

# AI-in-the-Loop

現実に即したセンサシミュレーションにより AI ベースの自動運転車両を検証する新しいテストシステムを発表

独自に判断を下す制御システムを搭載した車両の妥当性確認は、開発者が直面した新たな課題でした。ZF 社では、従来の HIL テクノロジとセンサによる現実に即した環境シミュレーションを組み合わせることにより、この課題に対応しました。この目的のため、dSPACE ツールチェーンをベースとしたテストシステムが設計されました。

**ド**ライバーが運転する従来型の車両に対し、高レベルの品質と快適性を実装して製品化する場合でも、コストや期間に関する目標を常に満たさなければならないことを考慮した場合、開発や妥当性確認の段階での労力は相当なものとなります。それが自動輸送システムの実用化となれば、このような品質、効率性、および安全性の要件はまったく新しいレベルへと引き上げられます。このようなシステムは、自動運転機能の実装だけでなく、最終的にはあらゆる天候や交通状況、視界条件で安全に運行できなければならず、極めて無駄のない手法とツールチェー

ン無しでは開発段階で生じる複雑さを克服することが不可能なためです。

#### 自動運転テクノロジー向けのプラットフォーム

ZF 社では、バッテリー駆動型の新交通システムに対応したテクノロジープラットフォームの開発に取り組んでいます。このプロジェクトには、自動運転のシステム設計を専門とする ZF 社の技術が幅広く投入されており、同社のテクノロジーグループでは、特に周辺環境やセンサからのデータを特定して処理するための最先端の専門技術を採り入れています。また、このプロジェクトでは、ZF 社と NVIDIA 社がほん

の 1 年前に導入した ZF ProAI スーパーコンピュータ（車両の中央制御ユニットとして機能）の性能と実用性の検証も行われています。同社では、スケーラビリティに優れ、さまざまな車両に移植できるシステムアーキテクチャを構築し、使用目的や利用可能なハードウェア機器、求められる自動化レベルに応じた開発を行えるソリューションの実現を目指しています。

#### 自動化システムの設計

車両には、環境を検出するための 6 個の LiDAR センサ、7 個のレーダーセンサ、および 12 個のカメラセンサが搭載されてお



り、全地球的航法衛星システム (GNSS) により正確な位置を特定できるようになっています。センサデータはすべて ZF ProAI 中央制御ユニットに送られて統合されます。制御ユニットでは、認知、オブジェクト識別、およびデータ融合という典型的な手順を踏みながら、データの前処理および評価を行い、駆動方式を計算します。その後、これらに基づいて、アクチュエータ (ステアリング、駆動系、およびブレーキシステム) の制御信号を生成します。ここでは、データ解析の処理速度やオブジェクトの認識精度を向上させるため、AI ソフトウェアが活用されており、センサデータは部分的に人工知能 (AI) を使用したアルゴリズムによって解析されます。AI ソフトウェアを使用すると、豊富なデータを活用することができるため、歩行者による道路の横断といった繰り返し起きる交通状況のパターンを特定することも可能になります。

#### 妥当性確認コンセプト

電子制御ユニット (ECU) の妥当性確認

において、統合テストは重要なステップの 1 つです。これには、ECU と車両のすべてのセンサ、アクチュエータ、および電気 / 電子機器 (E/E) アーキテクチャを組み合わせて行うテストも含まれます。このような総合的な検証は、センサやアクチュエータなどの関連するコンポーネントを含むすべての運転機能の妥当性を十分に確認し、車両の挙動を評価するうえでも重要です。そのため、同社の開発プロジェクトでは、妥当性確認ステップとして、統合テストにおいて実績のある手法である HIL

