



Aired Scenarios

無線での信号入力を用いた、自動運転のためのコントローラと
センサのテスト

自動運転車両の開発では、テストと妥当性確認に膨大な労力が掛かります。このような複雑さやコストに対処するため、SERES社は、開発プロセスにおいて早期に柔軟に使用できる、制御ループに実際のセンサを備えたdSPACEのテストシステムを導入しています。



画像提供：© SERES

SERES 社は、輸送テクノロジー関連のグローバル企業であり、より安全でクリーン、かつ持続可能なコミュニティを創造するインテリジェントな電気自動車を開発・製造しています。また、世界中の市場に安全性、利便性、およびパフォーマンスが向上した車両を提供することに注力しています。同社は米国、中国、日本に製造、組み立て、研究開発施設を保有・運営しています。

SilkRides と AD 戦略

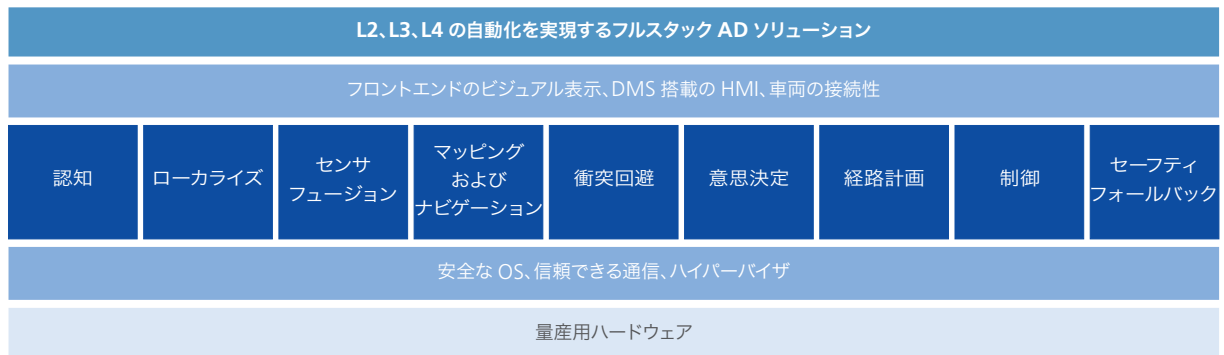
SilkRides は、SERES 社の自動運転 (AD) テクノロジーを開発している事業部門です。同部門はシリコンバレーをルーツに持つ OEM メーカーの系統であり、さまざまな自動車メーカーに価格競争力が高くオープンな自動化ソリューションを提供しています。2017年に設立された SilkRides は、市街地と高速道路のシナリオにおいて Level 3 および Level 4 の自動運転機能を

を実証しました。

SilkRides の AD スタック

同部門は自動運転車両を開発・製造するために求められるあらゆる技術を担当しています。これは開発だけでなく安全関連分野の妥当性確認のための認識、計画、および制御の専門技術や無線 (OTA) でのソフトウェアアップデート、ハードウェア設計も含まれます。その重要な要素が、一部を

>>



複雑な AD ソリューションを開発する場合、その妥当性確認を量産の前段階で確実にしておく必要があります。

人工知能に準拠したドメイン制御ユニットです。そのドメイン制御ユニットがセンサのデータを評価し、走行戦略を決定します。第一段階では、このユニットはプロトタイプコントローラとして実装され、徐々に量産のために発展していきます。

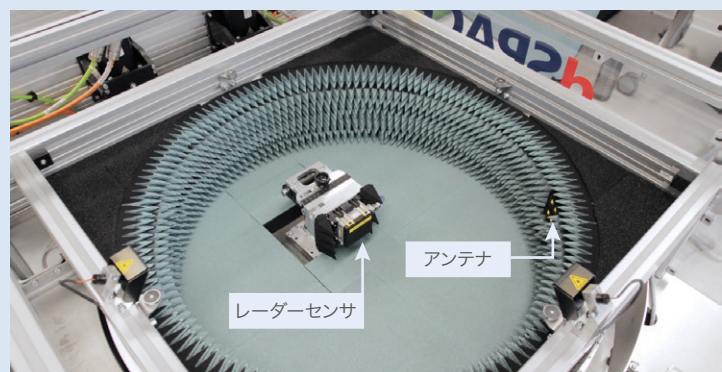
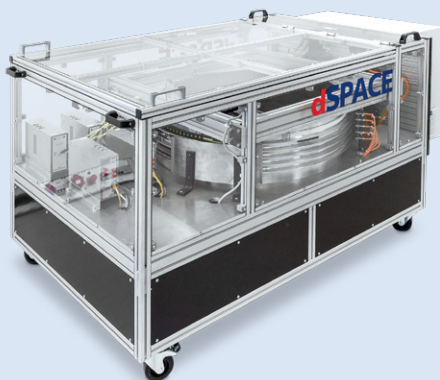
AD の妥当性確認における課題

