

# dSPACE MAGAZINE

1/2012

Siemens 社 – 蒸気タービンの  
シミュレーション

Valtra 社 – トラクタの  
仮想フィールド試験

Astrium 社 – 次世代  
衛星通信システム







私たちは、10年以上にわたって同じ状況を見てきました。多くの技術系企業では、十分な能力を持つ若いエンジニアを集めることが、成長における最も大きな問題の1つとなっています。確かにこの問題は、研究開発部門が大きな割合を占める産業、特にサプライヤおよびサービス事業者などの産業構造全体を含む自動車業界において顕著な形で現れています。

以前、本誌で述べたように、dSPACEでは非常に高い割合の従業員が開発に携わっています。当社は、製品ポートフォリオの強化、更新、拡張に積極的な投資戦略を続けています。そして、ほとんど例外なく、当社では開発契約を待たずに独自の戦略に基づいてこれを実施しています。また、これによって、そうでない場合よりも、はるか先の将来に目を向けることもできます。この手法ではより多くの投資が必要なため、低価格市場で当社の製品を見かけることはほとんどありません。それでも、当社が停滞せずに先に進むことはお客様の要求を満たすことになり、お客様もこの前進を歓迎しています。

この戦略は有効に機能しています。ただしそのためには、既存製品を維持し、新製品

を継続的に投入していくために、熟練した専門家の人材が供給される必要があります。当社では、2012年に100人以上の新しいエンジニアを、主にドイツ国内からではありませんが、米国や日本など幅広い地域からも採用することを目標としています。しかし残念ながら、こうした事情は当社に限ったことではありません。マスメディアは大きな見出しで、「ボルシェが2012年に300人のエンジニアを採用」、「コンチネンタルが1,500人のソフトウェア開発者を採用予定」、「米国ミシガン州でジェネラルエレクトリックが採用済みの新規エンジニア850人に加え、さらに300名を追加」などと伝えています。人材採用の面で当社は確かに成功してはいますが、多くの企業が、同様の能力を持った人材をあまりにも小さすぎる供給源から探しているため、膨大な労力が必要となります。

驚いたことに、いまだにエンジニアは不足していないという話を時々聞くことがあります。このような話は、現実をほとんど知らない人たちの意見か、または業績が低迷している業界の認識かもしれません。実

際には、有能な人材の獲得競争が本格化しています。当社は、人材教育と人材育成の面で、優れた作業環境とやりがいのある仕事が高い評価を受けています。ただ、育成したエンジニアが、またとないキャリアアップへのドアが開いたとたん、そちらに転職してしまうことがあります。もちろん、非常に多くの知識と技能を身に付けた従業員が、同業界から誰もが欲しがるとして提供されて転職していくのを見ると少し残念な気持ちになります。しかし、これはある意味では、誇るべきことであるとも言えます。

社長 Dr. Herbert Hanselmann



SIEMENS 社 | PAGE

6



三菱重工業株式会社 | PAGE

18



VALTRA 社 | PAGE

28

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

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

テクニカルライター：Thorsten Bödeker, Ralf Lieberwirth, Sonja Lillwitz, Julia Reinbach, Dr. Gerhard Reiß

協力：Dr. Ulrich Eisemann, Anne Geburzi, Jürgen Klahold, Susanne Köhl, Holger Krisp, Dr. Karsten Krügel, Markus Plöger, Frank Puschmann, Andre Rolfsmeier, Thomas Sander

編集および翻訳：Robert Bevington, Stefanie Bock, Dr. Michelle Kloppenburg, Christine Smith, dSPACE Japan 株式会社

デザイン：Krall & Partner, Düsseldorf, ドイツ  
レイアウト：Sabine Stephan

翻訳：株式会社 シュタール ジャパン

© Copyright 2012

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



- 3 社長挨拶  
Dr. Herbert Hanselmann

## お客様の事例

- 6 SIEMENS社  
1000 MW in the Test Lab  
発電用蒸気タービンのシミュレーション
- 12 ASTRIUM社  
Next Generation Satellite Communications  
厳しいスケジュールにも対応可能なラピッドプロトタイプング
- 18 三菱重工業株式会社  
More Efficient Combustion Engines  
高速油圧アクチュエータを用いたカムレス可変バルブ試験装置の開発
- 22 中国北車股份有限公司(CNR)  
China on the Fast Track  
中国鉄道機器メーカーによるdSPACE HILを使用したトラクションコントロールユニット(TCU)の迅速な開発
- 28 VALTRA社  
Efficiency in the Field  
パワースプリットドライブラインを使用した無段変速トランスミッション(CVT)による出力向上およびコスト削減
- 32 GREENTEAM UNI STUTTGART  
A Winning Formula  
シュトゥットガルト大学の学生による革新的なバッテリーマネージメントシステムを搭載したレース用電気自動車の開発

## 製品

- 36 ECU INTERFACE MANAGER  
Bypassing without Detours  
バイパス処理による高速な機能開発
- 40 TARGETLINK  
TargetLink 3.3  
量産コードに対する厳しい要求に対応
- 42 XSG ELECTRIC COMPONENTS LIBRARY  
Things Are Speeding Up  
動的特性の高い制御対象システムに対応するFPGAベースシミュレーションモデル
- 46 バーチャルECUテスト  
Real Tests for Virtual ECUs  
バーチャルECUの作成およびシミュレーション
- 50 ニュース



発電用蒸気タービンのシミュレーション

# 1000 MW in the Test Lab



図 1:  
蒸気タービン



図2：蒸気タービンのローターブレード

発電用蒸気タービン用の最新のデジタル制御システムは、非常に複雑な制御機能を持っています。試運転中にタービン制御機能のテストを実施することは、非常に多くの時間とコストがかかります。したがって、プロジェクトの早い段階でテストラボにおいてシミュレータを使用することが有効なソリューションとなります。また、シミュレータには、プラントにリスクを与えずに危機的な状況をテストでき、早い段階で標準化されたテストを行うことによって不良を検出し修正することができるという利点があります。これは、高い品質基準を確実に達成するための重要な要素です。

#### 最高の効率を実現する最新の蒸気タービン

ドイツでは、電力の3分の2以上が蒸気タービン発電機によって発電されています。世界中で同様の状況となっており、これからも引き続き蒸気タービンが発電における重要な役割を担っていくと予想されています。信頼性と効率性は、最高の節約と環境への影響を最小化する上で不可欠で

す。40年以上の実績がある Siemens 社は、数 MW から 1,900 MW の発電量に対応した蒸気タービンを製作しています。今では、蒸気タービンの温度は最大 600°C、また圧力は約 275bar となっており、48% を超える発電効率の達成が可能となっています。燃料の使用効率は、熱抽出によってさらに向上させることができます。さらに蒸気タービンをガスタービンと

組み合わせることで、60% を超える効率を達成できるまでになっています。このような数値は、数年前までは不可能であると考えられていました。

#### 増加し続けるタービン制御への要求

操作の信頼性は、個々の発電プラント用に設計された最新のタービン制御システムに依存しています。機能の複雑さは確



図3：Siemens AG の T3000® タービン制御システムで自動化された大型蒸気タービン発電プラント

実に増大しており、ソフトウェア機能の計画書が 500 ページを超えることも珍しくはありません。ドイツでは、再生可能エネルギーへの移行に関する野心的な目標によって、配電網の中にある発電所の運転に対しては厳しい要求が突きつけられています。再生可能エネルギーの供給量は、総量としては増加していますが変動があり、消費需要と一致することはほとんどありません。そして、適切な電力貯蔵システムが不足していることもあり、発電所は電力需要に合わせて出力をすばやく調整する必要があります。このような理由で、これらの要求と、蒸気タービンのプロセス制約を調整できる制御技術が求められています。

複雑さと高い品質要求に対処するただ 1 つの方法は、開発段階で適切なシミュレータを使用して、個々の発電プラントに

適した制御技術を設計することです。テストラボで制御システムの最適化が既に終了していれば、試運転をより迅速に行うことでコストを削減し、実物のタービン寿命を縮めてしまうテストを回避できます。さらに、発電所のオペレータが、テストされていない制御機能を使用してタービンを運転するリスクもなくなります。

#### 蒸気タービンセットのシミュレーション

制御システムのテストでは、すべての機能を現実的な環境でテストするために、蒸気タービンのモデルだけではなく、発電機と配電網のモデルも必要です。標準的な蒸気タービンは、高圧部、中圧部、低圧部で構成されており、共通軸により連動して駆動されます。ボイラー（蒸気発生器）で生成された蒸気は、最初に、主蒸気弁を通して高圧部に流入します。その後、

再び過熱蒸気の状態にされてから、インタセプト弁を通して中圧部と低圧部に供給されます。水蒸気は復水器で冷却されて水となり、給水ポンプ経由で蒸気発生器に戻されます。発電機は、シャフトの機械エネルギーを電気エネルギーに変換し、変圧器を介して配電網に供給します。したがって、シミュレーションモデルには、これらのコンポーネントのすべて、および配電網の単純化されたモデルが含まれている必要があります。これは、タービンの始動から定格速度になるまで、発電機と配電網の同期、および定格出力よりタービンの負荷運転といった正常動作をシミュレートするために不可欠です。他の発電プラントが運転を停止した場合は、配電網を支援するために、蒸気タービンの出力を自動的に急上昇させる必要があります。予想外の故障が原因で発電プラ

「dSPACE シミュレータと MATLAB/Simulink モデルの組み合わせは、当社のすべての要件を満たしています。別の種類タービンに切り替えて、発電プラント固有のパラメータ設定をロードすることも簡単にできます。これまで試運転をするまで現れることがなかった問題を、今ではテストラボで検出して解決できるようになりました」

Michael Schütz 氏、Siemens 社



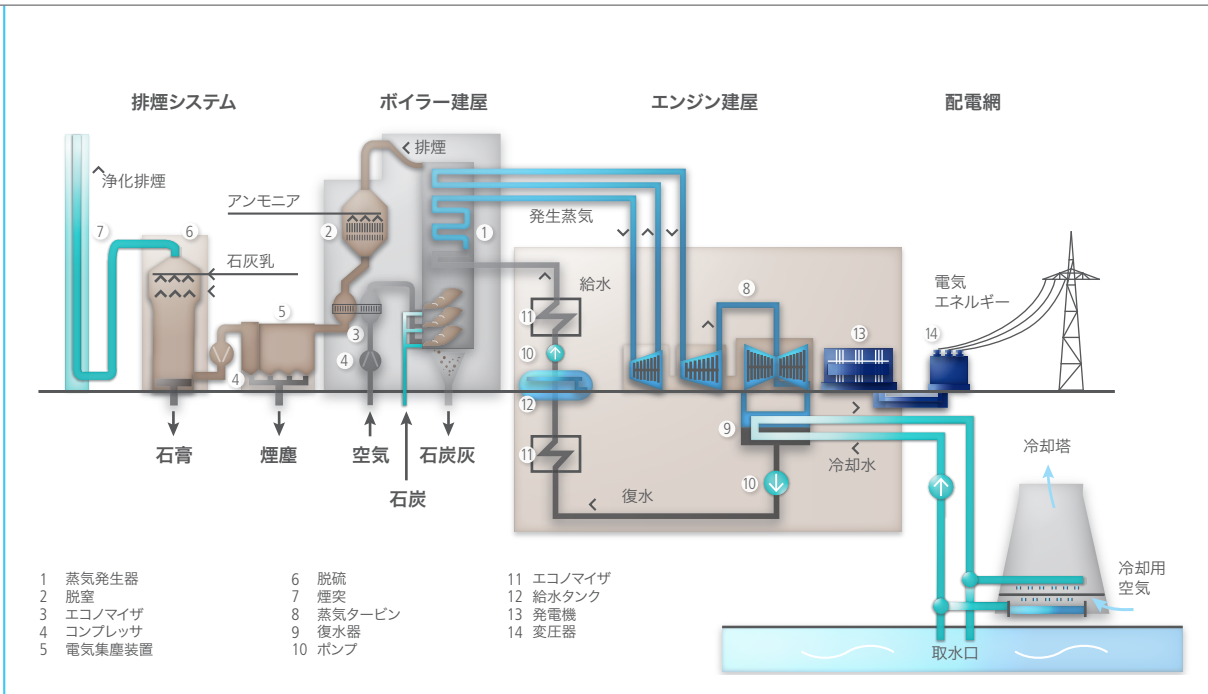


図 4：最新の蒸気タービン発電プラントの概要

トが配電網から切り離された場合は、タービンをトリップさせずに、負荷遮断を実行する必要があります。

**リアルタイムシミュレータの要件**

Siemens 社のエンジニアは、蒸気タービンをシミュレートするリアルタイムシミュレータの仕様書を作成しました。

- モジュール化されたモデルで、Siemens 社の全機種種の蒸気タービンに対応

- 発電プラント固有のパラメータ設定を容易に行えること
- ステップサイズが 1ms のリアルタイム機能で、高速過渡応答に対応
- シグナルコンディショニングにより、調整なしで制御システムに直接接続
- 柔軟な調整オプション
- シーケンス制御と文書化を行うための使いやすいヒューマンマシンインターフェース
- モデル、シミュレーションまたは計測結果のデータ交換に使用する MATLAB®/ Simulink® 用インターフェース

果のデータ交換に使用する MATLAB®/ Simulink® 用インターフェース

**dSPACE シミュレータ**

Siemens 社は、柔軟な dSPACE システムを選択しました。DS1005 PPC Board によって、50 以上の状態変数がある蒸気タービンセットのモデルを、要求された 1ms のステップサイズで問題なく計算処理することができます。32 個のアナログチャンネルを搭載した I/O ボード

図 5：デジタル制御システムのテストでは、シミュレータと制御システムは、速度、出力電力、主蒸気圧、および各弁の作動状態と位置フィードバックなどの信号をやり取りします。

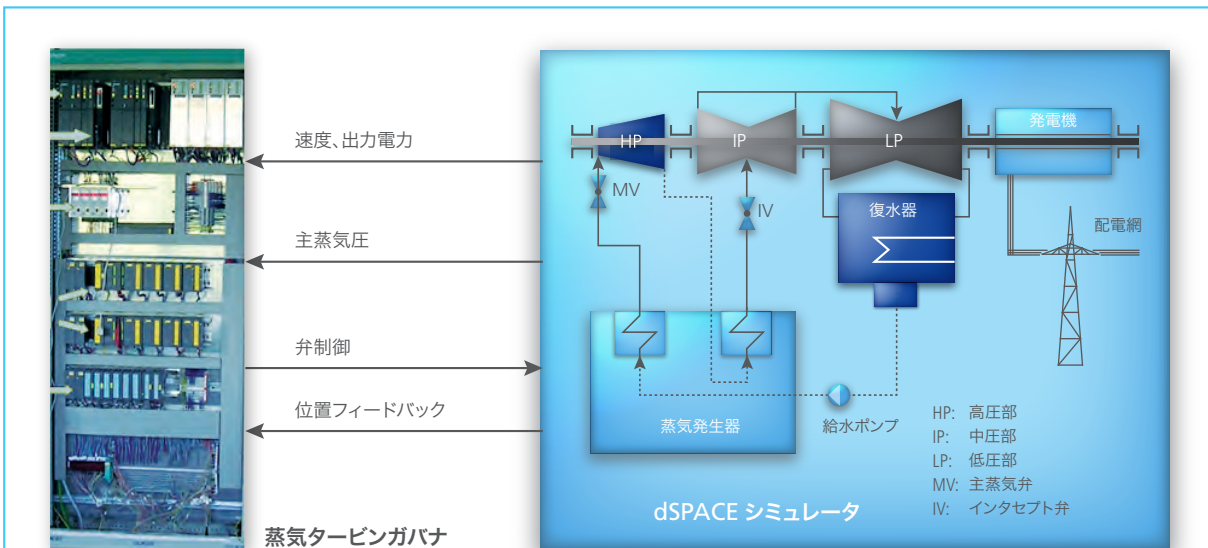




図 6：試験施設内に設置された、シミュレータを含むテストラポアセンブリ

が入力用と出力用に 2 枚ずつ使用され、タービン制御システムへの接続に必要な多数のアナログ入出力信号を提供します。デジタルチャンネルを搭載した 3 枚の I/O ボードが、タービンのバイナリ信号と回転パルスを提供します。すべてのボードは、dSPACE 拡張ボックスに装着されています。バッファ増幅器は、アナログ信号の電位分離と調整を行います。また、デジタル信号は、電気的に絶縁および保護されています。幅広く使用されている MATLAB/Simulink ソフトウェアと連動させること

で、蒸気タービン制御の複雑な問題に関与している Siemens 社の他の部門との連携を容易にしています。また、モデルとパラメータの妥当性は、稼働している発電プラントで計測を行うことによって簡単に確認できます。

#### ヒューマンマシンインターフェース

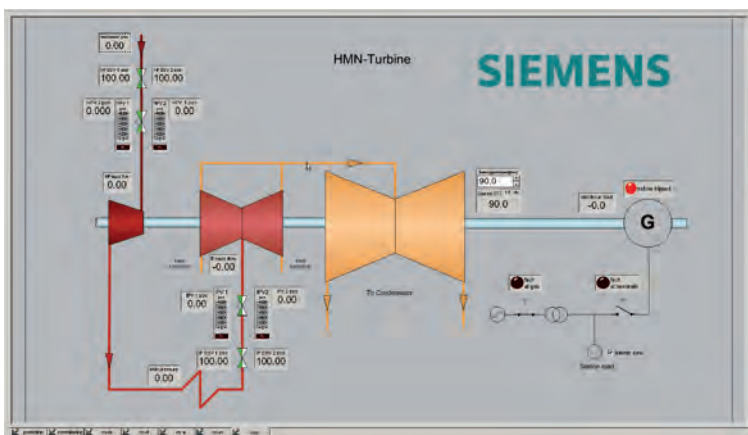
シミュレータには、各発電プラントの種類に合ったグラフィカルな専用のヒューマンマシンインターフェースが搭載されています。このインターフェースは、国際的な発電プラント市場の要求に対応するために

バイリンガル表示を採用しています。タービンの始動から定格速度になるまで、発電機と配電網の同期、および負荷運転が、接続されている制御システム上のスイッチと入力を用いてシミュレートされます。その他の多数の機能によって、正常動作時と故障時の両方における包括的なテストオプションが提供されます。すべての信号を記録して、分析することができます。

#### テストの流れ

標準的なテストは、タービンの始動から

図 7：すべての関連する変数の監視は、タービンの高圧部、中圧部、低圧部、および弁をシミュレートするシミュレータのヒューマンマシンインターフェースで行うことができます。



