 上で実行することができます。インター

フェース生成の一部が自動化されているため、多くのプロジェクトで、開発者は FPGA プログラミングに関する専門的な知識を必要とせず、Simulink の経験だけですぐに作業に着手することができます。FPGA ライブラリには、下記のコンポーネントに対応する、すぐに使用できるモデルが含まれています。

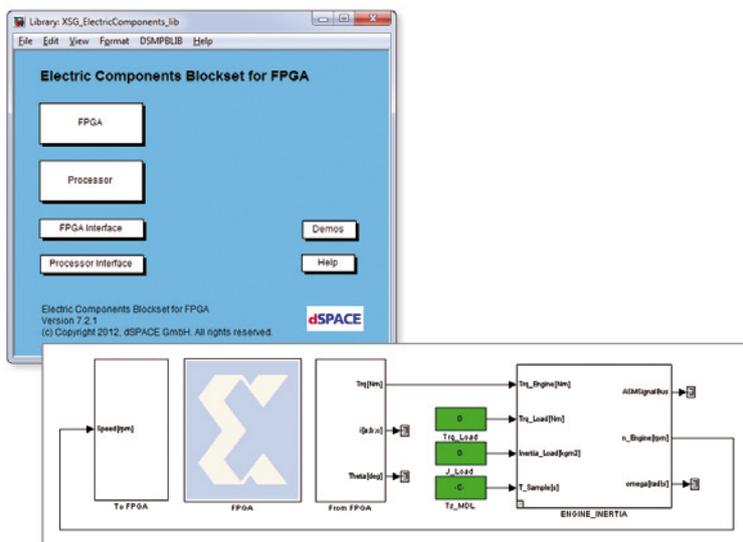
- 永久磁石同期モーター
- ブラシレス直流モーター
- 直流モーター
- 3 相周波数コンバータ
- インクリメンタルエンコーダ
  - レゾルバ
  - サインエンコーダ
  - TLL エンコーダ
  - ホールエンコーダ
- ツール
  - 平均値計算
  - テーブル：1-D、2-D
  - スコープ関数
  - センターアライン PWM 計測

#### FPGA ベースシミュレーションの利点

dSPACE の FPGA ベースのモデルには、非常に高速な計算速度以外にも、さまざまな利点があります。

- プロジェクト個別に適応：モデルはオープンであり、その実装を

図 1 : XSG Electric Components Library には、すぐに使用できるモデルコンポーネントが用意されています。



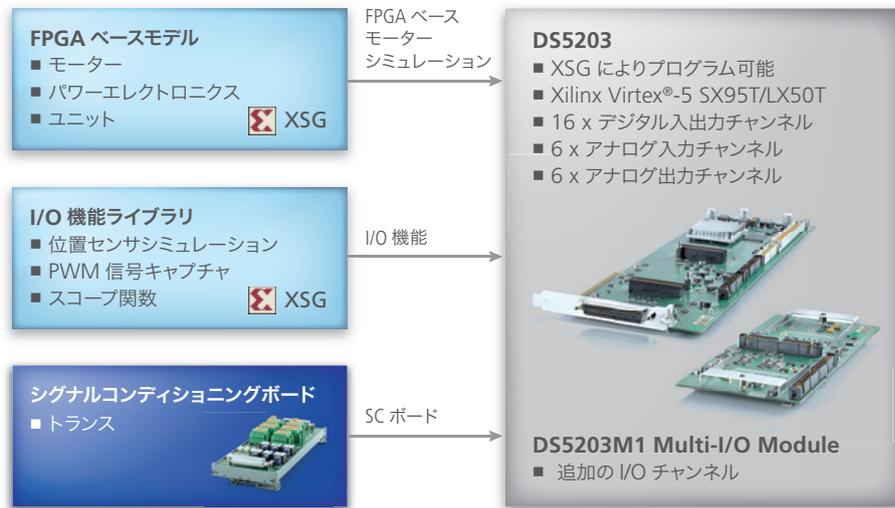


図 2 : FPGA ベースシミュレーションでは、FPGA シミュレーションモデルと DS5203 FPGA Board を使用し、必要に応じてモジュールを追加します。

ベースブロックレベルまで表示することができます。そのため、ユーザ自身でプロジェクトに合わせて適応させることも、dSPACE エンジニアリングサービスを利用して実装することもできます。したがって、プロジェクトや要件の突然の変更にも柔軟に対応できます。

#### ■ モデルコンポーネントの拡張 :

モデルがオープンであるため、ユーザは自由に適応させることができるほか、独自のモデルコンポーネントを追加して拡張することもできます。

#### ■ オフラインおよびオンラインのシミュレーション :

オフラインシミュレーションによる PC 上での機能開発がサポートされています。開発のすべての段階を通じてシームレスに同じモデルおよび同じパラメータ設定を使用することができます。テストを簡単に再利用することができ、さまざま

