

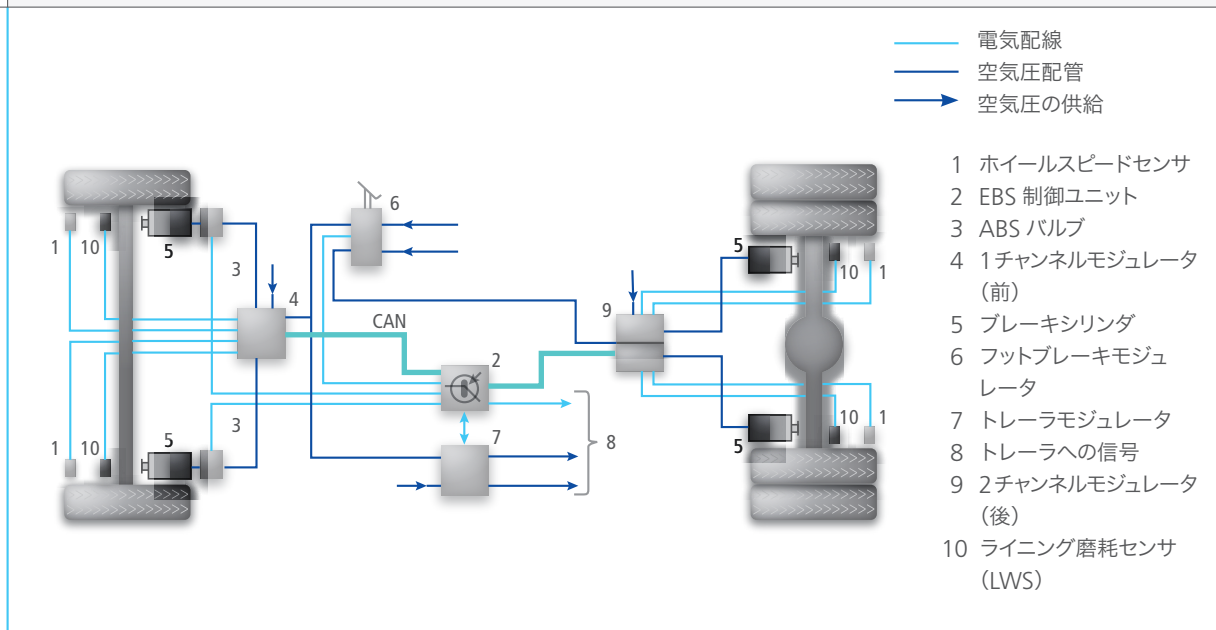
Big on Safety

革新的な製品開発：HILシミュレーションを使用したブレーキシステムコントローラのテストと検証（Volvo 3P社）





現代の大型トラックは、昔のトラックの積載量とは比較にならないほどの大きな荷重でも安全に運搬することができます。あらゆる路面、荷重、交通条件で100%の信頼性と安全な走行を維持することは、ブレーキにとっての大きな課題です。Volvo 3P社は、HILシミュレーションを使用して、ブレーキシステム開発時のコントローラのテストと検証を行っています。



2軸トラックのEBSの概要

パイエアとパイワイヤによるブレーキ

乗用車では、ブレーキ圧およびブレーキ力は、ブレーキペダルを踏み込む力によって決まります。ブレーキ圧は、エンジンのインテークマニホールドの負圧を利用して増大され、油圧システムを通じてブレーキに伝えられます。積載量の大きな大型のトラックやバスでは、インテークマニホールドの負圧だけでは力が足りず、また、油圧システムはトレーラの連結・解放に適していません。そのため、このような車両のブレーキシステムには空気圧が使用されています。