自動運転システムが平均的な人間のドライバーと同じくらい安全であることを証明するには、何十億マイルもの現実世界での走行という妥当性確認が必要になりかねません。さらに、ソフトウェアをアップデー

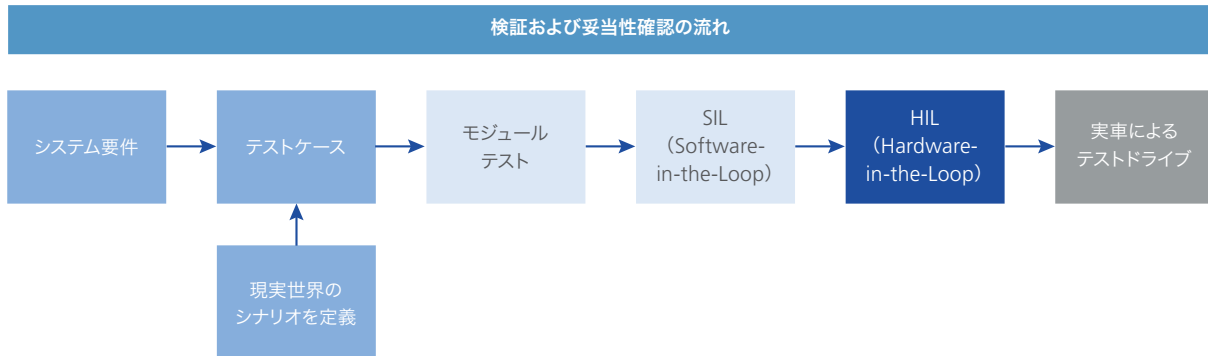
トするたびに厳しいテストをする必要があります。このタスクを達成するにはリソースが限られており、期日もタイトであるため、大規模な路上テストは非現実的です。開発と妥当性確認のサイクルを高速化するために、さまざまなレベルでのシミュレー

dSPACE レーダーテストベンチ

dSPACE レーダーテストベンチは、システム全体を検証するためのレーダーセンサの OTA シミュレーションを提供します。必要な場合、シミュレーションに車両のフロントバンパーやシャシの部品を含めることもできます。このようにして、レーダー前部での信号検出からレーダー ECU での評価まで、すべてのソフトウェアおよびハードウェアレイヤーを考慮に入れることができます。この非常にコンパクトなテストベンチは、基本的に送受信機能に対応した統合アンテナ付き電波暗室、適合された dSPACE Automotive Radar Test System (DARTS)、および SCALEXIO HIL シミュレータによって構成されています。テストの際は、レーダーセンサは電波暗室に固定され、実際のレーダーエコーにより信号が与えられます。この整合されたエコーにより、レーダー ECU はレーダーオブジェクトの距離、速度、レーダーの開口径積 (RCS)、および角度を忠実に決定します。前方レーダーは 2 台の DARTS 9030-M ユニットの用いて検証されます。また、コーナーレーダー向けには、特に短距離シミュレーションに有利な DARTS 9030-MS ユニットの組み込んでいます。この構成は、関連するすべての運転シナリオを十分に検証できるものです。



レーダーテストベンチによる実際のレーダーセンサのテスト。電波暗室は統合アンテナを備え、テスト対象センサが中央に配置されています。



検証および妥当性確認は連続的なステップで実行され、テスト要件に応じて繰り返し実施されます。

シジョンをもって検証および妥当性確認のフローを確立するよう目指しました。この手法であれば、各ソフトウェアのリリースの際に、重要なシナリオやコーナーケースを路上テスト前に検証することができます。

