

# dSPACE MAGAZINE

2/2016

## Porsche

ステアリングシステムの  
メカトロニクスによる  
妥当性確認 | page 24



**Bosch** — 48 V ハイブリッドシステムの迅速かつ信頼性の高い評価 | page 6

**三菱電機** — 柔軟性の高い自動運転システムの開発 | page 12






「試験飛行に向けて、完全な電動飛行機である ELIAS は当社の親会社の IABG にて Aircraft-in-the-Loop シミュレーションで徹底的にテストされています。シミュレーションでは、自動操縦の検証だけでなく、飛行中に手動操縦モードから自動操縦モードに切り替えるテストも行っています。ここでは、飛行誘導を行うオンボードコンピュータとして dSPACE の MicroAutoBox が使用されています」

Hans Tönskötter 博士、Airborne Systems シニアマネージャ、ACENTISS 社

ELIAS に関する記事の全体は、次号の dSPACE Magazine に掲載されます。





「dSPACE は、Electric Drive システムの開発向けの包括的な製品やサービスを幅広く提供しています」

自動車業界には、かつて平穏な時代がありました。現在は、排出ガスの規制要件に適合する内燃エンジンを開発する際の極めて小さな改善にも OEM 各社が苦心するほど困難な時代になりつつあります。私はちょうど、新欧州ドライビングサイクル (NEDC) に基づいて 1 キロメートルあたり 1 グラムの CO<sub>2</sub> を削減できる可変吸気マニホールドの使用方法に関する記事を読みました。これらの記事を勘案すると、中型車は約 150 g の排出ガスを発生させることとなります。しかし Audi 社が現在実証中であるように、従来のショックアブソーバをモーターに置き換えれば、回生により CO<sub>2</sub> の排出を 3 g 削減することができるのです。これらの事実は、自動車業界によるさまざまな努力のうちのほんの 2 例に過ぎません。

現在、電気自動車による大幅な排出ガスの削減が期待されています。多くの場合、電気自動車は排出ガスを出さないとされていますが、ほとんどの場合は充電時に化石燃料によるエネルギー供給が必要です。これでは、単に排出ガスの発生場所を移転しているに過ぎません。ただし、政治的な側面から見た要件を満たす電気自動車の導入は、今後の主要な基準となるようです。

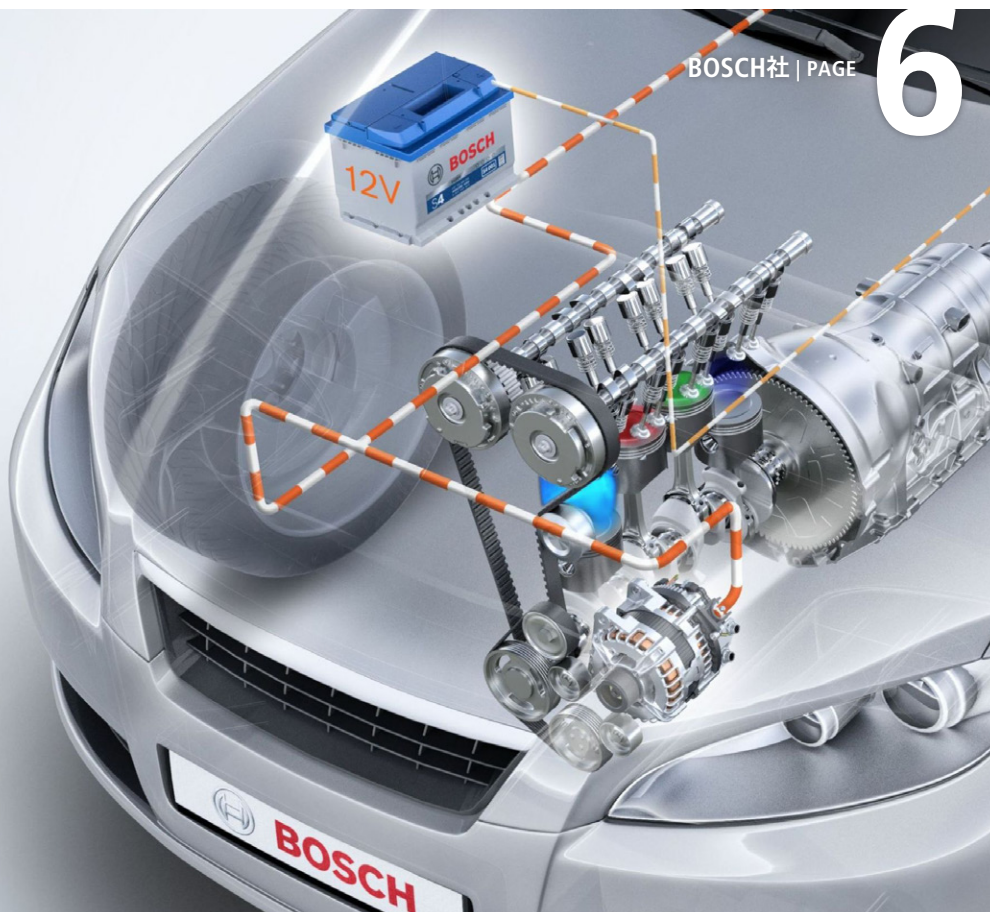
これだけでなく、自動車メーカーは精力的なスタートアップ企業による挑戦も受けています。彼らは、Electric Drive の開発に注力し、車両の自動運転を積極的に追及する取り組みを続けています。これにより、ドライブの開発だけでなく、車両全体の電動化にも拍車が掛かっています。dSPACE はこれまで、充電ステーションからバッテリー管理、車両の推進用モーター

に至るまでの幅広い Electric Drive 向けソリューションや補助機器の電動化に向けたさまざまなソリューションに継続的に取り組むことにより、このような状況に対する準備を行ってきました。

電子制御式パワーステアリングシステムに対応した当社のメカトロニクステストベンチは、補助機器向けソリューションの例の 1 つです。当社のハイエンド製品には、24 ページに記載されているような高度に動的なテストベンチのセットアップも含まれます。これ以前にも、当社では他のお客様向けに同様の規模のテストベンチを何度も構築してきました。このことは、dSPACE が常にソフトウェア、エレクトロニクス、制御工学、および機械工学の融合を図っていることを示しています。ここでテストベンチにまつわるお話を手短かに紹介します。テストベンチを注文されたお客様がプロジェクトの進捗を確認するために dSPACE を訪れました。このお客様は、プロジェクトが予定通りに進んでいることに驚きました。期日が遅れることが想定されていたため、お客様の側でもテストベンチを設置するラボの準備がまだ整っていなかったのです。実際に納品されたテストベンチの動的性能は、このお客様の期待をさらに上回っていました。これもまた、お客様にとっては嬉しい驚きでした。

社長 Dr. Herbert Hanselmann





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, Lena Mellwig, Dr. Gerhard Reiß, Sonja Ziegert

協力: Dr. Ulrich Eisemann, Felix Engel, Anne Geburzi, Thorsten Hufnagel, Hartmut Jürgens, Dr. Klaus Lamberg, Frank Mertens, Björn Müller, Tobias Rodehüser, Carsten Rustemeier, Tobias Schäffer

編集および翻訳: Robert Bevington, Stefanie Bock, Anna-Lena Huthmacher, Dr. Michelle Kloppenburg, Stefanie Kraus, 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 © Porsche 社

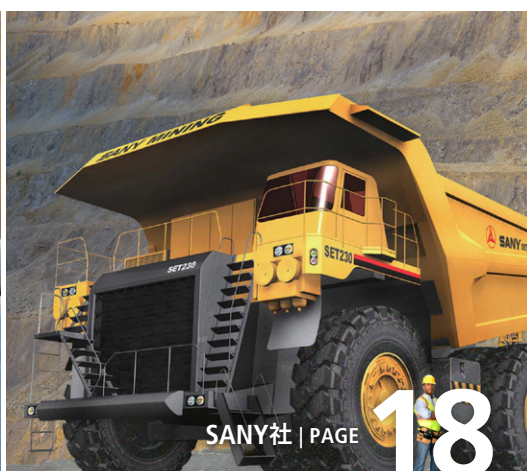
© 2016 dSPACE GmbH

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](http://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



SANY社 | PAGE

18



ZF社 | PAGE

42

3 社長挨拶

## お客様の事例

6 BOSCH社

### Power Guaranteed

48 V電源システムでの燃費向上を実現するラピッドコントロールプロトタイピング

12 三菱電機株式会社

### Driving Your Car from Space

衛星ベースの自動運転制御システムの開発

18 SANY社

### King of the HIL

露天採掘用電動ダンプトラックのHIL (Hardware-in-the-Loop)テスト

24 Porsche社

### A Test of Character for Steering Systems

メカトロニクスHILテストによる電動ステアリングシステムの開発およびチューニング

32 Institute for Automation and Computer Science (IAI)

### Chain-Free Cycling

自転車向けシリアルハイブリッドドライブ

36 クレーブランド州立大学

### Smart Training

先進エクササイズマシンの開発

42 ZF社

### Handling High Numbers of Variants

トランスミッションECU向けの効率的なソフトウェア開発プロセス

## dSPACE 製品

46 RTT Observer Library

### Keeping an Eye on Safety

セーフティクリティカルなアプリケーションの連続モニタリング

50 Bus Manager

### Communication Is Key

バスシステムおよびネットワークの一元設定

54 オンターゲットプロトタイピング

### Right on Target

オンターゲットプロトタイピングによる機能開発と量産開発の融合

## ビジネス

58 Hy-NETs

### Low Emissions with Hy-Nets

Car2x通信によるハイブリッドドライブの効率性向上

## ニュース

60 SCALEXIOによりリアルタイムでECUにアクセス

CAN FDをシームレスにサポート

61 dSPACEソフトウェアは64ビットバージョンのみをサポート

ECUインターフェースソフトウェア:

新しい機能と使いやすいパッケージ方式を追加

62 TargetLink 4.2: オンターゲットプロトタイピングや車載Ethernetを含む多くの新機能をサポート

SYNECT - OSLCを介してデータをシームレスに交換

## dSPACE on Board

63 ZF社: 巧みに追突を回避

中国科学技術大学: 組立機械向け適応制御

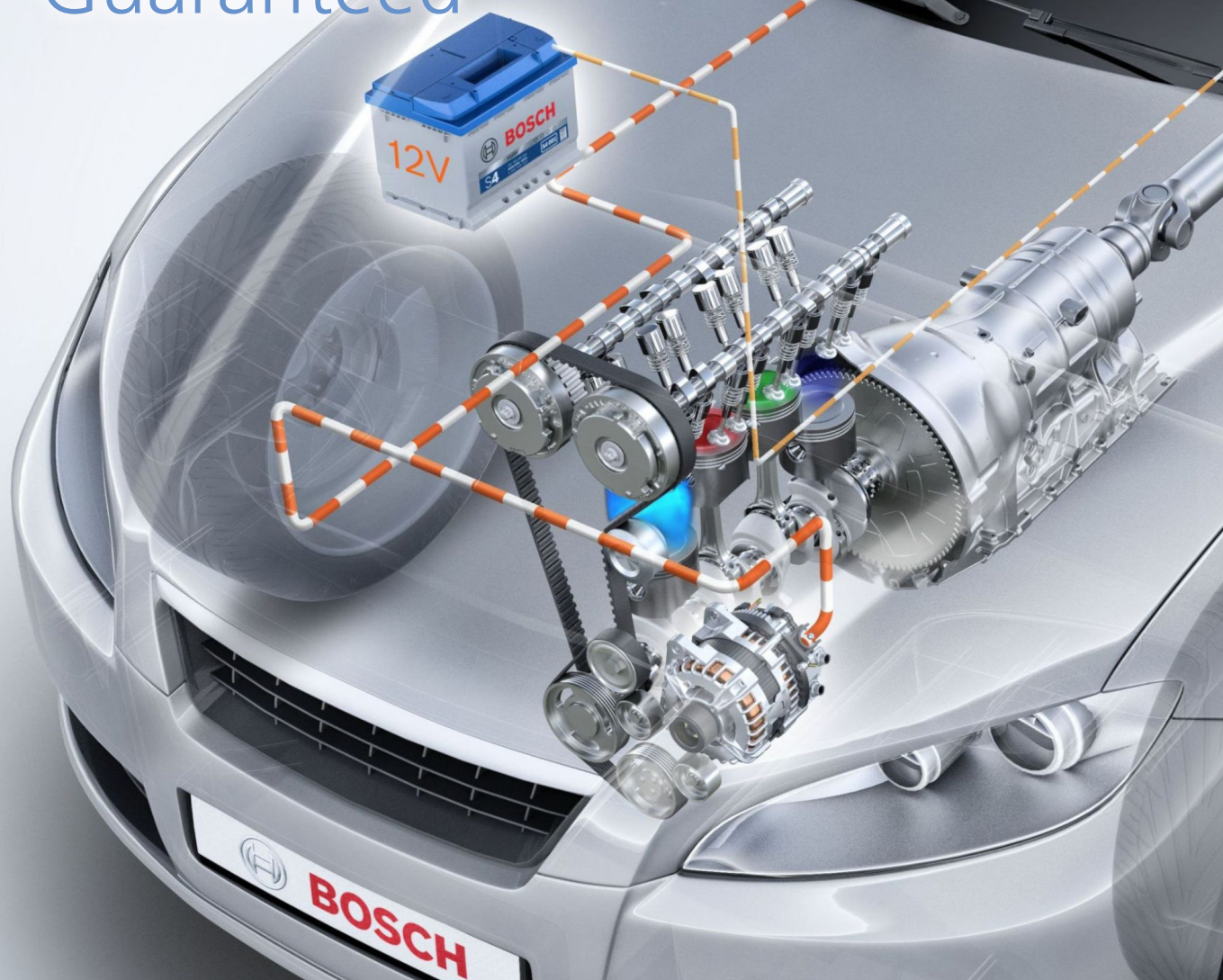
スタンフォード大学: 自動運転車両のための自動車学校





# Power Guaranteed

48 V 電源システムでの燃費向上を実現するラピッドコントロールプロトタイピング



出典：© Bosch 社

車両に 48 V 車載電源システムを使用すれば、高性能な新機能とテクノロジーを導入して燃料消費を大幅に削減することができます。この目標を実現するため、Bosch Engineering China では 48 V ベルト駆動スタータジェネレータを開発しました。このジェネレータでは、プロトタイピングコントローラとして MicroAutoBox II が使用されており、開発プロセスの大幅な迅速化を実現しています。





**車** 載電源システムは、電圧レベルおよび電力需要の増大に応じて、過去数十年で大幅に進化しています。車両テクノロジーが発展し、車載システムでの電気コンポーネントの利用率が上がることで、車両の性能および信頼性も向上してきました。しかし、これによって電力需要も急激に増大したため、電源ネットワークに対する新たな課題が生じています。

#### 48 V にする理由

現行の 12 V 電源システムは、今後の電力需要の増大に対応可能なより高い電圧レベルのシステムへと移行しつつあります [1]。電圧レベルを高めれば、車載システムにおける配電時の電力損失の削減にもなります。これまで、36 V および 42 V 電源システムの検討や解析は十分に行われてきました。しかし、これらのシステムには対応する SAE 規格 (SAE = Society of Automotive Engineers) がほとんどなかったため、車載アプリケーションでの幅広い利用には至りませんでした。欧州では、48 V 電源システムが現在注目されています。Audi、BMW、Daimler、Porsche、VW などの主要な OEM メーカーは、25 V から 60 V までの動作電圧範囲を規定した規格である LV148 [2] の利用を提唱しています。LV148 規格では、無制限機能動作範囲が 36 V から 52 V の間 (平均は 48 V) であり 60 V のしきい値を下回っているため、電氣的障害を防止するための高価な特殊保護機構が一切必要ありません (図 1)。また、60 V 以上の電圧で動作し、これらの安全メカニズムを必要とするハイブリッド車に比べ、システムコストも抑えられます。さらに、48 V 電源システムの回生機能 (制動エネルギーの回生) では、New European Driving Cycle (NEDC) および Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle (WLTC) の下では 12 V システムよりも高いエネルギー回生効率を実現できます。そのため、

&gt;&gt;



スタート/ストップ



コースティング



回生



ブースト



E-Creep





図1：安全電圧の定義

従来の 12 V システムの代わりに 48 V システムを使用することにより、大幅な燃費向上が可能になります。図 2 には、48 V 回生システムの品質的な利点が見られています。48 V システムの利用拡大を訴求するうえで最も重要なポイントは次の通りです。

- エアコンプレッサ、ターボ、PTC 補助ヒーター (PTC = 正温度係数) などの

高電力アクセサリ機器の動作に対応できます。

- 回生、ブースト、およびスタート/ストップにおける燃費向上を実現するハイブリッド走行機能を容易に実装できます。
- スタート/ストップ、「チェンジオブマイルド」スタート (出力低下時の再始動)、スタート/ストップコースティング (惰性走行) など、多数の快適機能を追加することにより、快適な運転体験が実現します。
- システム電圧の増大に伴い、ケーブル電流が低減するため、ケーブルの電力損失が減少し、出力効率が改善されます。

#### 48 V 電源システムの概要

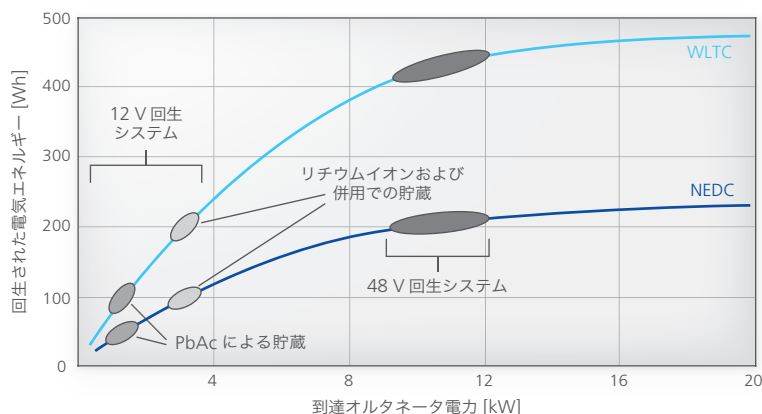
Bosch 社のブースト回生システム (BRS) は、空冷ブースト回生マシン (BRM)、DC/DC コンバータ (別名：電源制御ユニット (PCU))、および 48 V リチウムイオンバッテリーという 3 つの主要コンポーネントで構成される 48 V ベルト駆動型スタータジェネレータです。BRS では 2 つの電源ネット (48 V/12 V) が共存し、PCU を介して接続されています。48 V システムでは、BRM、PCU、および 48 V リチウムイオンバッテリーが電気的に接続されます。BRM はジェネレータ、あるいはモーターとして動作することができ、ジェネレータの場合は運転状況に応じてリチウムイオンバッテリーに充電を行い、モーターの場合は追加トルクをエンジンに供給し、運転性や燃費の向上をもたらします。48 V リチウムイオンバッテリーは、回生された制動エネ

ルギーを吸収し、エンジンの快適なクランク段階およびブースト段階で BRM に電力を供給します。48 V リチウムイオンバッテリーシステムには、バッテリースタック、リレーボックス、およびバッテリーマネジメントシステム (BMS) が含まれています。BMS は CAN インターフェースを備えており、バッテリーの状態を送信したり、メインリレーの制御や外部充電機能の調整を行うコマンドを受信したりすることができます。PCU には 2.5 kW の公称電力が確保されており、通常の車載電源ネットの電力要件を完全に満たしています。48 V 電源システムを使用すれば、PTC 補助ヒーター、エアコン用の電動コンプレッサ、電動パワーステアリング (EPS)、冷却ファンのモーター、ウィンドウヒーターなど、より高い電気負荷を使用する機能の提供が可能になります。

#### ブースト回生マシン： dSPACE MicroAutoBox II による 効率的なプロトタイプング

Bosch Engineering China では、48 V BRS を搭載した複数のデモ車両を開発しました。図 4 には、デモ車両の 1 台から取得したプロトタイプ 48 V BRS の概要が見られています。48 V BRS では、(スタート/ストップコースティングを含む) 便利なエンジンスタート/ストップ機能が実現されており、ベルト駆動のブースト回生マシンを使用して制動エネルギーを回生し、それらを 48 V リチウムイオンバッテリーに貯蔵することができます。また、車両に推進力を与えるエンジンクランクシャフトに対して追加トルクを提供したり、速度制限および機能的制約を課した状態で完全に電動で車両を動かすこと (いわゆる E-Creep) もできます。つまり、上述の 48 V 電源システムを使用すると、スタート/ストップ、コースティング、回生、ブースト、および E-Creep の各機能を動作させることが可能です。通常、BRM はエンジンルーム内に設置され、PCU および 48 V リチウムイオンバッテリーは後部トランク内の空間に設置されます (図 6)。BRS の制御アルゴリズムは、4 つの CAN 通信用チャンネルとデジタル/アナログ信号の処理に必要なリソースを備え、ハードウェアおよびソフトウェアレベルでの制御要件に完全に対応する MicroAutoBox II (1401/1511) で実行されます。また、RTI CAN Blockset の Gateway 機能を

図2：New European Driving Cycle (NEDC) および Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle (WLTC) 走行サイクルでの回生





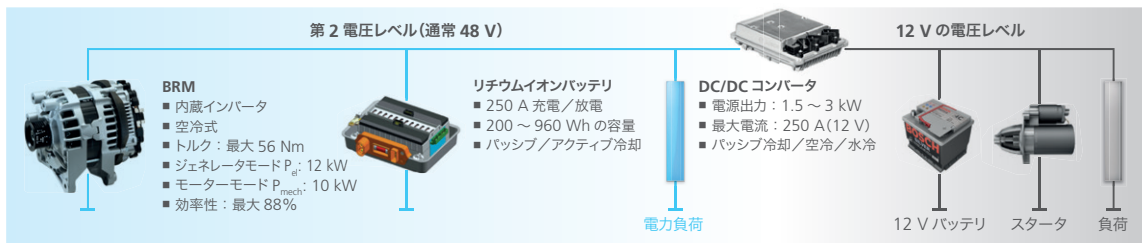


図 3 : Bosch 48 V ベルト駆動型スタータジェネレータのレイアウト

「プロトタイプングプロセスでは、dSPACE MicroAutoBox II を使用して 48 V ブースト回生マシンの制御アルゴリズムを実行しました。これにより、車両全体への影響を早期の段階で評価し、開発プロセスを大幅に迅速化することができます」

Zhu Xiaofeng 氏, Bosch Engineering China 社

使用すれば、元の車載 CAN ネットワークを修正して BRS 機能を実装することも可能です。MicroAutoBox II は小型のモジュールであるため、車両内に設置して 12 V バッテリで稼働することができます。MicroAutoBox II の制御ソフトウェアは、複数のレイヤおよびモジュールで構成されています。アプリケーションレイヤには、EEM 調整 (EEM = 電気エネルギー管理)

およびパワートレイン調整という 2 つの主要なモジュールがあります。EEM 調整モジュールには、電源オン/オフ管理、EEM ストラテジ、および基礎診断が含まれます。パワートレイン調整モジュールには、スタート/ストップ機能および BSG モーター (BSG = ベルト駆動スタータジェネレータ) の動作モードを制御するストラテジが含まれます。2 つの主要アプリケーション

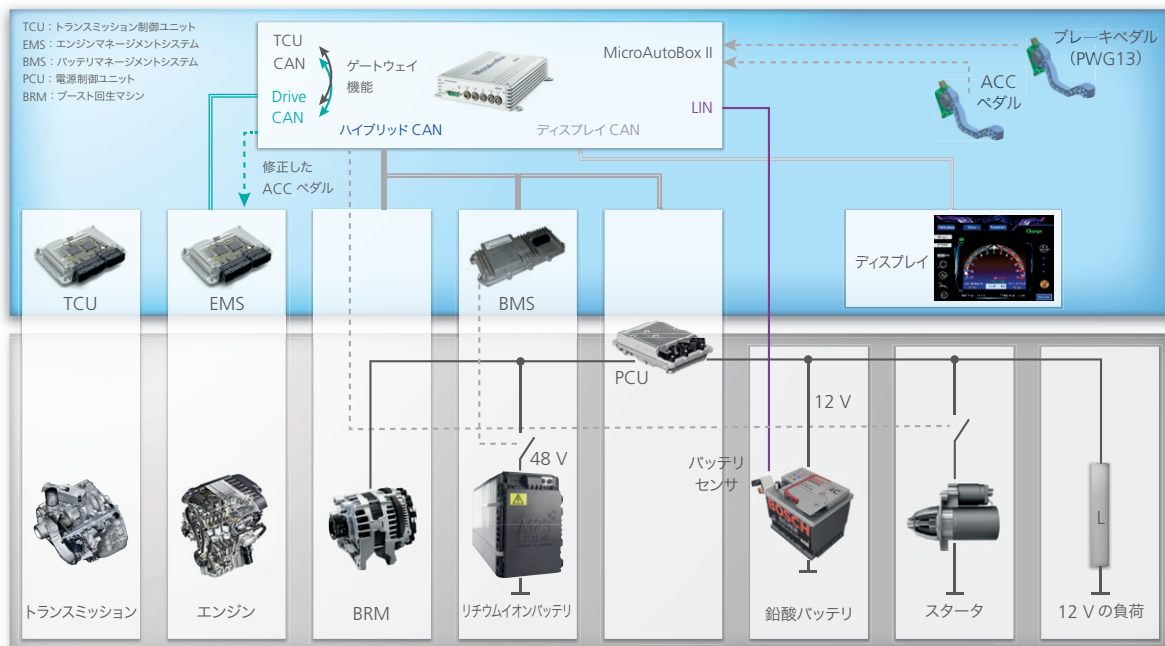
ンモジュールでは、CAN、LIN、デジタル I/O などの下位レイヤにある Real-Time Interface (RTI) 対応ドライバから信号が送受信されます。