ブレーキパッドをブレーキディスクに押し付ける力は、ブレーキペダルの操作によって調節される空気圧によって生成されます。これは、パイワイヤ (by-wire) テクノロジを全面的に採用した電気空気式ブレーキです。空気圧システム用の圧縮空気はタンクに蓄えられ、電子制御モジュレータによってブレーキに送られます。ブレーキの過熱、フェーディング、過度の磨耗を防止するために、トラックには、リターダやエンジンブレーキなどの補助ブレーキも使用されています。ブレーキシステムは、速度を制御し、車両の安定性を維持し、車両を停止させるために、補助ブレーキと主ブレーキの、異なるブレーキシステム機能を統合して制御する必要があります。

すべてのブレーキアクチュエータシステムとさまざまな機能を、効率的に安全に連携させる必要があります。これが電子制御装置である電子ブレーキシステム (EBS) の役割です。

「自動車は人間が乗るものですから、Volvo 社で製造するすべての製品に共通する基本理念は、どんな場合でも安全でなければなりません」

Assar Gabrielsson 氏および Gustaf Larson 氏、ともに Volvo 社の創立者、1927 年

トラックのブレーキシステムの特徴

トラックに EBS および ESP 機能が装備されている場合、ホイール回転速度、ヨーレート、横加速度、ステアリングアングルなど、トラックの動的な挙動に関する情報が多数のセンサから収集されます。また、このブレーキシステムは、荷重の偏り、リフトアクスル、連結されたトレーラへの対応などのトラックに固有の要件や、ブレーキパッドの磨耗などの保守サービス要件にも適応できなければなりません。そのため、最適のブレーキングストラテジを決定するには、軸荷重やブレーキライニングの磨耗などのセンサ信号を考慮する必要があります。トラックに補助ブレーキが備えられている場合は、安全で快適なブレーキの統合を達成するために、補助ブレーキシステムの特性を EBS に送信する必要があります。

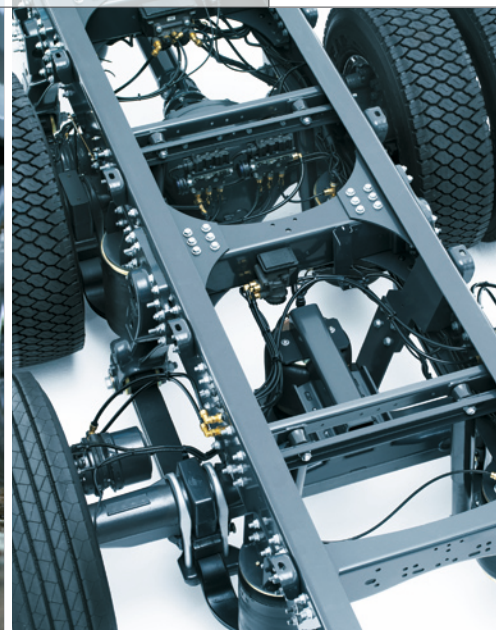
トレーラのブレーキ

トレーラのブレーキシステムは、トラックから分離されています。従来からの空気圧制御システムまたは電子空気圧制御システムのどちらかが使用されています。空気圧制御と電子制御の組み合わせなど、トラックとトレーラのブレーキシステムが異

なる場合もあります。トレーラにはトレーラ用のエネルギー貯蔵装置 (空気圧タンク) があり、トラックから空気圧が供給されます。トレーラのブレーキシステムへのブレーキ制御信号はトラックから伝えられ、純粋に空気圧式であることも、電気と空気圧の両方が使用されることもあります。トレーラのブレーキシステムは、そのトレーラの質量を制動できる必要があります。EBS には連結力制御 (CFC) 機能が備えられ、トラックとトレーラ間のブレーキ力のバランスを支援しています。

EBS とモジュレータ

アンチロックブレーキシステム (ABS) や車両安定化プログラム (ESP) など、すべてのブレーキ機能が EBS に統合されています。EBS は、ブレーキの空気圧を制御するモジュレータ (最大数 4) との通信を行っています。EBS ECU の各モジュレータインターフェースを、1 チャンネルまたは 2 チャンネルのどちらかのモジュレータに接続することができます。これにより EBS システムがモジュール化され、さまざまな仕様のトラックに対応することができます。各モジュレータは、1 チャンネルであるか 2 チャンネルであるかに基づいて、