な段階でのシミュレーション結果を簡単に比較できます。

#### 実際の経験から得られたノウハウ

FPGA ライブラリを簡単かつ直感的に使用できるようにするために、dSPACE ではお客様のさまざまなプロジェクトから得られた経験を投入しました。I/O 機能は、dSPACE EMH ソリューション (モーター HIL シミュレーション専用の I/O ボード) と同じコンセプトに沿って作成されています。これも、お客様のさまざまなプロジェクトで得られた dSPACE の経験に基づいています。

モデルは、動的特性の高いモーターモデルやレゾルバモデルなどのシステムを FPGA 上で並列に実行できるように設計されています。プロセッサボード上で実行される低速の機械モデルとの通信は RTI インターフェースを通じて行います。

#### ハードウェアとソフトウェアの強力な組み合わせ

この新しい FPGA ライブラリは、自由にプログラム可能な DS5203 FPGA Board と組み合わせ使用するのに最適です。ユーザは、たとえば、レゾルバモデルを包含した永久磁石同期モーターモデルなど、完全なモデルコンポーネントをライブラリから FPGA 上に実装することができます。FPGA モデルは、プロセッサボード上で実行する総合的なモデルに統合されます。必要なインターフェースは自動的に作成されます。dSPACE ハードウェアと Simulink 間の接続は、これまでと同様、Real-Time Interface (RTI) ブロックセットによって行われます。チャンネル数を 2 倍にする DS5203M1 などのプラグオン I/O モジュールを使用して、DS5203 を拡張することができます。また、レゾルバシミュレーション用トランスを含め、

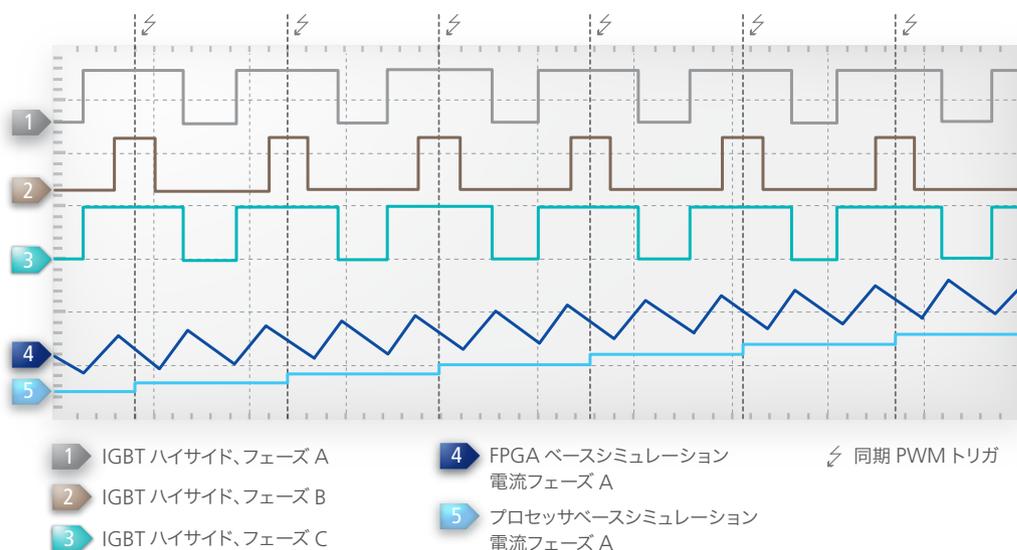


図 3：プロセッサベースモデルと FPGA ベースモデルによる信号品質の比較

モーターシミュレーションに必要なシグナルコンディショニングなどのタスクをサポートする専用モジュールが用意されています。

#### 適用例

XSG Electric Components Library の代表的な適用分野としては、Electric Drive テクノロジ分野の高度な動的特性をもつ制御対象システムの HIL シミュレーションがあります。高速なモデル計算と低レイテンシ I/O の組み合わせは、下記のような難題の解決にも非常に役立ちます。

- 電流挙動のリアルタイムでの表示は、サンプリングレートが PWM サイクルあたり 1 回よりも大幅に高くなるアナログ式電流制御装置の開発などに必要となります。
- 1000 Hz を超える電気回路周波数のシミュレーションでは、プロセッサベースのシミュレーションでは限界に達します。FPGA テクノロジを使用することにより、周波数レンジが数倍に広がります。FPGA ベースモデルを使用することにより、計算速度が 500 倍向上します。
- DCDC コンバータなどの動的特性の高いアプリケーションでは、高い PWM 周

波数が必要です。その周波数は 20 kHz を超え、電流および電圧は、FPGA ベースのシミュレーションでなければ正しく再現することはできません。

- パワーレベルでモーターシミュレーションを行うとき、電圧および電流の値をできるだけ実際と同じになるように再現する必要があります。これは、上記の基準値を電氣的負荷への入力として使用する場合に必要となります。ここでも、高速計算が絶対的な必要条件となります。■

## まとめ

- FPGA ベースのモデル作成に便利な、すぐに使用できるコンポーネント
- プロジェクト固有のモデル適応が容易
- オンラインおよびオフラインのシミュレーション
- FPGA ベースのシミュレーションにより、プロセッサベースよりはるかに高精度なシミュレーションを実現