

## Speed and Flexibility

# FPGA

短いレイテンシとサイクルタイムが  
不可欠なアプリケーションへの対応

排出ガスおよび燃費に関する法律の厳格化の結果、最先端のセンサシステムを搭載した新たなドライブコンセプトが不可欠となりました。この変化は、RCP（ラピッドコントロールプロトタイピング）およびHIL（Hardware-in-the-Loop）シミュレーションにも影響を及ぼしています。厳しさを増す条件に対応するため、dSPACEは新製品DS5203 FPGA Boardを開発しました。このボードは直接、I/Oインターフェースに装着され、プログラミングによりどのような要件にも対応します。DS5203 FPGA Boardは、シグナルコンディショニングをはじめ、高度なダイナミクスが求められるモデルを処理する上で、非常に便利な機能を提供します。

### 汎用性の高い FPGA

FPGA (Field Programmable Gate Arrays) はプログラミング可能なロジック回路です。基本的に、FPGA のプログラミングはロジック素子とメモリエルをさまざまな方法で組み合わせることで行います。それぞれのロジック素子は、4～6 個の入力、1 個の出力および 1 個のフリップフロップ (1 ビットのレジスタ) を備えたプログラム可能な真理値表 (ルックアップテーブル、LUT) で構成され、これによって単純な論理演算 (AND、OR など) を表します。FFT などの複雑なデジタル信号処理アルゴリズムや組み込みマイクロコントローラのコア全体を実装するためには、複数のロジック素子を組み合わせます。FPGA アーキテクチャは完全な並列処理をサポートしています。これはハードウェアブロックを複数個挿入することによって実現しています。ハードウェア制御ロジックと FPGA のロジックセルを介した相互接続は、VHDL などのハードウェア記述言語で記述されます。このため、FPGA のストラクチャが不明でもテキスト形式でその動作を記述することができます。FPGA メーカーは FPGA の実際の設定を生成する論理合成ツールと呼ばれるソフトウェアを提供しています。

### グラフィカルなプログラミング :

#### Simulink® モデルから直接 FPGA へ

FPGA の最も簡単な設定方法は、Xilinx FPGA 設定用の Simulink® ブロックセットである XSG (Xilinx® System Generator) などのグラフィカルモデリングを使用する方法です。XSG にはシンプルなロジック素子とフーリエ変換および FIR フィルタなどの複雑なブロックが含まれます。dSPACE は XSG モデルを FPGA のインターフェースに接続するためのハードウェア (DS5203 FPGA Board) とソフトウェア (RTI FPGA Programming Blockset) の両方を提供します。

DS5203 FPGA Board にはプログラミング可能な Virtex® 5 Xilinx FPGA および設定済みの I/O ドライバコンポーネントが含まれます。RTI FPGA Programming Blockset により、I/O ボードの I/O ドライバコンポーネントの接続や、プロセッサボードに接続するモデリング作業を容易に行うことができるため、プロセッサボード (複雑なモデルの演算にセントラルボードとして使用する dSPACE の DS1006 など) をすばやく簡単に FPGA に接続することができます。これにより、dSPACE のプロトタイピングシステムや HIL (Hardware-in-the-Loop) システムの作業でユーザが

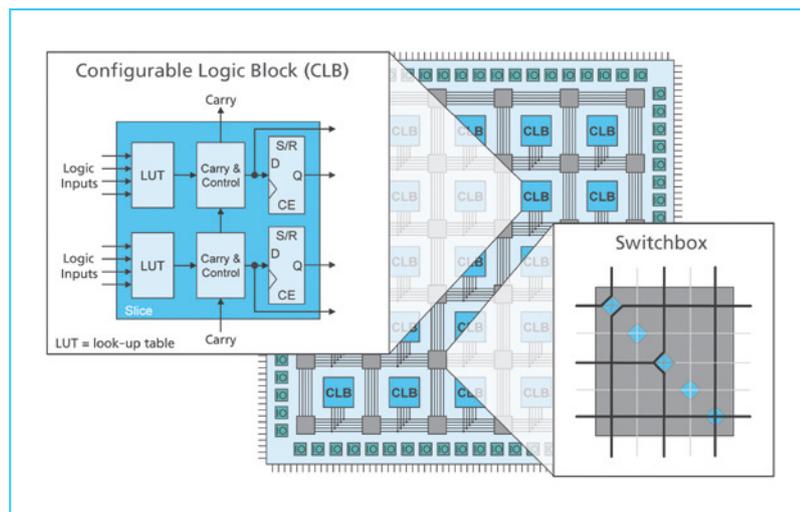
すでに習熟している Simulink 環境に、FPGA プログラミングがシームレスに統合されます。FPGA ボードを使用する場合、FPGA またはプロセッサの論理合成、ビルド、およびプログラミングを Simulink から直接実行できるため、非常に便利です。

