

dSPACE

1/2016

# MAGAZINE

## Ford社

仮想検証による市場投入期間の  
短縮 | page 58

**Daimler社/MES社** – ISO 26262に準拠した  
安全な電動ドライブの開発 | page 18

**Hyundai MOBIS社** – より総合的な妥当性  
確認を行うための柔軟性に優れたADASテストベンチ | page 22



## ADASおよび自動運転を実現するための強力なツールチェーン

dSPACE および Intempora 社は、先進運転支援システム (ADAS) や高度に自動化された運転機能を開発するための完全なツールチェーンの提供に向けて、独占的なパートナーシップを締結しました。この協力関係においては、Intempora 社の RTMaps が重要な役割を担っています。RTMaps は、ソフトウェアの開発をコンポーネントベースで行えるランタイム環境です。RTMaps

を使用することにより、さまざまなセンサや車載バスから受信したデータにタイムスタンプを付けたり、データを同期、再生したりすることができます。dSPACE ツールチェーンに RTMaps を統合すると、dSPACE プラットフォームと RTMaps の間で低レイテンシの双方向通信を行えるようになります。詳細については、66 ページをご覧ください。



「賭けは始まっています」

運転するたびにはっきりと思い出すが、母親が助手席で「運転支援システム」のように振る舞っていたことです。「減速しなさい。スピードを落とすのよ!」、と。ところが、そう言われるたびに私は「ブレーキを踏んだら負けさ」、「ブレーキが遅いほど速く走れるよ」と返事をしていました。もちろん、これはほんの冗談でした。用心深い運転が極めて重要なのはわかっています。まず、第一に安全です。しかし、貴重な駆動エネルギーを単なる熱に変換してしまうのは好きではありません。そのため、私は制動エネルギーを回生する機能を搭載した新しい小型の電気自動車によく乗っています。ただし小型車の場合、大型車で味わえる豪華なその他の運転支援システムを諦めなければなりません。私は長年、運転の際にアダプティブクルーズコントロール（レーダー）を使用してきましたし、最近では、車線維持機能や死角検知補助機能のほか、ヘッドライトビーム制御、道路標識認識、スピードリミッター、全方位カメラシステム、そして昔ながらの「減速! 減速!」と大声で言うだけの母親のサポートの代わりに（そのようにプログラミングすることはおそらく可能でしょうが）点滅し、警告音を発し、ブレーキ処理のサポートも行う高度な支援システムも使用しています。私たちは、こうしたシステムにすぐに慣れてしまい、車を乗り換えてもこれらの機能を手放そうとは思いません。今日の自動車業界、ひいては dSPACE における最大の目標の 1 つは、予測運転から自律走行までをカバーする先進運転支援システムの開発です。私たちはこれまで、多数のこのようなプロジェク

トに関わってきましたが、私がこの原稿を書いている間にもその開発スピードは加速しています。また、当社の Intempora 社とのパートナーシップ締結（66 ページ）からもわかるように、dSPACE でも開発の勢いは増しています。

さて、私たちが注目すべき自動車業界における最大の課題とは何でしょうか。それは明らかに、機能をどのように開発するかではなく、機能をどのようにテストするかという点です。「以前と比べると、現在では適切なテストを行うのに必要な走行距離は数億キロメートルに増えています」とさまざまな方面から聞きますが、理由はシステムがそれほど複雑だからです。これを実際に路上で行うのは単純に不可能です。つまり、テストの設計と実施が極めて大きな課題となるのです。例えば、HIL テストを行う前に PC 上の仮想環境でテストを行えるようにフロントローディングすれば、大きな助けとなります。dSPACE では、特に先進運転支援システムの発展により必要性が増しているこの仮想検証手法を提供しています。

私は昨年、「今から 20 年後、パーダーボルンでそれほど多くの自律走行車を見ることはないだろう」と賭けに出る発言をしました。システムの複雑さと関連する法律上の問題を考慮したからです。ただし、私が間違っていたとしても、それは良いことでしょう。勝者には喜んで約束したシャンパンを振る舞うつもりです。

社長 Dr. Herbert Hanselmann

DAIMLER社/MES社 | PAGE

18



BMW社 | PAGE

6



HYUNDAI MOBIS社 | PAGE

22

dSPACE MAGAZINE は、下記により定期的に発行されています。

dSPACE GmbH · Rathenaustraße 26  
33102 Paderborn · Germany  
Tel.: +49 5251 1638-0 · Fax: +49 5251 16198-0  
dSPACE-magazine@dSPACE.com  
www.dSPACE.com

広告条例管理責任者: Bernd Schäfers-Maiwald  
編集長: André Klein

テクニカルライター: Thorsten Bödeker,  
Michael Lagemann, Ralf Lieberwirth,  
Dr. Gerhard Reiß, Sonja Ziegert

協力: Anne Geburzi, Hartmut Jürgens,  
Markus Plöger, Frank Puschmann,  
André Rolfmeier, Tino Schulze

編集および翻訳: Robert Bevington, Stefanie  
Bock, Anna-Lena Huthmacher, Dr. Michelle  
Kloppenburger, dSPACE Japan 株式会社

デザインおよびレイアウト: Jens Rackow,  
Sabine Stephan

翻訳: 株式会社シュタール ジャパン

表紙写真 © Ford 社

© 2016 dSPACE GmbH 著作権所有。書面による許可なしに、本出版物の全部または一部を複製することを禁じます。複製する場合は、出典を明記する必要があります。dSPACE では常に製品の品質向上に努めており、本出版物に記載された内容については予告なく変更になる可能性があります。dSPACE は、米国やその他の国における dSPACE GmbH の登録商標です。その他の登録商標については、www.dSPACE.jp/goto.cfm/terms を参照してください。その他のブランド名または製品名は、その企業または組織の商標または登録商標です。

# 目次



DLRブラウンシュヴァイク | PAGE

12



CATERPILLAR ENERGY SOLUTIONS社 | PAGE

36

## 3 社長挨拶

### お客様の事例

#### 6 BMW社

##### Virtual Validation in Practice

BMW社のF-SILステーション

#### 12 DLRブラウンシュヴァイク

##### Agile Blades

ヘリコプター用のマルチスワッシュプレートシステムによる騒音と振動の大幅な削減

#### 18 DAIMLER社/MES社

##### Electric and Safe

モテリングガイドラインを使用したElectric Driveソフトウェアの検証

#### 22 Hyundai MOBIS社

##### All You Can Test

複数の運転支援システムでのテストの同時進行

#### 26 ウィーン工科大学/Siemens社

##### Keeping Contact at 300 km/h

高速鉄道のパンタグラフ用テストベンチの高度に動的な制御

#### 32 アーヘン工科大学

##### Firing up Engine Innovation

インサイクル燃焼制御によるガソリンエンジンの自動点火

#### 36 Caterpillar Energy Solutions社

##### Top Performer

エネルギー供給用高性能ガスエンジンの制御

#### 42 CLAAS社

##### Smooth Success

トラクタ用の無限可変トランスミッションの開発

#### 48 BRILLIANCE社

##### Quick Multi-Platform Tests

複数の車両プラットフォームに対応する、柔軟かつ自動化されたテスト環境の構築

#### 52 DLRオーバーブフアッフェンホーフェン

##### Robotic Motion

対話形式によるピークルダイナミクスの動作シミュレーション

#### 58 Ford社

##### Rapid AUTOSAR Adoption

VEOS製品を使用したAUTOSARシミュレーション

### dSPACE 製品

#### 62 SCALEXIO LABBOX

##### Desktop Simulator

柔軟な機能テスト

#### 66 RTMaps

##### Rising to Multisensor Challenges

ADASおよび自動運転を実現するための優れたツールチェーン

### ビジネス

#### 70 SCALEXIO

##### HIL Simulation Revisited

SCALEXIOの5年 - 過去の考察と今後の展望

#### 74 パワーエレクトロニクス

##### Easy Virtualization of Power Electronics

リアルタイムアプリケーションを回路図から作成

### ニュース

#### 78 SystemDesk 4.5においてV-ECU生成時のサポートが拡張

DCI-CAN2: CAN FDネットワークへの接続

#### 79 dSPACE SCALEXIOによるモーターシミュレーション

#### 80 自動運転における車線検出

SYNECT: 複雑なHILシステムの適切な処理とTargetLinkモデルの集中管理

#### 81 dSPACEのツールチェーンにおけるASAM XIL規格

#### 82 DS5203 FPGA Boardの2つの新しいバリエーション

HILシミュレーションにおけるGNSS信号の生成

### dSPACE on Board

#### 83 タレス・アレーニア・スペース社: TargetLinkコードが軌道に到達

BMW社: 運転支援システムによる路上テスト

UR: BAN: 認知補助システム





# Virtual

## Validation in Practice

BMW 社の  
F-SIL ステーション

多くの部門が関係する ECU ソフトウェアの開発では、個々のコンポーネントのテストを早期の段階で現実に即して行うことがますます重要になっています。BMW 社では、同社における PC ベースのシミュレーションプラットフォームの中心として dSPACE VEOS を活用しています。



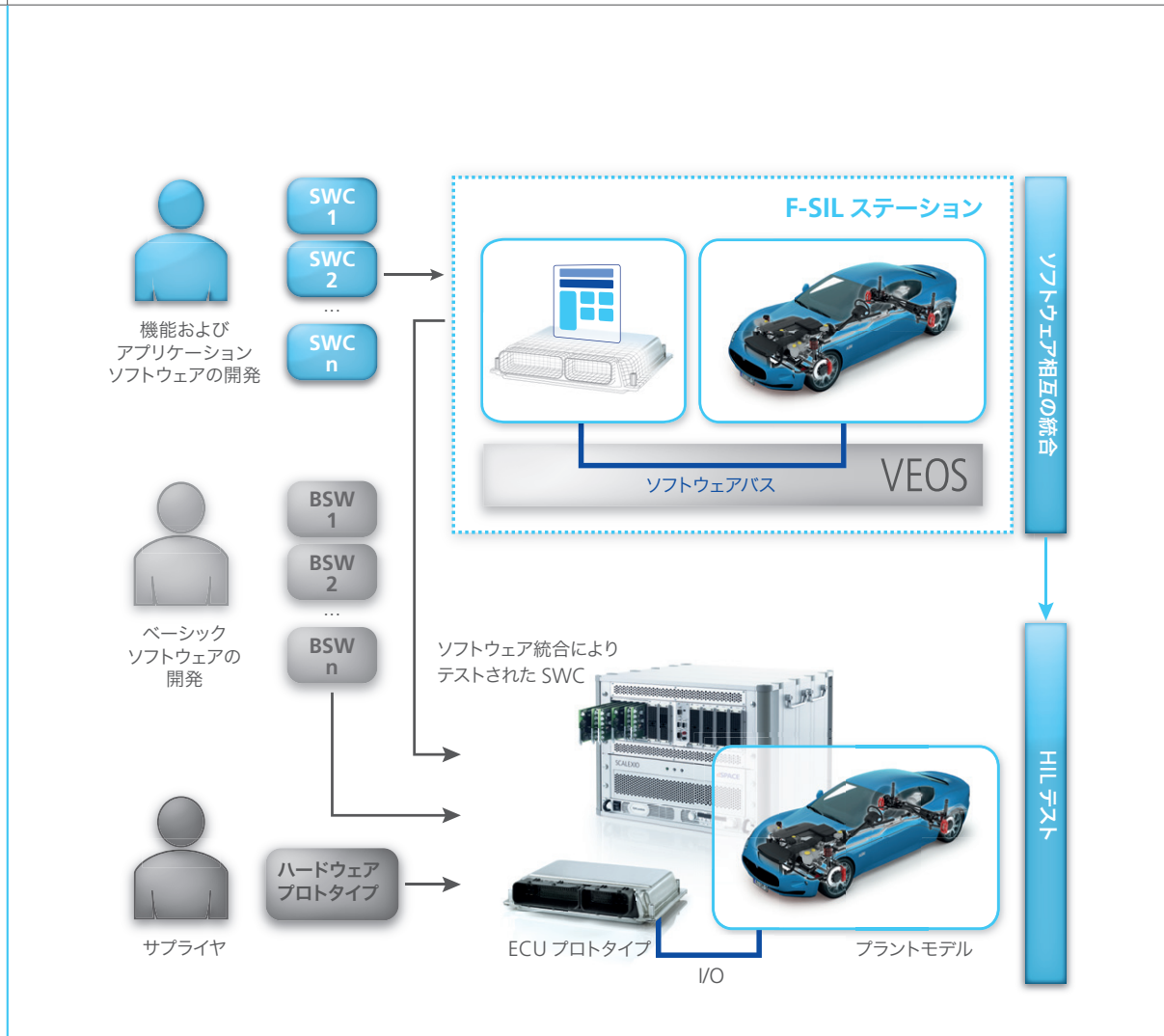


図1：F-SILステーションでは、ソフトウェアをハードウェアに統合する前の段階として、ソフトウェア相互の統合という新たなステップを追加しています。

**車** 両の仮想化は、開発した新しい制御方式のテストやシミュレーションを行う際の新たな手法です。車両を仮想化することで、2つの主要な課題に対応することができます。

#### 1. 分散型の開発環境に起因するエラーの削減

制御ロジックやアプリケーションソフトウェア、ベーシックソフトウェア、電子制御ユニット (ECU) ハードウェアプロトタイプ

など、個々のコンポーネントはさまざまなチームから提供されます。そのため、統合時にエラーが起きると、その発生源の特定には多大な労力が必要となります。



2. MATLAB®/Simulink® の制限の克服  
AUTOSAR ソフトウェアコンポーネントとベーシックソフトウェアモジュールを現実に近い状態でシミュレートすると、すぐに MATLAB®/Simulink® の機能的限界に達してしまいます。新しい機能の開発はますます複雑化しているため、関連する作業領域は以前よりも増大しています。開発タスクを分散化すれば市場投入までの時間は短縮できますが、より多くのチームや部門が関係することになるため、開発フェーズのより早期の段階でのテストが不可欠になります。

課題 1 の解決策：F-SIL ステーション

現行の開発プロセスでは、主に次の 3 つのチームが関与します。

- 制御ロジックおよびアプリケーションソフトウェア開発者：ソフトウェアコンポーネント (SWC) を提供します。

- ベーシックソフトウェア開発者：ベーシックソフトウェアコンポーネント (BSWC) を提供します。

- サプライヤ：ECU ハードウェアのプロトタイプを提供します。

ソフトウェアとハードウェアの統合が始められると、その時点ですべての SWC および BSWC が統合され、ECU プロトタイプ上に読み込まれます。次の段階では、総合的な HIL (Hardware-in-the-Loop) テストを行います。BMW 社では、ソフトウェアとハードウェアの統合前の段階において F-SIL ステーションを導入しました。F-SIL (機能的 Software-in-the-Loop) ステーションでは、まずは純粋にソフトウェアベースの統合を実施します (図 1)。これにより、制御ロジックおよびアプリケーションソフトウェア用に開発されたコンポーネントの相互作用を早期の段階でテストすることができます。開発者は、それぞれの

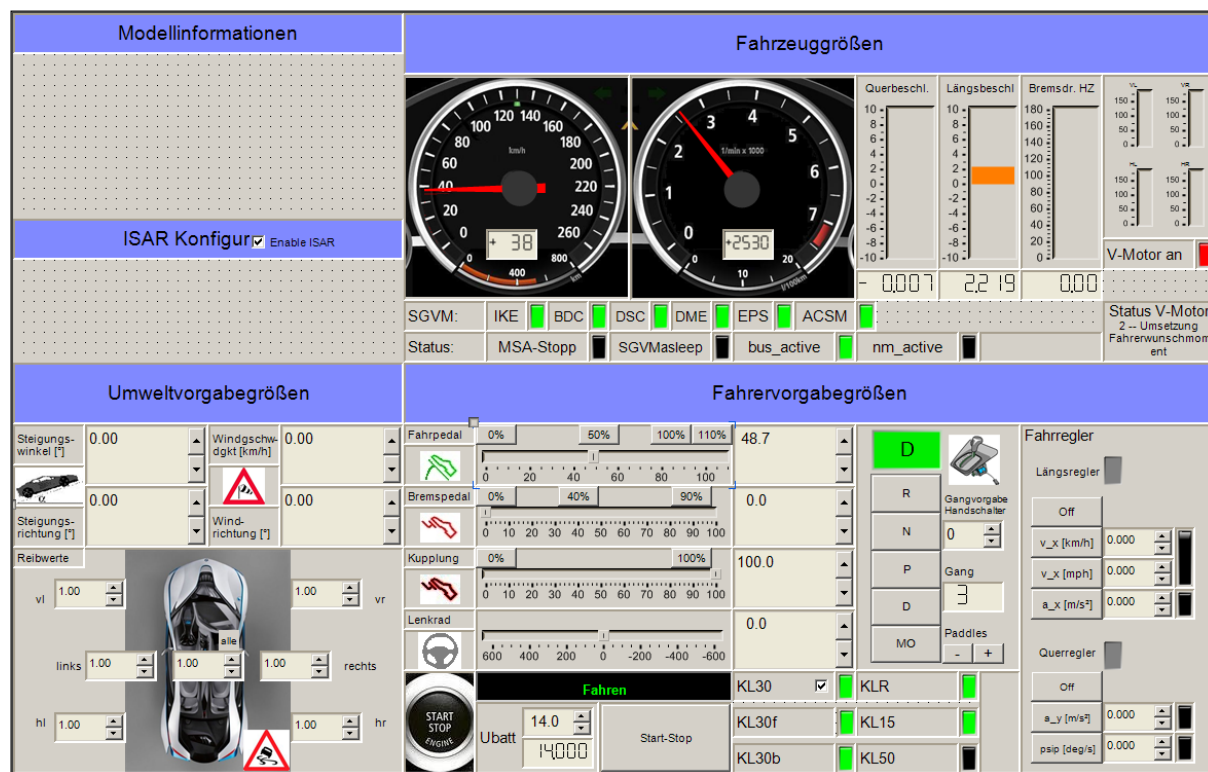
新しい開発状況を確認し、直ちに潜在的なエラーを修正することができます。これらのテストや修正作業により、ソフトウェアの完成度は開発サイクルの早期の段階で向上します。これ以降の統合テストでは、エラーはほんのわずかしかが発生せず、発生源の特定も容易です。

F-SIL ステーションの構成

BMW 社は、同社の統合およびシミュレーションプラットフォームである F-SIL ステーションの基盤として dSPACE VEOS を選択しました。ソフトウェア相互の統合では、ターゲットプラットフォームのハードウェア仕様の影響を受けないことが求められます。そのため、VEOS の使用には BMW 社での日常の作業環境である従来の Windows® PC が理想的でした。AUTOSAR、Functional Mock-up Interface (FMI)、MATLAB®/Simulink®

>>

図 2：ControlDesk Next Generation における BMW 車の仮想コックピット



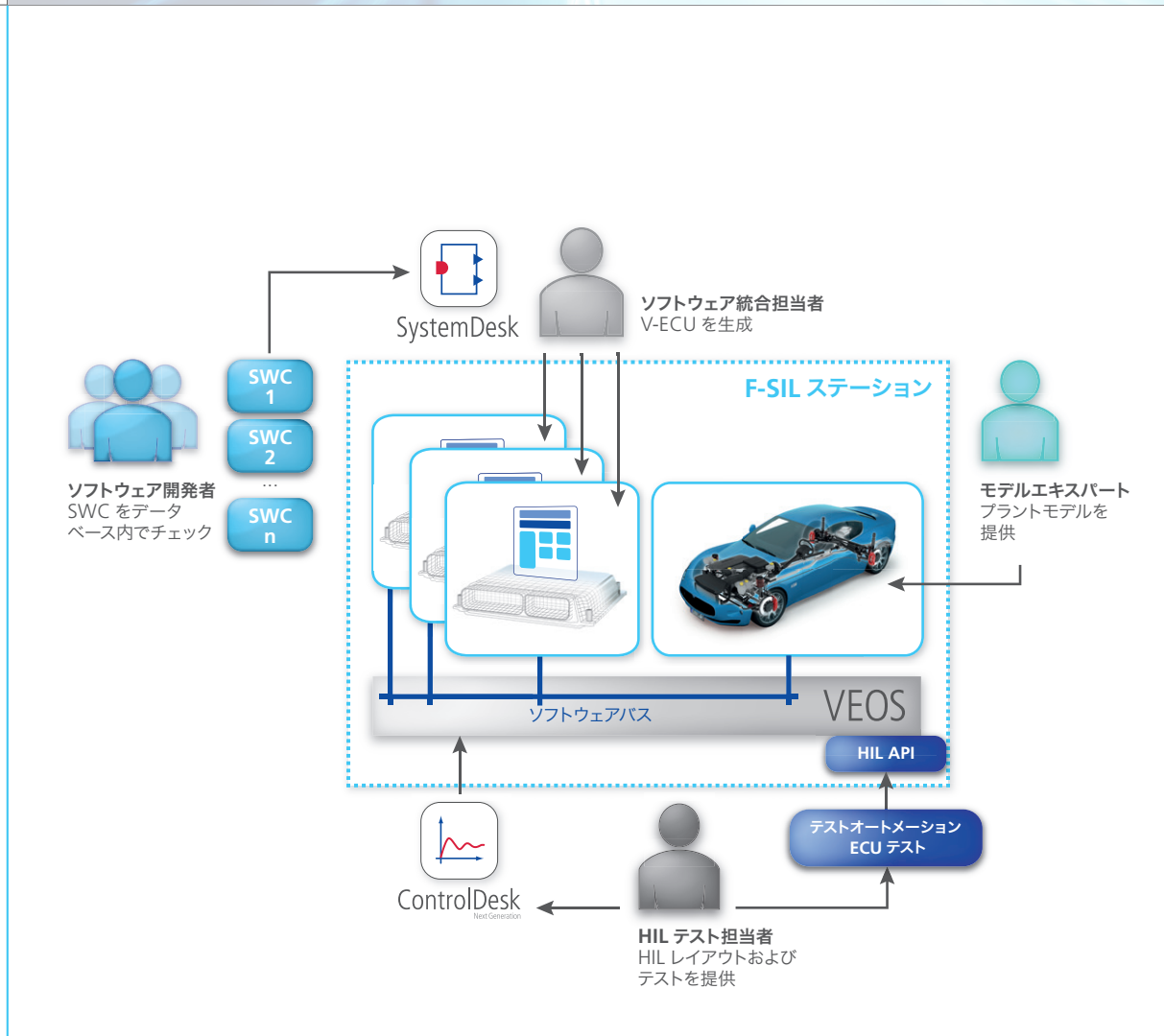


図 3 : F-SIL ステーションにおける製品、成果物、および役割の概要

など、複数のデファクトスタンダードを強固にサポートしていることも VEOS の明らかな利点です。さらに、VEOS は dSPACE ControlDesk® Next Generation や TraceTronic 社の ECU-TEST など、既存の HIL (Hardware-in-the-Loop) テストおよび試験ツールと容易に接続することができるため、既存の BMW ツールチェーンに F-SIL ステーションを統合する作業も容易に行えます。

#### 課題 2 の解決策 : VEOS ベースのワークフロー

F-SIL ステーションを通じて開発を行うと、さまざまな複合的なやり取りが可能になり、多くのチーム間での情報交換が容易になります。ソフトウェア統合担当者は、AUTOSAR SWC が入手できるとすぐに、適切な A2L 記述ファイルを含むパーチャ

ル ECU (V-ECU) を生成します。インターフェースエラーやリンカーエラーは、この段階で容易に除外できます。V-ECU の作成後、ソフトウェア統合担当者は、V-ECU とプラントモデル、あるいは環境モデルとの間のインターフェースを接続します。モデルの提供は、モデル作成チームが行います。これらのモデルは HIL 部門にも支給されます。ここでは数千もの信号が接続されるため、この統合プロセスは完全に自動で行われます。最終段階では、ソフトウェア統合担当者が ControlDesk Next Generation のプロジェクトファイルおよびレイアウトを HIL 部門から受け取ります (図 2)。F-SIL ステーションの閉ループシミュレーションでは、これらを使用して V-ECU の機能をテストします。すべてが問題なく進むと、ソフトウェア統合担当者がプロジェクト設定を発行します。この

設定は、制御ロジックおよびソフトウェア開発者が F-SIL ステーションで行う各テストで使用できます (図 3)。オープンなインターフェースを提供し、多数の規格をサポートする VEOS を開発環境で使用すると、既存の HIL テストシナリオやレイアウトを F-SIL ステーションでのテスト時に再利用することができるため、作業負荷が軽減され、テスト間のシームレスな移行が可能になります。制御ロジック開発者は現実的なテストシナリオを使用することができるため、MATLAB/Simulink のみをベースとしたシミュレーションの機能的限界を回避することができます。

#### BMW 社における F-SIL ステーションの重要性

制御ロジックおよびソフトウェアの開発者は、統合フェーズの初期段階では主に

F-SIL ステーションを使用します。これは、ターゲットプラットフォームがこの時点で存在しない、あるいはユニットの数が少ないかコストが高いために入手できないことが理由です。BMW 社では、現在 60 名を超える担当者が 3 つの F-SIL ステーションを使用して 4 つの異なるプロジェクトの仮想検証を行っています。ソフトウェア相互の統合はソフトウェアとハードウェアの統合前に実施されるため、統合フェーズで発生する負担は大幅に緩和されています。また、ソフトウェアおよび制御ロジックの開発者は、デバッグ、コードカバレッジ分析、パラメータの最適化といった非リアルタイムシミュレーションの機能を活用しつつ、自分の PC 上で HIL シミュレータ上と同様の作業を行うことができます。F-SIL ツールチェーンは、検証プロセスで現在使用されているツールを完全にサポートしているため、同社のさまざまなチームや役割の間で互換性の問題が生じることはありません。そのため、異なる分野にまたがる作業が行いやすくなり、新たな検証手順の受け入れも容易になっています。 ■

BMW AG 社のご厚意により寄稿

## まとめと今後の展望

BMW 社では、開発プロセスにおける新たな検証手順の導入によって大きな効果が生まれていることがすでに示されています。この新たな手順の導入に際しては、さまざまな部門間の連絡による細かな調整が必要となるため、ある程度の労力は要しますが、それを上回る相乗効果が期待できます。また、VEOS をシミュレーションプラットフォームとして使用することには、想像以上の利点があります。たとえば VEOS では、純粋なオフラインシミュレーション時の MATLAB®/Simulink® との互換性や性能に関する問題を大幅に削減することができます。そのため、今後はユーザやプロジェクトの増加が見込まれます。F-SIL ステーションは既に検証プロセスにおけるキーコンポーネントとして確立されており、次の量産シリーズでは重要な一部となっているでしょう。

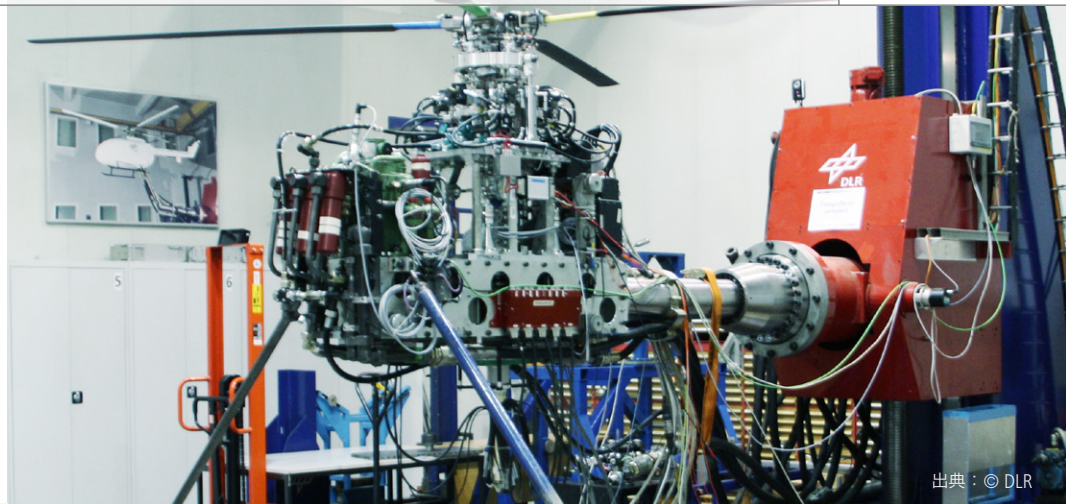


ヘリコプターにとって望ましい推力と揚力は、ローターの高速回転により生み出されますが、その際には大きな騒音が発生します。ドイツ航空宇宙センター (DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) は、新しいタイプのローター制御により、ヘリコプターが空中へと上昇する際に生じる騒音と振動を大幅に低減できることを証明しました。



# Agile Blades

ヘリコプター用のマルチスワッシュプレートシステム  
による騒音と振動の大幅な削減



出典：© DLR

ヘリコプターのローターを動的に制御するための DLR のテストシステム

ヘリコプターが前進飛行する場合、前方移動により発生する気流とローターブレードの回転による気流が重なってしまいます。そのため、ローターディスク内の気流条件は極めて非対称的なものになり、動的失速、騒音、振動などのさまざまな空力的、空力弾性的、および空力音響的な効果が発生する原因となります。通常、これらの効果はローターの回転周波数とその整数倍値（ローター調波周波数）の間隔において周期的に発生します。これらを無効化、あるいは少なくとも緩和するには、ヘリコプターのローター制御の仕組みそのものを改善する必要があります。

#### ヘリコプターの制御

ヘリコプターの主要な機械制御ユニットは、スワッシュプレートと呼ばれます。スワッシュプレートは、すべてのメインローターブレードのピッチ角の変化により揚力を変化させるコレクティブピッチ制御、および前方および側方への推力に影響を与えるサイクリックピッチ制御を組み合わせることにより、操縦士の指令を回転ブレードに送信しています。しかし、サイクリックピッチ制御では、ローターが1回転するたびにブレードのピッチ角が変化してしまいます。

#### 対策

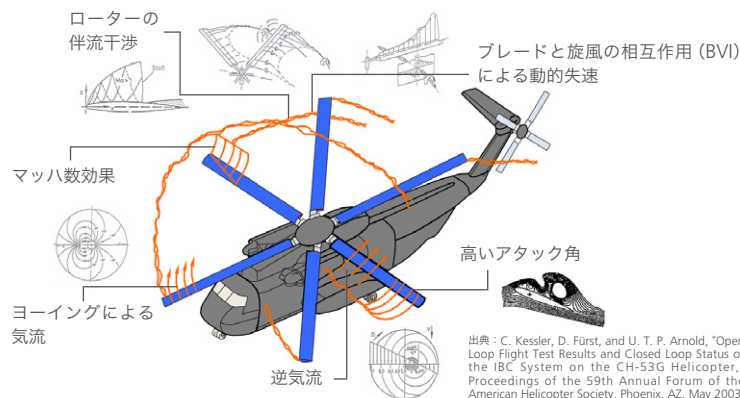
このような意図しない効果を緩和するには、ローター周波数および低振幅の整数倍値を用いてローターブレードをシミュレートすることで、ローターブレードのピッチ角を修正します。振動を削減するには、制御信号の周波数、振幅、および位相を調整して、振動が干渉により打ち消される

ようにします。このようにすると、ローターの放射雑音や消費電力も減少するというプラスの効果も生まれます。従来の（コレクティブおよびサイクリックによる）ヘリコプター制御は、意図しない空力効果による高調波の増大には効果的に対応できず、飛行姿勢の制御のみに使用されてきました。このため、早くも20世紀中頃には、多くの研究者が動的なローター制御によって上記の現象やその効果を無効化する試みを続けてきました。動的なローター制御では、あらゆるブレードのピッチ角を主制御によって変化させると共に、ローター周波数の一定の倍数（ローター調波周波数）で高周波ピッチ角を変化させます。これにより、ヘリコプターの振動と放射雑音が大幅に削減され、推力と揚力も強化することができます。