**Martin Bennauer 氏**  
同氏はシミュレータの開発を統括しており、Siemens AG (ミュンヘン、ドイツ) で蒸気タービンコントローラを担当しています。

**Achim Degenhardt 氏**  
同氏は Siemens AG (エルランゲン、ドイツ) でシミュレータの開発を統括しています。



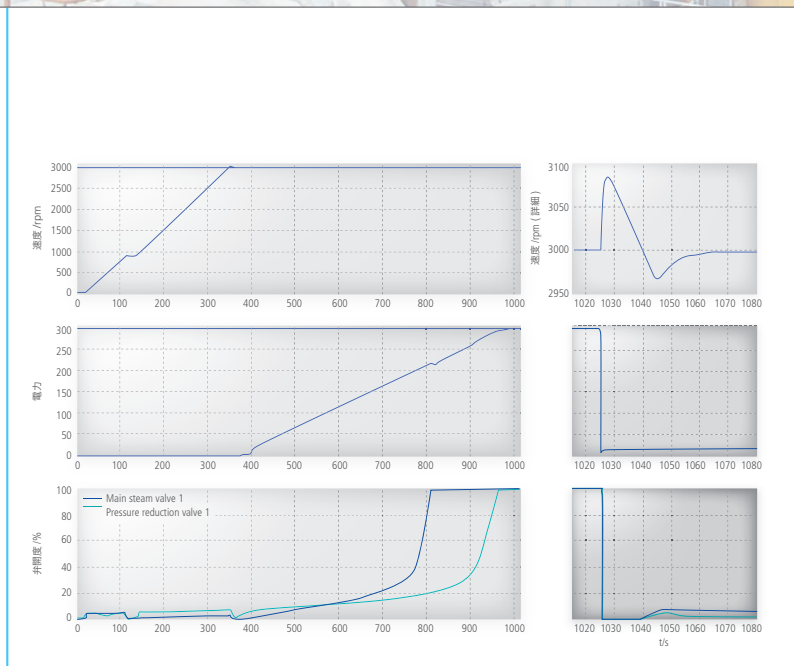


図 8：弁をわずかに開くだけで、タービンの回転は定格速度まで上昇します。インタセプト弁は、最初は閉じていますが、主蒸気弁を開いた後に開きます。配電網との同期が完了すると、タービンは最大出力による負荷運転の状態となります（左側）。発電プラントが配電網から切断された場合は、出力電力は、所内単独運転のレベルまで瞬時に低下します（右側）。弁をすばやく閉じると、速度が約 103% まで上昇し（危険な値ではありません）、その後、適切な減衰によって定常状態に到達します。

定格速度まで上げるところから始まりまず。50Hz の場合の定格速度は、3,000rpm となっています。電圧、速度、位相位置が的確である場合は、発電機は配電網に接続され、最大出力によるタービンの負荷運転が可能となります。最大出力運転時に配電網の故障が原因で蒸気タービンセットが配電網から切断された場合は、圧力を発電プラントの所内単独運転時の圧力まで降下させる必要があります。主蒸気弁とインタセプト弁を

すばやく閉じて、許容範囲を超えた過速度になるのを防止する必要があります。最初に、タービン内にある多量の蒸気によって速度が上昇します。同時に、発電プラントの所内単独運転を行う必要があります。これは、速度を許容範囲内に維持できるかどうかにも左右されます。弁を閉めるのが遅すぎた場合、許容範囲を超える過速度となり、タービンセットに危険な兆候があれば保護システムが作動することになります。ただし、発電プラントは、

それによって停止されてしまい、それ以後の所内単独運転が不可能となります。■

Martin Bennauer  
Achim Degenhardt  
Dr. Rüdiger Kutzner  
Patrick Müller  
Christoph Schindler  
Michael Schütz  
Dr. Andree Wenzel

#### Dr. Rüdiger Kutzner

同氏はドイツ、ハノーファー応用科学芸術大学の第一学部、電気工学・情報技術学科で制御工学の教授を務めています。

#### Patrick Müller 氏

同氏は Siemens AG (エルランゲン、ドイツ) でコントローラ機能テストの実施を担当しています。

#### Christoph Schindler 氏

同氏は Siemens AG (ミュールハイムアンデアール、ドイツ) で蒸気タービンのモデリングを担当しています。

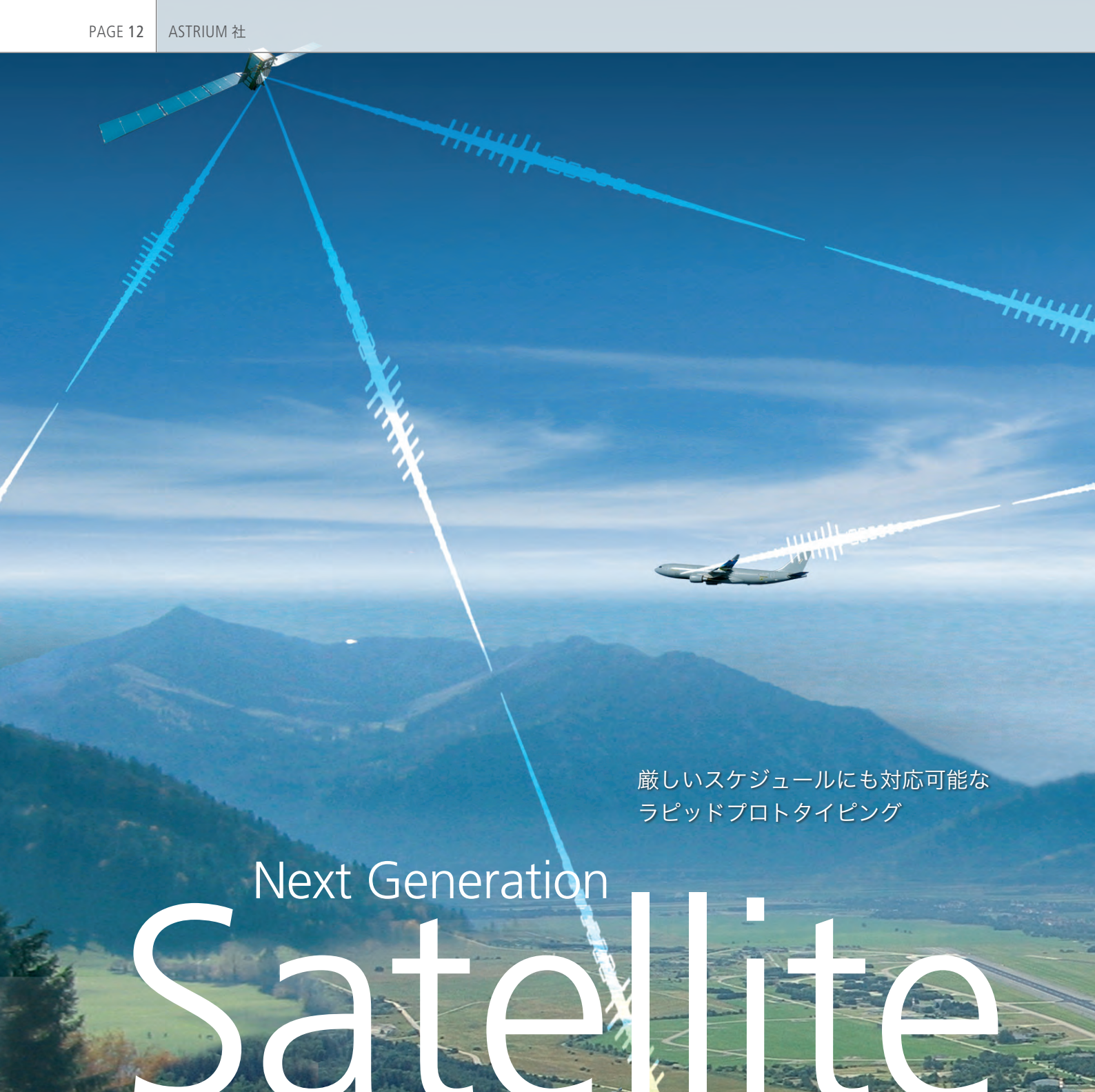
#### Michael Schütz 氏

同氏は Siemens AG (エルランゲン、ドイツ) で蒸気タービン制御技術の自動化を担当しています。

#### Dr. Andree Wenzel

同氏は Siemens AG (エルランゲン、ドイツ) で蒸気タービンと発電機のリアルタイムシミュレーションのチームリーダーを務めていました。2月1日からは、ドイツ、ハノーファー応用科学芸術大学で電力工学科の教授となっています。





厳しいスケジュールにも対応可能な  
ラピッドプロトタイピング

Next Generation  
**Satellite**  
Communications



Astrium 社の Air Patrol 衛星通信ターミナルは、どのような飛行姿勢においてもアンテナの方向を極めて精密に制御します。

空中衛星通信システムでは、データの損失と漏洩を防ぐために、最大限の精度でアンテナの方向を制御する必要があります。無人機では、常に姿勢が変化するだけでなく、重量、消費電力、サイズが厳しく制限されるため、これは決して容易な課題ではありません。Astrium 社は、dSPACE のラピッドコントロールプロトタイピングツールを使用して、この課題を克服しました。

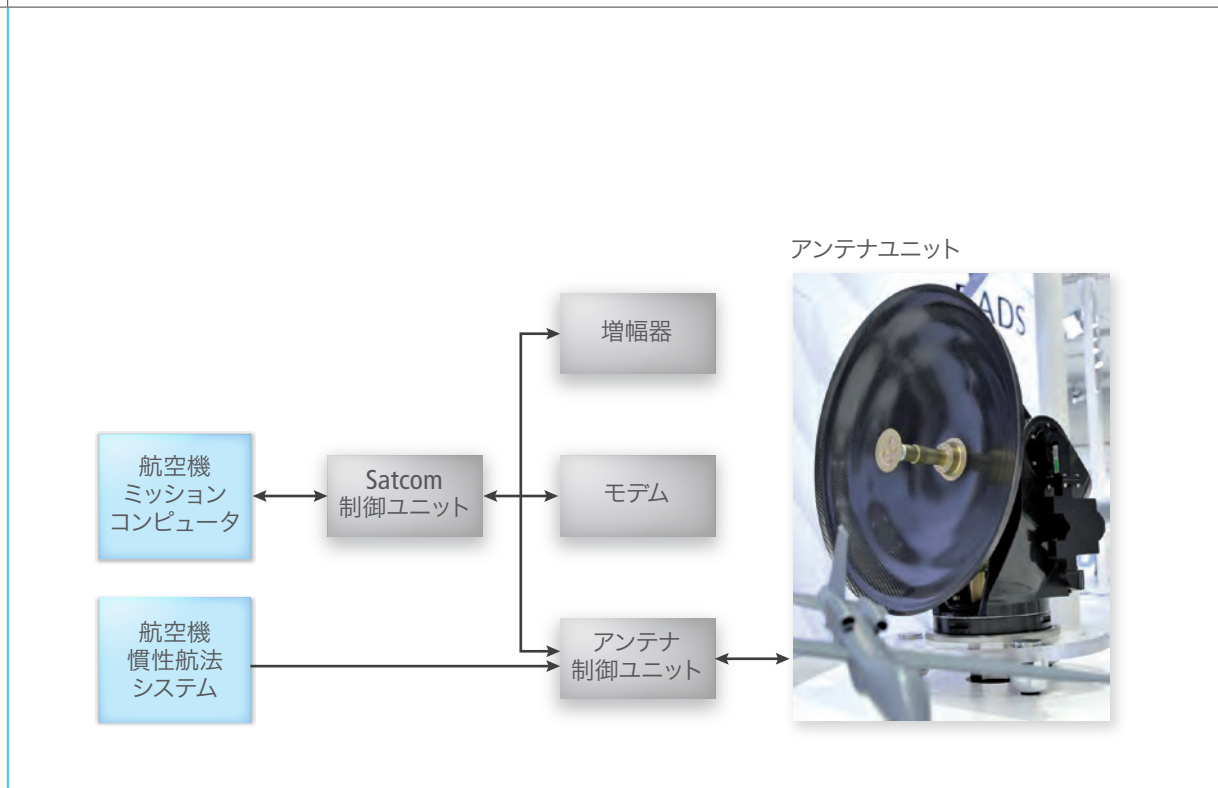


図 1：高精度にアンテナ方向を制御する Air Patrol ターミナルのコンポーネント

#### アンテナ制御ユニット

Astrium 社は先頃、品質の高い軍需産業向けの海上および空中衛星通信ターミナルでの実績に基づいて開発した Air Patrol シリーズの最初の製品を市場に投入しました。X ~ Ka の周波数帯域をカバーする Air Patrol は、急速に発展しつつある無人機 (UAV) 市場に低コストで、軽量、堅牢、高効率な衛星通信を提供します。

Astrium 社は、アンテナユニットと関連電子回路のライン交換可能ユニット (LRU) の全開発プロセスに関与しました。LRU とアンテナユニットには下記の機能があります。

- 無線周波数 (RF) 信号の送受信
- 周波数のアップおよびダウンコンバート
- 変調と復調
- 出力の制御とシステムの監視 (C&M)
- アンテナの安定化 (機体運動の影響を補償) と修正動作 (アンテナを目標衛星に向ける)

dSPACE は、アンテナの方向制御と安定化を行うアンテナ制御ユニット (ACU) の開発を日程通りに遂行するための鍵となりました。

#### 顧客の厳しい要件

UAV アプリケーションには、過酷な環境条件と重量およびサイズに対する厳しい制約が課せられます。飛行試験には大きな費用 (機体への適合、取り付け、燃料、保険、時間など) がかかるため、数値シミュレーションと HIL (Hardware-in-the-Loop) テストを使用する必要があります。対象とする多くの UAV 機体は開発の途上にあるため、ハードウェアインターフェースを後から容易に変更できる開発手法が求められます。また、顧客層に製品の能力をアピールすることも重要です。ラビッドコントロールプロトタイピングを使用することにより、書面の設計資料ではなく、実物のハードウェアを市場に向けて提示できました。

#### 10 分の数度のアンテナ方向精度

RF 送信波の強度分布は一般的に  $\sin(x)/x$  で表せます。つまり、ビームの中心で強度が最高となり、中心から離れるにしたがって徐々に強度が低下します。ACU にとっての課題は、電波の最大強度部が機体から 36,000 km の彼方にある静止軌道衛星のアンテナに向かうように、正確に狙いを定める必要があるということです。これを達成するには、運動する機体上

で、一般的に 10 分の数度の方向精度を維持する必要があります。

機体の運動は、航空航法用の標準的装置である慣性航法システム (INS) により検出します。このデータは Air Vehicle Bus (AVB) を介して機体の操縦制御コンピュータに送られます。ACU は、AVB から機体運動の計測データを取得し、これをアンテナ制御アルゴリズムで処理します。この制御アルゴリズムにより、アンテナが衛星を正確に狙い続けるように、アンテナの向きを修正します。アンテナは、2 つのアンテナ軸 (方位軸と仰角軸) 上のブラシレス DC モーターにより駆動されます。アンテナの向きは、各モーターと同軸に設置した絶対位置エンコーダにより検出します。エンコーダの出力は、ACU の制御アルゴリズムにフィードバックされます。ACU の開発では、さまざまな現実的問題を克服する必要がありました。これにはノイズ、バイアス、量子化、信号伝達遅延、計測帯域幅、駆動遅延、信号飽和、摩擦抵抗、サンプリングの影響、アライメント誤差、電磁適合性 (EMC) などの問題が含まれます。

**HIL (Hardware-in-the-Loop) テスト**  
ラビッドプロトタイピングと HIL テストに



## 「dSPACE の装置と技術支援により、プロジェクトの早い時期に顧客の信頼を高めることができました」

Ed Hagger 氏、Secure Satcom Systems

より、開発の早い段階で上記の非線形挙動の影響を評価し、必要な修正操作を明確にできました。HIL 環境により、Air Patrol アプリケーション内の個々の機器の安定性を評価することが可能となりました。また、stimulus 信号を与えて、アンテナシステムの動作をテストすることもできました。これにより、実際のシステムの周波数応答を直接計測することが可能となり、これを使って線形モデルを検証できました。HIL テストでは、機体の INS から実際の航法データまたはシミュレートした航法データを入力信号として使えるため、実際のフライトにおけるアンテナ方向制御の性能をシミュレートできました。HIL テスト環境を構築するには、機器のソフトウェアドライバを早期に用意する必要がありますが、これはプロジェクトの後続の段階でメリットが得られます。機器の通信の問題も、プロジェクトの早期に解消できました。ラビッドコントロールプロトタ

イピング手法により、開発の早い段階で、揺動ベッドと地上車両を使用して、アンテナ方向制御アルゴリズムをテストできました。また、これらのテスト装置を使って、エアショーや展示会でアンテナの動きをデモンストレーションできました。このような開発プロセスにより、システム設計の段階でより信頼性の高い確認が得られ、さらに重要なこととして、顧客にもそれを印象づけることができました。設計審査においては、従来のような「実現できるのか」という問いではなく、より具体的な「製品化するには何が必要か」という問いへと、明らかな変化が見られました。

### ACU 開発における広範な dSPACE 製品の活用

dSPACE により、Simulink® でのアルゴリズムプロトタイプングから dSPACE リアルタイムハードウェアへの展開まで、シームレスな連携が実現しました。dSPACE

ハードウェアの I/O へのアクセスは比較的容易であるため、核となるアンテナ方向制御アルゴリズムの開発に集中できました。Air Patrol の開発には、dSPACE ハードウェアのさまざまなコンポーネントを適用しました。開発の初期段階では、限られた初期予算枠の中で、ニーズに適合する広範な I/O を備えた DS1103 が大いに役立ちました。マーケティングおよび機能テスト向けには、MicroAutoBox の各種の低コストバージョンを使用しました。モジュール型シミュレータのベースとして DS1005 を使用し、現在は CAN、RS422、A2D、D2A ボードを実装しています。このソリューションは、将来のニーズに合わせて拡張可能です (Ethernet または 1553 I/O など)。

すべての dSPACE ハードウェアは、dSPACE のテストおよび試験用ソフトウェア ControlDesk® を介して制御および計測されます。これにより、Simulink モデル

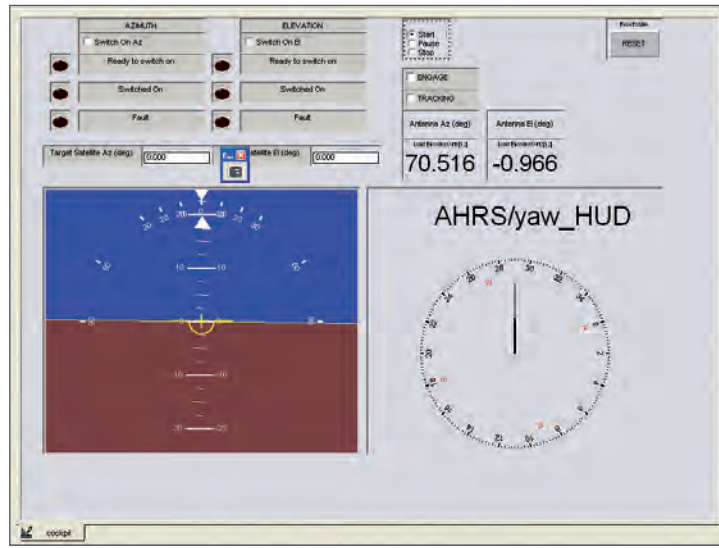


図 2 : ControlDesk (dSPACE の試験用ソフトウェア) によるハードウェアの制御と監視

#### Ed Hagger 氏

同氏は、Astrium 社 (英国、ポーツマス) の Secure Satcom Systems 部門に所属する制御システムの専門家です。



内のすべての中間変数とパラメータに容易にアクセスでき、リアルタイムにグラフなどを描画できるといったメリットが得られました。次の段階では、アンテナ方向制御アルゴリズムと並行して開発を進めてきた量産ハードウェアがテスト対象となります。ラピッドプロトタイピングによる開発用ハードウェア (dSPACE 提供によるハードウェア) 環境ではなく実際の環境でアルゴリズムをテストするには、量産ハードウェアの完成を待つ必要があります。

