

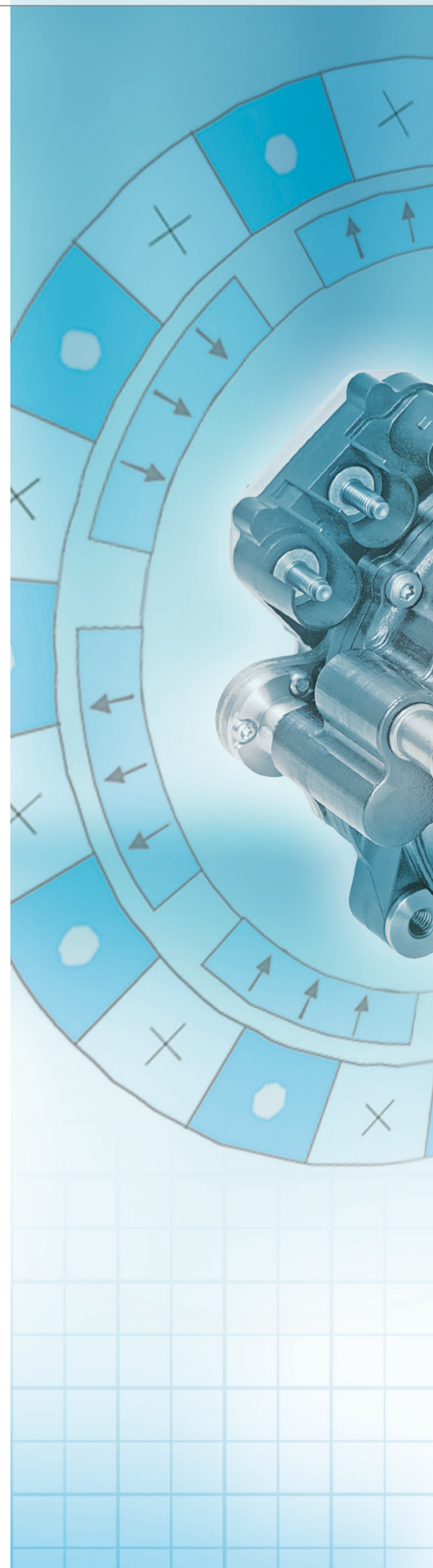
Continental 社の新しいベルト駆動スタータジェネレータは、48 V 車両電気システムというだけでなく、モーター／ジェネレータとして革新的に非同期モーターを使用しています。Continental 社では、dSPACE の柔軟な HIL テストシステムを使用して、マイルドハイブリッド ECU の開発を行っています。

古代ギリシア語の「synchronos」という単語は、「時間を共にする」ことを意味します。モーターとジェネレータの分野では、「同期機 (synchronous machine)」という用語は、しばしば永久磁石同期モーター (PMSM) や摺動接点付きの他励同期モーター (SSM) を示すために使用されます。これらのモーターでは、ローターはステータの回転磁界とまったく同じ速度で、つまり「同期的に」回転します。しかし、非同期機 (誘導モーター) では動作は異なります。ジェネレータでは、ローターはステータの回転磁界より速く回転します。モータリングでは、ローターはステータの回転磁界より遅く回転します。非同期機は、PMSM ほど出力密度は高くありませんが、コストのかかる永久磁石を使用しないため、手頃な価格で入手することができます。さらに、非同期機ではローターを直接接続する必要がないため、摺動接点なしに動作します。また、非同期機は機構が単純なため、非常に堅牢です。産業部門で何十年間にもわたって非同期機が使用され、内燃エンジンの過酷な環境においても主流の技術としてシステムの安定性に貢献してきたのは、まさにこのためです。Continental 社は、48 V ベルト駆動スタータジェネレータ (BSG) に誘導モーターを使用した最初の自動車部品メーカーです。同社では、これにより低コストなユニットの量産を実現しており、手頃な