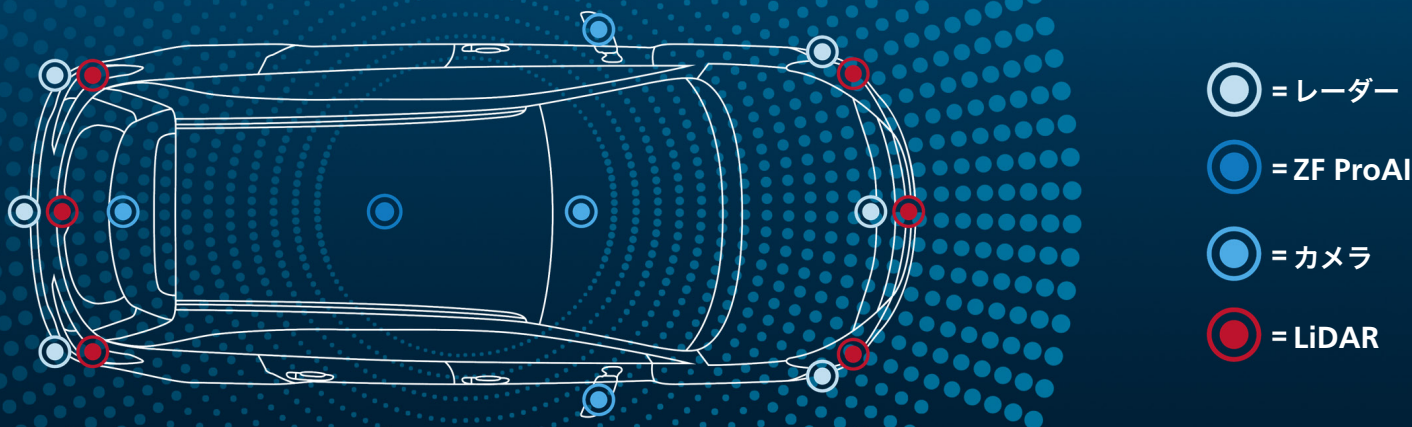
(Hardware-in-the-Loop) シミュレーションを採用しています。

#### HIL シミュレータコンセプト

ZF 社では、HIL シミュレータの開発を dSPACE と協力して行いました。開発したシミュレータは SCALEXIO テクノロジーをベースとしており、ステアリング、ブレーキ、Electric Drive、ビークルダイナミクス、およびすべてのセンサを含めた車両全体のシミュレーションを行うことができます。ここでは、すべてのセンサ信号が ECU >>

## 人工知能

人工知能 (AI) はコンピュータサイエンスの一分野であり、知的行動と機械学習の自動化を研究対象としています。一般に、人工知能とは、コンピュータをプログラミングしてある程度独自に問題に対処できるようにすることにより、人間が意思決定を行う際の特定の行動を再現しようとするものです。



自動運転車両のセンサーアーキテクチャを示したサンプル図

画像提供：© ZF 社

の入力として送信され、出力側では、車両のアクチュエータの HIL オペレーションに必要な入出力が提供されると共に、レストバスシミュレーションも行われます。また、dSPACE Automotive Simulation Model (ASM) ツールスイートにより、センサと車両に対するビークルダイナミクスの計算をリアルタイムに行うことで、シミュレーション精度を向上させています。ただし、使用する AI システム自体には「物理的な」リアルタイム特性や線形の依存関係がないため、これは特に難しい作業となります。そのため、センサおよびアクチュエータ向けの複数のシミュレータを同期化し、それらの間に AI 制御ユニットを「挿入」することで、実際の車載条件下と同様の動作が実現するような工夫を施しています。

#### センサエミュレーション

ZF ProAI 制御ユニットは、センサの生データをすべて直接処理するように設計されています。また、センサデータはオブジェクトリストとしても読み込まれます。オブジェクトリストは、ASM Traffic Model によって提供され、周辺トラフィックのグラウンドトゥールズシミュレーションの一部として処理されます。生データを扱うためには、すべてのセンサを可能な限り現実に即してエミュレートする必要があります。