電子制御ブレーキシステムの機能

1 回路または 2 回路のブレーキ圧を制御します。モジュレータには各回路用のセンサが備えられていて、この制御はフィードバック制御モードで実行されます。通常動作では、モジュレータは CAN バスを通じて EBS ECU からブレーキ圧リクエストを受信していますが、電子機器に不具合が発生した場合は、フットブレーキモジュレータからの空気圧制御信号によって、モジュレータのブレーキ圧の制御が行われます。

トラックのピークルダイナミクス

積荷を満載した大型トラックの重量は、空荷状態の重量の 3 倍近くにもなります。そのため、トラックのピークルダイナミクスは、その積荷によって大きな影響を受けます。ボディを換装することで、同じトラックがさまざまな種類の輸送に使用されるため、シャシーシステムは、これに適応できなければなりません。積載状態による車両重量の差が非常に大きくなるため、タイヤの磨耗と燃料消費を削減するための、昇降式リアアクスルを備えたトラックもあります。積載する荷重が軽量であったり空荷の場合に、駆動軸のトラクションを最適化する機能を備えたものもあります。操縦性の向上やタイヤの磨耗を減らすために、リアアクスルの 1 軸または 2 軸の操舵が可能なトラックもあります。操舵が可能な軸のステアリングアングルは、ステアリングホイールアングルと車速に基づいて、ECU と油圧式アクチュエータシステムによって制御されます。操舵軸が最後尾の軸である場合は、低速時でないとき

基本的なブレーキ圧の計算：ブレーキペダルの位置とトラックの荷重に基づいて、ブレーキ圧を計算します。

粘着力最適化ブレーキ力配分：軸荷重の分布と走行条件に基づいて、それぞれのブレーキ回路にブレーキ圧を配分します。

ブレーキ混合：主ブレーキの負担を軽減するために、主ブレーキと補助ブレーキに減速リクエストを自動的に配分します。

ブレーキアシスタンス：ブレーキペダルの踏み込み速度が高い場合、自動的にブレーキ圧を増大させます（緊急ブレーキアシスタンス）

連結力制御：ブレーキの磨耗を平均化するために、トラックとトレーラ間の前後方向の力の釣り合いを取ります。

前傾防止：車両の前傾を防止します（トラック単独での降坂制動時に重要です）。

磨耗最適化ブレーキ力配分：それぞれの軸のブレーキパッドの磨耗を平均化します。

アンチロックブレーキ：ホイールがロックするのを防止する安全機能（ABS）

ドラグトルク制御：エンジンのドラグトルクによって駆動輪がロックし始めたときに、エンジンのドラグトルクを制御します。

外部トルク要求：アダプティブクルーズコントロールなど、他の ECU が制動をリクエストするために使用するインターフェース

フェーディング警告：ブレーキの温度に関する警告

ライニング磨耗予測および磨耗表示：次回のブレーキパッド交換までの走行距離を予測し、現在のパッドの磨耗状況を表示します。

トラクション制御：トラクションを維持するため、エンジントルクによる駆動輪のスリップを制御します。

ESP：トラックの横滑りを防ぐヨー制御機能と横転防止機能が含まれています。

差動装置ロック制御：デフロック使用時に左右の駆動輪を自動的に同期させます。自動デフロック機能が含まれています。



両の安定性が損なわれるため、低速時にのみリアアクスルステアリング (RAS) ECUによる制御が行われます。過酷な道路状況で運転者がトラックを正しく走行させるのを支援するブレーキシステムの各機能にとって、さまざまなトラックの仕様、さまざまな荷重、さまざまな走行モードを安全に処理することが大きな課題です。ブレーキシステムのそれぞれの機能は、ブレーキ時や旋回時の荷重の分布に影響を与える、アクスル間の荷重分布の偏りや重心の移動に適応できなければなりません。急ブレーキ時には、全軸の路面との摩擦力が同じレベルになるように、各軸がその軸荷重に応じて同じ割合で制動される必要があります。