**まとめ**

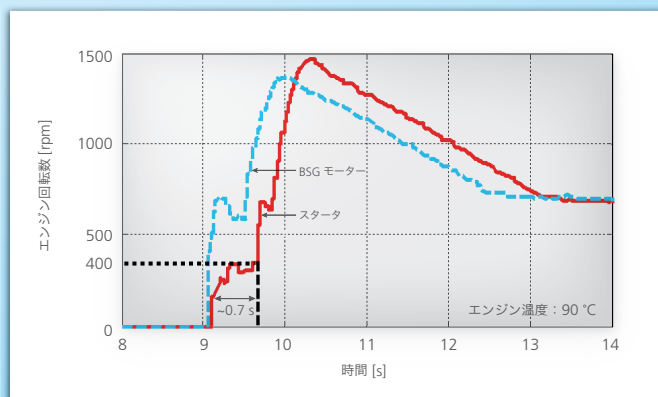
dSPACE MicroAutoBox II をプロトタイプングコントローラとして使用すると、コントローラモデルの固定小数点の適応や

>>

図 4 : dSPACE MicroAutoBox II による 48 V システムのプロトタイプング

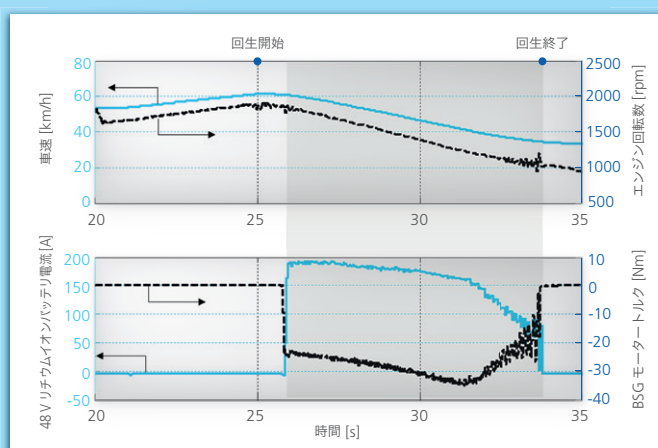






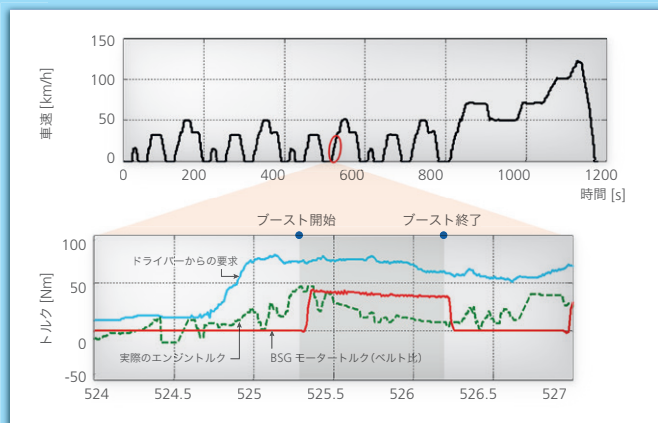
### エンジンのクランキング

通常のスタータと48V BSGモーターの直接比較では、48V BSGモーターのクランキング能力が約0.7秒早く400 rpmに到達します。また、BSGモーターはベルトによってエンジンクランクシャフトと接続されており、エンジンクランキング時の振動が低減されます。



### 回生

この典型的な制動プロセスの例（約8秒）では、BSGモーターが通常のジェネレーターとして機能することにより、制動時の運動エネルギーを回生し、電気エネルギーとして貯蔵します。BSGトルクは回生コマンドにより負の値になります。回生中は、48Vバッテリーが最大200Aの電流を有するエネルギーを吸収します。この無料の回生エネルギーにより、燃費が向上します。



### エンジンクランキング時のブースト

このグラフでは、NEDC走行サイクルでのブーストプロセスが示されています。48V BSGモーターがトルク（正の値、赤い実線）を提供して、ドライバーの要求トルク（青い実線）を補完します。

図5：48Vシステムにおける主要機能の選抜テストデータ



(RAMやフラッシュ空間などの)ランタイムリソースの管理といったコーディングの手間が大幅に削減されます。さらには、システム開発フェーズの非常に早期の段階から、制御アルゴリズムに注力することができます。ラビッドコントロールプロトタイピングを活用すると、機能をより効率的に実現できるだけでなく、まだ入手できない実際の計測データを量産の初期段階で使用できるため、デモ車両および初代プロトタイプの開発時間が大幅に削減されます。OEMメーカーにとっては、さらに数多くの利点があります。たとえば、MicroAutoBox IIで48Vテクノロジーを使用してターゲット車両で燃費向上機能を調査することができたり、システムの相互作用の影響を車両全体の設計から検討したりすることができます。また、筐体がコンパクトなため、車両に統合するのも容易です。 ■

Patrick Ziegler 氏、Zhu Xiaofeng 氏、Ji Guangji 氏、Markus Wernsdoerfer 氏、Lu Boran 氏、Zhang Juan 氏、BEG/EVS-CN、Bosch Engineering China

参考資料：[1] Da Silva, W.; de Paula, P., 12V/14V to 36V/42V Automotive System Supply Voltage Change and the New Technologies [J], SAE Paper 2002-01-3557 [2] Kuypers, M., Application of 48 Volt for Mild Hybrid Vehicles and High Power Loads [J], SAE Paper 2014-01-1790



図6：デモ車両に設置された MicroAutoBox II (左側)

#### Patrick Ziegler 氏

Engineering Vehicle System 部門担当  
 当者、Bosch Engineering 社 (BEG/  
 EVS-CN) (中国、蘇州)



#### Zhu Xiaofeng 氏

プロジェクトマネージャ兼シニアシステム  
 エンジニア、Bosch Engineering 社  
 (中国、蘇州)



#### Ji Guangji 氏

シニアシステムエンジニア兼ブースト回  
 生システム (BRS) および電気エネル  
 ギー管理 (EEM) のソフトウェアおよび  
 機能開発責任者、Bosch Engineering  
 社 (中国、蘇州)



#### Markus Wernsdoerfer 氏

シニアシステムエンジニア兼ブースト回  
 生システム (BRS) および電気エネル  
 ギー管理 (EEM) のソフトウェアおよび  
 機能開発責任者、Bosch Engineering  
 社 (中国、蘇州)



#### Lu Boran 氏

シニアシステムエンジニア兼ブースト回  
 生システム (BRS) のソフトウェアおよび  
 機能開発責任者、Bosch Engineering  
 社 (中国、蘇州)



#### Zhang Juan 氏

システムエンジニア兼システム設計お  
 よびソフトウェア開発責任者、Bosch  
 Engineering 社 (中国、蘇州)





# Driving Your Car from Space

衛星ベースの自動車両  
制御システムの開発







三菱電機株式会社（以下、三菱電機）が開発した自動車両制御システムに衛星システムや数多くのセンサ、さらには dSPACE MicroAutoBox II を組み合わせれば、ドライバーが運転操作を一切行わなくても車両自らウィンカーを点滅し、車線変更や加速を行い、交差点で正確に停止する、という自動運転が現実のものとなります。





#### 自動運転用センサの概要

自動運転への関心は世界中でますます高まっており、自動車社会の新時代が始まるうとしています。現在、多くの市販車ではオプション機能として予防安全（自動運転）システムが搭載されています。今後、交通インフラの改善が同時に進めば、自動運転機能の信頼性と成熟度はさらに高まり、最終的にはドライバーが安心して運転できる環境が整います。

#### 自動運転を可能にする

##### 『Diamond Safety』テクノロジー

三菱電機の車両開発では、顧客とその安全が常に最優先に考えられています。このモットーに基づき、三菱電機はレベル3の自動運転を可能にする予防安全技術『Diamond Safety』を開発しており、安全で快適な運転の実現を目指しています。レベル3の自動運転では、車両の動作は自律的に制御されます。ただし、完全な自

動運転と比較すると、ドライバーの介入が適宜必要です。たとえば、高速道路の走行中に、ドライバーは道路から目を離して必要な運転操作を車に任せることができませんが、警告が発せられた場合、ドライバーは数秒で運転を再開できるよう準備しておく必要があります。三菱電機では、開発した予防安全技術デバイスがレベル3の自動運転要件に沿って安定して動作するかを検証するため、dSPACEのラピッドコントロールプロトタイピング（RCP）システムであるMicroAutoBox IIを使用し、実車で動作を検証しました。

高精度の測位情報は、日本の準天頂衛星システムから提供されます。

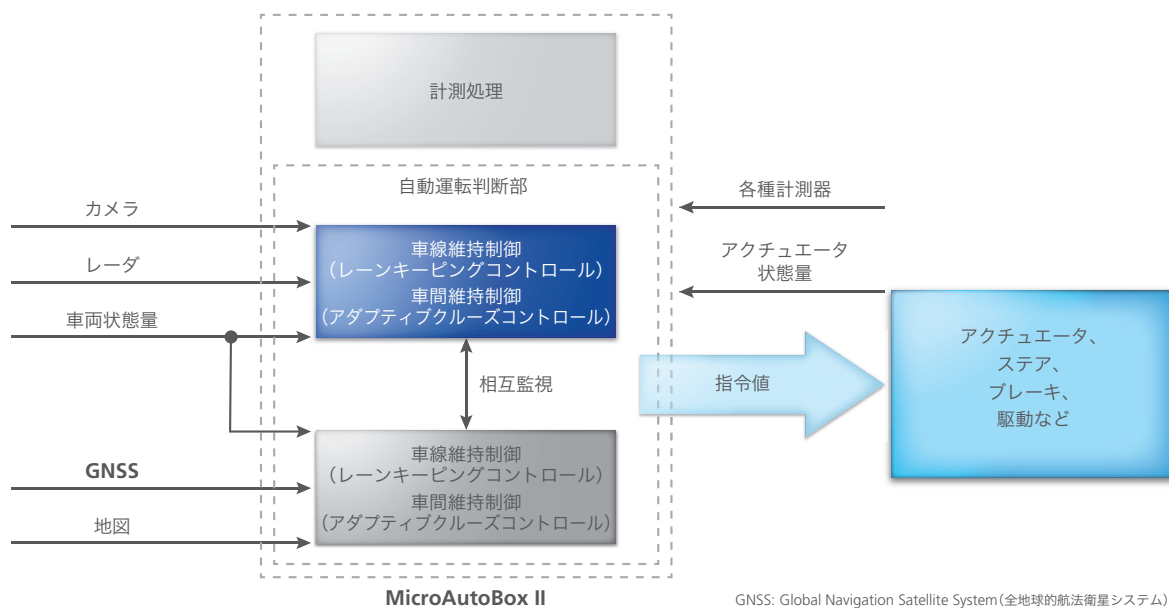
#### 衛星支援測位システム

三菱電機では、レベル3の自動運転を達成するため、自律的アクティブセーフティシステムに加え、日本の準天頂衛星測位システムの高精度測位情報を使用して高い精度と安全性を実現していきます。準天頂衛星システムは、日本で常に天頂付近に1機の衛星が見えるように、複数の軌道面にそれぞれ配置された衛星を組み合わせる衛星システムです。これらの軌道は、軌道傾斜角（赤道面からの軌道面の傾き）を持って、地球の自転と同じ周期で地球を回っています。衛星が常に天頂方向にあるため、山やビル等に影響されず全国をほぼ100%カバーする、高



出典：©三菱電機株式会社





車両制御システムのブロック線図

精度の衛星測位サービスの提供が可能で  
す。準天頂衛星測位システムは従来の測  
位信号に加えて、準天頂衛星固有の補強  
信号（センチメートル級測位補強サービ  
ス）により構成されます。2010年以降、準天  
頂衛星の初号機である「みちびき」が衛  
星軌道を周回しています。2018年から  
は、このシステムにさらに2基の準天頂衛  
星と1基の地球同期衛星が加わり、合計

4基の衛星が稼動する予定です。また、  
2015年1月に採択された「宇宙開発マ  
スタープラン」に沿って、2023年には日  
本の衛星測位システムで7基の衛星が稼  
動することになっており、連続的な測位が  
可能になる予定です。これまで以上に高  
度な自動運転を実現するには、単独の車  
両からだけでは取得できない情報を付加  
することが重要です。衛星測位システムか

ら取得したデータを使用すれば、車線維  
持や車線変更といった制御における精度  
や信頼性が向上します。

#### システム設計の概要

開発中の車両制御システムでは、非常  
に多くのセンサ情報に加え、車両や環境  
に関する情報も解析する必要があります。  
三菱電機の車両制御システム全体は

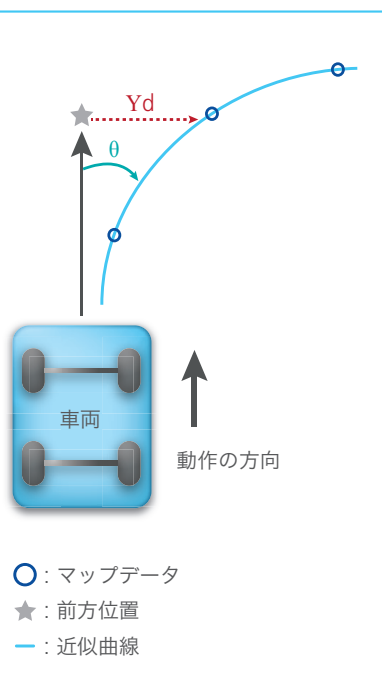
&gt;&gt;

自動運転機能が搭載された車両のダッシュボード





スマートフォンなどの外部デバイスを使用して自動駐車機能を実行



車両の横方向の制御に関する概略図

MicroAutoBox II に実装されており、非常に多くのセンサや車両データの解析が行われています。自律センサには、前方監視カメラやミリ波レーダー、および高精度GNSS（全地球の航法衛星システム）レシーバなどのインフラストラクチャセンサと高精度マップが含まれています。たとえば、車線維持システムの機能は、前方監視カメラによる白線認識に基づく目標経路と高精度マップおよび高精度測位情報による目標経路を整合することにより、信頼性の高い自動運転を実現します。さらに、車速および車両のステータスや周辺状況に関する情報も解析され、自動運転の実行やアクチュエータの操作に使用されます。

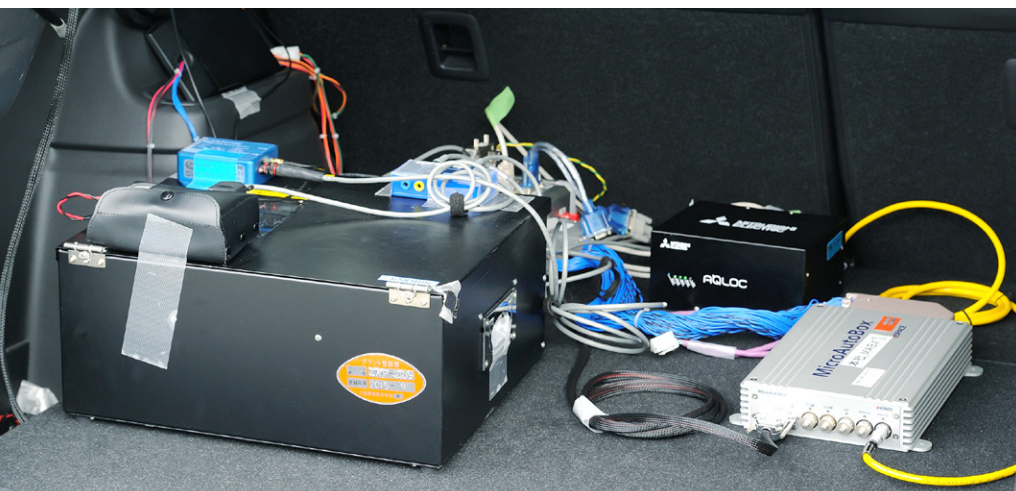
#### 自律的な車両制御

車両の横方向の制御では、前方監視モデルが使用されており、その動作は左図のようになります。このモデルでは、数秒後に車両の現在位置となる前方位置と、近似曲線によって示される目標運転経路が比

較され、横方向の偏差  $Y_d$  および角度  $\theta$  で表現されます。 $Y_d$ 、 $\theta$  に加え、車両ステータスや周辺状況に関する情報も解析され、それらに基づいてステアリング制御が実行されます。縦方向の車両制御は、駆動制御とブレーキ制御によって実行されます。駆動制御では、車両の運転速度およびマップから取得した速度制限情報を比較することで、車速を制御します。ブレーキ制御では、緊急の場合を除いて、急激な減速ではなく、なだらかな減速となるようブレーキ命令が設定されます。（交差点などにおける）停止は、マップ情報に基づいて実行されます。

#### ControlDesk および MicroAutoBox II による検証と制御

dSPACE 開発ツールを使用すると、MATLAB®/Simulink® で開発された制御アルゴリズムを迅速に実装したり、制御パラメータの調整をオンラインで行ったりすることができるため、新しいソリューションをすばやくテストすることができます。非



他の装置と組み合わせた MicroAutoBox II が自動運転機能を実行します。





## 「MicroAutoBox II と ControlDesk を使用することで、非常に効率良くテストを実行し、評価を行うことができます」

三菱電機株式会社、一杉和夫氏

常に複雑なシステムのテストを行う場合、これは非常に便利です。また、これらの開発ツールを使用すると、さまざまなセンサを接続して機能を検証したり、通信上の遅延を軽減したりすることができるため、検証する項目数を大幅に減らし、データを共有することで、異なる部署で開発している要素解析を行うためのリソースや工数を削減することができます。RCP デバイス

にインストールされたモデルを試験ソフトウェアである dSPACE ControlDesk で制御すると、車両制御機能のオン/オフを視覚的に切り替えたり、各種インターフェースの入出力値や計算値を監視したりするなど、1つの画面からさまざまなパラメータを制御および監視することができます。また、多くのインターフェースを提供する MicroAutoBox II を使用すると、車

両操作が容易になるだけでなく、計測デバイスからのデータをリアルタイムで監視できるようになるため、さまざまな評価テストを容易に実行することができます。■

三菱電機株式会社、田中英之氏

### 三菱電機の自動運転車両制御システムの開発チーム

後列（左から）：竹内佑氏、勝健太氏、清水雄司氏、一杉和夫氏、角田貴俊氏、吉瀬毅氏  
前列（左から）：西脇和弘氏、田中英之氏（シニアマネージャー）、佐竹敏英氏、東道年氏、吉野伶氏



## まとめと今後の展望

予防安全技術である『Diamond Safety』テクノロジーは、すでに高い成熟度と機能範囲を実現しており、自動運転の動作原理はさまざまなテストコースですでに実証されています。当社では、この技術における個々の安全機能を段階的に量産車に導入する予定です。今後も、dSPACE 製品を使用して高度な自動運転制御システムの開発を継続していきたいと思えます。



# King of the HIL

露天掘り用電動ダンプトラックの  
HIL (Hardware-in-the-Loop) テスト



中国 SANY グループが開発した SET230 ダンプトラックは、最大 230 トンもの積載物を輸送することができます。dSPACE HIL シミュレータにより車両のディーゼル電気駆動装置をテストすると、過酷な使用環境にある車両の複雑な駆動制御を極めて効率的に開発および検証できるようになります。





**数** 階建てのアパートが20度の傾斜を登るのを見たことがありますか。もし無ければ、大規模な露天掘りの鉱山に足を運ぶことをお勧めします。今日の鉱山では、ダンプトラックが小型の住宅一棟分のサイズに達しており、総重量も軽く数百トンになります。膨大な重量に関わらず、これらの巨大な車体は荒れた急勾配の地形を常に安全に、しかも従来に比べて非常に効率的に移動しています。これが可能になった理由の1つはディーゼル電気駆動装置です。この規模のダンプトラックでは、現在これは業界標準となっています。この駆動装置では、ディーゼルエンジンにより電動インバータを使用したジェネレータが駆動し、リアアクスル上の2つの3相モーターに電力を供給することで推進力を生み出しています。この駆動装置は、ディーゼルモーターから駆動軸までの堅固なドライブシャフトを搭載していないため、マニュアルトランスミッション、機械接続部、ディファレンシャル、およびドライブシャフトを全く使用せずに動作することが可能です。このため、車両の重量およびメンテナンスコストの大幅な削減が可能になっています。ただし、鉱山での過酷な使用環境で高い効率性および安全性を保証するには、この駆動装置に対し、極めて複雑な制御を行える電気コンポーネントを実装する必要があります。

#### モデルベースのテストで新たな次元へ

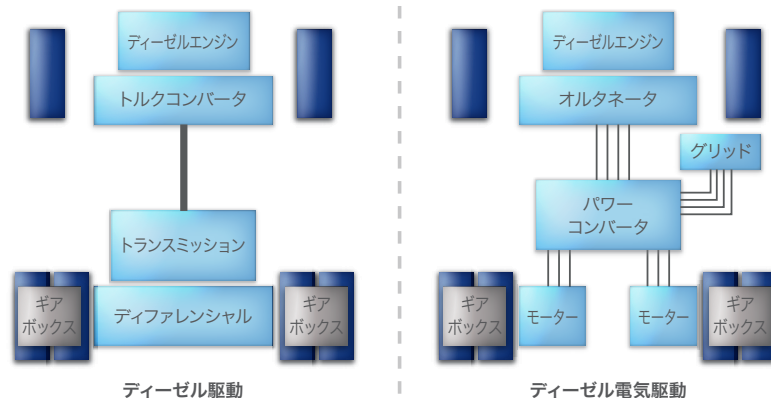
SET230 ダンプトラック（技術データについては表を参照）の開発において、中国 SANY グループのエンジニアもやはり、この従来の手法では解決できない課題に直面しました。ここでは、すぐに2つの問題が生じました。まず、230トンというトラックの巨大な積載重量は本社にとって全く未知のものでした。また、同社のエンジニアはディーゼル電気駆動テクノロジーに関して初歩的な経験しか持ち合わせていませんでした。そのため、SANY 社では、制御開発の大部分のテストをシミュレーションを使って行い、その妥当性を確認することにしました。

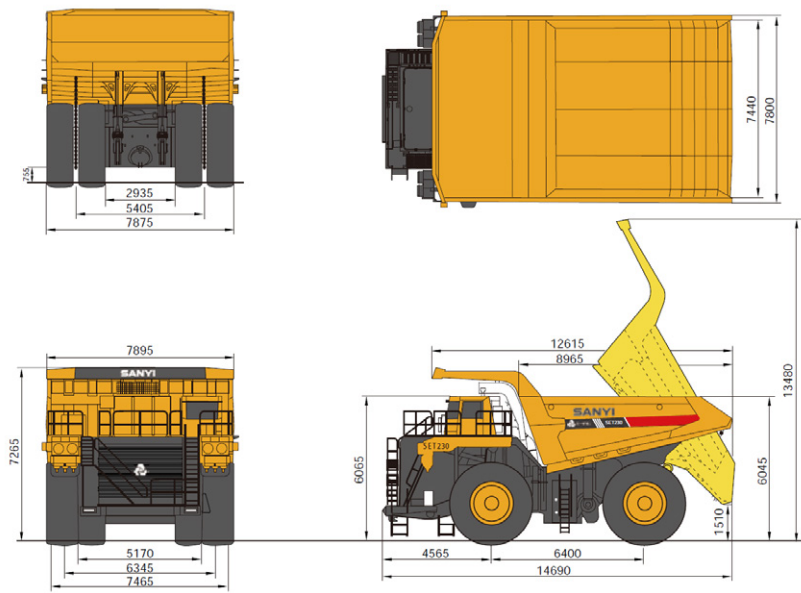
#### ターンキーシステムによるバーチャルビークルシミュレーション

SANY 社は、大規模なラボで実際の電気コンポーネントをテストするのではなく、ターンキーシステムである dSPACE Full-Size シミュレータを活用して SET230 の駆動システム全体をシミュレートすることにしました。これにより、新たな制御方式を開発して電子制御ユニット (ECU) に実装すれば、直ちに「仮想」車両全体と連携させてテストおよび妥当性確認を行えるようになりました。エンジニアは、制御方式をテストベンチに実装した状態で最適化することができるようになったため、コストのかかる実際のトラックプロトタイプに

&gt;&gt;

従来のディーゼル駆動採掘トラック（左図）と比較した場合、SET230 などのディーゼル電気車両はディーゼルエンジンから駆動軸に及ぶ堅固なドライブシャフトが不要です（右図）。このため、車体重量と保守に要する労力を大幅に削減できます。





上り斜面の最大能力	24%
上り斜面の持続能力	12.5%
下り斜面の最大能力	-14%
下り斜面の持続能力	-13%
最高车速	64 km/h
Electric Drive システムの重量	45 t
最大積載量	230 t
最大許容総重量	400 t

SANY SET230 の技術データ：最大 400 t の車両重量を持つディーゼル電気ダンプトラックは、荒れた地形においても目覚ましい走行性能を発揮します。

よるコース上でのテストを行う必要性が減少しました。それに、安全性について妥協する必要も全くありません。

#### 強力かつ柔軟性に優れたシミュレータ

SANY 社の HIL シミュレータには、高性能クアドコアプロセッサを搭載した DS1006 Processor Board が使用されており、極めて複雑なシミュレーション

モデルもリアルタイムで計算することができます。このプロセッサでは、さまざまな機能テストを行う際に、各種の計算タスクを複数のコアに分散させることができます。SANY 社では、信号処理を行う場合やプロセッサベースのモーターシミュレーションを信号レベルで行う場合、2つの DS5202 FPGA Base Board をベースとした dSPACE Electric Motor HIL

(EMH) Solution を活用しています。このソリューションでは、パワーエレクトロニクス制御の PWM 信号など、高速なモーター固有の ECU 信号を計測できるだけでなく、モーター制御用のロータリーエンコーダ信号を生成することができます。dSPACE では、SANY 社固有の要件に正確に合わせてシグナルコンディショニングを調整し、最大± 600 mA のフィードバック信号を伴う電流出力でセンサをシミュレートできるようにしました。また、SANY 社では CAN バス通信のテストを他の車両システムと共に行えるようにするため、2つの DS2202 HIL I/O Board を導入しました。これにより、エンジニアは RTI CAN MultiMessage Blockset を使用して容易にレストバスシミュレーションを実施することができます。