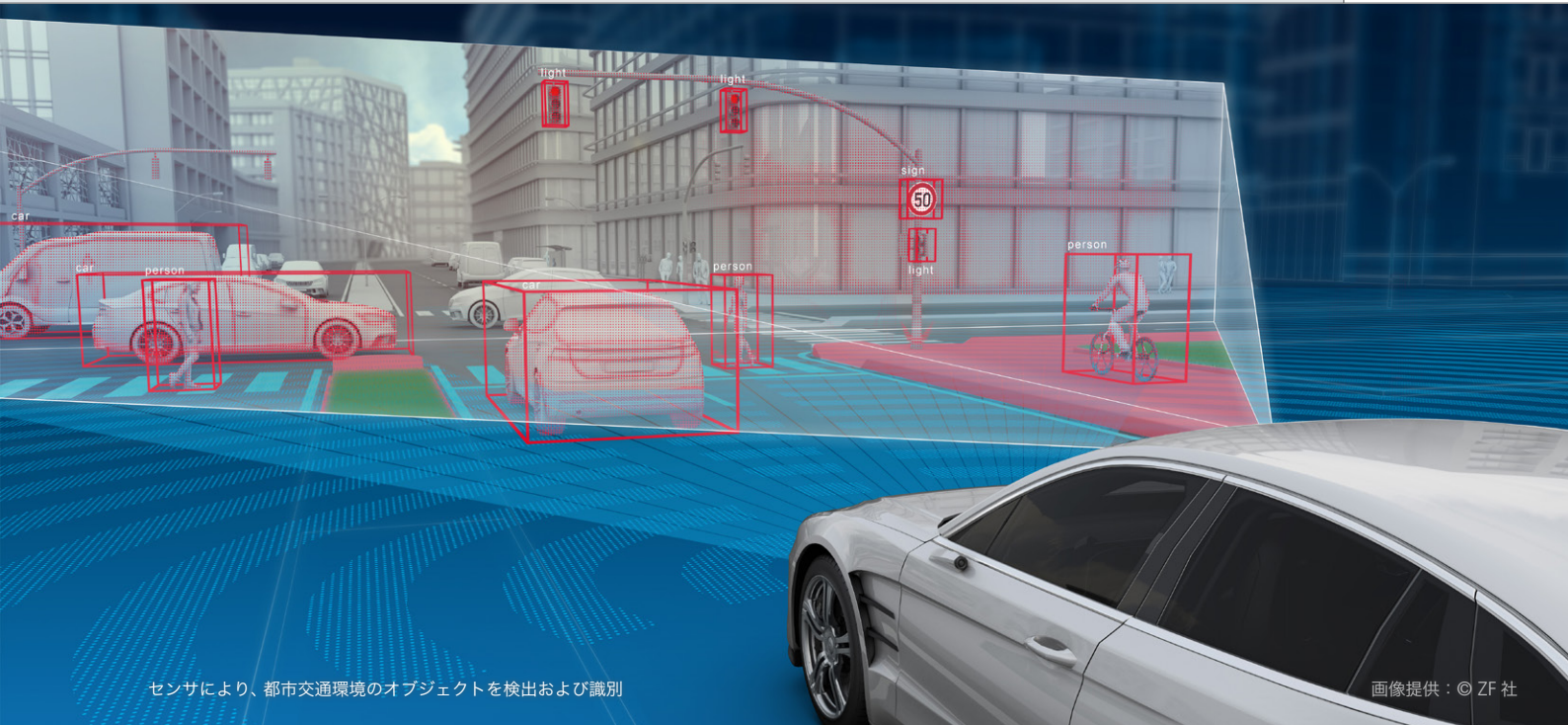
#### 極めて高精度なセンサ環境シミュレーション

センサの生データの生成には、定義されたテストシナリオに基づいてセンサ環境を計算し、極めて高い精度でシミュレートできるモデルが必要となります。そのた

め、同社では dSPACE ツールチェーンの物理レーダーモデル、LiDAR モデル、およびカメラモデルを使用しています。これらの高精度かつ高分解能モデルにより、センサフロントエンドを含むセンサと周辺環境の間の伝送路を計算できるようになります。送信機から受信機までの全伝送路は、レーダーモデルや LiDAR モデルの光線トレーサによって導かれます。また、多重伝播もサポートされています。ここでは、何百万もの光線が同時に放射されますが、その正確な数はそれぞれの 3D シーンによって異なります。いずれのモデルでも、物理的な挙動に基づいて複雑なオブジェクトの反射と拡散を計算します。多重伝播では「ホップ」数を指定することも可能です。また、LiDAR モデルはフラッシュセンサと走査センサのいずれにも対応す

センサシミュレーションプラットフォーム：センサデータはセンサシミュレーション PC でシミュレートされます。環境センサインターフェースユニット (ESI ユニット) を使用して、実際のセンサと同様の方法で電気信号を提供します。





センサにより、都市交通環境のオブジェクトを検出および識別

画像提供：© ZF 社

「当社では強力な dSPACE ツールチェーンを活用することにより、可能な限り早期の段階で、AI ベースの自動化テクノロジープラットフォームの制御ユニットをセンサやアクチュエータと組み合わせて妥当性確認しています」

Oliver Maschmann 氏、ZF 社

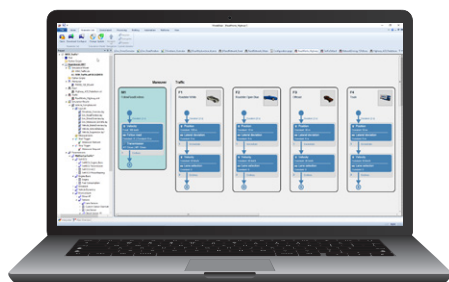