このため、細部の仕様決定とアルゴリズムの手動コーディングを避けるために、TargetLink を使用してコードを自動生成します。これにより、アルゴリズムの開発とテストから量産ハードウェアへの展開まで、一貫した環境が得られます。ソース Simulink モデル (このモデルからコードを自動生成可能) をアルゴリズム開発者に引き渡すことにより、要求事項の誤解によるアルゴリズムの誤りを完全に防ぐことができました。

自動コード生成プロセスを使っても、ソフトウェアエンジニアによる入力が必要で、このため、システムチームとソフトウェアチームの間で、自動生成コードとのインターフェースの定義について、互いに合意しておく必要があります。さらに、I/O ドラ

イバとスケジューラについては、ユーザ記述のコードまたは対象ハードウェアボードのサポートパッケージが提供するコードを使用するのが最良です。

#### dSPACE を選択した理由

dSPACE ツールは、Air Patrol ACU のラピッドプロトタイピングにおいて、計り知れないほど大きな成果を上げました。リアルタイム組み込み制御アプリケーションをこれよりも短期間でプロトタイピングできる方法を想像することは困難です。これにより、インターフェースの問題と、アンテナシステムの各種ハードウェア要素の性能ポテンシャルを、開発の早期に把握できました。TargetLink は、量産規格ソフトウェアの量産ハードウェアへの展開を可能にし、ソフトウェア開発の全過程に対応します。生成したコードの検証においては、MIL (Model-in-the-Loop) シミュレーション、SIL (Software-in-the-Loop) シミュレーション、実行時のタスクとイベントのタイミングを追跡するプロファイラツールなどの内蔵機能が支援してくれます。Air Patrol 製品を円滑に市場投入できるよう、豊富な知識を持つ dSPACE エンジニアが要請に応じて意欲的に対応してくれました。



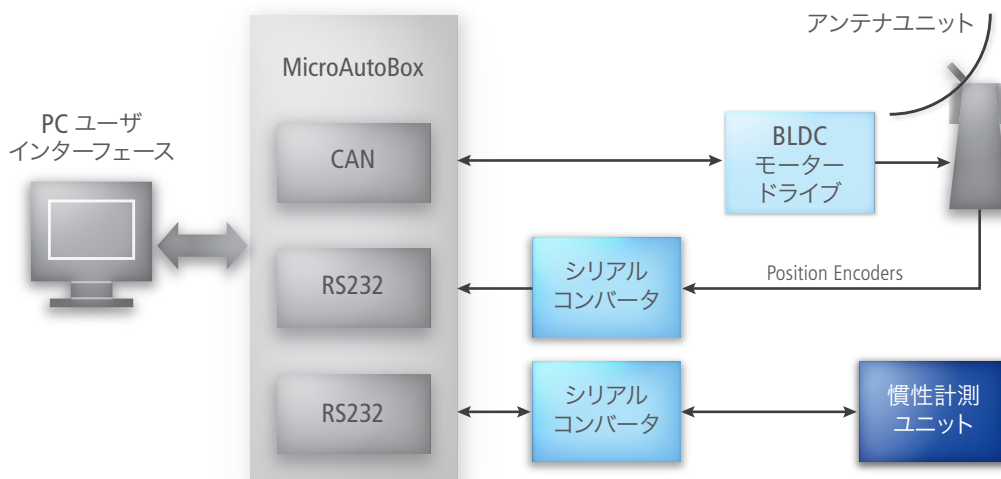


図 3 : テスト用 dSPACE ハードウェアの標準的な構成

#### 次のステップ

異なるアプリケーションへの適合が容易であることから、現在所有している dSPACE ハードウェアは、今後もプロトタイプおよびテスト装置として、大いに役立つものと期待しています。プロジェクトのニーズから自動コード生成に対する要求が高度化する中、dSPACE エンジニアの支援を受けながら、TargetLink の機能についての理解を引き続き深めてゆく予定です。DO178B 規格への適合性の証明が、今後の極めて重要な課題となります。TargetLink は、そのような将来の要求に対しても、十分に応えてくれるものと確信しています。■

Ed Hagger  
Astrium, Secure Satcom Systems

#### まとめ

UAV、衛星、地上基地間の円滑な無線通信を実現するには、機体が運動する中でアンテナの向きを 10 分の数度の許容範囲内に確実に制御することが重要です。慣性航法システム (INS) で検出した機体の運動に基づいて、アンテナ方向制御用モーターに対するコマンドを算出します。各種の外乱要因 (ノイズ、アライメント誤差、駆動遅延、EMC、サンプリングの影響など) を考慮する必要があります。試験施設では、実測またはシミュレートした航法データを入力して、実際の飛行状態におけるアンテナの連続的な方向制御プロセスをシミュレートしました。

システムに関連するすべてのコンポーネントの評価に、dSPACE ハードウェアおよびソフトウェアを使用しました。最後に、アンテナ ECU 用の量産コードの生成には、TargetLink (dSPACE の量産コード生成ツール) を使用しました。dSPACE ツールは、開発の早期段階でハードウェアを使った現実的な評価を可能とし、日程通りにシステムを完成させるために、決定的な役割を果たしてくれました。

三菱重工では、高速油圧アクチュエータを使った可変バルブ試験装置 (Engine Valve Control System : EVC) による内燃機関のさらなる最適化の研究を進めています。EVC システムは、任意のリフトパターンでバルブを駆動でき、高回転まで非常に柔軟なエンジン運転を可能とします。試験用制御ユニットとして、DS1006 をベースにした dSPACE マルチプロセッサリアルタイムシステムを使用しています。

#### 可変バルブ制御

可変バルブシステムは、既に多くの量産エンジンに採用されていますが、さらなるエンジン効率の向上を目指して、吸気バルブによる吸入空気量制御、ノッキングの抑制、内部 EGR 制御などの研究が進められています。可変バルブ制御は、可変自由度の異なる各種の方式で実現できます。将来のエンジンでさらなる最適化を達成するには、バルブ開閉タイミング、リフト量、作動角、吸排気バルブのオーバーラップだけでなく、バルブプロフィールそのものを任意に変更できる自由度の高い可変バルブシステムが望まれます。

#### 電磁式と油圧式のアクチュエータ

可変バルブ制御には、電磁式または油圧式のアクチュエータが用いられます。電磁式アクチュエータは応答性に優れる反面、出力が小さいため無段階のリフト制御に

は対応できません。このように電磁式はリフトパターンの精密な再現には適さないため、多くの場合 ON/OFF 制御にのみ用いられます。

これに対し油圧式アクチュエータは、出力が高く制御性に優れる反面、一般的に応答性に劣るため、高回転まで追従させることが難しいのが欠点でした。

そこで三菱重工では、長年培った油圧制御技術をいかして、EVC システム用の小型で高速な油圧式アクチュエータを開発しました。

#### EVC システムの構造

EVC システムは、シリンダヘッドに取り付けたバルブ駆動用油圧アクチュエータ (図 1)、高圧作動油の流量と方向を制御するサーボ弁、アクチュエータの位置制御用装置と、油圧ポンプなどの補機により構成されます (図 2)。



More Efficient

# Combustion Engines

高速油圧アクチュエータを用いた  
カムレス可変バルブ試験装置の開発

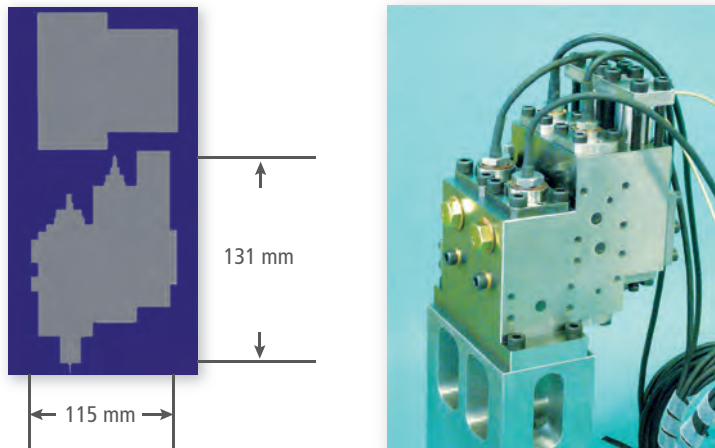


図1：EVC アクチュエータの寸法（左）と構造（右）

「動的応答に優れた油圧アクチュエータを開発することが目標でした。dSPACE システムにより、開発期間を大きく短縮することができました」

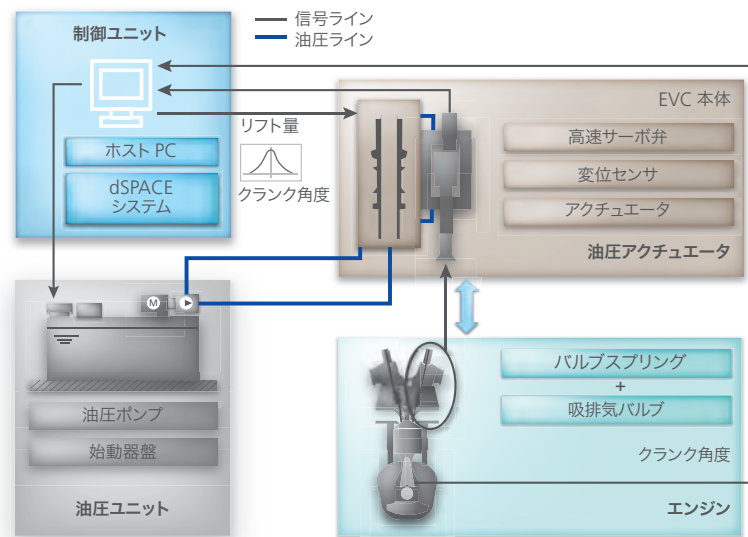
三菱重工業株式会社、上原 氏

#### EVC システムの特長

EVC システムの特徴は、高回転でも精度良くリフトパターンを再現できる高速追従性にあり、これを実現しているのは、EVC 専用の高応答サーボ弁とリアルタイム補償制御ロジックです。

サーボ弁は三菱重工の新開発であり、最大 6 m/s のアクチュエータ速度で動作し、約 2 ms 周期でバルブを開閉可能です。このサーボ弁により、高回転でのリフトパターン追従性を高めながら、小型エンジンにも搭載可能なサイズを実現できました。

図2：制御ユニットを含む EVC 試験システム全体の構成図



#### 試験施設での試作機の制御

制御装置は、アクチュエータの位置制御や安全監視を行う dSPACE リアルタイムシステム (DS1006 ベース) と、リフトパターンの設定やシステムのリアルタイムモニタを行うホスト PC により構成されます。システムの制御ソフトウェアは、小野測器との共同開発によるもので、dSPACE リアルタイムシステム上で動作し、アクチュエータピストン位置をフィードバック制御することにより、リフト波形を高い精度で再現します。また、トランジェントモード運転 (回転変動、トルク変動などの過渡運転モード) にも対応可能です。

また制御装置では、過大な偏差やアクチュエータ位置とピストン軌跡間の異常接近などの機械的動作も監視し、さらに、バルブとピストン間の衝突を回避するなどの各種安全機構も備えています。

#### 多気筒エンジンでのファイアリング試験

ファイアリング状態で試験するために、EVC システムのアクチュエータを 4 バルブ 4 気筒ディーゼルエンジンのシリンダヘッドに取り付けました。

まず、通常のカム駆動時と、EVC システムでカムと同じリフトパターンを再現した時の筒内圧を比較しました (図 3)。両者の結果がよく一致していることから、EVC を使って通常のカム駆動と同等の精度が得られることを確認できました。次に、EVC で運転している時の各気筒の筒内圧を比較しました (図 4)。筒内圧に気筒間の差異がほとんど見られないことから、EVC システムが良好にリフトパターンを再現できていることが明確となりました。EVC システムは、常にクランク角度を検出

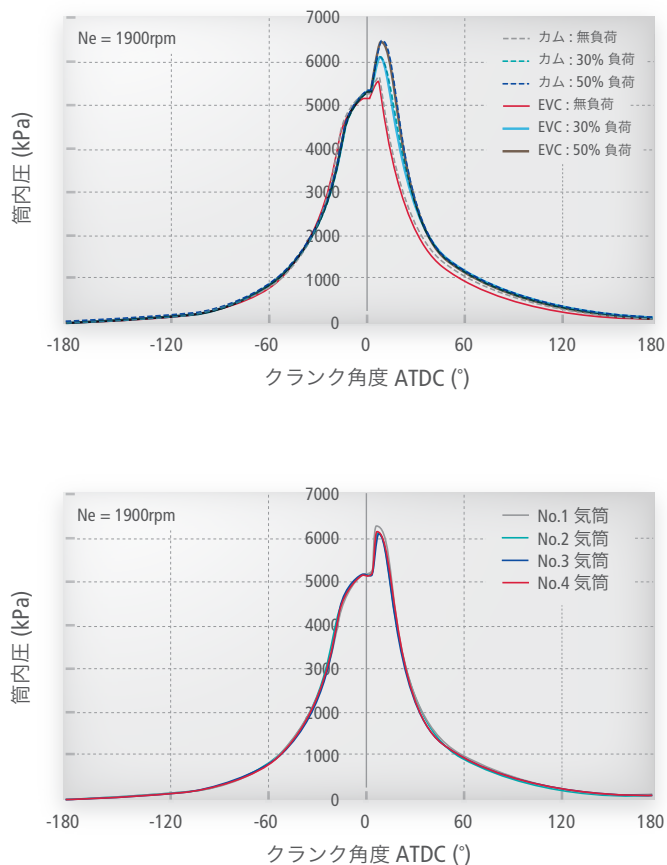


図 3：通常のカム駆動方式と EVC システムの筒内圧の比較

図 4：4 気筒エンジンの気筒間筒内圧比較

しながら高速にバルブリフトを制御するため、回転数が変化するトランジェントモードでも追従可能です。このため試験では、スタータモーターによる始動から燃料カットによる停止まで、あるいはエンジン回転数が上昇しても下降しても、すべての試験条件で EVC の設定を変更することなく、スムーズに試験を行うことが可能です。■

三菱重工業株式会社  
上原 龍児

## まとめ

多気筒エンジンによる試験では、気筒間の筒内圧の差異がほとんど見られなかったことから、EVC システムがリフトパターンを高い精度で再現できることを実証しました。また、新燃焼技術の研究に EVC システムを適用した別の事例においても、短期間のうちに燃焼改善効果が得られる条件を見つけ出すことができ、その有効性が示されました。試験用制御ユニットとして使用した dSPACE システムは、柔軟性に優れるため、設定の変更や新しいアイデアを素早くシステムに適用できました。当システムは非常に使いやすく、動作も安定していました。dSPACE システムにより、新燃焼技術の熱効率を短期間で改善できました。今後の開発では、EVC システムをエンジンベンチと連動させ、エンジンの運転条件に応じた最適リフトパターンを自動的に探索することを視野に入れています。

上原 龍児 氏  
三菱重工業株式会社  
原動機事業本部  
下関設計・製造部





# China on the Fast Track

中国鉄道機器メーカーによる dSPACE HIL を使用したトラクションコントロール  
ユニット (TCU) の迅速な開発



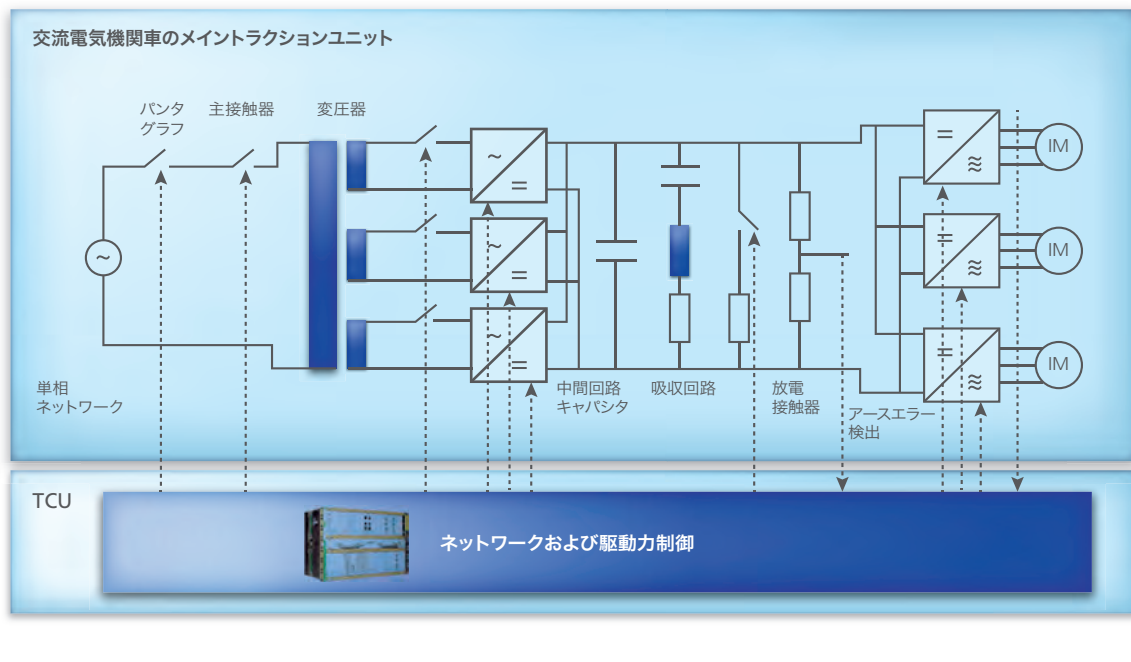


図1：交流電気機関車のTCUおよびメイントラクションユニット

## 背景

中国は、その世界最大の人口と世界第2位の経済力を背景に、旧式で低効率な主要輸送インフラストラクチャである鉄道を根本的に変革しつつあります。わずか5年足らずの間に、旧式な鉄道から最新式の包括的なシステム（地下鉄から欧州のTGVやICEのような高速列車まで）へと一新させることに成功しています。また、このトレンドは、地方の鉄道機器メーカーにとっても、巨大なビジネスチャンスをもたらしています。中国北車集団（CNR）のグループ企業である大連電気駆動研究開発センターは、巨額の国庫補助金を活用して、交流電気機関車用のトラクションコントロールユニット（TCU）の開発に着手しました。このプロジェクトでの非常にクリ