テストシステムの課題

今後のトラック用ブレーキシステムのテストと検証を行うためと、その機能の安全性を確保するために、Volvo 3P 社は、テストを手動および自動で実行できる、HIL (Hardware-in-the-Loop) テストシステムを導入することにしました。このテスト

システムは、次の課題を解決する必要がありました。

- Volvo 3P 社の多数のトラック用ブレーキシステム構成の短時間での簡単な設定
- 複雑な空気圧システムの仮想化
- さまざまな ECU 世代のテスト
- EBS のモジュレータ電子機器の統合
- 補助ブレーキモデルの統合
- リアアクスルステアリングシステムの油圧モデルの統合

この HIL シミュレータモデルは、リアルタイム環境でパラメータを変更することにより、トラックのさまざまなバリエーション (仕様違い) を表現する必要がありました。コンパイルされた HIL シミュレータモデルのパラメータ設定に、Volvo 3P 社が開発した上記のサブモデルと、EBS ECU または I/O の端子に接続されている 1 チャンネルまたは 2 チャンネルのどちらかのモジュレータの切り替えに使用される、すべてのパラメータが含まれている必要がありました。これは、トラックの目的の仕様

をテストするために 2 チャンネルモジュレータを接続する必要がある場合、特定のモジュレータポジションで 1 チャンネルモジュレータ用として使用している I/O を再使用する必要があったためです。

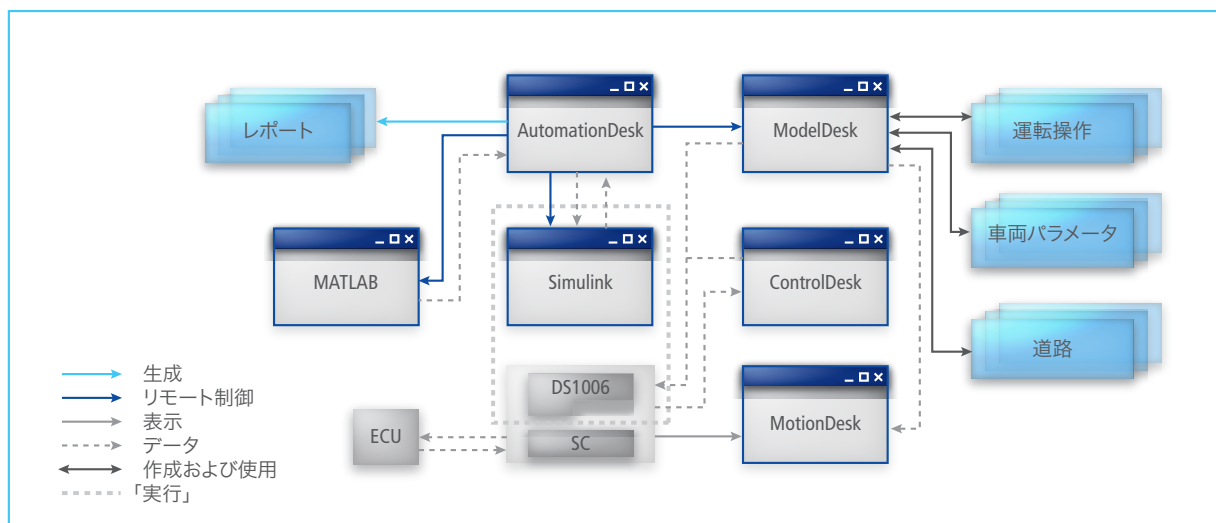
生産性に関する高度な要求

対話型シミュレーションをサポートし、テストケースを簡単に作成し、すべてのバリエーション (仕様違い) を効率的に処理するために、簡単に使用できるグラフィカルなツールも重要な要件でした。開発および保守のためのエンジニアリングリソースを必要としない、簡単なボタン操作で実行できるようなシステムの構築が目標でした。さまざまなサプライヤのさまざまなツールを統合して HIL シミュレータ全体を構築するのではなく、すべての要件を満たすことのできる HIL シミュレータツールチェーン一式を 1 社で提供できるサプライヤを見つけることも重要でした。