#### 細部に至るまでのモデリング

SANY 社では、強力かつ柔軟性に優れたシミュレーション用ハードウェアを導入するだけでなく、ダンプトラックの極めて正確なモデルを作成したり、実際の過酷な作業環境に可能な限り近い状況を再現したりできるようにすることに注力しました。同社は、MATLAB®/Simulink® によるオフラインシミュレーションでこれらに対応できるようにすることを決め、さまざまな dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) を実装することにしました。これらの ASM モデルは、既にダンプトラックの技術領域のすべてをシームレスにカバーしているか、または多大な時間や労力をかけずに調整できるものでした。ディーゼル電気システムをシミュレートするために使用したコンポーネントの 1 つに、ASM Engine Basic モデルがあります。このモデルには、ディーゼルエンジンに必要なすべてのパラメータがすでに再現されています。駆動装置のさまざまな電気コンポーネントについては、ASM Electric Components (ASM EC) Library を主に使用し、各コンポーネントを特別な用途に適合するよう個別に調整しました。また、カスタマイズされたいくつかのモデルも併用しました。個別に調整されたコンポーネントには、ジェネレータの他励同期モーター（修正された ASM EC）、インバータ (ASM EC)、整流器 (ASM EC)、中間回路 (ASM EC)、ブレーキレジスタ、および 2 つの非同期かご型牽引



「当社では、dSPACE の HIL シミュレータと ASM ツールスイートを使用して良い結果を得ることができました。そのため、さらに多くの dSPACE ツールを当社のツールチェーンに統合する予定です」

Lu Liling 氏、プロジェクトエンジニア、SANY Group 社

モーター (ASM EC) が含まれています。シミュレーションモデルは ASM Vehicle Dynamics Library によりほぼ完全にパラメータ化することができ、減速ギアからタイヤ、ステアリングシステム、ブレーキ、およびサスペンションまで、縦および横方向のあらゆる動的影響を再現することができました。ただし、無積載時の走行から 230 トン満載の最大利用時まで及びダンプトラックのさまざまな積載状態の影響に関する要素だけは、モデリングおよびパラメータ設定の際に唯一追加で統合する必要がありました。また、ダンプトラックが走行する困難な地形プロファイルを正確に再現する場合は、ASM Vehicle Dynamics にすでに含まれていた環境モデルを使用しました。これにより、短い距離の登り運転から急勾配の傾斜、さらに

は長い下り坂での連続運転まで、SET230 の駆動システムで求められる幅広く多様なニーズをカバーすることができました。

#### 直感的なパラメータ設定と明確なビジュアル表示を実現

SANY 社では、dSPACE ModelDesk の GUI を使用して、モデルのパラメータ設定を直観的に調整したり、特別調整したコンポーネントを含む拡張パラメータセットを管理したりしています。また、ビジュアル表示ソフトウェアである dSPACE MotionDesk も活用しています。MotionDesk を使用すると、シミュレーション対象のさまざまな運転操作やシナリオを含め、結果をすべて鮮やかな 3D オンラインアニメーションで表現することができ、パラメータ変更の影響もリア

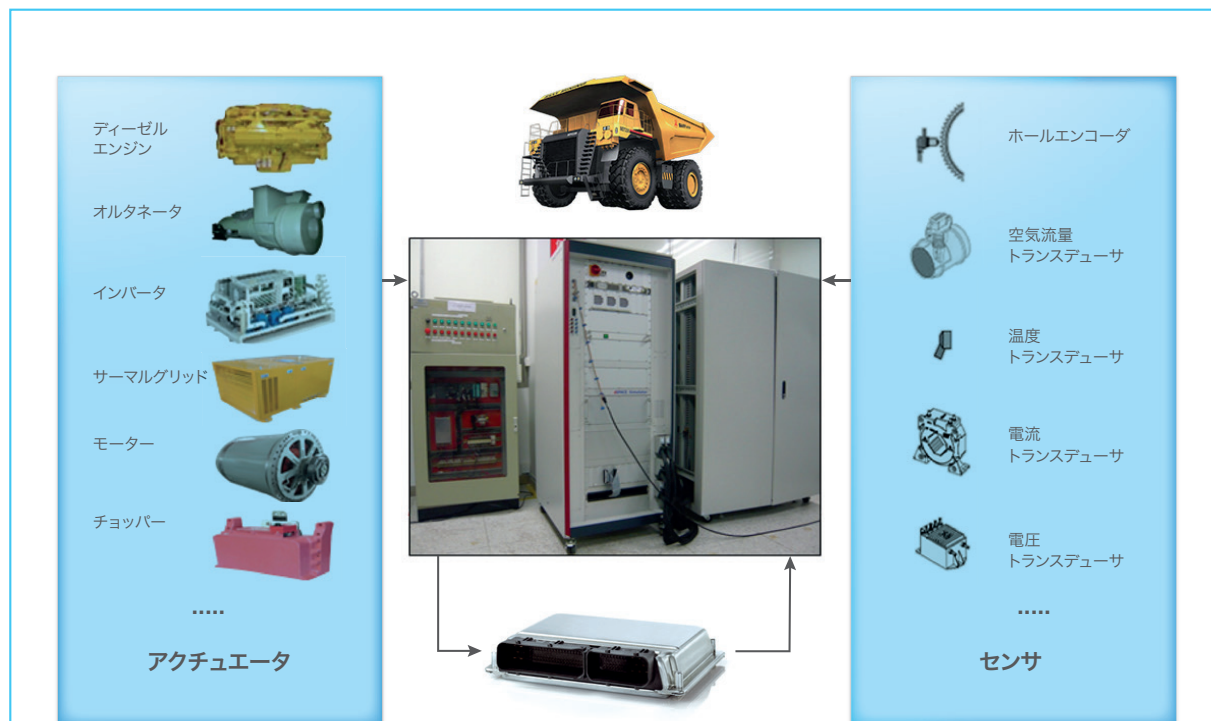
ルタイムで視認できます。SANY 社のエンジニアは、dSPACE ControlDesk でオペレーション全体を実行し、テストデータを記録しています。

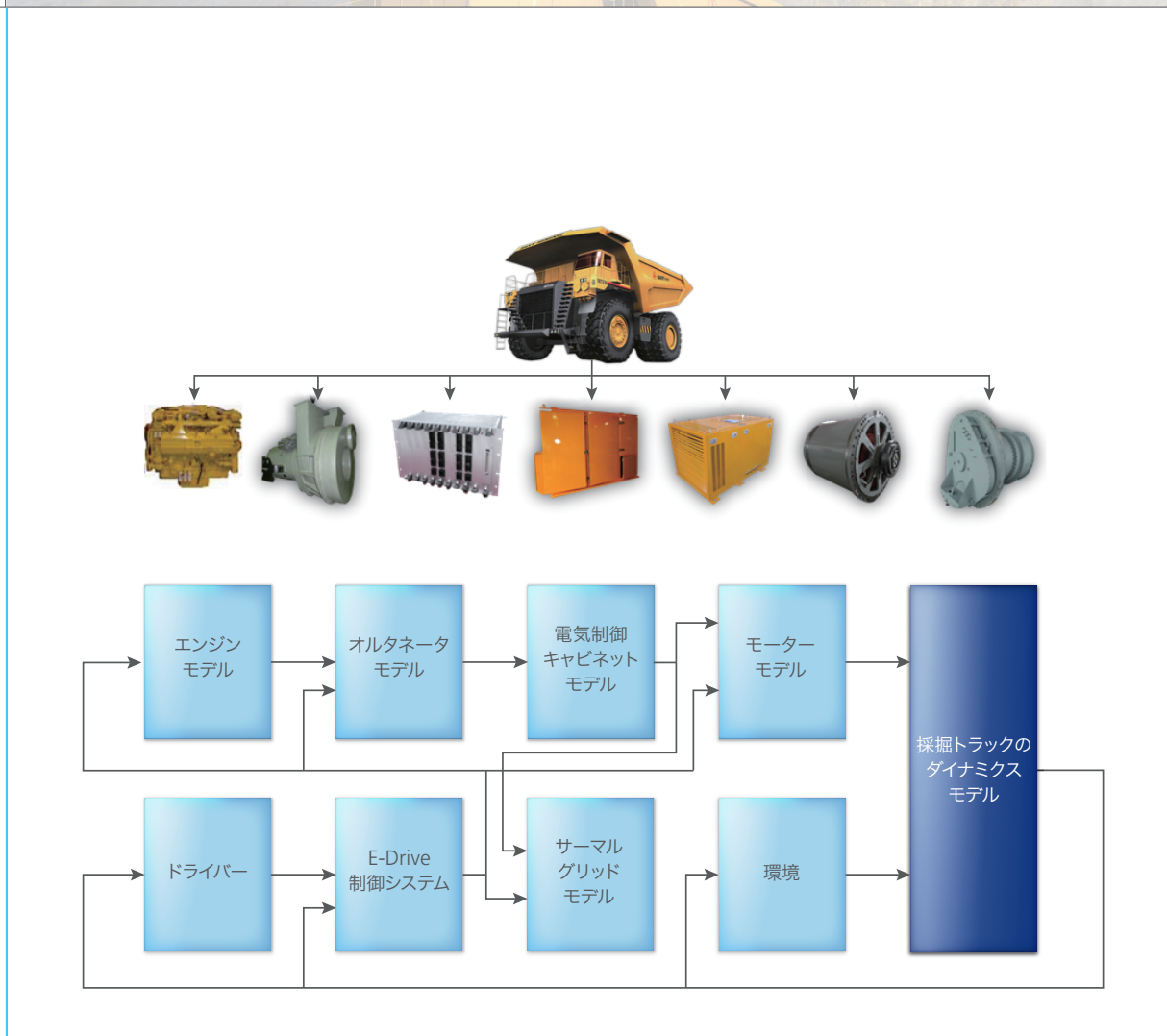
#### すばやい対応で運用開始をサポート

SET230 用の HIL シミュレータの開発は、すべてのハードウェアおよびソフトウェアコンポーネントを含め、dSPACE Engineering チームによって行われました。同チームは SANY 社と連携して、シミュレータを修正、実装、プログラミング、およびテストし、上海の現場で使用するターンキーシステムとして納品しました。dSPACE への発注からシステムの配備までに 8 ヶ月しかかからなかったため、SANY 社は予定通りに SET230 のモーター制御の開発を始めることができました

>>

バーチャルピークル：ターンキーシステムである dSPACE Full-Size シミュレータにより、SET230 のセンサシステム全体 (右側) およびアクチュエータコンポーネント (左側) が再現されます。これにより、SANY 社のエンジニアは実際のダンプトラックを使用したコストのかかるテストドライブを行うことなく、開発の早期の段階で基本的な制御方式を他の車両コンポーネントと合わせてテストすることができます。





幅広いモデルパラメータ：ダンプトラックのピークルダイナミクスモデルでは、ディーゼルモーターから Electric Drive の各種コンポーネント、オペレータ、および環境に至るまで、多数の要素が連携しています。

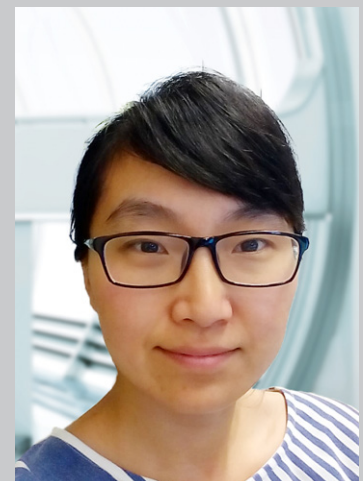
た。dSPACE のモデルベース手法および効率性や汎用性に優れたツールを使用することにより、SANY 社のエンジニアは日程通りにすべての開発手順を実装し、基本的な制御方式をテストし、かつ上海の現場で妥当性確認を行うことができました。プロセスの完了時には、考えられる最大の効率性と信頼性を備えたモーター制御を実現できました。dSPACE ツールを使用することにより、ラボでの開発時間と車両での適合時間がはるかに短縮され、またコストも大幅に削減されました。また、SANY 社は電動パワートレインに関するさまざまな経験を通じて、多くの知識を蓄積することもできました。この新たな経験は、新しい開発者チームを立ち上げる際の極めて大きな原動力にもなりました。HIL シミュレータと ASM モデルの導入の成功に続き、SANY 社はテストオートメーションソフトウェア AutomationDesk、量産コード生成ツール TargetLink®、お

よびデータ管理ツール SYNECT® などの製品を初めてとして、さらなる dSPACE ツールを同社のツールチェーンに統合する予定です。SET230 によって大型のディーゼル電気駆動ダンプトラック市場の突破口を切り開いた現在、SANY 社は今後さらに大型のモデルでその地位を拡大してゆく計画を立てています。近い将来、「動くアパート」は高い確率で 2、3 階増しとなる見込みです。 ■

Lu Liling 氏、Qi Lie 氏、SANY Group

Lu Liling 氏

SET230 採掘トラック開発チームのエンジニア、SANY Group (中国、上海)







明確なビジュアル表示：SANY社のエンジニアは、dSPACE MotionDeskを使用することにより、HILシステム上でシミュレーション対象の運転操作やシナリオをわかりやすい3Dオンラインアニメーションで再現し、パラメータ変更の影響をリアルタイムでビジュアル表示することができます。

Qi Lie 氏  
SET230 採掘トラック開発チームのエンジニア、  
SANY Group (中国、上海)



誇りを持って取り組む開発チーム：SANY社では、直感的に操作できるdSPACEツールにより、ダンプトラックの開発およびテスト手順を大幅に簡素化し、開発期間を短縮できただけでなく、電動パワートレインを構成するさまざまなテクノロジーに対する理解を深めることができました。これらの新たな経験を利用して、高度な専門開発者チームが設立される予定です。





# A Test of Character for Steering Systems

メカトロニクス HIL テストによる電動ステアリングシステムの  
開発および調整





ラボの条件下で車両のステアリング動作の現実的なテストドライブを行うことは可能でしょうか。もちろん可能です。ただし、それには適切なメカトロニクステスト装置が必要となります。Porsche AGの開発者は、まさにこの手法を使って、初期の開発段階で新しいステアリングシステムの挙動を効率的に最適化することができました。

出典：© Porsche 社

今日の車両のステアリングシステムは、方向を変化させるための単純なコンポーネントとしての位置付けをはるかに超えた重要な存在です。近年のステアリングシステムはサーボモーターや多数のアシストシステムでサポートされており、道路交通におけるドライバーのストレスを取り除くうえで不可欠な要素として安全システムに組み込まれています。カーレースにおいては、ステアリングシステムで勝敗が決する場合があります。このような理由から、Porscheなどのスポーツカーの製造メーカーはステアリングシステムの開発に特に注力しています。開発段階では、ステアリング動作が車輪へすばやくかつ正確に伝えられているかを調査するだけではありません。反対方向に正確に伝達される走行状態の直接的なフィードバックについても調査します。直観的かつ安全な運転操作は、これら2つの要素を組み合わせることにより生み出されます。また、ステアリングシステムは競合他社との差別化を図るために理想的なコンポーネントと言えます。ドライバーが直接体感するのはステアリングシステムだからです。そのため、Porscheのスポーツカーにおける典型的なステアリング感覚である軽快かつ直接的なステアリング動作を実現することは、開発者の仕様

の中でも最上位に位置付けられています。当然、モーターレースで要求されるステアリングトルクやステアリング特性は日常運転向けの設定よりもさらに特殊かつ多彩であり、この場合のピークルダイナミクスは一般車両の限界をはるかに越えるものです。

#### 電気機械式ステアリング

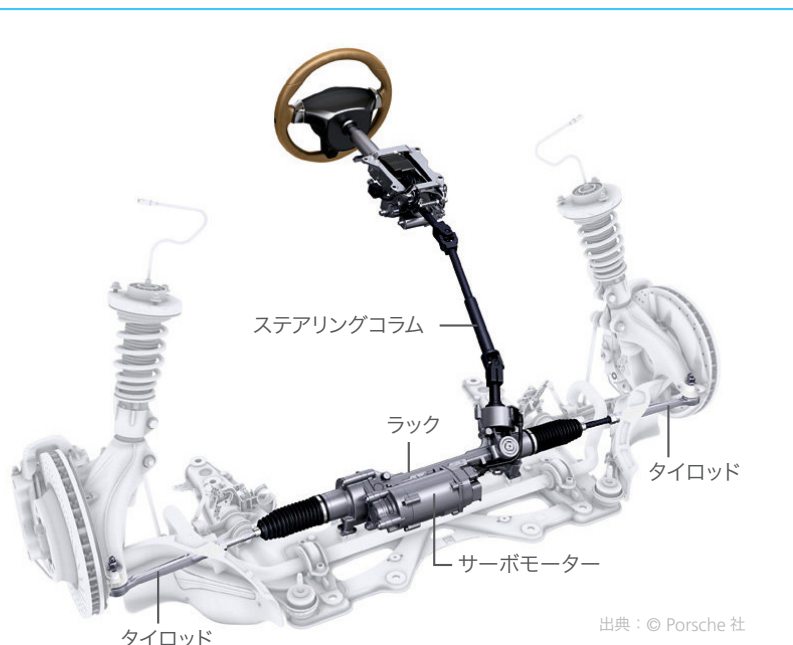
多くの場合、最新の電気機械式ステアリングシステムは、電動パワーステアリング(EPS)システムと呼ばれています(図1)。このようなシステムでは、サーボモーターによってタイロッドに補助的な力が供給されており、ドライバーが求めるステアリング角を積極的にサポートしています。前世代、すなわち油圧式ステアリングシステムと比較すると、EPSシステムはエネルギー消費量をはるかに少なく、しかも制御がより容易です。たとえば、開発者はステアリング機能、快適機能、およびアシスト機能を電子制御ユニット(ECU)に実装してEPSシステムに組み込むことができます。EPSシステムには速度依存のステアリングサポート、アクティブなステアリング復元機能、レーンキープアシストなども搭載することができます。ただし、EPSシステムの欠点は、ドライバーが走行状態について十分なフィードバックを受けることがで

きないという点です。この原因は、アシストユニットの質量イナーシャおよびラックへの伝達によりです。そのため、開発者はフィードバック動作を適切に設計することでPorscheのスポーツカーの特格的な感覚を維持できるようにするという特別な課題に直面します。

#### ステアリングシステムの妥当性確認

ステアリングシステムは、主観的な快適性や反応動作だけでなく、非常に厳格な要件にも対応する必要があります。ステアリングシステムに故障が発生した場合、車両は危険な運転状況に陥るため、ステアリングシステムはセーフティクリティカルな車両コンポーネントです。このため、機械構造および電子制御の妥当性確認は、最も厳格な安全規格に準拠して行う必要があります。そのうえ、ますます多くのソフトウェアや新たな運転支援システム、リアアクスルステアリングといったオプション機能を搭載したステアリングシステムを開発段階でテストする場合、テストの回数が増大します。そのため、高度に複雑な要件においても、求められる品質を効率的に提供できる適切な手法が必要となります。この場合、業界で実績のあるHIL(Hardware-in-the-Loop)手法をECUで使用すれば、テストを再現可能な形式で実行し、テスト範囲を容易に拡張し、さらには個別の事例ごとにテスト深度を調整することができるようになります。このようなテストをシステム全体を対象として行い、それによってコントローラ設計を早期の段階で修正することができれば、開発プロセス全体の効率性が大幅に改善します。このような理由から、Porsche社では、メカトロニクステスト装置を使用してECUを含めたステアリングシステムのテストを自社のラボで行っています。このテストでは、適切なアクチュエータを使用してステアリングシステムに機械的にスティミュラス信号を入力しています。これにより、実車でのテストドライブの挙動に非常によく似たシステム挙動を車両のプロトタイプで再現することができます。ステアリングシステムのすべての機械的なインターフェースに合成スティミュラス信号を挿入することも可能です。これはつまり、総合的なテストをテスト装置上で行うことが可能だということです。そのため、Porsche社の開発者は、たとえば新しい機能のテストや重要なパラメータの特定、およびピークルダ

図1：電気機械式ステアリングシステムのセットアップ。ステアリングサポート向けのモーターがラックに対して平行に設置され、タイロッドに並進力を加えます。



出典：© Porsche 社



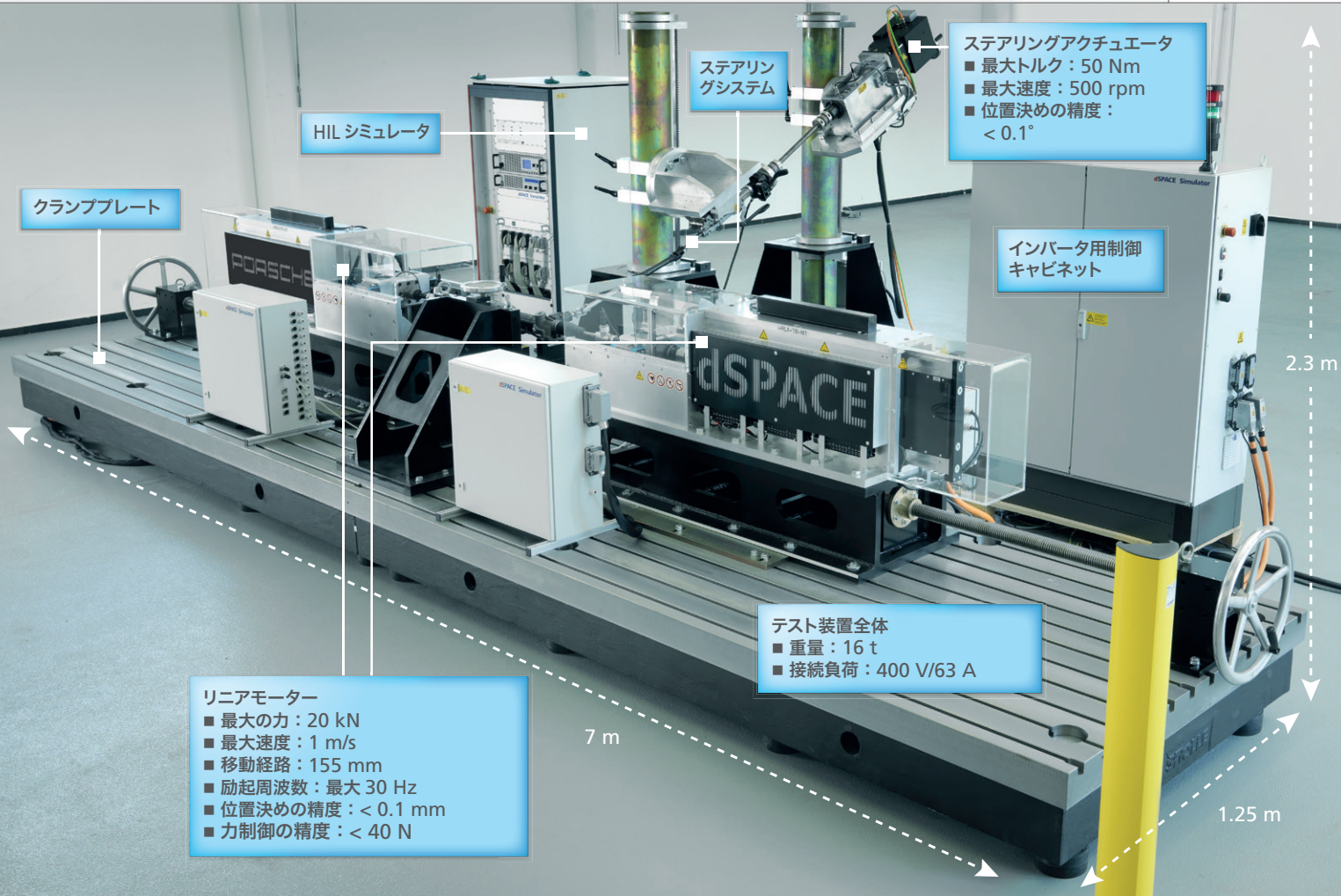


図 2: ステアリングシステムテスト装置のセットアップおよび技術データ

イナミクスの限界評価を開発の早期の段階から一切のリスクを伴わずに行うことができます。また、これにより企業にとって貴重なノウハウも積み上げられます。

### テスト装置の柔軟なセットアップ

Porsche 社が dSPACE と協力して開発したステアリングテスト装置は、ステアリングコラム、サーボモーター、ラック、タイロッドを含むステアリングシステム全体をテストできるように設計されています (図 2)。この装置で特徴的なのは、個々のコンポーネントを配置するためのさまざまな目盛りの付いた調節可能なクランププレートです。また、ステアリングシステムとテスト装置の間でエネルギーおよび信号を伝達するためのインターフェースも存在します。これらにより、テスト装置では極めて高い柔軟性が実現しています。そのため、ステアリングシステムごとにテスト装置を完全に適合させることができるだけでなく、テスト装置のセットアップも極めて短時間で済むため、効率的な運用が可能になります。

### 効率性の高い Electric Drive

テスト装置の中心部は動的な特性を持つ Electric Drive であり、ステアリングシステムを機械的にスティミュレートする 2 つのリニアモーターで構成されています。Electric Drive では、実車においてホイールから 2 本のタイロッドに伝えられる力をシミュレートします。ステアリング角は、ステアリングコラムの反対側にあるステアリングアクチュエータ (モーター) により動的に設定されるため、ドライバーの操作を容易に再現することができます。2 つのリニアモーターおよびステアリングアクチュエータへの電力は、制御されたドライブレインバータにより供給されます。リニアモーターの制御装置は、大きな力と精度の高い分解能を再現できるように設計されています。また、すべてのモーターのインバータは、共通化した電圧 DC リンクによって接続されています。DC リンクには、電力系統からの電力がアクティブなフィードインユニットを介して供給されます。インバータは連結式のため、ここで考慮すべ

き事項はテスト装置の電流喪失のみです。回路内では、電力の大部分は流れを継続します。そのため、このステアリングテスト装置のエネルギー効率、Porsche 社がこれまで使用してきた油圧式テスト装置と比べてはるかに高くなっています。外部電源に使用できるのは、標準的な 3 相プラグ (63 A) のみです。冷却剤や圧縮空気など、その他の資材は必要ありません。

### シミュレータのセットアップと機能

モーターの制御やテスト装置のモニタリング、測定データの取得はすべて dSPACE HIL シミュレータで行われます。シミュレータにはリアルタイムプロセッサ、必要な I/O、および適切なシグナルコンディショニングが含まれています。ドライブレインバータは LTI Motion TWINsync プロトコルで制御されており、125 μs 間隔で確実に目標値がインバータへと送信されます。この制御コンセプトにより、石畳の道路での高速運転に相当する最大 30 Hz の極めて動的なスティミュラス信号の場