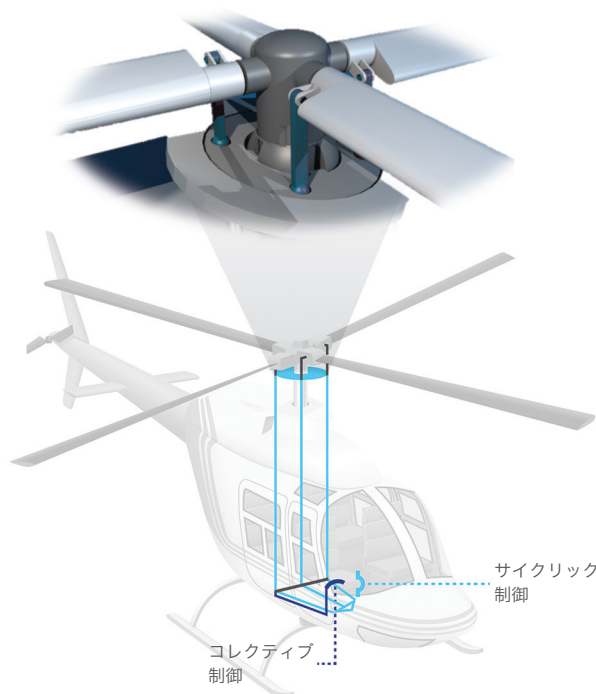
#### 動的なローター制御

動的なローター制御に対するこれまでの手法には、多くの重大な欠点がありました。（アクチュエータを介した）ピッチ角をスワッシュプレートの動作によって動的に変化させるシステムでは、IBC（個別ブレード制御）を行えるのは、最大3枚までのブレードを持つローターのみです。この手法の場合、現在一般的な4枚以上のブレードを持つローターでは、スワッシュプレートの運動学的な理由から限界が生じてしまいます。その他の手法を使用したシステムでは、IBC性能は十分に発揮できますが、アクチュエータを高い負荷のかかる回転システムで使用し、エネルギーおよび制御信号の供給をスリップリングを介して行う必要があるため、それ自体が大きな課題となる場合があります。

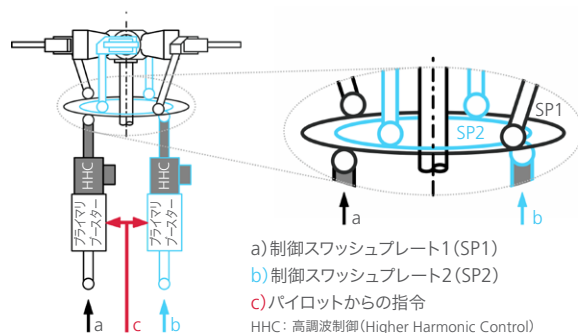
&gt;&gt;



ヘリコプターの前進飛行におけるローターの空力現象



ヘリコプターの垂直および水平飛行は、スワッシュプレートを介したローターブレードのコレクティブおよびサイクリックピッチ制御により実現します。



マルチスワッシュプレートシステムの仕組み: 1つのスワッシュプレートで向かい合う2枚のローターブレードを制御します。

### 新たなアプローチ: マルチスワッシュプレート

DLR が特許を取得したマルチスワッシュプレートシステム (META) は、動的なローター制御を行える新しい手法です。このシステムは、ブラウンシュヴァイクにあるローター用テスト装置の4ブレードローターでテストされています。DLRのテスト装置では、電子油圧制御アクチュエータを使用して複数の同軸スワッシュプレートの高周波動作を行っており、ローター上の個別のブレードピッチ角に対して必要な動的変化をスワッシュプレートで生み出せるようになっています。アクチュエータはスワッシュプレートの下部に取り付けられており、2枚のブレードにそれぞれ連結されています。複数のスワッシュプレートを使用すると、それぞれのローターブレードのピッチ角を個別に修正しながら、さまざまな制御機能や周波数を使用した制御も行えるようになります。このように、METAでは既存の手法の利点を適切に組み合わせ、欠点を回避しています。

### 初期のテストセットアップ

マルチスワッシュプレートシステムのテストは、Federal Aeronautical Research Programme の VAR-META (マルチスワッシュプレート型フルアクティブローター制御) プロジェクトの一環として、ブラウンシュヴァイクにある DLR のローター用テスト装置において初めて行われました。これらのテストでは、直径約 4 m の Bo105 無関節型ローターによるマッハスケールの風洞モデルが使用され、マルチスワッシュプレートシステムが初めて実装されました。マッハスケールでは、気流条件によって実際のヘリコプターローターの条件が大きく左右されますが、ローターの速度も増大します。このプロジェクトでは、電子油圧制御アクチュエータをどのように制御し、2つのスワッシュプレートを適切に配置および動作させるかが大きな課題でした。ここでは、4枚のローターブレードすべてのピッチ角に必要な変化をアクチュエータ側の対応するピストン動作に反映させる必要がある一方で、これらのアクチュエータの動作も動的に制御する必要がありました。

### コントローラの要件

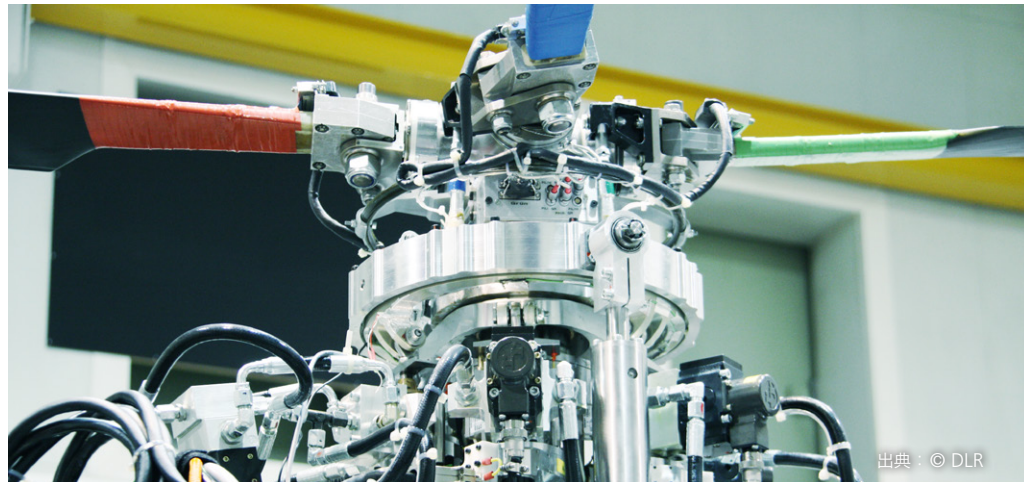
オープンループおよびクローズドループ制御システムの要件は厳しく、テスト

出典: © DLR

におけるモデルのローター回転速度は 1050 rpm でした。そのため、第 1～第 6 ローター高調波の予定ブレード制御周波数では 0 Hz (静的位置)～105 Hz の範囲のアクチュエータ周波数が発生しますが、その中で高精度 (約 0.05 mm) な制御を実現する必要がありました。アクチュエータの最大ストロークは±4 mm であり、これはローターブレードのピッチ角である約±3.7°に対応します。ローターブレードのピッチ角は、常にその時点のローター方位角に依存します。そのため、現在の方位角の情報を提供する各種トリガ信号の作成は、ローターマストの角度エンコーダを使用して行われます。これらのトリガ信号は、ローター用テスト装置のあらゆるオープンループおよびクローズドループ制御や計測システムでも使用されます。また、求められる高精度な制御を実現するため、マルチスワッシュプレートシステムのアクチュエータの制御回数は 1 回転当たり 256 回となり、ローター周波数が 17.5 Hz の場合に制御システムでほぼ 4.5 kHz のクロック速度が得られる必要があります。つまり、信号処理や解析、フィルタおよびフィードフォワード制御を含め、6 つのアクチュエータ制御および関連するクローズドループ制御の計算はすべて、この速度で処理されます。

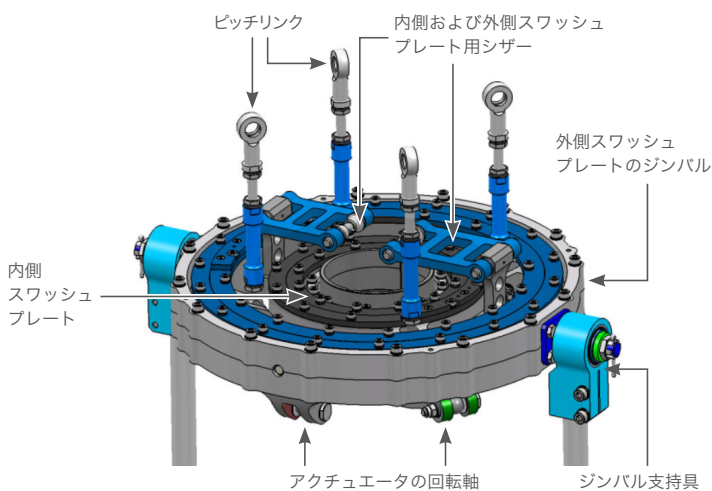
#### コントローラモデルの開発

DLR ではまず、システム全体の動作を MATLAB®/Simulink® でモデル化し、リアルタイムで実行可能な制御法則を導き出しました。目的の制御パターンで求められるアクチュエータ動作を計算する場合は、個別のピッチ角の変化 (およびカップリング項) を対応するアクチュエータ用制御信号に変換する制御マトリクス (50 カラム以上の場合もあり) を使用しました。アクチュエータ制御の段階では、フィードフォワードループを使用した PID コントローラ構成を使用しました。完全な高調波信号解析とデジタル 8 次ローパスフィ



出典：© DLR

マルチスワッシュプレートシステムのプロトタイプ作成



マルチスワッシュプレートシステムの機構

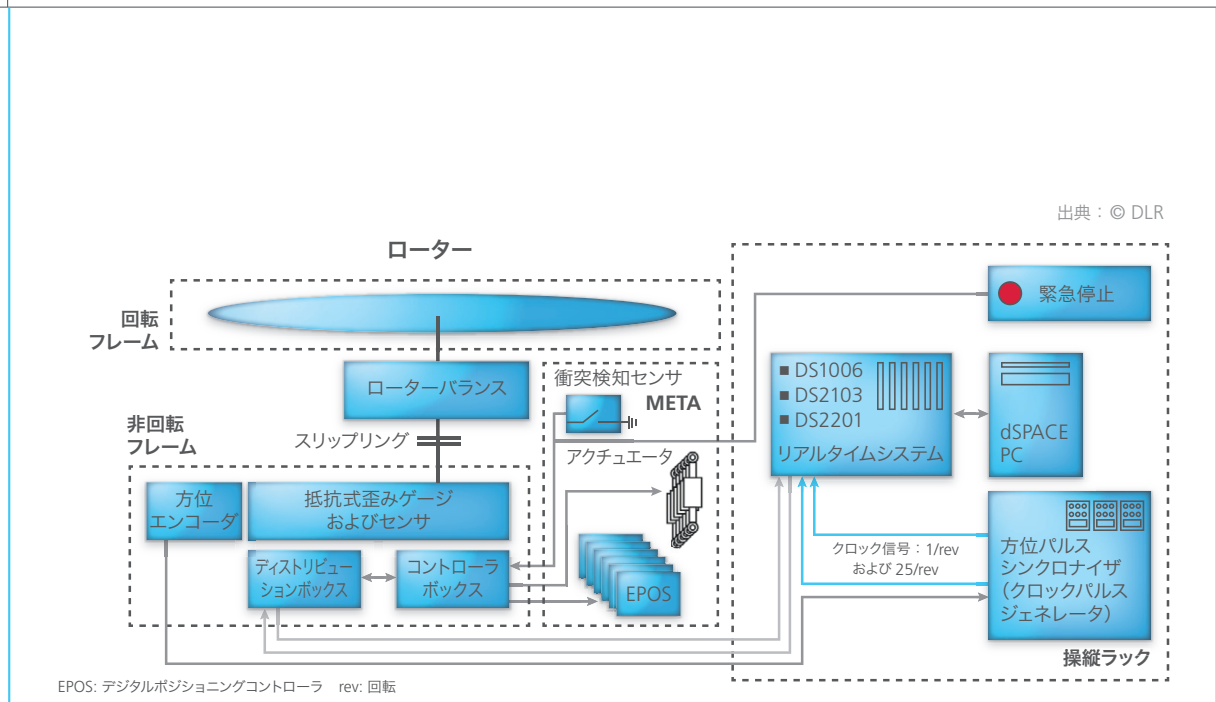
出典：© DLR

ルタが含まれているフィードフォワード制御では、6 つのアクチュエータに対して制御信号を同時に計算する際にも非常に厳しい要件が求められました。アクチュエータモデルやオープンループおよびクローズ

ドループ制御のモデル化および妥当性確認を Simulink で行った後は、実際のテストでのハードウェア制御に向けて、システムをリアルタイムで実行できるようにする必要がありました。 >>

「当社では、強力な dSPACE リアルタイムシステムを使用することにより、動的なローター制御のアルゴリズムを幅広くテストし、マルチスワッシュプレートコンセプトの機能性を確実に証明することができました」

Philip Küfmann 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、ブラウンシュヴァイク



テストセットアップの信号フローチャート

### リアルタイムに実行可能なコントローラ の設計

マルチスワッシュプレートシステムのオープンループおよびクローズドループ制御モデルの実装には、クワッドコアの DS1006 Processor Board および DS2103 および DS2201 I/O ボードを搭載した dSPACE システムが使用されました。テストでは、Ethernet モジュールを使用して計測用コンピュータやデータサーバとの通信を行いました。Simulink でモデル化した制御モデルのテストは、複数のプロセッサコアに分散して行われ、オープンループ制御、

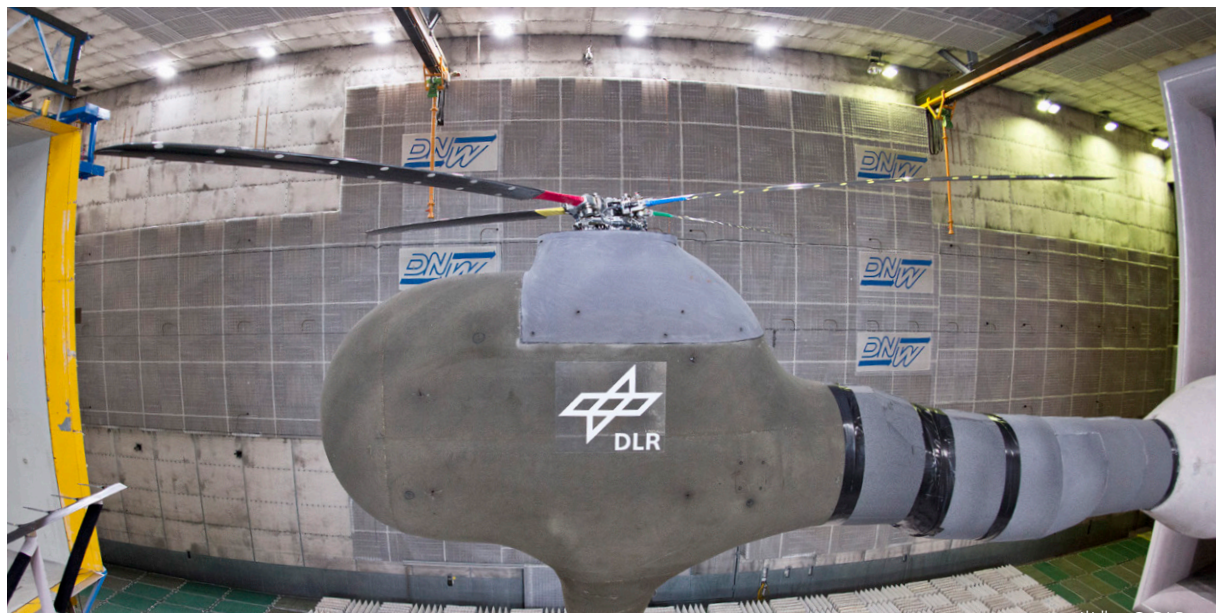
クローズドループ制御、およびネットワーク通信などのその他のタスクにはコアが 1 つずつ使用されました。制御モデルのコンパイルおよび dSPACE システムでの実行の際には、Real-Time Workshop™ が使用されました。また、角度エンコーダの信号を使用してハードウェア割り込みによるプログラムのトリガを行えるようにして、プログラムを残りの制御モデルや計測用ハードウェアと同期的に実行できるようにしました。これにより、制御ステップ当たり 250 μs を下回るクロック速度という厳しい要件を満たしながら、制御時に必要

な精度を達成することができました。開発者は、ControlDesk® Next Generation や特別に設計された GUI を使用することにより、コントローラゲイン、フィードフォワードパラメータ、制御周波数および振幅など、動作中のすべての重要なパラメータにアクセスすることができました。

### まとめと次の段階

DLR ブラウンシュヴァイクでは、システムの IBC 性能をテストおよび実証することにより、VAR-META プロジェクトを成功に導きました。その後、ハードウェアおよび

風洞内の試験セットアップ



出典：© DLR





出典：© DLR

ControlDesk を 2 画面に配備 (右) した風洞テスト用の制御および監視システム

「当社では dSPACE ControlDesk を使用して、META の動的な制御に必要なすべての計測および制御タスクを効率的かつ容易に実行しています」

Philip Küfmann 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、ブラウンシュヴァイク

ソフトウェアのさらなる改良と開発が行われたマルチスワッシュプレートシステムは、2015年9月に German-Dutch Wind Tunnels (DNW) の低速風洞における風洞テストを初めて受けることになりました。風洞テストは FTK-META プロジェクト (FTK = 先進スワッシュプレートコンセプト) の一部として実施され、完了までに9日間を要しました。テストの目的は、動的なローター制御が騒音、振動、性能に及ぼす影響を実証すること、およびさまざまな飛行条件のシミュレーション環境でマルチスワッシュプレートシステムの最初の機能テストを行うことでした。META で実現された動的なローター制御方式では、(個別のコンポーネントで) 放射雑音が最大 5 dB、振動が最大 90% 削減され、高速前進飛行ではローターに必要な電力を最大で 4% 削減できることが実証されました。アクチュエータや dSPACE のリアルタイム PC で構成されたシステムは、テスト全体を通してエラーなく動作しました。フォローアッププロジェクトの SKAT (= 革新的な設計によるテクノロジーの拡張およびリスク最小化) では、5枚のブレードを備えた新たなローターシステムの動的なローター制御の研究にマルチスワッシュ

プレートシステムが使用される予定であり、新しいコントローラのテストも行われます。このコントローラの開発では、意図しない振動をモデルで検出し、2つのスワッシュプレートの振動に対応する制御コマンドで平衡化することができる dSPACE システムが使用されました。■

Philip Küfmann 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、ブラウンシュヴァイク

マルチスワッシュプレートシステムは、DLR Institute of Flight Systems において Berend van der Wall 教授と Rainer Bartels 氏により発明され、2008年に特許を取得しました (特許番号: DE-10-2006-030-089-D)。

Philip Küfmann 氏

マルチスワッシュプレートシステムの制御用モデルおよびソフトウェア担当者、ドイツ航空宇宙センター (DLR) Institute of Flight Systems (ドイツ、ブラウンシュヴァイク)

風洞内の META を見る：  
[www.dspace.com/go/dMag\\_20161\\_META\\_E](http://www.dspace.com/go/dMag_20161_META_E)



Mercedes-Benz Research & Development North America 社は、dSPACE TargetLink の戦略パートナーである Model Engineering Solutions 社と協力し、TargetLink を使用した量産コードの自動生成のためのモデリングで必要となるテストを自動的に実行する適合ルールを開発しました。これらのルールは、ISO 26262 規格の主要な要件に準拠しています。

**M**ercedes-Benz Research & Development North America (MBRDNA) 社はミシガン州のレッドフォードなどを拠点としており、インバータソフトウェア（発電機の電流変換）の開発および統合を専門に扱っています。これらのソフトウェアは

dSPACE TargetLink® を使用して開発されており、Mercedes-Benz の E-Drive ポートフォリオにおけるさまざまな車載アプリケーションで使用されています。主要コンポーネントの 1 つは、関連するトルクおよび高電圧の安全コンセプトを含むモーター制御モデルであり、ISO 26262

の ASIL C 要件に従って実装することができます。このコンポーネントには革新的な技術が実装されています。

#### 開発プロセスとモデル品質

E-Drive ソフトウェアは、AUTOSAR ソフトウェアアーキテクチャベースで開発され

モデリングガイドラインを使用した  
Electric Drive ソフトウェアの検証

# Electric and Safe



ており、多くの電動ドライブトレイン用に拡張することができます。制御ソフトウェア全体は、V サイクルに従い、モデルベースの設計手法に沿って開発されます。dSPACE の量産コード生成ツールである TargetLink は、これらの開発ツールチェーンにおける中核的なコンポーネントです。TargetLink は、AUTOSAR に準拠したソフトウェアアーキテクチャのモデリングおよびコード生成をサポートしており、安全関連ソフトウェアへの適合性を示す ASIL D の認定を取得しています。Simulink® および TargetLink を使用して制御ロジックソフトウェアをモデリングすると、開発の早期段階で要件の妥当性確認を行うことができます。なぜなら、コード生成に使用

されるモデルの品質は生成したソフトウェアの品質に直結するためです。Simulink/TargetLink を使用したソフトウェアのモデリングは、高品質のソフトウェアを生成する手法として業界で広く受け入れられています。また、この手法は Simulink などの準公式モデリング言語の使用を推奨する ISO 26262 規格にも準拠しています。MBRDNA 社は、妥当性確認を静的な手段と解析的な手段を組み合わせることで、高いモデル品質を確保しています。また、顧客が求める機能的要件からは独立した開発手法を確立することで、最適な形でソフトウェアを目的の環境に統合できるようにしています。

#### ソフトウェア設計のルール

この手法の重要なポイントは、ソフトウェア設計においてモデリングルールおよび適合ルールを一貫性を保ちながら使用することです。MBRDNA 社で使用されるルールは、Daimler 社のモデル開発に関する内部規定に基づいており、E-Drive ソフトウェアの開発要件に合わせて調整されています。Daimler 社のモデリングガイドラインは、MAAB、MISRA Simulink/Stateflow、MES Functional Safety Guidelines、MISRA TargetLink、dSPACE TargetLink Modeling Guidelines などのモデリング規格や個別のツールガイドラインに基づいています(図 1)。これらのガイドラインはすべて異なる対象を扱っています。そのため、安全関連ソフトウェアを ISO 26262 に準拠してモデリングする場合、必要なあらゆる側面をカバーするには、これらのガイドラインを適切に組み合わせる必要があります。MAAB (MathWorks Automotive Advisory Board) のルールでは、シミュレーションおよびコントローラモデルの

設計面、ならびに可読性、保守性、ベストプラクティスにも重点を置いています。しかし、量産コード生成には重点を置いていません。一方で MISRA Simulink/Stateflow および MISRA TargetLink のガイドラインでは、生成済みのモデルやコードの安全面に重点を置いており、Simulink および Stateflow の安全な言語範囲、安全なコードパターンを実現するためのモデリングパターン、シミュレーション環境の適切な設定が定義されています。さらに、MISRA/TargetLink や dSPACE TargetLink Modeling Guidelines などの個別のツールガイドラインでは、主に TargetLink によるコード生成に重点が置かれています。これらのガイドラインに完全に適合するには、生成後のコードのプロパティに悪影響を与える可能性のあるモデリングパターンや設定が、すべてのモデルまたはコード生成ツールに含まれていないことが必要になります。また、MES Functional Safety Guidelines では、モデルや生成したコードの安全性に関する注意事項に焦点を当てています。これらのガイドラインは ISO 26262 およびその他の安全規格から派生したものであり、安全関連ソフトウェアの設計に関する既存のガイドラインを補完するものです。ここで解析の鍵となるのは、データフローおよび制御フローの検証です。

#### TargetLink モデルのテストを自動化

MBRDNA 社は、モデリングガイドラインを一層利用しやすくするという目標の下、TargetLink 戦略パートナーである Model Engineering Solutions GmbH (MES) と協力し、既存のドキュメントをベースとした独自の Daimler モデリングガイドラインを策定し、さらに Daimler 社固有のニーズに対応するよう適用範囲

>>

「ソフトウェアシステムの複雑さはますます増大しているため、従来のテスト環境では限界に達しています。当社のソフトウェア品質保証において、作成したモデルや変換したソフトウェアを自動的に解析する機能は不可欠な存在です」

Alexander Dolpp 氏、Mercedes-Benz Research & Development North America, Inc. 社



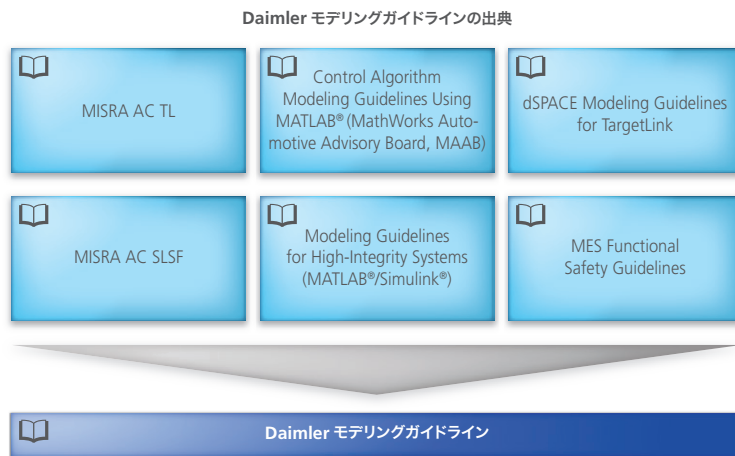


図 1 : Daimler モデリングガイドラインは、確立された多数の規格およびガイドラインをベースとしています。

を拡大しました。ガイドラインの管理は MES Model Examiner (MXAM) で行われており、TargetLink モデルの自動的なテストも行われます。MBRDNA 社では、モデリングガイドラインを遵守することにより、ISO 26262 のモデリン

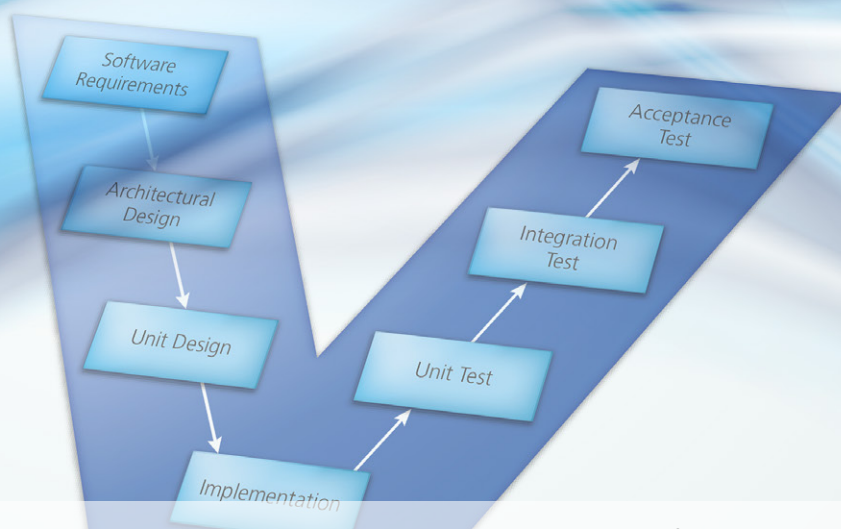
グ要件への適合、ベストプラクティスの実践、モデリングエラーの回避を実現しているほか、シミュレーション環境やコード生成ツールで統一した設定を使用するなど、ツール固有の設定にも配慮しています。

#### きめ細かな安全性の確立

MISRA モデリングガイドラインが調整される場合の一例をご紹介します。Daimler モデリングガイドラインでは、Stateflow のセマンティクスの誤解釈を回避するため、状態や遷移のグラフィカルな配置ではなく、ユーザのみが実行順序を決定することを宣言することで Stateflow 遷移の正しい実行順序を決定していますが、この場合、Daimler モデリングガイドラインは MISRA ガイドラインと矛盾します。つまり、状態がレイアウト上の理由で移動されると (シンタックスの変更)、状態の実行動作も変更 (セマンティクスの変更) されてしまう可能性があります (図 2a を参照)。図 2b に示すように、接合点で評価される Stateflow の遷移でも同様です。誤解釈や実行動作の意図しない変更は、モデリング担当者が Stateflow の「User specified state/transition execution order」設定を使用して指定した実行順序を計算すれば、容易に回避することができます。MES Model Examiner (MXAM) のモデルチェック機能を使用すると、モデルとガイドラインとの適合性が自動的に検証され、直ちにモデルが修正されます。

「モデリングガイドラインや MES Model Examiner などのガイドラインチェッカーを活用すると、ISO 26262 の要件を自動的に実装できるため、モデル開発担当者の負担を減らすことができます。当社では、彼らに制御機能の開発という本来の主要タスクに集中して欲しいと考えています」

Ingo Stürmer 博士、Model Engineering Solutions 社



## 「AUTOSAR 規格をネイティブにサポートしながらコードの生成を行える TargetLink は、当社の開発ツールチェーンの中心的なコンポーネントです」

Alexander Dolpp 氏、Mercedes-Benz Research & Development North America, Inc. 社

### 明確なプロセス

すべてのモデリング担当者およびソフトウェア開発者は、モデリングガイドラインを遵守する必要があります。そのため、新しい機能が追加されるたびに、MXAM による自動モデルチェック機能を実行する必要があります。ソフトウェアをバージョン管理システムにチェックインするには、ソフトウェアがモデリングガイドラインに適合し、関連する機能的 MIL (Model-in-the-Loop) テストを実施することが条件となります。モデリング担当者の責務は、ガイドラインに基づいて特定されたすべての違反を排除することです。この静的なモデリング解析手法は、E-Drive ソフトウェアの開発および妥当性確認の V サイクルにおいて、すべての妥当性確認手段に組み込まれています。MBRDNA 社では、Daimler モデリングガイドラインに自動適合チェック機能を持つ MXAM および dSPACE の量産コード生成ツール TargetLink を組み合わせて利用することにより、業界で実績のある手法に基づいてモデルを ISO 26262 の要件に適合させつつ、モデル品質の早期の段階での改善とコード品質の大幅な向上を達成しています。 ■

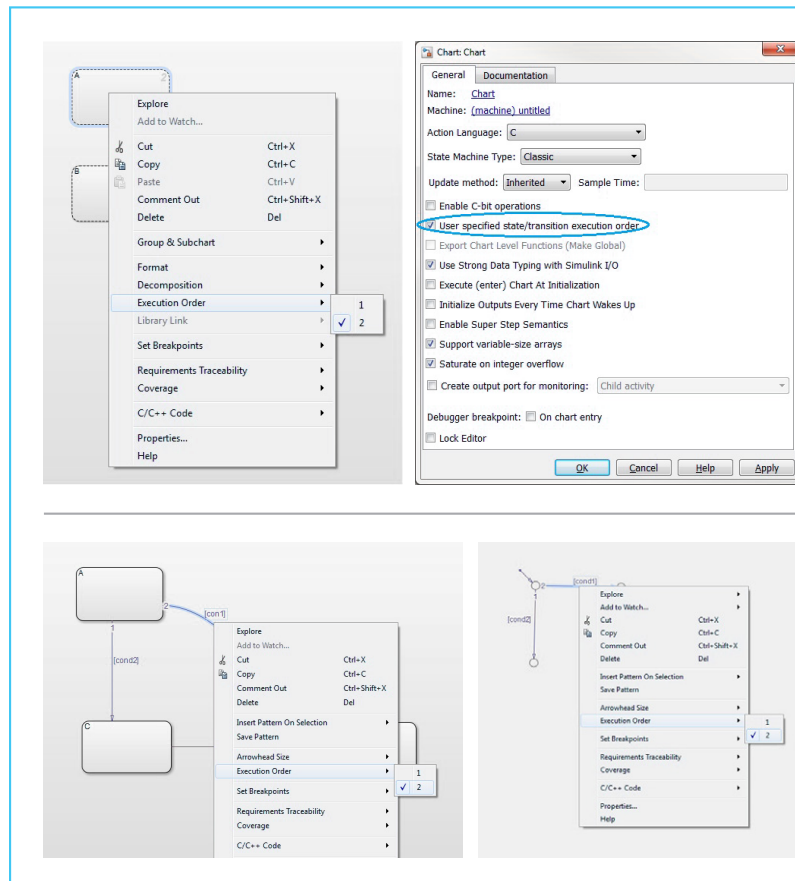


図 2a (上) : MES Model Examiner の一般的な事例 – 並列状態の実行順序 (上図は Stateflow で指定)