るよう設計されており、カメラモデルは色収差やレンズの汚れなど、さまざまなタイプのレンズや光学効果に対応しています。さらに、リアルタイム要件を満たすためには、グラフィックスプロセッシングユニット (GPU) で極めて複雑な個々のモデルのモデル要素を計算する必要があります。同社では、NVIDIA P6000 搭載の Sensor Simulation PC を dSPACE リアルタイムシステムにシームレスに統合して使用しています。

#### テストシナリオの生成

自動運転車両のテストで最も重要なことは、適切なシナリオを生成し、信頼性の高い手法で自動運転機能のテストや妥当性確認を行うことです。Scenario Editor を使用すると、それが可能になります。Scenario Editor では、複雑な周辺トラフィックを扱いやすいグラフィカルな手法で再現し、自車 (センサを含むテスト対象車両) の運転操作、周辺トラフィックの操作、およびインフラストラクチャ (道路、道

路標識、道路沿いの構造物など) を含むシナリオを作成することができます。これにより、車載センサからのデータに基づいて、現実的な 3D の仮想世界が生成されます。また、各種の設定は柔軟に変更できるため、Euro NCAP の標準仕様を厳密に実装したり、都市部を地域ごとに個別に構造化した複雑なシナリオを作成したりしながら、幅広いテストを行うことが可能です。このような 3D 環境には車両の 3D オブジェクトやセンサ環境モデルが >>

パラメータ設定やシナリオ生成には、Scenario Editor (左) を含む ModelDesk を搭載した強力なワークステーションが使用されています。また、シミュレートされたテストドライブのビジュアル表示には MotionDesk (右) が使用されています。



2台のHILラックには、SCALEXIOリアルタイムプラットフォーム、センサシミュレーションPC、およびESIユニットというセンサシミュレーション向けのすべてのコンポーネントが搭載されています。テスト対象のZF ProAI制御ユニットは、左側のラックに配置されています。アクチュエータ用のシミュレータは示されていません。