SilkRides でのテストの作業フロー

SilkRides において各ソフトウェアのリリースは、テスト車両へ搭載する前に多角的なレベルのテストを受けることとなります。まず、単体テストとモジュールテストを実施して、新しいソフトウェアコンポーネントが意図した通りに動作することを確認します。次に、この新しいコンポーネントを決定モジュールおよび計画モジュールの残りの部分と統合し、SIL (Software-in-the-Loop) テストを行います。これはパフォーマンスを評価するために、ソフトウェアの中でシミュレートされた車両に関連のテストケース上で走らせるものです。SIL テストの結果が良好である場合は、新しいソフトウェアのリリースがドメインコントローラのハードウェア上で HIL (Hardware-in-the-Loop) テスト用にコンパイルされます。このプロセスは仮想道路といった被試験物に対するデータについて、一定の整合性を保持しています。SIL および HIL のテストブ

ロセスの間にはソフトウェアそのものやソフトウェアとハードウェアの連携に関する多くの不具合が確認・修正されるため、ソフトウェアリリースの妥当性確認に求められるテスト車両の台数や路上テストの走行距離を削減することができます。

HIL テストの要件

SilkRides での自動運転機能の開発において、HIL テストを通じて解決しておくべき重要な要件がいくつかありました。

- **社内でのソフトウェアとハードウェアの統合：**
HIL テストは可能な限り早期に私たちのドメインコントローラ上でソフトウェアをテストできるよう意図されたものです。これにより、組み込みソフトウェアの統合の問題やハードウェアでのリアルタイム操作によって生じた問題を実車でのテスト前にすべて特定し、修正することができます。
- **サードパーティ製センサの統合テスト：**
無線 (OTA) レーダーテストベンチやカメラテストベンチを使用して、HIL テストセットアップの際に実際のセンサを統合することが可能です。センサのド

ライバー、ハーネス、およびセンサ自体が原因で発生した問題には HIL テストで対処することができます。

■ コーナーケースをラボで安全にテストできるプラットフォーム：

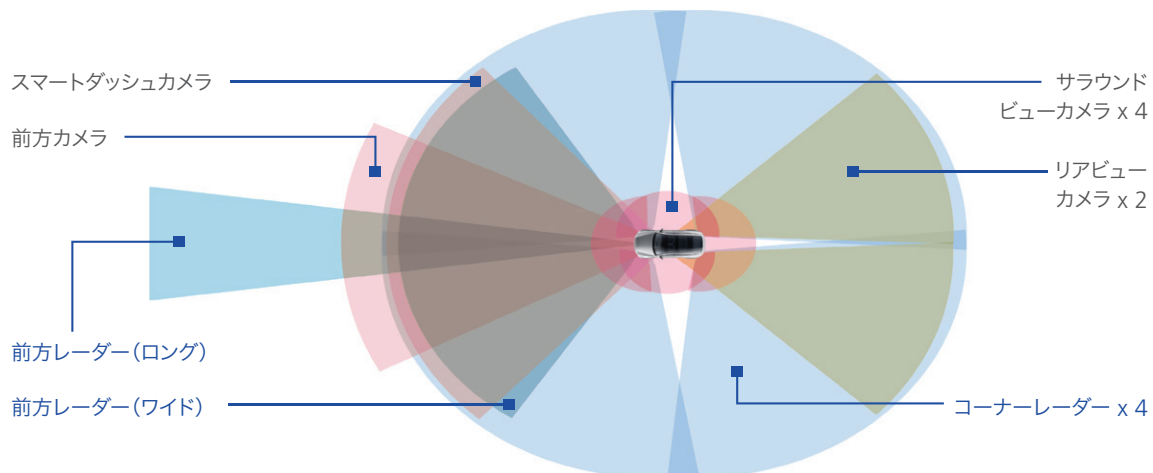
際どいコーナーケースやハードウェア故障のテストは、路上で行うと危険を伴いかねません。また SIL シミュレーションでも不可能です。HIL セットアップを使用すると、このような潜在的に危険なケースの妥当性をラボで安全に確認することができます。この詳細に関しては、「各機能を故障状態に置いた場合のシミュレーション」の項をお読みください。