図 2b (下) : ユーザ指定による遷移の実行順序

#### Alexander Dolpp 氏

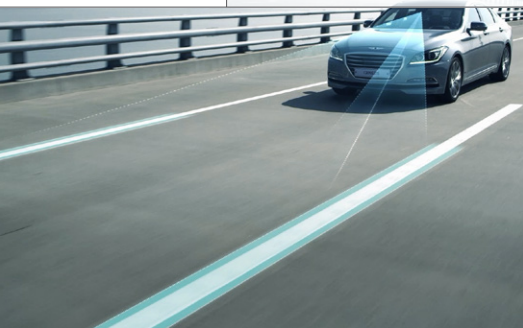
E-Drive Software 部門担当者、  
Mercedes-Benz Research &  
Development North America, Inc.  
(米国ミシガン州レッドフォード)



#### Ingo Stürmer 博士

Model Engineering Solutions GmbH  
の創業者兼前 CEO。2016 年 1 月以降は  
Model Engineering Solutions Ltd. (英国)  
の責任者。





出典：© Hyundai MOBIS 社

最新の運転支援システムの開発では、リアルタイムでの処理が必要なデータの量がこれまでにないほど膨大になっています。Hyundai MOBIS 社では、複数の運転支援システムを同時に開発およびテストすることができる dSPACE SCALEXIO ベースの HIL システムを使用しています。

## 運

転支援機能の開発をラボ内で容易に行えるようにするには、テストベンチで条件を定義し、さまざまな運転状況を現実的に即して再現可能な手法に基づいてシミュレーションすることが不可欠です。これを実現するには、さまざまな環境センサからのデータをリアルタイムで組み合わせて評価する必要があります。そのため、多くの運転支援機能の複雑さはますます増加しています。このような例の 1 つに、自動緊急ブレーキ機能があります。自動緊急ブレーキ機能では、まずカメラが視覚的に道路使用者を検出し、同時にレーダーがこれらの交通参加者との距離や速度を計測します。車載コンピュータ側では、この全体像に基づいて緊急ブレーキの必要性を判断し、ブレーキに対する適切な指示を算出します。このセンサ融合とも呼ばれる、瞬時にさまざまなセンサからの計測データを組み合わせるシステムの構築は、これからの運転支援システムの開発における最大の課題の 1 つとなっています。

### 6 つの機能を同時にテスト

自動緊急ブレーキのほかにも、複数の運転支援システムの協調作用が必要となる状況は数多く存在します。そのため、Hyundai MOBIS 社では、SCALEXIO®

HIL シミュレータを使用して合計 6 つの運転支援機能を同時にテストすることにしました。

- 駐車支援システム (SPAS = Smart Parking Assist System)
- 車線逸脱警告システム (LKAS = Lane Keeping Assist System)
- 自動接近制御 (SCC = Smart Cruise Control)
- 緊急ブレーキ (AEB = Autonomous Emergency Braking)
- ステアリングアシスト (MDPS = Motor Driven Power Steering)
- 車両安定制御 (ESC = Electronic Stability Control)

### ラボ内で現実的な運転操作を実現

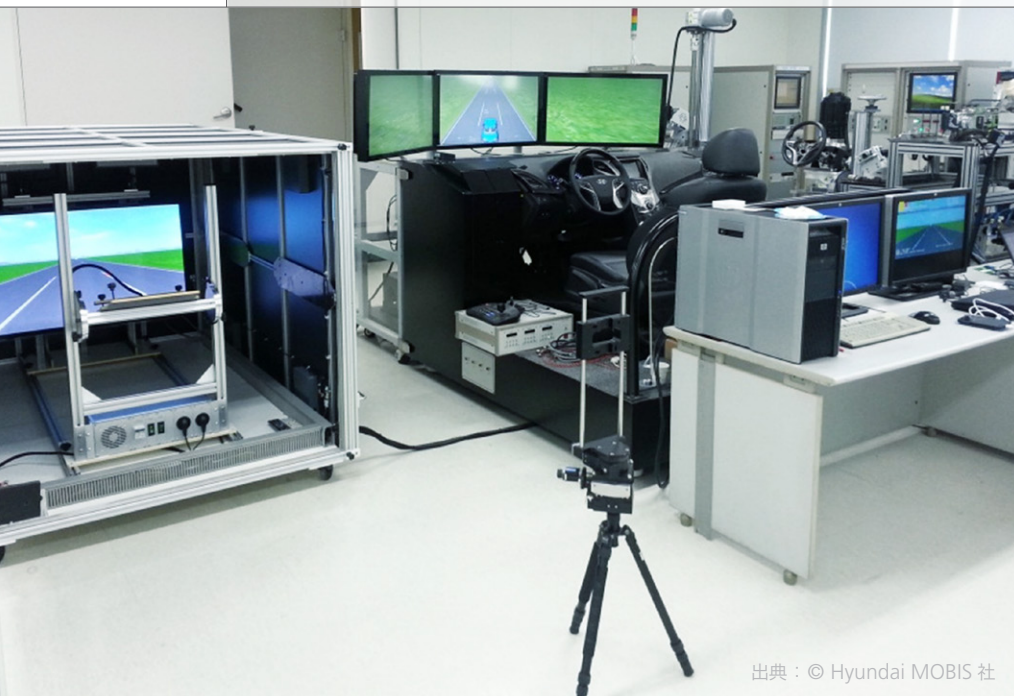
Hyundai MOBIS 社では、中心的なコンポーネントとして dSPACE のシミュレーションモデルを搭載した dSPACE SCALEXIO HIL シミュレータ、および運転操作をビジュアル表示する dSPACE MotionDesk による 3D オンラインアニメーションを使用しました。この開発環境は、さまざまな運転支援システムに対応した複数のテストベンチに接続されています (図 2)。テストベンチは、車両環境のレーダースキャン用、カメラベースの走行車線

>>



# All You Can Test

複数の運転支援システムでのテストの  
同時進行



出典：© Hyundai MOBIS 社

図1：ラボ構成の一部。カメラテストベンチ（左）、運転席（中央）、およびHILシミュレータ（右奥）が設置されています。

検出用、さらに超音波ベースの駐車支援システム用、ステアリングアシストおよびブレーキ用に1台ずつ用意されています。HILシミュレータ上では、ピークルダイナミクスおよびトラフィックアプリケーション向けのdSPACE Automotive Simulation Models (ASM) が実行されており、さまざまなテストを現実世界に即して実行することができます。また、ASM Trafficにはレーダーおよび超音波アプリケーションに対応した汎用的なセンサモデルが搭載されており、パーキングアシストシステムでオブ

ジェクトの輪郭を検出するという動作が可能です。さらに、実際の制御ユニットとしてレーダーシステム制御ユニットとSPAS制御ユニットが接続されており、LKAS制御ユニットについては初期の段階ではdSPACE MicroAutoBox®で代用しています。接近制御SCCなどのレーダー制御ユニットのアルゴリズムを開発する場合は、レーダー制御ユニットをMicroAutoBoxで代用することも可能です。リアルタイムシミュレーションでは、レーダーセンサモデルによりテスト車両のダイナミクスおよびトラフィック環境の動作を検出し、先行車両との速度差、距離、方位などの情報を算出します。これらの情報はCAN経由でMicroAutoBoxのSCCアルゴリズムに転送されます。この開発環境では、先行車両との相対的な速度および距離に由来する反射波が実際のレーダーエコーとして生成されるようにするため、レーダーターゲットシミュレータを使用して実際のレーダー制御ユニットをクローズドループシミュレーションに統合することが計画されています。この際、試験のモニタ、データの記録、個別のエラー

## 1 レーダー用テストベンチ

レーダーセンサ用テストベンチは、レーダーセンサの基本機能をテストするために使用します。テストベンチは導電性の壁材を使用した無響室（ファラデー箱）となっており、電磁気によって室内を外界から保護しています。ここでは、HILシミュレータ上でASMの適切な汎用センサモデルを実行し、現実的な交通状況を再現しています。dSPACE MicroAutoBoxは、レーダー制御ユニットとしての役割を担います。

## 2 カメラ用テストベンチ

カメラベースの運転支援システムをラボ内でテストするためには、前方カメラが実際の交通状況として解釈できるように、車両環境を現実世界に即してリアルタイムで表示することが重要です。ここでは、運転状況がdSPACE MotionDeskでビジュアル表示されるため、カメラを完璧にシミュレートすることができます。この計測ステーションでは、最終的な制御ユニットを入手する前の初期の段階で、dSPACE MicroAutoBoxを使用してLKASアルゴリズムを計算しています。

生成、データの後処理などの作業には、dSPACEのテストおよび試験ソフトウェアであるControlDeskを使用します。将来的には、単眼カメラに加えてステレオカメラをカメラ計測ステーションに使用することが検討されています。

### Tae Seung Kim 氏

アクティブセーフティテスト開発チーム  
責任者、システムテスト開発部門、  
Hyundai MOBIS 社（龍仁市、韓国）。



「dSPACEのハードウェアおよびソフトウェアで構成されたテストベンチを活用することで、当社は複数の運転支援システムの協調作用を効率的にテストすることができました」

Tae Seung Kim 氏、Hyundai MOBIS 社



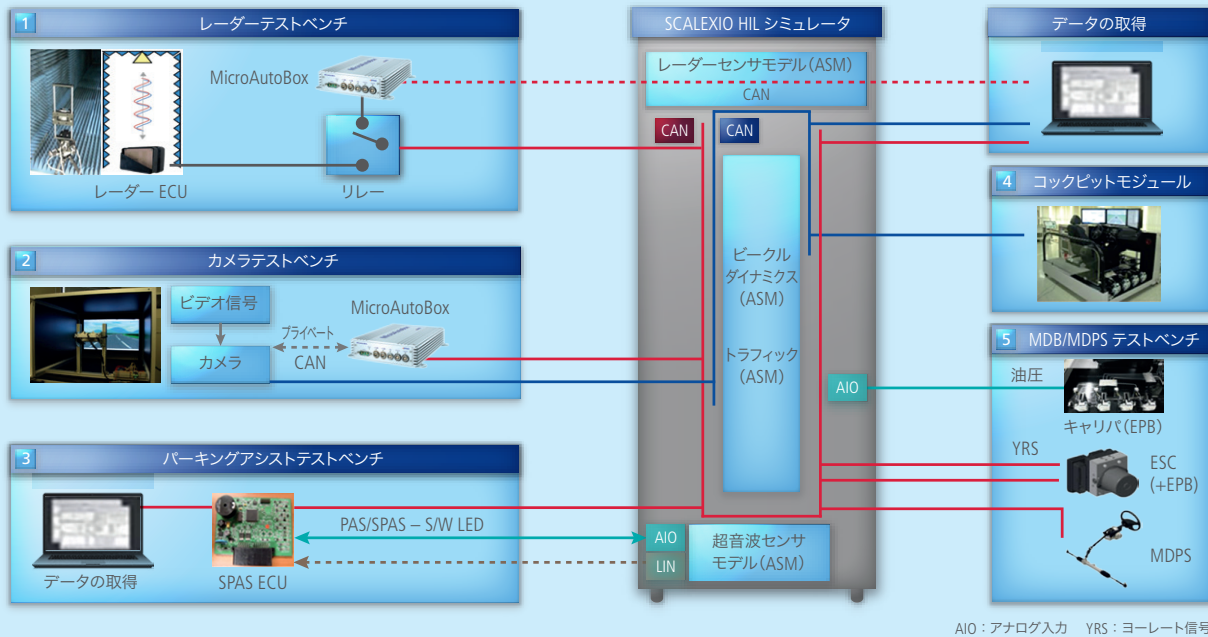


図 2 : dSPACE ハードウェアおよびソフトウェアのテストベンチにより、複数の運転支援システムの協調作用をテストすることができます。

### 3 駐車支援システム

超音波を利用した駐車支援システム用のテストベンチは、最終的な量産 ECU と、dSPACE HIL シミュレータ上で動作する超音波アプリケーション用の ASM 輪郭センサモデルで構成されています。そのため、実際の超音波は必要ありません。

### 4 運転席

ここでは、試験担当者は、dSPACE ASM で計算され、dSPACE MotionDesk でビジュアル表示された実際の交通環境と同様の環境で、あらゆる運転操作を直観的に実行することができます。これらの運転操作は、カメラ用テストベンチ 2 などにも活用できます。

### 5 パワーステアリング (MDPS) および ESC

ここでは、実際のコンポーネント (ESC 制御ユニットを含むステアリングロッドおよびブレーキ) を接続し、さまざまな運転状況やオプションのドライバー入力に対応した dSPACE ASM シミュレーションからデータを投入することにより、システムの正常な動作を検証しています。

## dSPACE システムの評価

カメラやレーダーなどの新しいテクノロジーを車両に直接利用すると、開発したシステムの妥当性確認に新たな課題が生じます。そのため、Hyundai MOBIS 社では、必要な要件に基づいて dSPACE が設計したテストシステムを使用しました。これは韓国で初の ADAS 開発用 HIL ベーステストソリューションでした。同社の開発者は、SCALEXIO などの信頼のおける dSPACE 製品を基盤としたソリューションを使用することにより、日々の作業を順調に行うことができました。また、dSPACE および韓国における dSPACE の販売代理店である

MDS 社から継続的なサポートを受けることができたため、革新的な運転支援システムの開発や立ち上げを容易に行うことができました。

### 将来的なセンサデータの増加

すでに予想されている通り、今後は車載センサの数が増加し続ける見込みです。これは、リアルタイムでの処理を必要とする計測値の量が増大することを意味します。しかし、ラボ内において定義した条件下で HIL シミュレータを使用すれば、最も実践的な手法を駆使したテストが可能になります。これにより、さまざまなデータを適

切に処理し、車両システムにとって有意義な指示を生成することができます。運転支援システムをドライバーにとって邪魔ではなく有益なものにするためには、ドライバーがいつでも容易かつ迅速に全体像を把握できるようにすることが重要です。■

Tae Seung Kim 氏、  
Hyundai MOBIS 社

高速鉄道のパンタグラフ用テストベンチの  
高度に動的な制御

# Keeping Contact

at 300 km/h

電動の鉄道車両は、たとえ最高速度でなくても、電力供給を失うことがあってはなりません。しかし、車両と高架線の相互作用は非常に複雑になるため、パンタグラフの適合が大きな課題となっています。そのため、ウィーン工科大学 (TU Wien: Technische Universität Wien) と Siemens 社は、実際のテスト走行の一部をラボ内で仮想的に行えるようにするための新たなテストベンチの開発に取り組んでいます。ここでは、dSPACE のツールが活用されています。



今

日の鉄道交通の速度は、着実に上昇しています。たとえば、最新の鉄道車両にとって時速 300 km に到達することは、電源に関する課題こそあれ、もはや難しいことではありません。この場合に特に重要なのは、パンタグラフと架線の間の動的な相互作用です。このような伸縮性を持つ接触システムは、特に高速では振動が起きる傾向が

あるためです。接触力が極端に弱い場合、パンタグラフは架線から離れてアーク放電が発生し、炭素製の接触部が電氣的に摩擦する原因となります。接触力が極端に強い場合は機械的な摩擦が増大し、架線や接触部に強力な動的負荷がかかる原因となります。さらには、鉄道の電力供給システムや架線構造、および法規制は国により異なるため、特に国際的な鉄道交通に

おいては多くの課題が生じています。このため、アクティブな制御により高速時にも接触力を最適化できる最新式の高性能パンタグラフが徐々に増えています。これまで、これらの開発や機械設計に際しては複雑な動的シミュレーションによるテストが可能でしたが、コストのかかる実際のテスト走行までをカバーすることはできませんでした。このため、パンタグラフを製造するメーカーである Siemens 社は、実際のパンタグラフの動作を可能な限り早期の開発段階で動的な HIL (Hardware-in-the-Loop) テストによって検証し、適切なコントローラの開発に活用することにしました。この動的な HIL テストでは、テスト対象として実際のパンタグラフを仮想的な架線に接続するため、ラボベース開発の利点である優れた再現性と実物を使用したテスト結果を組み合わせる検証することができます。実機ではこのような場合は通常、特に架線の動的な要因により、テスト対象ユニットを正確に接触させたり、その動作を記述したりすることが非常に困難です。ただし、それらを高い品質で行うことが可能になれば、テストベンチ上で仮想的なテスト走行を実施し、さまざまな有意義なテストを迅速に行えるようになります。これを活用すれば、開発者は線路上のパンタグラフと架線の動的な相互作用の両方を明確に理解できるようになります。このように、テストベンチを使用してシミュレーションを行えば、鉄道車両を新規に開発する際のテスト段階や評価段階において、手間やコストのかかるフィールドテストの数を削減することができます。

#### テストベンチでの高度なダイナミクス

ウィーン工科大学 (TU Wien) の Institute of Mechanics and Mechatronics では、Siemens 社と協力し、動的な要素を多く持つ既存のパンタグラフのテストベンチを

>>

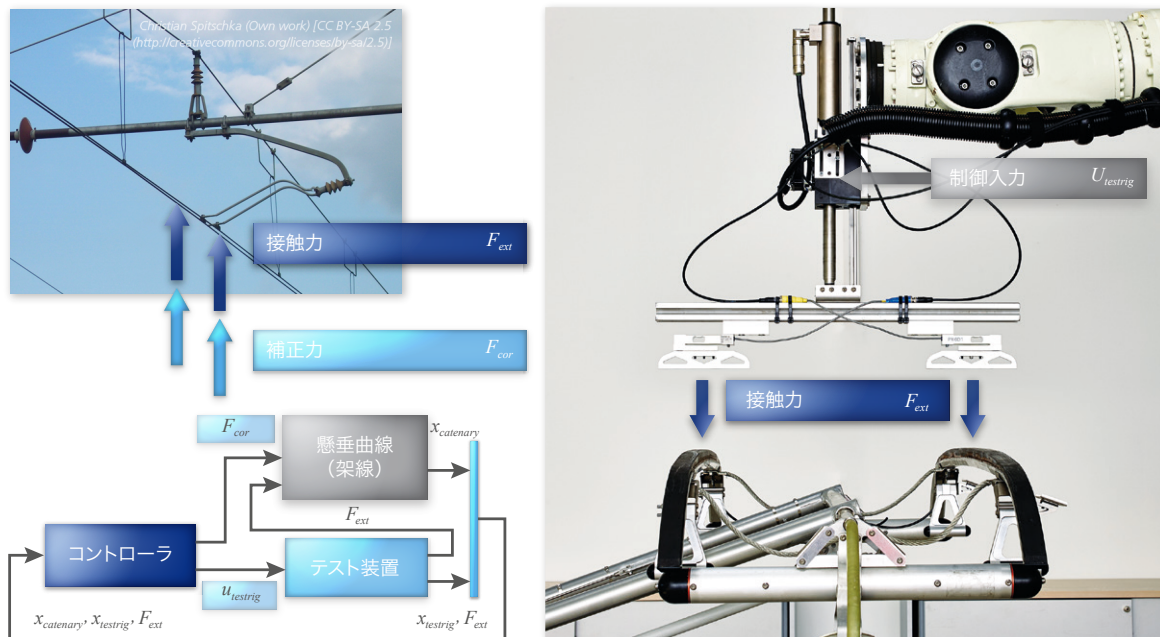


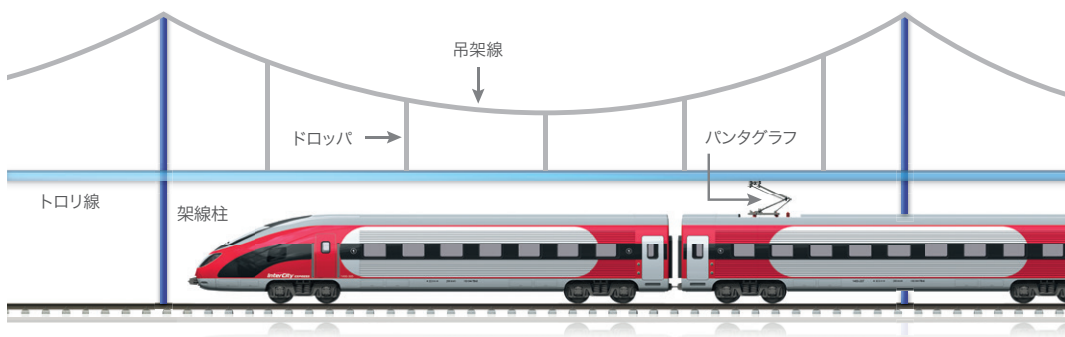
図 1：ウィーン工科大学が開発した手法を使用することで、列車の高速運転を Siemens 社製のパンタグラフテストベンチ上で現実的に再現することができます。

改良し、仮想的な架線を使用して、パンタグラフとの複雑な相互作用をリアルタイムで再現できるようにしており、仮想的なテスト走行を通じて、実際のパンタグラフを現実的かつ再現可能な方法でテストしています。ここでは、リニアモーターを組み込んだ産業ロボットが架線を押し付ける役割を担っています。このテストベンチでは複合型のコントローラが使用されてお

り、2つのアクチュエータによりパンタグラフの電流接点における架線の動作を正確にシミュレートすると共に、発生した接触力を計測しています(図1)。この際、テスト対象ユニットであるパンタグラフは、実際の架線との動的な接触時に発生するのと同じ力による影響を受けます。このテストベンチの開発においては、可能なかぎり現実的なシミュレーションを行うため、ま

ずは架線のダイナミクスに対する極めて効率的な数学モデルを開発する必要がありました。このモデルでは、機械類の正確なアドミッタンスだけでなく、波動伝播現象も考慮する必要があり、さらには、リアルタイムで実行できる必要がありました。実際の架線の主要コンポーネントはトロリー線と吊架線で、両者はドロップで相互に結ばれています(図2)。架線の動的挙動の

図 2：仮想的な架線をモデリングする際は、実際の架線のすべてのコンポーネント(この図では簡略化)を含める必要があります。





出典：© ウィーン工科大学

図3：ウィーン工科大学では、パンタグラフのテストに際し、Siemens 社製のテストベンチシステムおよび多数の I/O 拡張機能を搭載した DS1006 Processor Board を組み合わせて使用しています。

数学モデルを作成するため、開発者はまず動作の方程式（この場合には、偏微分方程式）を作成しました。これらは共動座標で公式化されているため、考慮すべきなのはパンタグラフの接点に近い架線の動作のみであり、適切な近似法（有限差分、有限要素）を使用すればこれらの方程式を解くことができます。ここでは、最適化された特別な吸収境界条件を使用することにより、刺激した波動を計算領域外に向かうようにさせることで架線の検討対象を狭い区域に限定しながら、より広域の複雑な架線ダイナミクスを現実的に即してシミュレートできるようにしました。ただし、モデルデータの総合的かつ自動的なプリプロセス処理を必要とする時変系構造の実現には、当然ながらドロップの正確な相対位置が計算に含まれる必要があります。

#### 仮想世界と現実世界の融合

テストベンチの制御では、仮想的な送電線とテスト対象である実ユニットとの間に物理的に正しい接続を確立する必要があります。そのため、開発者は予測コントローラを使用しました。予測コントローラに高精度な架線モデルおよびテストベンチのアクチュエータモデルを統合すると、それぞれの挙動の予測が可能になり、事前に正しい制御判断を下すことができるため、テストベンチ上で可能な限り現実的に架線をシミュレートすることができます。また、この制御システムでは、最大許容モーター電流や位置限界などの物理的な限界をコントローラで常に観測することができます。ただし、これを実現するには、それぞれのサンプリングの合間に最適化に関する複雑な数学的問題を解決することが必要でした。そのため、研究チームは

新たな固有の拡張機能を開発し、従来の HIL (Hardware-in-the-Loop) 制御コンセプトに実装することにより、仮想的な架線を追跡できるほど十分に高速でないテストベンチを使用している場合であっても、高度に動的なテストケースに対して物理的に正確な結果を得られるようにしました。ここでは、別々の公式を使用して、衝撃とエネルギーという2種類の要素をコントローラ内で直接検証することにより、仮想的な架線と実際のパンタグラフの間でこれらの要素を安定的に交換できるようにしたため、テスト結果がより現実に即したものになりました。しかし、仮想的な架線と実際のパンタグラフの複雑な相互作用のシミュレートには高精度なモデルが必要である一方、モデルをリアルタイムで計算できるようにするにはモデルの複雑さを最小限にする必要があります。また、リ

&gt;&gt;

「dSPACE ツールは、演算処理能力に対する当社の厳しい要件に確実に対応しつつ非常に柔軟に使用することができるため、幅広いタスクに活用できます」

Stefan Jakubek 教授、ウィーン工科大学 (TU Wien)

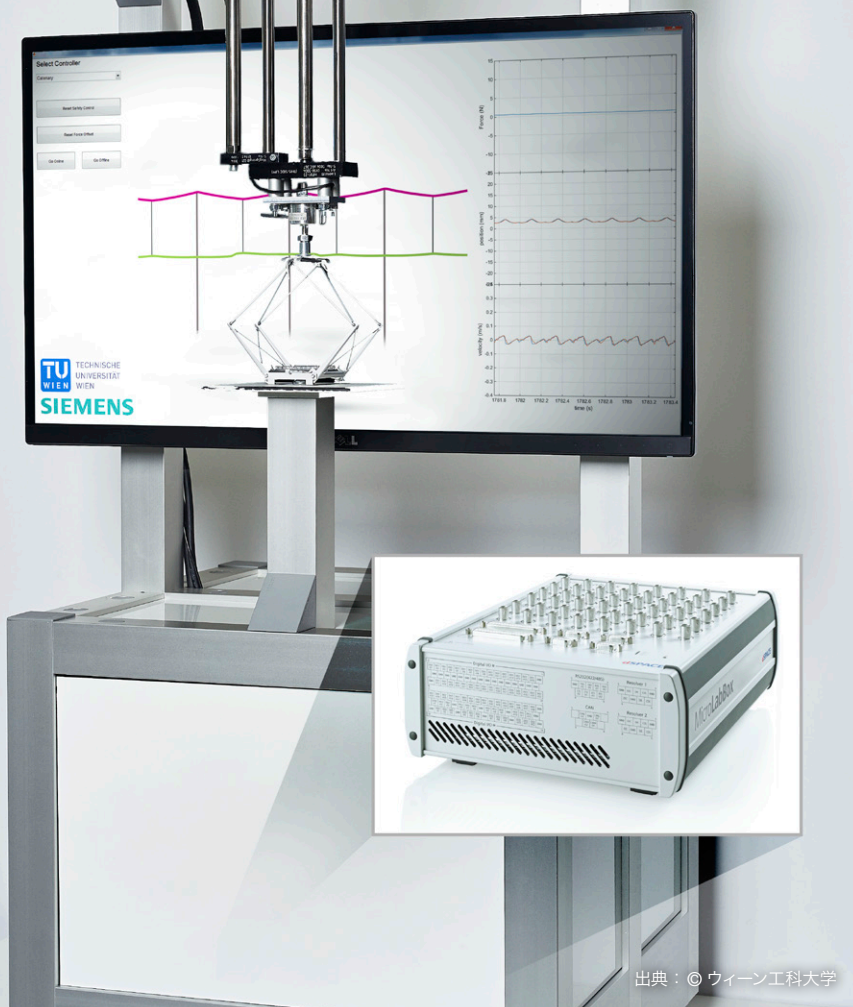


図4：MicroLabBoxを使用して、パンタグラフ用テストベンチの小型試験モデルを構築しました。開発した制御コンセプトは、テストベンチから小型試験モデルへ容易に移行できるため、教育現場での説明にも活用することができます。

図5：テストドライブを使用して、新型パンタグラフのアーカ放電の防止効果を実証しています。



リアルタイムシステムではステートオブザバから受信した計測データに備え、摩擦力などの障害を予測することも必要です。これらすべてのタスクをリアルタイムで完了するため、ウィーン工科大学では新たな数値法だけでなく、極めて強力なリアルタイムプラットフォームが必要となりました。

#### 柔軟性の高いdSPACE ツールチェーン

ウィーン工科大学は、dSPACEのリアルタイムツールを選択しました。研究プロジェクトの過程では、テストベンチのコンセプトの開発に2つの異なるdSPACEプラットフォームが使用されました。実物大のパンタグラフのテストに使用するテストベンチの基盤となるのは、DS1006 Processor Board (図3)です。このボードの2.8 GHz クアッドコアプロセッサを使用すると、計算時の負荷を効率的に分散することができるため、開発者は複雑なシステムをシミュレートしながら高いサンプリングレートで制御を行うこともできます。たとえば、1つ目のプロセッサコアでテストベンチの基本的な接続と制御 (5 kHz のサンプリングレート) を行いながら、2つ目のコアでインピーダンスの予測制御 (200 Hz) を行います。3つ目のコアでは、高精度の架線モデル (200 Hz) をシミュレートします。それぞれのサンプリング手順では、モデルの状態に応じてテストベンチのコントローラを初期化します。開発者は、DS4302 CAN Interface Board (リニアモーター)、DS3002 Incremental Encoder Interface Board (位置センサ)、DS2201 Multi-I/O Board (制御変数)、およびDS4121 ECU Interface Board (産業ロボット) を使用して、テストベンチのコンポーネントとの通信を最適化しました。開発したアルゴリズムの大半は、MATLAB®/Simulink® で実装し、そこから直接コンパイルしました。また、外部ライブラリを統合することで、複雑な数学的問題も効率的に解決することができました。ユーザインターフェースの開発は試験ソフトウェアであるdSPACE ControlDesk®で行ったため、テストベンチ上では極めて直観的に仮想的なテスト走行を制御することができました。また、開発者は、実物大のテストベンチに加え、開発や教育現場向けとして廉価なラボ用テストベンチも構築しました (図4)。ウィーン工科大学では、パンタグラフと架線の間の相互作用とインピーダンス制御

の基礎を明確に例証し、理解を深めるためのラボ用テストベンチとして新しい小型の MicroLabBox を初めて使用しました。dSPACE ツールチェーンは互換性に優れ、シームレスな特性も確保されているため、テストベンチからこの小型のラボ試験システムへのアルゴリズムの移行は容易に行うことができました。

#### まとめと展望

ウィーン工科大学では、上述のツールを使用して、極めて動的かつ強力なパンタグラフのテストベンチを構築することができました。とりわけ架線モデルを拡張したことにより、既に複数の牽引力の影響、つまり多数のパンタグラフが同時に上がった状態の鉄道車両の解析もテストベンチ上で行うことができます。そのため、今後は開発サイクルの早期の段階でパンタグラフの性能を確実に定量化することができます。ウィーン工科大学と Siemens 社の連携によって開発されたパンタグラフ用テストベンチは、偏微分方程式における質量のシステムダイナミクスを一貫してシミュレートできる、まさに世界初の HIL (Hardware-in-the-Loop) テストベンチです。既に実現している極めて動的かつ現実的なテストとその優れた再現性は、高性能パンタグラフの機能を大幅に向上させる上で重要であり、今後より効率的な鉄道交通を実現するための貴重な資産でもあります。さらには、実施したテストの結果はより小型の試験システムに容易に移行できるため、開発した制御モデルを教育現場向けに利用することも可能です。これにより、若いエンジニアに対し鉄道技術への関心を持ってもらうことができます。今後の鉄道交通が速度においても効率性においても新しい記録を樹立し続ける可能性は十分にあります。 ■

Stefan Jakubek 教授、Alexander Schirrer 博士  
Guilherme Aschauer 氏、ウィーン工科大学  
Christian Saliger 氏、Siemens AG Austria

ウィーン工科大学と Siemens 社が共同開発したパンタグラフテストベンチの稼働状況や、極めて動的な新しい制御の詳細を下記の動画でご確認ください。

[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_tuwien\\_e](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_tuwien_e)  
(© Strukt GmbH)



#### Stefan Jakubek 教授

Control and Process Automation  
学部教授、ウィーン工科大学。



#### Alexander Schirrer 博士

Control and Process Automation  
学部の博士課程修了研究者、ウィーン工科大学。



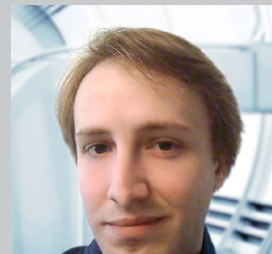
#### Guilherme Aschauer 氏

Control and Process Automation  
学部プロジェクトアシスタント、ウィーン工科大学。



#### Christian Saliger 氏、理学修士

パンタグラフ開発エンジニア、  
Siemens AG Austria。



エンジンの革新的な燃焼プロセスの開発では、多くの場合、進行中の燃焼プロセスにもエンジニアが介入できる極めて高速な制御ループが必要です。アーヘン工科大学 (RWTH Aachen: Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen) では、dSPACE MicroAutoBox II を使用することで、ガソリンエンジンのインサイクル制御において安定性と制御性に優れた自動点火を実現しました。