>>



図3：テスト装置のコンポーネント、信号、アクチュエータ、およびセンサ

合でも高い精度を実現することが可能になっています。また、HILシステムはレストバスシミュレーションにも対応しており、ステアリングのタイプに応じてCANまたはFlexRayのいずれかを使用することができます。dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) ツールスイートを使用すると、車両のピークルダイナミクスをリアルタイムでシミュレートすることも可能です。また、ASM Vehicle Dynamics Modelに実際のステアリングシステムを接続すれば、クローズドループ動作を実行できます(図3)。Porsche社のさまざまな車種をパラメータ化する場合は、dSPACE ModelDeskのGUIを使用します。さらに、ソフトウェアを使用して仮想テストドライブ用の道路や運転操作を定義することも可能です。車両の挙動を直ちにビジュアル表示したい場合は、3DアニメーションソフトウェアであるdSPACE MotionDeskを使用します(図4)。テスト装置の制御には、試験および計測用ソフトウェアであるdSPACE ControlDeskを使用します。テストシーケンスを自動化したい場合は、テストオートメーションソフトウェアであるdSPACE AutomationDeskを使用します。これにより、利便性の向上が実現します。

#### EPS テストの部品

Porsche社では、ステアリングテスト装置を使用してステアリングの機械的パラメータを特定し、ステアリングシステムのトラ

ンスミッション挙動を解析しています。ステアリングシステムのサプライヤが機械的な要件をどのように実装したのかを理解する場合、テストを実施してパラメータを特定します。また、同一の部品を使用して計測を繰り返し行うことにより、部品の耐久性に関する情報も得られます。テストにより特定できるのは次のパラメータです。

- ピニオン角とラック動作との間のトランスミッション挙動
- モーター角とラック動作との間のトランスミッション挙動
- ステアリングロッド(トーションバーおよびステアリングコラム)の剛性
- モータートランスミッション(ベルトドライブおよびボールねじ)の剛性
- ステアリングボックスおよびステアリングコラムの摩擦
- モーターラックアップテーブル(性能、電力消費、および効率性)

Porsche社では、AutomationDeskを使用することにより、計測シーケンスの自動化を容易に実現しています。たとえば、ステアリングボックスとステアリングコラムにおける摩擦の特定やモーターラックアップテーブルの特定では、それぞれ異なる計測手段が必要となりますが、Porsche社では計測シーケンスの自動化で対応しています。また、ステアリングロッドの剛性を特定する場合、トルク制御された三角波信号をステアリングアクチュエー

タから発信するテストを自動的に実行します。剛性は、「ステアリングホイールのトルク」 $M_L$ および「ステアリングホイールの角度」 $\delta_L$ という計測された変数から求めることができます(図5、[E1](#))。サーボモーターの属性は、電動パワーステアリングシステムのトランスミッション挙動を解析することで特定できます。この属性を使用すると、サーボモーターがさまざまなステイミュラス信号の周波数に対するアシスト要件をどこまで達成しているかを調査することができます。また、ステアリングシステムのフィードバック挙動を解析することも可能です。開発者は主にステアリングコントローラソフトウェアを使用してステアリングシステムを操作しながら、Porscheのスポーツカーで求められる感覚に適合するようにステアリングシステムを設計していきます。ラックに加わる力からトーションバーのトルクに伝えられるトランスミッション挙動を解析する場合、さまざまな周波数が使用されています。トランスミッションの解析基準は次の通りです。

- モーターのトルクからラックに加わる力に対するトランスミッション挙動
- ラックの力からトーションバーのトルクに伝えられるトランスミッション挙動

図5([4](#)、[5](#))は、ラックに対するステイミュラス信号がトーションバートのトルクの反応として表れた様子を示しています。「パッシブ」曲線は、EPSによるアシストのない完



全に機械的なステアリングシステムのトランスミッション挙動を示しています。「アクティブ」曲線は、EPSによりアシストされたステアリングシステムの挙動を示しています。「アクティブ」曲線は「パッシブ」曲線に比べ、振幅が明らかに低くなっています。これは、ステアリングシステムのアシスト機能により、ドライバーが手動で加える必要のあるトルクが快適なレベルにまで低下しているためです。曲線 #1 および #2 が大部分で合致しているという事実からも、dSPACE のステアリングテスト装置により高い再現性で計測が行われていることが分かります。

#### システム全体の挙動をテスト

テスト装置には、システム全体の挙動を解

析できるようにするための 2 つの手法が提供されています。1 つ目は、テストを開始する前に、テストドライブでの計測値などに基づいてあらかじめ設定された信号をテストベクトルとしてテスト装置に入力する手法です。この手法の利点は、テストベクトルの記録が 1 度で済み、何度でも再利用できることにあります。そのため、異なるソフトウェアの状態を解析する場合には、再度実車で運転操作を行う必要がありません。2 つ目は、ASM Vehicle Dynamics Model を使用して、システム全体（つまり、車両）に組み込まれた状態でのステアリングシステムの挙動を解析する手法です。これを実行するには、Porsche 社のテスト対象車のデータに基づいて ASM Vehicle Dynamics Model をパラメータ

化する必要がありますが、ModelDesk を使用すれば、さまざまな運転状況を定義することが可能です。開発者は、進路トポロジや路面の摩擦属性など、複数の変数を修正することができます。このように、テストベクトルを使用したり、ASM Vehicle Dynamics によるシミュレーションを行ったりすることで、実車でのテストドライブと同様のシステム解析を行うことができます。ここまで優れた再現性と高い精度でテストを行える主な理由の 1 つは、テストを行う際にドライバーや環境的な要因を排除できることにあります（図 6）。

#### プロジェクトの進行と調整

Porsche 社は、見積り段階での最初の話し合いからテスト装置の試運転や最終

>>

「dSPACE のメカトロニクステスト装置は、極めて要件の厳しい Porsche ステアリングシステムの開発環境に完全に融合できるほど高度に動的であるため、当社にとって重要な開発ツールとなっています」

Anton Uselmann 氏、Porsche AG 社

図 4：テスト制御用の ControlDesk (左) と運転操作をビジュアル表示する MotionDesk (右) を搭載したオペレータ用ワークステーションを含むメカトロニクステスト装置



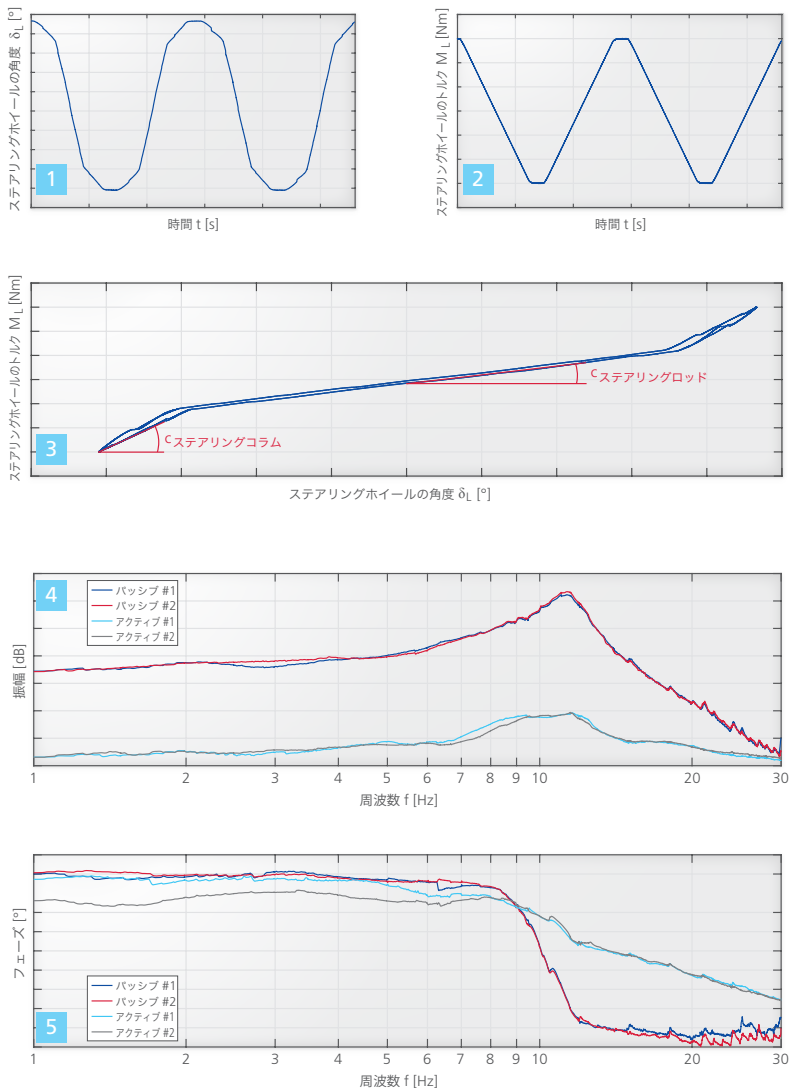


図5：ステアリングホイールのテストで記録されたさまざまな計測値

1、2：ステアリングホイールの角度を  $\delta_L$ 、ステアリングホイールのトルクを  $M_L$  とした場合の時間  $t$  に対するステアリングロッドのスティミュレーション

3：ステアリングロッドの剛性は、ステアリングホイールの角度  $\delta_L$  に対するステアリングホイールのトルク  $M_L$  の傾きから求めることができます。

4、5：ステアリングシステムに純粋な機械式トランスミッション（パッシブ）を使用した場合とアシストユニットによるサポート（アクティブ）を使用した場合におけるトランスミッション挙動。曲線 #1 および #2 から、dSPACE のステアリングテスト装置により高い再現性で計測が行われていることが分かります。

チェックまでに及ぶプロジェクト全体を通じて、dSPACE の担当者と緊密に連携しました。プロジェクトの第 1 段階は、Porsche 社の要件に従ってテスト装置向けのセットアップを作成することでした。これは機械的セットアップの 3D モデルに基づいて作成され、複数の段階で修正が行われました。たとえば、テスト装置の固有周波数が計画上のすべてのシナリオに確実に適合する範囲内で、構造物に関する計測値を設定する（つまり、励起周波数の範囲外にする）といった修正を行ったり、リニアモーターのローターを最適化して、要求される高度なダイナミクスに対応できるようにするといった修正を行いました。また、Porsche 社は、dSPACE と定期的に電話会議を行ったり、ヴァイツハの Porsche 開発センターおよびパーダーボルンの dSPACE 本社双方で現地会合を開いたりすることを本プロジェクトの不可欠な要素として位置付けました。これらにより、プロジェクトの進行において常に高い透明性が確保され、テスト装置は予定通りの期日で納品および配備されました。Porsche 社では、テスト装置全体を単一のベンダーから入手し、ターンキーシステムとして受け取ることができたため、付帯的な調整コストやサードパーティベンダーとの連絡といった問題は一切ありませんでした。

#### まとめと今後の展望

Porsche 社では、ステアリングテスト装置を活用することで、テストの柔軟性を向上させ、高い精度でテストを再現できるようになった結果、ステアリングシステムの開発および妥当性確認のさらなる効率化を達成することができました。dSPACE とはプロジェクトの完了後も緊密な連携を継続しており、現在、dSPACE ではステアリングテスト装置で使用する制御アルゴリズムの一層の最適化に取り組んでいます。次



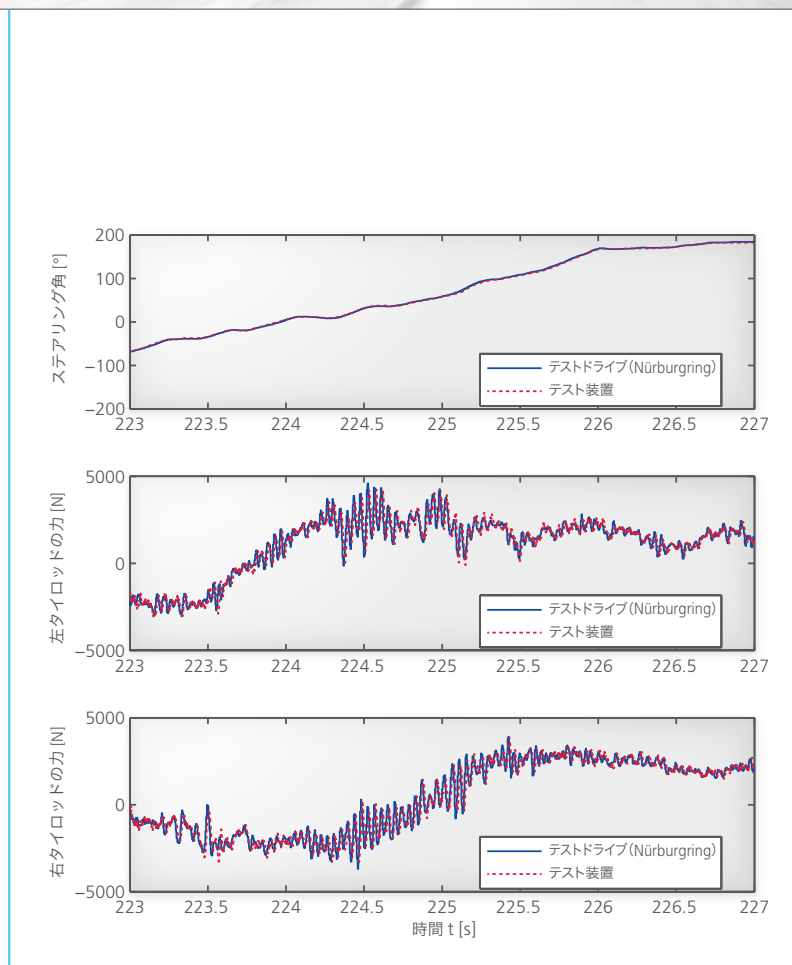


図6：Nürburgring レース場での実車によるテストドライブで記録された、ステアリング角と対応するタイロッドの力を示す計測データ（青）およびステアリングテスト装置での計測値（赤）

「当社では、リアルタイムシミュレーションモデルである ASM Vehicle Dynamics を使用して、バーチャルビークルにおけるステアリングシステムの実動作を解析しています」

Benedikt Schrage 氏、Porsche AG 社

のフェーズでは、両社はテスト装置にリアアクスルステアリングシステムを統合する予定であり、ステアパイワイヤアーキテクチャを組み込むプロジェクトも発生する可能性があります。さらには、Porsche 社はテスト対象ユニット向けの温度室の統合

を計画中であり、必要なインターフェースは HIL シミュレータ上には既に搭載されています。■

Anton Uselmann 氏、Eric Preising 氏、Benedikt Schrage 氏、Dario Dusterloh 氏、Porsche AG



テスト装置の詳細な動作については、次のサイトの動画をご覧ください：  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20162\\_mHIL\\_E](http://www.dspace.jp/go/dMag_20162_mHIL_E)

Anton Uselmann 氏

ステアリングシステム機能開発責任者、Porsche AG 社（ドイツ、ヴァイサッハ）



Eric Preising 氏

テストベイにおけるシャシーテストベンチ担当エキスパート、Porsche AG 社（ドイツ、ヴァイサッハ）



Benedikt Schrage 氏

シャシーテストベンチのテストエンジニア兼ステアリングテスト装置責任者、Porsche AG 社（ドイツ、ヴァイサッハ）



Dario Dusterloh 氏

ステアリングシステムの開発プロセスにおける機能最適化および複雑性管理の研究者、博士論文提出資格者、Porsche Ag 社（ドイツ、ヴァイサッハ）





# Chain-Free Cycling

自転車向けシリアルハイブリッドドライブ

これまで、ほとんどすべての電動自転車（電動アシスト自転車）では、ペダルと駆動輪との間を機械的に接続したパラレルハイブリッドドライブが搭載されていました。シリアルハイブリッドドライブでは、このような保守に手間のかかる接続は必要ありませんが、走行中に乗り心地が非常に不自然になるのが難点です。IAIのシリアルハイブリッド EE-SpeedBike ではこうした難点が克服されています。dSPACE ツールを使用してスマートな制御方式を実現できたおかげで、非常に自然な乗り心地の電動自転車が実現しました。





**ト** イツおよび欧州における電動アシスト自転車市場は急速に発展しており、年間成長率は10%近くに達します。今日の中価格帯の電動アシスト自転車は、チェーンドライブやベルトドライブを備えているだけでなく、ペダル付近にミッドドライブモーターやリアハブモーターも搭載しています。これらのドライブコンセプトは、一般にパラレルハイブリッドドライブとして知られています。

### シリアルハイブリッドドライブ

既に40年以上の間、多くのエンジニアが自転車向けのシリアルハイブリッドドライブの開発に取り組んできました。このアイデアを着想したのは、1975年にこのコンセプトの特許認定を初めて取得した米国人であるAugustus Kinzel氏です。当時のコンセプトでは、ペダルをジェネレータに直接接続することが想定されていました。この場合、搭乗者のペダルを踏む力によって生まれた電力はケーブルを伝って前輪のモーターに流れ、従来のようにペダルと後輪との間を機械的に接続する必要がなくなりました。しかし、それから数年でシリアルハイブリッドドライブを搭載したさまざまな自転車が多数導入されましたが、乗り心地の不自然さやペダルでの反トルクの欠如など、さまざまな理由で一般には浸透しませんでした。

### 未来へと続く道

Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (Institute for Automation and Computer Science, IAI) がシリアルハイブリッドドライブに関する研究に初めて着手したのは、自転車製造メーカーとの話し合いが発端でした。ここでは、主にさまざまな従来型自転車の性能分析を基に行われてきた研究から、パラレルハイブリッドドライブ式電動アシスト自転車の欠点は特にチェーンと変速機の耐久性と保守性であると考えられました。IAIでは、シリアルハイブリッドドライブを使用して、従来型自転車と同じペダル感覚を維持しながら、少なくともパラレルハイブリッドドライブ式電動アシスト自転車と同等の性能を提供できる自転車の設計に取り組むことにしました。同期ドライブの開発作業は、Federation of Industrial Research Associations (AiF) が資金提供するプロジェクトの一環として開始されました。このプロジェクト

では、最初に関連する計測テクノロジーや制御テクノロジー、パワーエレクトロニクスを商用自転車でテストし、それらを同期ドライブに利用することにより、走行性能を解析しました。モーターやジェネレータで要求されるトルクは、一般的な市販の補助ドライブのトルクとは本質的に異なります。シリアルハイブリッドドライブでは、自転車が必要とするすべての駆動力をドライブモーターで変換して生み出せる必要がある一方で、チェーンドライブに対する適切な反トルクをジェネレータで生み出し、ペダルの踏み具合に応じたフィードバックを搭乗者に提供できなければなりません。しかし、IAIが開発した第1世代のドライブではこれらの要件を完全に満たすことはできませんでした。この場合、トランスミッションを最適化し、小型のサイズに必要なトルクを生み出すという相反する目標を解決するのが唯一の方法でした。それでも、この最初のモデルを開発したことで、ソフトウェアシミュレーションを使用すれば、特殊な制御アルゴリズムによってチェーンドライブのエミュレーションが可能であることが明らかになりました。

### X-PESA コンセプト

IAIでは機能的証拠に従い、プラネタリギアを組み込むことによってドライブを小型化し、トルクを増大させることに成功しました。これにより、特別設計のフレーム内にコンセプト全体を収めることが可能になりました。こうして、より機能的なモデルとして誕生したX-PESAは、時速25kmの電動アシスト自転車として設計され、現行のパラレルハイブリッドドライブ式電動アシスト自転車に匹敵する性能を実現しました。ただし、開発の初期段階では、ジェネレータが重くかつ大き過ぎたため、1段プラネタリギアでは求められるトルクを実現できないことは明らかでした。

### 次世代モデル

IAIでは、国家戦略であるELISA (Electric Mobility and Lightweight Engineering) の一環としてザクセンアンハルト州から資金提供を受けることにより、ドライブの開発を再開することになりました。現在、ジェネレータは2段プラネタリギアに搭載されており、総重量2.9kgで最大180Nmのトルクを生み出すため、体重100kgの搭乗者が積極的にペダルを踏んでいる間でも十分な反トルクを感じ

&gt;&gt;

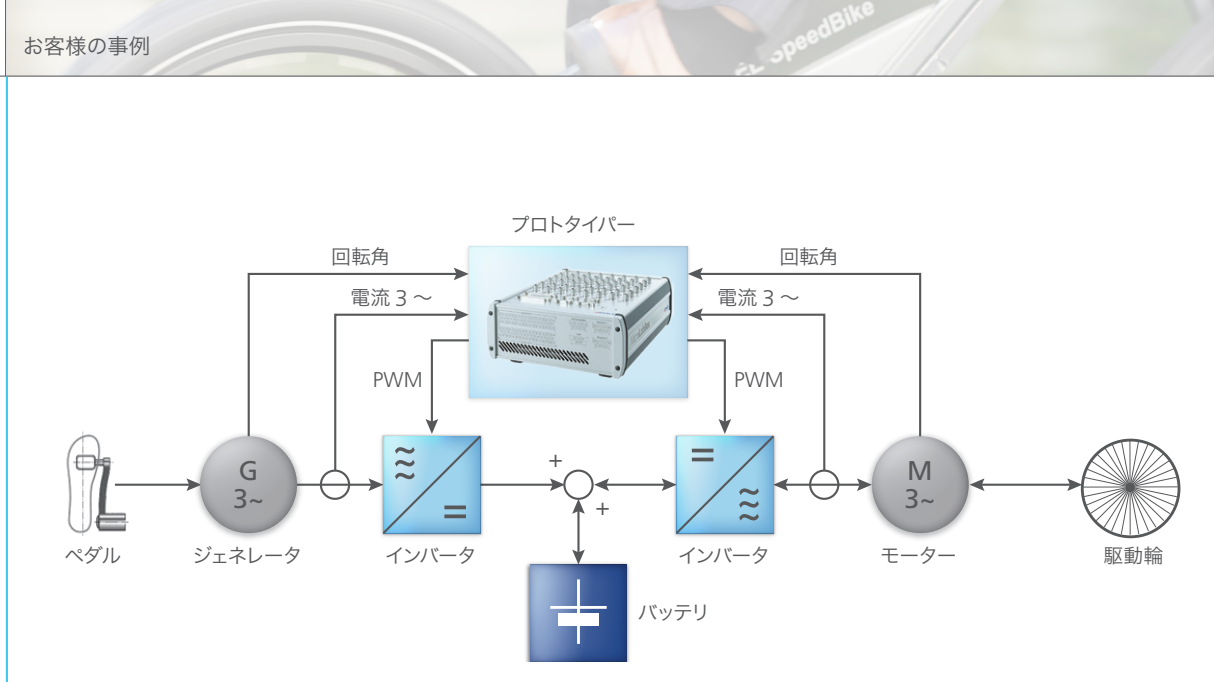


図1：dSPACE MicroLabBox をプロトタイパーとして使用したシリアルハイブリッドドライブの電力フロー

ることができます。リアスプロケットの設置スペースを利用したドライブモーターは、トルクがピーク時で 120 Nm に達し、瞬間的に 2 kW の電力を発電します。そのため、モーターは最大時速 45 km の S-Pedelec カテゴリで使用できるよう設計されています。また、時速 25 km の速度制限が適用されるあらゆる種類のバイク（シティバイク、マウンテンバイク、カーゴバイク、三輪自動車など）で利用することもできます。モーターおよびジェネレータは、完全にメンテナンスフリーです。エネルギーの変換工程が二重であるにも関わらず、ペダルと後輪との間の機械的な接続や機械回路が存在しないため、このドライブシステムの効率性とコストは原理的にはパラレルハイブリッドドライブに匹敵します。また、シリアルハイブリッドドライブの優れた機能性は他に類を見ません。

#### スマートフォンで容易に制御

ドライブトレインの中心部には 16 ビットのマイクロコントローラが搭載されており、モーターおよびジェネレータのリアルタイム制御や各種のモニタリングタスクを実行しています。さらに、Bluetooth で接続されたスマートフォンや制御ディスプレイとの通信処理も行います。また、スマートフォンの画面には特別開発のアプリによって速度、バッテリーレベル、性能などのあらゆる運転パラメータが表示されます。スマートフォンではさまざまな運転モードの設定も行えます。手動切り替えモードでは、制御ディスプレイを使用して従来の変速機に相当する 20 段変速ギアを仮想的に操作できます。シリアルハイブリッドドライブでは、代替オプションとして連続自動式変速機が備えられており、搭乗者は制御ディスプレイから希望するストライドレートを設

定することができます。バッテリーによる走行サポート機能では、搭乗者に適した電気的な「追い風」を変数設定によって調整できます。中間サポートを選択すると、EE-SpeedBike で 80 km までの距離を走行できるようバッテリーパックが設定されます。距離は任意に延長可能です。搭乗者がドライブトレインで必要となる以上の力でペダルを踏んで走行した場合、発生した余剰電力はバッテリーに充電されます。たとえば、時速 45 km では駆動力の多くはバッテリーパックから提供されることとなりますが、それでも走行可能な距離は 45 km です。また、エクササイズバイクモードを使用すると、バッテリーを電源ソケットに接続して充電するように、静止している自転車のペダルを踏んで 850 Wh バッテリーに充電することができます。後輪の制動時には、継続的に制御可能な回生モードでモーターが動作し、運動エネルギーを電気エネルギーへと変換し、機械式ブレーキがかかっている間にバッテリーへの給電を行います。

図2：Bluetooth を介して接続したスマートフォンのユーザインターフェース



#### 最初の試運転

ドライブコンポーネントの試運転および評価は、DS1103 PPC Controller Board を使用して行われました。ここでは、DS1103 の優れた性能により、MATLAB®/Simulink® で開発された CPU 負荷の高い制御アルゴリズムの場合でも、最初にランタイムの最適化を検討することなくリアルタイムでテストすることができました。また、DS1103 の拡張補助機能を使用することにより、テストベンチ上でモーターやジェネレータの総合的な試験走行を実施することもできました。