テストシステムの構成

ラボで詳細かつ総合的なテストを実施するためには、SilkRides の AD スタックをカバーできる完全かつ柔軟性の高い構成が必要でした。そのため、SERES 社は dSPACE と協力することにより、センサ、コントローラ、およびアクチュエータの総合的なテストに対応できるシステムを定義し、実装しました。このシステムは、同社の車両を本物のように再現できる HIL シミュレータを搭載しており、同期された 4 つの >>

「自動運転システムが平均的な人間のドライバーと同じくらい安全であることを証明するには、何十億マイルもの現実世界での走行という妥当性確認が必要になりかねません。当社のラボに導入した dSPACE テストシステムは、仮想的な道路において現実の要素をテストする効率的な方法を提供します。」

Ziqi Zhu 氏、SERES 社



車載センサの構成の概要

「レーダーテストベンチのおかげで、開発の早期の段階でレーダーセンサを評価しテストすることができます。これにより、レーダー処理および自動運転用ソフトウェアの開発を効率的に行うことができます。」

Samuel Rayseldi 氏、SERES 社

センサテストベンチによって拡張したり、実際のレーダーやカメラを制御ループに組み込むことができるものでした。また、実コンポーネントも使用できるため、開発の早期の段階で多様なコンポーネントの性能を評価することが可能でした。

テストの定義

SERES 社ではまず、Automotive Simulation Models (ASM) ツールスイートのトラ

フィックシミュレーションモデルである ASM Traffic を使用してテストドライブを行いました。ASM Traffic では、HD マップからインポートした道路上で交通車両、歩行者、道路標識などを定義したり、さらにアダプティブクルーズコントロール、車線維持、追い越し支援といった車両の支援機能のためのテストシナリオの作成にも役立ちます。また、信号操作やテストレポートなどの追加のテストオプションを備

えた AutomationDesk を使用すると、テスト全体を自動化することもできます。

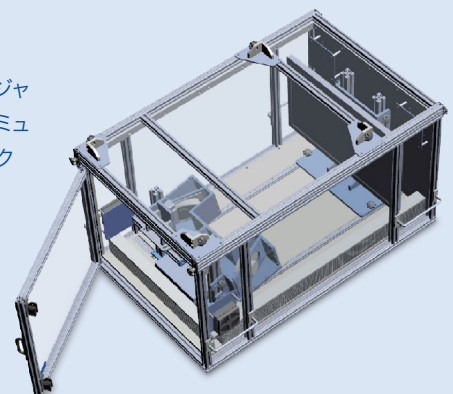
クローズドループテスト

同社では次に、シミュレートされた交通環境をセンサテストベンチに供給し、レーダーセンサやカメラセンサのシミュレーションを行いました。ここでは、認知アルゴリズムやセンサ融合アルゴリズムベースで開発した AD ソフトウェアを搭載した同