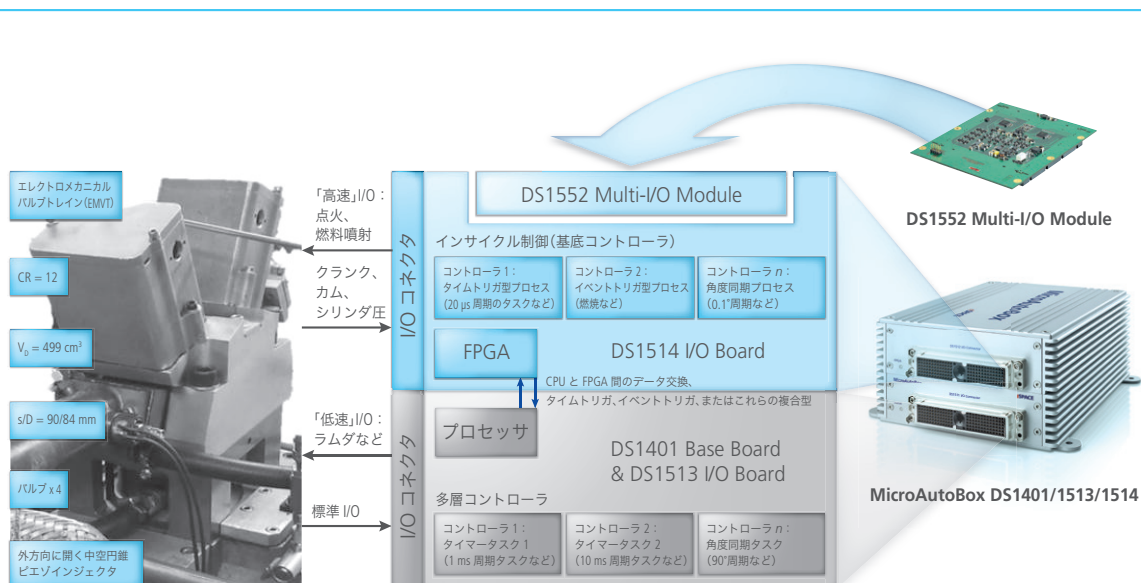
代 替的な推進テクノロジーについて検討する場合、今日の開発者はエレクトロモビリティの側面だけに注目する傾向がありますが、内燃エンジンについて考える際は、それは短絡的である場合があります。なぜなら、段階的に廃止されると思われる内燃エンジンには発展の可能性も依然としてあるからです。新しく革新的な燃焼行程を備えた内燃エンジンには、大幅な効率改善が期待されています。たとえば、かつてはディーゼルエンジンでのみ使用されていた自動点火は、ガソリンエンジンにも利用することができます。ガソリン制御自動点火 (GCAI) 方式を使用すると、二酸化炭素、窒素酸化物、および微

粒子の排出を大幅に削減できると期待されています。ただし、GCAI の実装には、複雑な制御および統制プロセスが求められるため、図示燃焼室圧力を入力値として利用するクローズドループが特に有望であるとみなされています。この手法では、開発者は圧力曲線を直接的かつ熱力学的に解析して直ちに燃焼を評価し、インサイクル目標値を調整することができます。アーヘン工科大学 Institute for Combustion Engines (VKA) の研究者は、レイテンシが最小限で、かつ統合指数解析を用いた十分に高速なインサイクル制御を確保するためのラピッドコントロールプロトタイプング手法の研究に日々取り組んでいます。

#### 極めて可変性の高い研究用エンジン

アーヘン工科大学の研究者は、この研究のために、外方向に開く圧電駆動型中空円錐インジェクタを中央に配置した直噴式の単気筒エンジンを使用しています (図 1)。研究用エンジンには、さらに十分に可変性のある電気機械式バルブトレイン (EMVT) が搭載されています。このバルブトレインはクランクドライブから完全に切り離すことができるため、サイクルごとに自動点火に必要な内部の残留ガスを動作点に応じて高い割合に指定することができます。ここでは、自由にプログラミング可能な Xilinx® Kintex®-7 FPGA を搭載した dSPACE MicroAutoBox II が使用されており、計画された研究作業に

図 1 : 電気機械式バルブトレインを搭載した研究用の単気筒エンジン (左)、Kintex-7 FPGA を搭載した開発用 ECU の MicroAutoBox II (右)





理想的な開発用 ECU として機能しています。VKA では、MicroAutoBox II と共に、XSG Advanced Engine Control Solution を初めて使用しました。このソリューションは、Simulink® 内からモデルベースで FPGA 設計を行えるよう作成された、Xilinx System Generator (XSG) ベースのオープンライブラリです。

#### リアルタイム表示

このソリューションの特長は、評価と筒内圧表示 (CPI) をリアルタイムで実行できることです。まず、クランクシャフト、カムシャフト、およびエンコーダ信号が FPGA 上で角度計算ユニット (ACU) によって評価され、さらなるリアルタイム評価に基づいて分解能が  $0.1^\circ$  の角度信号が生成されます。筒内圧信号は 1 MHz でサンプリングされ、クランク角と同期的に処理されます。このプロセスでは、放熱動作、高圧ループの図示平均有効圧、気体交換のほか、ピーク圧や圧力勾配など、インサイクル制御に必要な熱力学データの値が指定されます。ここでは、確実にリアルタイムで実行できるようにするため、因果的アルゴリズムのみが使用されます。VKA の比較テストにおいては、定評のある FEV GmbH の表示ツール Combustion Analysis System (CAS) を使用して、CPI のアルゴリズムに関する妥当性確認を行いました。発生した偏差は 1 パーセント未満で無視できるほど小さく、FPGA の速度でインサイクル制御に必要なパラメータを提供することができました。また、高速なアクチュエータ (EMVT、燃料噴射) も XSG Advanced Engine Control Solution を介して直接制御されるため、制御介入もわずか数ナノ秒以内に行えました。このため、制御介入を 1 燃焼サイクル内で実行し、MicroAutoBox II のプロセッサユニットに実装された低速かつグローバルな制御に対する補正変数として使用することができました。

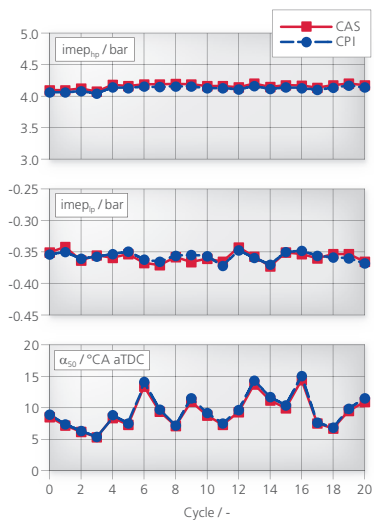
#### インサイクル制御のコンセプト

VKA では、燃焼室の再循環を利用することにより、自動点火に必要な内部残留ガスの割合を高くすることができました。この手法では、気体交換の上死点とは対称的に、排気バルブが早いタイミングで閉じられ、吸気バルブは遅いタイミングで開きます。この段階で、燃焼室に残留している排気ガスが圧縮されます。通常、燃料の

&gt;&gt;

# Firing up Engine Innovation

インサイクル燃焼制御による  
ガソリンエンジンの自動点火



未燃焼の結果として、遅く不完全な燃焼が起こり、その後燃焼が早められて圧力が増大します。中間圧縮時の圧力レベルとその後の燃焼点との間には、明確な相関関係があります。そのため、燃焼が極端に遅いと中間圧縮時に相当の熱が放出されます (図 3)。インサイクル制御では、この

図 2 : Advanced Engine Control Solution およびツールの Combustion Analysis System (CAS) による筒内圧表示 (CPI) の比較例。図示平均有効圧  $imep_{hp}$  および  $imep_{ip}$ 、および燃焼中心 ( $\alpha_{50}$ ) の偏差は無視できるほど低いものでした。

相関関係が利用されており、Advanced Engine Control Solution により中間圧縮時の最大筒内圧信号を決定しています。これが制御ループの入力信号としての役割を担います。吸気バルブが閉まる時のクランクシャフト角は制御変数として使用されており (図 4 の IVC)、この動作を遅らせることで有効圧縮比が減少し、その結果、自動点火の条件や燃焼中心にも遅延が発生します。吸気バルブを早く閉じると、自動点火が促されるため、燃焼中心が早まります。中間圧縮時に実行される筒内圧のリアルタイム評価によって気体交換の上死点におけるピーク圧が低いと判断された場合、燃焼中心の遅延を防ぐため、閉鎖中の吸気バルブの制御変数は同じサイクル内のより早いポイントへと移動します。逆にピーク圧が高い場合はより遅いポイントへと移動します。その結果、制御ループは気体交換の上死点と吸気バ

ループの作動の間に、およそ  $90^\circ$  CA 以内のクランクシャフト角で閉じられます。これは、 $n = 1500 \text{ min}^{-1}$  の回転速度での  $10 \text{ ms}$  のタイムスロットに相当します。

#### 説得力のある結果

上述のインサイクル制御の評価では、アクティブな制御を行うことで図示平均有効圧の標準偏差を相当に小さくすることができ、極端な負荷の偏差を回避できることが明確に示されています (図 4)。また、燃焼中心も大幅に改善されており、燃焼中心が極端に先行または遅延する状況を実際に回避しています。アーヘン工科大学の研究者は、中間燃焼とその後の燃焼の間にある相関関係を利用することにより、目的のインサイクル制御を実装し、研究用エンジンで使用することに成功しました。また、高速な制御介入が持つ可能性が明白となりました。同大学のさらなる研究プロ

「極めて高速なインサイクル制御が可能な dSPACE ツールは、革新的な燃焼行程の開発を行うための新たな手段です」

Jakob Andert 教授、アーヘン工科大学 (RWTH Aachen)

Bastian Lehrheuer 氏  
Institute for Combustion Engines  
(VKA) 研究員、アーヘン工科大学。



Jakob Andert 教授  
Mechatronic Systems for Combustion  
Engines ジュニアプロフェッサー、アーヘン  
工科大学。



Maximilian Wick 氏  
Mechatronic Systems for Combustion  
Engines 研究員、アーヘン工科大学。



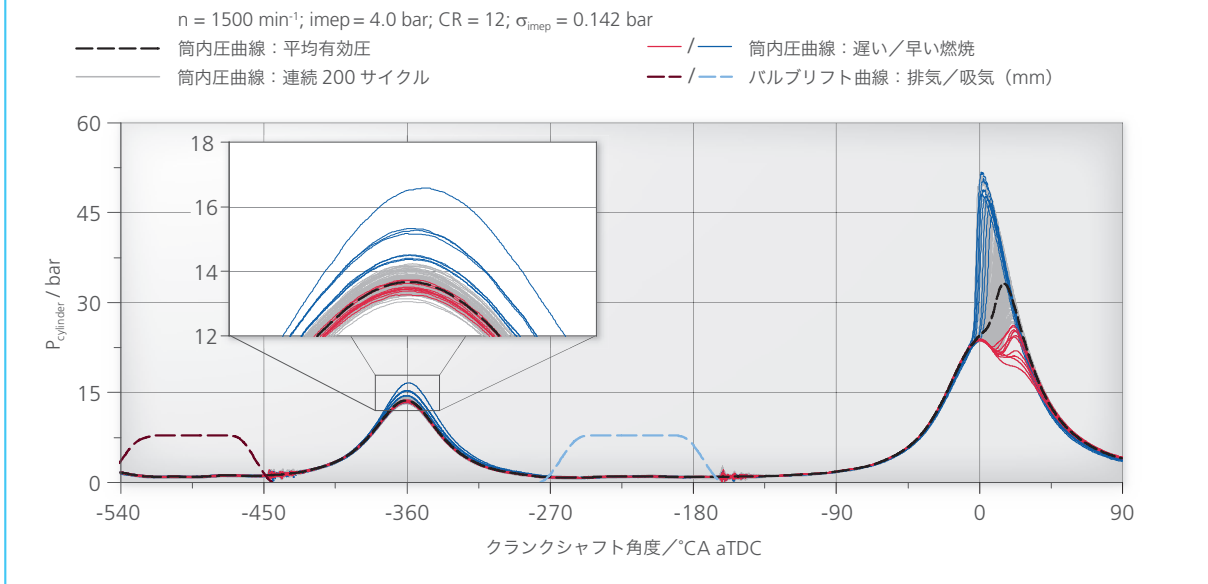
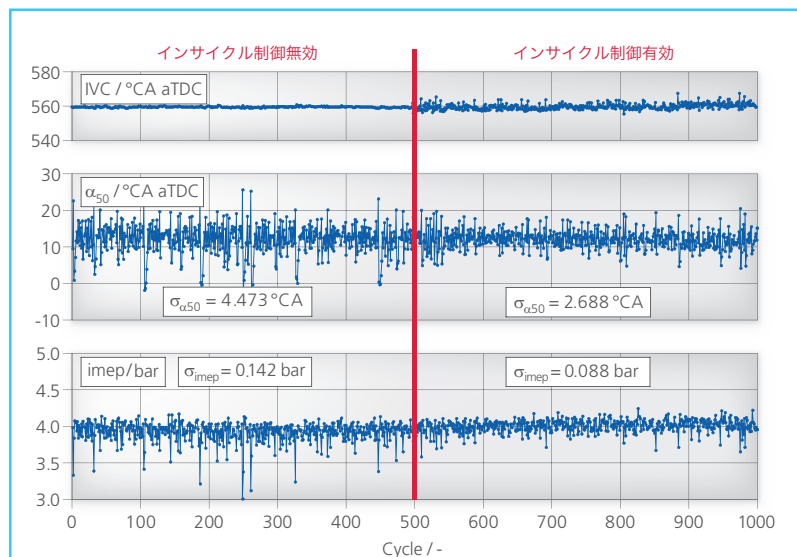


図 3：遅い (赤) または早い (青) 燃焼点を有する筒内圧のトレース図。図示平均有効圧  $\sigma_{imep} = 0.142$  bar の高い標準偏差により数量化した周期変動を明確に表示することができます。

プロジェクトでは、MicroAutoBox II の FPGA 性能を利用して、より一層複雑な制御アルゴリズムの実現を目指します。現状では、研究者は筒内圧のリアルタイム評価によって燃焼プロセスを最適に予測しようとしています。制御変数の分野では、現行のサイクル内での制御介入を許容するためのさらなる研究も必要です。これに関しては、Institute for Combustion Engines が現在、特に頻回噴射や水噴射向けの制御方式を模索しています。そのため、内燃エンジンが段階的に廃止されるモデルとは言えなくなる可能性は十分にあります。 ■

Bastian Lehrheuer 氏、Jakob Andert 教授、Maximilian Wick 氏、アーヘン工科大学

図 4：インサイクル制御の有効時/無効時を含む連続的な 1000 サイクルの間の IVC (閉鎖中の吸気バルブの制御変数)、 $\alpha_{50}$ 、および imep。アクティブ制御では、図示平均有効圧の標準偏差が  $\sigma_{imep} = 0.142$  bar から  $\sigma_{imep} = 0.088$  bar まで大幅に減少します (下)。燃焼中心が極端に先行または遅延する状況を確実に回避しています。

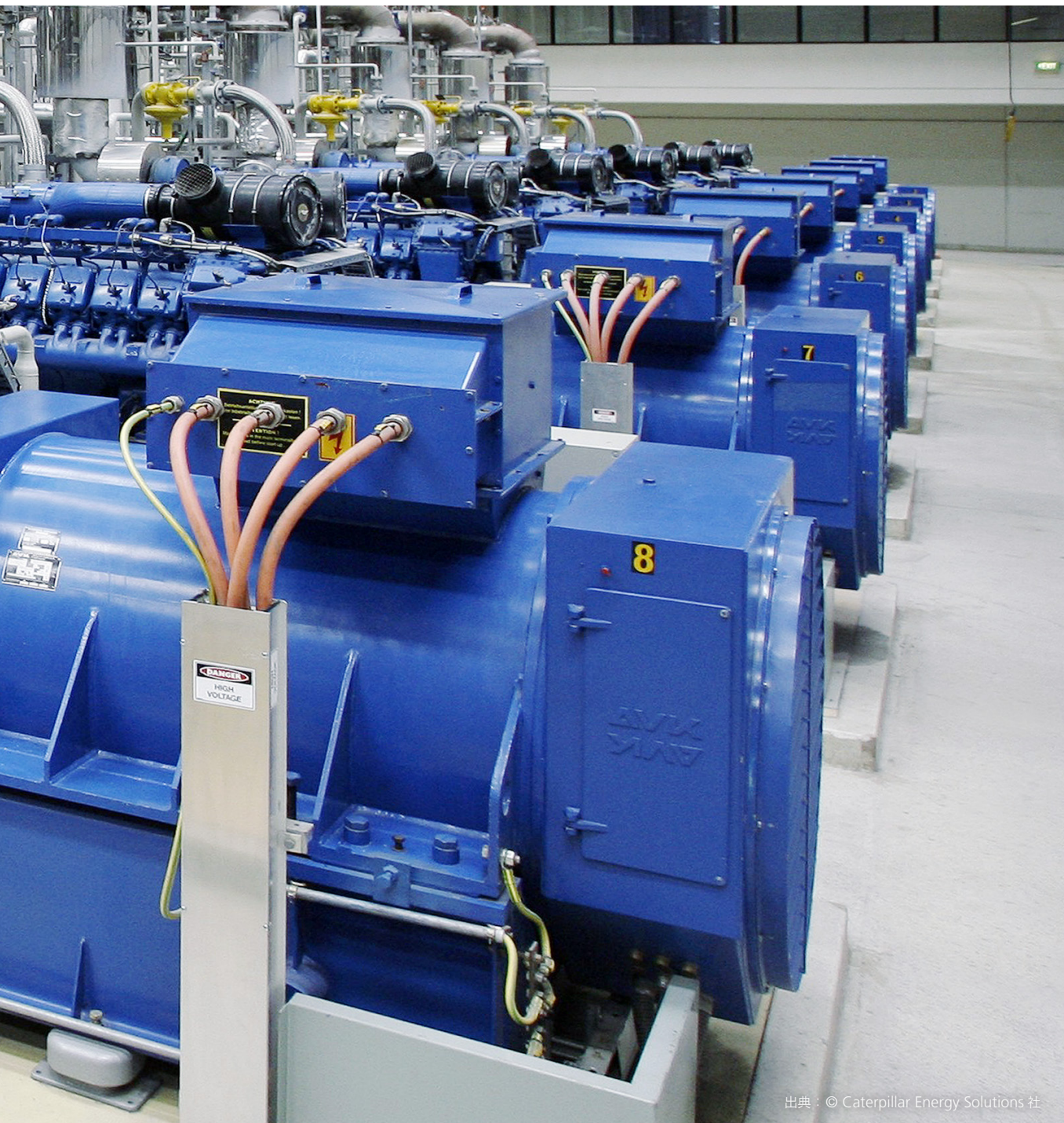




# Top Performer

エネルギー供給用高性能ガスエンジンの制御

1つ確実なことは、大型の高性能ガスエンジンを適正な発電機で始動できれば、最大4,500 kWの電力で最善の動力を現場で供給することができ、エネルギーや熱の安定的な生成用として使用することができるということです。Caterpillar Energy Solutions社は、まったく新しい制御方式を開発することにより、効率性、機動性、および保守性に優れた未来の発電所を実現しています。



出典：© Caterpillar Energy Solutions 社

**エ**ネルギー生成を分散して行えるプラントは、さまざまな分野で利用することができます。このようなプラントは、人里離れた原料採掘場、発展の進まない居住区域、さまざまな理由で既存インフラの利用料が高過ぎる地域など、電力が全く供給されない場所において独立系発電 (IPP) 施設として利用し、強力なエネルギーを柔軟に供給することができます。また、工業および農業分野でこのプラントを稼働すると、多くの場合副産物として可燃性ガスが生成されるため、エネルギーを自給自足したり、生み出したエネルギーを公共の敷設網に供給して金銭的なメリットを得たり、あるいは近隣の生産工場などにエネルギーを直接再販売したりすることが可能です。ガスエンジンと発電機で構成されるこのような IPP 施設は、公共の送電網の負荷がピークに達した場合の補完手段としても非常に適しています。また、水蒸気や温水などの発生を利用してプロセス熱を取り出したり、排出ガスを直接再利用して温室で植物に CO<sub>2</sub> を与えることなどもできます。

#### エネルギー生成用のガスエンジン



出典：© Caterpillar Energy Solutions 社

#### エネルギーや熱の生成に最適なプラント

Caterpillar Energy Solutions 社は、エネルギーおよび熱生成を分散して行うことが可能な、効率性に優れ、環境に優しい包括的なシステムを提供する業界屈指の企業です。同社のブランドである Cat および MWM 製品には、ガスエンジン、個別の発電プラントソリューション、完全なターンキーシステム、コンテナコジェネレーションプラント、柔軟性の高いモジュール型のガス発電プラントなどがあり、それぞれ設置が容易で経済的かつ環境に優しい仕組みを備えています。また、同社は総合的なコンサルティング、プラント設計、システム設置や稼働に向けたエンジニアリングサービス、さらにはカスタマーサポートや保守などのサービスを世界規模で提供しています。

#### ガスエンジンの稼働要件

公共の送電網からの供給が見込めず独力でエネルギーを作り出す必要がある用途において特に重要なのは、信頼性の高い発電プラントです。電力消費者は、送電網

が並列稼働している場合は必要に応じて公共の統合送電網を使用することができますが、送電網が隔離されている場合は狭い地域の数少ない電力会社に依存するしかありません。そのため、ガスエンジンの使用が必要になります。公共の送電網の場合でも、ピーク時の負荷をカバーするためには信頼性が高くすぐに利用できる電源が必要です。これは熱生成の場合も同様です。エネルギー供給で最も求められるのは、高い信頼性、効率性、および柔軟性です。これらの3つの要素は、設備の保守にも深くかかわる問題です。なぜなら、これらの3要素を満たすことにより、修理の手間を極力減らし、ダウンタイムを短くして維持費を低く抑えることができるからです。Caterpillar Energy Solutions 社の制御開発チームでは、上記に加え、潤滑剤の使用を極力減らせるエンジン機構を開発するなど、維持費を最小化する方法にも取り組んでいます。このようなソリューションで要件を満たすために重要となるのは、むしろ最新式の電子プラント制御であり、機械的な要素はほんの一部分に過ぎません。

#### 新たなプラント制御に向けて

Caterpillar Energy Solutions 社の目標は、最新式の電子プラント制御を活用して今後のプラントの効率性、柔軟性、保守性をより一層高め、同社のすべての製品に新開発の制御方法を導入することでした。このため、同社は今後のプラントではサードパーティ製電子制御ユニット (ECU) を自社製 ECU に置き換える決断を下しました。しかし、エネルギー生産用のガスエンジンでこれを実行する場合、従来の (乗用車などの) 内燃エンジンと比べてもより多くの困難が伴います。1 台の高性能ガスエンジンを生産する場合に必要なコスト、サイズ、および生産時間は膨大であり、製品のバリエーションも多岐にわたります。そのため、テスト専用のプロトタイプを構築することは通常は不可能です。そのため、同社の開発チームはこれまで、開始、停止、および緊急停止動作を集中的にテストする限界テストや高負荷テストを実行する際、実際のエンジンに深刻な損害を与えるリスクに常に直面していました。これにより、コストは極めて増大し、プロジェクトの遅延も発生していました。また、新たな制御方法では、テストを実際のエンジン入手前に行う必要がありました。そのため、

上位の制御システムで構成された HIL システムをプラントネットワーク上で構築し、オフライン機能開発 (Software-in-the-Loop、SIL) および HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータを用いてエンジンの制御システムをテストすることが必要となりました。同社のもう 1 つの要件は、多様なエンジンバリエーションをテストできる柔軟かつ拡張性の高い HIL シミュレーション環境を構築し、それを以降のソフトウェアリリースプロセスの基盤として活用することで、実際のエンジンによる物理的なテストをできるだけ排除することでした。

#### シミュレーションモデルの要件

ガスエンジンをシミュレートして ECU 開発を行う場合、固有のエンジン特性を十分な精度で再現できるシミュレーションモデルが必要です。シミュレーションは、個別の使用事例でも十分に高い品質と範囲で実行できる必要があり、ECU にはすべての作業段階で使用できる適切な値を提供しなければなりません。そのため、Caterpillar Energy Solutions 社は、既に業界で実績があり、ガスエンジンの特性に合わせて容易に調整できるモデルを必要としていました。内燃エンジンのプラントモデルに関する要件は次のようなものでした。

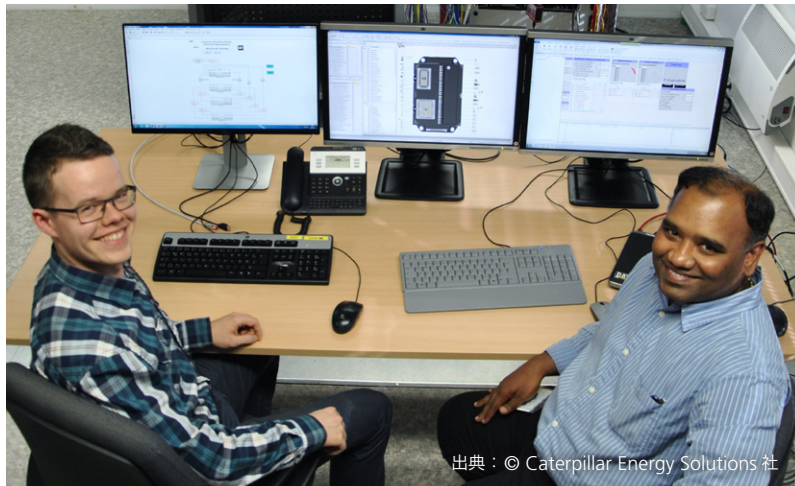
- エネルギー生産用のガスエンジンにも利用できる調整可能なオープンなモデルアーキテクチャ
- 最大 24 気筒でのリアルタイムシミュレーションに対応した効率性の高い演算性能
- 候補となる筒内圧センサを適切に特定できる高精度のシミュレーション
- 負荷点の数を限定したシミュレーションデータによるモデルの柔軟なパラメータ設定 >>

## モーター仕様

- シリンダ：8～20
- 出力範囲：通常時 400～4,500 kWel
- 対応するガスの種類：天然ガス、埋立地ガス、下水ガス、炭鉱ガス、コークス炉ガス、バイオガス
- 「従来型」のエンジン制御 (スロットルバルブなど) およびプロセス制御 (冷却、ガス圧、電気の位相など)
- 特殊緊急時対応方式 (緊急停止など)



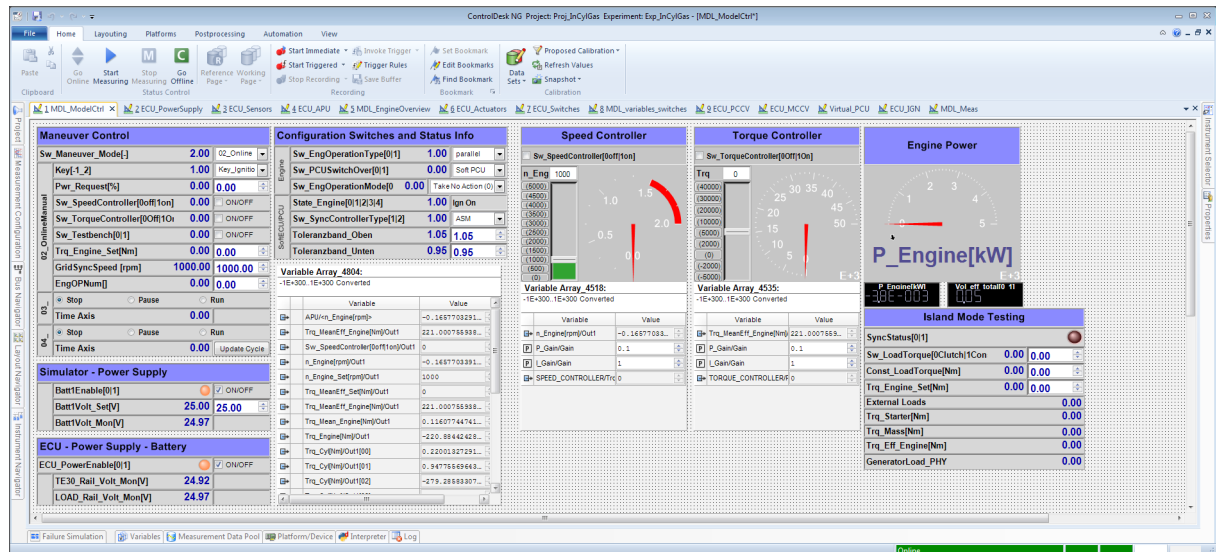
制御対象である多数のシリンダでは、特に効率性の高いシミュレーションモデルを使用して SIL および HIL テストを行う必要がありました。



Caterpillar Energy Solutions 社の Ralph Staudt 氏 (左) と Sreenivasa Ravipati 氏 (右) は、dSPACE シミュレータを使用してエンジン用 ECU の幅広い HIL テストを行いました。

「当社の主力パートナーである dSPACE は、ツールおよびエンジニアリングサービスのサプライヤとして、シミュレータ仕様から実 ECU によるクローズドループ制御に至るまで、当社の HIL システムに関する多数の細かな疑問にも対応してくれます。このおかげで、プロジェクトを大幅に迅速化することができました」

Magnus Euler 氏、Caterpillar Energy Solutions 社



ControlDesk Next Generation での計器制御

### ガスエンジン向けの dSPACE ASM

Caterpillar Energy Solutions 社では、dSPACE のエンジニアリングサポートを受けながら、オープンかつ高精度な Simulink® モデルであるオリジナルの ASM Gasoline Engine InCylinder モデルを同社向けのモデルとして調整し、これを使用してガスエンジンのシミュレーションを行えるようにしました。モデルの調整に際しては、次のような複数の段階が必要となりました。

- ライブラリブロックを一部再利用して、ベーシックモデルをインタークーラやバルブなどのユニットを備えた個別のエンジンスキーマ向けに調整。ASM モデルはデフォルトでツインターボチャージャおよび V エンジンアーキテクチャを使用したエンジンポートのパラメータ化に対応しているため、この調整作業は容易に行うことができました。

- エネルギー供給テクノロジー要件に従い、自動車内燃エンジンモデルを再構成
- ベーシックモデルの物理的パラメータ、化学的パラメータ、および熱パラメータを変更
- 計測値の評価に基づきパラメータを自動的に最適化して、シミュレーション結果を改善
- オフラインシミュレーション時に ASM Engine Testbench を使用してモデルの妥当性を確認

### 新しいエンジンコントローラのテスト

Caterpillar Energy Solutions 社が開発したプラントおよびエンジンコントローラは、さまざまな領域においてテストを受ける必要がありました。たとえば、送電網での円滑な動作を保证するため、SIL シミュレーションによるオフライン機能テストや HIL シミュレータによる ECU テストを用いて、電気の位相との同期前、同期中、同期

後におけるコントローラおよびエンジンの動作を、開始、停止、および緊急停止動作を含めてテストする必要がありました。すべてのテスト段階では、特別な調整を施した ASM モデルが使用されました。