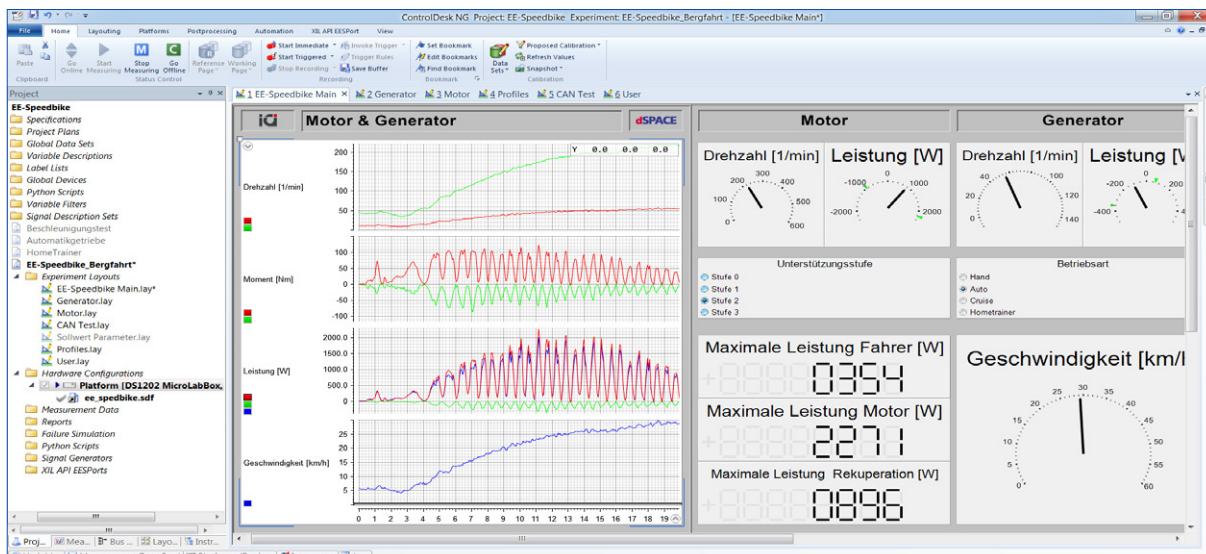


図3：テストベンチでの山岳走行シミュレーションにおいてモーターおよびジェネレータから発生したトルク、回転速度、およびさまざまなレベルの電力

「dSPACE MicroLabBox の広範囲な I/O ファンクションのおかげで、当社は新しいドライブコンセプトをテストベンチで極めて柔軟にテストすることができました」

Steffen Braune 氏、Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI)

#### DS1103 から MicroLabBox へ

近年、IAI ではテストベンチでの MicroLabBox の使用を開始しています。テストベンチで MicroLabBox を使用すると、特にマルチチャンネル PWM 信号生成において、DS1103 および拡張補助機能を使用するよりも高い演算処理能力を実現することができるため、モーターとジェネレータの同時テストが可能になります。これにより、研究者は2つのドライブの相互作用に対する理解をより深めることができ、ジェネレータに関係する乗り心地とモーターのトルク生成の両方を継続的に改善することができました。また、RTI USB Flight Recorder Blockset を使用することにより、長期間にわたり関連するすべてのプロセスデータを高いサンプリングレートで記録できるようになったため、解析作業ははるかに容易になりました。さらに、ControlDesk 5.5 の拡張機能である新たな Variable Browser や個別のプロッタを新しい計測値として保存する機能などを活用することで、テストシリーズを迅速かつ効率的に実装および評価できるようになりました。

#### まとめと今後の展望

EE-SpeedBike およびその先行モデルである X-PESA は、合わせて数千キロメートルもの路上およびテストベンチでのテストを行い、目立った問題は一切ありません

でした。2015年12月には、ザクセンアンハルト州のフーゴーユンカーズ研究開発賞における「応用研究で最も革新的なプロジェクト」のカテゴリで、このドライブコンセプトが第3位という栄誉を受けました。IAI では、次の開発ステップとして、現在のモデルの産業化を図り、量産テクノロジーを通じて多数の自転車を製造することを目指しています。■

Steffen Braune 氏、Knut Hahne 氏、Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI)

#### Steffen Braune 氏

メカトロニクスシステム部門プロジェクトリーダー、Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI) (ドイツ、ヴェルニグローデ)



#### Knut Hahne 氏

アプリケーションエンジニア、Institut für Automatisierung und Informatik GmbH (IAI) (ドイツ、ヴェルニグローデ)







先進エクササイズマシンの開発

# Smart Training

クリーブランド州立大学の研究者は、スポーツの練習やリハビリ、さらには宇宙空間でのエクササイズなどに使用できる新しいタイプのエクササイズマシンを開発しています。ここでは、dSPACE MicroLabBox を使用して計測データを収集し、ユーザーごとに調整可能なマシンプロトタイプを操作しています。





エクササイズマシンの歴史は、少なくとも産業革命の時代にまで遡ることができます。それ以来、エクササイズマシンはさまざまな進化を経て洗練され、抵抗力、速度、および心拍数レベルなどの重要なインジケータを備えた電子ディスプレイまでを含むようになりました（図 1）。エクササイズマシンは、筋力を強化する場合のウェイトリフティングマシンや有酸素運動を行う場合のローイングマシンやトレッドミルなど、目的に応じて個別に設計されており、リフティングマシンではウェイトの量を選択でき、ローイングマシンでは抵抗力を調整できます。しかし、運動への抵抗という性質（機械インピーダンス）は常に同じです。

#### 目的：個別の用途に応じた機械インピーダンスの調整

クリーブランド州立大学では、機械インピーダンスが固定されていると最も効率的にトレーニングを行うことはできないという事実を解明するため、エクササイズマシンに関する研究プロジェクトを開始しました。たとえば、リハビリ用マシンの目的は、使用者に対して抵抗力を提供するだけでなく、その運動の支援となることであり、療法士や医師がマシンをプログラムしてカスタマイズし、単一の運動サイクル内、単一のセッション内、あるいは長期的なリハビリテーションプログラムの一環として、抵抗力と運動支援をバランス良く行えるようにすることが重要です。また、宇宙飛行士が宇宙空間での滞在中にウェイトリフティングマシンを使用する場合、浮遊する機材は厳しい質量および体積上の制約にさらされており、抵抗力を提供するには電力制御が必要です。これらのすべての要件が示しているのは、抵抗力を利用した運動の場合でも有酸素運動の場合でも同じハードウェアを使用する必要があるということです。クリーブランド州立大学の研究

>>





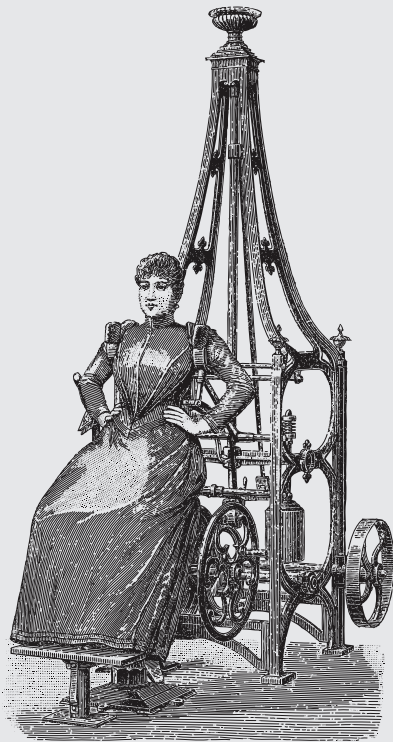


図 1：エクササイズマシンは外観が洗練され、インタラクティブな操作性において進化を遂げましたが、大半のマシンの機械的機能は実質的に変わっていません。

チームは NASA グレン研究センターで行われているエクササイズ対策プログラムとの共同研究により、これらの厳しい仕様を満たすエクササイズマシンの設計を行いました。また、同チームはエネルギー再生制御に関する専門知識を活用して、ローイングマシンの機能的な拡張も行いました。このローイングマシンでは、機械インピーダンスをプログラミングすることができ、使用者の動作だけで完全に電力を供給することができます。この電力自給機能はさまざまな利点を提供します。たとえば、宇宙船の送電システムから電力供給を受ける必要がなくなり、場合によっては余剰エネルギーを船内に供給することもできます。

#### 先進エクササイズマシンの特性

モーターおよび制御システムによって継続

的に機械インピーダンスを調整できる先進エクササイズマシンを上述の用途で使用するためには、マシンに次のような特性が求められます。

- 直接感知方式を採用し、モデルベースの評価システムと組み合わせることで、人体の現状のパフォーマンスに関する詳細な情報をリアルタイムで生成できる
- 人体のパフォーマンスを表示するインジケータにより、マシン自体が機械的特性を修正し、事前に設定された目標を最大化することができる
- 使用者が最適なリアルタイムキューを生成して、機械的出力を調整できる
- 最優先の安全基準により、人と機械の目標間の矛盾に対して監視、管理、および解決を行うことができる (図 2)

#### 課題

新たに開発したマシンでは、単一の運動サイクルや長時間の運動に応じて機械インピーダンスが変化しますが、開発者は、そのような変化により身体 (特に筋肉の強化という測定ターゲット) に影響が出ることを十分に理解しておく必要があります。それを理解しないと、機械インピーダンスの変化により人体に有益な影響を与えるうえでの究極の基礎となるモデリングは実現しません。また、モデルを実装する際は、エクササイズ実施者およびマシンの現状に関する情報に基づいて最適なインピーダンス調整を行い、マシンの制御システムからモーターに適切な命令を出すことにより、これらの変更をマシン全体に適用できるようにする必要があります。





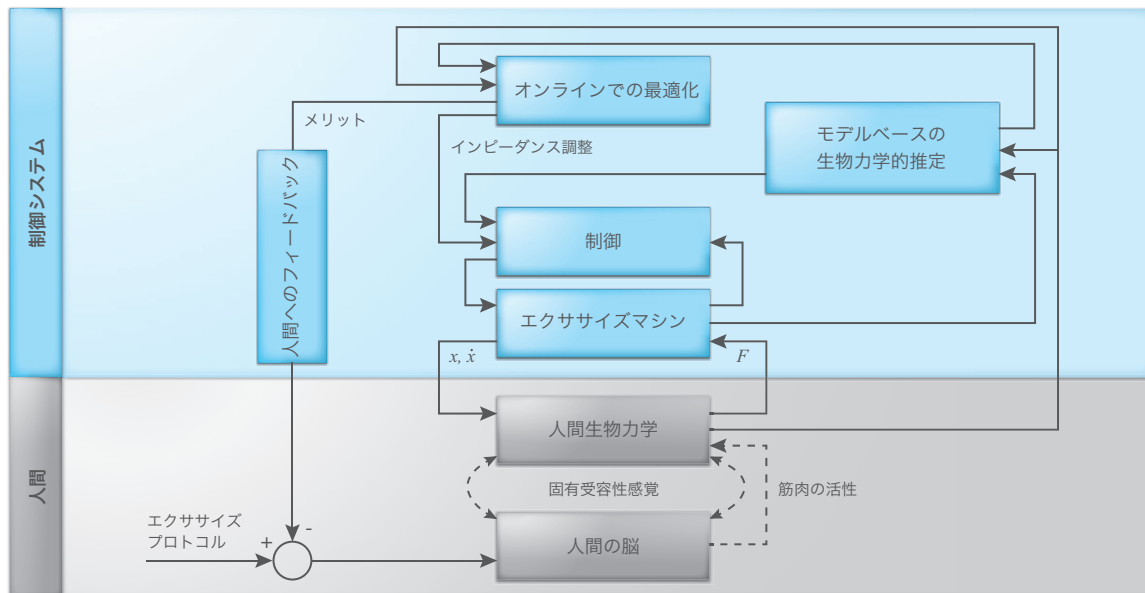


図2：先進エクササイズマシンの機能的コンセプトを示したブロック線図。システムがキューを生成して使用者の動作を修正します。これらの変化はシステムによって機械インピーダンスの変動として出力され、最適な性能を実現します。

**最適なエクササイズ**

エクササイズには、目標に応じた最適値があります。ダイエットの場合、可能な限り多くの筋肉に最適に負荷を分散させ、持久力が最大化されるようにするエクササイズが必要です。リハビリやボディビルディングでは、1つの筋肉群の強化が目標となる場合があります。ハムストリングなど、1つまたは複数の関節にまたがる筋肉の場合、最適なエクササイズをすぐに設計することはできません。また、トレーニングの刺激に対する反応には個人差があるため、個々のニーズに合わせて調整したエクササイズプログラムを作り出すことが重要です。アスリートであれば、個別の生理機能に適した負荷のみを提供して、怪我を排除しつつトレーニングの成果を最大化できるよう最適に制御されたエクササイズシ

テムを使用することが必要ですが、年配の方やリハビリ患者では、筋骨格系の問題を正すための安全なエクササイズが必要です。

**生物学的モデリング**

先進エクササイズマシンでは、制御システムによって運動と抵抗力が継続的に監視されます。このデータは、筋肉における運動と抵抗力を推定するのに利用され、エクササイズの評価や、トレーニングに関する使用者へのリアルタイムでのフィードバックに活用されます。エクササイズのパフォーマンスを評価する場合、筋骨格力学の詳細な数学モデルだけでなく、データが不完全でノイズを伴っていたりモデルに欠陥がある場合でも信頼性の高い結果を生み出せる十分に堅牢な状態推定技術

も必要であり、それらを組み合わせて使用する必要があります。評価モデルの妥当性確認は、モーションキャプチャおよび筋電図検査 (EMG) 記録によって行います。

**状態の推定**

求められる成果を達成できるようにシステムを制御するには、まずシステムパラメータ、未計測の入力値、およびシステムの内部状況や状態といったシステムで観測できていない一部の数値をコントローラによって推定する必要があります。エクササイズマシンでは、これらの数値はユーザが印加する力、摩擦パラメータ、筋肉の活性信号など多岐にわたります。研究チームでは、カルマンフィルタを使用してこれらの数値をシステムで推定したり、無香カルマンフィルタおよびH無限大フィルタなどのさらに

>>

「dSPACE MicroLabBox を使用することで、初期データの収集とマシンプロトタイプの操作をリアルタイムで容易に行うことができました。このため、制御アルゴリズムの実装時の瑣末を気にすることなく、アルゴリズム自体に集中することができました」

Hanz Richter 氏、クリーブランド州立大学

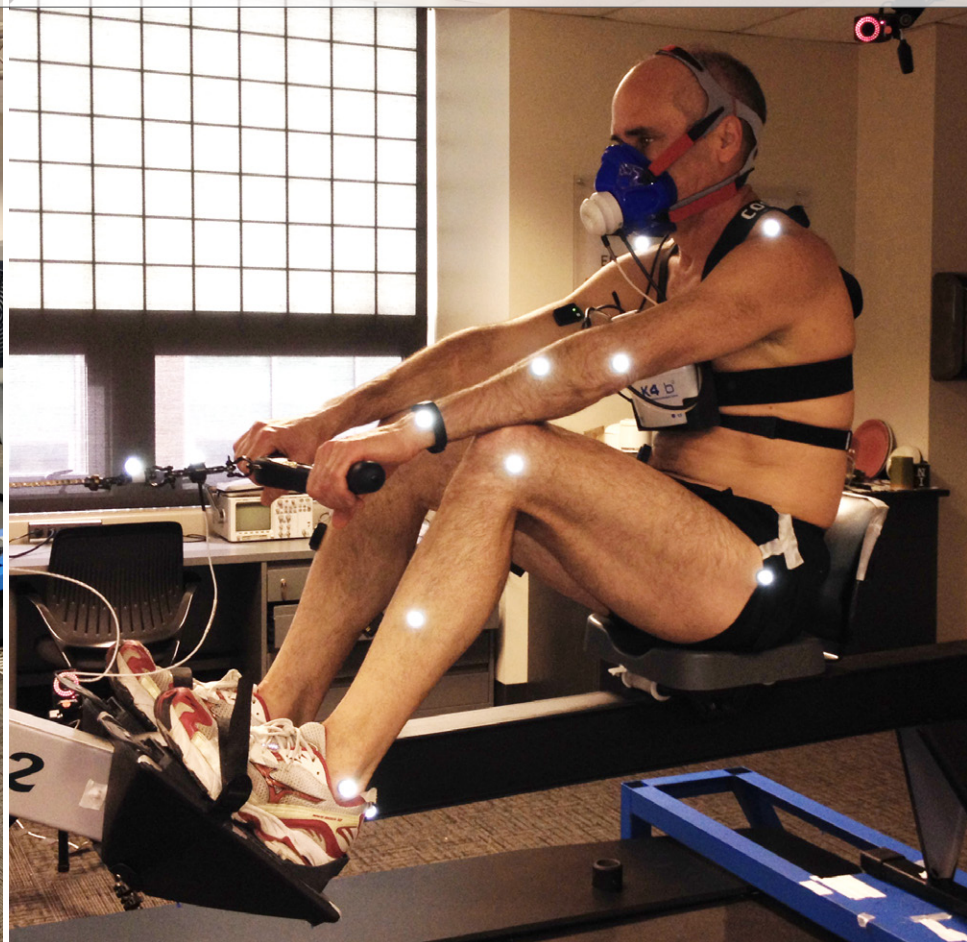


図3：試験中は dSPACE MicroLabBox (左図) により、16 チャンネルの筋電図検査 (EMG) データとマシンの機械的データが 1 kHz のサンプリングレートで収集されます。別のシステムでは、視認可能なマーカー (光の点) と代謝データを使用して運動データを収集します。すべてのシステムから取得したデータは、オフラインの後処理によって同期化されます。

高度な推定技術を併用したりすることも予定しています。

### 最適化

使用者が最も効率的に運動を行えるようにするには、マシンの設計自体、推定技術、制御アルゴリズム、および制御目標までも含む、エクササイズマシンの複数のコンポーネントの最適化が必要です。しかし、システムコンポーネントの多くが計測不能であったり、システムコンポーネントの一部が経年や外部環境要因によって変化したりする場合もあり、人体モデルを作成しても、マシンの使用者の変遷に伴い、そのモデルは確実に時間と共に変化していきます。研究チームでは、最適化に関わるさまざまな問題に対応するソリューションセットを搭載した進化した高速アルゴリズムを活用することで、モデルの最適化を行おうとしています。このアルゴリズムでは、可能性のある複数のソリューションをリアルタイムでテストおよび評価し、慎重に計画された方法に基づいてソリューション間で相互に情報交換を行うことにより、パフォーマンスを最大化できるようにします。

### MicroLabBox によるリアルタイム制御

新たなマシンの開発においては、使用者の安全を保証しつつ、最適な機械インピーダンスの変動を生み出すことができるモデルベースの制御アルゴリズムを特定する必要があります。そのため、研究チームは、受動性および極値探索制御を含む理論を開発フレームワークの一部として活用しました。これらの理論をリアルタイムで実装するには、高度なユーザインターフェースを提供しながら、高性能なデータ取得機能、および複数チャンネルのアナログデータに高速に対応できる制御システムが必要だったため、研究チームは dSPACE MicroLabBox を使用して初期データの収集と最終的な機械プロトタイプの実装をリアルタイムで行うことにしました (図 3)。また、既存の MATLAB®/Simulink® シミュレーションモデルをリアルタイムインターフェースへと容易に変換できる試験用ソフトウェア ControlDesk を使用することで、データ収集とリアルタイム制御試験の準備を迅速かつ効率的に行うこともできました。このため、研究者達は制御アルゴリズムの実装時の瑣末を気にすることなく、アルゴリズム自体に集中することができました。

### ローイングマシンでの初試験

研究チームは、プロジェクトの第 1 段階において、ローイングマシンでのエクササイズに重点的に取り組み、従来のマシンを使用した場合のこのエクササイズについての幅広い知見を得ることにしました。ここでは、研究文献で入手できるデータだけでなく、エクササイズマシン固有のデータや人体固有のデータを収集することが必要でした。マシン固有の変数には、プルチェーンに対する力とマシン内部の回転コンポーネント、すなわちチェーンプロケットとフライホイールの速度が含まれます (図 4)。人体固有のデータはさらに幅広く、運動、筋肉の活性、および代謝データという 3 つのグループに分類することができます。データ収集試験は、van den Bogert 博士のヒューマンモーションおよび制御ラボで行われました。ラボには Cortex ソフトウェアを搭載した 10 台のカメラによるモーションキャプチャシステム (Motion Analysis 社) が実装されており、筋肉の活性データの収集には 16 チャンネルのワイヤレス EMG / 加速度計システム (Delsys 社) を使用しています。筋骨格系のモデリングおよびシミュレーショ



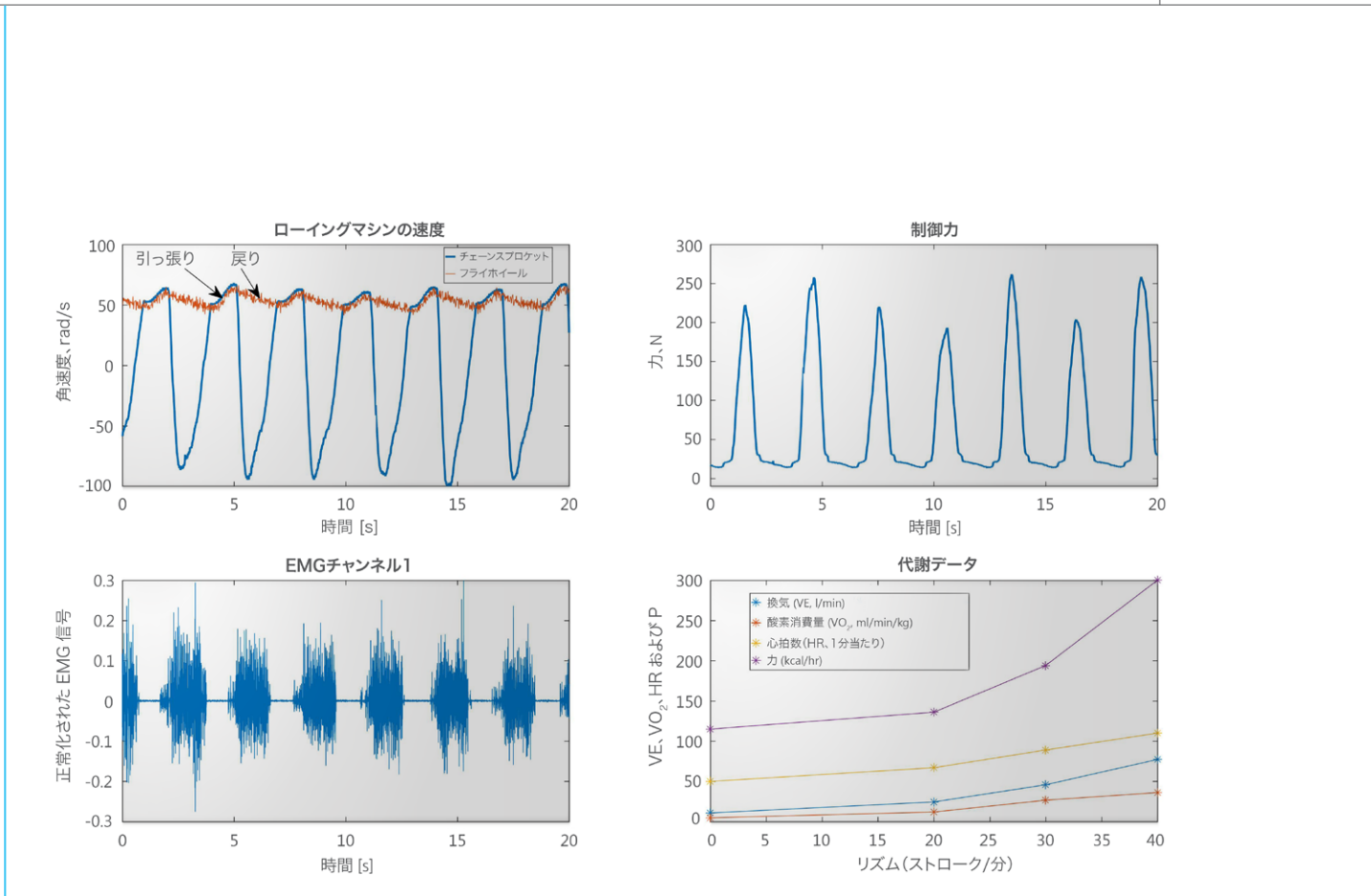


図4：サンプルデータセット（マーカーデータを除外）。チェーンズプロケットとフライホイールは引っ張り時に同じ速度となり、戻す際に分離されます。代謝データでは、さまざまなリズム（ストローク/分）と休止の試験がプロット表示されます。


用ソフトウェアツールには、OpenSim、Autolev、MATLAB、IPOPT、SNOPT、GPOPS、および内製コード（MATLAB および C++）が含まれており、筋骨格力学および最適化基準の直接転写を利用した予測シミュレーションを実行します。これらの試験から作成されたデータは、生物力学的モデルの構築および妥当性確認、モーター駆動型マシンの設計に活用されています。■

Hanz Richter 氏、クリーブランド州立大学



図5：研究チーム（左から）：Hanz Richter 博士（准教授、機械工学）、Antonie van den Bogert 博士（教授、機械工学）、Kenneth Sparks 博士（教授、人間行動学）、および Dan Simon 博士（教授、電気工学およびコンピュータ科学、大学の研究担当副学長）