#### プログラミングに対する将来的な要件

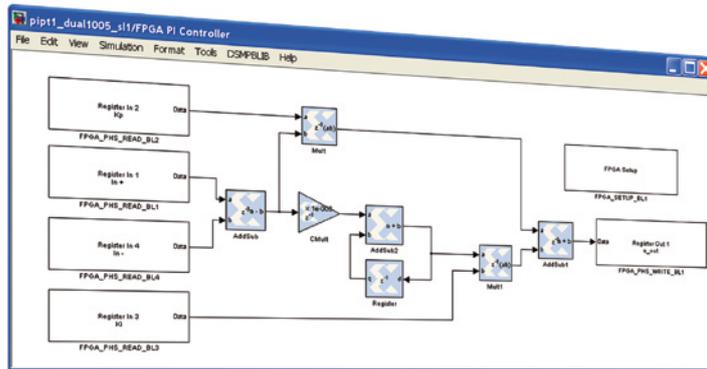
論理合成プロセスでは、それぞれの制御ロジックやモデルブロックは専用のハードウェアに個別にマッピングされ、FPGA 上のスペースを必要とします。浮動小数点データタイプは膨大なリソースを消費するため、現行の FPGA では実用レベルで実行できるのは固定小数点データタイプの演算のみとなっています。

妥当なレベルで精度と必要なスペースの折り合いをつけるため、それぞれの制御ロジックのビット幅を定義する際に、FPGA 分野の専門技術者がモデル開発者をサポートすると良い結果が得られます。FPGA 専門技術者は、信号実行時間および切り替えのタイミングなど、FPGA 固有のプロパティの最適化にも貢献します。モデルのオフラインシミュレーションまたは Simulink と VHDL コードのジョイントシミュレーションは、実際の FPGA にモデルを実装する前に問題を特定するのに役立ちます。

これらの要件のため、FPGA に制御ロジックを実装する必要がある場合、FPGA 専門技術者がモデリングの責任者であるソフトウェア開発者のサポートとして力を発揮すると考えられます。両者が並行して作業し、それぞれの中間結果のジョイントシミュレーションを実行するか、FPGA 専門技術者が FPGA 関連のタスクを先に解決し、その結果をソフトウェア開発者に渡す作業方法も可能です。その結果、将来のタスクに流用することができる数々のソリューションを蓄積することができます。



FPGA (Field-Programmable Gate Array) は柔軟に相互接続することが可能な多数のロジック素子で構成されています。このため、FPGA はきわめて幅広いアプリケーションに対応することができます。



DS5203 FPGA Board に対応する XSG ブロックを使用した Simulink モデル：PI コントローラの例。

### 実際の FPGA の使用法

dSPACE システムの中核はプロセッサボードです。プロセッサボードがモデルの計算を要求されるサイクルタイム内に完了できない場合、モデルの一部を FPGA に移行する必要があります。

FPGA のクロック周波数 (DS5203 は 100 MHz) はプロセッサ (DS1006 プロセッサボードは 3 GHz) に比べるとかなり低速ですが、数々のタスクを高速化することができます。これは、ロジック素子が並列で動作するため、クロック周波数の遅さを補う以上の効果をもたらす場合が多いためです。さらに、DS5203 上の FPGA が直接入出力に接続されるため、コンバータの全体的な帯域幅を最小限のレイテンシで使用できるとともに、きわめて高速の制御ループを実装できます。こうした特長は、排出ガス削減および燃費の改善のため、高度な応答性を備えた、高速で複雑な制御回路への要求が増大し続ける自動車用 ECU の開発では、大きな課題となってきました。たとえば、筒内圧に基づくエンジン制御とノッキング解析は、強力なシグナルコンディショニングが要求される適用分野です。FPGA のもつ特長は、これらの分野にとって理想的です。

### 電動パワートレインでの大きな利点

燃費向上のため、パワートレインの電動化の動きが加速しています。機械的に連結された従来の補機類 (油圧機器および冷却水ポンプなど) は、必要な場合のみ作動して非作動時にはエネルギーを消費しない電動タイプのものへと置き換えが進んでいます。このような Electric Drive 用コントローラの開発には、さまざまなインターフェースの柔軟な対応が必要です。これには、リゾルバおよびエンコーダなどのポジションセンサのインターフェースや、矩形波および正弦波整流用パワーステージに対応するインターフェースなどが含まれます。