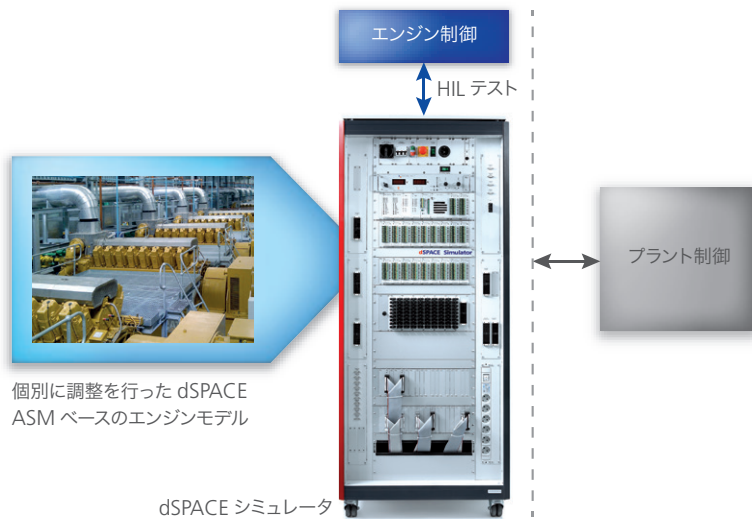
### HIL テストシステム

HIL テストには、dSPACE Full-Size シミュレータが使用されました。このシミュレータには 2 つの拡張ボックスが搭載されており、それぞれに拡張 I/O 機能を備えた DS1006 ベースのシステムが含まれています。これにより、強力なマルチコアおよびマルチプロセッサオペレーションが可能になり、ASM モデルを I/O と切り離れた上で計算処理を行うことができたため、シミュレーション時間を大幅に削減することができました。また、dSPACE シミュレータには、シグナルコンディショニング用のモジュール、電氣的欠陥を挿入するための欠陥生成ユニット、電流計測および負

「当社の要件に合わせて調整された ASM Gasoline Engine InCylinder モデルを使用することにより、当社は十分に現実に即したガスエンジンシミュレーションをリアルタイムで実施することができました」

Magnus Euler 氏、Caterpillar Energy Solutions 社





同社は、dSPACE シミュレータおよび ASM Gasoline Engine InCylinder ベースの調整モデルを使用することにより、実際のエンジンを使用せずにエンジン制御に関する HIL テストを開発の早期の段階で実施することができました。

荷シミュレーション用のモジュールも含まれており、テストでは、インジェクタ、スロットルバルブ、ウェストゲートバルブなどの実負荷が使用されました。シミュレータはプラント制御用の大型の HIL システムにも接続され、dSPACE の試験ソフトウェアである ControlDesk® Next Generation を使用してシミュレーションのあらゆるタスクが実行されました。■

Magnus Euler 氏、  
Caterpillar Energy Solutions GmbH

## まとめ

Caterpillar Energy Solutions 社では、新しいプラントおよびエンジン制御システムの開発により、同社の Cat および MWM 製品の効率性、柔軟性、および保守性をより向上させることができました。その際、dSPACE により重要なツールだけでなくエンジニアリングおよびサポートサービスを含むワンストップソリューションが提供されたため、同社はプロジェクトを迅速に実行し、成功させることができました。また、SIL および HIL シミュレーションを通じて多数のテストを開発の早期の段階にフロントローディングすることにより、開発作業の大部分を実際のエンジン入手する前に実施することができたため、後の工程で実際の高価なエンジンを使用してさまざまなテストを行う必要がなくなり、開発時間の短縮も実現することができました。ここでは、多くの dSPACE ツールが導入され、同社のすべての製品向けのエンジン ECU や気筒数の異なるさまざまなエンジン向けの開発環境の構築に活用されました。Caterpillar Energy Solutions 社の新たなエンジン開発プロジェクトでは、すでに ASM が使用されています。

Magnus Euler 氏  
エンジン制御チーム責任者、  
Electrical Engineering 部門、  
Caterpillar Energy Solutions GmbH  
(ドイツ、マンハイム)







# Smooth Success

トラクタ用の無限可変トランスミッションの開発

出典：© CLAAS 社

CLAAS Industrietechnik (CIT) 社では、新しいトラクタ用トランスミッションを開発する以前はモデルベースのソフトウェア開発の経験はまったくありませんでした。しかし、開発した製品は結果的に期待をはるかに越える性能を発揮しました。この成功には、強力な dSPACE ツールの導入が大きく貢献しています。



フロントローディング



刈取り



耕作



市町村事業

CLAAS Industrietechnik GmbH (CIT) 社の大型トラクタの始動性は非常に優れています。トラクタが静かに丘の上を走り出すと、滑らかに加速し、動力を失うことなく最高速度に到達しますが、この間、ドライバーがクラッチや変速レバーを操作する必要はありません。単にアクセルを踏むだけです。これは、同社が開発したトラクタ用新型トランスミッションである無限可変トランスミッション (IVT)、EQ 200 により実現しています。EQ 200 を使用すると、斜面でもトラクタを適切なアイドル状態に保ち、アクセルの指令にすばやく反応させることができます。EQ 200 の設計では、トラクタが最高速度の時速 50 km で走行している場合でも 1,500 rpm という極めて低いエンジントルクを実現できるようになってお

り、燃費の向上も可能にしています。CIT 社がこのようなトランスミッションを独自に開発したのは、効率性と快適さを共に向上させるためでした。CIT 社製品部の責任者である Jan-Willem Verhorst 氏は、「市販のトランスミッションでは当社のニーズを満たすことができませんでした」と述べています。

#### 動力源としてのトラクタ

トラクタの主な機能の 1 つは、動力取出装置 (PTO) を利用して、干し草乾燥機などの作業ツールを駆動させることです。「だからこそ、私達はトラクタを車両としてだけでなく、動力源としても考える必要がありました」と CIT 社のエレクトロニクス開発担当者である Helmut Konrad 氏は述べています。「もちろん、これには新たな課

題が伴います」。同氏は、装着式の農機具の処理速度に特に着目しました。なぜなら、これらはトラクタの推進力とは関係なく制御できる必要があるためです。CIT 社の開発チームにとって極めて重要な課題は、効率的な開発プロセスの構築と、どのような速度でも一貫して最適化された作業を行える優れた制御性でした。

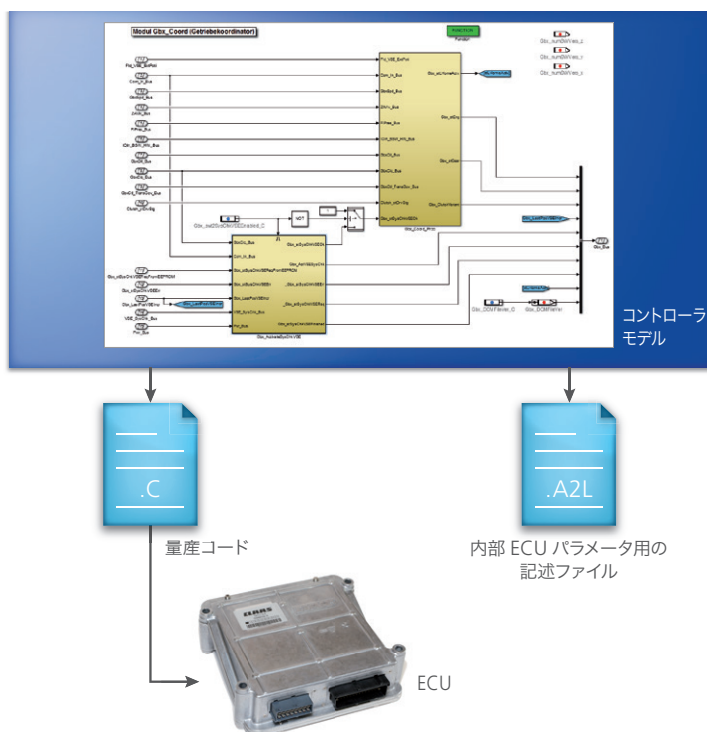
#### 技術的な要件

CIT 社では、農機具の最適な駆動方式や操作方式を自動的に特定できるドライブコントローラを使用して、トラクタの多様な用途に対応できる理想的な動作を保証することにしました。同社で求められる駆動コンセプトを実現するコントローラを独自に開発することの意義について、Verhorst 氏は次のように説明しています。「当社では、低トルクおよび低燃費の実現だけでなく、多種多様なニーズに対応できることを求めています」。さらに農業関連のエンジニアリングではフェールセーフ機能に関する厳しい要件があります。技術的な欠陥により車両を使用できない場合があると、生産性が大幅に低下してしまったり、全収穫を失うことにもなりかねません。

#### 開発タスク：無限可変トランスミッション (IVT)

CIT 社にとって、無限可変トランスミッション (IVT) EQ 200 を開発する上で、こうした要件のすべてを取り込むということが極めて重要な目標でした。さらに、トランスミッション ECU やドライブコントローラの開発も必要でした。「CIT では、この性能クラスにおいて前例となるようなプロジェクトがなかったため、当社の開発者はゼロからスタートしなければなりませんでした」と、R&D Tractor Powertrain 部門のシステムエンジニアである Thomas Gohde 氏は回想します。「そのため、当初の私達の目標は果てしのないものになってしまいました」。最初に作られた設計案は、後に社史で「ドライバーの夢の国」と記録されるほど、要件の厳しい仕様でした。それと同時に、開発者は自動車規格や農業用車両向けの電子制御ユニット (ECU) の機能安全を定義する ISO 25119 規格など

TargetLink を使用して、コントローラモデルから量産コードを効率的に生成し、ECU に実装します。





冬の保守

夜間の操作

出典：© CLAAS 社



## 「MicroAutoBox を活用することで、制御方式の車載テストと評価を容易かつ迅速に行うことができました」

Jan-Willem Verhorst 氏、R&D Drivetrain 部門責任者、  
CLAAS Industrietechnik GmbH

の一般的な要件への準拠も一貫して求められました。

### ツールチェーンの選択

CIT 社は、ドライブコントローラおよび EQ 200 の ECU の開発手法として、初めてモデルベースのソフトウェア開発プロセスを選択しました。ただし、同社はこの分野での経験がなかったため、業界で実績のある標準的なツールだけで作業を行えることを望んでいました。このため、同社は開発環境としてすぐに Simulink® を選択しました。しかし、どのように 2 つの ECU 用のターゲットコードを生成するかという問題が残っていました。同社は他部門で以前行った調査結果を調べたうえで、dSPACE の量産コード生成ツールである TargetLink® を使用することにしました。トラクタのプロトタイプでアルゴリズムのテストを行う際のツールとしては、車両開発で定評のある dSPACE ツール MicroAutoBox® を選択しました。さらに、ECU テスト用として、2 つの dSPACE HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータを開発フェーズに導入しました。

### 機能の開発

プロジェクトの開始時点では、CIT 社の開発チームは 4 人でしたが、追加タスクが増えるにつれ、チームの規模はすぐに大きくなりました。しかし、チームが拡大したとはいえ、求められる仕様は厳し過ぎるものであったというのが実情でした。そのため、同社は仕様書を「現実的」に改訂し、より実際的な方法を模索することにし

ました。CIT 社にはモデルベース開発での経験が最初は皆無であったにも関わらず、dSPACE 製品を使用することで、その後の開発作業はすぐに順調に進むようになりました。「dSPACE のツールチェーンにより、それほど多くのコーディング作業に取り組む必要もなく機能開発に集中することができたため、私たちはトランスミッション開発において機械装置との通信を容易に改善させることができました」と Gohde 氏は述べています。CIT 社では、開発パートナーが当初行っていたトランスミッション ECU のプロジェクトを引き継ぎ、自社で継続することもできました。

### 機能の実装

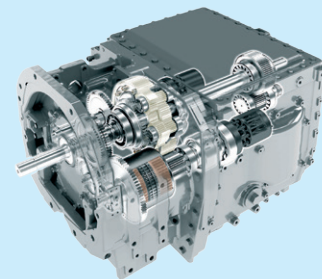
CIT 社は、機能モデルの開発に TargetLink Blockset を使用しました。「当社は、ネイティブな TargetLink ブロックのほかに、頻繁に使用するフィルタなどの機能をまとめた独自のライブラリを作成しました」と Gohde 氏は述べています。また、開発チームはモデルリファレンス機能により、分散型のモデル開発も行いました。モデルリファレンス機能とは、機能の一部を個別に作成、生成、およびテストし、それらを上位の統合モデルに取り込み、そこからソフトウェア統合のためのグルーコードを TargetLink で生成する機能です。開発チームは保存領域を十分に確保するため、ページ切り替え機能も活用しました。これにより、さまざまなパラメータ設定変数を容易に切り替えたり、適合および計測ツール用の A2L ファイルを TargetLink で生成したりすることがで

&gt;&gt;

## 無限可変トランス ミッション (IVT) EQ 200

EQ 200 のコンポーネントには、複合比プラネタリトランスミッション、油圧トランスミッションユニット、および 2 つのマルチプレートクラッチが含まれています。EQ 200 では、どのような速度でもトランスミッションがほぼ一定の高い効率性を確保できるように各部品が組み合わされています。ギアが自動変速すると、ギア比だけでなくトランスミッションを通じたパワーフロー全体も変化します。2 つのクラッチシャフトのトルクは、速度が増すにつれて互いに同期していき、最終的には同じトルクになります。2 つのトルクが完全に同期すると、マルチプレートクラッチによりギアが変化します。このため、負荷がかかっている状態でも回転速度やトルクが急上昇することなくギアが切り替えられ、滑らかなアクセル動作が実現されます。

EQ 200 トランスミッションの動作については、次の動画でご確認ください。  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_CLAAS\\_E](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_CLAAS_E)



EQ 200 トランスミッションは、振動のないギア変更と滑らかな動作を実現する優れた性能を備えています。



「TargetLink を使用することにより、当社では開発工程の一部をまるごと省略しながら、常に信頼性の高い量産コードを生成できるようになりました」

Thomas Gohde 氏、R&D Tractor Powertrain 部門システムエンジニア、CLAAS Industrietechnik GmbH

きました。さらに、TargetLink の独自機能や BTC EmbeddedTester を使用して徹底的なコードのテストを行い、開発の早期の段階でエラーを検出し排除しました。TargetLink で生成した効率性に優れた量産コードは、こうして制御ユニットに実装されました。

#### ECU ソフトウェアの妥当性確認

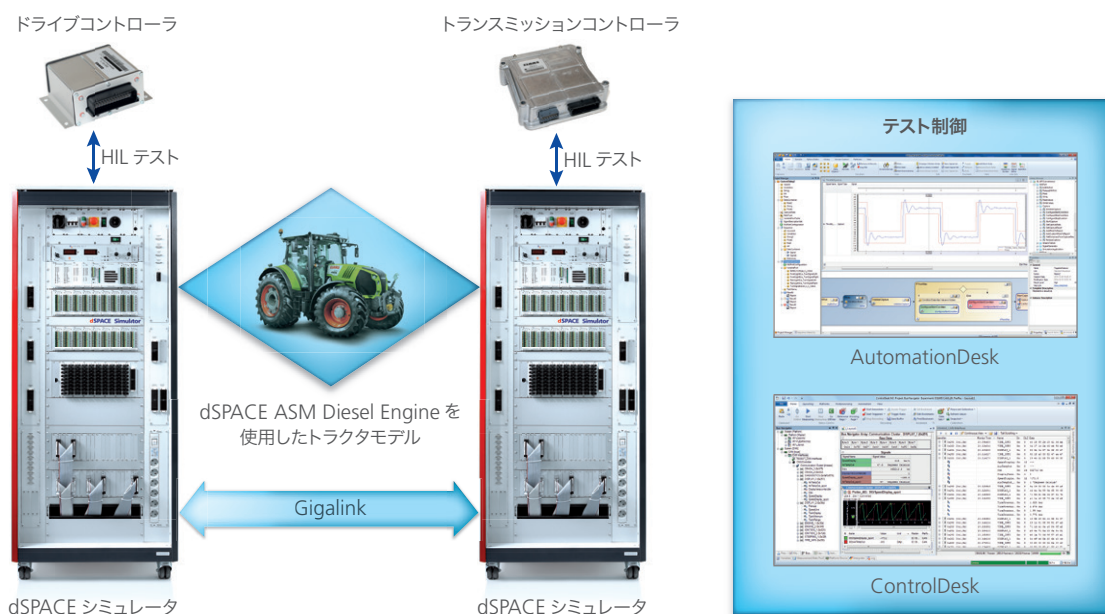
「私達は、プロジェクトの開始当初から、ECU のテストには ECU ソフトウェアの開発と同等の作業が必要となることはわかっていました」と Konrad 氏は回想しています。「このため、当社は開発チームとテストチームという強力な 2 つのチームを同

時に立ち上げ、それぞれのチームを個別に動かして互いに実力を発揮できるようにしたのです」。HIL テストは、ドライブ制御 ECU から開始されました。CIT 社は、エンジンシミュレーション用に dSPACE の ASM Diesel Engine モデルを使用しましたが、この作業に必要なシミュレーションモデルのほとんどは自社で開発しました。開発者は、AutomationDesk を使用してテストライブラリを構築し、開発プロセスを通じて多数のテストを自動的に実行できるようにしたため、夜間に自動で新しいソフトウェアバージョンをテストし、すぐ翌日にその結果を評価することができるようになりました。

#### システムテストによる検証および妥当性確認

CIT 社では、コンポーネントのテストが完了した時点、つまりドライブおよびトランスミッション制御用の ECU を単体でテストした時点で、直ちに 2 つの ECU をネットワーク化し、統合テストを実施しました。さらに、開発したテストライブラリを拡張することにより、レスタバスシミュレーションを行った車両で 2 つの ECU の相互作用をテストできるようにしました。同社は、2 つの dSPACE シミュレータ上で AutomationDesk を稼働することにより、2 人のテストエンジニアだけでシステムテスト全体を 3 週間で実施することが

テストオートメーションにより、テストを夜間に自動実行できる HIL テストベンチ構成





整地



分散

出典：© CLAAS 社

できました。このように徹底したテストを行ったため、ECUのISO 25119への適合性は容易に証明することができました。ラボで事前に検証を行っていたため、その後のフィールドテストでもソフトウェアの高い完成度が実証されました。これまで、類似のプロジェクトでは電子システムのテストにおよそ11,500時間かかっていたのに対し、新しいモデルベースの手法ではテストに必要な時間はわずか3,500時間で完了しました。

#### 量産の成功

2014年に、無限可変トランスミッションEQ 200とドライブ制御ユニットの量産が開始されました。これらはARION 500/600シリーズのトラクタに搭載され、その効率性と利便性はすぐに多くの顧客からの注目を集めました。そのため、同トラクタシリーズの出荷台数は同社の事業計画の予想を超え、顧客はトラクタの納車までおよそ1年間待つことになりました。しかし、Verhorst氏、Konrad氏、およびGohde氏の率いる開発チームは、商業的な成功だけでなく、トラクタの走行性能と燃費に関する顧客からの好意的な意見にも感激しています。「CIT社でこのプロジェクトが最大かつ最も成功したプロジェクトとなった理由は、当社の揺るぎない努力だけでなく、効率的で操作しやすいツールチェーンのおかげでもあります。当社の開発者はモデルベース開発の専門知識がない状態から活動を開始したにもかかわらず、私たちは適切かつ適正な製品、つまり1年中農作業を続けてもソフトウェアにエラーが発生しない製品をお届けすることができました」。

CLAAS Industrietechnik GmbH (ドイツ、パダーボルン) のご厚意により寄稿

## プロジェクト

### タスク

トラクタ用のドライブコントローラおよびトランスミッション ECU の開発

### 技術的課題

モデルベースの開発手法および適切なツールチェーンの導入により、ISO 25119に準拠した ECU ソフトウェアの機能開発および妥当性確認を実現

### ソリューション

モデルベースの ECU 開発プロセスの構築。CIT 社では、ラピッドコントロールプロトタイプングには MicroAutoBox、ソフトウェア実装には TargetLink、ECU の妥当性確認には AutomationDesk を搭載した dSPACE シミュレータを効率的に利用しています。今後は、データ管理ソフトウェア dSPACE SYNECT® を使用して、プロジェクトにおける包括的なテストケースおよびテストデータの管理および評価を行う予定です。



「dSPACE シミュレータの活用により、ソフトウェアおよびハードウェアの品質を大幅に向上することができました」

Helmut Konrad 氏、Electronics Development 部門責任者、CLAAS Industrietechnik GmbH

# Quick Multi- Platform Tests



テスト範囲は拡大し、テスト対象となるプラットフォームの数は増大していますが、時間とリソースは依然として不十分な場合、この矛盾した状況をどうすれば解決できるでしょうか。中国の自動車メーカーである Brilliance 社では、これらをすべて効率性の問題であると捉え、すべてを備えた dSPACE のシミュレータシステムを活用することで解決策を見い出しています。





複数の車両プラットフォームに対応する、柔軟かつ  
自動化されたテスト環境の構築

出典：© Brilliance 社

**厳**しい時間的な制約の中で複雑な電子制御ユニット (ECU) ネットワークの妥当性確認を行うには、効率的なテスト環境が不可欠です。Brilliance 社の電気/電子 (E/E) 部門は、時間的制約に加え、複数の車両プラットフォーム (自動車、ミニバン、SUV) を同時にテストするという難題にも対処する必要がありました。しかし、単一のプラットフォームをテストする場合でも、さまざまな設定が多数存在するため作業は膨大であり、人的なリソースも限られていました。そのため、柔軟かつ自動化されたテストシステムを構築して、車両プラットフォームや設定の異なるさまざまな E/E テストに対応し、迅速かつ容易にテスト対象プラットフォームを切り替えられるようにする計画が立てられました。

#### テストシステムの要件

テストチームは、テスト作業を迅速に行うために必要な各種の性能を適切に備えたテストシステムを構築するため、要件を詳細に列挙し、現状で使用しているテストツールや手法で得られる結果と比較した場合に見込まれる利点をまとめました。ここでは、必要な機能的要件として、機能テスト、診断テスト、テスト用エラーの生成、および統合テストが挙げられました。また、最も期待されているのはテスト効率を改善するための機能であることもわかりました。さらには、高いテスト精度、対象テスト範囲の保証、容易な再現性、および優れた柔軟性も重要な課題として挙げられました。その反面、予算は限られており、テストオートメーションの経験もまだ不十分でした。 >>



「dSPACE のシミュレーションシステムは非常に柔軟性が高く操作しやすいため、さまざまな車両プラットフォームに対して信頼性の高いテストを効率的に行うことができます」

Zhan Dekai 氏、Brilliance Auto 社

### テストシステムの選択

そのため、テストチームは総体的な手法を用いて適切なテストシステムを選択することにしましたが、適正なハードウェアやソフトウェアをどのように選ぶかという問題や、さらにはエンジニアリングや現場でのトレーニングについての問題も浮上してきました。テストチームの意思決定者にとって最も重要な要素は、テストプロジェクトの進行中にも必要なサポートを直接得られる長期的な支援対策でした。dSPACE はこの点において非常に説得力のある包括的な提案を行いました。この提案の骨子は、すべての個別の要件をカバーすることが可能なターンキーシミュレータシステムであり、Brilliance 社のプロジェクトに携わる開発者をサポートするアプリケーションや現場でのサービス用に特別設計されたテストオートメーション機能を備えていました。チームでは、この dSPACE の非常に柔軟なシミュレータコンセプトを活用すれば、単一のテストシステムですべてのプラットフォームに対応でき、さらには総コストも計画の予算内に収めることがで

きると判断しました。こうした理由から、Brilliance 社は dSPACE が提案したソリューションを選択することにしました。

### シミュレータのセットアップとマルチプラットフォーム機能

dSPACE が構築したシミュレータは、1 週間にわたる「24 時間連続稼働」テストに対応する設計となっており、「無人テスト」、つまり人的介入の必要がない反復的な自動テストプロセスを得意としています。このシミュレータはネットワーク化された 4 つのシミュレータで構成されており、パワートレイン、シャシー、ボディ用途向けの制御システムの一部は実際のコンポーネントとして構築されています。この構成は、Automotive Simulation Models (ASM) ツールスイートの仮想シミュレーションモデルとして利用することも可能です。単一のシステムでさまざまなプラットフォームをテストできるようにするため、ケーブルハーネスを含む個別の負荷ボード機構をプラットフォームごとに開発し、シミュレータに手作業で接続しました。各プ

ラットフォームではあらかじめ設定したモデルが使用されているため、プラットフォーム間の切り替えを容易かつ迅速に行うことができます。ここで必要な作業は、ケーブルハーネスを再接続することと、パラメータ設定ソフトウェアである ModelDesk で関連するモデル設定を選択することだけでした。

### 幅広い性能と利点

このテストシステムは、Brilliance 社の要件を満たすように機能が拡張されており、標準的なテスト作業だけでなく、エンジニアリングソリューションを通じて統合した特殊なテストにも対応しています。

**欠陥生成：**欠陥生成ユニット (FIU) は、低電流や大電流による短絡や断線を自動的に実装する場合に使用します。

**静止時消費電流の計測：**個々の ECU または ECU ネットワーク全体の静止時消費電流は、DS285 Power Switch Module を挿入することにより、正確に計測することができます。

**インストルメントクラスタの解析：**スピードメータ、タコメータ、警告灯などのディスプレイは、インテリジェントなカメラによって検出され、テストプロセス中の値を確認するために解析が行われます。

**空調システムの確認：**空調システムの制御をテストする際は、システムを実際のコンポーネントとして使用し、すべての操作ノブを特殊なハードウェアで再現します。

**パワーウィンドウのテスト：**パワーウィンドウ (挟み込み防止システムなど) の制御をテストする場合、モーターをエミュレートする電氣的負荷 (電子負荷モジュール、タイプ B) を使用します。ウィンドウの位置は、CompactFlash に保存できます。

**実際のコンポーネントとシミュレーション間の切り替え：**実負荷とセンサ間、およびモデル化された仮想表示間の切り替えは、ホスト PC でワンクリックするだけで行えます。これにより、手動テストも自動テストも容易かつ迅速に実装することができます。

テストチームは、シミュレータのオペレータステーション上で ControlDesk、MotionDesk、ModelDesk などのプログラムを操作し、ビークルダイナミクスシミュレーションの調整を行っています。



出典：© Brilliance 社



dSPACE シミュレータを使用して E/E システムのテストを行った車両プラットフォームの例  
(出典：© Brilliance 社)。

**CAN の操作：** dSPACE の CAN 操作ゲートウェイを使用すると、個々の CAN 信号を操作することができます。これにより、ECU に不正なメッセージを提供して、ECU の動作を確認することができます。

**テストオートメーション (TA)：** Brilliance 社は dSPACE と協力しながら、AutomationDesk を使用してすべての TA ライブラリを含むテストフレームワークを構築しました。開発者は、テスト範囲を拡張するための基盤としてこのフレームワークを使用しており、新しいテストケースをグラフィカルかつシンプルな手法で実装することができます。

#### まとめと今後の展望

計画の立ち上げ以降、このシミュレータは、Brilliance 社のあらゆるテスト作業の中心的なツールとして活用され、その高い柔軟性と優れた操作性のおかげで、これまで行われたテストはすべて時間どおりに完了することができました。かつてはプラットフォームの予定外の切り替えによって大幅な遅延が頻繁に発生していましたが、今では切り替えも容易に処理されています。また、テストが自動化され、その結果に対する有益なテストレポートを通じてソフトウェアの品質に関する的確な情報が提供されるため、開発者は容易にバグを修正することができます。Brilliance 社

は今後、実行されたプロセスおよびワークフローをより一層最適化する計画を立てています。そこでは、dSPACE のデータ管理ツールである SYNECT が重要な役割を果たす予定です。 ■

Zhan Dekai 氏、Mi Yanxin 氏、Li Shunzhi 氏、Zhang Jianxin 氏、Brilliance Auto 社

#### テスト対象 ECU

ボディ用 ECU：

- Air Condition Module (AC)
  - Around View Monitor (AVM)
  - Body Control Module (BCM)
  - Tire Pressure Monitoring System (TPMS)
  - Driver Seat Module (DSTM)
  - Immobilizer (IMMO)
  - Passive Entry Passive Start (PEPS)
  - Electronic Steering Column Lock (ESCL)
  - Park Distance Control (PDC)
  - マルチメディアユニット
- ドライブトレインおよびシャシー用 ECU：
- Engine Control Module (ECM)
  - Transmission Control Module (TCM)
  - Electronic Stability Control (ESC)
  - Airbag (ABAG)
  - Adaptive Front Light System (AFS)
  - Auto Park Assist (APA)

#### 使用されている dSPACE ツール

- dSPACE シミュレータ x 4
- AutomationDesk
- ControlDesk Next Generation
- ASM Electric Components
- ASM Engine Gasoline Basic
- ASM Vehicle Dynamics
- ASM Traffic
- ASM Brake Hydraulics
- ModelDesk
- MotionDesk
- DCI-CAN インターフェース
- 欠陥生成ユニット (FIU)

テストチームのメンバー (中国、瀋陽) 左から右: Mi Yanxin 氏 (開発者)、Li Shunzhi 氏 (開発者)、Zhang Jianxin 氏 (開発者)、Zhan Dekai 氏 (課長)、Sun Lizhu 氏 (グループリーダー)



# Robotic Motion

対話形式による  
ビークルダイナミクスの  
動作シミュレーション



未来の自動車を運転するにはどうしたらよいでしょうか。ドイツ航空宇宙センター (DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt) では、未来の自動車に適した入力デバイスを開発および評価する際に物理的かつ現実に即したイメージを持てるよう、ロボットモーションプラットフォームを使用しています。



出典：© DLR

**最** 新の自動車用ヒューマンマシンインターフェース (HMI) の設計において X-by-Wire テクノLOGYを使用すると、機械的な制限を考慮する必要がなくなるため、開発の新たな可能性が開かれます。ただし、新たな課題も生じます。ドイツ航空宇宙センターでは、この新しく自由な環境を利用してロボット X-by-Wire 研究プラットフォームである ROboMObil を開発しており、独立型の四輪ステアリングの実装や触覚入力デバイスの開発を行っています。新たな HMI コンセプトを開発するうえで重要なのは、ドライバーの操作による車両の加速とそれに伴ってジョイスティックなどのステアリングデバイス上にかかった負荷を物理的に結合したうえで、HMI の堅牢性を評価することです。こうした外乱の影響を HIL (Hardware-in-the-Loop) ベースのラピッドコントロールプロトタイプングプロセスで再現するには、まず ROboMObil をリアルタイムピークルダイナミクスを実装した HIL システムに組み込んで、それを DLR Robotic Motion Simulator (RMS) と連携させ、dSPACE SCALEXIO® 上でシミュレーションを行うことが必要です。エンジニアは、このようなロボット HIL 構成を使用することで、コンポーネントの純粋な機能テストを実施できるだけでなく、ドライバー、車両動作、および入力デバイス間の相互作用を現実的な双方向型のモーションシミュレーションにより検証することができます。この研究の目標は、ドライバーが引き起こす物理的な外乱の影響を確実に抑制するために、入力デバイスや制御変数の生成、フォースフィードバック方式を運動学的に適切に分離させることにあります。 >>

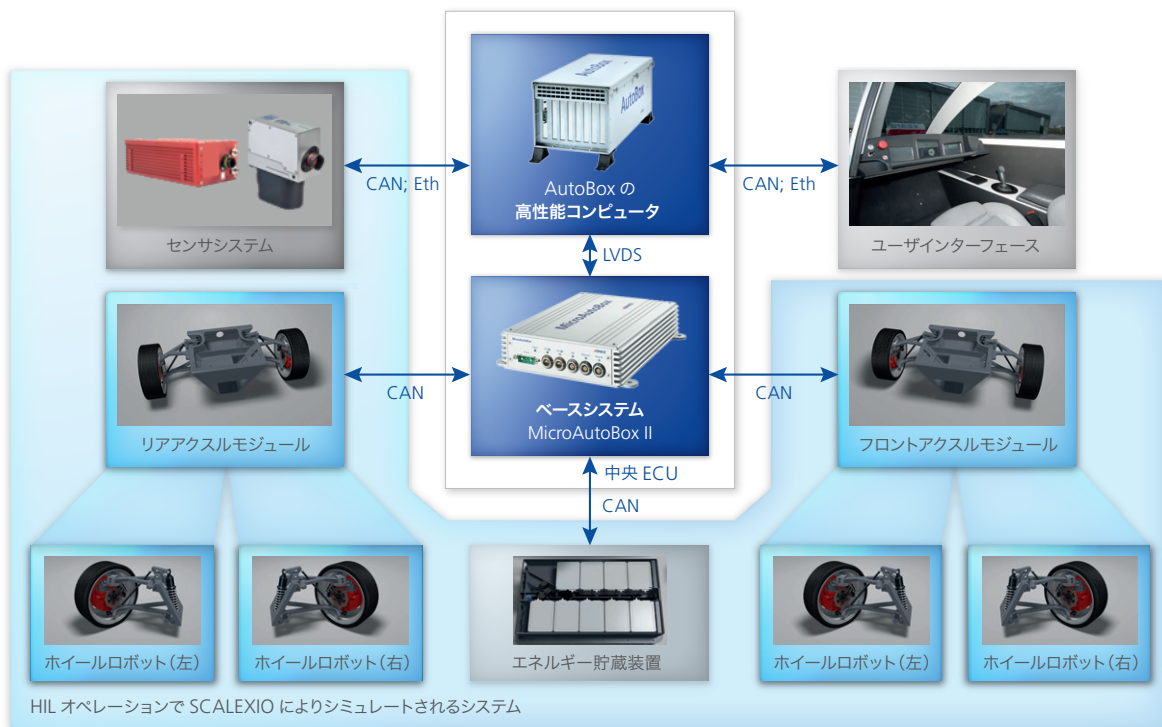


図 1：ROboMObil のコンピュータネットワークの構成 (Eth = Ethernet 接続)。リアルタイムビークルダイナミクスシミュレーションにより仮想的に表現されるコンポーネント、上図では SCALEXIO でシミュレートされるコンポーネントが氷色で示されています。