## センサシミュレーション向けのコンポーネント

リアルタイムのセンサ環境シミュレーションは、次のコンポーネントにより実装されています。

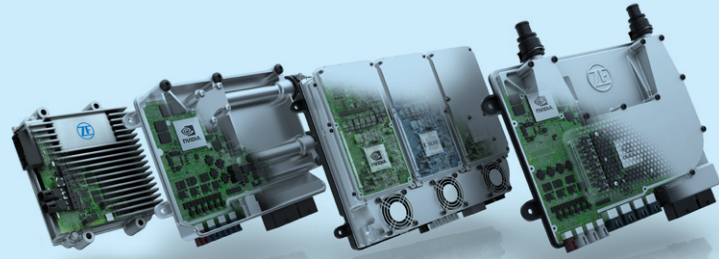
タイプ	数	ESIユニット	センサシミュレーションPC
LiDAR	6	1	1
レーダー	7	1	4
カメラ	12	3	3

## ZF ProAI

ZF ProAI 制御ユニットは、自動運転機能に対応する高い演算処理能力と人工知能 (AI) を提供します。このユニットでは、極めて強力かつスケーラブルな NVIDIA プラットフォームにより、カメラ、LiDAR、レーダー、および超音波センサからの信号を処理します。車両の周辺環境をリアルタイムに把握し、ディープラーニングによって経験を収集します。

### 利用効果

- AI 対応
- モデルに応じて最大 150 TeraOPS の処理能力 (= 1 秒間に 150 兆回の演算を処理) を実装
- 自動運转向けの各種機能に対応
- 高度にスケーラブルなインターフェースおよび機能を搭載



画像提供：© ZF 社

含まれており、ASM によりリアルタイムにシミュレートされています。道路利用者の軌道のシミュレーションは、ASM Traffic Model で行います。

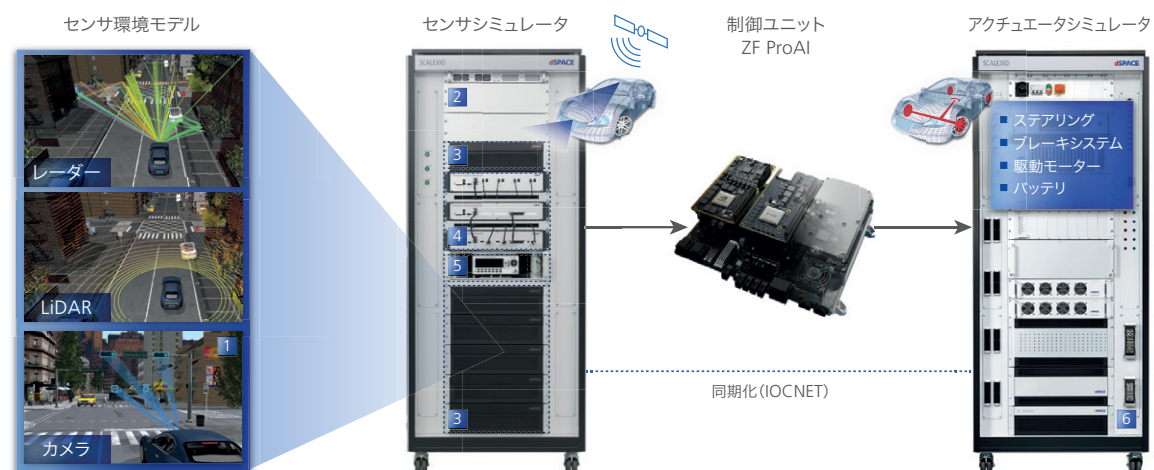
### 自動運転車両の妥当性確認

ZF 社の HIL シミュレータネットワークを使用すると、開発者が今後の開発ステッ

プの基盤となる条件を設定したうえで、車両の挙動全体を仮想テクノロジープラットフォーム上に再現して解析することができます。つまり、このシミュレータを使用すれば、初期の開発車両が自動的に適切な走路を検出できるかを確認するテストシナリオを実行したり、雨天時、降雪時、または薄氷上で予測不可能なイベントが発生