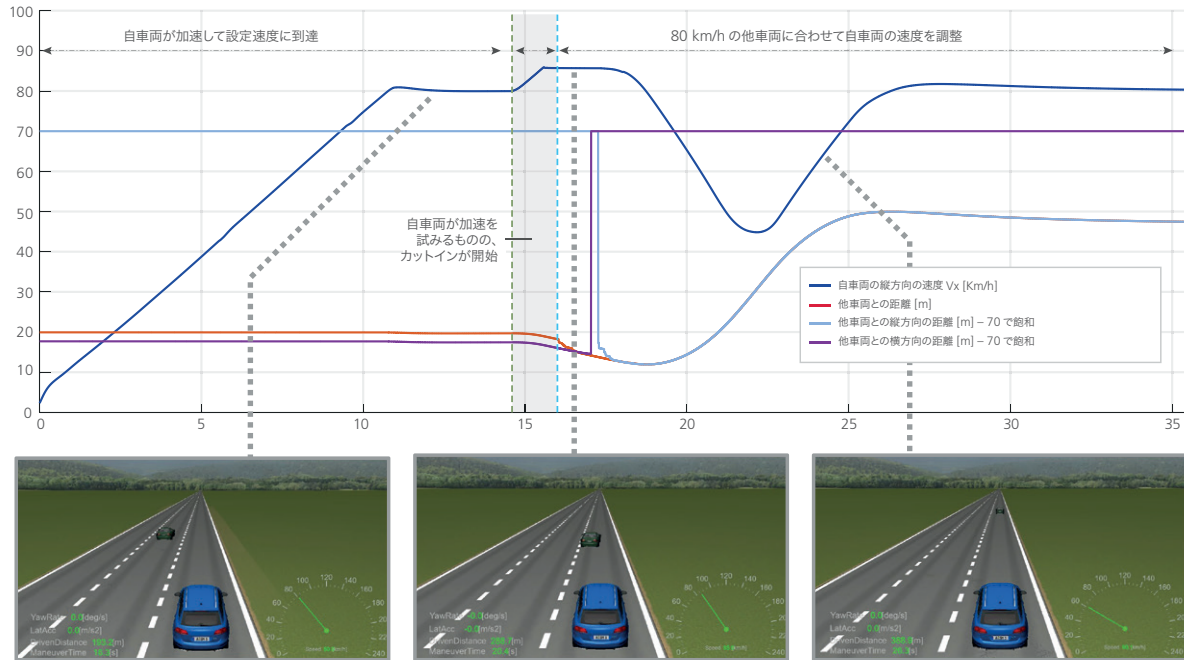
dSPACE カメラボックス

dSPACE のカメラボックスには、カメラの検出特性をテストするため、カメラのイメージャチップを OTA でシミュレートする機能が備えられています。またこの目的のために、シミュレートされたセンサ環境（複数の車両、歩行者、道路沿いの構造物などのトラフィックシナリオ）を表示するモニターも搭載されています。そしてカメラはさらなるデータ処理も行います。余分な光源やグレアを最小限に抑えるために必要な全てのものが、この密閉された箱の中に備わっています。

OTA シミュレーション用のカメラボックス。カメラセンサ（左）をモニター（右）に合わせます。



シナリオ：近距離カットインによる ACC システムのテスト 他車両：80 km/h でカットイン 自車両：80 km/h の設定速度から加速を開始すると、カットインが発生



カットインシナリオでの ACC のパフォーマンスを示したダイアグラム

社のコントローラをテスト対象デバイスとして扱い、センサ信号をテスト対象デバイス向けの入力として扱いました。このような手法により、すべての AD コンポーネントが統合され、車両の実際の挙動を考慮に入れることができるようになりました。また、すべての仮想テストドライブは 3D アニメーションによって、リアルタイムにモニタリングすることができます。

テストの可能性と結果

このテストシステムは HIL シミュレータおよびテストベンチに基づいており、多様なテストの可能性をもたらしています。さらに同一条件下で高速な評価を実行できるシステムでもあります。上記に掲載の評価

とテストが、SERES 社が何を達成したかを明らかにしています。

センサの柔軟な統合

自動運転の分野は急速に進化しています。そのため、変化に適応できる資産に投資をすることが重要です。そこで当社では、多様なセンサタイプとセンサ設定に合わせて柔軟に調整できる dSPACE の無線レーダーとカメラ用のテストベンチを選択しました。OTA のアプローチは妥当性テストを非常に容易にします。この手法は、定義された条件や、特に境界値におけるセンサ（信号処理ソフトウェアを含む制御ユニット全体）の挙動を評価することができます。オブジェクトがセンサにより検出され

るか否かというケースはセンサ信号の処理を行うソフトウェア開発にとって重要なところでもあります。

レーダーテストベンチを使用したセンサのベンチマーク評価

SilkRides では、Tier 1 サプライヤのレーダーセンサを利用しているため、サプライヤの選定の際には、複数のセンサ間の性能に関する正確なベンチマーク評価を重要な検討事項の 1 つとしています。一般に、車両を使用したレーダー性能のテストには広大な敷地が必要とされ、グラウンドトゥールズデバイス搭載のホスト車両とターゲット車両を同時に動作させることが必要です。その点、クローズドループレ