### ROboMObil 研究プラットフォーム

宇宙ロボット工学から着想を得た DLR の ROboMObil は、電動ドライブトレインを搭載した X-by-Wire 研究プラットフォームであり、構造上同一の高度に統合された 4 台の「ホイールロボット」を搭載しているため、極めて高い操作性を備えています。ROboMObil の X-by-Wire アーキテクチャはホイールロボットにより実現されており (図 1)、コックピット制御、遠隔操作制御、半自動または完全自動走行などの操作モードを含むさまざまな車両レベルのアプリケーションを実装することができます。このため、ROboMObil は、ビークルダイナミクス制御、自律走行、ヒュー

マンマシンインターフェースのさらなる開発など、幅広い研究タスクに対応可能な優れたプラットフォームとして機能します。また、ROboMObil は、根本的に異なる 3 つの動作モード、すなわち縦方向の運転、横方向の運転、および回転軸を中心とした車両の旋回を行うことができる高い操作性を備えています。それぞれの動作タイプの制御には個別の HMI コンセプトが必要であり、その制御方式はロボット HIL 構成で解析されています。ROboMObil の現行の入力デバイスは、3 自由度を有するフォースフィードバック型ジョイスティックです。この HMI の開発における技術的な課題は、3 つの水平自

由度を持つ車両のコントローラに対して、動作モードごとにジョイスティックの 1 つの回転自由度および 2 つの並進自由度を人間工学に基づいてどのようにマッピングするかということです。

### リアルタイムのビークルダイナミクスシミュレーション

DLR では、ビークルダイナミクス制御の開発および妥当性確認における重要なツールとしてシミュレーションツールを使用しています。そのため、DLR の仮想設計およびテスト環境には、オブジェクト指向モデリング言語の Modelica をベースとした詳細なマルチボディダイナミクスモデルが

「プログラミング可能なインターフェースを使用すると、SCALEXIO HIL システムを Robotic Motion Simulator などの dSPACE 以外のシステムに容易に接続することができます。さらに、それを双方向型のビークルダイナミクスシミュレーション環境に統合し、モーションシミュレータとして使用することもできます」

Peter Ritzer 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、オーバーフアッフェンホーフェン

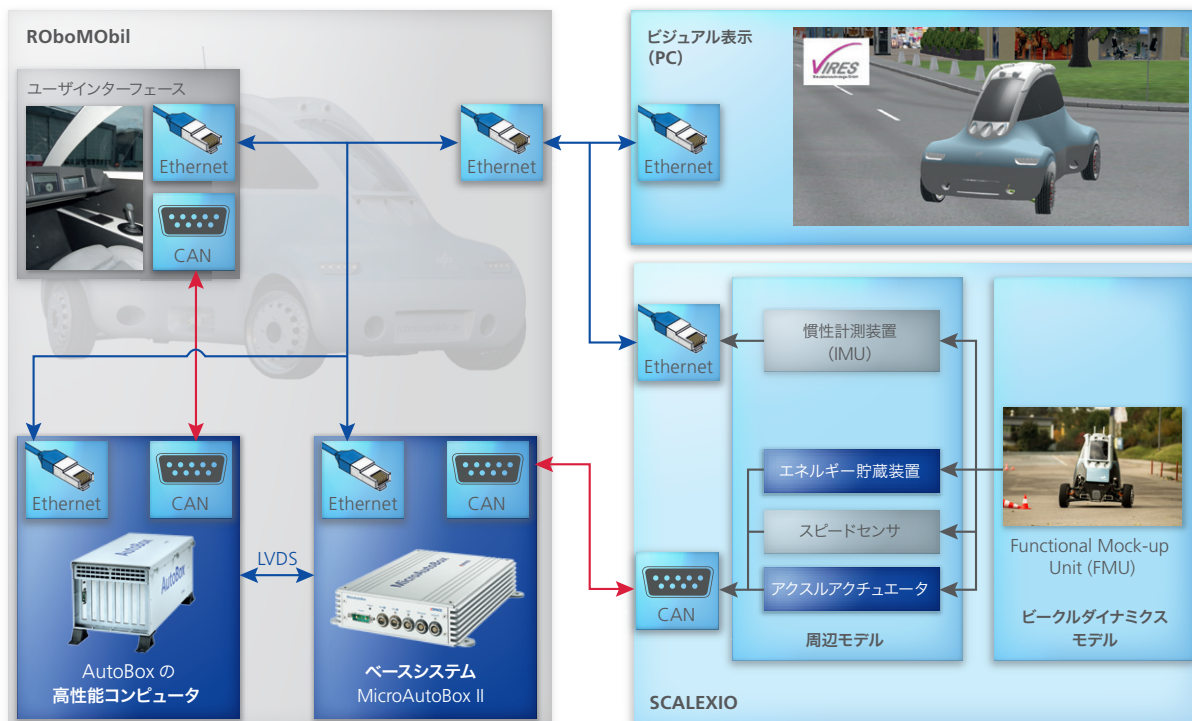


図 2 : ROboMObil の実機を必要としない HIL オペレーションにより、オペレーティングソフトウェアおよびコントローラを安全にテストします。

実装されています。これらのモデルには、マルチボディダイナミクスのほか、機械装置、電気系統、油圧機器などのさまざまな領域を 1 つのモデルに融合するためのセンサや電気機械アクチュエータも含まれています。新たなビークルダイナミクス制御の開発では、Functional Mock-up Interface (FMI) 規格に基づき、リアルタイムで実行できる完全な車両モデルの協調シミュレーションを Simulink® で行います。テスト段階では、MicroAutoBox II および AutoBox で構成されたネットワークである ROboMObil の中央電子制御ユニット (ECU) にアルゴリズムを実装し、SCALEXIO ベースの HIL システム上で検証します。このシステムでは、図 1 に水色で示されている通り、マルチボディビークルダイナミクスモデルや接点を含むタイヤ、さらには ROboMObil のあらゆる周辺デバイスもカバーするリアルタイムビークルダイナミクスシミュレーションが実行されます。エンジニアは、図 2 に示された HIL アーキテクチャを使用することにより、FMI ベースの設計プロセスで使

用する手法を制御ソフトウェアの妥当性確認プロセスでも再利用することができます。また、SCALEXIO システムを通じて、Dymola (Modelica モデル向けのモデリングおよびシミュレーション環境) から生成した Functional Mock-up Unit (FMU) を実装することができます。そのため、DLR の設計およびテスト環境から既存の Modelica ライブラリを取得することができ、ビークルダイナミクスのリアルタイムシミュレーションにおける開発作業の短縮が可能になります。

### Robotic Motion Simulator (RMS)

一般的な六脚型のシステムとは異なり、DLR Robotic Motion Simulator (図 3) にはリニア軸と結合した産業ロボットが搭載されているため、通常よりはるかに大型で動的な操作スペースを比較的低コストで確保することができます。この操作スペースの改良により、粘着限界付近の動的な運転操作といった危険なシナリオでも動的にシミュレートすることができます。DLR では、そのようなシナリオに対応する

ため、リアルタイム軌道計画アルゴリズムを現在開発しています。このアルゴリズムでは、現実的な動作を双方向かつ動的に生成することが可能です。RMS は、地上車および航空機向けのヒューマンマシンインターフェースの研究でも活用されています。RMS はモジュール型の構成となっているため、さまざまな用途に柔軟に対応できます。そのため、計器や車室全体を容易に変更したり、シミュレーションシナリオに応じて制御方法をステアリングホイールやペダル、あるいはジョイスティックにすばやく切り替えたりすることが可能です。

### 完全なロボット HIL システム

ソフトウェアやハードウェアの機能性を確認する場合は、静止した車室で運転をシミュレートする従来の HIL コンセプトで十分対応できるのに比べ、新たな触覚型 HMI の検証にはより多くの手間がかかります。このような場合、純粋な機能テストに加え、ドライバーの行動と車両動作間の相互作用を適切に検知する必要があります。DLR では、図 4 に示されている通り、

>>



出典：© DLR

図3：DLR Robotic Motion Simulator (RMS) ではリニア軸が採用されており、操作スペースの拡張が可能になっています。

複数のサブシステムを組み合わせることでこれを実現しました。この構成を活用すると、ドライバーによって生み出された偶力による外乱がHMIに与える影響を検証することができます。試験の際は、ドライバーはRMSの室内に座り、仮想的な風景の中でROboMObilを双方向的に運転します。この複雑な構成のHILシステムでは、ドライバーには室内のプロジェクタから視覚的なフィードバック（バーチャルリアリティ）が提供され、さらにはRMSでシミュレートされた車両の動作も再現されます。

#### 今後の展望：ユーザ研究

DLRでは、ロボットHILを活用することにより、今後さらなるユーザ研究を実施して、新たに開発した制御インターフェースとステアリングホイールやペダルを使用した従来のシステムを比較する予定です。ロボッ

トHILを使用してこのようなHMIコンセプトの科学研究を行うことの大きな利点は、さまざまなHMIハードウェアを手軽に交換できることや、一貫した環境で比較研究ができることにあります。DLRのRobotics and Mechatronics Center (RMC)では、ユーザ研究に加え、さまざまな車両アーキテクチャの個別のニーズに対応できるROboMObil HMIコンセプトのさらなる開発にも取り組んでいます。ここでは、ROboMObilの3つの水平自由度のすべてに対応できる制御インターフェースだけでなく、経路追従制御や隊列走行などの将来的な支援システムで必要となるシンプルなインターフェースの実現も必要となります。このRMC研究プロジェクトによる半自律機能と触覚チャンネルの相互作用に関する研究は、DLR Institute of Transportation Systemsが

DLRプロジェクト「Next Generation Car (NGC)」の中の自律走行分野で行った開発作業でも役立っています。■

Peter Ritzer 氏、Michael Panzirsch 氏、Jonathan Brembeck 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、オーバープファッフェンホーフェン

「設計段階で使用したFMIベースのプロセスを、妥当性確認フェーズでそのまま使用することができます。DymolaのFunctional Mock-up UnitをConfigurationDeskに統合すれば、開発部門がHILシミュレータを使用して物理環境を再現する際の労力を大幅に削減することができます」

Jonathan Brembeck 氏、ドイツ航空宇宙センター (DLR)、オーバープファッフェンホーフェン



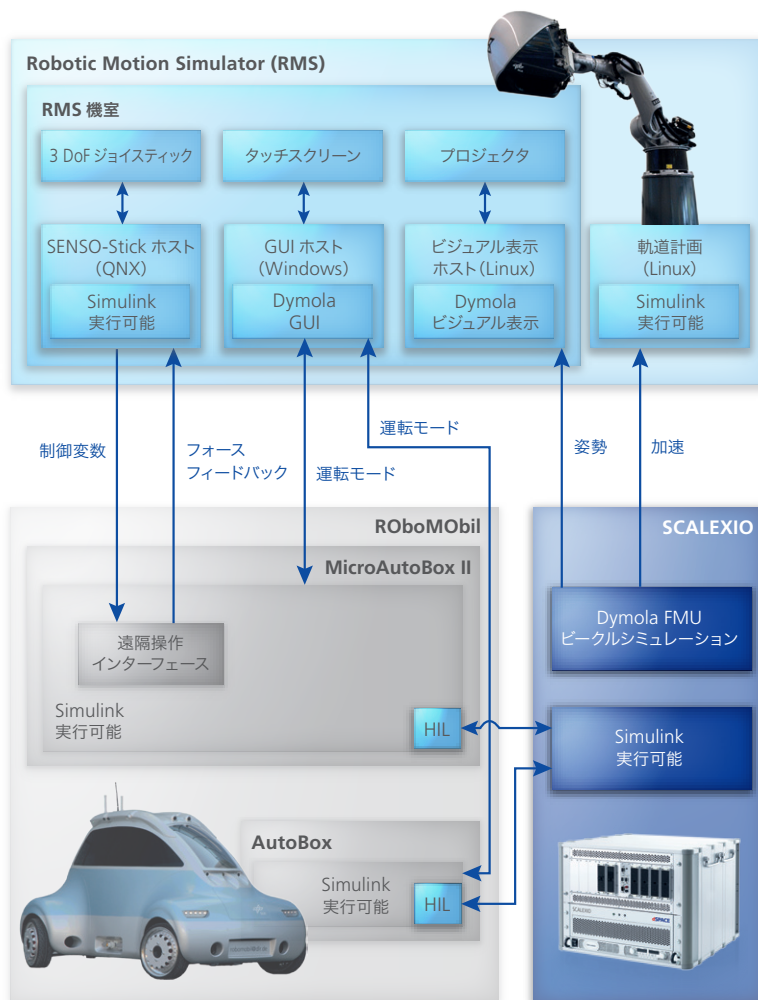


図 4：システムの全体構成：この特別な HIL アプリケーションは、現実的な既知のラボ条件のもとで革新的な HMI コンセプトを検証することを目的に構成されています。

## 謝辞：

モバイル HIL インフラストラクチャの構築に関し、モーションシミュレータの統合および調整を担当された Tobias Bellmann 氏、Andreas Seefried 氏、Miguel Neves 氏 (Robotic Motion Simulator Team)、および 3D ビジュアル表示を担当された Christoph Winter 氏 (ROboMObil Team) のご支援に感謝の意を表します。また、本記事に関してご協力頂いた Tilman Bunte 工学博士にも感謝申し上げます。

ROboMObil の動作については、

下記を参照してください：

[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_DLR](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_DLR)



ROboMObil の詳細情報：

<http://www.dlr.de/rmc/sr/robomobil>

### Peter Ritzer 氏

Institute of System Dynamics and Control, Robotics and Mechatronics Center (RMC) 研究員、DLR (ドイツ、オーバーフリップフェンホーフェン)

### Michael Panzirsch 氏

Institute of Robotics and Mechatronics, Robotics and Mechatronics Center (RMC) 研究員、DLR (ドイツ、オーバーフリップフェンホーフェン)

### Jonathan Brembeck 氏

ROboMObil のプロジェクトマネージャ兼自動車用 Vehicle Systems Dynamics 部門責任者、Institute of System Dynamics and Control (SR)、Robotics and Mechatronics Center (RMC)、DLR (ドイツ、オーバーフリップフェンホーフェン)



Ford 社では、AUTOSAR へ移行する担当者を教育することができ、さらにはソフトウェア業界（特に自動車分野で）の共通した課題であるソフトウェアの納品スケジュールの短縮にも対応できる手法を探していました。その背景には、かつてないほど速いペースで多くのソフトウェアが提供される現在の状況が今後も続くことは明白だという認識がありました。家電業界の製品とは異なり、容易には廃棄できず、極限の環境でも動作することが求められる車両を生産する自動車産業は特異な業界と言えます。ところが、消費者は家電製品と同様のユーザ体験を求めます。自動車産業は、どうすれば厳しい検証要件に対応しつつ、家電製品のような生産ベースを保つことができるのでしょうか。この問題は開発環境に AUTOSAR 規格を単に実装するだけでは解決できません。なぜなら、AUTOSAR ユーザの多くは依然としてコードのテストを開発サイクルのあまりにも遅い段階で行っているからです。人員を追加しても、それらの人員が適切な手法を理解していなければ開発ペースの短縮は期待できません。課題は、新たな人員が効率的に手法を習得できる教育方法を見つけることでした。Ford 社は、dSPACE VEOS® によるシミュレーション環境を活用することで、ハードウェアを入手する前の段階でも開発者がより早期にソフトウェアをテストできる試験環境を AUTOSAR 開発に導入しました。

#### シミュレーションによる作業の迅速化

仮想 ECU を用いたシミュレーションを行うと、これらの目標をさまざまな方法で達成することができます。まず、費用がかかり、リソースに限りのある HIL (Hardware-in-the-Loop) テストを行う前に、機能開発者の PC 上で多くの問題を特定したり除外したりすることができます。この手法では HIL システムを使用しないため、HIL リソースの実用性と投資効率が最大化されます。HIL リソースは、HIL 以外のタスクのために中断されることがなくなり、本来の目的である HIL テストの実行に集中できます。dSPACE の仮想シミュレーションツールでは、機能開発者は適合および計測ツールである ControlDesk® Next Generation を使用しますが、これは HIL チームや適合担当者が使用するものと同じです。したがって、エクスペリメントやレイアウト、設定の開発は機能開発者によ



で最初に行われることになるため、HIL エンジニアはテストの準備をより早期に行えるようになります。モデルベースの設計プロセスでは SIL (Software-in-the-Loop) シミュレーションが行われますが、つまりこれは、未入手の ECU 機能を Simulink の「ソフト ECU」で近似値として模擬する

ことを意味しています。ただし、このような使用方法では誤差が大きくなりがちです。初期の検証段階からリアルタイムオペレーティングシステムおよびその他の下位コンポーネントのソフトウェアをアプリケーション層に統合するのがより良い方法です。さらに、すべての ECU が含まれたシ

>>



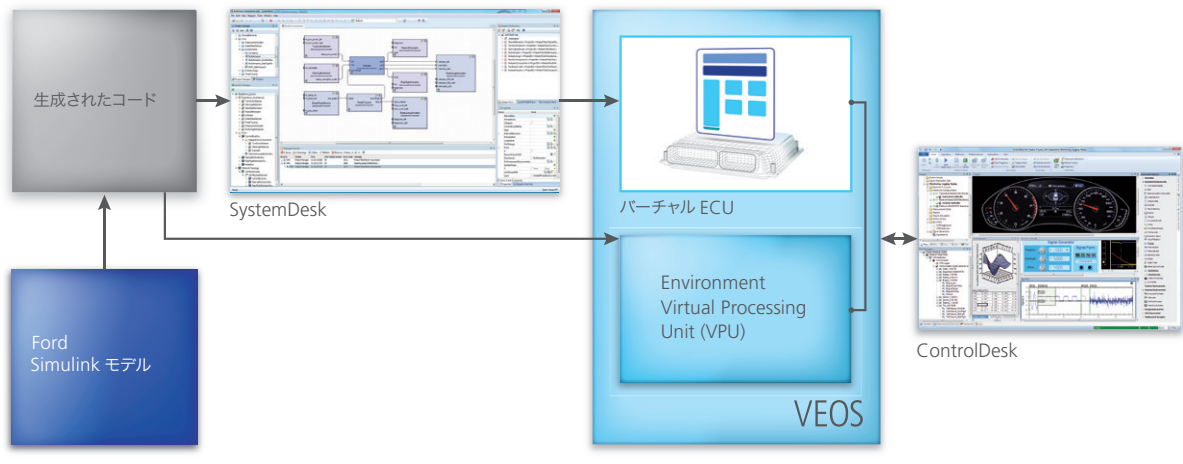
Rapid

VEOS を使用した AUTOSAR シミュレーション

# AUTOSAR Adoption

出典：© Ford

Ford 社では、初めての利用者でも短期間で容易に習熟でき、開発プロセスの迅速化というお客様の要望にも対応できるツールチェーンを必要としていました。dSPACE 仮想検証ツールチェーンを使用することで、これらは両方とも実現されました。



VEOS はボトムアップワークフローを使用して、SystemDesk で生成された AUTOSAR コードをシミュレートします。シミュレーションソフトウェアは、広く使用されている業界標準の適合および計測ツールである ControlDesk で統合されます。

シミュレーションは、必然的に仮想 ECU のブレッドボードとなるため、最良の試験環境と言えます。よって、ハードウェアが入手できないことを理由に、ネットワークを含めたシステムレベルのテストを断念すべきではありません。

#### トップダウン/ボトムアップ

Ford 社の AUTOSAR ワークフロー設計プロセスでは既に数多くのモデルが存在するため、実際にはワークフローを SystemDesk<sup>®</sup> のようなオーサリングツールではなく Simulink のようなビヘイビアモデリングツールから始める場合が多くあります。ただし、新たなアーキテクチャの開発が必要な場合もあり、その場合は SystemDesk<sup>®</sup> を使用するところからワークフローを開始します。常に SystemDesk のオーサリングツールからスタートできれば良いかもしれませんが、Simulink で構築したモデルからワークフローを開始した方が多くの利点があることを Ford 社は理解しています。なぜなら、SystemDesk では、Simulink からインポートされたモデルの設定を自動的に行えるため、手動で設定する場合と比べて時間を大幅に節約できるからです。Simulink モデルのインポート作業は、モデルの構造、データタイ

プ、インターフェースを設定するなど、ソフトウェアの構造を決めるための作業が多いため、これらの情報を Simulink モデルから容易に取得できれば大幅な期間短縮につながります。

#### 柔軟性の高いツールチェーン

多くのソフトウェアツールメーカーと同様に、dSPACE ではツールをさまざまなサブコンポーネントに分割することで、幅広い顧客部門で使用できるようにしており、ユーザは職責に応じて必要なツールを組み合わせることができます。量産開発環境では、各担当者は自身の職責に応じて必要な dSPACE ツールのみ利用すれば十分です。たとえば、チームメンバーの中で SystemDesk を必要とするのがシステム設計者のみである場合、1 人当たりの平均コストを削減することができます。

#### 割り当てが容易

SystemDesk にソフトウェアコンポーネント (SWC) をインポートすると、ソフトウェアコンポーネントの相互接続を表示するコンポジションダイアグラムが直ちに構築されます。SystemDesk では、コンポジションダイアグラムをネットワークを含むシステムに容易にマッピングすることができま

す。システムディスクリプションは AUTOSAR ソフトウェアコンポーネントの ECU ネットワーク上での結合方法を規定します。すべてのソフトウェアコンポーネントを個別の ECU にマッピングすることも、1 つの ECU にマッピングすることも可能です。また、新たな ECU がシステムに追加された場合も、システム設計者は必要な SWC を新たな ECU にマッピングすることができます。再割り当てによって発生する影響については、SystemDesk が自動的に対処します。

#### 自動的に適切なレベルのベーシックソフトウェアを作成

ユーザ、特に AUTOSAR の初心者、SystemDesk の自動化機能を使用することでワークフローを大幅に単純化できるという利点があります。設定と生成の自動化を実行すると、RTE および I/O 向けのベーシックソフトウェア (BSW) コードが作成されます。たとえば、SystemDesk の [New ECU Configuration] ダイアログでは、あらかじめ定義された設定を選択することができます。[Default Single ECU Configuration] を選択すると、SystemDesk によって、シミュレーションに応じて BSW の必要なサブセットが自動

「Ford 社は、VEOS により数か月で社員の研修やソフトウェアの検証を完了できるという成果を達成しました。」

Kurt Osborne 氏、Ford 社

的に生成されます。SystemDesk はアプリケーション層に基づいてカスタム ECU コンフィギュレーションを生成するため、この機能は非常に有効です。Ford 社にとって、SystemDesk によって提供される仮想 ECU アブストラクションレベルや自動設定はとても役立ちました。SystemDesk では、すべてのランナブルを自動的にオペレーティングシステムのタスクにマッピングすることも可能です。これらの機能を活用すれば、初めての利用者でもタスクを単純化することができ、さらには業界標準のスケジューラを利用することで、Simulink モデル内でスケジューラを開発する必要もありません。設定と生成の自動化の手順では、仮想プロセッサユニット (VPU) ポートも作成されるため、仮想 ECU を VPU に接続することも可能です。環境 VPU からポートにアクセスする場合は、I/O Hardware Abstraction Module および Data Access Point Module を ECU コンフィギュレーションに手で追加します。「環境 VPU」は、プラントモデルの名称になります。[Auto Configure and Generate] ボタンを使用すると、SystemDesk 上でシミュレーション用の ECU コードを生成できます。コードが生成されると、VEOS プラットフォームでシミュレーションを行うためのシミュレーションシステムが構築されます。

### VEOS を使用した仮想 ECU のシミュレーション

シミュレーション実行環境もユーザ操作が最小化されています。VEOS (Virtual ECU Offline Simulation) は 2012 年から提供されていますが、あまり目立たない存在かもしれません。しかし、Simulink で記述されたモデルがあれば、VEOS で AUTOSAR ベースの C で記述されたアプリケーションを SIL シミュレーションすることができます。VEOS では機能の向上が図られ、AUTOSAR スタックの残りの部分 (つまり BSW および RTE) を使用して、完全に統合されたアプリケーション層をシミュレートできるようになっています。Ford 社は、統合ソリューションを実現する VEOS を使用することで、開発サイクルの早期の段階で問題を検出できるようにしています。VEOS では、シミュレーションや Universal Calibration Protocol (XCP)、バス通信に対してシミュレーシ

ョンログファイルが作成され、コントローラエリアネットワーク (CAN) バスの読み込み時にはフィードバックが行われます。CAN バスの追跡情報は、読み込み動作の特定ののためにユーザが解析したり、別のツールにエクスポートしたりできます。このプロジェクトのフィードバックに基づき、今後のソフトウェアリリースでは ControlDesk の Bus Navigator が統合される予定です。

### さらなる自動化の実現

Ford 社がプロジェクトで得た成果は、自動化されたモデルベースのワークフローを使用することで初めての AUTOSAR 利用者をサポートできるようになったことでした。MathWorks 社は、シュトゥットガルトにおける MAC 2015 のプレゼンテーションで AUTOSAR ワークフローの自動化の重要性を示しました。この AUTOSAR に関するプレゼンテーションでは、9 つの推奨事項が強調されました。その 1 つは「さらなる自動化の実現」です。Ford 社では、ワークフローを利用ツールごとに 2 つに分割し、それぞれを自動化しています。Simulink 部分は MATLAB の M スクリプトを使用して自動化され、dSPACE ツールのワークフローは Python スクリプトにより自動化されています。

### 次のステップ

Ford 社は dSPACE と協力して優秀な開発チームを立ち上げ、仮想 ECU によるシミュレーション環境を確立することで、AUTOSAR の迅速な導入とソフトウェア

## 仮想検証を行う理由

- この手法では HIL システムを使用しないため、HIL リソースの実用性と投資効率を最大化できます。
- SystemDesk では、Simulink にインポートされたモデルに合わせて自動的にすべてをセットアップすることができるため、手動で設定する場合と比べて時間を大幅に節約でき、さらには再割り当てによるいかなる影響も自動的に処理することができます。
- 検証を仮想化することにより、ソフトウェアの市場投入期間を短縮することができます。

の市場投入期間の短縮を実現することができました。さらには、数か月で担当者の研修やソフトウェアの検証を完了できるという成果を達成しました。この成功により、Ford 社は AUTOSAR での取り組みを迅速に拡大する予定です。自社のプロジェクトへの VEOS の適用に関心を持つ同業他社からは、すでに問い合わせが寄せられています。 ■

Kurt Osborne 氏、  
Dalya Kozman 氏、  
Ford 社

#### Kurt Osborne 氏

モデルベース設計およびソフトウェアアーキテクチャのエキスパート、Research and Advanced Engineering 部門、Ford 社 (米国ミシガン州ディアボーン)



#### Dalya Kozman 氏

モデルベース設計およびソフトウェアアーキテクチャの研究エンジニア、Research and Advanced Engineering 部門、Ford 社 (米国ミシガン州ディアボーン)







柔軟な機能テスト

# Desktop Simulator

新しい機能やコントローラをすばやくテストするには、小型で調整可能なカスタム HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータが理想的です。最新の dSPACE SCALEXIO LabBox は、まさにそのためのシミュレータです。

# 新

機能の開発において、新しいアイデアを早期の段階ですばやくチェックすることは非常に重要です。SCALEXIO® LabBox のデスクトップバージョンを使用すると、開発者は自身のデスクトップ上で HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションを直接実行できます。

## SCALEXIO LabBox

45 x 35 x 18 cm というコンパクトな SCALEXIO LabBox に必要なスペースは、DIN A3 サイズ (米国のレジャーサイズと同等) の紙と同じです。この小型の筐体には、さまざまな要件に合わせて、最大 18 枚の SCALEXIO I/O ボードを挿入できます。これらの I/O ボードはすべて、より大規模な SCALEXIO HIL システムでも使用できるようになっているため、SCALEXIO LabBox と別の SCALEXIO HIL システムとの間でボードを容易に交換することができます。SCALEXIO I/O ボードは、大規模な SCALEXIO システムでも MultiCompact I/O ユニットや HighFlex ボードといった SCALEXIO ボードと同じように使用できます。SCALEXIO LabBox は、以下のボードを搭載しています。

- DS6101 Multi-I/O Board。HIL シミュレーション用の多数の I/O 機能が備えられており、一般的な自動車信号を生成および計測する場合に使用します。
- DS6201 Digital I/O Board。多数のデジタル I/O チャンネルが備えられており、そのすべてを入力または出力チャンネルとして設定できます。使用可能な I/O ファンクションには、デジタル、PWM、および PFM などがあります。
- 新しい DS6301 CAN/LIN Board。CAN/CAN FD および LIN バスプロトコルをサポートしています。
- DS2655 FPGA Base Board および I/O モジュール (DS2655M1 Multi-I/O Module および DS2655M2 Digital I/O Module)。ユーザによるプログラミングが可能な FPGA が備えられており、高速かつ高分解能の信号処理が必要なアプリケーション向けに設計されています。

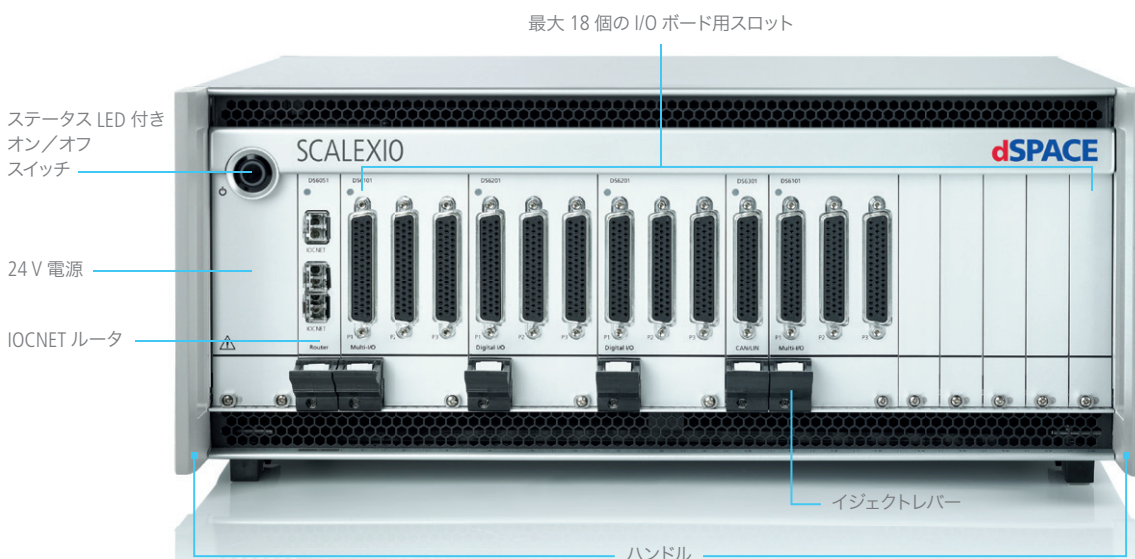
計算能力を向上させたい場合、SCALEXIO LabBox を IOCNET ケーブルや IOCNET ルーター経由で SCALEXIO プロセッサユニットに接続することができます。複数の SCALEXIO LabBox を 1 つの SCALEXIO