ティカルな要素は開発サイクルにあります。すべてをゼロから始めることになるため、さまざまな診断機能を含め、ほぼすべての機能を徹底的に評価および試験する必要があります。フルスケールのパワーテストベンチをセットアップする時間はありません。このような事情を考慮して、大連電気駆動研究開発センターでは、開発するTCUのソフトウェアおよびハードウェアの試験に、自動車産業で広く使用されている、HIL（Hardware-in-the-Loop）アプローチを採用することにしました。

## TCUの説明

TCUとはTraction Control Unit（トラクションコントロールユニット：駆動力制御装置）を短縮した略語であり、交流電

気機関車のメイントラクションユニットの最適制御を受け持つシステムです。メイントラクションユニット（主駆動装置）は、パンタグラフを通じて架線から固定周波数の交流電力を引き込み、可変周波数の交流電力に変換して、台車内の駆動モーターを制御します（図1）。TCUは、一般的に給電用の部分と駆動モーター用の部分で構成されます。給電側は給電部の力率の制御とDCリンクの電圧の安定化を行い、駆動モーター側は、必要なトルクと速度を達成するためにインバータおよび駆動モーターの制御を行います。

## HILアプローチが採用された理由

自動車産業の場合と同じように、HILシミュレータは、電気機関車走行制御用ソフ

「dSPACE DS5203 FPGA Board を使用して、独自に開発したシミュレーションモデルを 100 ns で実行することができ、リアルタイムシミュレーションデータとパワーテストベンチ上で得られた実験結果とを完全に一致させることができました」

Congqian Xu 氏、中国北車 (CNR) HIL チームスタッフエンジニア





図 2 : この HIL システムは、試験対象 TCU、シグナルコンディショニングユニット、dSPACE モジュール型ハードウェア (DS1005、DS5203、DS5001、DS5101、DS2302) で構成されています。

トウェアの開発および検証においても、非常に効率の良い、不可欠なツールであることが実証されています。Bombardier 社、Alstom 社、ABB 社などの主要国際鉄道機器メーカーは、HIL システムを使用して、複雑な TCU ソフトウェアの開発および試験を行っています。

国際的な競合企業と自動車産業の経験を詳細に研究した結果、CNR の大連電気駆動研究開発センターは、開発の早期の段階でソフトウェアおよびハードウェアの欠陥を検出するために、全開発プロセスで HIL シミュレータを採用しました (図 2)。内燃機関の化学的プロセスとは異な

り、電気駆動装置の電磁的プロセスは、一連の正確な解析方程式を使用して正確にシミュレーションを行うことができます。したがって、TCU 開発の早期の段階から HIL シミュレータを使用して、さまざまな動作条件でのモータートルクに対する、さまざまな変調方式の効果を評価するなど、制御装置のさまざまな機能の検証を行うことができます。IGBT (Insulated-gate bipolar transistor) などのパワーデバイスがモデル内に実装されるため、不正なゲート信号による高電圧装置の損傷を心配する必要がなくなります。

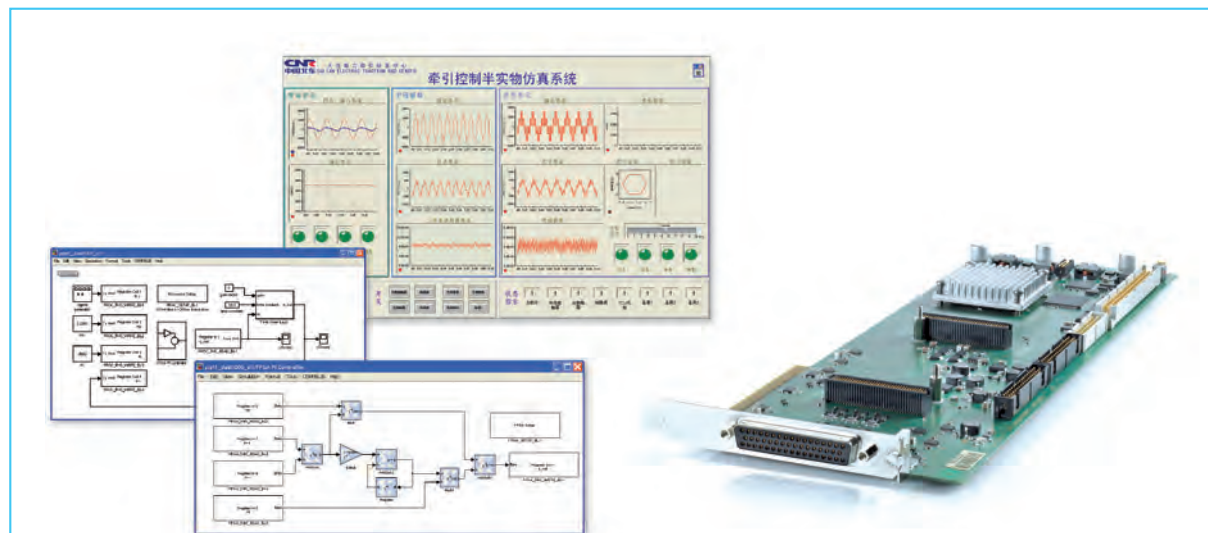
#### 難問の解決

電気機関車用トラクションユニットのようなパワーエレクトロニクスシステムおよび駆動システムのシミュレーションで最も難しい問題は、高周波の電力スイッチゲート信号のサンプリングにあります。たとえば、インバータと駆動モーターのシミュレーションをリアルタイムコンピュータ上で実行する場合、ゲート信号のサンプリング誤差がモーター磁束の計算に累積され、シミュレーション結果に大きな影響を与えます。この誤差は、各ゲート信号の遷移時に発生し、サンプリング時間とゲート信号のスイッチング時間の比が大きくなるにつれ

## 「自動車産業のさまざまな領域で、その価値が広く証明されている dSPACE HIL シミュレータを使用することにしました」

Xiangdong Che 氏、中国北車 (CNR) 電気駆動開発部長

図 3 : このプラントモデルは、RTI FPGA Blockset および Xilinx® System Generator のブロックを使用して、Simulink® でグラフィカルに実装されています。



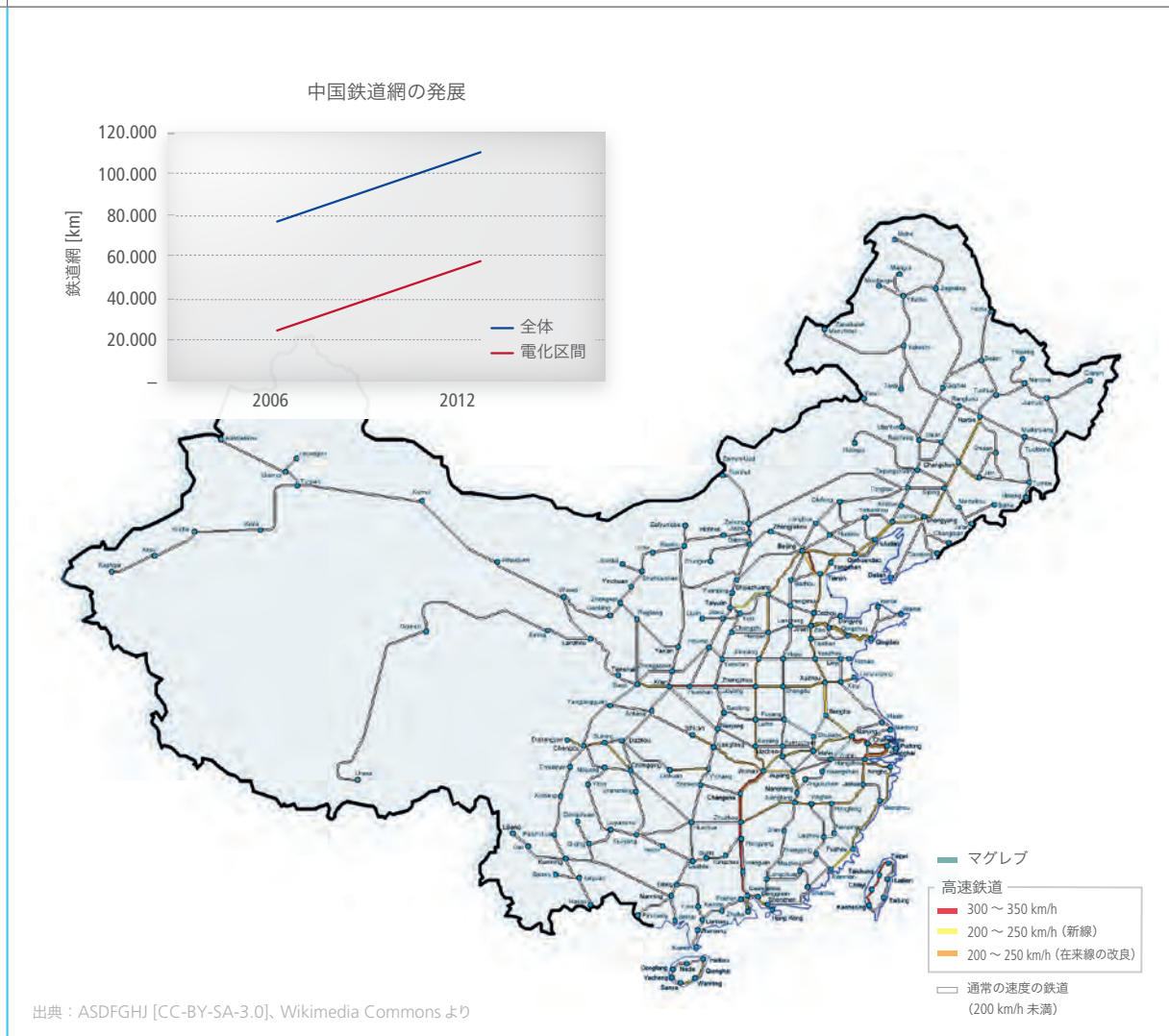


図 4：この 6 年間で中国鉄道網の電化区間が倍増しました。

「電気機関車の場合、統合試験だけではなく開発初期の段階で活用できるため、dSPACE シミュレータの利点がさらに大きくなります」

Xiangdong Che 氏、中国北車 (CNR) 電気駆動開発部長

て誤差も大きくなります。経験則によれば、HIL 試験の申し分のないシミュレーション結果は、この比が 1/100 のときに達成されます。つまり、高度にダイナミックなモーター制御で一般的に使用される 10 kHz のゲート信号のサンプリングを行うには、リアルタイムシミュレータのタイムステップが  $1 \mu s$  でなければなりません。このタイムステップ要件は、HIL ベンダーにとって非常に大きな問題となります。

なぜなら、このように小さなタイムステップでシミュレーションモデルを実行できる CPU は存在しないからです。現在の技術では、並列コンピューティングでも、この問題を解決することはできません。そのため、近年、この問題を解決するために FPGA ベースのソリューションが開発され、非常に良い結果を達成しています。ただし、一般的な商用ソリューションでは、HIL ベンダーによる計算ハードウェアの再構築が必要となり、顧客によっては、ハー

ドウェア合成テクノロジーは言うまでもなく、ハードウェア記述言語 VHDL や Verilog のコーディングが問題になることがあります。新たにリリースされた dSPACE DS5203 FPGA Board を使用することにより、これらの問題をエレガントに解決することができます。CNR では、dSPACE RTI FPGA Programming Blockset と Xilinx System Generator を使用することにより、Simulink によるシミュレーションモデルを短時間で構築し、ピットスト

リーム内でコンパイルと合成を行い、ボードにダウンロードしています。これらの作業はすべてが自動的に行われます。FPGAの再構成をグラフィカルな環境で行うことができ、VHDLやVerilogによるコーディングの知識は不要です。大連電気駆動研究開発センターでは、この機能を使用して、オリジナルのモデルを移植し、FPGAモデルとして、比較的簡単にDS5203ボード上で実行することができました(図3)。DS5203上の強力なFPGAデバイスXilinx Virtex 5により、非常に大きく複雑なモデルをFPGAデバイスに実装することが可能になります。CNRの大連電気駆動研究開発センターでは、さらにいくらかの最適化を行って、3個の4QCコンバータ、1個のDCリンク、3個のインバータと3個の駆動モーターで構成される、完全なメイントラクションユニットを単一のDS5203ボード上に実装することができました。FPGAの並列計算機能を使用して、メイントラクションユニットのシミュレーションを100 nsのタイムステップで実行することができ、非常に正確なリアルタイムシミュレーション結果が生成されます。■

Dr. Xizheng Guo  
Congqian Xu  
Xiangdong Che  
中国北車股份有限公司 (CNR)

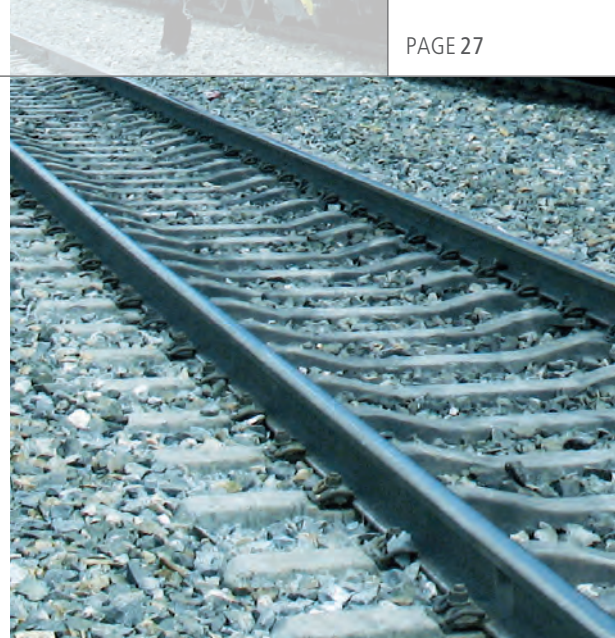
#### Congqian Xu 氏

同氏は、中国の大連市にある中国北車 (CNR) 集団の電気駆動研究開発センターのHIL試験チームのスタッフエンジニアです。



#### Dr. Xizheng Guo

同博士は、電気駆動装置の研究者であり、中国の大連市にある中国北車 (CNR) でHILシステム開発責任者を務めています。



## 結果および将来計画

開発の非常に早い段階からdSPACEシミュレータを使用することができ、パワーテストベンチを使用してアルゴリズムの検証を行う必要性が減少するため、TCUの開発サイクルが大幅に短縮されました。さまざまな条件下でのTCUのソフトウェアおよびハードウェアの試験を、パワーデバイスおよび電動機を損傷する危険を伴わずに、簡単に実施することができるようになりました。

電気駆動研究開発センターでは、TCUの開発の成功を基に、大型鉄道車両のTCUの試験用として、DS5203ボードの追加購入を計画しています。また、複数のフルサイズHILを導入してフルスケールの仮想列車を実装し、高速CHR列車用のネットワークで結ばれた電子制御装置の試験を行うことも検討されています。



# Efficiency in the Field

最新式のトラクタでは、従来のギアシフト方式はほとんど使用されなくなっています。Valtra 社の農作業トラクタ Direct シリーズは、無段変速トランスミッション (CVT) の採用により、最適の速度レンジを維持し、燃費の改善と作業効率の向上に貢献しています。

Valtra 社では最適な CVT を探すために、フィンランドのタンペレ工科大学に、市場で入手可能なさまざまな CVT の評価を依頼しました。タンペレ工科大学チームは、新たに開発した静的計算モデルを使用して、さまざまな CVT の属性を牽引力/速度図として視覚化しました。また、流体静圧コンバータの圧力レベルと、すべての回転部分のトルクおよび速度を計算し、総合効率に関する流体トルクコンバータの

効率も調査されました。このようにすることで、さまざまなギア構成の属性を簡単に比較することができました。

この調査で Valtra 社の高度な要求を完全に満たす CVT は存在しないことが明らかになったため、Valtra 社では独自に CVT を開発することを決定しました。

#### CVT に求められる要件

Valtra 社では、高性能高効率の CVT に

必要な要件として、次の項目を挙げています。

- 堅牢な設計
- 簡単な操作
- 自動支援機能によるさまざまな調節制御オプション
- Valtra 社の既存のトランスミッション方式をできるだけ変更しないこと
- コストパフォーマンスの高い製造および運用



パワースプリットドライブラインを使用した無段変速  
トランスミッション (CVT) による出力向上およびコスト削減

図 1 : Valtra 社の Direct トラクタシリーズでは、現在の作業に最適な作業領域を選択することができます。それぞれの速度範囲は 0 km/h から始まり、連続的な速度調節が可能で、後退への切り替えもスムーズに行うことができます。

				
	作業領域 A : 重量牽引/ 特殊作物	作業領域 B : 農作業	作業領域 C : 高速作業	作業領域 D : 道路輸送
0-9 <b>A</b>	<p>低速での耕うん作業や特殊作物の収穫など最も負荷の高い作業用。非常に大きな牽引力が必要となる場合や、極めて正確な速度調整が必要とされる場合に最適。動力取出装置 (PTO) 駆動トレーラによる極めて高い牽引力。</p>	<p>一般的な農作業領域。種まき、中高速の耕うん作業から各種の飼料作業などに最適。異なる作業 (収穫速度など) を簡単な操作で切り替えられることが重要。また森林地帯での輸送作業などにも適している。</p>	<p>耕作地での輸送に最適。各種の現地活動にも適している。重荷重での効率的な始動。</p>	<p>高速での道路輸送に最適。</p>
0-18 <b>B</b>				
0-30 <b>C</b>				
0-50 (40) <b>D</b>				
0                      km/h                      50				

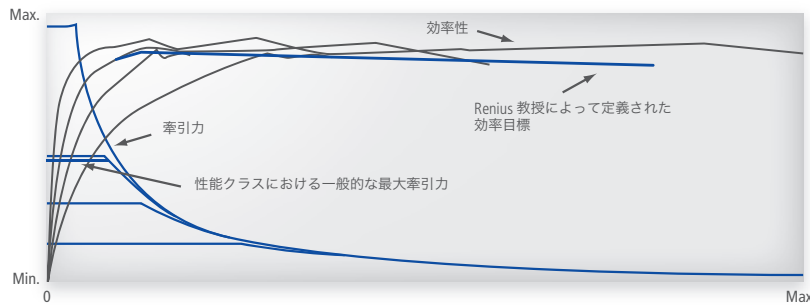


図2：全負荷時のトランスミッションの効率。達成された効率は、Karl Theodor Renius 教授によって定義された目標を満たしています。Renius 教授は、ドイツのミュンヘン工科大学の農業用機械の教授であり、トラクタの調査および技術移転、および農業工学教育に関する業績により国際的に広く知られています。