価格のマイルドハイブリッド車の普及を通して CO₂ 排出削減を目指しています。

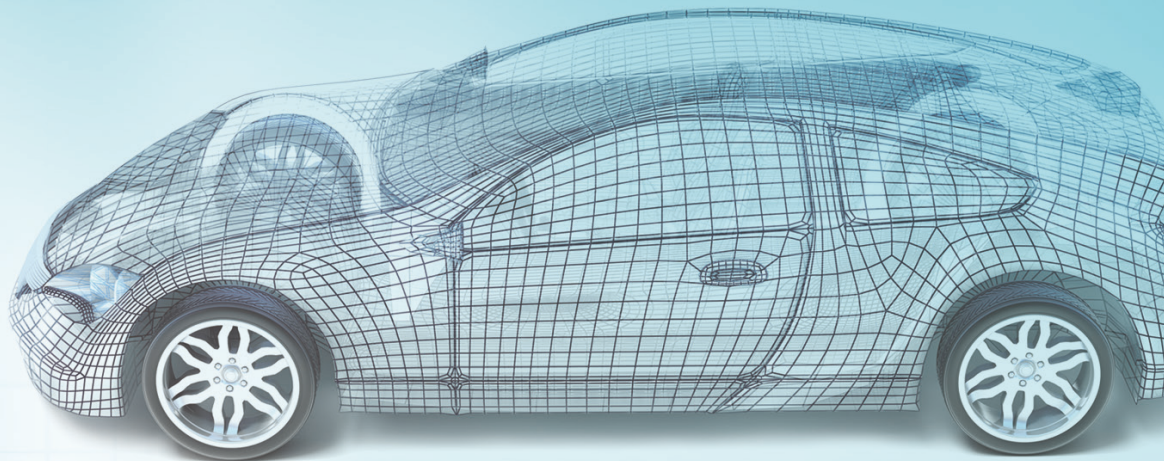
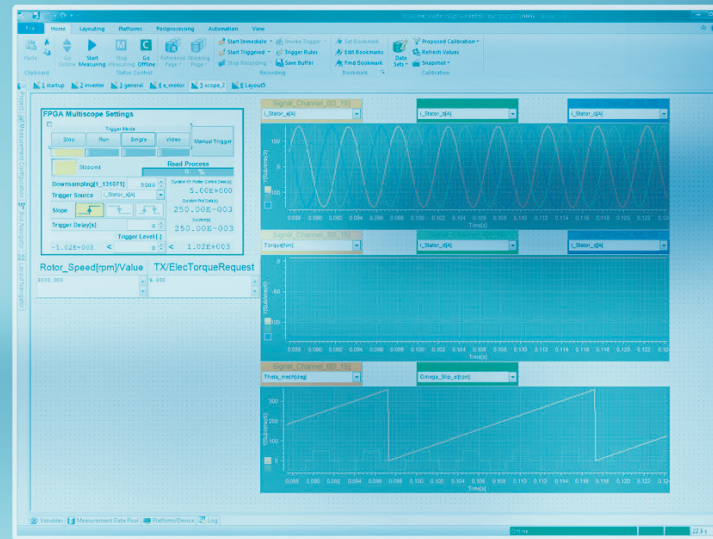
実績のあるテストプラットフォーム

48 V 車両電気システムの構成には、駆動ベルト付きモーターと内蔵インバータに加えて、リチウムイオンバッテリー、12 V DC/DC コンバータ、および関連制御ソフトウェアも組み込まれています。Continental 社の開発者は、これらを制御する機能の設計、実装、および妥当性確認や、機能安全に関するソフトウェアの開発を行っています。同社では、高電圧パワーエレクトロニクス開発における長年の経験に基づき、十分にテストされたコンセプトやプラットフォーム、ツールのみを使用して 48 V BSG の開発を行っているため、大幅な開発時間の短縮やロバスト性の向上、開発コストの削減が可能です。Continental 社では開発段階において、高い柔軟性と現実に即した機能を備えた dSPACE HIL (Hardware-in-the-Loop) テストシステムを利用しており、制御機能の妥当性確認に長年活用してきました。このテストシステムを使用すると純粋な PC ベースのシミュレーションを、コストと時間のかかる実際のモーターを含んだテストリグに紐付けることができます。これにより、開発者は、モーターパラメータの計測値や MATLAB® モデルで開発された制御アルゴリズムに基づいてシミュレーションを行い、モーターを最適化することができます。 >>