プロセッサユニットに接続することも可能です。つまり、必要に応じてプロジェクトの要件に SCALEXIO LabBox システムを適合させることができます。このように組み合わせることにより、非常に柔軟かつ強力なシステムを実現し、開発の初期の段階から幅広い機能を HIL シミュレーションでテストすることが可能になります。SCALEXIO プロセッサユニットに備えられた Ethernet コネクタを使用すれば、Ethernet デバイスや Ethernet ネットワークに接続することもできます。

## CAN および LIN 用の新しいボード

DS6301 CAN/LIN Board は、SCALEXIO HIL シミュレータ向けの最新の I/O ボードであり、4 個の CAN/CAN FD チャンネル (ISO および非 ISO CAN FD) と、4 個の LIN チャンネルを備えています。チャンネルの密度が高いため、各バスチャンネルのコストは低くなります。各チャンネルは、Real-Time Interface MultiMessage Blockset または Bus Manager で設定することができます。Bus Manager を ConfigurationDesk® で使用すれば、チャンネルをグラフィカルに設定することも可能です。

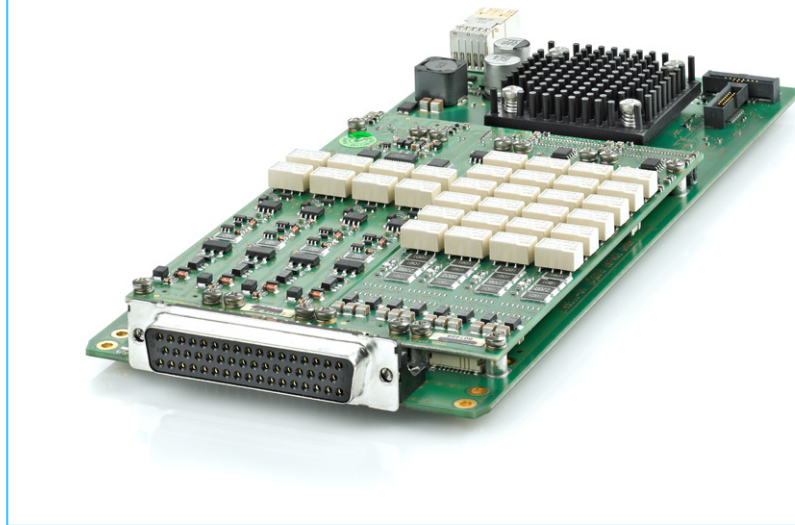
新しい SCALEXIO LabBox を使用すると、開発の早期の段階で容易に機能テストを行えます。





### 標準化されたボードで柔軟に対応

SCALEXIO LabBox のすべてのボードは、特別な調整を行うことなく一般的な自動車機能に使用できます。すべてのボードには、電子制御ユニット (ECU) との接続用の標準化された 50 ピン D-Sub コネクタが備えられており、ピン配置は 20 個までの差動チャンネル向けと 32 個までのシングルエンド信号向けの 2 種類です。ボードのコネクタは標準化されているため、さまざまなボードの異なるコネクタで接続を行うよりも配線が容易になります。また、ボードにはシグナルコンディショニングが既に統合されているため、機能テストも迅速に実行できます。電気的エラーシミュレーションが含まれるテストシナリオの場合は、必要に応じて、I/O ボードを必要なコンポーネントを備えた SCALEXIO システムに差し替えることができます。この際、複数のスロットが必要なボードもあるため、ボードの最大数はプロジェクトによって異なります。新しいアイデアをすぐにテストしたい場合はボードを容易に交換でき、機能を変更する場合でもシステムの調整は柔軟に行えます。また、ConfigurationDesk を使用してチャンネルの設定をグラフィカルに行ったり、ControlDesk® を使用してシミュレ-



DS6301 CAN/LIN Board により、開発者は CAN、CAN FD、および LIN 通信を使用することができます。

シヨンの制御を行うこともできます。既存の ConfigurationDesk の設定や他のプロジェクトで使用した ControlDesk レイアウトも、大規模な SCALEXIO システムにシームレスに移行することができるため、欠陥シミュレーションなどのテストを引き続き行うことができます。■

## 2 種類の LabBox バージョン

SCALEXIO LabBox には、2 種類のバージョンがあります。



デスクトップバージョンに SCALEXIO プロセッサユニットを接続して使用すると、開発者は自身のデスクトップ上で早期に HIL テストを実行することが可能です。



ラックマウントバージョンは 19 インチシステムに搭載可能であり、主にプロジェクト固有の HIL システムで使用します。



# Rising to Multisensor Challenges

ADAS および自動運転を実現するための  
優れたツールチェーン

dSPACE および Intempora 社は、先進運転支援システムや高度に自動化された運転機能を開発するための優れたツールチェーンの提供に向けてパートナーシップを締結しました。dSPACE では、この合意に沿って、Intempora 社の画期的なマルチセンサアプリケーション用ソフトウェア環境である RTMaps をグローバルかつ独占的に供給する予定です。

**マ** ルチセンサアプリケーションは、先進運転支援システム、自動運転、マルチモーダルヒューマンマシンインターフェース、ロボット産業、航空宇宙産業など、数多くの分野で非常に重要な役割を果たしています。一般に、ラボや車載環境でこうした種類のアプリケーションを開発するには、カメラ、レーザースキャナ、レーダーセンサ、あるいは GNSS 受信機などのさまざまなセンサからリアルタイムでデータを取得、同期化、および処

理し、CAN、LIN、Ethernetなどの通信ネットワークとのインターフェース経由でそれらをやり取りする必要があります。また、テストおよび開発フェーズでは、データを時間と同期した形で記録、ビジュアル表示、および再生できることも不可欠です。Intempora 社 ([www.intempora.com](http://www.intempora.com)) の RTMaps (Real-Time Multisensor applications) は、特にこれらの使用例を念頭に設計されています。RTMaps は、Microsoft Windows® および Linux など

のオペレーティングシステムをサポートする x86 および ARM ベースのプラットフォームにモジュール型の開発およびランタイム環境を提供します。

## dSPACE ツールチェーンに RTMaps をシームレスに統合

dSPACE は、RTMaps を総合的な dSPACE ツールチェーンに強固に組み込んでおり、特に dSPACE の PC ベースシミュレーションプラットフォーム VEOS® ま



「ECUソフトウェアの開発におけるデファクトスタンダードである総合的な dSPACE ツールチェーンに RTMaps を統合すれば、完璧な組み合わせになります。当社は、業界大手である dSPACE との提携を誇らしく思っており、dSPACE の世界的な認知度と供給能力を活用できれば、非常に革新的な製品である RTMaps を自動車分野においてさらに発展させることが可能になります」

Nicolas du Lac 氏, Managing Director, Intempora 社

たは dSPACE リアルタイムシステムとの間で低レイテンシの双方向通信と時刻同期を行えるよう設計されたインターフェースブロックセットを提供しています。また、試験およびビジュアル表示ソフトウェアである dSPACE ControlDesk® Next Generation から ASAM XIL API 経由で RTMaps に接続できるようにすることにより、RTMaps で実装および処理されたコンポーネントの監視やパラメータ化を実現します。

#### RTMaps の概要

Intempora 社の RTMaps (図 1 および図 2) はソフトウェアの開発および実行をコンポーネントベースで行える環境です。RTMaps を使用することにより、さまざまなセンサや車載バスから受信したデータにタイムスタンプを付けたり、データを記録、同期、および再生したりすることができます。ブロック線図の利用や、専用ソフトウェア開発キットによるユーザ独自の C++ または Python コードの統合も可能

な RTMaps を活用すると、信号処理、コンピュータビジョン、データ融合などの高度な機能をマルチセンサアプリケーションのコンテキストに基づいて統合、テスト、ベンチマーク評価できる強力な環境が実現します。また、車載センサ、車載バス、ビジュアル表示機能、データ通信、およびプリプロセス処理などのさまざまなコンポーネントに対応した総合的なコンポーネントライブラリも提供されているため、機能開発を容易に行うことができます。RTMaps

>>

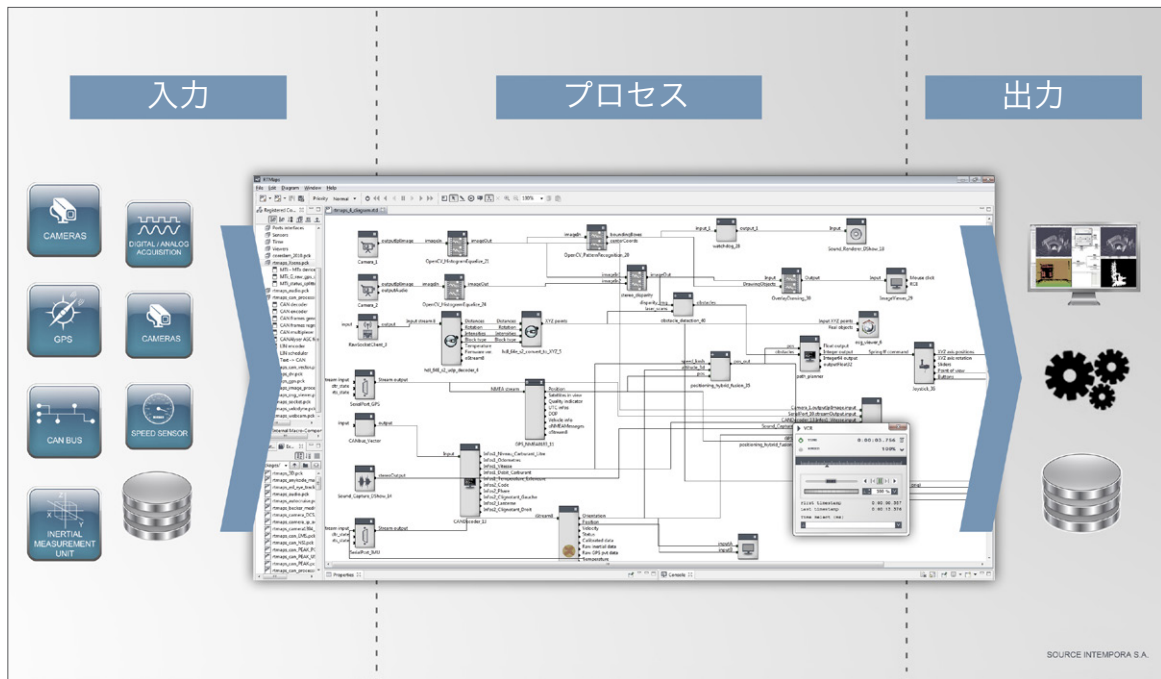


図1: RTMaps (Real-Time Multisensor applications) の作業手法: カメラ、レーザースキャナ、レーダーセンサなどのさまざまなソースから送信されたデータを取得し、正確なタイムスタンプ付きで処理した後、リアルタイムでビジュアル表示します。すべてのデータは、時間の相関とともに記録されるため、データを再生しながら同期的にオフライン開発を行うことができます。

は、ADAS および自動運転といった適用分野に加え、とりわけモバイルロボットや先進的なヒューマンマシンインターフェースにも拡張できます。RTMaps のための強力なソフトウェアアーキテクチャの開発は、名門校のパリ国立高等鉱業学校 (École des Mines de Paris) で 1998 年に開始されました。

#### Intempora について

Intempora 社は、École des Mines de Paris のロボット工学センター (現在の

Mines ParisTech) で行われた研究に基づいて、2000 年に設立されました。それ以来、同社のソフトウェアエンジニアチームは、RTMaps および関連製品の開発に取り組み、それらを堅牢で使いやすいソフトウェアフレームワークへと変化させると同時に、要求の厳しい業界のニーズを満たしてきました。Intempora 社は、先進運転支援システムの分野を専門とするフランスの Mov'eo クラスタメンバーで構成されるチーム「Groupement ADAS」の会員です。

#### まとめ

dSPACE と Intempora 社は、ADAS および自動運転のための優れたツールチェーンを確立するため、戦略的パートナーシップを締結しました。dSPACE では、この合意に沿って、プロトタイプングプラットフォーム、シミュレーションプラットフォーム、および ControlDesk 向けの専用インターフェースを開発し、Intempora 社の画期的なマルチセンサアプリケーション用ソフトウェア環境である RTMaps を dSPACE ツールチェーンに統



「ADAS および自動運転を実現するための完全なツールチェーンを提供するという Intempora 社の戦略において、dSPACE とパートナーシップを結んだことは極めて重要なマイルストーンとなります。マルチコア x86 および ARM プラットフォーム上での優れた性能と使いやすい操作を実現した RTMaps を活用すれば、当社の製品ポートフォリオを理想的に拡張することができます」

André Rolfmeier 氏、Lead Product Manager for Advanced Applications and Technologies, dSPACE GmbH

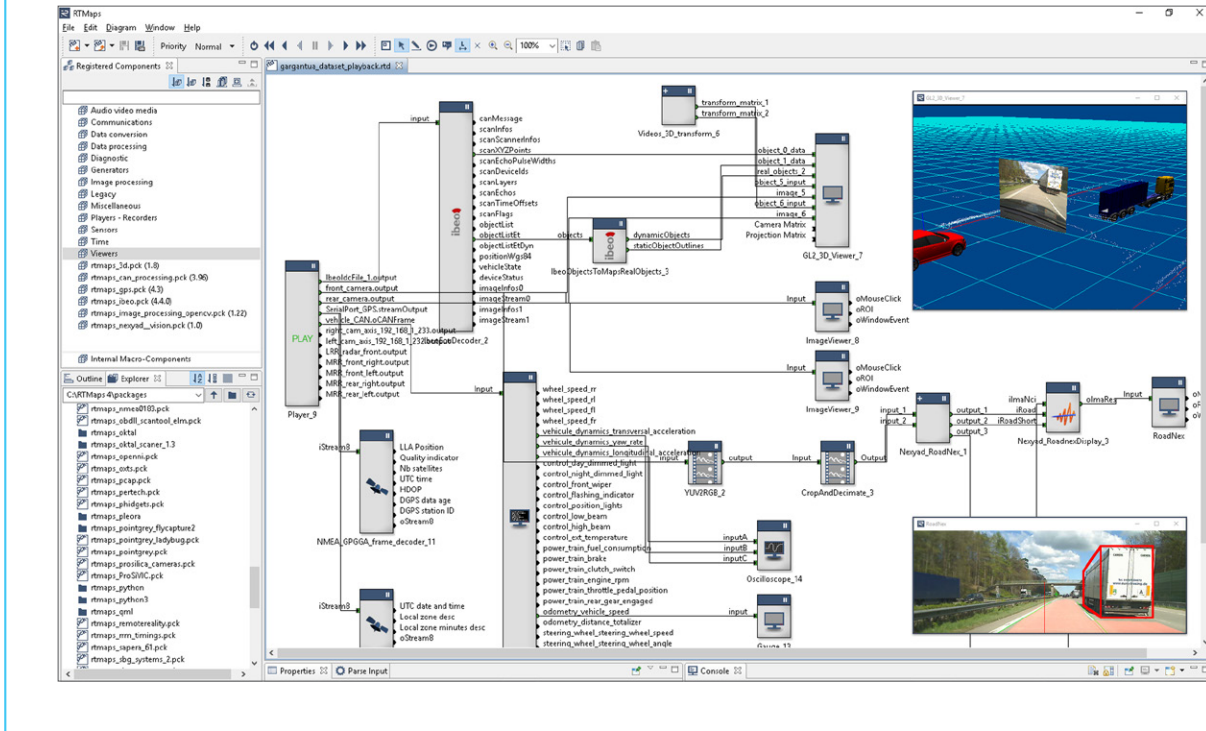


図2：RTMapsのユーザーインターフェース：リアルタイムマルチセンサアプリケーションに適したモジュール型のマルチスレッドフレームワーク。これにより、幅広い範囲のセンサ、バス、および知覚アルゴリズム用の総合的なコンポーネントライブラリを利用できます。また、異種のデータストリーム間の時間的な整合性と同期性を保ちつつ、データを複数の分散プラットフォームで処理することも可能です。

合しました。さらに、その後のプランも次々と計画されています。Intempora社が拠点とするフランスを除き、dSPACEはグローバルかつ独占的にRTMapsを供給する予定です。■

RTMapsの動作に関する動画は、下記をご覧ください。  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_RTMaps](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_RTMaps)



RTMapsの詳細については、下記をご覧ください。  
[www.dspace.com/RTMaps](http://www.dspace.com/RTMaps)

## サポートされるセンサ、バス、プロトコルの概要

- カメラ (Point Grey、IDS、Basler、AVT、NITなどの各社製のGigE Vision、USB 2.0、USB 3.0、FireWire、アナログ、Camera Link、HDRなど)
- ステレオビジョンヘッド
- レーザースキャナ (Ibeo、Velodyne、SICK、Hokuyo、Quanergyなど)
- レーダー (Delphi、Autocruise、Continentalなど)
- 飛行時間センサ (LeddarTech)
- CAN、LIN (PEAK、Vector、NI、.dbcファイルデコーダなど)
- GPS、IMU (SBG Systems、OxTS、Xsens、VectorNav、iXSea、Phidgetsなど)
- 通信 (TCP & UDP、ASAM XCP over Ethernet、DDS、ASAM XIL APIなど)
- 視線追跡装置 (Peritech、faceLAB、Smart Eye、SML、The Eye Tribeなど) およびバイオメトリクス (BIOPAC、Becker Meditecなど)
- モーションキャプチャ (Kinect、Xtion、Viconなど)
- dSPACE MicroAutoBox および AutoBoxのI/Oおよびバス信号へのアクセス
- …その他多数



SCALEXIO の 5 年 – 過去の考察と今後の展望

# HIL



# Revisited Simulation

SCALEXIO は、2011 年に新しい dSPACE HIL (Hardware-in-the-Loop) システムとして導入されました。dSPACE の HIL テストシステム担当者である Tino Schulze が、これまでの開発と今後の計画について説明します。



5年前に SCALEXIO® を発表したとき、dSPACE はどのようなことを予想していましたか。また、その予想は現実のものとなりましたか。

当社が予想していたのは、たとえば新しい車載バスシステム、Electric Drive の使用の増加、新しいモーター機能、高度な運転支援システム、自律運転向けの機能などでしたが、SCALEXIO は、そのような現在と将来の開発における課題のソリューションとなる強力なテクノロジーを搭載していましたし、SCALEXIO ベースの HIL システムを使用することで、これらのシステム要件のすべてに対応することが可能でした。さらに、当社は、業界のトレンドがより大規模かつ複雑なシミュレーションモデルへと向かうと認識しており、拡張性に優れた高度な計算能力を持つ SCALEXIO プロセッサユニットを ConfigurationDesk® ソフトウェアで容易に設定できるようにしていました。このような点から、当社の予想は的中していました。

SCALEXIO は、どのような分野の用途に使用できるのですか。

当社では、コンポーネントのテスト用の小規模なシステムから、E/E システム全体を検証するための大規模なネットワーク構成まで、すべての分野の用途に対応したシステムとして SCALEXIO が評価されて

いると考えています。これは、市場の反応を5年間にわたって確認しているから言えることです。当社のお客様が新しいセットアップを行う際、通常は SCALEXIO を使用します。なぜなら、SCALEXIO であればプロジェクトの要件を容易に満たすことができるためです。たとえば、我々は SCALEXIO のデータベースとして、IOCNET を使用しており、これは分散型の I/O チャンネルを1つのリアルタイム PC でコントロールすることができます。これにより、これまでになかった新たな可能性を秘めた HIL 構成を実現できます。

市場における競合製品と SCALEXIO との違いは何ですか。

SCALEXIO は、自動車関連要件を幅広くサポートしていることが特長です。SCALEXIO では、純粋なバステストから Electric Drive のテスト向けの高度な特別構成に至るまでアプリケーション全体を単一のシステムで提供することができます。これが SCALEXIO の強みです。また、当社はチャンネル単位で欠陥をシミュレートできる I/O ボードも提供しており、設定ソフトウェアである ConfigurationDesk を使用すれば、電気的欠陥を安全かつ容易に設定することができます。さらに、柔軟な I/O チャンネルを使用して SCALEXIO HIL シミュレータを容易に調整することも

可能であり、特にコンポーネントテスト向けなど、さまざまなプロジェクトに対応することができます。ConfigurationDesk を使用すると、MATLAB®/Simulink® との接続だけでなく、Functional Mock-up Unit (FMU) などのその他のモデル形式の統合も容易に行えるようになります。これにより、お客様は将来的な要件にも柔軟に対応できるようになります。

SCALEXIO は、HIL シミュレーションにおいてどのような点で画期的なのですか。

SCALEXIO システムは、チャンネルと機能の面で柔軟性に優れています。システムの設定はソフトウェアのみで行うため、システム設定の変更時にハードウェア変更はほとんど不要です。さらに、dSPACE では、新しくより強力なバリエーションを提供することで、SCALEXIO プロセッサユニットの定期的な更新を行っています。優れた柔軟性、高度な計算処理能力、変更の容易さを備えた SCALEXIO を使用すれば、どのような将来的な課題にも対応することができます。

dSPACE は、お客様の SCALEXIO への移行をどのようにサポートしていますか。

当社は、SCALEXIO 向けの dSPACE シミュレータで使用されるテストおよび試験用ソフトウェアを提供しており、お客

SCALEXIO の独自のテクノロジーを使用すると、メカトロニクスコンポーネントのテストにおける現在と将来の課題に対応することができます。





## SCALEXIO の概要

- HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータ
- 高度な計算処理能力を持つプロセッサユニットとしての産業用 PC
- 柔軟性に優れた総合的な I/O ファンクション
- シグナルコンディショニングと欠陥シミュレーションを統合
- すべての機能をソフトウェアにより設定可能
- Simulink® または Functional Mock-up Interface によるモデルの統合
- バーチャル ECU のサポート
- バスシミュレーションの総合的なサポート
- Electric Drive のシミュレーションで使用する電子負荷の接続

dSPACE では、ソフトウェア、ハードウェア、プロセス統合、およびお客様の現地でのサポートを通じて HIL テスト向けのワンストップソリューションを提供しています。

様が SCALEXIO への移行を容易に開始できるようにしています。お客様は、ControlDesk®、AutomationDesk、MotionDesk、ModelDesk、ASM などの既存のソフトウェアをわずかな変更を行うだけで引き続き使用することができます。SCALEXIO は、サードパーティ製の一般的なテストオートメーションツールやモデリングツールもサポートしています。そのため、dSPACE では、Functional Mock-up Interface (FMI) や XIL API などの業界標準規格に基づいて作成され、大部分が標準化された接続手段を提供しています。これにより、既存のソフトウェアを容易に使用することができます。また、リアルタイム接続を用いて、SCALEXIO と dSPACE シミュレータを組み合わせることも可能です。もちろん、新しいシステムを導入するお客様に対しては、世界中の経験豊富な dSPACE エンジニアリングチームがさまざまなサポートを展開しており、ターンキープロジェクトや現地でのサポート、トレーニングなどを提供しています。

**特に強調したい特別なプロジェクトはありますか。**

はい。特に航空分野です。たとえば、当社では以前、チャンネルが 1,500 を超える航空プロジェクトを担当しました。これは特殊な条件ではありますが、航空業界では珍しくありません。また、Daimler 社の

事例では、SCALEXIO をテストコースでも使用しました。SCALEXIO はソフトウェアで設定でき、ハードウェアを変更せずにシステムを簡単に調整できるためです。もう 1 つの興味深い分野は研究プロジェクトです。私たちは、アーヘン工科大学と共同で、エンジン用のテストベンチでの最適な SCALEXIO の使用方法を分析する国際的なプロジェクトを進めています。このシナリオでは、エンジンを除いた車両のシミュレーションを行っています。

**将来は、どのような開発を予定していますか。**

今年中に、よりコンパクトな SCALEXIO LabBox を発表する予定です。SCALEXIO LabBox は、いわばデスクトップシミュレータとして、SCALEXIO プロセッサユニットと組み合わせてデスクトップ上で使用できます。また、より大きなシステム構成に取り付けることも可能です。バスシミュレーションに関しては、バスシミュレーションを一元的に設定できるソフトウェアプログラムである Bus Manager を提供する予定です。また、より多くのバスシステムをサポートするボードも新たに提供します。まだ、数多くのアイデアがあるのですが、お客様と緊密に調整して実現していきます。

**インタビューにご協力いただき、ありがとうございました。**

Tino Schulze

HIL ツールチェーン全体の責任者兼  
リードプロダクトマネージャ、Hardware-in-the-Loop Testing Systems 部門、  
dSPACE GmbH (ドイツ、パダーボルン)



# Easy Virtualization of Power Electronics

リアルタイムアプリケーションを  
回路図から作成

開発中のパワーエレクトロニクス向けコントローラの HIL テストを早期の段階で現実に即して実施したいとお考えですか。このような回路が複雑かつ固有の構造を持つ場合でも、カスタマイズしたシミュレーションモデルを簡単な操作で作成できるようになりました。この新たなテクノロジーの開発において重要な役割を果たした Frank Puschmann が、その仕組みを解説します。

dSPACE は、広範な分野のさまざまな用途向けにシミュレーションソリューションを提供しています。dSPACE はモーターとパワーエレクトロニクスのシミュレーションにどのように関わっていますか。

dSPACE は、20 年以上にわたって、モーターとパワーエレクトロニクスのシミュレーション向けに HIL (Hardware-in-the-Loop) ソリューションを提供しています。当社の多くのお客様は、既にさまざまな HIL システムを使用して大きな成功を収めています。当社では、異なる要件に対応するため、シミュレーション向けのソリューションとしてプロセッサベースのプラットフォームと 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を用意しています。また、両方のプラットフォームですぐに使用できるシミュレーションモデルを備えた総合的なライブラリも提供しているため、車両の補助装置から電気自動車のトラクション用トランスミッション、さらには産業用発電機や再生式発電機のマルチポイントインバータに至るまで、極めて多様な用途への対応が可能です。分析ツールも多数用意されており、完全なポートフォリオが形成されています。さらに、現在では、プロセッサベースか FPGA ベースかを問わず、回路図から直接リアルタイムアプリケーションを生成することもできます。これは、モデルライブ

ラリに基づく既存のソリューションの代替手段となります。

dSPACE はなぜこのような新しいソリューションを提供しているのですか。

dSPACE ではこれまで、既知の確立されたトポロジや構造に対応する既成のソリューションをお客様に提供してきました。たとえば、3 相までの誘導モーターに対応した B6 ブリッジ向けのライブラリエレメントなどです。お客様の要望が独自なものである場合や、DC/DC コンバータなど要件が特殊な場合は、エンジニアリングソリューションによって対応していました。しかし、当社は、多くの事例で要件の複雑化や個別化がますます進行していることに気づきました。たとえば、電気自動車やハイブリッドカーの電気系統では、さまざまな電圧レベルが使用されています。また、再生可能エネルギーやスマートグリッドの分野でもパワーエレクトロニクスシステムの HIL シミュレーションに対する需要が増加しています。特にこれらのシステムでは、本質的に構成が多様となるため、既製のライブラリエレメントに基づくシミュレーションが役立つとは考えられません。エンジニアリングモデルを個別に作成する場合は、しばしば多くの付随作業が発生しますが、当社の新しいソリューションを使用すれば、回路のトポロジ内から

>>

Electrical Power Systems Simulation Package を使用すると、回路トポロジから直接シミュレーションモデルを作成できます。



当社の製品は、自動車産業向けの他に、風力発電、太陽光発電、および電力網シミュレーションなどの産業分野向けにも使用されています。

直接シミュレーションモデルを作成することができます。

そのようなソリューションはいつ提供されるのですか。

プロセッサベースのソリューションは既に提供されています。それに加え、2016年の初めにはFPGAベースのソリューションが提供されました。これらはいずれも、dSPACE Electrical Power Systems Simulation Packageで利用できます。

**Electrical Power Systems Simulation Packageは、どの開発環境と互換性がありますか。**

Electrical Power Systems Simulation Packageでは、さまざまな開発ツールや回路構成ツール向けの回路モデルをリアルタイムで生成できます。そのため、当社は常にお客様の要望に沿ったワークフローを提供することができます。現在は、お客様の需要が多いSimPowerSystems™に注力しています。SimPowerSystems™は、Electrical Power Systems Simulation Package向けの最適な環境となっています。

**パッケージやソリューションを組み合わせ提供することは可能ですか。**

はい。Electrical Power Systems Simulation Packageは、既存のモデルライブラリであるXSG Electric ComponentsやASM Electric Componentsと組み合わせ使用できます。たとえば、お客様が回路のいくつかの部分だけをシミュレー

ション環境に統合しようとしても、当社のモデルライブラリではそれらの部分に対応できない場合、ベーシックコンポーネントからそれらを作成することができます。その後、プロセッサベースまたはFPGAベースのプラットフォーム上でアプリケーション全体を生成してシミュレートすることができます。dSPACEマルチプロセッサテクノロジーの決定的な利点は、お客様が大規模な分散システム上でプロセッサベースのアプリケーションを使用できるという点です。アプリケーションの要件が高度に動的である場合は、FPGAでシミュレートする必要のあるモデル部分を非常に小さいステップサイズで社外に委託することも可能です。

**お客様にとってのメリットは何ですか。また、このパッケージはどのようなお客様を対象としていますか。**

お客様には、短期間のうちにわずかな労力で独自のモデルを作成し、使用できるというメリットがあります。また、さまざまなモデルライブラリやツールを組み合わせ使用し、拡張を継続的に行うこともできるため、常に最適なソリューションを実現することができます。新しいパッケージの対象となるのは、当社の主要な適用分野である自動車エンジニアリングです。もちろん、当社は最新のトレンドも常時確認しており、風力発電、太陽光発電、電力網ソリューションなど、Electric Driveへの移行が進んでいる分野に注目しています。この分野で使用されているテクノロジーは他の

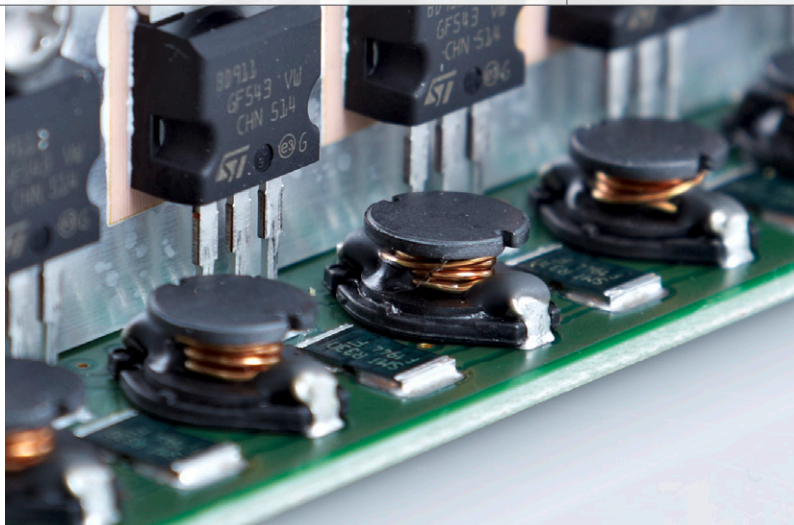
産業分野で使用されているものと非常に似ているため、お客様はわずかな調整のみでパッケージをご利用いただけます。

**プラットフォームやライブラリを今後どのように拡張する予定ですか。**

当社は、DS2655 FPGA Base Boardを拡張中です。また、2016年中頃にはSCALEXIO EMHソリューション(EMH = Electric Motor HIL)を発表します。EMHソリューションを新しいSCALEXIOリアルタイムPCと組み合わせれば、当社のプロセッサベースアプリケーションの処理能力がさらに向上します。モーターモデリングの分野では、多相駆動装置への需要が高まっており、非線形効果も注目されるようになってきています。そのため、当社では現在、汎用モーターモデルの開発に取り組んでいます。このモデルでは、通常の特徴だけでなく有限要素法(FEM)で特定されるデータも使用しながらパラメータ化を行います。現実的な電氣的欠陥シミュレーションの機能的拡張も計画中です。