「dSPACE HIL シミュレータを使用することにより、考えられるすべてのバリエーションを検討してみることができました」

Ville Viitasalo 氏、Valtra 社

- 寒冷地の条件に適合すること
- 高耐用性
- 保守性

静的計算モデルを使用して、考えられる数百のバリエーションの中から最適のソリューションが選択されました。

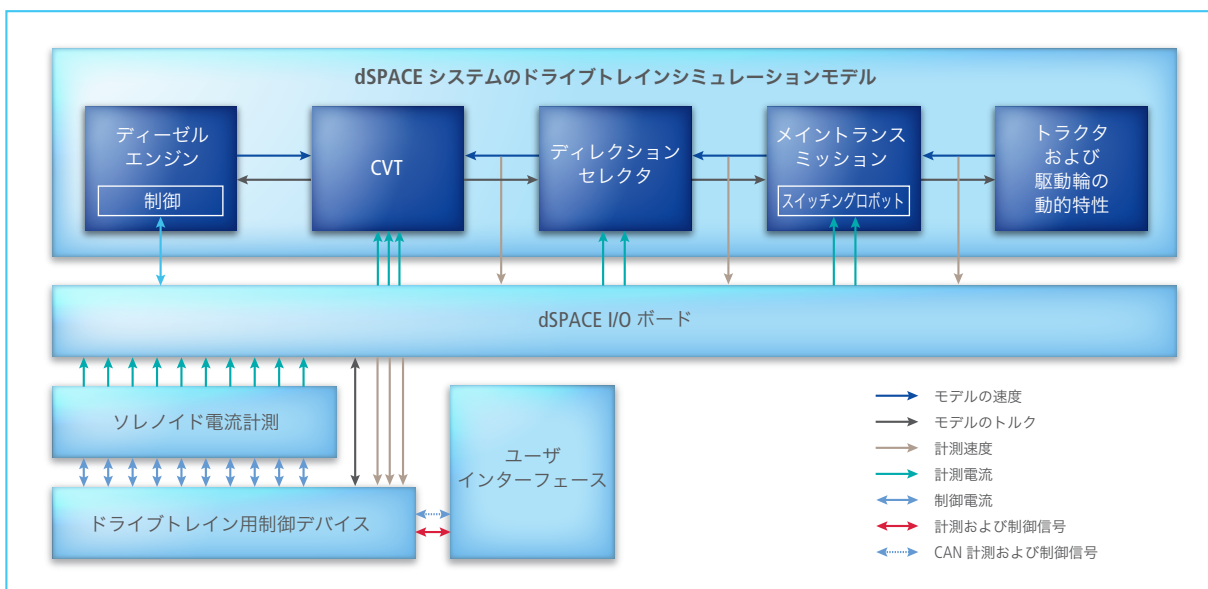
作業領域ごとに異なる駆動ストラテジ

Valtra 社では、トラクタのさまざまな操作モードの分析を行い、それぞれの作業

領域ごとに最適の駆動ストラテジを開発しました。すべての駆動ストラテジは 0 km/h から始まり、連続的に加速して最高速度に達します。この CVT は、Linde Hydrostatic Drive に取り付けられたパワースプリットドライブラインで構成されています。作業領域の切り替えは、多板式クラッチによって行われます。パワーシフトディレクションセレクトアによって、発進および、作業領域 A および B で

の 10 km/h 以下の走行速度で可能な前進後退の切り替えを円滑に行うことができます。すべての作業領域用のメインギアを、ボタンに触れるだけで選択することができます。実際のギア変更はロボットによって行われます。選択された駆動設計によって、それぞれの作業領域での最適の効率が達成され、K.T. Renius 教授によって定義された効率目標を満たしています (図 2)。

図3：dSPACE HIL システムは、Valtra 社での CVT 用制御アルゴリズムの試験に使用されています。



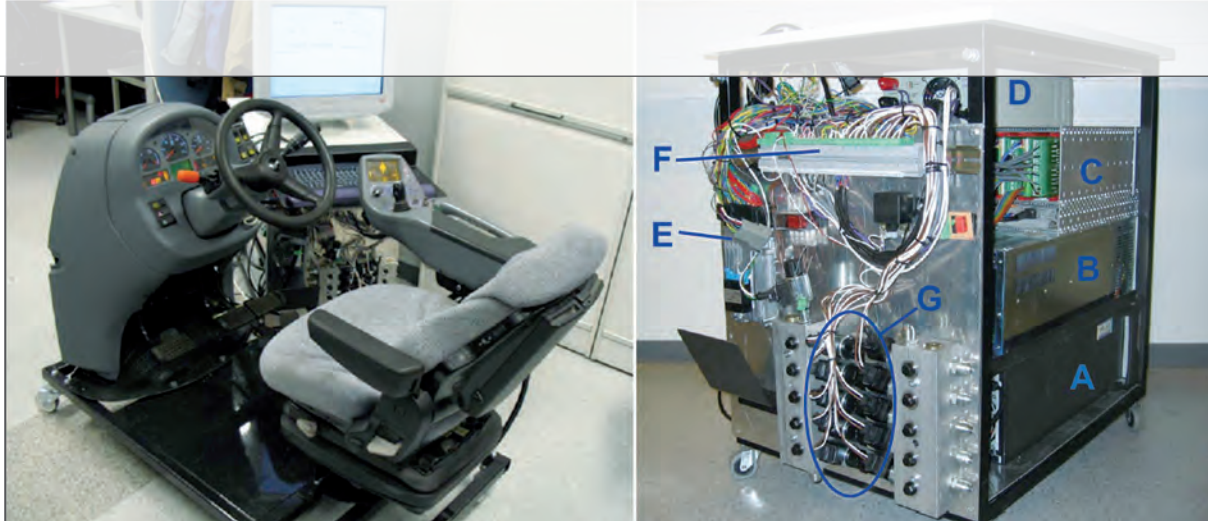


図4：HILのユーザインターフェースおよびシステム（A－PC、B－プロセッサボードおよびI/Oボードを装備したdSPACE AutoBox、C－変圧器、D－電源、E－ドライブシャフト制御システム、F－コネクタ、G－ソレノイド）

「このプロジェクトは、産学協同によって卓越した結果が生み出されることを示しています」

Dr. Mikko Erkkilä、タンペレ工科大学

#### HIL シミュレーションを使用した CVT 制御装置の開発

新しいCVT用の駆動制御装置を開発するために、ディーゼルエンジンから牽引トラクタホイールまでのすべてが含まれた、動的ドライブシャフトモデルが作成されました。Valtra社は、この動的モデルを基にしてHIL（Hardware-in-the-Loop）システムを構築し、このシステムを使用して、制御アルゴリズムの開発とドライブシャフト

制御システムのプログラミングを行いました。

このHILシステムは、シミュレーションモデルを実行するdSPACEプロセッサボードと複数のdSPACE I/Oボードで構成されています。制御信号を測定し、デジタル値に変換して、シミュレーションモデルの制御を行います。制御および測定信号の一部は、SAE J1939規格に準拠したCANバスを通じて送信されます。HILシ

ミュレータを使用することにより、開発者の机上で、現実的な条件の下での制御デバイスの試験を行うことができます。エラーおよび危険な状態を広範囲にチェックすることができ、制御システムの安全性の向上を図ることができます。■

Dr. Mikko Erkkilä、  
タンペレ工科大学、フィンランド  
Ville Viitasalo、Valtra社

#### Dr. Mikko Erkkilä

同博士は、Valtra社と協同してタンペレ工科大学の論文“Modeling and Simulation of CVT Drive Lines”（CVTドライブラインのモデリングおよびシミュレーション）を執筆しました。現在はフィンランドのヴァンター市にあるHydac社の技術コーディネータを務めています。



#### Ville Viitasalo 氏

同氏は、フィンランドのオスロラフティ市にあるValtra社のトランスミッションチームのチームリーダーを務めています。



#### まとめ

静的計算モデルは、新しいトランスミッションおよびドライブシャフトコンセプトを開発するための強力なツールです。シミュレーションによって支援された設計ツールと、定常状態モデル、動的モデルおよびHILシミュレーションモデルのすべてが設計時間の短縮とコストの削減を可能にします。そのため、仮想試験および実地試験、マシンの機能性および信頼性の向上に割り当てる時間と労力を増やすことができます。また、産学協同による大きな成果も得られました。実用的な技術と理論的な知識の出会いによって、卓越した結果が生み出されました。

シュトゥットガルト大学の学生による革新的なバッテリーマネジメントシステムを搭載したレース用電気自動車の開発

# A winning Formula





## E0711-2

モーター：	永久磁石同期モーター 50 kW × 2
制御装置：	MicroAutoBox II
充電式電池：	リチウムポリマー電池 588 V
重量：	266 kg
加速性能：	0 - 100 km/h 3.0 秒



Formula Student には、電気レーシングカーの安全性に関する厳格なルールが存在します。GreenTeam Uni Stuttgart では、高速車両の開発に dSPACE テクノロジを使用することにより、安全性を保証しています。ビークルダイナミクスの制御、安全システムの監視、バッテリーマネージメントには、新しい dSPACE MicroAutoBox II が使用されています。

### GreenTeam による Formula Student Electric への参加

GreenTeam Uni Stuttgart は、Formula Student Electric のルールに従って電気レーシングカーの開発製造に取り組んでいる非営利団体で、30 名を超える学生メンバーが参加しています。電気レーシングカーのアイデアおよび設計から、部品製造、プロトタイプを組み立ておよび試験まで、すべての開発プロセスを学生たちだけで行っていることが特徴です。このチームは 2009 年に設立され、その目的は純粋な電気式駆動装置を搭載した Formula Student レーシングカーを開発し、Formula Student Electric レースに参加することです。

学生メンバーは、彼らにとって初めての電気レーシングカーを開発するにあたり、このレーシングチームの 2008 年度優勝車両である内燃エンジン駆動の F0711-3 をベースにして改造および最適化を行いました。主要な作業は、モーター、高電

圧バッテリー、必要な制御システムの統合でした。

### 電気自動車用コンポーネント

2010 年 / 2011 年シーズン用に開発されたレーシングカー E0711-2 は、出力 50 kW のモーター AMK DT7-80-20-POW が 2 つ縦置きに配置され、それぞれが独立して左右のリアホイールを駆動します。必要な駆動電圧は高電圧リチウムポリマー (LiPo) 電池から供給されます。この電池の容量は 8.4 kWh で、最高電圧は 588 V、エネルギー密度は 180 Wh/kg です。シュトゥットガルトチームのレーシングカーの電池は、140 個のセルを直列に接続し、それを 3 つ並列に接続した構造です。

### バッテリーマネージメントシステムの機能

バッテリーマネージメントシステム (BMS) は、監視および制御が必要な、多数の充電式セルが接続されたバッテリーの電氣的

および熱的なプロセスを制御します。自動車用テクノロジーとしての BMS は、車両のさまざまな走行状態の制御、バッテリーの寿命および性能の最適化、さらに、必要に応じてバッテリーを安全な状態にする機能も備えていなければなりません。たとえば、車両のスイッチをオフにすると、BMS はスリープモードに移行します。車両がウエーキングモードの場合 (周期的にこのモードになるようにプログラムできます)、BMS は、電圧、電流の大きさ、温度などの変数の不規則性や欠陥を監視することができます。これらの値は、リアルタイムでドライバーおよびレーシングチームに送信され、適切な対応を可能にします。

### バッテリーマネージメントシステムの要件

Formula Student Electric Germany (FSE) のルールでは、E0711-2 レーシングカーのバッテリーシステムは、セルが所定のパラメータ限界値を超えた場合に自動

的にオフにする必要があると規定されています。この BMS の機能範囲全体をカバーするには、さまざまな入力変数をキャプチャして評価することにより、バッテリーの管理を最適化する必要があります。このような変数には、個別のセルの電圧や温度などが含まれます。過充電、過放電、過電流、短絡、周辺温度などの状態もキャプチャする必要があります。このようにすることによって、性能が低下したり故障したバッテリーセルが、直列に接続されている他のセルに影響を与え、総合的な性能を損なうリスクを最小化することができます。Formula Student Electric の場合、この機能は特に重要になります。Formula Student Electric では長距離レース (22 km) であっても、電気レーシングカーのバッテリーは充電せずにゴールまで持ちこたえる必要があるからです。

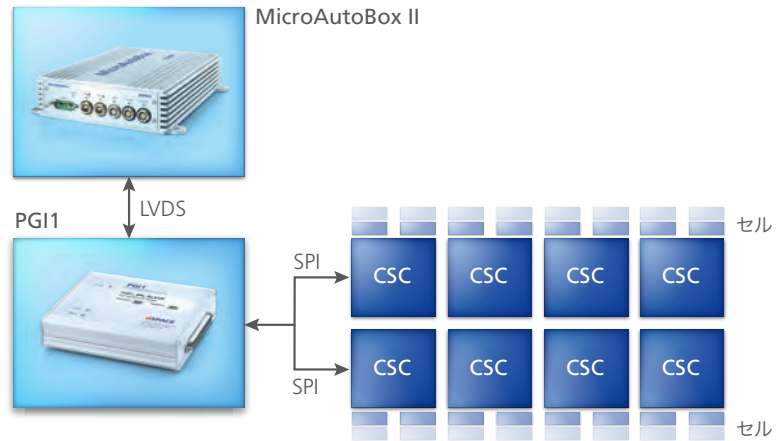
#### BMS の概念

このチームがバッテリーの信頼性を確保するために使用しているアプローチは、消費される電力を、温度 T と充電状態 SOC の関数として制御する方法です。過充電および過放電は、インターバル制御によって防止されています。充電プロセスは、上限 (4.2 V) で中断され、すべてのセルが

最も低い電圧に平均化されます。すべてのセルが同じ電圧になると、再び 4.2 V になるまで充電が再開されます。充電プロセスは、すべてのセルが最大の SOC に達するまで、このような反復方式で継続されます。電圧が下限 (3.5 V) に低下すると、バッテリーの負荷が下限値を下回らないよ

うに、システムによって予想電圧降下の計算が行われます。

BMS は、SOC 曲線、温度および残りの走行距離を使用して、放出する電力の量を計算することができます。この計算には、dSPACE MicroAutoBox II が使用されています。

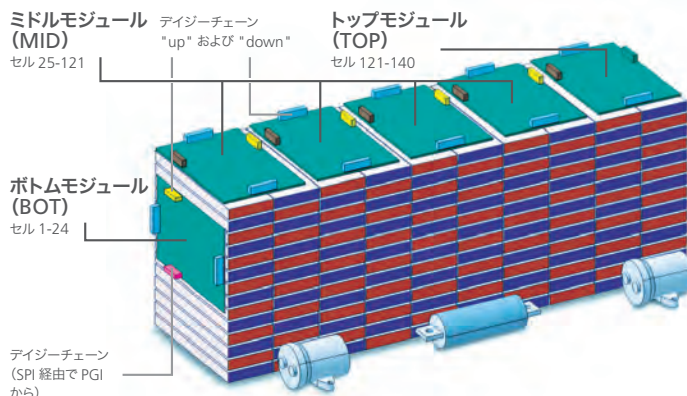


バッテリー管理システム : dSPACE MicroAutoBox II が LVDS バス経由で dSPACE インターフェースモジュール PGI1 に接続され、BMS の制御を行っています。PGI1 は、個別のセルを監視しているセル監視コントローラからの情報を SPI バスを通じて受信しています。

「MicroAutoBox II と dSPACE Programmable Generic Interface (PGI1) を使用することにより、高電圧バッテリーの基本的な変数を正確にキャプチャし制御することが可能になりました」

Leonardo Uriona, E0711-2 チームリーダー





ボトムバッテリーモジュール (BOT) にはバッテリーセル 1-24 が、ミドルモジュール (MID) にはバッテリーセル 25-121 が、トップモジュール (TOP) にはバッテリーセル 122-140 が収容されています。ボトムモジュールは、SPI 経由で dSPACE PGI1 モジュールへのインターフェースを形成しています。トップモジュールは、データを転送するバスシステムのデジチェーンの終端に位置しています。

### レーシングカーに使用されている dSPACE テクノロジー

バッテリーマネジメントシステムの計算センターとして MicroAutoBox II が使用されています。MicroAutoBox II は、システム全体の監視を行い、低電圧差動信号 (LVDS) バスを通じて dSPACE Programmable Generic Interface (PGI1) から送信されてくる情報の処理を行っています。PGI1 は、Serial Peripheral Interface (SPI) を通じて、個別のセル監視コントローラとの通信を行っています。

バッテリーセルおよびさまざまな制御メカニズムの評価が、dSPACE エンジニアリングソリューションをベースにした BMS

モデルによって行われています。この dSPACE テクノロジーが支援するバッテリーマネジメントシステムは、GreenTeam の設計目標を達成することが確認され、実際のレースでも同じ形式で使用される予定です。このレーシングチームの第二世代の電気レーシングカーによる多くの勝利によって、この車両機能の高い信頼性が証明されています。

### 開発の進捗状況

GreenTeam Uni Stuttgart は、これまで 4 回のレースに参加し、3 回の優勝を果たしています。2010 年度には、ドイツおよびイタリアで総合優勝を達成しました。同チームは 2011 年度にも実力を発揮し、イタリアのレースで二位に入賞しました。これらの成功に鼓舞されて、チームは新たに開発および改良されたレーシングカー E0711-2 で、ドイツのホッケンハイムリンクとイタリアで毎年開催されるレースに参加することになりました。チームは、他の国際レースにも参加することを目指しています。

現在、GreenTeam は、独自開発の第三世代電気レーシングカー E0711-3 の開発に忙しい日々を送っています。■

Edward Eichstetter  
Leonardo Uriona  
GreenTeam Uni Stuttgart



Edward Eichstetter (左)

GreenTeam Uni Stuttgart (ドイツ) の車両統括グループのチームリーダーを務めています。

Leonardo Uriona (右)

GreenTeam Uni Stuttgart (ドイツ) の車載電子制御グループのチームリーダーを務めています。

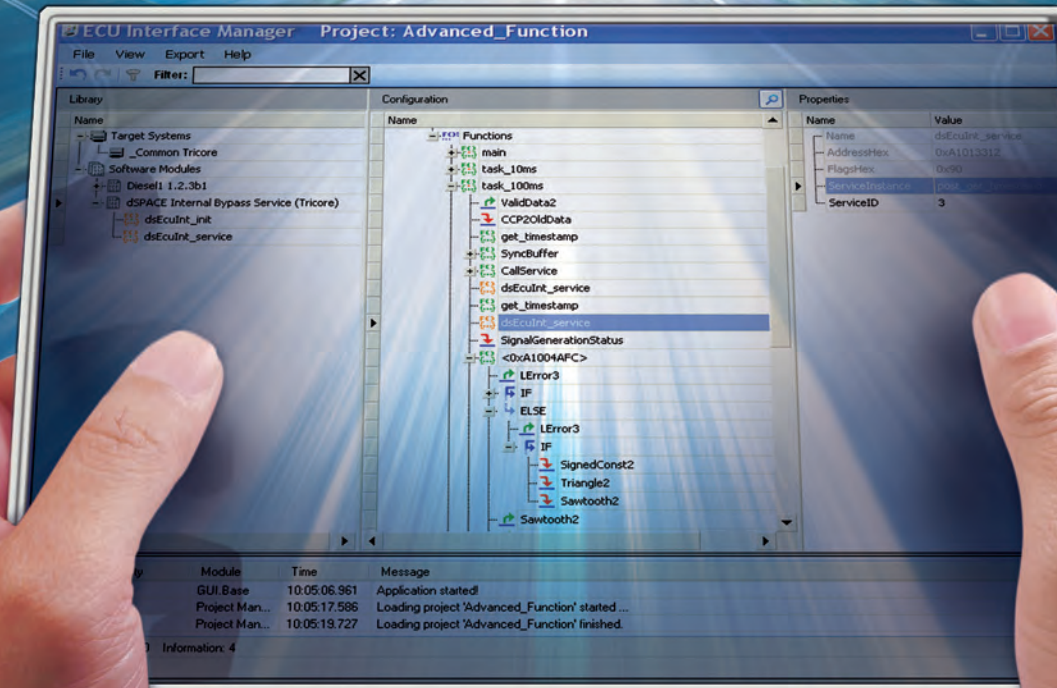


# Bypassing

## without Detours

バイパス処理による高速な機能開発

Detour



ECU Interface Manager と内部バイパスオプションは、高速な機能開発およびサービスベースのバイパス処理に対応した dSPACE のツールポートフォリオを拡張します。現在では、コンパイル済みの ECU ソフトウェアにファンクションコールを直接挿入することが可能となり、新しいアイデアをターゲット ECU に直接実装できるようになりました。ECU のソースコードとビルド環境は必要ありません。