した場合でも車両が安全に走行できる能力を持っているかをテストすることができます。また、E/E システムに断線、短絡、またはバスシステムエラーといった故障を挿入するなど、その他の一般的な HIL テスト手法も追加できます。このように、テストカタログを継続的に拡大して包括的なソリューションとすることで、セーフティク >>

HIL シミュレータは、フロントエンドを含むレーダー、LiDAR、およびカメラセンサの周辺環境をリアルタイムに同期生成したうえで、ZF ProAI 制御ユニットに送信します。ZF ProAI は、シミュレートされたアクチュエータをドライビングストラテジに沿って制御します。



- 1) センサフロントエンドを含む高度な現実性と高い分解能を備えたセンサにより、検知した環境を計算します。
- 2) SCALEXIO + ASM Traffic: 周辺トラフィックをシミュレートします。
- 3) センサシミュレーション PC: あらかじめ決められたスケジューリングに基づいてセンサシミュレーションをリアルタイムで実行し、標準化されたグラフィックインターフェースを介してセンサの生データを生成します。

- 4) ESI ユニット: ECU インターフェースの個々の要件に合わせて同期化された生のデータを準備します。
- 5) GNSS: 同期化されたナビゲーション座標を提供します。
- 6) SCALEXIO + ASM Vehicle Dynamics, マルチ I/O ボード, Ethernet インターフェース, CAN FD インターフェース: アクチュエータとビークルダイナミクスをシミュレートします。

## ディープラーニング

ZF 社のエンジニアは、シミュレータを通じて車両にさまざまな運転機能を与えて「トレーニング」します。トレーニングでは、横断歩道での歩行者や歩行者グループとの相互作用、衝突の評価、信号機やロータリーでの挙動など、特に都市の交通状況に重点が置かれています。高速道路や地方道での運転とは異なり、都市部では、コンピュータ制御の車両がその時点の交通状況に基づいてどのような動作を取るべきかを完全に理解することは非常に困難です。



「dSPACE の現実に即したセンサシミュレーションモデルを使用すると、複雑な 3D シナリオからセンサの生データを生成し、当社の ZF ProAI 制御ユニットで直接処理することができます。これにより、複雑かつ現実的なテストを開発の早期の段階で簡単かつコスト効率良く実行できるようになります」

Oliver Maschmann 氏、ZF 社

リディカルな自動運転システムの機能面における妥当性確認を効率的に行えるようになります。

### 評価と次のステップ

このテストシステムでは、中央制御ユニットや車両全体の妥当性確認にとって極めて重要なシナリオを作成することができます。これには、実際のテストドライブで再現するのが難しい緊急ブレーキ操作といった特殊なケースも含まれます。現実に即したセンサベースの環境シミュレーションを行うと、センサが環境をどのように検出しているかや、それが車両の走行にどのような影響を与えているかを正確に評価することができます。また、開き角度不足のためにレーダーセンサがすぐ前方を走

行するトラックの車輪しか検知できない場合など、典型的な誤解釈が発生していないかを確認することも可能です。さらに、設定やパラメータ化用の柔軟なオプションも提供されているため、センサフロントエンドを変更した場合の影響も分析できます。すべてのテストを完全自動化すれば、広範なテストカタログを確実に実行し、エラーレポートを評価したうえで、回帰テストによって正しく設計変更が実装されているかを確認することも可能です。将来的に

は、実車によるテストドライブで得られる環境データが追加されていくため、テストの成熟度が高まります。また、仮想テスト環境内で車両が走行する際は、インフラストラクチャ全体や道路沿いの構造物、周辺トラフィックがセンサにより記録および処理されて生成されるため、複雑なテストも容易に実行できるようになります。 ■