HIL シミュレータで ECU テストを実行す

る場合、Electric Drive モデルの一部を FPGA に実装する必要があります。これを行わない場合、高度なダイナミクスの要求を満たすことができません。Electric Drive では、たとえば 20 kHz で ECU がパワーフローを直接制御します。各パワーステージでの高度にダイナミックな影響を十分な精度でモデル化するためには、1 マイクロ秒 (100 万分の 1 秒) を大幅に下回るサイクルタイムが必要となります。このサイクルタイムは、FPGA を使用しなければ実現不可能で、最低でも 1 枚の FPGA ボードでモーター電流の演算処理を実行する必要があります。

### DS5203 の技術詳細

特定のアプリケーション専用で作成された I/O 設定を提供する DS5202 FPGA Base Board とは異なり、新製品の DS5203 では、自由なプログラミングが可能で、さまざまなシナリオに柔軟に対応できます。

DS5203 は、きわめて強力な FPGA である Xilinx Virtex-5 SX95 FPGA を搭載し、94,298 個ものロジックセルと 640 個の専用 DSP ブロックを備えています。DSP ブロックでは、2 つの信号の乗算がリソースを消費せずに高速に実行されます。外部センサとアクチュエータの接続のため、DS5203 には ADC が 6 個、DAC が 6 個 (14 ビット、10 MSPS) およびデジタル I/O チャンネルが 16 個用意されています。



新製品 DS5203 FPGA Board

## DS5203 の仕様

タイプ :	FPGA ボード、Simulink ブロックセットにより自由にプログラミング可能
FPGA :	Xilinx Virtex-5 SX95、100 MHz
I/O :	ADC × 6、DAC (14 ビット、10 MSPC) × 6、デジタルチャンネル × 16 (増設可)
バス :	dSPACE PHS++

必要に応じて、プラグオンモジュールで I/O チャンネルを増設することができます。プロセッサボードへの接続は、通常の PHS バス経由で行われます。

FPGA の 100 MHz というクロック周波数により、短いサイクルタイムで要求の厳しいタスクを実装することができます。■

## まとめ

RTI FPGA Programming Blockset と Xilinx System Generator を使って、DS5203 FPGA Board をプログラミングすることにより、Simulink モデルを使ったプロセッサアプリケーションと FPGA アプリケーションの一貫性のある並行開発が可能となります。これら 2 つのアプリケーションの相互作用は、リアルタイムシステムにロードする前にオフラインシミュレーションでテストすることができます。したがって、シグナルコンディショニング、新しいインターフェースの使用、モデルの高速な実行など、より厳しい要求にも柔軟かつ迅速に対応することができます。

ヨーロッパおよびアジア以外での入手については、dSPACE にお問い合わせください。

## インタビュー

Jürgen Klahold,  
HIL シミュレータ担当製品エンジニア  
(dSPACE GmbH)



dSPACE の新製品、DS5203 FPGA Board の代表的なアプリケーションについて。

パワートレインの電動化が進み、自動車ではきわめてダイナミックな Electric Drive が採用されるケースが増えてきました。そのために必要となる ECU の開発では、特にプロトタイプングと HIL テストが大きな課題となります。その課題に対する最適なソリューションが DS5203 なのです。また、この製品は最新のノッキング制御で求められる拡張された信号分析などにも新たな可能性を開くものです。

**DS5203 は、アプリケーションのテストで、どのような役割を果たしますか？**

Electric Drive の高度なダイナミクスに対応するためには、きわめて短いサイクルタイムのシミュレーションが必要です。パワーステージの影響も考慮に入れた場合、100 万分の 1 秒を大幅に下回るサイクルタイムを実現する必要があります。これは、コイルモデルなど制御対象モデルの少なくとも一部を FPGA に移行しない限り達成することはできません。

**このボードの長所と利点は？**

DS5203 FPGA Board は、Simulink® から直接プログラミングすることができるので、慣れ親しんだツールチェーンにシームレスに統合することができます。このボードは、パワフルな FPGA と豊富な I/O インターフェースを実際のボード上に備えています。それでも不十分な場合、プラグオンモジュールを使ってインターフェースを増設することができます。

**このボードを使った場合、ユーザにはどのようなメリットがありますか？**

ゼロに近いレイテンシでボード I/O に直接アクセスするアプリケーションを作成できるため、ユーザはこの信号コンバータの全帯域をフルに利用することができます。そのため、きわめて短いサイクルタイムで制御ループを閉じることができ、また、新しいインターフェースを実装することもできます。

ありがとうございました。