#### 新たな課題

最近では、新世代の車両に対して完全に新規の ECU ソフトウェアを開発することはまれであり、その代わりに既存のコードを適応させています。この手法で実績を上げてきた方法がサービスベースの外部バイパス処理であり、ラピッドプロトタイピングシステムはこの処理を ECU と並行して実行し、新しい機能の計算処理を行います。サプライヤは、バイパスフックと呼ばれる必要なインターフェースを ECU ソフトウェアに統合する必要があり、ソースコードにサービスコールとして挿入します。通常、このプロセスでは自動車メーカーとサプライヤの間で繰り返し協議を行うことになり、場合によっては、プロジェクトの途中で事前に予定していなかった追加ソフトウェアの適応が必要になることがあります。自動車メーカーにとり、これはプロジェクト期間の延長とプロジェクトコストの上昇につながる可能性があります。

また、AUTOSAR ECU には別の課題もあります。自動車メーカーやプロジェクトパートナーによって開発されたソフトウェアコンポーネントを ECU サプライヤがオブジェクトコードとしてソフトウェア全体に統合する場合、一般的に、ECU サプライヤはバイパスフックの挿入による変更を行うことができません。

電気自動車や CO<sub>2</sub> 削減、安全運転支援システムなど、イノベーションを促進する現在の状況によって、適切なプロトタイピング開発環境の必要性が増大しているにもかかわらず、予算面の制約が障害となることがよくあります。そのため、初期導入に適した手頃な価格のシステムに対する需要がますます増えています。その一方で、開発者が高速な制御ループを作成しようとしても、外部バイパス手法を使用することの制限にすぐに直面してしまいます。

#### 解決策：ツールチェーンの拡張

dSPACE は、これらの難しい課題の解決策として、バイパス手法を使用して機能を開発するためのツールチェーンを拡張しました。高性能ラピッドプロトタイピングシステム上での外部バイパス処理に対応した現在のソリューションだけではなく、dSPACE では、オンターゲットプロトタイピングとしても知られる内部バイパス処理もサポートするようになりました。これにより、MATLAB®/Simulink® の統合開発環境において、既存の ECU の RAM とフラッシュメモリの空き容量を使用してソフトウェアの機能を直接開発することが可能となっています。また、新しいツールである ECU Interface Manager も使用可能になりました。エンドユーザはこのツールを使用して、内部および外部バイパス処理用のバイパスフックを、コンパイル済みの ECU ソフトウェアに統合できます。そのため、ECU サプライヤが提供する専用のソフトウェアバージョンは不要となりました。

#### サービスベースのバイパス処理のメリット

dSPACE が提供する内部および外部バイパス処理のさまざまなサービスには、次のようなメリットがあります。

##### ■ モデリング環境におけるバイパスフック設定：

サービスコール（バイパスフック）に対応した ECU ソフトウェアバージョンが利用できる場合、モデリング環境において、開発者は、どのバイパス機能をどのバイパスフックで開始するか、およびどの ECU 変数を読み書きするかを定義できます。

##### ■ データの一貫性：

複数の ECU 変数に対して読み書きを行う場合、ダブルバッファメカニズムによってデータの一貫性を保証することができ

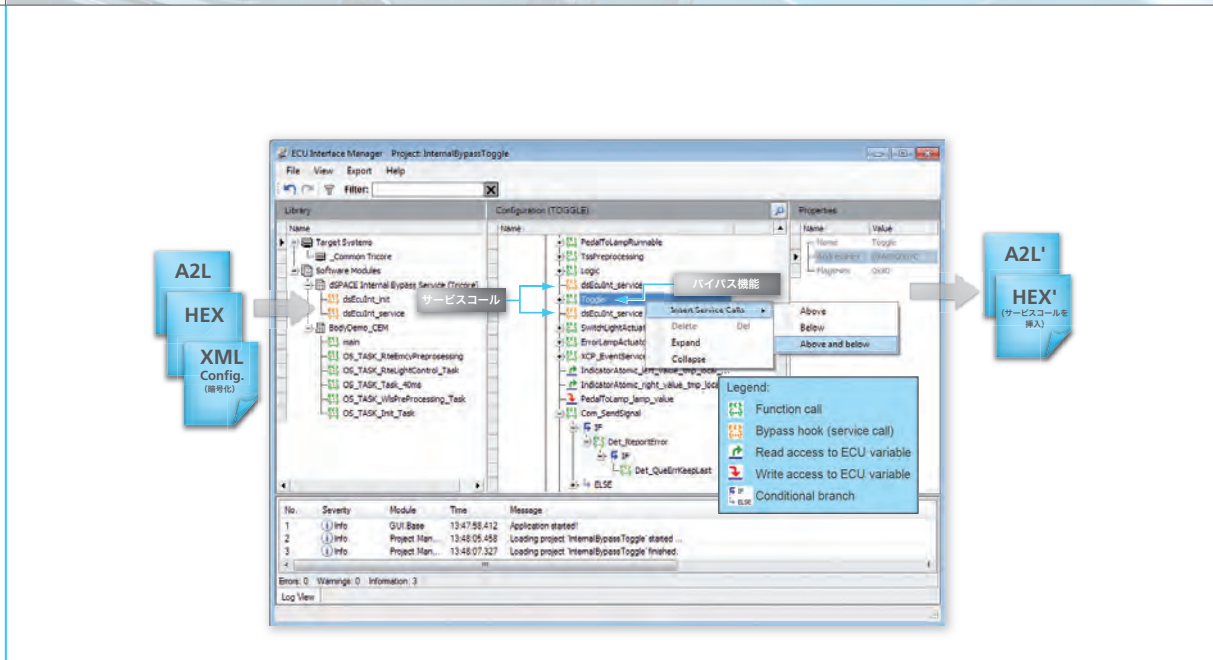


図 1 : ECU Interface Manager によるサービスコールの迅速な統合

ます。このオプションは、バイパス機能の実行、入力値の読み取り、出力値の書き込みを異なる ECU タスクで行う場合に特に重要です。

■ 安全性 :

自動バイパスフック停止機能付きエラーカウンタや、変数書き込み前の妥当性チェックなど、さまざまな安全機能があります。

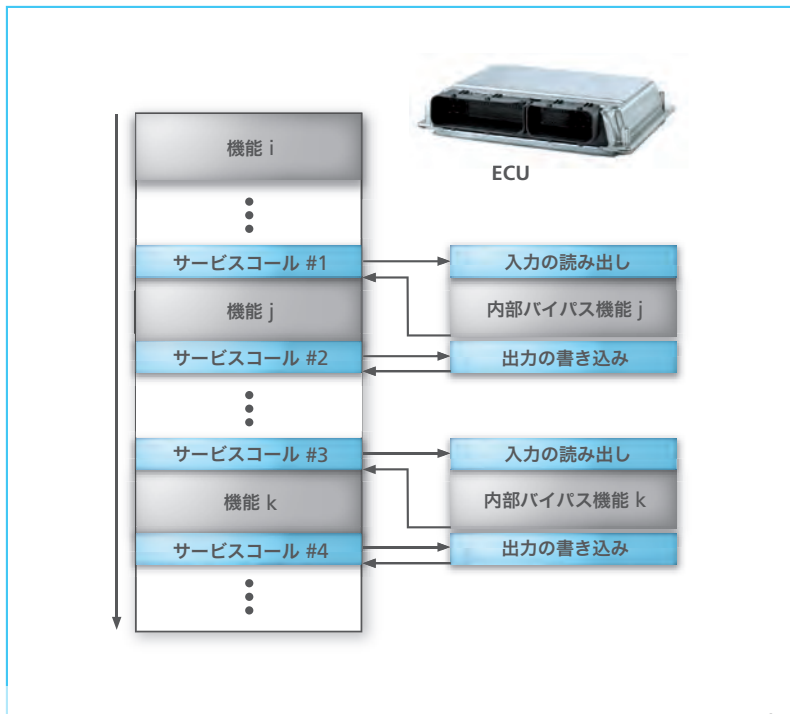
### コンパイル済み ECU ソフトウェアへのサービスコールの統合

内部および外部バイパス処理では、ECU Interface Manager を使用することで、ECU のソースコードを変更せずにサービスコールをコンパイル済みの ECU ソフトウェア (Hex ファイル) に統合できます。Hex ファイルおよび関連する ECU 変数記述ファイル (A2L ファイル) 以外に必

要となる情報は、RAM とフラッシュメモリの空き領域についての詳細な情報、および Hex コードパーサのエントリーポイントなどごくわずかです。通常、これらの情報は、ECU サプライヤによって暗号化された XML 形式で設定ファイルが提供されます。

ECU Interface Manager は、Hex コードを分析してファンクションコールを検索し、ECU 変数と条件分岐にアクセスします。設定ファイルは、ECU Interface Manager でエンドユーザがどの情報を表示できるかを定義します。フィルタ機能と検索機能は、プログラムシーケンスにおける専用の変数アクセスおよびファンクションコールの位置を特定します。サービスコールの位置が特定されると、ユーザは ECU コードにサービスコールを直感的に挿入し、簡単なボタン操作で変更された A2L ファイルと Hex ファイルを生成できるようになります。ECU サプライヤのビルド環境へのアクセスは必要ありません。この方法では、エンドユーザが独力でバイパスフックを ECU ソフトウェアに統合するのにかかる時間はほんの数分です。このように、元のソフトウェアのステータス変更が個別のバイパス処理タスクに限定されるため、メモリ要件および ECU のランタイム動作への影響を最小にすることができます。たとえば、代表的な適用事例では、Infineon TriCore™ マイクロコントローラで内部バイパス処理を行うためのバイパスフックでは、32 バイトの ECU RAM と 2kB の ECU フラッシュメモリが必要となります。

図 2 : 2 つの ECU 機能をバイパスしたサービススペースの内部バイパス処理の実装例



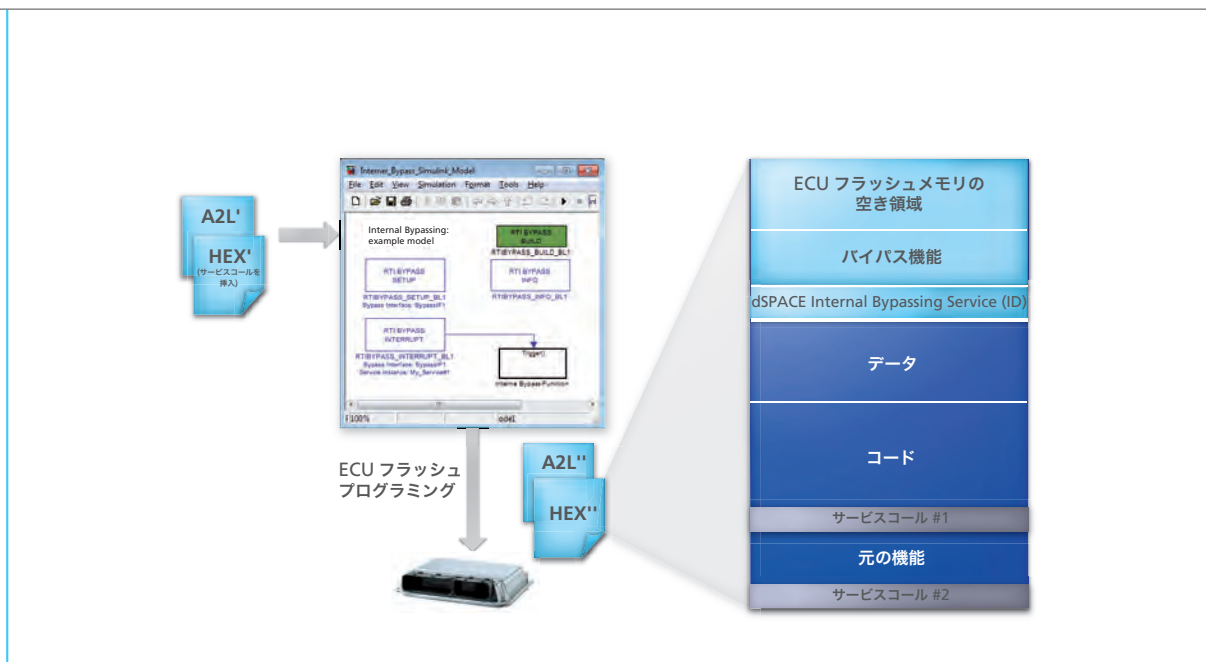


図 3 : RTI Bypass Blockset 用の新しい内部バイパスオプションによりソフトウェア機能を ECU 上で直接開発

### オンターゲットプロトタイピング

RTI Bypass Blockset 用の新しい内部バイパスオプションでは、モデルベースの機能開発を ECU 上で直接実行する機能をサポートしています。これによって、ユーザは、制御モデルを変更しなくても外部バイパス処理と内部バイパス処理を切り替えることが可能になりました。たとえば、内部バイパス処理中に、ECU の RAM およびフラッシュメモリが不足した場合またはセンサ信号の追加が必要となった場合、開発者は、モデルを変更しなくても外部のプロトタイピングシステムにすばやく切り替えることができます。また、これとは逆の切り替えを行うこともあり、たとえば、外部バイパス処理で開発された機能は、車両テストにおいて妥当性を ECU 上で直接確認する必要があります。さらに、外部および内部バイパスの部分を何らかの方法で組み合わせ、1 つの制御モデルにすることもできます。通常、量産バージョンのソフトウェアを搭載した ECU の RAM およびフラッシュメモリの空き容量は非常に小さいので、1 つの可能性として、機能部分の計算処理を ECU 上の超高速ラスタで行い、より低速な制御ループでの計算処理は外部のプロトタイピングシステム上で実行することが考えられます。

関連する RTI バイパスブロック経由での A2L ファイルと Hex ファイルの読み込みが完了すると、モデリング環境において、ユーザは ECU Interface Manager によって事前に統合されたサービスコールを選択し、それらを使用して ECU 変数の

読み書きを実行し、またはバイパス機能呼び出しします。これによって、簡単なボタン操作で制御モデルのコードが生成され、ECU フラッシュメモリの空き領域にリンクされ、元の ECU ソフトウェアにマージされます。その結果、A2L ファイルに内部バイパス機能変数が追加され、実績のあるツールを使用して新しい Hex コードを ECU に書き込めるようになります。モデリングプロセスの間、RAM とフラッシュメモリの利用可能な空き容量は、info ブロックによって表示されます。たとえば、Simulink® Coder™ を使用して、約 400 個のブロックおよび 30 個の入出力変数を持つ制御モデルの 32 ビット浮動小数点コードを生成した場合、Infineon 社の TriCore™ マイクロコントローラでは 30kB のフラッシュメモリと 4kB 未満の RAM が必要であることが分かります。The ECU Interface Manager と内部バイパスオプションは、現時点で Infineon 社の TriCore™ マイクロコントローラをサポートしています。特定のサプライヤが提供する ECU プラットフォームへの依存性はありません。Freescale 社の MPC5xxx など、その他のマイクロコントローラ製品については 2012 年の下半期に対応する予定です。■

### 主な利点：

- エンドユーザが機能バイパスフックをコンパイル済みの ECU ソフトウェアに迅速に統合可能
- オンターゲットプロトタイピングと外部バイパス処理をサポート
- ECU のソースコードおよびビルド環境へのアクセスが不要
- ECU ソフトウェア内のファンクションコール、条件分岐、変数アクセスがグラフィカルに表示されるため、バイパスフックの統合が容易
- モデルを変更することなく、内部バイパス処理と外部バイパス処理を切り替え可能



# AUTOSAR

## 3.2 4.0

量産コードに対する厳しい要求に対応

# TargetLink 3.3

dSPACE TargetLink 3.3 は、従来型の開発プロジェクトからセーフティクリティカルな開発プロジェクト、AUTOSAR 4.0および3.2準拠の開発プロジェクトまでカバーし、量産コード生成における新しいトレンドをリードしています。新しいバージョン 3.3には、AUTOSAR に準拠した開発、Data Dictionary によるデータ管理、コンポーネントベースの作業方法についての総合的な拡張が含まれています。また、TargetLink 3.3には 64 ビットバージョンと 32 ビットバージョンが用意されています。

### AUTOSAR 4.0 および AUTOSAR 3.2 のサポート

TargetLink® 3.3 の設計では、将来的な決定バージョンである AUTOSAR 4.0 および AUTOSAR 3.2 をカバーするため、AUTOSAR サポートの強化に特に注力しました。これにより、同一の TargetLink モデルから、単一の原則を使用して、異なる AUTOSAR バージョン用のソフトウェアコンポーネントを生成することが可能になり、TargetLink を使用する将来の AUTOSAR プロジェクトに新たな可能性を開きました。また dSPACE は、TargetLink によってサポートされる AUTOSAR の言語の範囲、特にモード管理と構造処理の領域の言語サポートを拡大しました。データおよびパッケージパーティショニングにおける TargetLink の柔軟性と使い勝手が向上し、ソフトウェアコンテナコンセプトがさらに最適化され、TargetLink と SystemDesk® の連携が強化されています。開発者は、SystemDesk