Synchronously Asynchronous

コストパフォーマンスの高いマイルド
ハイブリッドを実現する新たな手法



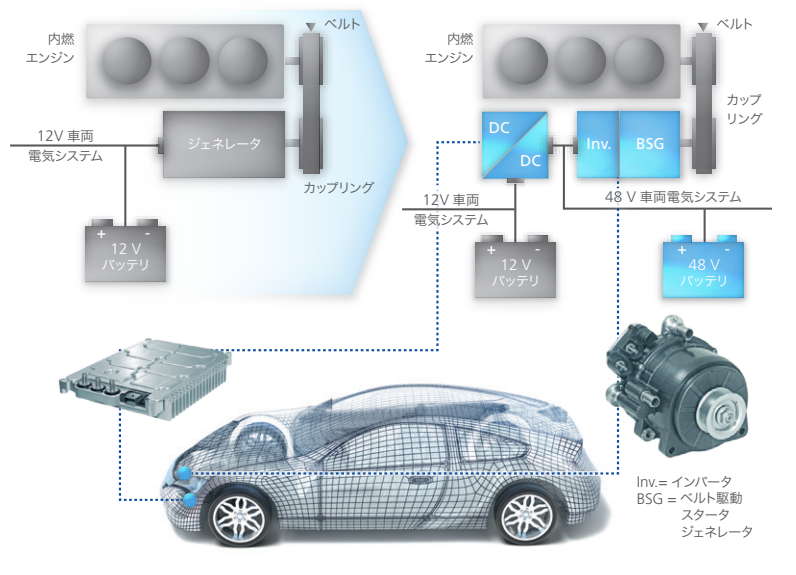


図1：Continental社では、48V Eco Driveのマイルドハイブリッドコンポーネント（水色）用に、従来の12Vシステムに加えて48V車両電気システムを使用しています。

早期の段階での最適化とテスト

HILシミュレータ上でモーターをエミュレートすることにより、非常に早い段階で新しい機能のテストと解析をインバータハードウェアで行うことができます。このアプローチにより、開発者は、制御ソフトウェアを組み込んだ48V BSGをテストベンチに統合する前でも、ハードウェアと機能の相互作用における潜在的なエラーを早期の段階で検出し、エラーの原因を取り除いて、これらの要素の最適化を開始することができます。また、HILシミュレータでテストを自動化することにより、初期の段階から、迅速かつ包括的に広範囲のテストを行い、顧客の要件に照らしてソフトウェアの妥当性を確認することができます。要件とテストの基準は、IBM® Rational® DOORS®を使用して指定します。Continental社では、自動作成されたテストカバレッジ指標を用いて、生成された自動帰帰テストをHILシミュレータ上

で実行し、その結果を解析して、レポートを作成したうえで、ソフトウェアを顧客に納品しています。

パートナーとの形式主義を排した長期的な協力関係

Continental社では、48V BSGを開発するにあたり、高度に動的なdSPACE DS5203 FPGA Boardとインバータ、機械装置、およびモーター向けの準連続モデルを含むXilinx® System Generator (XSG) Libraryを使用しました。48V BSGの開発では、モーターを正確にシミュレートするために、まず非同期モーターをXSG Electric Components Libraryに統合する必要があります。当時、dSPACE Releaseでのこのライブラリの提供はまだ先の予定でしたが、dSPACEは最新のXSGライブラリのベータバージョンにContinental社がアクセスできるようにしました。これにより、（後に通常

のdSPACE Releaseとして公開された）新しいモデルを使用して実際のテストを共同で行うことができました。

誘導モーターの正確なシミュレーション

Continental社は、わずか数日で、インバータECUとの相互作用が可能な最初のFPGAベース非同期モーターを構築することに成功し、dSPACEのサポートのもと、その試運転をレーゲンスブルクにあるHIL用ラボで実施しました。この際、シミュレーション結果を可能な限り現実的なものにするため、電流や温度に依存する影響要因だけでなく、周波数に依存する影響要因も考慮しました。FPGAモデルの拡張が必要になった場合も、同じくFPGAベースであるdSPACE XSG Utils Libraryを使用することで、それらを迅速かつ容易に実装することができました。Continental社では、この新しいモデルアプローチを採り入れたことで、関連する多くの影響要因を考慮することができ、テストトリグで記録された2DルックアップテーブルをHILシミュレータにそのまま使用することが可能になりました。これにより、モーター挙動の可能な限り正確なシミュレーションが実現しました。