HIL システムの基本構成

dSPACE は、センサおよびアクチュエータ

dSPACE HIL シミュレータツールチェーン-テストケースと車両パラメータの定義から、自動化されたバッチシミュレーションおよびテストレポートまで



「この電子制御ブレーキシステムシミュレータによるトラックのビークルダイナミクスシミュレーションには、自動車用シミュレーションモデル (ASM) を使用しています」

Per Olsson 氏、Volvo 3P 社

の特性に関する Volvo 3P 社の仕様および資料に基づいて、HIL シミュレータを構成しました。このシステムは、リアルタイム処理用の 2 つの DS1006 Processor Board で構成され、トラックおよびトレーラのモデルと I/O モデル用にプロセッサボードが 1 つずつ使用されています。トラックの挙動とコンポーネントのシミュレーションには、dSPACE が MATLAB®/ Simulink® を使用して作成した自動車用シミュレーションモデル (ASM) が使用されています。トラックパラメータ、道路、運転操作を使用して、モデルの構成とパラメータ設定が行われています。テストケースは、dSPACE AutomationDesk® を使用して定義され、実行されます。自動化されたテストを実行するたびにレポートが生成されます。

Volvo 3P 社のプラントモデルの統合

EBS および RAS のテストを行うために、制御されるそれぞれのシステムをシミュレートする必要があります。そのために、Volvo 3P 社で開発された、ホイールブレーキ、空気圧システム、ステアリングシステムアクチュエータのプラントモデルを ASM トラックモデルに統合する必要があります。また、HIL シミュレータモデル全体を、トラックの仕様に基づいて、必要な軸に対してモジュレータブレーキ圧を与えることができ、ホイール回転速度を正しくモジュレータに送信するように切り替えることのできるサブシステムによって補完する必要もあります。ASM のオープンな構造のおかげで緊密な統合が達成できました。

トラック専用のシミュレータ機能

すべてのモジュレータは実負荷として実装されました。スペースを節約するために、モジュレータのプリント基板 (PCB) とソレノイドのみが負荷ボックスに組み込まれました。異なる EBS 世代に対応するために、この HIL シミュレータには 2 つの負荷ボックスが取り付けられています。I/O モデル

はどちらの EBS 世代でも使用できるように汎用的に作成され、負荷ボックスと EBS ECU を変更し、ModelDesk で定義した新しいパラメータセットをダウンロードするだけで、HIL シミュレータの EBS 世代の設定を切り替えることができます。この処理に要する時間は 5 分未満です。

トラックの仕様に基づいて、さまざまなモジュレータ構成を (1 チャンネルもしくは 2 チャンネル、またはモジュレータなしのいずれか)、EBS ECU の 4 つのモジュレータポジションと dSPACE シミュレータの I/O に接続する必要があります。この操作は、Volvo 3P 社がこれらのアプリケーション用に指定した専用ボードを使用することで解決しました。このボードは同社の他のテストシステムにも使用されています。このボードには、負荷の切り替え、短絡欠陥挿入、シグナルコンディショニング、1 ビット ADC が実装され、EBS ソレノイド操作の個別の差差測定値の取得に使用されました。ボードの設定は、RS232 プロトコルによって制御されます。Volvo 3P 社は、DS1006 ボード上で実行されるド