と TargetLink の間で透過的で信頼性の高い AUTOSAR ラウンドトリップが可能となり、ユーザの介入は最小限度で済みます。

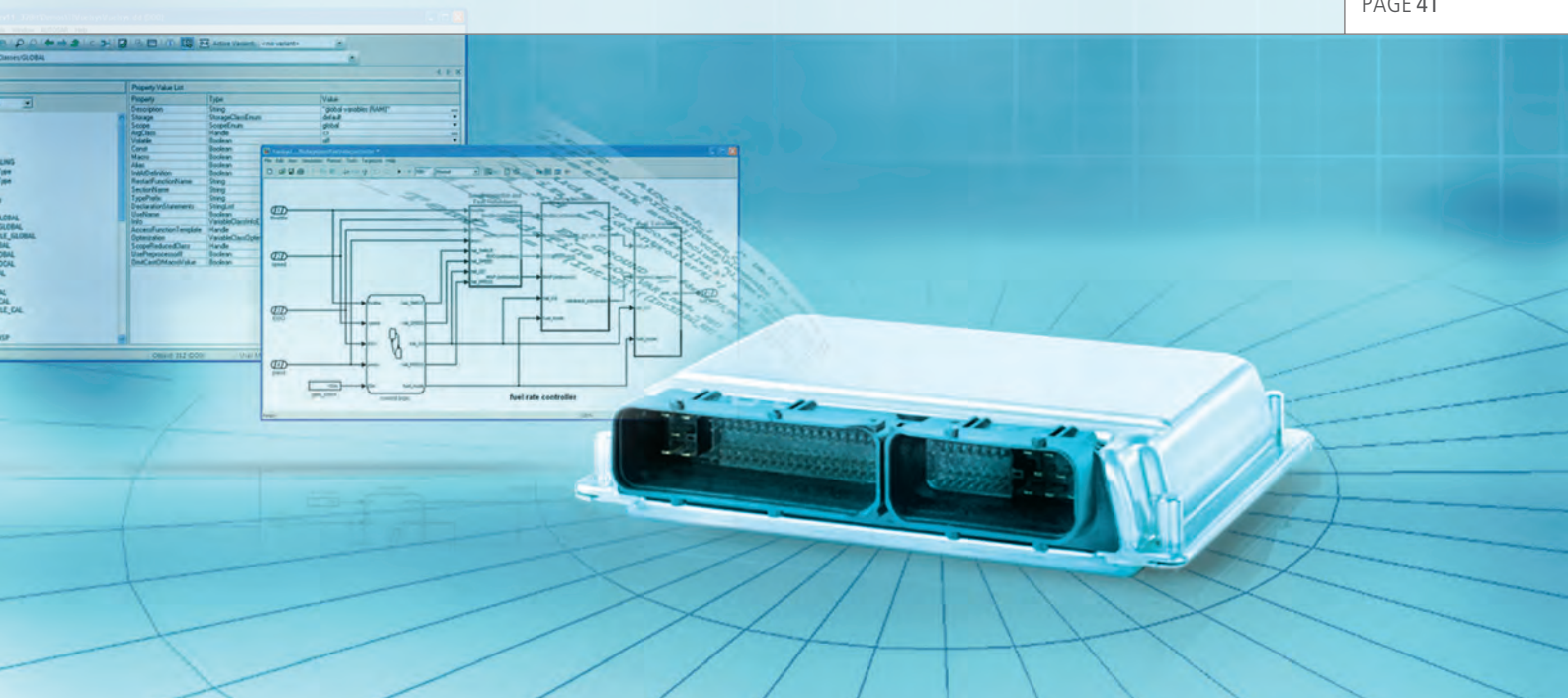
### 大規模モデルの処理が簡単に

TargetLink 3.3 では、開発者が 64 ビットと 32 ビットのどちらのソフトウェアバージョンを使用して作業するかを選択することができます。TargetLink 3.3 の 64 ビットバージョンには、32 ビットシステムではストレージの問題が発生するような大規模モデルが存在する場合に、決定的な優位性があります。また、TargetLink 3.3 では、サブシステムおよび参照モデルに対する、さらに強化されたインクリメンタルコード生成機能により、大規模モデルの処理やモジュール型コンポーネントベースの作業を非常に簡単に行うことができます。さらに、生成されたコードを再利用するための TargetLink 自体の機構も大幅に拡張されています。

### プロセス信頼性の高いエンジニアリング ラウンドトリップに対応したデータ管理

TargetLink 3.3 では、Data Dictionary のデータ管理機能が大幅に改善されています。バージョン 3.3 では、複数の Data Dictionary ワークスペースを扱うことが可能で、さまざまなプロジェクトファイルに接続することができます。これにより、特に、開発プロセス中にプロジェクトグローバルデータを dSPACE Data Dictionary と他のツール間で交換するエンジニアリングラウンドトリップが非常に簡単になります。データは、AUTOSAR ファイル、XML ファイル、または SWC コンテナに格納することができます。変更管理では、TargetLink ユーザは、現在のデータを別のワークスペースにロードして、古いデータとの Diff&Merge を実行するだけで、変更や更新を Data Dictionary に確実に転送し、TargetLink モデルへの影響を検査することができます (図 1)。また、Data Dictionary は、Data





TargetLink 3.3 は、ISO 26262 および IEC 61508 準拠プロジェクトへの使用が認可されています。

Dictionary ファイルの一部を簡単にロードできるようになっていて、その内容の検査や、既存の Data Dictionary プロジェクトへの挿入を行うことができます。

#### モデリング、使いやすさ、コード効率向上のさらなる追求

TargetLink 3.3 には、下記のような、新しいモデリング機能が追加され、使い勝手も向上しています。

- 従来型または AUTOSAR 準拠モデルに対応したマルチレートモデリングスタイル
- シミュレーションデータの視覚化およびアクセス用 API 機能
- Stateflow® チャート関数プロパティ編集用の便利なダイアログ
- Data Dictionary の変数オブジェクトとモデル間の接続が容易

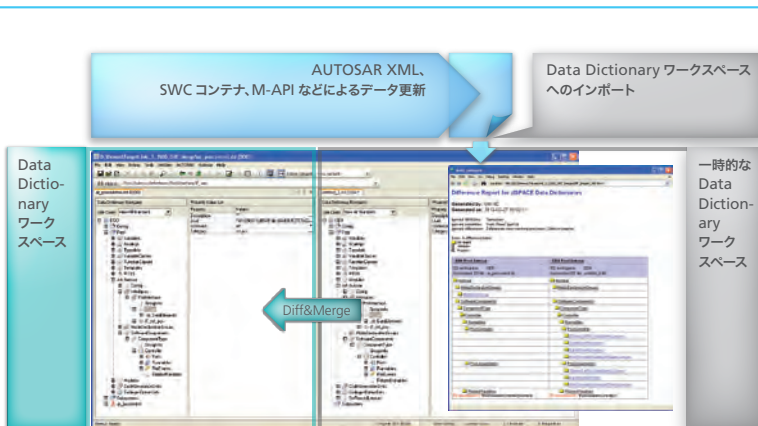
また、変数のライフタイム分析の導入により、生成されるコードの効率もさらに改善されています。

#### 簡単な移行、高い柔軟性

新しいインストール方法により、TargetLink 3.3 を TargetLink の以前のバージョンと並行してインストールおよび

操作できるため、TargetLink 3.1 および 3.2 から TargetLink 3.3 への移行を非常に簡単に行うことができます。TargetLink 3.3 の 64 ビットおよび 32 ビットバージョンは、同じビット幅の MATLAB® バージョンと一緒に使用することができます。TargetLink 3.3 は、R2009a から R2011b までの MATLAB の 6 種類のバージョンをサポートし、最高の柔軟性を備えています。■

図 1: 複数の Data Dictionary ワークスペースと Diff&Merge により、エンジニアングラウンドトリップのサポートが改善されています。





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

# Things Are Speeding Up

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

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

#### 非常に高度なダイナミクス要件に対応

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

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

#### 便利なモデルライブラリ

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

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

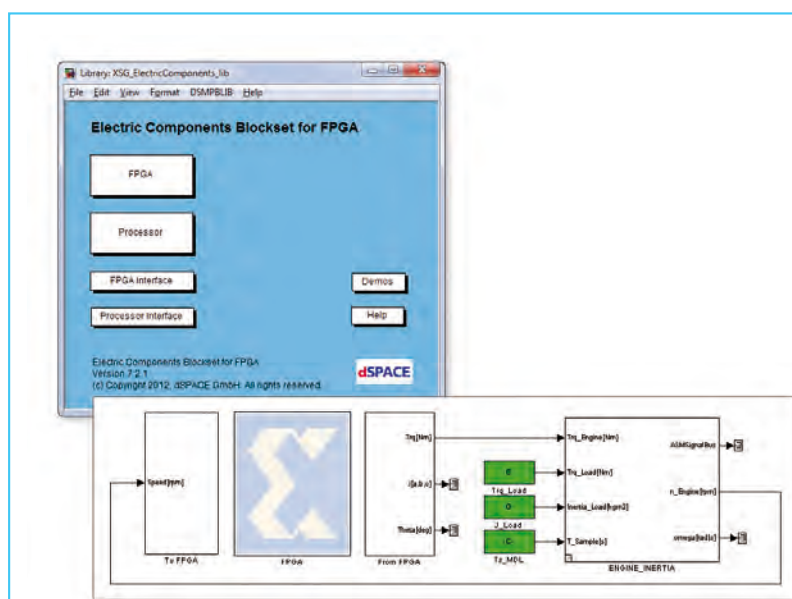
- 永久磁石同期モーター
- ブラシレス直流モーター
- 直流モーター
- 3 相周波数コンバータ
- インクリメンタルエンコーダ
  - レゾルバ
  - サインエンコーダ
  - TLL エンコーダ
  - ホールエンコーダ
- ツール
  - 平均値計算
  - テーブル：1-D、2-D
  - スコープ関数
  - センターアライン PWM 計測

#### FPGA ベースシミュレーションの利点

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

- プロジェクト個別に適応：モデルはオープンであり、その実装を

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



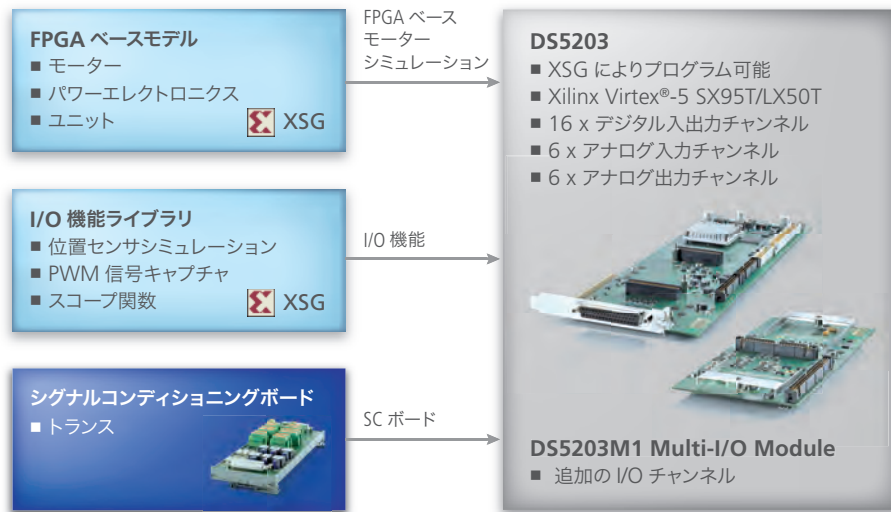


図 2 : FPGA ベースシミュレーションでは、FPGA シミュレーションモデルと DS5203 FPGA Board を使用し、必要に応じてモジュールを追加します。

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

#### ■ モデルコンポーネントの拡張 :

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

#### ■ オフラインおよびオンラインのシミュレーション :

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

な段階でのシミュレーション結果を簡単に比較できます。

#### 実際の経験から得られたノウハウ

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

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

#### ハードウェアとソフトウェアの強力な組み合わせ

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

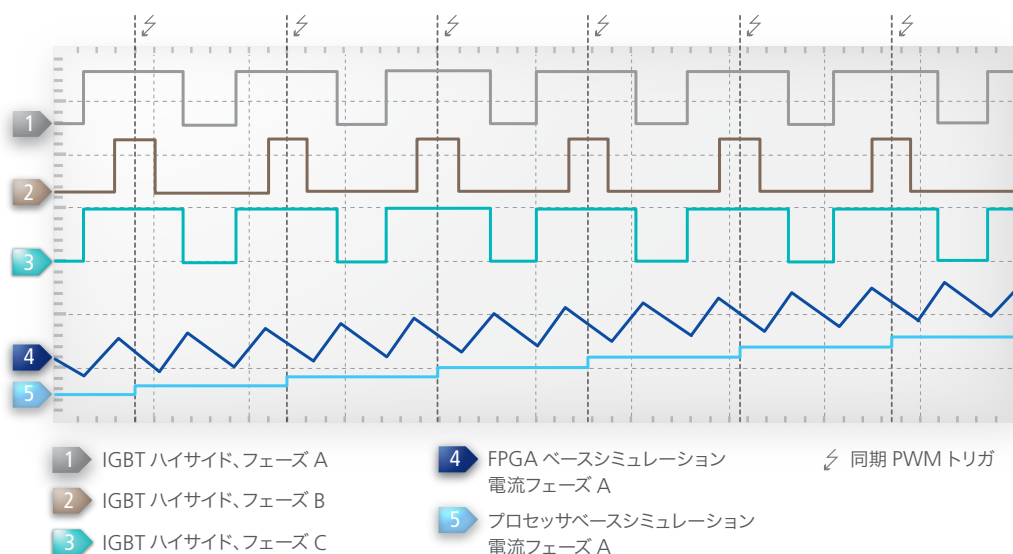


図 3：プロセッサベースモデルと FPGA ベースモデルによる信号品質の比較

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

#### 適用例

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

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

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

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

## まとめ

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



# Real Tests for virtual ECUs

明確なトレンドとして、開発プロセスから ECU モデルを使用したシミュレーションが一般的になってきました。早い段階でテストと妥当性確認を行えば、多くの時間、コスト、労力が節約できます。dSPACE は、バーチャル ECU のシミュレーションを導入してこれを実現しようとする開発者を支援しています。

初めにバーチャル ECU について簡単にご説明いただけませんか。

最近では、ECU のアプリケーションソフトウェアとベーシックソフトウェアは、ECU 開発の初期段階から利用することができます。この 2 つのレベルを統合して 1 つにまとめることで、バーチャルな電子制御ユニットすなわち V-ECU となります。V-ECU は現実的な ECU モデルであり、PC などのシミュレーションプラットフォーム上で実行することができます。今では AUTOSAR 規格があるため、このような統合は標準化以前と比較して大幅に簡単

に行うことができるようになりました。そのため、ますます多くのお客様から、このような形の統合やその他の用途についてのお問合せをいただくようになりました。

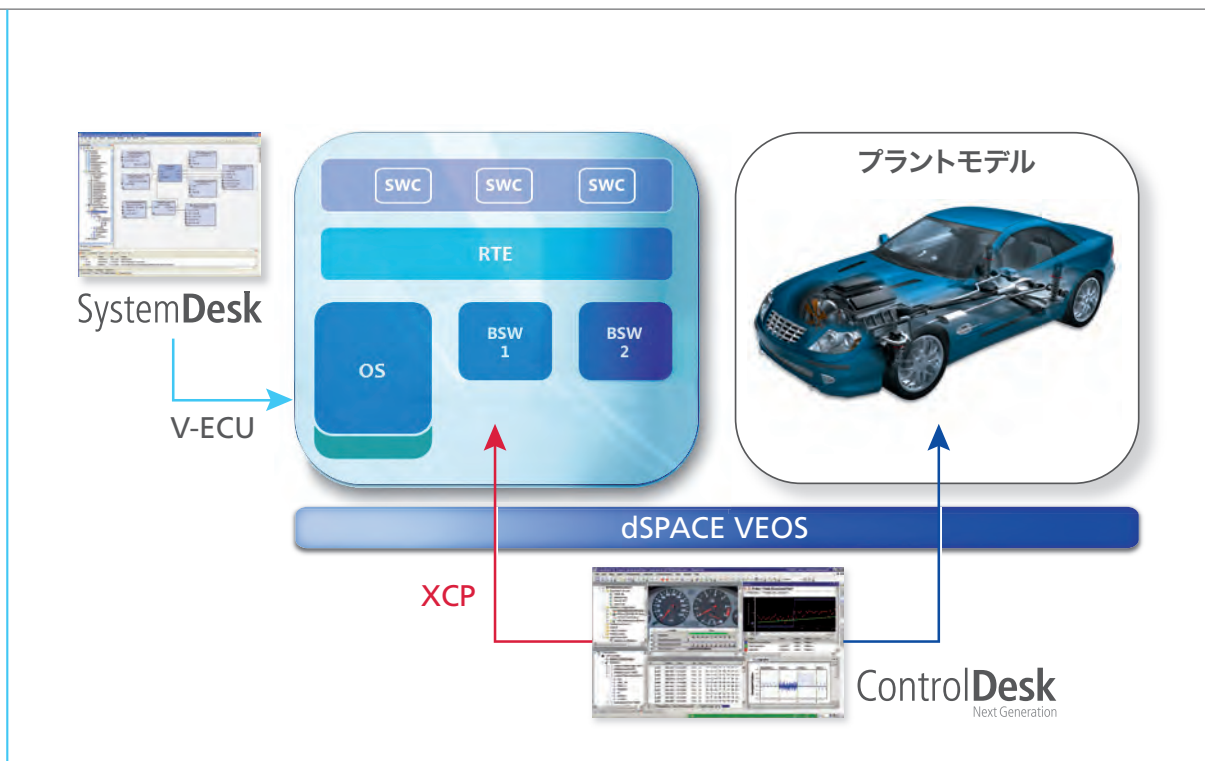
**バーチャル ECU を使用することで、お客様にはどのようなメリットがあるのでしょうか。**

現在の ECU アーキテクチャはシステムが複雑で、何かを追跡しようとしてもすぐに見失ってしまいます。しかし、V-ECU を生成することによって、お客様は、開発フェーズの早い時期に未来の ECU を現実的に表現して、PC 上で ECU のオフラインシ

ミュレーションを実行できます。

この新しいテスト環境は、非常に早い段階で、一貫性テストを実施、インターフェースの妥当性をチェックし、タスクスケジューリングを検証することができます。また、ECU 機能を早い段階でテストできるため、最初の ECU プロトタイプが入手可能になる前でも検証を行うことができます。

HIL システムのユーザには、別のメリットがあります。ユーザは、既存の V-ECU を使用して実際の HIL テストを先に調べて



VET の使用例：ECU の統合およびバーチャルテスト SystemDesk は、ECU アーキテクチャのモデリング、および実装された SWC と BSW の統合に使用されます。制御対象システムモデルとオフラインシミュレータ dSPACE VEOS を組み合わせることにより、ECU ソフトウェアの動作をシミュレートできます。ControlDesk Next Generation は、オフラインシミュレーションを表示し、制御します。

## 「早い段階で ECU 機能をシミュレーションしてテストすることは、将来への道を開くことになります」

Dr. Karsten Krügel, dSPACE GmbH

おくことができます。また、たとえば多数のバリエーションテストを事前に実行しておくといったように、HIL シミュレータの利用効率を最適化できます。

バーチャル ECU をこれらの応用例または他の応用例の妥当性確認に使用する場合は、「バーチャル ECU テスティング」または略して VET と呼んでいます。

**VET には、どの dSPACE 製品が使用されるのでしょうか。**

当社では、V-ECU が開発プロセスの初めから終わりまで重要な役割を果たすようになると考えているため、これに対応できるようにツールチェーンのほぼ全体の統合を進めています。最初の段階では、TargetLink® が量産コード生成ツールとなり、また SystemDesk® AUTOSAR アーキテクチャツールが V-ECU の生成に使用されます。閉ループシナリオに必要な制御対象システムモデルは、dSPACE ASM によって提供されます。ControlDesk® Next Generation は、ビジュアル表示とさまざまな試験機能を提供します。オフラインシミュレータ dSPACE VEOS は、PC

