

効果的かつコスト効率に優れた新たなハイブリッドドライブの実現には、新しい48Vの車両電気システムが必要です。それに伴い、車両に搭載されるパワーエレクトロニクス機器の新たな妥当性確認の方法も必要となります。韓国自動車研究院 (KATECH) では、自動車産業向けのテストングサービスを提供するために、dSPACEの柔軟なテストシステムセットを使用しています。

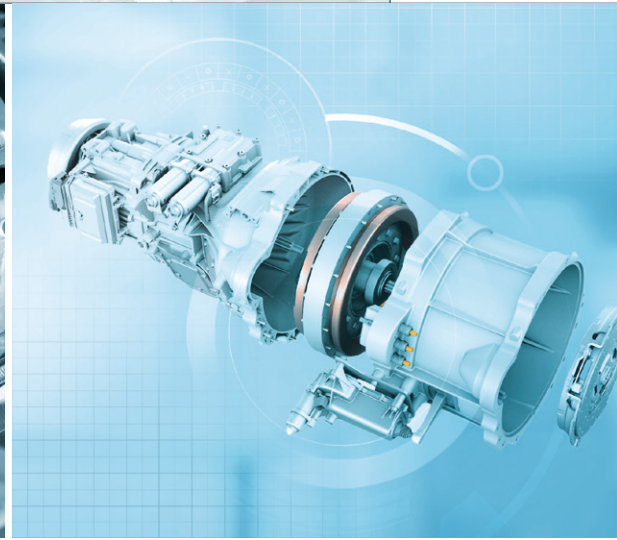
ハイブリッドドライブトレイン ECU の  
パワーレベルでの妥当性確認

# Virtual Mild Hybrids





ベルト駆動のスタータジェネレータを搭載したマイルドハイブリッドの例。



モーターをトランスミッション入力シャフトに統合したハイブリッド方式の例。

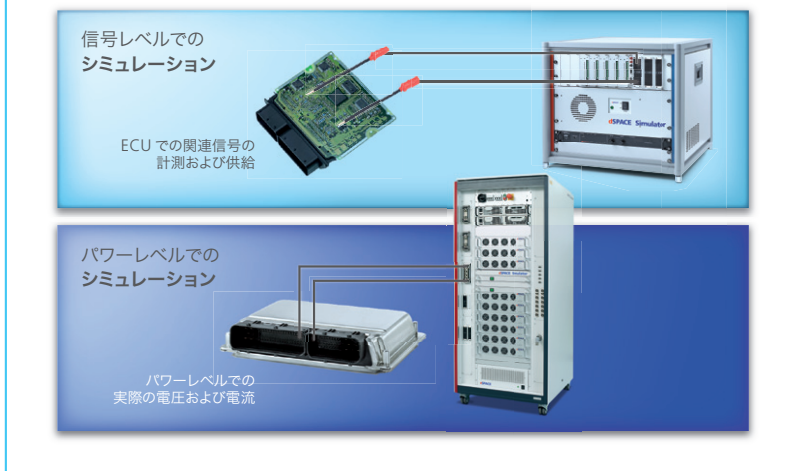


**車**両に搭載される電気部品数は増加の一途をたどり、それにつれて電力消費量も増加しています。そのため、12 V 電源では、電力要件が高いコンポーネントへの電力供給が難しいケースが増えています。48 V システムを導入すると、この問題点を克服できるだけでなく、より低い電流で同等以上のパフォーマンスレベルを実現できるようになります。各自動車メーカーは、電装システムや、バッテリー、コンバータ、ジェネレータといったコンポーネントを再設計することで、48 V システムの実装を目指しています。一部の大手 OEM メーカーでは、48 V バッテリーユニット、電気自動車およびハイブリッド専用充電ポート、部分的なネットワーク運用のための CAN バスインターフェースを含む一般的なアーキテクチャエレメントの多くを車載電源ネットワークに組込もうとしています。コスト効率の高いハイブリッドドライブトレインの開発は、このような試みによって進められています。