高い柔軟性とシミュレーション品質

高い柔軟性を持ったdSPACEのモデリングインターフェースを使用すると、新しいFPGAバージョンを作成することなく、記録されたルックアップテーブルをシミュレートすることができます。ルックアップテーブルは、MATLAB®/Simulink®で作成されます。また、dSPACE ControlDesk® Next Generationで実行中にルックアップテーブルの調整を行うことも可能です。これにより、将来的に新しいモーターバリエーションの妥当性確認を行うといった場合についても柔軟性が確保されます。Continental社では、ControlDesk上にXSG Utils Libraryのマルチスコープ計器を統合することにより、FPGAの内部変数（電流、電

「当社では、48Vベルト駆動スタータジェネレータの開発で非常に良い成果を出すことができたため、最初のフォローアッププロジェクトから、FPGAおよびマシンモデルベースのHILシミュレーションを採用しています」

Anja Poppe氏、Continental社

圧、誘導率、または磁気飽和など）を FPGA レートに従ってビジュアル表示することができるため、制御方式の最適化や制御品質の継続的な改善を行うことができます。dSPACE は、非同期モーターを最適化するソリューションや、テスト段階で発見された問題に対する解決策を迅速に Continental 社に提供することで、同社の 48 V BSG の開発を後押ししました。

量産品質への道のり

Continental 社では、48 V BSG の開発で良い成果を出すことができたため、最初のフォローアッププロジェクトから、十分にテストされた FPGA およびマシンモデルベースの HIL シミュレーションを採用しています。スタータジェネレータを使用すれば、エネルギー回生も含めて、コンパクトカーの燃料消費を最大 20% 削減することができます。古代ギリシア語の「Asynchronous」の定義が真実であるのは、エネルギー回生、すなわち非同期モーターがジェネレータモードで動作する場合があります。ステータの回転磁界より早く回転するローターのように、量産開始する 2016 年よりも数歩先を進んでいる 48 V ベルト駆動スタータジェネレータそのものが当てはまるのです。■

Anja Poppe 氏、Josef Laumer 氏、
Continental 社



図 2 : Continental 社 (レーゲンスブルク) での HIL テスト装置の 1 つ

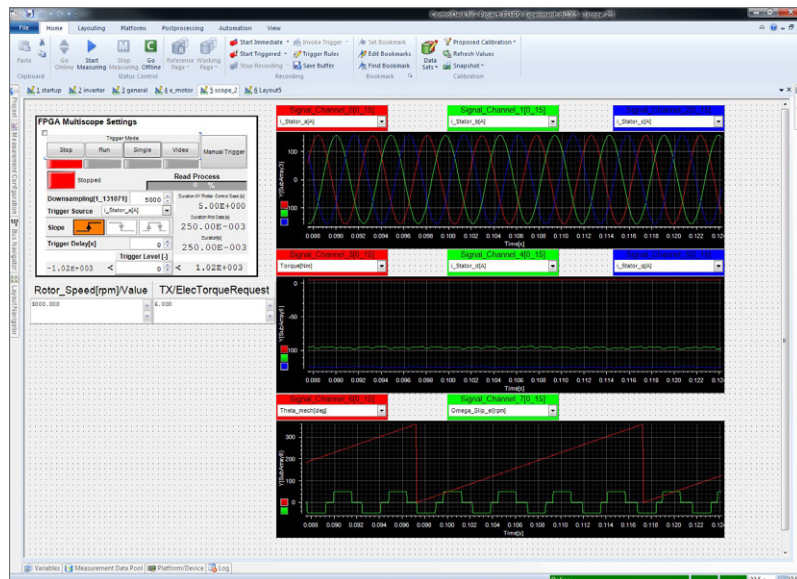


図 3 : ControlDesk Next Generation のマルチスコープ計器

Anja Poppe 氏

Continental 社、ハイブリッド車および電気自動車のソフトウェア/システムエンジニアリングでテスト戦略およびテスト装置を担当するソフトウェアテストマネージャ (ドイツ、レーゲンスブルク)



Josef Laumer 氏

Continental 社、ハイブリッド車および電気自動車のソフトウェア/システムエンジニアリングでモーター制御を担当する機能開発者 (ドイツ、レーゲンスブルク)