「自動運転用ソフトウェアの開発では、リアリティが重要です。当社は ASM ツールスイートを使用することで、現実に近い環境で仮想テストドライブを実施しています。」

Hala Al-Khalil 氏、SERES 社



インポートしたオークランドベイブリッジエリアのマップデータのビジュアル表示

ダーテストベンチがあれば、テストの多くをラボで実施でき、明確かつ一貫性の高い結果を得ることができます。それに貢献できるのが、全てのレーダーテストベンチに搭載されている dSPACE Automotive Radar Test System (DARTS) です。可動式アンテナによって無線でレーダーエコーを生成するので、センサの特性が極めて正確に特定されます。

将来の用途に合わせて拡張可能

コーナーレーダーは車両の前面、側面、背面に設定できるため、カメラ 1 台、前方レーダー 1 台、コーナーレーダー 2 台の

HIL セットアップは、このシステムの高速道路運転機能の大半をシミュレートするのに十分な装備です。次の段階として、追加のカメラ、レーダー、LiDAR、超音波センサ、および GNSS シミュレータを SCALEXIO プラットフォームに組み込むことも可能です。柔軟な SCALEXIO セットアップにより、ハードウェア、ソフトウェアどちらでもこのような拡張ができます。たとえば、3D 環境を含む LiDAR 伝送チャンネル全体をシミュレートする dSPACE センサシミュレーションツールチェーンから LiDAR モデルをシステムに統合することもできます。

各機能を障害状態に置いた場合のシミュレーション

SAE Level 3 以上の自動運転システムの開発では、動作設計ドメインのすべてにおいて、システムの大部分を障害状態に設定しなければならない場合があります。そのような障害状態を車両で再現するのは困難であり、危険です。一方、HIL テストでは、障害が発生した場合の主要機能とバックアップ機能間の引き継ぎ、およびさまざまな道路状況での安全な停止操作をすべてシミュレーションで再現することができます。

自動化により回帰テストを実現

AutomationDesk などの dSPACE のツールは、起動時に自動的にテストベンチが設定され、手入力のステップがかなり削減されます。さらに当社のテストの多くはユーザの介入なしに自動的に実行されるので、新しいソフトウェアリリースまたはハードウェアの変更ごとに一定数のテストケースを評価することができます。

HD マップによるシナリオ生成： ベイブリッジ

SilkRides では、高速道路運転の車線維持、車線変更、および経路設定の機能にサードパーティ製のマップを使用しています。dSPACE ASM に HD マップをインポートし統合することで、実車によるテストと比較しても遜色のない高精度なシミュレーション環境を実現することができました。ここサンフランシスコベイエリアでは、ベイブリッジでの合流や分岐による複雑なシナリオが数多く存在します。このような

概要

タスク

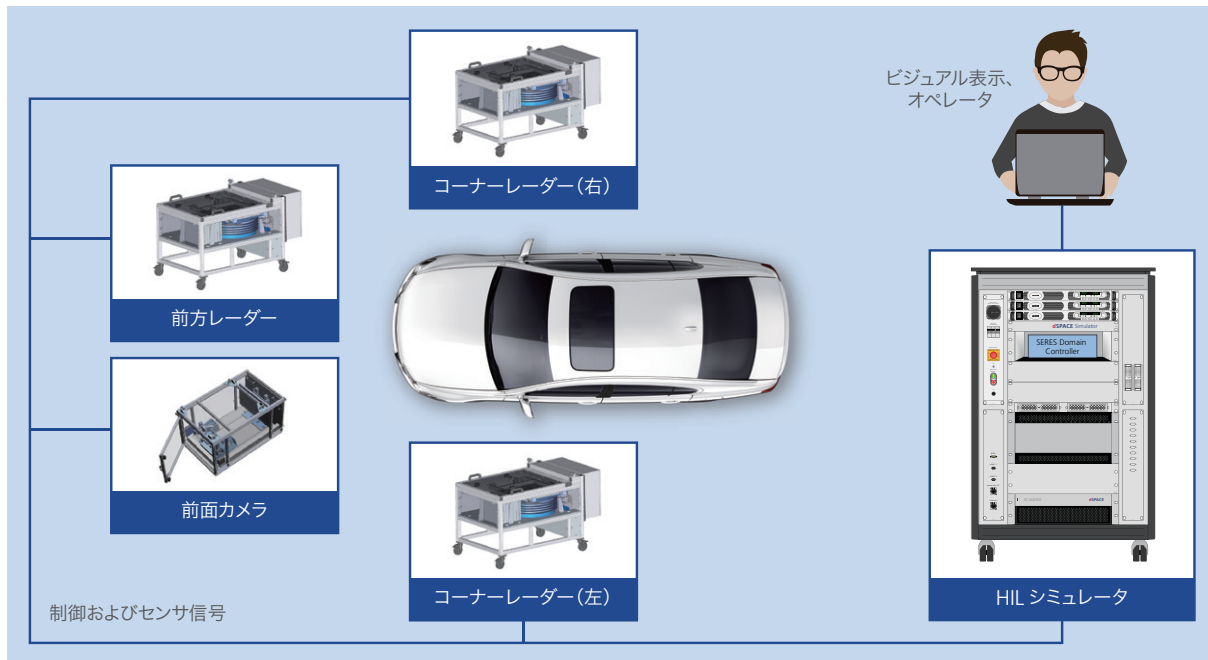
- 自動運転システム（センサセットおよびコントローラ）が平均的な人間のドライバーと同じくらい安全であることを証明