#### 高いコスト効率を実現する 48V マイルドハイブリッドテクノロジー

従来のハイブリッド車では、モーターは内燃エンジンに直接接続されています。ここに 48 V システムを実装するには、車両全体の設計や複雑な電気コンポーネントの抜本的な変更が必要となるため、開発時間とコストは膨大になります。その結果、エンドユーザ価格の上昇を招きます。マイルドハイブリッドシステムは、車体に対するコンセプト変更を最小限に抑えながら、燃費向上を実現させるシステムですが、内燃エンジンの補助的機能であり、電力単独で車両を駆動できるわけではありません。しかし、マイルドハイブリッドシステムのコンセプトは、より高度な統合レベルでも十分通用する柔軟性を備えています。たとえば、ベルトドライブで内燃エンジンに連結されたモーターは、スタータやオルタネータの代わりとして使用されていますが、モーターをクランクシャフトまたはトランスミッション入力シャフトに取り付け

>>



パワーステージを含む制御デバイスのテスト：信号レベルでのシミュレーションは、開封された ECU で信号をピックアップするか、パワーステージ (上) 前面の入力により実行するのに対し、パワーレベルでのシミュレーションでは、制御システムの実際の電流および電圧を ECU のパワー出力ステージ (下) でエミュレートします。

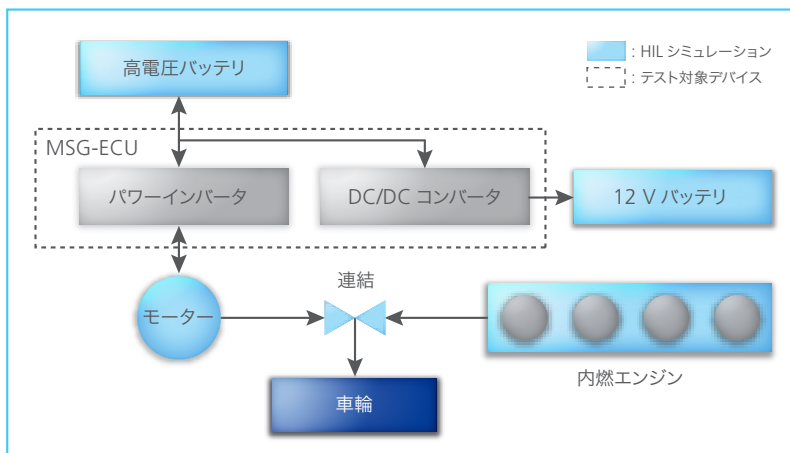
ることもできます。ただし、モーターへの電源供給には別個のバッテリーが必要となります。

#### 統合型のモータースタートジェネレータ

各自動車メーカーでは、要件に適合した 48 V システムの実装を目指し、内燃エンジンに連結できるモーターとして、統合型モータースタートジェネレータ (MSG) の開発に取り組んでいます。この革新的な駆動コンポーネントは、4 つの機能 (エネルギー回生ブレーキ、始動時のトルクサポート、快適なスタートストップ制御、およびエネルギー効率の高い惰行) を 1 つ

のシステムで実現します。ジェネレータは約 10 kW の発電容量を持つように設計されており、電気エネルギーは、従来のスタータバッテリー程度の小型のリチウムイオンバッテリーに蓄えられます。48 V 電源を搭載していない車両や、従来型の 12 V コンポーネントを搭載した車両では、DC/DC (双方向) コンバータを使用して 12 V バッテリーおよびコンポーネントを作動させます。統合型モータースタートジェネレータでは、すべての機能および AC 電圧発生用のインバータが 1 つのコントローラに統合されています。また、DC/DC コンバータを別個のハウジングに配置することも

テスト対象デバイスとしてのマイルドハイブリッド駆動制御装置 (MSG-ECU) とシミュレーション対象コンポーネント (高電圧バッテリー、12 V バッテリー、モーター)。



きます。これにより、電子制御システムとモーターの電流および電圧を変換するためのパワーステージを結合することができます。

#### ECU テストの要件

韓国自動車研究院 (KATECH) は、安全関連の MSG コントローラ機能を適切かつ効率的に検証するためのテストングサービスを提供する研究機関です。KATECH の目的は、シンプルで使いやすく、さまざまなメーカー製の統合レベルが異なる制御デバイスに直接接続できるテストシステムを提供することです。テスト対象デバイスは通常、シミュレーション時にアクセスできるようにするために制御部を電源部から分離 (つまり、開ける) する必要がありますが、多くの場合、高度なシステム統合により相互に密接にリンクされているこれらのデバイスでそのような作業を行うにはリスクが伴います。そのため、デバイスのシミュレーションはパワーレベルで行う必要が生じます。この場合、シミュレータを使用してモーターをパワーレベルでエミュレートし、実際のモーターの電流および電圧を正確に再現する必要がありますが、これは特に難しい作業です。また、250 A レンジの連続的な大電流や、最大 550 A のピーク電流にも対応する必要があり、高ダイナミックレンジを使用した電気デバイスのリアルなシミュレーションも必要です。