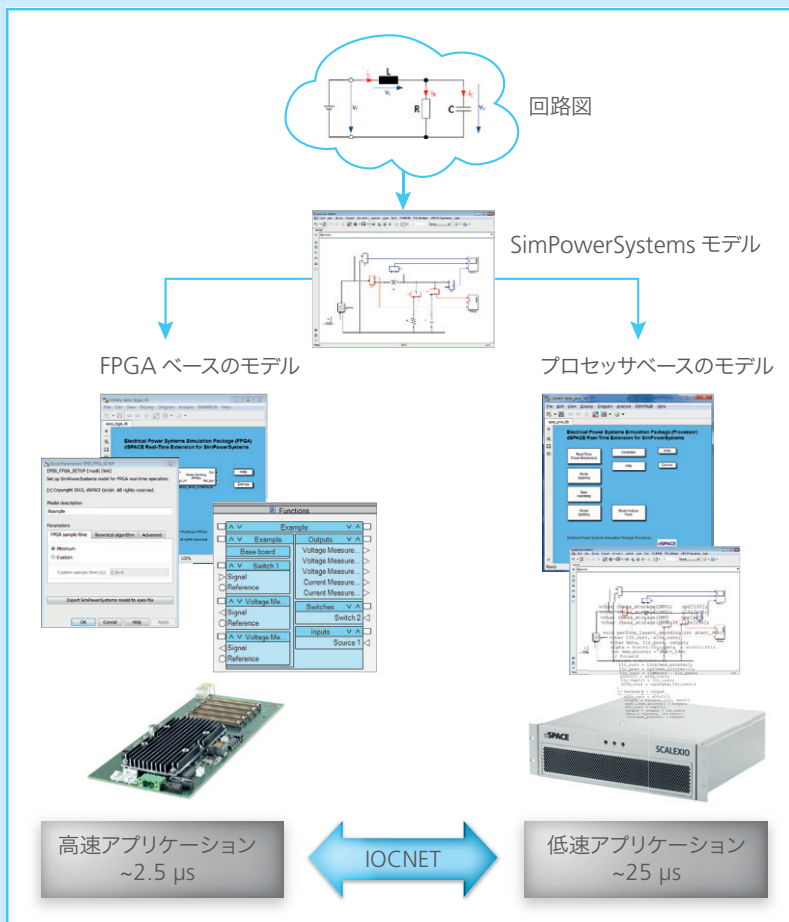
**インタビューにご協力いただき、ありがとうございました。**

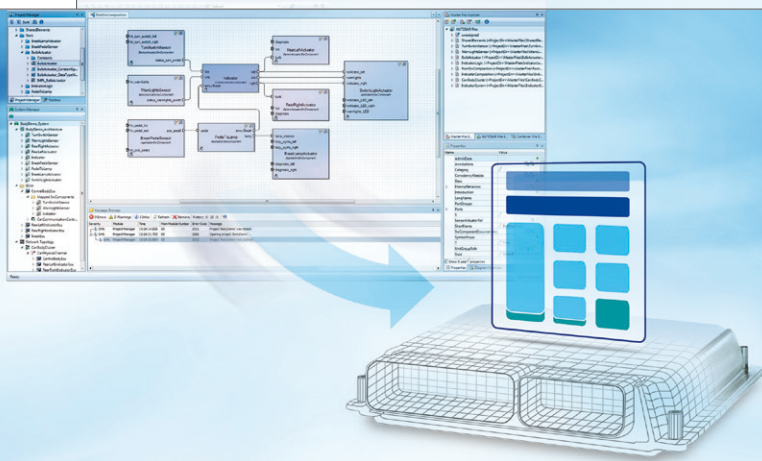
Frank Puschmann  
シニアアプリケーションエンジニア、  
E-Drive HILグループ、Application  
Engineering部門、dSPACE GmbH



## Electrical Power Systems Simulation Package

新しい Electrical Power Systems Simulation Package は、回路からの情報に基づいてリアルタイムシミュレーションモデルを生成します。SimPowerSystems™ と組み合わせれば、電気システムのテストに最適な開発環境を構築することができます。そのため、dSPACE Power RealTime Library に搭載済みのパワーエレクトロニクスブリッジ回路向けのモデル分割と平均値モデルに加え、FPGA ベースでモデルの計算処理を行うことも可能になります。このパッケージには既製の FPGA アプリケーションが含まれているため、アプリケーションごとに FPGA をプログラミングすることなく、独自の SimPowerSystems モデルを統合することができます。つまり、Power RealTime Library の機能を新しい FPGA ベースの手法で使用できるようになります。これにより、それぞれのレイテンシ要件に合わせて、各モデル部分をネットワーク化されたシステム上の最適リアルタイムプラットフォームで計算処理することが可能です。また、回路情報がリアルタイムでコードに自動変換されるため、エンジニアリングにかかる時間が短縮されます。特に FPGA ベースのソリューションを使用する場合には、非常に正確で現実的なシミュレーション結果が得られます。この汎用ソリューションは特に、必要なトポロジのシミュレーションを dSPACE 標準ライブラリ (XSG Electric Components および ASM Electric Components) では行えない場合に最適です。Electrical Power Systems Simulation Package は、車載補助装置、電気自動車のトラクション装置、および再生式発電機の電気的エネルギー変換などの用途にも使用できます。





## SystemDesk 4.5 において V-ECU 生成時のサポートが拡張

dSPACE SystemDesk のバージョン 4.5 では、仮想電子制御ユニット (V-ECU) の作成時のサポートが拡張されています。V-ECU を使用すると、実際の ECU を入手する前の段階で新しい ECU 機能のテストおよびシミュレーションを仮想的に実行

することができます。SystemDesk 4.5 で新しく追加された機能：

- NVRAM (不揮発性 RAM) の簡単な設定および NVRAM を含む仮想シミュレーションのための V-ECU の生成。これにより、アプリケーションソフトウェア

と NVRAM の間のインターフェースを包括的にテストすることができるようになります。また、ECU の動作をより現実に即してシミュレートできるため、テストの品質が向上します。

- BSW (ベーシックソフトウェア) 設定ソフトウェアとのやり取りを行うための RTE (ランタイム環境) 設定のインポートおよびエクスポート機能。これにより、ランナブルとタスク間のマッピングといった SystemDesk で既に定義済みの RTE 設定をエクスポートした後で、サードパーティ設定ソフトウェアにインポートしてさらに編集することができます。
- 既存のソフトウェアアーキテクチャに基づいて V-ECU を自動的に作成するための V-ECU ウィザード。これにより、AUTOSAR に関する専門的な知識が無くても V-ECU を生成することができます。 ■

## DCI-CAN2 : CAN FD ネットワークへの接続

dSPACE では、DCI-CAN2 を新たにサポートすることでツールチェーンの拡張を行いました。DCI-CAN2 は、CAN ネットワークへの接続を提供する DCI-CAN1 の機能を持ちながら、CAN FD (CAN with Flexible Data Rate) ネットワークへの接続もサポートします。DCI-CAN2 を使用すると、ホスト PC および CAN/CAN FD

ネットワーク間において USB (ユニバーサルシリアルバス) 経由でメッセージを送受信することができます。これにより、CAN および CAN FD ネットワークの計測データを PC 上で容易に取得できるようになり、計測タスクにおけるデータスループットを大幅に向上させることができます。DCI-CAN2 ではさらに、ControlDesk Next

Generation (または Bus Navigator) を使用して CAN FD バス通信をビジュアル表示したり、CCP および XCP on CAN FD 経由で電子制御ユニット (ECU) にアクセスしたりすることができます。 ■

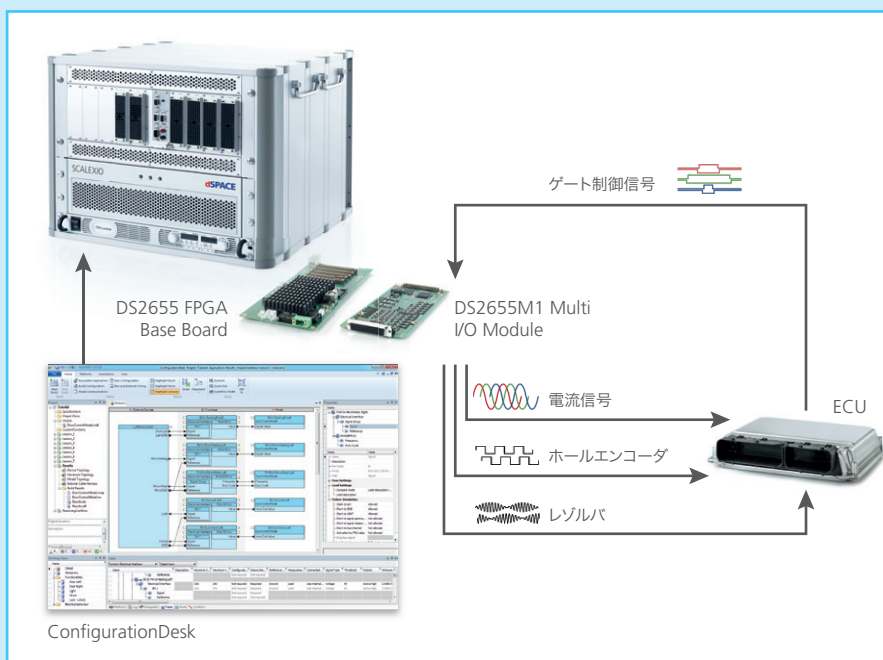


## dSPACE SCALEXIO によるモーターシミュレーション

dSPACE の HIL (Hardware-in-the Loop) システムである SCALEXIO® に、モーターの開発に役立つ新しいハードウェアとソフトウェアが追加されました。

### プロセッサベースのモーターシミュレーション

新しい SCALEXIO EMH ソリューションには、総合的な I/O ライブラリを備え、すぐに使用できる FPGA アプリケーションが搭載されており、プロセッサベースでのモーターの HIL シミュレーションが可能です。このソリューションでは、1つの DS2655 FPGA Base Board 上にある最大 2 つのモーターのシミュレーション設定を ConfigurationDesk® 内から行えます。ここでは、あらかじめ設定されたファンクションブロックを使用するため、FPGA コードのプログラミングや生成は不要です。このソリューションには、高速な I/O 処理が可能な DS2655M1 Multi-I/O Module や 8 ns の分解能を持つ回転角度処理ユニット (APU) が搭載されているため、パルス幅変調 (PWM) や位置センサシミュレーション (PSS) 関連のアプリケーションを高分解能 I/O を用いて計測することができます。また、可変 I/O チャンネルのマッピングや、最大 5 つの DS2655M1 Multi-I/O Module をサポートしているため、ハードウェアの可能



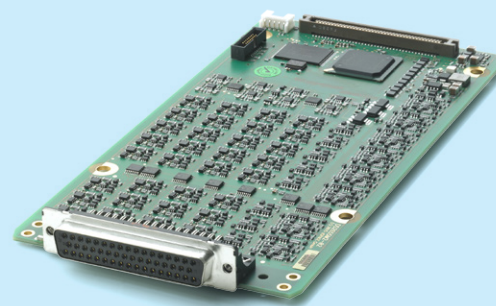
性を柔軟かつ最大限に引き出すことができます。さらに、シミュレーションをプロセッサベースから FPGA ベースに切り替え

る際にハードウェアを交換する必要がないため、既存のハードウェアシステムをそのまま使用し続けることができます。■

### モーターの制御とシミュレーション

新しい DS2655M2 Digital I/O Module は、32 個のデジタル I/O チャンネルが追加された DS2655 FPGA Base Board を搭載しているため、位置センサなどのデジタル信号をより多く取得したり生成したりすることができます。I/O チャンネルは、RS232 ベースおよび RS485 ベースの通信の送信側または受信側として設定することもできます。そのため、適切な FPGA ベースのプログラミングを用いれば、SSL、EnDat、HiPerface などのプロトコルベースの位置センサや、インクリメンタルエンコーダなどのデジタルエンコーダをシミュレートすることができます。FPGA は、使用事例に応じて Xilinx® System

Generator でプログラミングされます。また、dSPACE FPGA Programming Blockset で生成された FPGA アプリケーションは dSPACE ConfigurationDesk に容易にインポートできるため、SCALEXIO システム全体をグラフィカルに設定することが可能です。DS2655 FPGA Base Board は、リボンケーブル経由で最大 5 個の I/O モジュールに接続できるため、チャンネル数を必要に応じて柔軟に設定できます。■



## 自動運転における車線検出

Automotive Simulation Models (ASM) のバージョン 8.2 では、環境およびセンサ定義のための新しい機能を利用できるようになり、建設現場アシスタントやレーン逸脱警報システムの現実的なシミュレーションを実行できるようになりました。これにより、車線や駐車場、その他の道路標識に必要なレーンを柔軟に作成し、EU 規制 351/2012 の対象となるすべての標識タイプを表示することができま

す。また、車線とは独立してレーンやフェンス、その他の物体を作成し、複雑な建設現場シナリオなどを作成することも可能です。このようなシナリオをビジュアル表示してシミュレートする場合は、工事現場オブジェクトを含む拡張ライブラリも搭載した 3D アニメーションソフトウェア、MotionDesk を使用します。■

工事現場シナリオを定義するための新機能については、以下の動画をご覧ください。



[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_ASM](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_ASM)



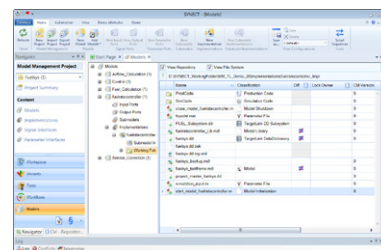
## SYNECT：複雑な HIL システムの適切な処理と TargetLink モデルの集中管理

実績のある dSPACE Workflow Management ソリューションを使用すると、大規模な HIL システムなどの複雑なプロセスを容易に処理することができます。さまざまなワークフローを利用すれば、多数のバリエーションやバージョンを適切に処理しながら、dSPACE ツールチェーンの準備を行うことができます。また、このソリューションを用いてテストを自動化すれば、開発プロセスに優れた再現性を持たせることができるようになり、信頼性が向上します。たとえば、モデリング環境を開いてリアルタイムアプリケーションに至るまでのすべての処理を自動化するという作業や、HIL シミュレータを準備して手動または自動のテストを行うといった作業を非常に短期間で実現できます。ワークフロー管

理の基盤となるのは、dSPACE のデータ管理ソフトウェアである SYNECT® です。SYNECT では、開発および ECU テストをモデルベースで行うことができます。これにより、開発者はバリエーション情報、テスト、モデルなどのデータを集中管理することができます。

また、新しいアドオン機能を使用すれば、dSPACE の量産コード生成ツールである TargetLink® に接続することができるため、機能およびソフトウェア開発者は、モデル、関連インターフェース、信号、パラメータを SYNECT で管理できるようになります。そのため、インターフェースの不一致をより簡単に検出および防止したり、容易に個々のモデルを統合して全体的なモデルを作成したりすることが可能になり

ます。管理対象のデータは相互接続されているため、データを調整してその影響を確認するといった作業を透過的に行ったり、変更箇所を容易に追跡したりすることもできます。このため、分散型の環境でコンポーネントベースの開発作業を行っているチームでは、作業がはるかに容易になります。■





# dSPACE のツールチェーンにおける ASAM XIL 規格

XIL API は、テスト自動化ツールとテストベンチ間の通信を行うための規格です。2015 年以降、dSPACE ControlDesk® では、独自の通信規格に代わって、XIL API Model Access Port (モデルアクセス向け) および XIL API Electrical Error Simulation Port (電氣的欠陥シミュレーションへのアクセス向け) を提供しています。

## XIL API MAPort のサポート

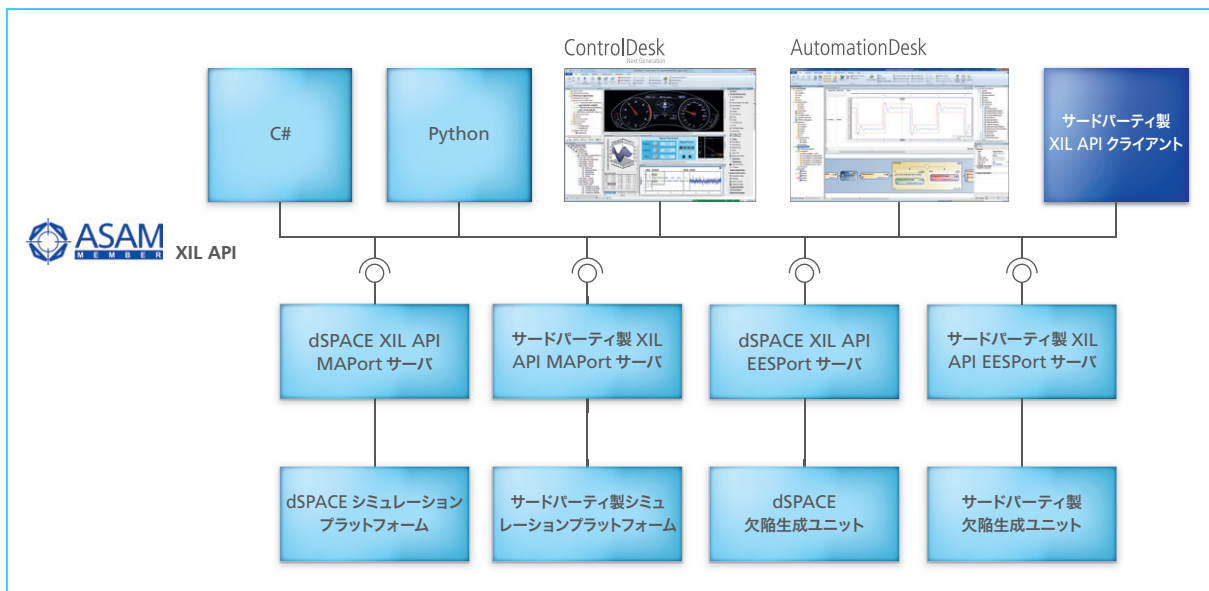
クライアントツールである ControlDesk および AutomationDesk では、シミュレーションモデル変数へのアクセス用として、ASAM-XIL 準拠の MAPort を提供しています。AutomationDesk には、直感的に操作できるライブラリが含まれており、データの読み取り、書き込み、計測、およびスティミュラス信号生成を XIL-API ベースで行うことができます。また、XIL フレームワークのマッピングにより、エイリアス経由で変数にアクセスすることもできます。これにより、テスト用のハードウェアおよびソフトウェアを分離したうえでテストを構築できるため、テストの再利用を容易に行えます。AutomationDesk で信号ベースのテストを行う場合や、ControlDesk の Signal Editor でスティミュラス信号を生成する場合も、作業はプラットフォームやモデル

に依存せず XIL API MAPort に基づいて行われます。また、ControlDesk では、XIL API MAPort プラットフォームを用いて ASAM-XIL 準拠の MAPort サーバにアクセスできるため、この規格をサポートするサードパーティ製ハードウェアには ControlDesk 内からアクセスすることができます。

## XIL API EESPort のサポート

AutomationDesk と ControlDesk は EESPort をサポートしているため、エラー設定に基づいて、欠陥生成ユニット (FIU) で短絡や断線などの電氣的欠陥のシミュレーションを行うことができます。新しい dSPACE Failure Simulation Package には、XIL API EESPort 向けのサーバインプリメンテーションや ControlDesk 向けの XIL API EESPort GUI コンポーネントが含まれています。XIL API EESPort GUI

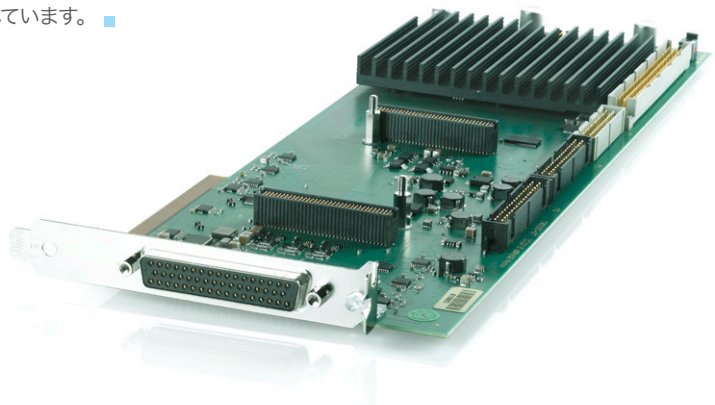
を使用すると、すべての dSPACE FIU の欠陥シナリオを同じ方法で設定できます。そのため、サードパーティ製ハードウェアを dSPACE ツールチェーン全体に容易に組み込むことができます。■



## DS5203 FPGA Board の 2 つの新しいバリエーション

パワーエレクトロニクスのシミュレーション、信号のプリプロセス処理、および特殊なインターフェースやプロトコルのサポートといった要件の厳しいタスクにも柔軟に対応する DS5203 FPGA Board に、さらに機能が強化された新しい 2 つのバリエーションが追加されました。Xilinx® Kintex® 7K325 FPGA が搭載された DS5203 7K325、および Xilinx Kintex 7K410 FPGA が搭載された DS5203 7K410 は、新しい設計ソフトウェアである Xilinx Vivado® によってサポートされています。そのため、ユーザはこれまでと同様に、Simulink で実証済みの Xilinx System

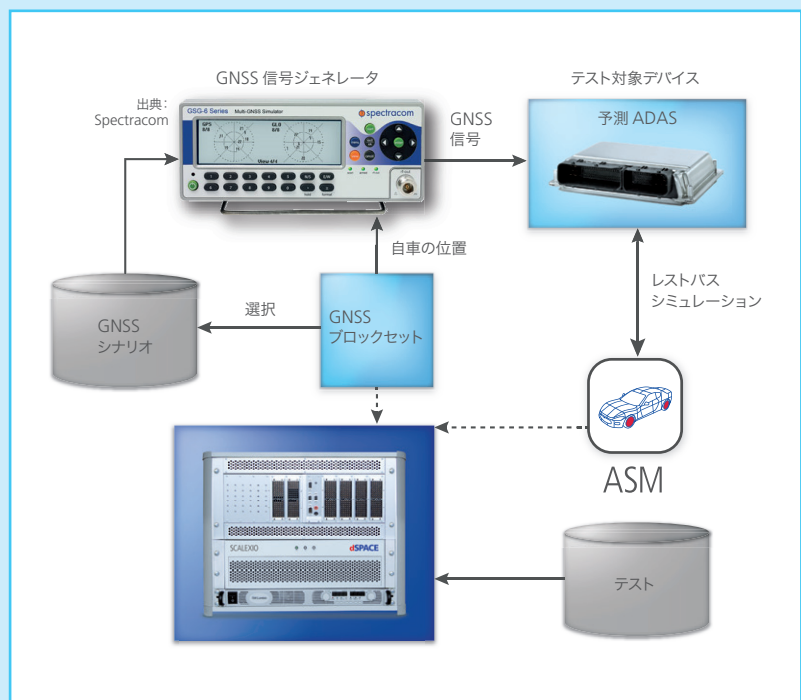
Generator (XSG) を使用して簡単にボードをプログラミングできます。また、最新の MATLAB® リリースとの互換性も保証されています。 ■



## HIL シミュレーションにおける GNSS 信号の生成

予測運転支援システムでは、車両の位置を衛星通信により把握することが必要です。日常の操作においてこのシステムのロバスト性を確保するには、混雑した都市部、トンネル、悪天候など、さまざまな衛星位置やシナリオに応じてテストを行える必要があります。この場合、dSPACE が提供する特別な Simulink ブロックセットを使用すると、開発者は Spectracom (www.spectracom.com) の全地球航法衛星システム (GNSS) 信号ジェネレータを dSPACE HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータに接続することができます。信号ジェネレータがシミュレーション環境に統合され、dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) に接続されると、このブロックセットによりあらかじめ設定された GNSS シナリオが選択され、信号ジェネレータの制御を行います。一般的なテストでは、最初に自車の経路と運転操作が ASM モデルでパラメータ化され、衛星の数、大気圏モデル、多重伝播といった条件に適した GNSS シナリオが選択されます。テストの実行中は、HIL シミュレータが自車の位置データを GNSS 信号ジェネレータに継続的に送信します。これに基づき、テスト対象のシナリオやデバイスに

応じたデータが作成され、高周波 GNSS 信号として準備されます。 ■

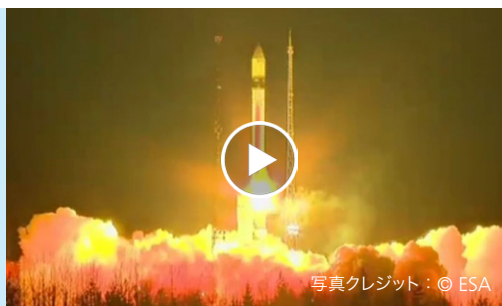


# dSPACE on Board

dSPACE の開発ツールを使用することで実現した、革新的かつ興味深い事例をご紹介します。

## TargetLink コードが軌道に到達

2016年2月16日、地球観測衛星 Sentinel-3A を乗せたロケット発射装置が プレスツスコロシア宇宙センターから打ち上げられ、高度 800 km の軌道に到達しました。製造メーカーのタレス・アレーニア・スペース社は、dSPACE TargetLink® などのツールを使用して、すべての内蔵システムを監視および制御する強力なソフトウェアを開発しました。



写真クレジット：© ESA

打ち上げ用ロケットによる衛星および TargetLink コードの軌道投入  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_Thales1](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_Thales1)



写真クレジット：© NASA

タレス・アレーニア・スペース社の制御ソフトウェア開発レポート：  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_Thales2](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_Thales2)

## 運転支援システムによる路上テスト

BMW 社の開発者は、ConnectedDrive などの車両群全体を対象とした運転支援システムの開発に取り組んでいます。開発者は、プロトタイプを使用して開発車両を路上で実践的にテストしています。それぞれのテスト車両のトランクには、プロトタイプハードウェアを備えた dSPACE AutoBox が設置されています。この柔軟な環境により、新しい機能をすばやく使用したりテストしたりできます。



写真クレジット：© BMW 社

先進運転支援システムの開発に、ラボでのシナリオシミュレーションを活用しています。  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_BMW](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_BMW)



写真クレジット：© BMW 社

フィールドテスト用車両に dSPACE AutoBox を取り付けます。

## 認知補助システム

自動車、電子機器、通信テクノロジー、およびソフトウェアメーカー、さらにはサプライヤ、研究機関、自治体を含む 30 のパートナーが協力し、都市部向けの先進運転支援システムおよび先進交通管理システムに関する共同プロジェクトである UR:BAN の開発を行っています。プロジェクトのテスト車両には、アプリケーションタイプに応じて dSPACE AutoBox のプロトタイプシステムが搭載されています。



写真クレジット：© UR:BAN

プロジェクト UR:BAN：未来の車両の安全性を向上させる認知補助システム  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_URBAN](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_URBAN)

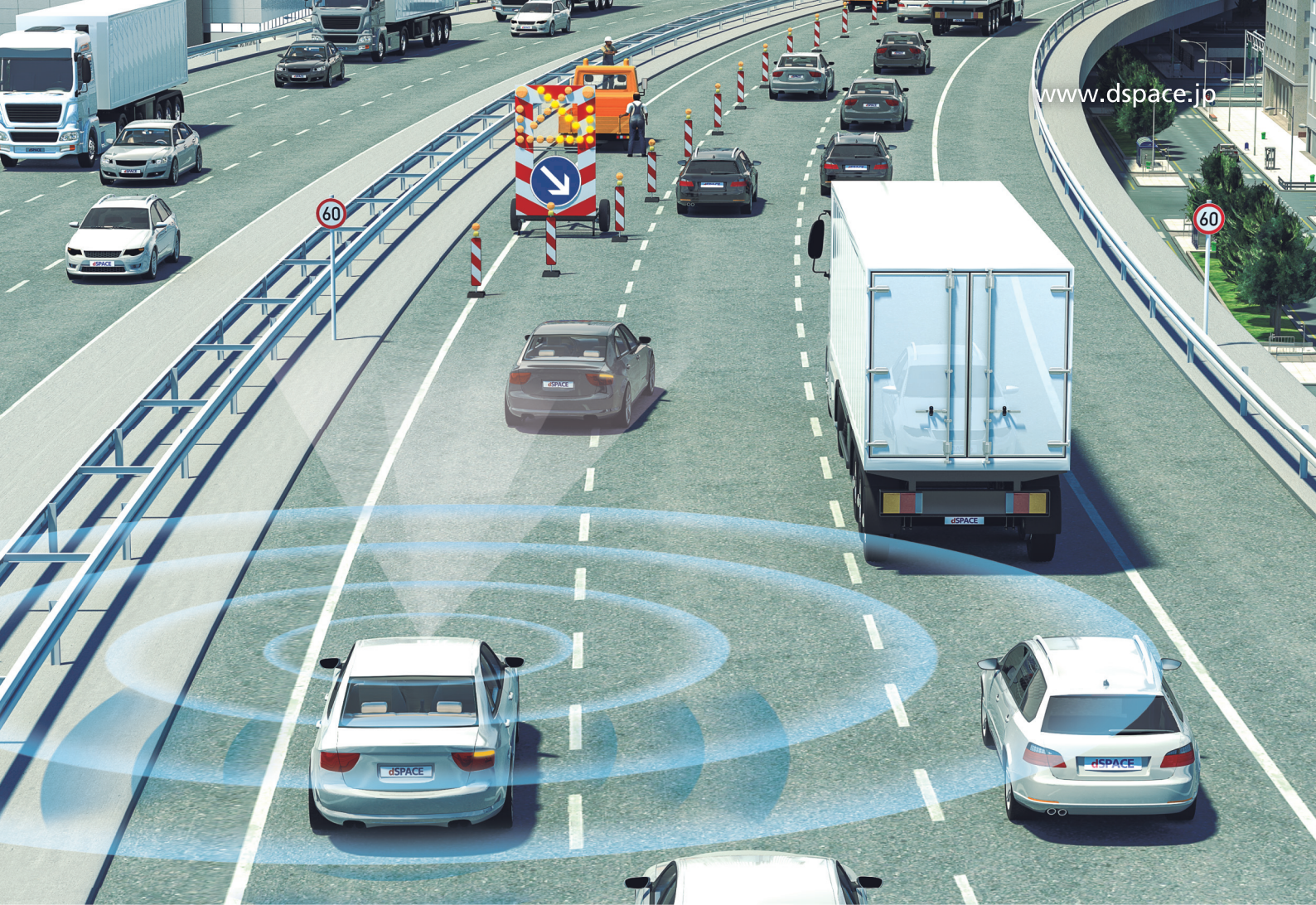


写真クレジット：© UR:BAN

AutoBox は、プロトタイプシステムの基盤として、自律走行関連の開発タスクで使用されています。



これらの事例の詳細については、下記のサイトで動画や画像、レポート記事を参照してください。  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20161\\_REF\\_J](http://www.dspace.jp/go/dMag_20161_REF_J)



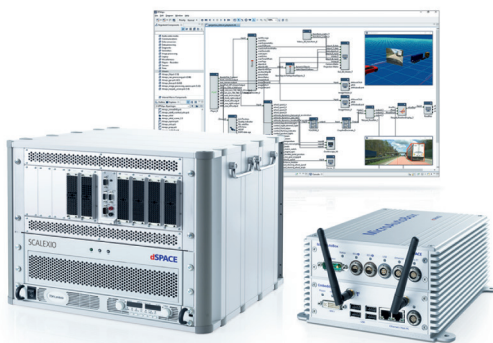
www.dspace.jp

## 革新的な運転支援システム — 自動運転実現への道のり

自律運転車両を目指して、大いなる技術革新が起ころうとしています。

ただし、このような複雑性が確実に増大する場合においても、開発工数の管理が必要です。これは、環境センサやV2X通信を統合する場合でも、車両やトラフィックシナリオをモデリングする場合でも、そして仮想テストドライブを実行する場合でも、機能開発や仮想検証の段階からHIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションに至るまで、すべての開発段階に完全に適合し、相互作用を保証できるようにコーディネートされたツールチェーンにより実現します。

自動運転機能を量産へ、安全に！



MAN社の動画を  
是非ご覧ください。  
[https://www.dspace.com/  
ja/jpn/home/medien/videos/  
productvideos/adas\\_video\\_man.cfm](https://www.dspace.com/ja/jpn/home/medien/videos/productvideos/adas_video_man.cfm)

Embedded Success

**dSPACE**