課題

- すべての統合コンポーネントのシステム全体の検討およびテスト
- 最適なセンサの評価および特定
- センサの柔軟な交換のサポート
- 実際のマップデータに基づいた柔軟なシナリオ生成

ソリューション

- 車両および交通のシミュレーションがリアルタイムでできる HIL システムの導入
- 実際のレーダーセンサおよびカメラセンサを専用のテストベンチの制御ループに組み込めるよう設計された HIL システム
- センサのパフォーマンスを車両全体との関係で評価可能
- 扱いやすい仮想環境でのコントローラの信頼性の高い妥当性確認



車両のドメインコントローラ向けのテストシステムは、実際のセンサに信号を送るための3つのレーダーテストベンチと1つのカメラテストベンチで構成されています。そしてセンサ信号はHILシミュレータで処理され、複雑なトラフィックシナリオにおける仮想的な車両の挙動シミュレーションが行われます。これらのシナリオは、センサ環境としてテストベンチにフィードバックされます。

難しいテストケースでも、ASMにベイブリッジのマップをインポートすることにより、HILテストセットアップで再現することができました。

まとめと展望

dSPACEのテストシステムでは、仮想的な車両にセンサやコントローラを統合し、これらを組み合わせてテストを行うという独自の手法を提供しています。この極めて現

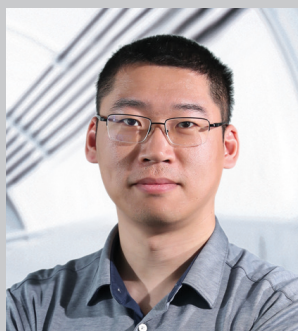
実に即したテスト環境は、開発の早期段階においても、使用するハードウェアやソフトウェアコンポーネントのパフォーマンスに関するさまざまな問題を察知することができます。このため、SERES社の開発チームは革新的な決断を早い段階で下せるようになり、開発プロセスの効率化につながりました。また、テストケースが容易に再利用できることから、トラブルシューティングを確実に検証するための回帰テス

トも実施できます。さらに、柔軟なテストシステムとテストライブラリを拡張することにより、新たな要件に対応することも可能です。堅牢性と信頼性に優れたテストシステムで検証された新型車両が路上に登場する日も近いでしょう。■

Ziqi Zhu氏、Hala Al-Khalil氏、
Samuel Rayseldi氏、SERES社

Ziqi Zhu 氏

インテリジェントドライビングチームのシステムリード、SERES社（米国、カリフォルニア州サンタクララ）



Hala Al-Khalil 氏

インテリジェントドライビングチームのシミュレーションエンジニア、SERES社（米国、カリフォルニア州サンタクララ）



Samuel Rayseldi 氏

インテリジェントドライビングチームのシステムエンジニア、SERES社（米国、カリフォルニア州サンタクララ）