#### シミュレータのコンセプト

KATECH では、すべての重要なコンポーネントをシングルソースで提供できる、優れた統合性を備えたテストシステムを開発する必要がありました。そこで、シミュレータの設計および実装を dSPACE に依頼しました。シミュレータの設計コンセプトでは、2 つのコンピューティングプラットフォームを使用して、制御システムのダイナミクスを反映できるようにしました。まず、車両電装システムや車両機械システム、およびレストバスのシミュレーションに適したプロセッサベースのプラットフォーム (クワッドコア DS1006

Processor Board) を使用し、次に、高度に動的なモーターシミュレーションの処理用に最適化された FPGA (フィールドプログラマブルゲートアレイ) ベースのプラットフォーム (DS5203 FPGA Board) を使用します。また、モーターの電流を FPGA 信号から生成する場合は、電子負荷と呼ばれる特定のパワー出力ステージを使用します。シミュレーション対象のすべてのコンポーネントは、dSPACE モデルライブラリ、Automotive Simulation Models(ASM)、および XSG Electric Components Library に含まれるプラントモデルを使用して計算します。

#### シミュレータの構造およびパフォーマンス

シミュレータのコンポーネントは 19 インチキャビネットに格納されており、エミュレートされる高電圧バッテリーの端末電圧は、並列に接続された 2 系統の調整電源によって供給されます。モーターエミュレーション用のパワー出力ステージは 6 個の DS5381 電子負荷モジュールで構成されており、AC モーターの 3 相電流をエミュレートします。それぞれの相には 6 個のモジュールが並列に接続されており、250 A<sub>rms</sub> のモーター相電流を連続的に供給し、550 A<sub>peak</sub> のピーク電流を 10 秒間供給します。3 個の追加負荷モジュールは、12 V<sub>DC</sub> ソース/シンク ± 170 A<sub>DC</sub> を供給します。この構成により、テスト対象の DC/DC コンバータに負荷を提供し、接続対象の 12 V ネットワーク (電力消費デバイスおよびバッテリーで構成) をエミュレートします。

#### シミュレータ独自の機能

シミュレータは大電流を処理できるだけでなく、優れたエネルギー効率も提供しま



dSPACE シミュレータと接続された ECU で構成されるテストシステム。

す。これにより、高いシミュレーション品質を維持しながら、さまざまなタイプのエンジンのエミュレートが可能です。

#### ■ 回生によるエネルギー効率性：

テスト対象 ECU と電子負荷間の電力回路に 48 V DC リンクを使用した場合、主電源から引き出される電力に関して、シミュレートされた有効電力が電子負荷の電力消費に比べて大幅に高い場合があります。これは、電源ユニットが対応するのはテスト対象 ECU と電子

負荷の電力消失のみであり、シミュレータに接続された負荷がテスト対象 ECU のパフォーマンスを大幅に下回るためです。そのため、主電源へのエネルギーのフィードバックは必要ありません。

#### ■ シミュレーション品質：

電気機械の高度にダイナミックな作用をシミュレーションで詳細に表現するためには、数マイクロ秒のサイクルタイムが必要となります。そのため、シミュレーションには高速な並列処理と低

>>

「dSPACE の超高速 FPGA コンピューティングプラットフォームと電気コンポーネント用 XSG モデルは、当研究院が行う高度なモーターシミュレーションに必要な要件を満たしています」