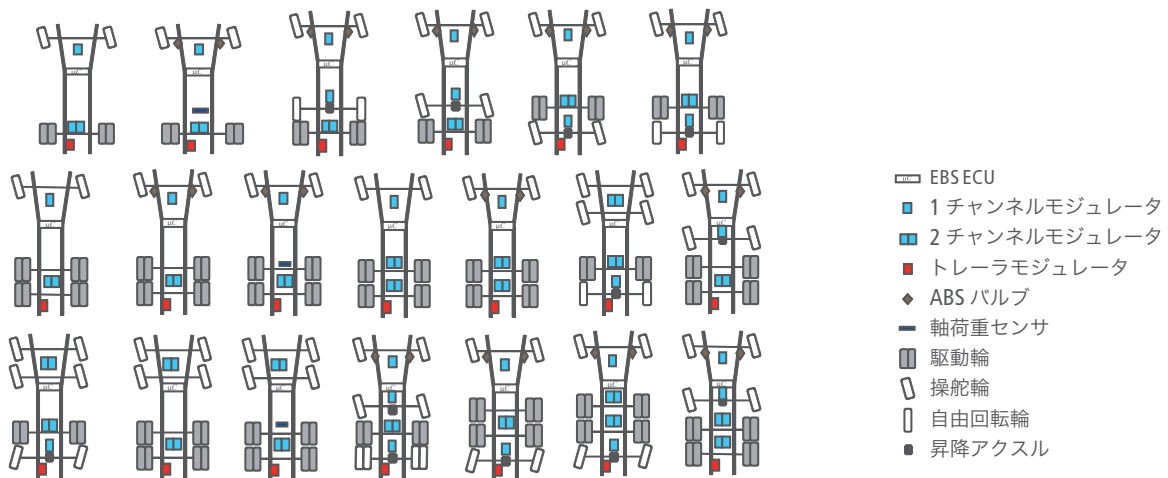
ライバーモデルを、RS232 プロトコルに基づいて作成しました。さまざまなトラックの仕様に対するパラメータ設定を使用して、このドライバーモデルは必要なモジュレータ構成を選択します。

仕様違いの管理

ユーザ固有のモデルを ASM モデルに追加できるため、標準 ASM と Volvo 3P 社によって追加されたサブモデル用のすべてのパラメータを ModelDesk から制御することができます。また、ModelDesk を使用して、さまざまなトラックの仕様と EBS 世代に対応した HIL シミュレータ構成用のパラメータセット全体を定義できます。ModelDesk のグラフィカルなパラメータ設定により、プロセス全体を直感的かつ容易に設定することができます。簡単なマウス操作で、トラックのジオメトリ (全長、軸数、タイヤモデルなど) を変更することができます。すべての仕様のパラメータで構成されたライブラリ全体を、このようにして作成および管理できます。

シミュレーション中のトラックのリアルタイムアニメーション





ブレーキシステムコントローラの開発のためにシミュレートする必要のあるトラックのさまざまな仕様

シミュレーションの範囲

このHILシミュレータは下記のシミュレーションを行います。

- サスペンション、ホイール、タイヤ、ローラー、ピッチ、ヨーなどのトラックおよびトレーラのダイナミクス
- ブレーキシステムの空気圧コンポーネントのダイナミクス
- 道路およびドライバーの特性
- EBS ECUとトラックの他の電気システムとの動的通信
- リアアクスルステアリングシステムの油圧機器
- 手動テストおよび自動テストの実行
- 欠陥挿入テスト

Per Olsson 氏

同氏は、スウェーデンのイエーテボリにあるVolvo 3P社の、HILシミュレーション担当技術スペシャリストです。



「このHILシミュレータが存在しなかったら、必要なEBSのテストおよび検証を、これほど短時間で行うことはできなかつたでしょう」

Per Olsson 氏、Volvo 3P 社

HILシミュレータとともに、AutomationDeskを使用してプログラミングされた下記の自動テスト一式が供給されました。

- ABS、高 μ および低 μ の直進制動
- ABS、スプリット μ 制動
- 正弦波ドエル
- 閉曲線

これらの自動化されたテストは包括的であり、テスト対象のトラックの仕様に自動的に適応します。Volvo 3P社はAutomationDeskを使用して、最終的には、すべての仕様のトラックに対してすべてのEBS機能をカバーするテストケースのプログラミングを行う予定です。Volvo 3P社は、このHILシミュレータを使用して、EBSソフトウェア用の自動化されたテストプロセスと、すべての仕様のトラックに対してカバーするパラメタリリースの開発を進めています。