Oliver Maschmann 氏、ZF 社

## 概要

### タスク

- 自動運転向けバッテリーの電気テクノロジープラットフォームを検証
- AI ベースの車両ガイダンス機能をテスト

### 技術的課題

- すべてのセンサをリアルタイムでエミュレート
- センサをセンサ環境 (3D 環境) で現実に即してリアルタイムにシミュレートできるセットアップを実現
- 現実的なトラフィックを通じて車両挙動全体をシミュレート

### ソリューション

- レーダー、LiDAR、およびカメラの各センサを高精度でシミュレートできるリアルタイムプラットフォームを構築
- トラフィック、ピークルダイナミクス、および Electric Drive をリアルタイムにシミュレート
- シナリオごとに調整を行いつつ仮想 3D 環境でテスト

Oliver Maschmann 氏

フリードリヒスハーフェンにある ZF 社のプロジェクトマネージャ。完全な車両統合テストに対応した HIL テストベンチのセットアップと運営を統括。



# 自動運転は 管理可能 です



ZF Friedrichshafen AG のコーポレート研究開発イノベーションおよびテクノロジー担当シニアバイスプレジデントである Dirk Walliser 博士が、dSPACE Magazine とのインタビューで、同社にとっての自動運転の重要性を説明し、市場投入に向けた次のステップについて語ります。

**Walliser さん、ZF 社にとって自動運転機能を開発する意義とは何ですか。**

自動運転は、誰もがほんの数年前には予想もできなかったスピードで開発が進んでいる技術です。そのため、早い段階から革新的なソリューションを提供することができれば、市場シェアを拡大できると当社は考えています。当社は今後、将来の自動車に影響を与えるテクノロジーを提供するシステムプロバイダになるべく、この分野に重点的に取り組んでいます。

**これらのシステムに対し、どのようなスタンスで開発を進めていますか。**

最も大事なことは、破壊的な変化から生まれてくる市場機会を見極めることです。このような機会を捉えてシステム開発を行うには、俊敏性が極めて必要になります。また、高い開発能力を備えた経験豊富なチームによるサポートも不可欠です。さら

に、特定のテーマについては、既存の開発環境やパートナーの協力も必要となります。当社は、このようなスタンスで開発を進めました。そのため、新しい自動運転テクノロジー向けのプラットフォームをすばやく構築し、高い成熟度を持つソリューションを実現することができました。

**御社の新しい自動運転テクノロジー向けプラットフォームはどのようなアプリケーションシナリオに対応していますか。**

当社では、主にライドヘイリング（ユーザがアプリを介して呼び出せる自動シャトルバス）などのモビリティコンセプトに注力していますが、当社のプラットフォームのテクノロジーは、港、炭鉱、農業など、その他の用途にもしっかりと対応しています。シャトルバスについては、最初は空港や大企業の敷地などの公共以外の場所での運行が計画されています。

**自動運転の実用化にとって、必要なことは何ですか。**

業界は既にさまざまな使用事例を通じて、このテクノロジーが管理可能であることを示しています。dSPACE が提供する妥当性確認システムでも、もちろんこれらの管理は可能です。つまり、必要なのは、自動運

転車両を承認するための適切な枠組みを国会で策定することです。

**御社が開発した自動運転車両の検証用の新しいテストシステムには、どのような特徴がありますか。**

新しいテストシステムでは、AI ベースの中央制御ユニットを搭載した当社の自動運転テクノロジープラットフォームである ZF ProAI が使用されています。また、HIL テクノロジーを併用することにより、開発の早期の段階で妥当性確認を行うことができ、センサやアクチュエータを含めたテストの場合でも、コスト効率的に優れた作業が可能で、つまり、AI-in-the-Loop が実現しているのです。このような検証は、ピークルダイナミクスを考慮した仮想的な 3D の世界で実行されるため、トラフィックシナリオを柔軟に定義しながら、センサを通じて現実に即したシミュレーションをリアルタイムで行うことができます。仮想環境は、地図データや高精度の車両計測値から生成されており、実際の走行経路をデジタルで再現しています。

**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。**