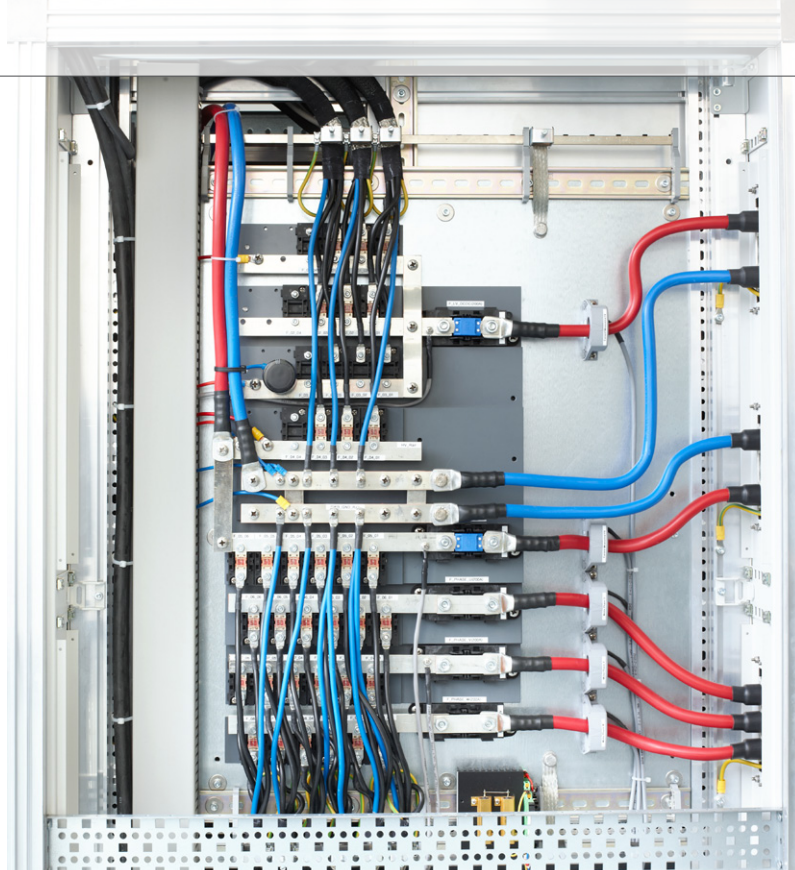
Raecheong Kang 氏、KATECH

## 韓国自動車研究院

韓国自動車研究院 (KATECH) は、産業通商資源部 (MOTIE) の直属部門として、産業技術革新促進法に基づいて 1990 年に設立されました。同研究院は地域の自動車部品産業、特に中小企業を中心に支援を行っています。企業の研究および信頼性テストを支援し、技術施設および人的資源を提供することで、業界の継続的な成長を促進しています。

## 謝辞

本プロジェクトは、韓国産業通商資源部 (MOTIE) の助成金による基盤技術産業インフラストラクチャプログラム (M0000022) に全面的に基づいて実施されました。



シミュレータ内部の配線。組み込みのケーブル交差部には大電流が流れています。

い I/O レイテンシ特性を持つ FPGA が使用されています。FPGA 専用に設計された XSG Electric Components Library のシミュレーションモデルを使用すると、専用テクノロジーにより高度なシミュレーションパフォーマンスを実現できます。XSG モデルライブラリには、エンジンモデル、エンコーダ、フィルタなどのすぐに使用可能なコンポーネントが搭載されています。FPGA のシミュレーション信号は、負荷モジュールを使用してパワーレベルで実装されます。実装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 パワーステージによって実行されるため、モーター電流の高度に動的なシミュレーションが保証されます。