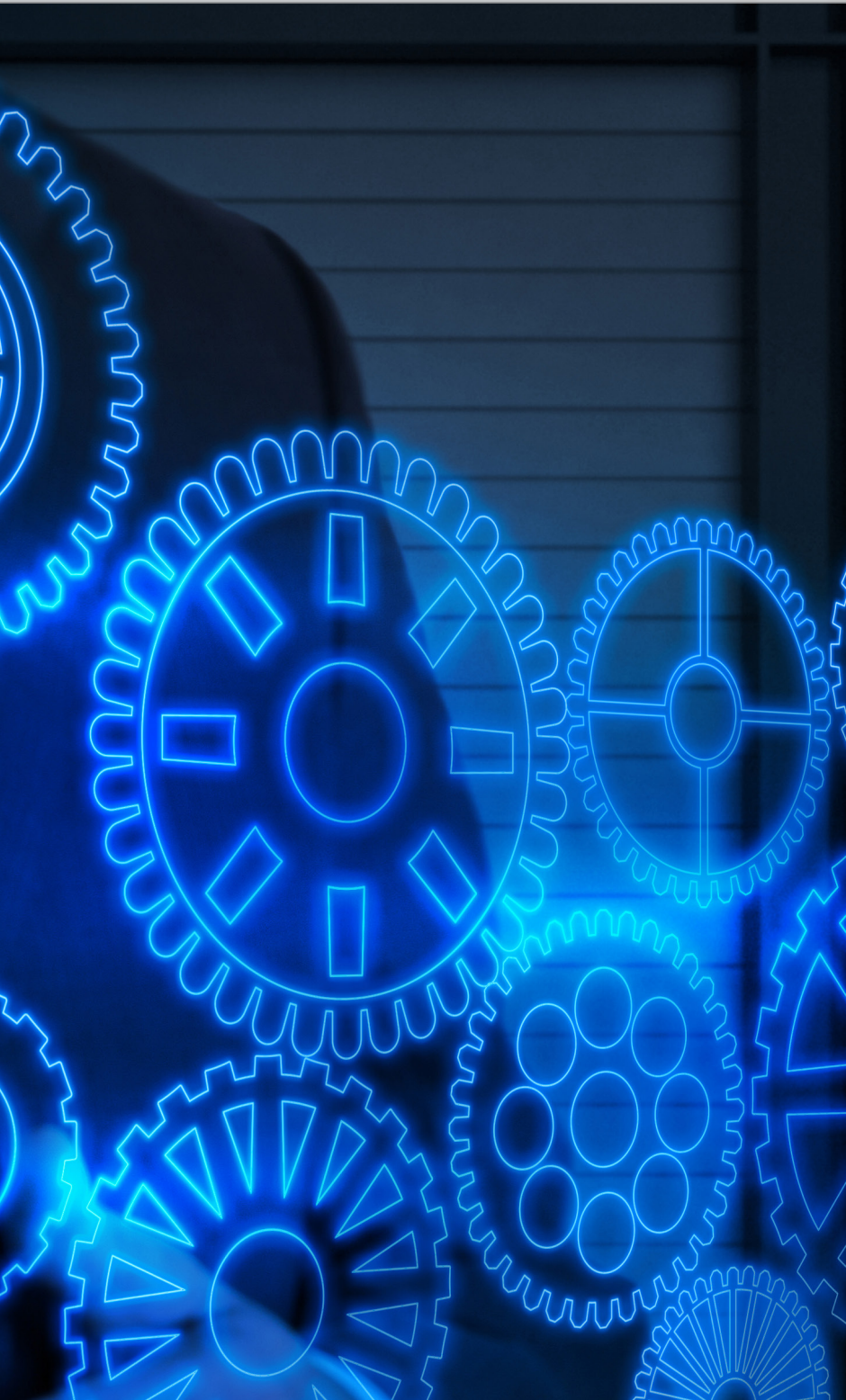


トランスミッション  
ECU 向けの効率的な  
ソフトウェア開発プロセス

# Handling High Numbers of Variants

電子制御ユニット (ECU) ソフトウェア開発では、多数のバリエーションを処理しなければなりません。これは避けて通れない多くの課題の1つです。このため、ZF Friedrichshafen AG などの自動車サプライヤでは、重要な開発段階でツール支援による手法を採用しています。そのようなツールの1つがdSPACEの量産コード生成ツールである TargetLink です。





## 自

自動車業界は、技術革新を常に行い、より新しい機能をより短期間で市場に投入しなければいけないという重圧を絶えず受けています。そのため、現在の市販車ではますます多くのバージョンやバリエーションが生産されています。この傾向はトランスミッション開発の分野でも同様です。トルクコンバータ式

オートマチックトランスミッションにおいてもますます多くのギヤが搭載されるようになってきており、ハイブリッドドライブまでに及ぶ広範な用途をカバーできるよう十分なテストを重ねる必要性も生じています。また、これらのテストに使用するソフトウェア開発分野にも、この多様なバージョンと新しいトランスミッションの機能によ

り新たな課題が生まれてきています。時には安全にも関わる多数のハイブリッド制御機能は多くの場合ネットワーク化されていますが、これらの機能は既存のソフトウェア環境に組み込み、限られたメモリや演算処理リソースを使用して ECU に実装する必要があります。そのため、ここで重要な課題となるのは、適切な開発手法や開発プロセスを導入することにより多数のトランスミッションバリエーションに対処しながら、ISO 26262 およびその他の安全関連規格を遵守し、さらには、新たな機能的要件に対応するソリューションを迅速かつ効率的に量産環境に組み込めるようにすることです。もちろん、決定的な要素である品質を落とすわけにはいきません。

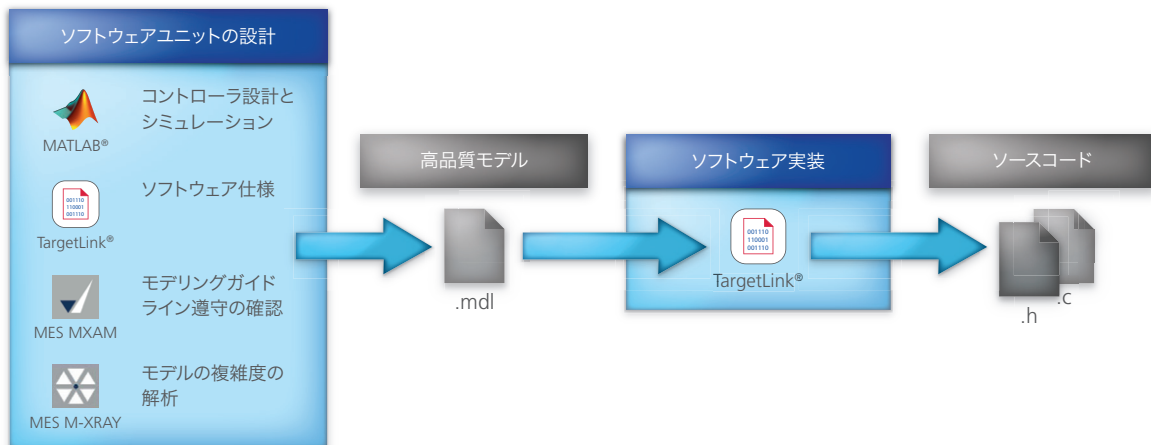
### 開発手法および開発プロセス

組込みシステム向けのソフトウェア開発では多くの場合、すべての要件を満たし、かつできる限り迅速にソフトウェアを用意できるようにするため、モデルベース開発手法が利用されています。これは特に自動車業界では一般的です。ここでは、どのような開発手法を用いるかによって、要件定義からソフトウェアリリースまでの開発プロセス全体に影響が生じます。モデルベース開発の利点を十分に生かすには、すべてのフェーズで一貫した手法を利用できる総合的な開発コンセプトが必要です。モデルベース開発によって達成できる主な目標には、品質の改善、開発期間の短縮、および工程全体の自動化の3つがあります。また、この手法では、安全関連機能のプログラミングをモデルベースで行うことも必要です。この場合、ツールやプロセスを多数の厳格な規格に準拠するよう設定し、かつ極めて低いエラー発生率を実現しなければならないため、ツールやプロセスに求められる要件は厳しいものとなります。また、効率性を向上させるには、モデルの再利用、ツールチェーン間の連携、および目的に応じたバリエーション管理が必要です。最終的な目標は、これらを通じてより多くのタスクを開発の初期段階にフロントローディングし、エラーを早期に検出することで、開発時間を短縮することです。

### ツールチェーン

モデルベースのソフトウェア開発で最も重要なツールは、モデリングプラットフォームと量産コード生成ツールです。ZF 社で

>>



モデルベース開発に対応したツールチェーンおよびワークフロー

は、プロジェクトのほぼすべてにおいて、モデリングプラットフォームとして MathWorks® 社の MATLAB®/Simulink®, コード生成ツールとして dSPACE TargetLink® を使用しています。モジュールテストを実行する際は、TargetLink に統合されているシミュレーションコンセプトおよび Model Engineering Solutions GmbH (MES) 社の MTest ツールを使用します。また、モデリングガイドラインとの適合性チェックを自動的に実行したり、モデルの複雑さを解析したりする場合は、MES 社の MXAM および MXRAY ツールを使用します。このように、ZF 社では複数のツールを連携させることにより高品質

のモデルを生成できるようにしています。さらに、モデルの解析およびテストや、設定およびバリエーションの管理といったプロセスをサポートするために、その他のツールも積極的に活用しています。上記のツールチェーンは ZF 社の環境全体で使用されており、2008 年の導入以来、TargetLink で生成された量産コードが多数の製品で使用されています。

#### 安全関連機能の開発

一般に、モデルベースで作成される機能は品質管理機能（従来のツールによる妥当性確認）だけではありません。同じことが安全関連機能にも当てはまります。量産

コード生成ツールである TargetLink の大きな利点の 1 つは、TÜV SÜD 社（ドイツの国際認証機関）による ISO 26262 規格の認定を受けていることです。そのため、たとえば ASIL-D までの安全関連システムを開発する場合、既にコードは規格に準拠していることになり、手間のかかるコードの見直しは一切不要になります。さらに、dSPACE ではリファレンスワークフローを提供することで、企業が安全関連システムにおけるモデルベースでのソフトウェア開発手法を社内の標準的なプロセスに容易に組み込めるようにしています。ZF 社では、プロジェクトに依存しない手法を確立したり、プロジェクト固有の手法

バリエーション処理のさまざまな方法





を特定したりするため、広く普及した規格に基づいた独自のモデリングガイドラインを使用しています。これにより、ISO 26262 規格で推奨される手法や項目をモデリングの段階から考慮することができます。

#### さまざまな方法でバリエーションを処理

ZF 社では、さまざまな段階で持ち越された未使用コードなどを複数のバリエーションで可能な限り多く活用できるようにするため、多様なバリエーション処理を実践しています。コード生成ツールである TargetLink の機能は、従来のプログラミングの機能に非常によく似ていますが、モデルベースの開発手法では、これらのコードを追加の手法によって拡張します。まず、コードを選択的に生成できるモデルバリエーションを使用して複数のバリエーションを処理する方法があります。ここでは、モデルの基礎部分は常に複数のサブモジュールで構成される全体モデルとして形成されます。モジュールの大半は、バリエーションが異なる場合でも同じであり、それはつまり、各モジュールは一度しか存在しないことを意味します。ただし、バリエーションに依存するモジュールについては、バリエーションごとに 1 つのモジュールが存在するように構成します。全体モデルが構築されると、選択したバリエーションに応じて関連するモジュールが使用されます。このようなバリエーション処理は、全体モデルのセットアップの際に使用されますが、いったん全体モデルが完成すると、異なるバリエーションを使用することはできなくなります。一方で、機能バリエーションスイッチやプリプロセススイッチを使用して複数のバリエーションを処理する方法もあります。機能バリエーションスイッチを使用すると、TargetLink からバリエーション固有のコード部分を生成することができます。この際、選択したバリエーションに無関係のソフトウェア部分は生成されません。これに対し、プリプロセススイッチを使用すると、従来のソフトウェア開発で得られるような効果を実現できます。この場合、TargetLink で生成された量産コードにはすべてのバリエーションが含まれており、コードをコンパイルする際はバリエーション固有の検証が行われます。また、TargetLink では、ソフトウェアアプリケーションで動的に制御するタイプのデータバリエーションを処理することも可能です。



SYNECT は、モデルベース開発専用開発されたデータ管理および連携用ソフトウェアであり、モデルや信号、パラメータ、依存関係、バージョン、バリエーション、さらには基礎的な要件の処理に活用できます。

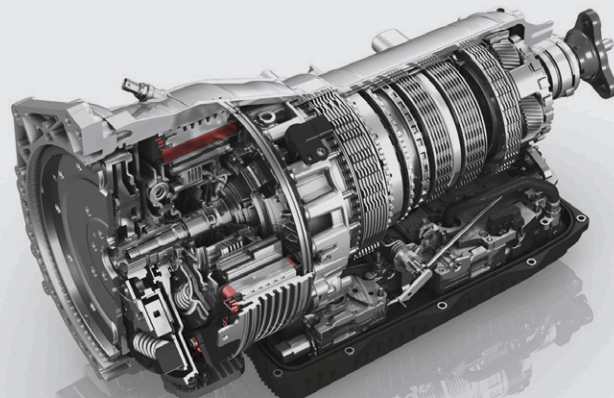
#### 今後の展望：機能管理の活用

多くの企業が、さまざまな顧客から求められる要件の複雑化に対応し、増え続ける機能バリエーションをより適切に管理するため、将来的に機能管理システムを活用することを検討しています。このシステムでは、さまざまな機能モデルを抽出して生成したパラメータ設定セットを TargetLink モデルまたはコードで使用することができます。ただし、これには、プロジェクト全体と個別コンポーネントの両方に機能モデルを使用するマルチステージへのアプローチが必要です。このアプローチは非常に複雑であることが見込まれ、かつ高度なトレーサビリティの実現も必要となります。その

ため、多くの企業の開発部門では、dSPACE SYNECT® などのデータ管理システムを自社の要件管理システムと連携させ、自社のツールチェーンやプロセスに統合する可能性を模索しています。

ZF Friedrichshafen 社のご厚意により寄稿

8 速プラグインハイブリッドドライブは、8 つある ZF 社の HP シリーズのうちの 1 つのバリエーションであり、TargetLink で量産コードの生成を行っています。



出典：© ZF 社

セーフティクリティカルな  
アプリケーションの  
連続モニタリング

# Keeping an Eye on Safety

	1	If the driver up switch is pressed, the window has to move
	2	If the driver down switch is pressed, the window has to m
	3	If window position and obstacle position are equal, an ob
	4	If an obstacle is detected, the window has to start moving
	5	The move up and the move down signal must not be at th
	6	A move up signal can only be generated if an up button is

セーフティクリティカルなシステムの妥当性を確認するには膨大なテストが必要となります。しかし、安全要件を満たしながらそれに必要な開発工数のバランスを取ること大きな課題です。dSPACE と BTC 社は、セーフティクリティカルな ECU をシミュレーションベースで形式検証するための新しいソリューションを開発しました。これにより、開発工数を実現可能なレベルにまで近づけることができます。さらには、テスト深度の向上も可能になります。

**技** 術革新を実現し、ユーザの利便性や安全性を向上させるための競争は世界中で繰り広げられており、それに伴い、電子的な安全関連システムの数は増え続けています。機械的なフォールバックシステムは、設計やコストの面からさまざまな領域で姿を消しています。そのため、電子的な安全関連システムを活用するうえで、それらを厳格な要件に基づいてテストすることが不可欠になっています。もし、X-by-Wire ステアリングシ

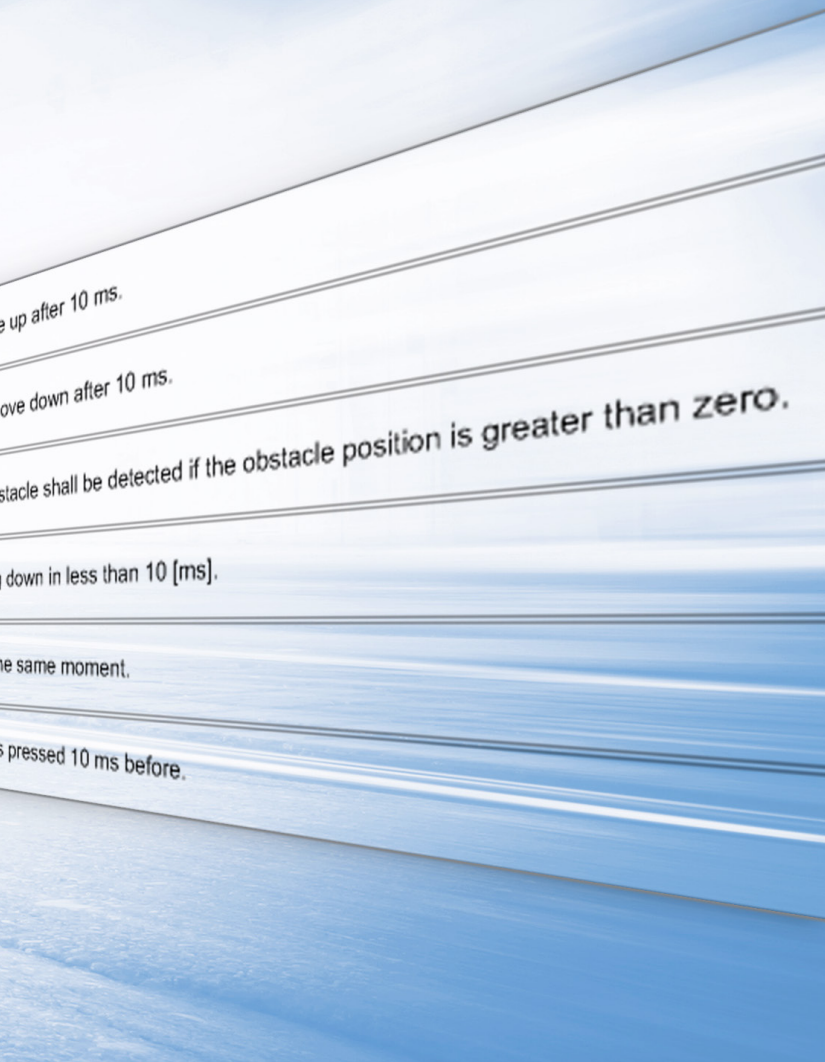
ステムや自動運転システムに障害が発生したら、悲惨な事故の原因となってしまいます。

しかし、そのようなテストを行うことは、開発者にとって大きな課題となっています。なぜなら、システムの複雑性は極めて高く、要件リストも無限に近いほどあるにも関わらず、妥当性確認に使える時間は一定の範囲内に限られているからです。また、開発者は多数の重要なガイドラインも遵守する必要があります。たとえば、ISO 26262

規格（『道路用車両 - 機能安全』）では、電子制御ユニット（ECU）のセーフティクリティカルな機能に関して形式検証を実行することを推奨しています。

dSPACE では、このような課題を克服するため、BTC 社と連携してセーフティクリティカルなアプリケーションの形式検証をシミュレーションベースで行うことができるソリューションを開発しました。このソリューションを使用すると、セーフティクリティカルな要件への適合を dSPACE プ





間が必要なかを把握するのは困難を極めます。しかし、dSPACEとBTC社が協力して開発した革新的なソリューションでは、新しいdSPACE Real-Time Testing (RTT) Observer Libraryと仕様記述ツールであるBTC EmbeddedSpecifier®を組み合わせることで、開発者がテストプロセスの全体的な品質と進捗を効率的に評価できるようにしています。これらのツールでは、リアルタイム対応の要件オブザーバを使用することにより、既存のMIL (Model-in-the-Loop)、SIL (Software-in-the-Loop)、およびHIL (Hardware-in-the-Loop)環境を補完します。また、シミュレーションの実行中にオブザーバが並行して実行され、すべてのセーフティクリティカルな要件への適合が監視されます。そのため、実装されたテストケースに応じて、どの要件がカバーされ、どの要件がカバーされていないかを直ちに表示することが可能です。形式検証をシミュレーションベースで継続的に行うこのソリューションは、未だ主流である従来の要件ベースのテストを補完するのに理想的と言えます。つまり、従来のテストとオブザーバベースのテストを組み合わせることで、テスト深度を大幅に向上させることができます。このようなオブザーバは、さまざまなdSPACEプラットフォーム上で簡単に使用できる実行形式のテスト基準と考えることができます。オブザーバは実際のシミュレーションモデルから分離されているため、既存のシミュレーションモデルをその都度変更する必要はなく、既存の従来のテストをオブザーバによって簡単に拡張することができます。

プラットフォーム上で継続的かつリアルタイムで監視することができます。

#### テスト深度の向上

従来のテストプロセスでは、すべての要件やクロスリファレンスを考慮しながら、セーフティクリティカルな機能ごとに必要なすべてのテストケースを実行する必要があり、工数と期間が増えてしまうことがある

という深刻な問題がありました。結局、起こり得るすべての事態やクロスリファレンスを完全に網羅し、同時並行でテストを行うために定義しなければならないテストケースはどれくらいの数になるのか、そして、仮にそのように長大なテストケースのリストを定義することができたとしても、目標のテスト深度を達成するためにはすべてのテストケースに対してどれほどの実行時

#### 品質の向上

BTC EmbeddedSpecifierを使用すると、オブザーバの生成元となる要件の品質も

>>



「BTC EmbeddedSystemsでは、要件の形式化と形式検証における自社の長年の経験を組み合わせる対象として、実績のある強力なdSPACEシミュレーションプラットフォームおよびシステムを選択しました。この結果、完璧に調整された独自のツールチェーンが生まれ、特にセーフティクリティカルなアプリケーションではテストの品質と完成度が新たなレベルへと引き上げられています」

Hans Jürgen Holberg氏、取締役会員、BTC Embedded Systems AG社

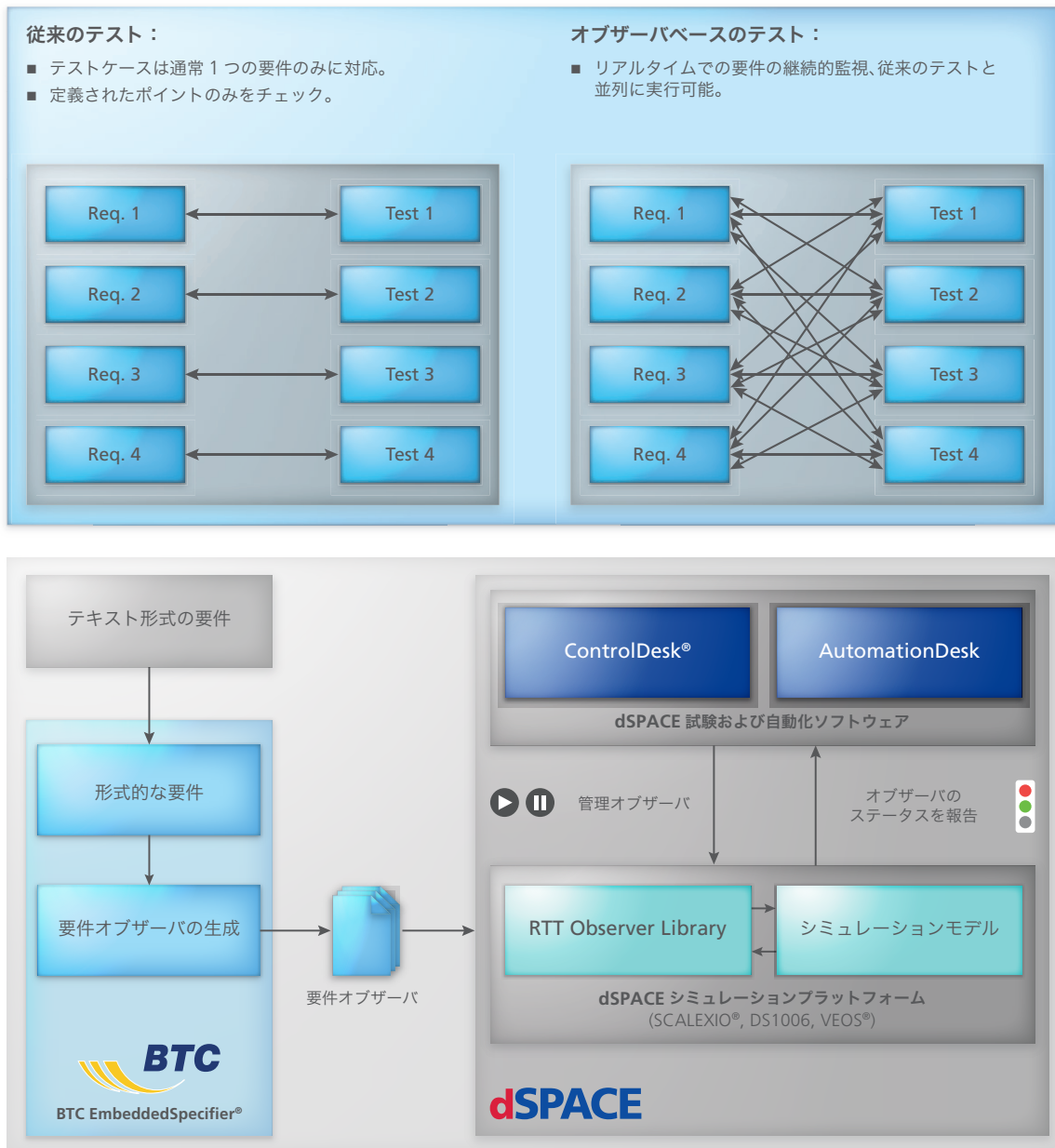


図 1 (上) : オブザーバベースのテストによりテスト深度が向上します。

図 2 (下) : 生成されたリアルタイム対応のオブザーバは、dSPACE プラットフォーム上で容易に使用できる実行形式のテスト基準として機能します。

向上させることができます。BTC EmbeddedSpecifier では、ツールサポートによって非形式的要件を容易に形式表現に変換し、さらに dSPACE プラットフォーム向けの実行形式のオブザーバへと変換することができます。また、ガイド機能を利用して、従来の言語ベースでの要件定義や具体的なモデル変数の直接参

照における曖昧さを段階的に排除することも可能なため、要件を可能な限り正確に記述することができます。これにより、関連する安全規格やガイドラインへの適合も可能になります。

#### 理想的な統合

dSPACE では、ユーザが要件オブザーバ

をすぐに使えるようにするためのソリューションとして、テストオートメーションソフトウェア AutomationDesk で使用するテストテンプレートや試験用ソフトウェア ControlDesk で使用するレイアウトを提供しています。このソリューションは、他のツールに統合することができるだけでなく、ControlDesk で使用するためのオ