手動テスト

最初は、手作業によるテストを使用して、自動化テストを作成するための適切な運転操作とテスト条件を定義します。また、手動テストは、追跡テストなどの特別なテストや実際のテスト用トラックから報告された問題の解決にも使用されます。この

HILシミュレータの優れた構成可能性により、アクセスが困難である特定の仕様のトラックに対するEBSパラメタの効果に関する手動テストを、短時間で容易に実行することができます。手動テストの実行時に、結果を3Dアニメーションで簡単に観察することができます。

テストオートメーション

自動化されたテストの実行はAutomationDeskで定義され、EBSソフトウェアとパラメタリリースの全体を検証するための再現可能な帰帰テストの実行にも最適です。すべてのテストケースには変数が用意され、速度と荷重の状態およびタイヤまたは路面の摩擦を変更して、さまざまなテストを実行することができます。AutomationDeskでのバッチシミュレーション中に、運転操作速度や積荷の重量などのパラメタを変更することができます。このようなパラメタとトラックの挙動の関係を表および図に表すことができます。シミュレーション全体の実行結果が、グローバルな結果リストに自動的に収集されます。ModelDeskのツール自動化インターフェースを使用して、自動化されたテストの実行中にトラックの個別の仕様を選択できるため、複数の仕様のトラックを一晩でテストすることができます。

新しいバリエーション（仕様違い）のたびにプラントモデルを再コンパイルする必要がないため、このプロセスは非常に効率的です。

機能安全の確保

EBS は安全性が非常に重要なため、センサの故障や機能不全が発生したときでも、必要な機能性が確保され、どのような動作モードでも安全にその機能が実行されなければなりません。エンジニアは、この HIL シミュレータを使用して、EBS センサ、アクチュエータ、関連のある CAN 信号のすべてを総合的に制御することができ、実車でのトラックのテストに比べて簡単かつ安全に HIL シミュレータでこの種のテストを実行することができます。

最初の結果

この HIL シミュレータの導入以降、数種の EBS ソフトウェアとパラメータリリースをサポートする多数のテストが実施されてきました。この HIL シミュレータのおかげで、ソフトウェアおよびパラメータに対する修正を、テスト用トラックに実装する前に行うことができました。費用のかかるプロトタイプトラックによる検証を避けることにより、これだけで多くの時間と経費が節約できました。

dSPACE 製品の評価

この HIL シミュレータは Volvo 3P 社の仕様を満たし安定して動作し、EBS の機能の検証に不可欠のツールになっています。このようなテストシステムで所望の結果を得るには、さまざまなことが完璧に連携して動作する必要があります。この HIL シ

ミュレータの場合は、エンジニアがシステムの複雑な設定にかかりきりになって時間を無駄に費やす必要はありません。この HIL シミュレータが存在しなかったら、必要な EBS のテストおよび検証を、これほど短時間で行うことはできなかったでしょう。非常に多くのバリエーション（仕様違い）を自動化された手段で高い信頼性を維持してテストできるため、非常に多くの時間を節約することができます。この HIL シミュレータツールチェーンは、手作業によるテスト、自動化されたテスト、アニメーション、オンラインによるモデル（ユーザが追加したサブモデルを含む）のパラメータ設定がサポートされた、非常に使い勝手の良いプラットフォームです。■

Per Olsson
Volvo 3P

今後の展望

次のステップは、Volvo 3P 社の要件とテスト仕様に基づいて、すべての EBS 機能のテストを自動化することです。その次のステップでは、トラックのすべてのバリエーション（仕様違い）のパラメータをシミュレーションに取り入れて検証することになります。AutomationDesk でのテストケースを拡張してテストの深度を深め、トラックのすべての仕様に対応した EBS パラメータとソフトウェアの完全に自動化されたリリースプロセスを達成することが目標となるでしょう。国連欧州経済委員会 (UNECE) レギュレーション 13-H に準拠した、シミュレーションによる認証に必要な調査も計画されています。