### ■ 柔軟性 :

電子負荷による電流の直接注入を使用した高度にダイナミックなエンジンシミュレーションを dSPACE FPGA プラットフォームで行うことにより、さまざま

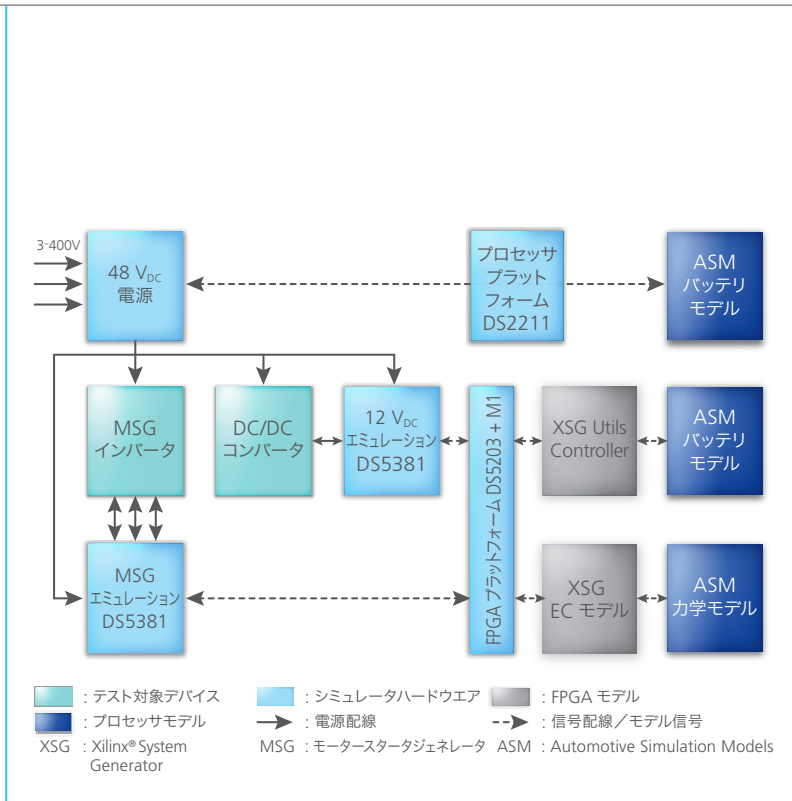
なモーターインダクタンスのエミュレーションが可能になります。また、受動部品を追加する必要がないため、シミュレート可能な最大相電流を増加させる場合も、負荷モジュールを並列に接続するだけで済みます。これらを活用することで、設計やパラメータが異なるモーターでも同一のシステム上でテストできるようになります。

### テストシステムの評価

dSPACE では、dSPACE シミュレータや各種の電子負荷モジュールを組み合わせることにより、メーカーや統合深度が異なる MSG 制御ユニットの妥当性確認を容易かつ確実に行えるテストシステムを KATECH に提供しています。このシステムでは、ECU を改変せずにパワーレベルで動作させることができるだけでなく、(12 V 車両電装システムの使用など) システム的な組み合わせも考慮されているため、テスト担当者は十分な深度でテストを行うこ

「電子負荷モジュールを搭載した dSPACE シミュレータは、マイルドハイブリッド ECU の妥当性確認には不可欠です」

Kiyun Jeong 氏, KATECH



シミュレーション環境におけるテスト対象デバイス (DUT) とシミュレーション対象コンポーネントのセットアップ。

とができます。シミュレーションの品質やシステムの信頼性は、実際の運用実績で証明されています。パワーレベルでのシミュレーションでは、シミュレータの機械的変更の手間が不要なため、機械式テストベンチなどのその他のアプローチに比べて大きな利点があります。システムには可動部品や回転部品が存在しないため、高額な構造的防護対策を行うことなく、ラボ内で容易に操作することができます。シ

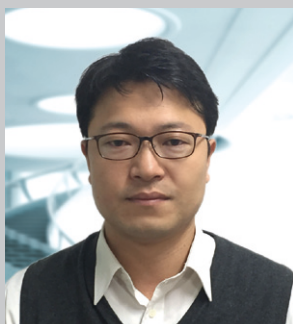
ミュレータの魅力の1つは、ボタンを押したりモデルを変更するだけで、新しいテスト対象デバイスのプロパティを簡単に調整できる点にあります。■

Kiyun Jeong 氏、Raecheong Kang 氏、  
韓国自動車研究院 (KATECH)

## まとめ

スタータおよびジェネレータ技術を搭載した効率的でコストパフォーマンスに優れたハイブリッドドライブの開発には、新しい48V電源システムが不可欠です。KATECHでは、韓国の自動車産業やメーカーに対し、パワーレベルでエンジン ECU の妥当性確認を行えるラボやノウハウを提供しています。KATECHでは、dSPACE が提供する高度にダイナミックな負荷モデルとシミュレータを使用して、モーターシミュレーションを行っています。このテストシステムは、250/550 A の範囲で動作可能な高度にダイナミックな HIL コンポーネントを使用しており、最新のマイルドハイブリッド ECU 機能の妥当性をパワーレベルで確認することができるため、ECU やインバータ、DC/DC コンバータを確実にテストできます。

Kiyun Jeong 氏  
韓国自動車研究院 (KATECH)、インテリジェント制御システム研究センター 所長 (韓国、忠清南道)



Raecheong Kang 氏  
韓国自動車研究院 (KATECH)、インテリジェント制御システム研究センター、モデリングおよび HIL シミュレータ運用 担当上級研究員 (韓国、忠清南道)