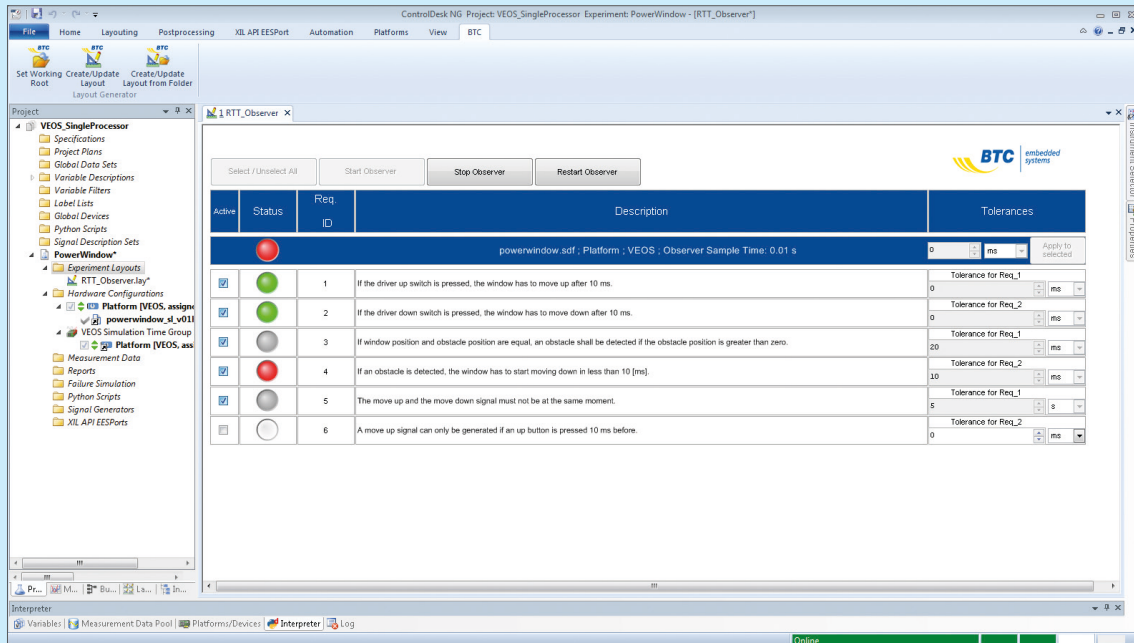


図3: オブザーバは ControlDesk で開始、停止、およびリセットすることができます。要件が適合した場合 (緑) と適合しない場合 (赤) が直ちに表示されます。前提条件が満たされていないために開始していないオブザーバは、グレーで表示されます。

オブザーバ専用のレイアウトを自動的に生成し、テスト全体の実行中に各要件の適合ステータスを ControlDesk に表示することも可能なため、利便性が向上します (図3)。

ControlDesk レイアウトを使用すると、オブザーバをシミュレーションモデルから完全に独立させ、個別に開始、停止、およびリセットすることができます。AutomationDesk テンプレートを使用すれば、指定されたテストシーケンスを AutomationDesk で実行しながら、オブザーバを使用して要件を継続的にチェックすることも可能です。この場合、生成されるテストレポートには個々のテストケースの結果だけでなく、オブザーバの結果も表示されます。オブザーバがトリガされた時間を確認すると、トリガが発生した原因とエラーを特定することができます。

#### さまざまなプラットフォームでの使用

生成される要件オブザーバは、さまざまな dSPACE シミュレーションプラットフォーム (SCALEXIO®, DS1006, VEOS®) で使用でき、オブザーバを複数のプラットフォーム間で再利用することも可能です。そのため、テストレベルが同じであれば、

SIL および MIL 開発段階で作成された dSPACE VEOS での仮想検証用のオブザーバを SCALEXIO プラットフォームなどでの HIL テストにおいても直ちに再利用できます。HIL テストは、VEOS 上で「テストのテスト (test-the-test)」を使用して準備することもできます。■

## まとめ

dSPACE Real-Time Testing (RTT) Observer Library と BTC EmbeddedSpecifier を組み合わせることで、テスト期間を延長することなく、特にセーフティクリティカルなアプリケーションにおいてテスト深度を大幅に向上させることが可能な高品質なソリューションが実現します。テスト深度を大幅に向上させるには、現在のテストケースやシミュレーションシナリオには関わりなく、各要件の適合状態を継続的に監視することが重要です。これにより、意図しない副次的な作用によってエラーが検出されないというリスクが最小限になります。BTC EmbeddedSpecifier のツールサポート機能を利用して要件を定型化すれば、要件の品質向上も可能になります。この新しいソリューションは、HIL テストおよび仮想検証用の dSPACE ツールチェーンに完全に統合することができます。

電子制御ユニット (ECU) のテストでは、現実的な通信のシミュレーションが不可欠です。新しいdSPACE Bus Managerは、さまざまなシミュレーションプラットフォームでバス信号を設定することのできる一元管理可能なツールです。

バスシステムはECUネットワークの大動脈です。現代の車両には最大100個のECUが搭載されており、1万を超えるバス信号がやり取りされています。このような通信は、ECU開発プロセス全体でシミュレーションとテストを繰り返し実施することにより、危機的な状況でも安定して動作できるようにする必要があります。dSPACEでは、すべてのバスアプリケーション向けの中心的な実装ツールとしてBus Managerを提供しており、機能開発から仮想検証、

総合的なHIL (Hardware-in-the-Loop) テストにまで対応できるようにしています。

#### すべてのバスシミュレーションに対応

Bus Managerはバス通信およびテストシステムへのデータ送信の形式を設定するツールであり、バーチャルECU (V-ECU)、実際のECUプロトタイプ、およびレストバスシミュレーションでシミュレートされたECUなど、すべてのケースに使用することができます。Bus Managerでは、VEOS®を使用したPCベースのシミュレーション

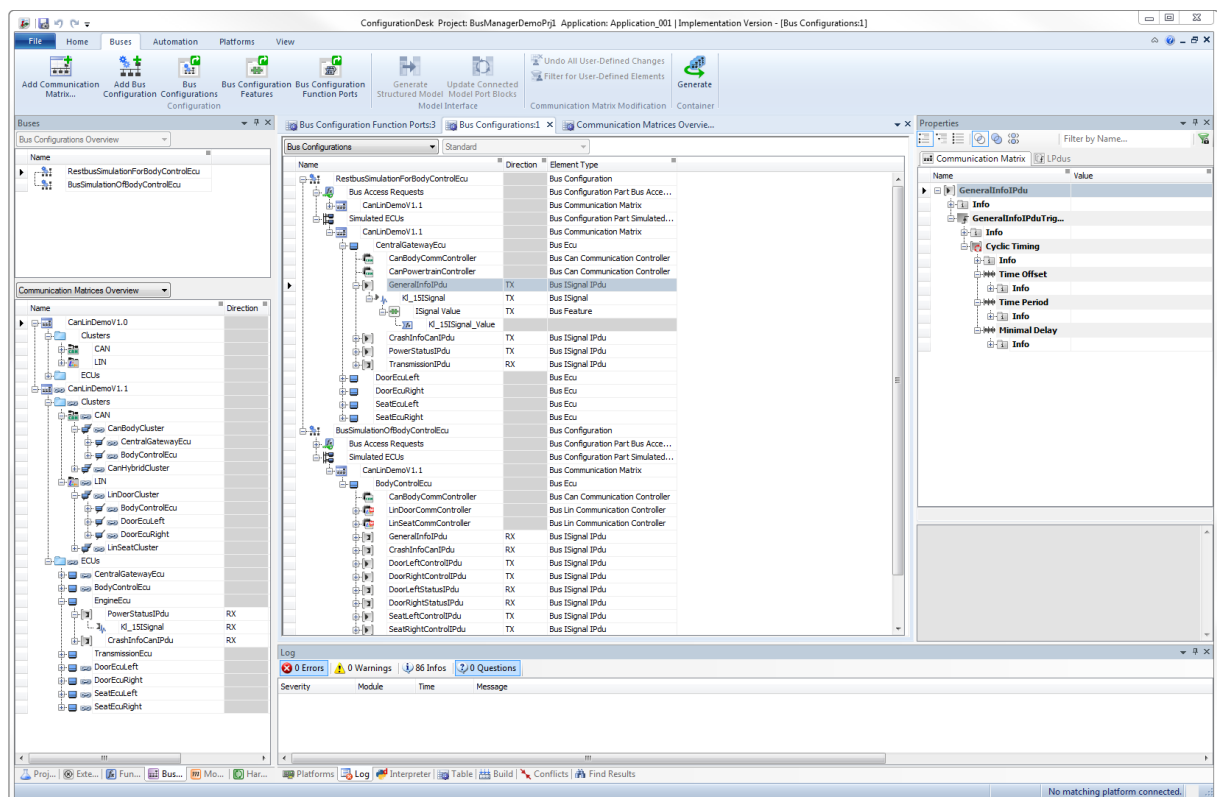
やSCALEXIO®を使用したHILシミュレーションにおけるさまざまな妥当性確認シナリオもサポートしています。そのため、開発プロセス全体でシームレスに使用でき、ケースに応じて最適なシミュレーションタイプを選択することができます。

#### 一元管理可能な設定ソフトウェア

Bus Managerでは、シミュレーションを行う箇所を複数の方法で選択することができます。たとえば、バスシミュレーションに必要なすべての信号を通信クラスタまた

>>>

図1: Bus Managerを使用すると、LIN、CAN、およびCAN FDバスシミュレーションを容易かつグラフィカルに設定することができます。





バスシステムおよび  
ネットワークの一元設定

# Communication Is Key



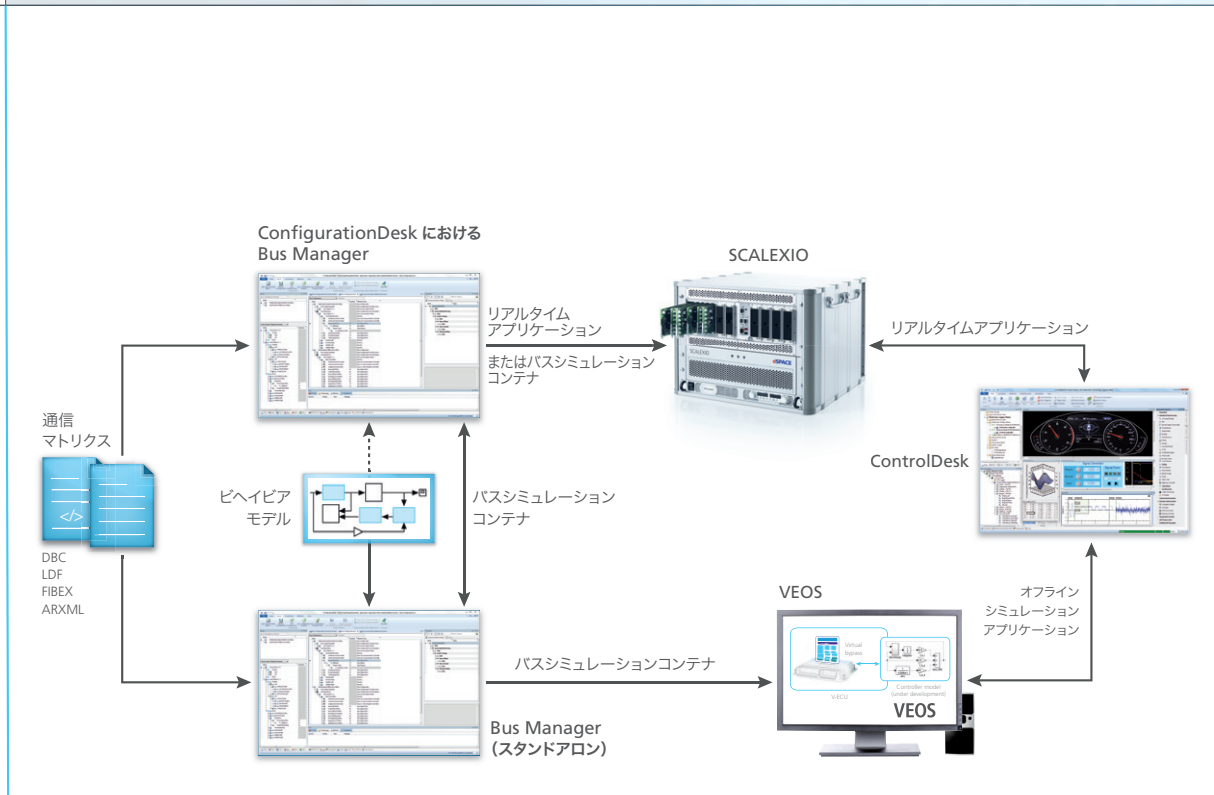


図2：Bus Managerによって生成された設定ファイルは、さまざまなシミュレーションプラットフォーム間で使用したり、やり取りすることができます。

は関連するECUのいずれかでグループ化することができます。これにより、種類の異なる複数のバスを含む設定をより効率的に取り扱うことができます。Bus Managerでは、そのような設定をさまざまなシミュレーションシステムで再利用することも可能です。Bus Managerの最新バージョンでは、CAN、CAN FD、およびLINプロトコルがサポートされています。FlexRayやEthernetなどのその他のプロトコルも、今後のバージョンでサポートされる予定です。つまり、Bus Managerを使用すれば、開発フェーズやプロトコル、設定などを問わず、1つのツールだけですべてを指定できるようになります。そのため、テストフェーズごとに新しいツールに習熟する必要がなくなり、潜在的なエラー

の原因を容易に排除することも可能になります。

#### Bus Managerでの通信の設定

各設定は、関連するすべての情報を自動的に抽出する通信マトリクスを使用して行われます。Bus Managerでは、DBC、LDF、FIBEX、ARXMLなどの主要なすべての通信用ファイルフォーマットがサポートされています。ユーザは、1つまたは複数の通信マトリクスから必要な要素を選んで、通信設定を作成します。Bus Managerでは、表示方法を切り替えることにより、利用可能なすべての設定やモデルインターフェースなどを一覧表示することができます。そのため、さまざまなタスクを通じて常に最適な表示形態が実現しま

す。最終的な設定はバスシミュレーションコンテナ(BSC)としてエクスポートし、ターゲットプラットフォームに転送することが可能です。BSC形式を使用すると、将来のシミュレーションシナリオでも容易にバス設定を再利用できるため、同じ設定を開発プロセス全体を通じて使用できるようになります。BSCには、Simulinkモデルだけでなく既存のシミュレーションモデルも統合できます。また、Bus ManagerではSimulinkモデルを使用せず静的にリストバスシミュレーションを行うこともでき、シンプルなテストの迅速な実行が可能です。VEOSを使用するシミュレーションでは、Bus ManagerはスタンドアロンバージョンまたはConfigurationDeskのコンポーネントとして使用します。



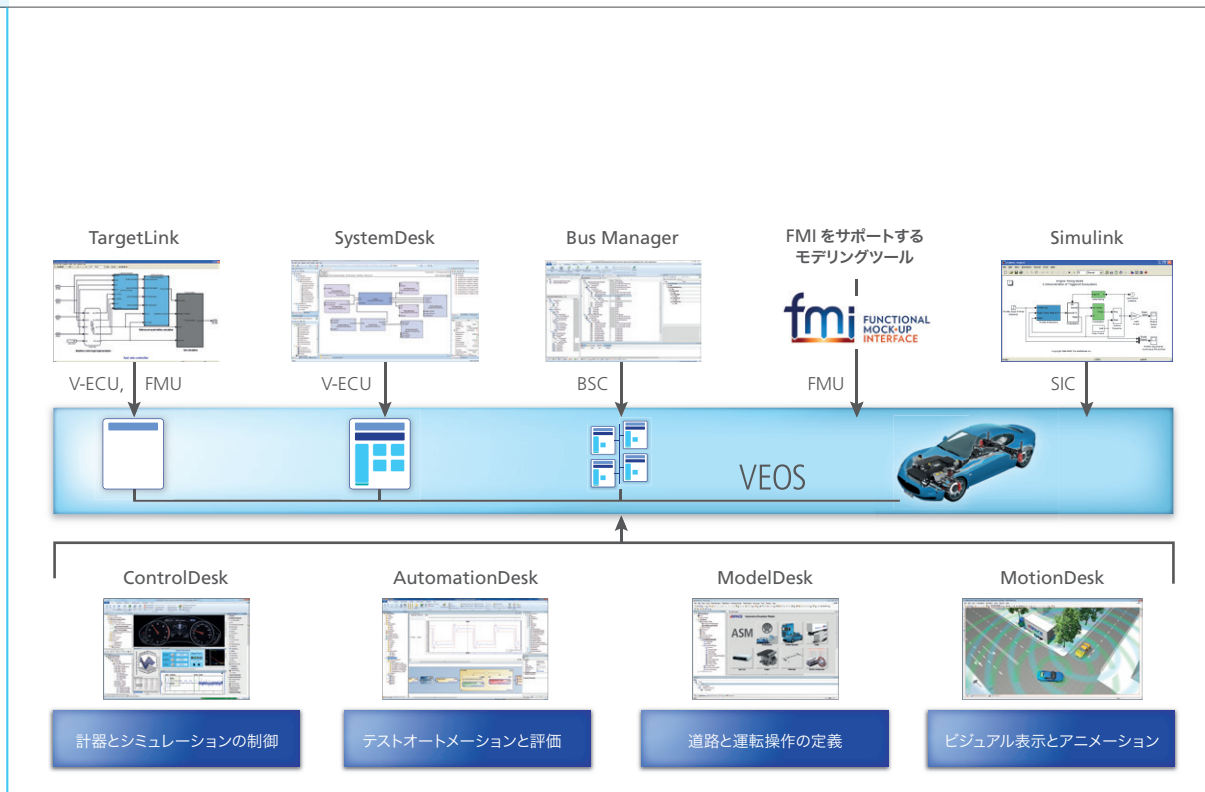


図3：VEOSをバス通信と共に使用すると、初期の機能テストをPC上で現実的にシミュレートすることができます。

dSPACE SCALEXIOを使用するHILシミュレーションの場合は常に、Bus Managerは実装ソフトウェアであるConfigurationDeskのコンポーネントとして使用します。これにより、バスやネットワークプロトコルを問わず、1つのソフトウェア製品だけですべてを一元管理できるようになります。

#### 仮想検証からのシームレスな移行

Bus Managerのバスサポートでは、VEOSを使用するPCベースのシミュレーション向けの重要なテスト機能が追加されており、V-ECUの外側の通信もシミュレート、テスト、およびビジュアル表示できるようになっています。VEOSを使用すると、さまざまなソースからモデル部分をインポートして接続することができます(図3)。VEOS用に作成されたバス設定は後からHILシミュレーションで再利用できるため、開発プロセス全体を通じた整合性が保証されます。また、VEOSを使用することで、機能テスト担当者はHILシミュレーション用の既存のテスト設定を引き続き使用し、それらを開始点として設定することができます。

#### HILシミュレーションへのシームレスな移行

HILシミュレーションでBus ManagerおよびBSCを使用することの大きな利点は、

それらを複数のプロジェクトバリエーション間で再利用できる点にあります。BSCには、バス設定とモデル部分の両方が含まれているため、たとえば、バス信号をモデル信号にマッピングすることができます。BSCを異なるバリエーションで使用する場合も、プラントモデル向けのインターフェースは同じものを使用できます。つまり、プロジェクトを変更する場合でも簡単にバス部分を交換ことができ、複数のプロジェクト間でバス設定を容易に再利用できるようになります。必要な場合は、シミュレーション実行中でもシミュレーション対象の要素のパラメータとプロパティを変更することが可能です。これは、VEOSとSCALEXIOのどちらでも行えます。たとえば、ユーザはシミュレーション実行中に試験用ソフトウェアであるControlDesk®で信号値の表示、解析、および変更を行うことができます。シミュレーション実行時に値を動的に変更することが必要な信号の場合は、MATLAB®/Simulink®などのツールのペイビエモデルを使用することができます。■

## バスシミュレーションコンテナ (BSC)

バスシミュレーションコンテナ(BSC)は、バス設定をやり取りするためのデータ形式です。BSCには、バス設定のために必要なデータだけでなく、Simulinkインプリメンテーションコンテナ(SIC)の形式でのモデルのマッピングやスケーリングも含まれます。SICには、バス通信に必要なすべてのMATLAB/Simulinkファンクションが統合されており、試験用ソフトウェアControlDeskで使用されるデータも含まれています。また、BSCの標準インターフェースにより、さまざまなアプリケーション分野やプロジェクト間でバス設定をシンプルにやり取りできるため、複雑なバス設定部分の再利用も容易に行うことができます。



# Right on Target

オンターゲットプロトタイピング  
による機能開発と量産開発の融合

dSPACE オンターゲットプロトタイピングソリューションを使用すると、新しい機能を既存の電子制御ユニット (ECU) 内蔵コードに直接統合することができるため、複雑なソフトウェア統合を行うことなくテストを実行できます。このプロトタイピングソリューションでは、ECU のリソースを極めて効率的に利用できます。また、量産コード生成ツールである dSPACE TargetLink を使用することにより、プロトタイプを量産プロセスへシームレスに移行させることが可能です。

**拡** 張する必要があるのが既存の量産 ECU の機能のみである場合、直接 ECU 上で機能開発を行うことができます。このような手法では、既存の I/O が十分にあり利用可能なリソースが足りていれば、追加のプロト

タイピングハードウェアを使用しなくて済むため、コストと手間を省くことができます。さらに、ここでは、最終的な ECU でも使用する量産コード生成ツールを使用するため、より効率的にコードを作成できるようになり、必要なメモリ量や実行時間を

削減することができます。また、このようなオンターゲットプロトタイピングでは自動的に ECU リソース上の制限を監視できるため、プロジェクトにおけるリスクの減少にもつながります。量産コード生成ツールである TargetLink® を使用した dSPACE





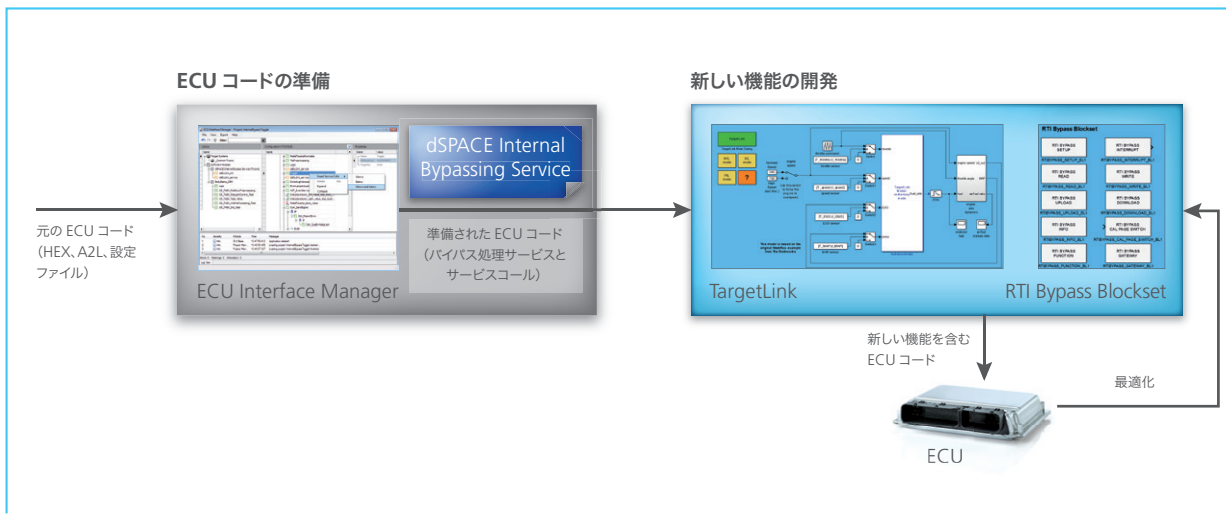
オンターゲットプロトタイピングソリューションでは、プロトタイピングに要求される高い利便性やすばやい反復性を実現しつつ、実際の量産開発プロセスへのシームレスな移行を実現することができます。このソリューションは、Simulink®/TargetLink モデルに基づく新しい機能の開発に使用できるだけではなく、新たに開発された機能を、プロトタイピング用の既存の ECU コードで使用するのに最適化されたコードとして統合することも最小限の手間で行うことができます。

**dSPACE オンターゲットプロトタイピング ツールチェーン**

dSPACE オンターゲットプロトタイピングソリューションのコアとなるのは、ECU Interface Manager、dSPACE Internal Bypassing Service、RTI Bypass Blockset、および TargetLink です (図 1)。開発者は、ECU Interface Manager を使用して、新しい機能を ECU コードに統合するために必要なバイパスインターフェースを設定することができます。新しい機能をモデリングする場合には、Simulink/TargetLink を使用します。開発された新しい機能は、RTI Bypass Blockset を使用して既存の ECU ソフトウェアに接続することができます。RTI Bypass Blockset は、既存のバイナリコードに基づいて事前に準備されたインターフェースに機能モデルの入力ポートと出力ポートを接続します。開発者は、その後で TargetLink を使用して量産コードを生成

>>

図 1 : TargetLink を RTI Bypass Blockset と組み合わせて使用することで、ECU Interface Manager で準備された ECU コードに新しい ECU 機能を実装することができます。



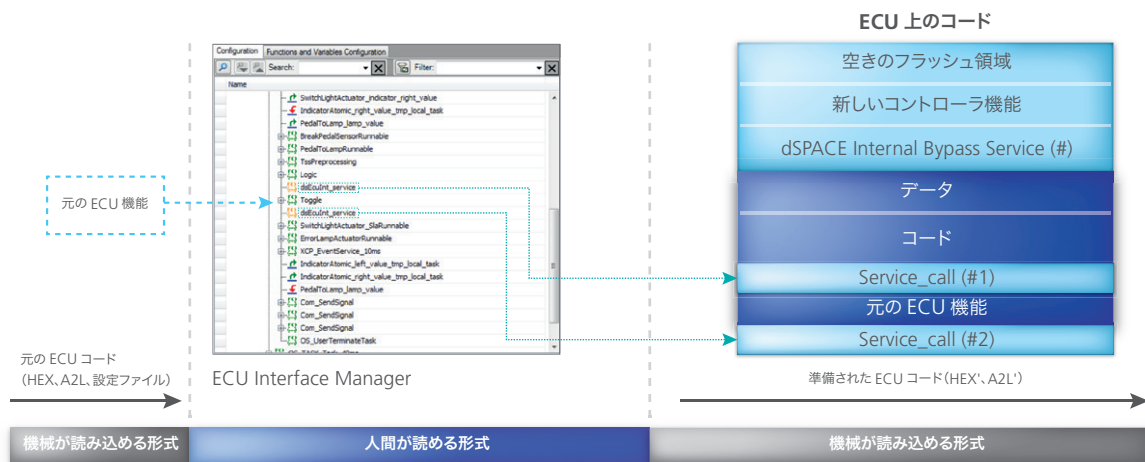


図 2 : ECU コードを準備する場合、ECU Interface Manager によりバイナリ ECU ソフトウェアが解析され、機能名を含む解析結果が構造化された形式で表示されます。これに基づき、バイパス処理サービスとサービスコールが新しい機能に統合されます。