ベースのシミュレーションに使用されます。また、当社のすべてのソリューションはオープンであるため、開発プロセスのさまざまな時点でサードパーティ製品を統合することができます。当社は既に、バーチャル ECU に関する多数の使用例をサポートしており、HIL およびラビッドコントロールプロトタイピングの分野における豊富な経験を活かして、さらに多くのサポートを追加していく予定です。お客様からの最初の反応は、当社の方向性が正しいことを示しています。

**それ以外に何か開発の計画はありますか。**

当社は、バーチャル ECU のテストの自動化に大きな可能性があると考えています。HIL テストなどは、夜間または週末であっても自動で実行する必要があります。また、これらのテストのシームレスな利用と再利用は、重要な課題となっています。PC 上で実行されたテストと同じテストが、後で HIL シミュレータ上で再利用される必要があります。このことは、モデル、データセット、レイアウトにも当てはまります。そのため当社では個々のツールの拡張だ

けでなく、VET 適用シナリオにおけるツール相互の連携についても最適化を行っていきたいと考えています。

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。

Dr. Karsten Krügel

同氏 (理学博士) は、dSPACE GmbH のプロダクトマネージャとして、オフラインシミュレーションおよび仮想検証の分野を担当しています。



## バーチャル ECU の作成およびシミュレーション

### 概要

dSPACE のツールチェーンを使用して、AUTOSAR 規格に基づいて、必要なアーキテクチャおよび機能モデルを作成し、それらを統合してバーチャル ECU (V-ECU) を作成します。作成した V-ECU を制御対象システムのモデルに接続してシミュレーションシステムを構成し、PC 上でオフラインシミュレーションを実行し、試験用ソフトウェアを使用して表示およびテストを行います。

下記のアダプティブクルーズコントロール (ACC) システムの例は、dSPACE 製品の TargetLink<sup>®</sup>、SystemDesk<sup>®</sup>、dSPACE オフラインシミュレータ VEOS、および ControlDesk<sup>®</sup> Next Generation を使用した場合のワークフローを示しています。

### ACC システム

ここに参考例として挙げた ACC システムは、距離および速度制御用の機能モデル (後工程で ACC ECU に統合) と、制御対象システムモデルで構成されています。この制御対象システムモデルは ACC ECU に対する車両環境を表し、トランスミッション制御、エンジンを表現するルックアップテーブル、距離測定用レーダーセンサのモデルなどの要素が含まれています。さらに制御対象システムモデルには、さまざまな走行条件、さまざまな速度で走行する先行車が追加として含まれています。

### AUTOSAR 準拠のモデルコードの作成

この開発プロセスの例では、ACC システムの 2 つの制御モデルである「Distance」と「Speed」を TargetLink を使用して開発しています。機能開発者は、これらのモデル用のインターフェースおよびランナブルを AUTOSAR に準拠してモデル化します。それぞれの TargetLink モデルの、AUTOSAR 準拠のモデルコードと、対応する変数記述ファイル (ASAP2) を生成します。各モデル部分を SystemDesk でソフトウェアアーキテクチャに統合するために、これらを AUTOSAR ソフトウェアコンポーネント (SWC) としてコンテンツにエクスポートします。コンテンツには、生成されたコードと ASAP2 ファイルおよび関連のある AUTOSAR デスクリプションファイル (ARXML) が格納されます。

### AUTOSAR ソフトウェアアーキテクチャのモデリング

TargetLink からエクスポートが終われば、「Distance」および「Speed」制御モデル用コンテンツを SystemDesk に直接インポートすることができます。このボトムアップアプローチを使用すると、SWC と、ポート、インターフェース、データタイプ、およびそれらのインターナルビヘイ

アなど、すべての AUTOSAR 記述エレメントを、SystemDesk 内で使用できるようになります。次に、「Distance」および「Speed」コンポーネントの互換性のあるインターフェースをソフトウェアアーキテクチャ内で接続します。

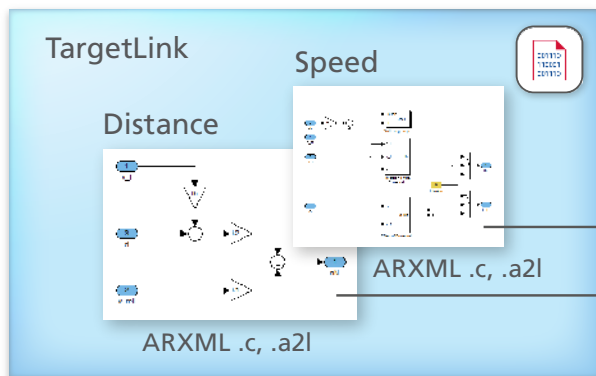
### バーチャル ECU の生成

ソフトウェアアーキテクチャと、そこに含まれている SWC を、SystemDesk でモデル化された 1 個の ECU で構成されるシステムにマッピングします。ECU コンフィギュレーションを行う

時に OS のタスクを作成し、それぞれのタスクに TargetLink でモデル化されたランナブルを割り当てます。この ECU システムの作成と設定は手作業で行うことも、SystemDesk を使用してプロセスを自動化することもできます。ECU が作成できたら、AUTOSAR ランタイム環境 (RTE) を生成し、このアプリケーションの各コンポーネントとベースソフトウェアとの接続をインストールします。

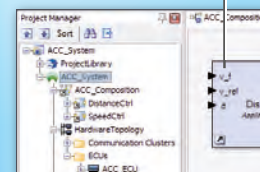
制御対象システムモデルを使用して、閉ループシミュレーション用の ECU を準備するには、SWC

### 制御モデル



### アーキテクチャ/ ECU システム

### SystemDesk



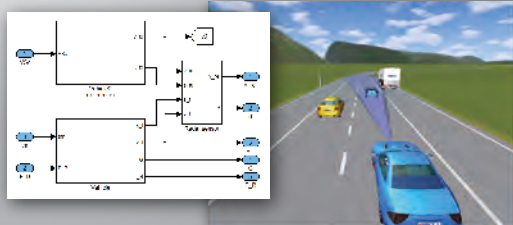
### ControlDesk Next Generation



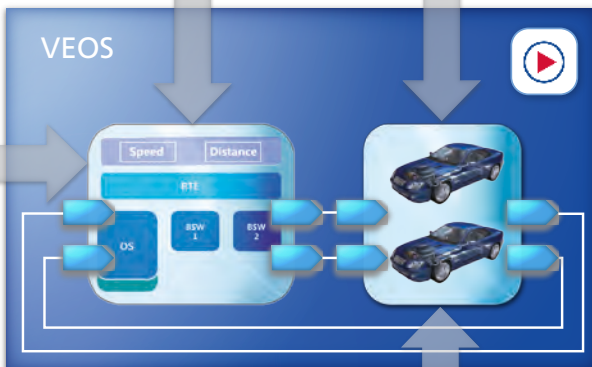


## 制御対象システムモデル

Simulink



シミュレーション  
システム



のオープンインターフェースを ECU の入出力として定義して V-ECU を生成します。

### 制御対象システムモデル、およびシミュレーションシステムの作成

2 台の車両とレーダーセンサの物理的な挙動を反映した制御対象システムモデルを使用して、システム全体のシミュレーションを行います。このようにして、V-ECU での ACC 制御を早い段階で仮想的に試験することができ、ControlDesk Next Generation を使用してシ

ステム全体の挙動を視覚化することができます。制御対象システムモデルは、MATLAB®/Simulink®/Stateflow® を使用して作成し、HIL シミュレーションなど後工程の他の検証ステップで再利用することができます。

ユーザは、V-ECU と制御対象システムモデルをユーザ定義の入出力を介して接続し、シミュレーションシステムを作成することができます。インターフェースの名前が同じであるため、ワンクリックで簡単に接続を定義することができます。

### dSPACE VEOS

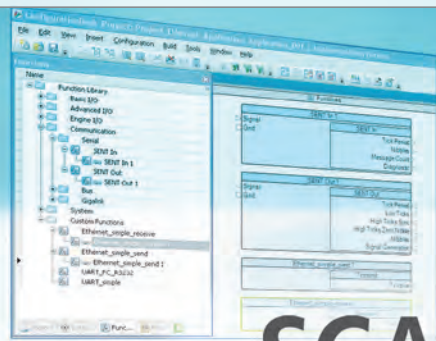
リアルタイム分野で長年にわたり確かな実績をもつツールやモデル、転送プロトコル、変数記述ファイルと同じものを PC でも使用できるシミュレーションテクノロジーがあれば理想的です。dSPACE VEOS は、まさにそのための製品であり、PC 上でのオフラインシミュレーションと HIL シミュレータ上でのリアルタイムシミュレーションとの間をシームレスに連結します。オンラインでもオフラインでも、同じ変数記述ファイル (ECU には ASAP2、制御対象システムモデルには TRC) を使用します。VEOS を使用することにより、複雑なシステム全体のシミュレーションを開発者の PC 上で実行することができ、開発プロセスの早期の段階で妥当性確認を行うことができます。

### 試験およびテスト

ControlDesk Next Generation を使用することにより、ユーザは、制御対象システムモデルおよび V-ECU の変数への完全に透過的なアクセスなど、仮想的なシステム全体に対する作業を対話形式で行うことができます。V-ECU の計測および適合変数 (内部的な ACC 制御パラメータなど) および制御対象システムモデルの変数 (先行車との距離や両方の車速など) を、スイッチ、ディスプレイ、スライダなど、さまざまな計器タイプを使用して表示し、調整することができます。ユーザは、これらの計器タイプを使用して実物のようなレイアウトを作成し、オフラインシミュレーション中に、それぞれのソフトウェアコンポーネントが正しく動作しているかどうかを直感的に評価することができます。レイアウト、計測データ、データセットなど、結果として得られたプロジェクトデータを、後工程で HIL シミュレータで簡単に再利用できます。

### 今後の展望

2012 年度末には、AutomationDesk® から直接 VEOS にアクセスして、バーチャル ECU の自動化テストを作成して効率良く実行することができますようになります。また、dSPACE SCALEXIO® を使用して、バーチャル ECU のシミュレーションを行うことができるようになります。これにより、ユーザは、バーチャル ECU を実際の ECU と組み合わせて試験および検証できるようになります。さらに、ControlDesk Next Generation の Real-Time Testing および Signal Editor でのオフラインシミュレーションがサポートされます。



# SCALEXIO

## SCALEXIO：新しい入出力機能と欠陥シミュレーションの新しいライセンス方式

dSPACE Release 7.2 では、SCALEXIO® 入出力機能を拡張して、SENT プロトコルと Ethernet プロトコルに対応するとともに、欠陥シミュレーションに対する非常に柔軟性の高いライセンス方式を導入しました。

新しい SENT In および SENT Out 入出力機能は、SENT 2010 プロトコルをサポートしています。この SAE 規格 (J2716) は、センサと電子制御ユニット (ECU) 間の信頼性の高いデータ送信を提供します。

もう 1 つの新しい入出力機能として、Ethernet プロトコルの使用が可能になりました。Ethernet コンポーネントは、SCALEXIO プロセッサユニットの Ethernet インターフェースを使用して接続できます。また設定に関して、dSPACE はドキュメント化された C コードを提供しており、ユーザはこのコードを個々のニーズに適合させることができます。また、すべての入出力機能は、dSPACE ConfigurationDesk® を使用してグラフィカルに設定できます。

欠陥シミュレーションに関する SCALEXIO の新しいライセンス方式は、開発者に大きな柔軟性を提供します。1 つのハードウェアライセンスに対して、開発者は、欠陥シミュレーションに必要な数のチャンネルをいつでも有効にすることができます。システムの変更や拡張は、一切必要ありません。さらに大きなメリットは、異なるシステムで同じライセンスをそのまま使用できることです。

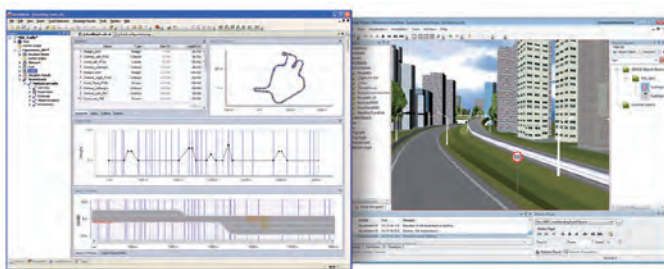
SCALEXIO の次期バージョンでは、マルチコアアーキテクチャのリアルタイムプロセッサをサポートする予定で、より大きな処理能力をもつテストシステムの構築が可能になります。■

## カメラベース運転支援システムに対応した環境シミュレーション

dSPACE 自動車用シミュレーションモデル (ASM) では、カメラベースの運転支援システムを使用するシナリオに最適化されたシミュレーションを提供します。バーチャルな道路上に複数の車線を定義する

新機能や車線認識のためのセンサモデルの追加により、レーン逸脱警告システムや車線変更補助システムの開発がはるかに容易になります。また、3D アニメーションソフトウェア dSPACE MotionDesk と

組み合わせて、カメラベースの交通標識認識機能を直感的にテストするシステムを設定することも可能です。たとえば、MotionDesk のバーチャルな空間に道路標識を直接配置することも可能になります。道路、運転操作、およびバーチャルな環境は ModelDesk の分かりやすい GUI で作成し、交通標識は MotionDesk の極めてリアルなグラフィカル表示でリアルタイムに評価することができます。ASM は、MotionDesk と組み合わせることで、交通環境の現実的なシミュレーションやアニメーションをはじめとする複雑な交通状況をシミュレートするための包括的なソリューションを提供します。ASM は HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーション用のオープンな Simulink® モデルやオフラインシミュレーション用の特別な Operator Version として提供されています。■





## ADASIS v2 規格に準拠した 運転支援システムの開発環境

dSPACE は、運転支援システムの開発向け製品群に画期的な新機能、ADASIS v2 Horizon Reconstructor Blockset (ADASIS v2 HR Blockset) を追加しました。これは走行車両前方の道路データへのアクセスを可能にする Simulink® ブロックセットです。データはナビゲーションシステムまたは専用 ECU などから受信し、ADASIS v2 プロトコルを介して送信されます。dSPACE **MicroAutoBox** や **AutoBox** などのラピッドプロトタイプングシステムと組み合わせて使用され、ADASIS v2 HR Blockset はマップペー

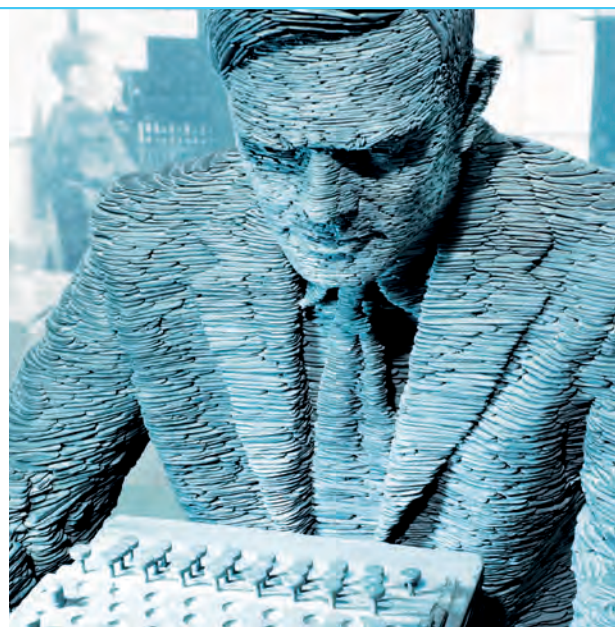
スの運転支援システムを実車で開発することを可能にします。これにより機能開発者が自分のアイデアを車両に直接実装し経験することができ、これにより開発の反復サイクルを最小限度に抑えることができます。CAN バスのサポートに加えて、ADASIS v2 HR Blockset は、Ethernet も通信バスの 1 つとしてサポートしています。カーブ半径、傾斜、最高速度などの道路予測データを簡単なマウス操作だけで選択でき、PC 上で Simulink モデル内の実際の運転支援機能に接続することができます。次に、ボタンを押すだけでリアル

タイムコードが生成され、ラピッドプロトタイプングシステムにロードされます。これにより機能開発者は、実際のアプリケーション機能の開発に集中でき、ADASIS v2 プロトコルを実装するために時間を費やす必要はありません。■

## Eminent & Enigmatic : アラン・チューリング

アラン・チューリングは世界で最も偉大なコンピュータ科学の先駆者の一人です。彼の研究は無線通信で使用されたエニグマ暗号の解読を成功に導き、第 2 次世界大戦の経過に大きな影響を与えました。しかし、コンピュータ以外の分野では、アラン・チューリングの名前はそれほど世に知られていません。“Eminent & Enigmatic – 10 Aspects of Alan Turing” (「天才と謎 – アラン・チューリング、10 の側面」) アラン・チューリング展が、世界最大のコンピュータ博物館であるハインツ・ニクスドル

フ博物館 (パーダーポルン) で開催されています。当展示は、2012 年 1 月 11 日から 12 月 16 日まで開催され、英国が生んだこの天才数学者の生涯と業績を広く紹介しています。チューリングは英国ロンドンで 1912 年 6 月 23 日に生まれ、今年はその生誕 100 年にあたります。会場への入場は当博物館の通常の開館時間と同じで、平日 (月曜休館日) は午前 9 時から午後 6 時まで、土・日は午前 10 時から午後 6 時までとなります。■



dSPACE Japan 編集部宛 e-Mail (events@dSPACE.jp) に dSPACE Magazine に関するご意見をお寄せください。その他の情報をお問い合わせいただく場合にも本メールアドレスをご利用いただけます。ご意見をお待ちしています。



dSPACE Magazine に関するご意見はオンラインでも返信できます。詳細は、[www.dspace.jp/goto.cfm/magazine](http://www.dspace.jp/goto.cfm/magazine) をご覧ください。dSPACE 製品のリリース情報は、下記をご覧ください。[http://www.dspace.jp/goto.cfm/ja\\_productsrelease](http://www.dspace.jp/goto.cfm/ja_productsrelease)



System Architecture

Rapid Control Prototyping

ECU Autocoding

HIL Testing

## SKYACTIV TECHNOLOGYを支える、 先進のdSPACEモデルベース開発ツール。



すべてを刷新することで、革新的な次世代技術「SKYACTIV TECHNOLOGY」を生み出したマツダ。CX-5では、この技術をすべて搭載しました。

このエンジン制御系開発において、dSPACEの先進開発ツール群がマツダの技術開発を支え、モデルベース開発手法と先進の制御技術により、ECUソフトウェアの高品質、高性能を実現しました。

確かな成功へ。dSPACE開発ツールも進化を続けます。

Embedded Success **dSPACE**