し、ECU のバイナリコードを作成します。新たに開発された機能を含む ECU が生成されると、リビジョンが行われ、ECU のフラッシュメモリに書き込まれます。これらのすべてのステップでは、ECU ソフトウェアのソースコードにもスタンドアロンのビルド環境にもアクセスする必要がないため、開発者は各ステップを個別に実行することが可能です。

#### バイパス処理サービスを迅速かつ容易に統合

ECU Interface Manager は、オンターゲットプロトタイプリングツールチェーンに

は欠かせないツールであり、バイパス処理サービスと新しい機能のインターフェースを ECU コードにすばやく統合し、ECU コードをバイナリファイルとして利用できるようにします。この際、ECU のソースコー

### 新しい機能の開発は、ECU 上で短時間かつ最適なリソース消費率で実行されます。

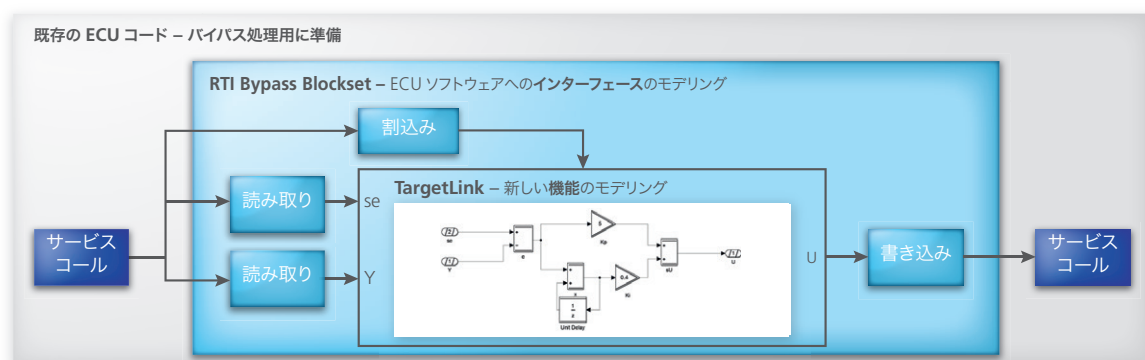
ドまたはビルド環境へのアクセスは必要ありません。そのため、ECU サプライヤが提供するの空きのメモリ領域などの設定情報の一部だけで済み、それ以上のサプライヤとの間の反復作業は不要となるため、プロジェクトにおけるコストと時間の

節約が可能になります。ECU Interface Manager の側では、ECU ソフトウェアのバイナリイメージを使用して dSPACE Internal Bypassing Service を直接 ECU に統合したうえで、既存のソフトウェア

を精査し、新しい TargetLink 機能を必要なすべての場所に統合できるように調整します。さらに、

Infineon TriCore™、Renesas V850™、および NXP MPC 5xxx など、サポートされているプロセッサファミリの既存のコードのプログラムフローを分析し、ソフトウェア構造や関連する機能名を設定用のユーザインターフェースに分かりやすく表示し

図 3 : TargetLink と RTI Bypass Blockset による新しい機能の開発。





まず(図2)。開発者は、このユーザインターフェイスに基づいて、オンターゲットプロトタイプングの実行中に使用可能なインターフェイスをバイナリイメージで直接指定することができます。機能を完全に置き換える場合は、これらを ECU コードから完全に削除し、メモリを再利用するよう指定することもできます。最終的に、ECU Interface Manager はバイパス処理サービスや必要なサービスコールを含む新しい ECU イメージを生成し、新たに開発した機能を統合します。

**ECU リソースの効率的な使用**

開発者は、ECU Interface Manager で新しい ECU イメージを作成した後、Simulink/TargetLink および RTI Bypass Blockset を使用して新しい機能を開発します。この際、TargetLink は量産コード生成ツールとして、最適化された ECU コードを生成し、限られたリソースを最適に利用できるようにします。また、TargetLink を使用すると、量産プロセスへのシームレスな移行も可能です。オンターゲットプロトタイプングツールチェーンでは、新しい機能をモデリングするための 2 つの異なるシナリオをサポートしています。

- 1.TargetLink モデルに基づく開発：この場合、開発者はすべての TargetLink 機能を直接使用することができ、機能開発の初期の段階で最終的な ECU コードに必要なすべての仕様をモデル内で作成することができます。
- 2.Simulink モデルに基づく開発：この場合、TargetLink では、モデルから量産コードを生成し、使用するリソースに開

する信頼性の高い情報と極めて効率的な TargetLink コードを併用することにより、最大限の利便性を実現します。

どちらの場合も、モデリングされた機能と ECU コードの接続には汎用的な RTI Bypass Blockset を使用します(図3)。RTI Bypass Blockset を使用すると、モデリングされた機能を既存のソフトウェアの機能フローに柔軟に統合することができ、さらには、既存のソフトウェアの変数にアクセスして元の ECU アプリケーションの処理と同期した状態で Simulink サブシステムを呼び出すことができます。

そのため、開発者は ECU ソフトウェアへの接続設定が完了したらボタンをクリックするだけで、新しい機能の自動ビルドプロセスを開始することができます。このビルドプロセスでは、新しい機能が ECU イメージに自動的に統合されます。この時、断片化したメモリ領域も使用されるため、利用可能なリソースを最大限に活用することができます。また、フラッシュプロセスを開始して、新しく作成した ECU イメージを ECU に直接転送することもできます。計測および適合パラメータには、通常通り既存の ECU インターフェイスを介してアクセスできます。 ■

**利点および将来的な技術革新**

ECU Interface Manager、RTI Bypass Blockset、および TargetLink を組み合わせることにより、効率性に優れ柔軟な設定が可能な量産コードを活用しながら、ラビッドコントロールプロトタイプングの高速な反復作業を実現することができます。これにより、既存の量産 ECU をプロトタイプングハードウェアとして容易に使用することができるようになるため、リソースの消費率を管理しながら、TargetLink で制御モデルを継続的に使用することが可能になり、量産開発プロセスへのシームレスな移行が実現します。また、ECU Interface Manager を使用してバイパス処理用のサービスコールをバイナリコードベースで統合することにより、ECU サプライヤとの間で発生する面倒な統合ループが不要になり、プロトタイプングを直ちに開始できるようになります。今後の dSPACE Release では、ホスト PC 上で TargetLink と dSPACE VEOS® を使用して仮想バイパス処理を行える新機能が追加される予定であり、生産性のさらなる向上が可能になります。

表 1：最終製品に近いオンターゲットプロトタイプングを可能にするツールチェーン。

dSPACE ツール	タスク
ECU Interface Manager	バイパス処理のサービスコールを既存の ECU コードにすばやく統合するための直感的なツール
dSPACE Internal Bypassing Service	既存の ECU コードをバイパス処理のサービスコールで拡張するための ECU サービス
TargetLink®	グラフィカルな MATLAB®/Simulink®/Stateflow® 環境から量産コード(Cコード)を直接かつ自動的に生成するソフトウェアシステム
RTI Bypass Blockset	新しい機能を既存の ECU コードに容易に接続するための Simulink ブロックセット
ターゲット固有のコンパイラ (サードパーティ製品： HighTec コンパイラ)	Infineon TriCore™、Renesas V850™、および NXP MPC5xxx プロセッサファミリ用のオブジェクトコードに C コードを転送

記載されているツールチェーンは、TargetLink 4.2 (dSPACE Release 2016-B) 以降で利用できます。





Car2x 通信は、特に事故防止に関してすでに多くの注目を集めていますが、車両同士の「連携」や車両とインフラストラクチャ間の「連携」を実現することで、車両の推進力を改善することもできます。

**自** 動車をデジタル化するテクノロジーは進化を続けていますが、それらを使用して、未来の自動車の安全性だけでなく、燃費の向上や排出ガスの削減を実現することは可能でしょうか。この質問が発端となり、dSPACE、DENSO、アーヘン工科大学およびパーダーボルン大学は、共同研究プロジェクトとして「Hy-Nets: 車両通信を使用し

た効率的なハイブリッド駆動」を発足させました。2015 年秋、このプロジェクトは「MobilitätLogistik.NRW」コンテストで高い評価を得て、欧州地域開発基金 (ERDF) から 30 カ月間の基金を授与されました。また、協賛パートナーとして、パーダーボルン市と Geiger & Hamburgier エンジニアリングオフィス (IGH) のサポートを受けています。

#### さらなる効率化を目指したデジタルモビリティの分析

Hy-Nets では、これまで個別に研究されてきた複数の技術的トピックを一括して取り扱い、将来のハイブリッド車両向けのまったく新しい効率的な手法の開発を目指しています。主に車両内情報をベースにしている既存のハイブリッドドライブ制御とは対照的に、Hy-Nets では初めて





「Hy-Nets では、将来のネットワーク化されたトラフィックシナリオの直接的な効果を実際のハイブリッドドライブを使用して計測し、環境との相互作用をエネルギー消費と車両の流れの観点から評価することが初めて可能になっています」

Ulrich Schwarz 氏、EV/HV シニアマネージャ、DENSO 社

Car2x 通信、すなわち車両間および車両とインフラ間の通信にも着目しています。異なるすべてのレベルを考慮に入れたこの全体論的アプローチにより、研究者達は、完全に新しい手法で効率性を最大化できるという可能性に注目するようになりました。これらの手法には、予測型エネルギー管理や新しい自動運転機能だけでなく、特に協調的トラフィックシナリオにおける車両間の「連携」による情報のやり取りも含まれています。

#### 実際の駆動技術をトラフィックシナリオのシミュレーションで解析

Hy-Nets では、ハイブリッドドライブトレインの実際のハードウェアとソフトウェアの相互作用を上記のような複雑なトラフィックシナリオで正確に分析するため、最先端のハイブリッドドライブのプロトタイプ (DENSO 提供) を構築し、ヨーロッパの最先端テスト施設の1つ (アーヘン工科大学提供) に設置する予定です。このプロトタイプは、ハイブリッド車両の交通環境 (dSPACE 提供) や、全体的なトラフィックフロー、さらには車両全体およびインフ

ラ間の通信 (パーダーボルン大学提供) を高精度でシミュレートするための強力なシミュレータにテストベンチ上で接続されます。これにより、実際のハイブリッドドライブを現実の交通データ (パーダーボルン市提供) と信号機制御データ (IGH 提供) に基づく複雑な走行シナリオシミュレーション環境で操作することが可能になります。Hy-Nets プロジェクトの研究者達は、テストベンチで得られた知見に基づいて、求められる要件を満たす未来のハイブリッドドライブの設計を開発したいと考えています。これはまた、自動車のデジタル化の進展により、エコロジーの観点からもまったく新しい有望な可能性が開けることを意味しています。 ■

Hy-Nets プロジェクトコンソーシアムのご厚意により寄稿



EUROPEAN UNION  
Investing in our Future  
European Regional  
Development Fund



EFRE.NRW  
Investitionen in Wachstum  
und Beschäftigung

アーヘンのテスト施設：Hy-Nets プロジェクトでは、実際のハイブリッドドライブがテストベンチ上で HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータに接続されています。このシミュレータは、車両環境や全体的なトラフィックフロー、車両全体およびインフラ間の通信をシミュレートします。これにより、仮想的なトラフィックシナリオが作成され、ハイブリッドコンポーネントの徹底的なテストに使用できるようになります。この研究の一部は、Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG、ドイツ最大の独立系研究基金機構) が資金援助する Center for Mobile Propulsion プロジェクトで行われました。

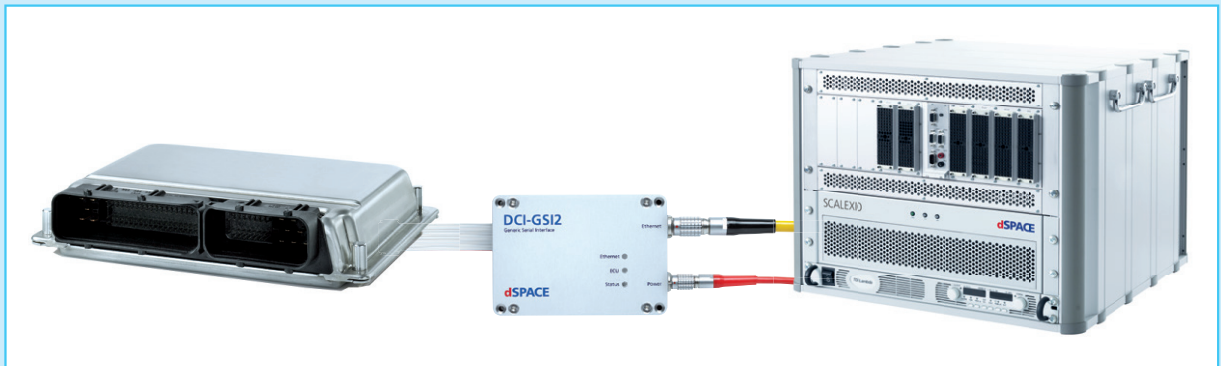


## SCALEXIO によりリアルタイムで ECU にアクセス

HIL (Hardware-in-the-Loop) テストにおいて、電子制御ユニット (ECU) の内部変数と同期して計測や調整を行うためには、HIL シミュレータからテスト対象ユニットにリアルタイムで直接アクセスすることが必要です。dSPACE HIL シミュレータである SCALEXIO® では、ECU に事前に接続された dSPACE DCI-GSI2 シリアルハードウェアまたは XCP-on-Ethernet インターフェースのいずれかを使用することで、このようなアクセスを実現します。ECU コードの変数にアクセスするには、ECU コード内のアクセスポイントとしてバイパスサービスコールが必要です。これらのサービスコールは、ECU ソースコードに基づき手作業で挿入するか、バイナリ

コードに基づき自動的に挿入することが可能です。dSPACE では、バイナリコードの自動的な挿入を行えるようにするため、ECU Interface Manager を提供しています。この強力かつ直感的なツールを使用すると、テストエンジニアは必要なときにいつでも ECU アクセスに必要な調整を行うことができます。また、ECU Interface Manager を使用すれば、リアルタイムアプリケーションからテスト対象の ECU に簡単にアクセスすることもできます。たとえば、温度、圧力、または加速度センサといったアクセスが困難な ECU センサの値を ECU 上で直接シミュレートすることができるため、多くの時間とコストがかかる実際のシミュレーションを実行する必要がなく

なります。また、このアクセス手法では、テストの実行中でも ECU ソフトウェアの内部状態に対応することができるため、進行中のテストの個別の部分にすばやく介入することが可能です。さらに、ECU ソフトウェアのサブ機能のテストを ECU ハードウェア上で個別に実行することができます (ホワイトボックステスト)。 ■



## CAN FD をシームレスにサポート

dSPACE では、2014 年から CAN FD 通信プロトコルをサポートしていますが、今回、CAN FD が dSPACE ソフトウェアおよびハードウェアツールチェーンに完全に統合されました。これにより、ラボまたは実車での機能の初期検証を MicroAutoBox II などのラピッドコントロールプロトタイプシステムで行う際や ECU 通信の HIL (Hardware-in-the-Loop) テストを SCALEXIO で実行する際に CAN FD 経由で通信できるよ

うになります。ISO CAN FD と non-ISO CAN FD のソフトウェア設定を行える機能は 2015 年から提供されていますが、それに加え、今回からウェイクアップ機能やスリープ機能、さらにはパーシャルネットワーキングも利用できるようになりました。CAN FD 通信の設定は、Bus Manager または実装ソフトウェア Real-Time Interface (RTI) のいずれかを使用して行うことができます。試験用ソフトウェア ControlDesk® では、リ



アルタイム通信を監視し、修正することも可能です。 ■

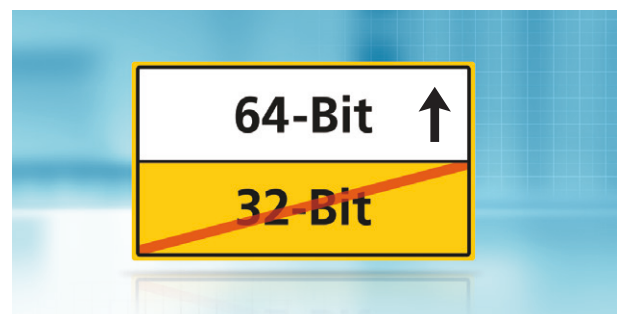


## dSPACE ソフトウェアは 64 ビットバージョンのみをサポート

dSPACE Release 2016-B 以降、Windows 用のすべての dSPACE ソフトウェア製品は 64 ビットバージョンのみをサポートします。これにより、dSPACE Release 2015-B から開始した 64 ビットテクノロジーへの段階的な移行が完了します。

64 ビットテクノロジーでは大容量のメモリに対応できるため、より複雑なモデルを作成および変換することができ、広範囲にわたるテストの実行や膨大な計測データ

の取り扱いも可能になります。また、使用事例によっては実行速度も向上します。64 ビットテクノロジーを使用する場合、PC に必要となるメインメモリの量は 8GB に増加します。 ■



## ECU インターフェースソフトウェア：新しい機能と使いやすいパッケージ方式を追加

2016 年 11 月リリース予定（変更の場合あり）の dSPACE Release 2016-B では、ECU Interface Manager を含む dSPACE ECU インターフェースソフトウェアに新しい機能とアプリケーション指向の使いやすいパッケージ方式が追加されます。ECU Interface Manager 2.0 の主な拡張の 1 つは、SCALEXIO® と ConfigurationDesk® のサポートです。これにより、電子制御ユニット (ECU) の内部変数にアクセスし、ECU テストの実行中に HIL テストシーケンス

に介入することで、アクセスが困難なセンサをシミュレートできるようになります (60 ページ)。もう 1 つの新機能は、TargetLink® による量産 ECU 上でのオンターゲットプロトタイピング (内部バイパス処理) のサポートです (54 ページ)。これにより、バイナリコードに基づいてバイパス処理サービスを自動的に統合できるだけでなく、TargetLink コードを既存の ECU ソフトウェアに実装して妥当性確認を行えるようになるため、量産コードへのシームレスな移行を実現したり、限

られた ECU リソースをさらに効率的に使用したりできるようになります。また、開発の初期の段階で量産プロセスに必要なリソースを特定することもできます。 ■

ECU インターフェースソフトウェア

**TargetLink**

ECU Interface Manager 2.0 NEW

**SCALEXIO**

外部バイパス処理・内部バイパス処理・バイナリコードに基づくサービス統合

## TargetLink 4.2 : オンターゲットプロトタイピングや車載Ethernetを含む多くの新機能をサポート

dSPACE 量産コード生成ツールの新バージョンである TargetLink® 4.2 (dSPACE Release 2016-B) では、dSPACE オンターゲットプロトタイピングツールチェーンが初めてサポートされるようになりました (54 ページ)。これにより、開発者は効率性に優れた TargetLink コードを量産段階に近いプロトタイピングハードウェアで利用できるようになります。また、リソースプロファイリング手法の活用や量産プロセスへのシームレスな移行の実現により、プロジェクトのリスクを最小限に抑えることができます。TargetLink のもう 1 つの重要な新機能は列挙型および変数 (C enum) を生成できる機能です。これにより、コードの可読性が向上し、レガシーコー

ドの統合がさらに容易になります。また、TargetLink では AUTOSAR 準拠の開発環境向けに AUTOSAR 4.2.2 をサポートしており、非同期クライアントサーバ通信を介したマルチコアシステムにおけるパフォーマンスの向上が実現します。TargetLink 4.2 は、非スカラーインターランナブルバリエーションなどの AUTOSAR 拡張に加え、車載 Ethernet の完全なサポートも提供しています。さらに、Stateflow Superstep セマンティクスや状態に対するアクティビティフラグ、バスの操作性向上などにより、Simulink®/Stateflow® でのモデリング機能のさらなる拡張も可能です。TargetLink 4.2 では、MISRA-C:2004-/MISRA-C:2012

に準拠した生成コードの完成度も向上しています。TargetLink 4.2 のリリース後は、すぐに TargetLink 用の SYNECT Add-On の新バージョンがリリースされる予定です。これにより、複数の開発チームに分散した大規模な開発環境で TargetLink を容易に使用できるようになり、ツール使用の大部分を自動化することができるようになります。 ■

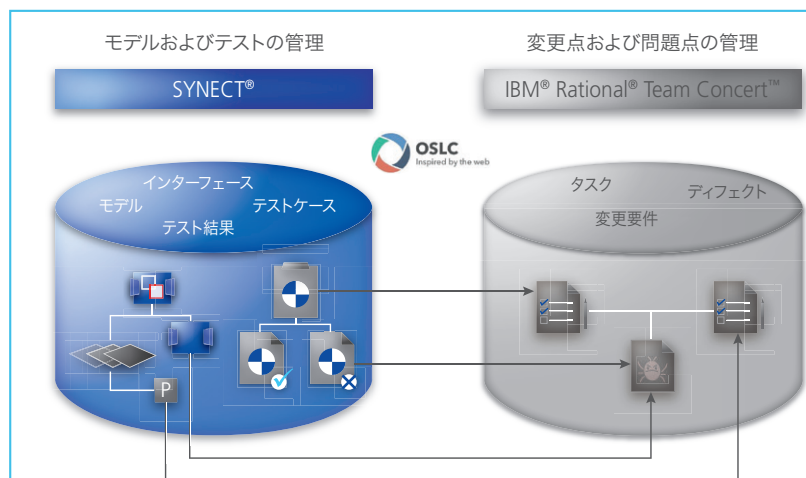


## SYNECT – OSLC を介してデータをシームレスに交換

dSPACE のデータ管理ソフトウェアである SYNECT® では、Open Services for Lifecycle Collaboration (OSLC) 規格をサポートしています。OSLC が実装された SYNECT では、この規格を同様にサポートする他のデータ管理システムと直接通信および連携することが可能です。そのため、さまざまなツールでデータを表示できるだけでなく、データの変更やリンクも可能になります。モデルの開発やテストを担当する TargetLink® ユーザなどにとって、これは大きな利点となります。ユーザは、IBM® Rational® Team Concert™ などの変更点や問題点を管理する OSLC 対応システムに SYNECT テスト管理プロジェクト内からアクセスし、失敗したテストケースの「ディフェクト」(問題レポート) をすばやく生成することができます。問題レポートで指摘された変更要求は、SYNECT で一元管理しているモデルやインターフェース、パラメータに簡単にリンク

させることができるため、ユーザは必要な変更をいつでも表示し、発生源を追跡し、実装することができます。 ■

また、リンクデータはさまざまなデータ管理システムに保存されるため、ツールの境界を越えたトレーサビリティと可視性が実現します。





# 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。

## 巧みに追突を回避

ZF 社は、トラックの追突を避ける新しい緊急ステアリング支援システムを開発しました。同社は最近、ドイツのメディアに対して先進運転支援システムの動作の信頼性を示すデモを発表しました。コントローラプロトタイプのセットアップ用のツールの 1 つとして dSPACE MicroAutoBox が使用されました。



出典：© ZF 社

ZF 社が開発した新しい緊急ステアリング支援システムである EMA (Evasive Maneuver Assist) の特徴は、衝突回避機能と走行安定性の維持にあります。  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20162\\_ZF](http://www.dspace.jp/go/dMag_20162_ZF)



出典：© BILD

ZF 社はトラックに搭載するプロトタイプコントローラとして MicroAutoBox を使用しています。

## 組立機械向け適応制御

中国の研究者は、外乱監視機能を組み込んだ適応制御を活用することにより、回路基板向けの表面実装 (SMT) 組立機械の位置決め精度を最適化しています。このソリューションの実証には、汎用的な dSPACE DS1104 R&D Controller Board と dSPACE ControlDesk をベースにした試験用セットアップが使用されています。



www

SMT ベースの組立機械には、高精度の位置決め機能が必要となります。  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20162\\_SMT](http://www.dspace.jp/go/dMag_20162_SMT)



DS1104 R&D Controller Board で適応アルゴリズムが計算されます。

## 自動運転車両のための自動車学校

スタンフォード大学の学生は、自動運転車両が事故を回避できるようにするための高度なアルゴリズムを開発しました。車両には dSPACE MicroAutoBox が設置されており、車両が急に現れる障害物などを避けることができるインテリジェントな走行機能をサポートしています。



出典：© スタンフォード大学

自動運転車両が障害物を認識し回避する訓練を行っています。  
[www.dspace.jp/go/dMag\\_20162\\_Stanford](http://www.dspace.jp/go/dMag_20162_Stanford)



出典：© スタンフォード大学

自動運転制御用の電子コンポーネント。MicroAutoBox がこの開発の中心的な役割を果たしています。



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\\_20162\\_REF\\_J](http://www.dspace.jp/go/dMag_20162_REF_J)



## 自動運転制御技術開発を支える dSPACE ツール



車両動作の自律系・インフラ系の協調制御が要求されるレベル3の自動運転。三菱電機では「ドライバーと常に寄り添う」、「宇宙からクルマを見守る」、「乗る人すべてを心地よく」の3つをコンセプトにしたDiamond Safetyと名付けた技術開発を進めています。レベル3の自動運転で必要とされる高い精度の制御技術では、多くの新規ソリューションを開発の早い段階でテストすることが欠かせません。dSPACEのモデルベース開発ツールは、制御アルゴリズムの迅速な実装と制御パラメータの調整を容易にし、評価期間と開発工数を大幅に削減。自動運転の実現に貢献します。

Embedded Success

**dSPACE**