

# Brake-by-Wire Gathers Momentu

Brake-by-Wireの革新

HIL テストシステムを使用した Brake-by-Wire の開発( IABG 社 / Continental 社 )





次世代のブレーキは Brake-by-Wire システムになると言われています。ブレーキディスクにパッドを押し付けるための油圧シリンダが、電気モーター(写真前部)に置き換わります。

m



現在、Continental 社では、12V 電源を使用する新しい Brake-by-Wire システムを開発しています。Continental 社における、この革新的な Brake-by-Wire システムの最適化とコンセプトの妥当性の検証を支援するため、IABG 社では、リアルタイム車両モデルへのインターフェースを備えた、dSPACE 技術をベースとするテストシステムを開発しました。



dSPACE の HIL (Hardware-in-the-Loop) テストシステムは、開発プロセスにおける効率的な開発 / テストツールとして非常に役立っています。その主な目的は、システムネットワークの動作確認、機能の検証、フェイルセーフシステムの試験、およびブレーキングシステムのエネルギー管理機能の調査です。HIL テストは、実車テストに比べて、再現性、効率性、費用対効果など、さまざまな点で優れており、これらの特性が十分に活かされています。

#### Brake-by-Wire システム全体の開発

この新しい電動ブレーキシステムは、単純かつ効果的な方式を採用しています。従来の摩擦式ブレーキをベースとしていますが、油圧回路をまったく使用せず、すべて電動のアクチュエータにて制御しています。ホイールにはそれぞれ専用の制御ユニットが備わっています。車のドライバーがブレーキペダルを踏むと、電子信号が各ホイールのブレーキに送られます。高性能なセンサとソフトウェアにより、さまざまな道路条件に合わせて、ホイールに対する制動力が最適に調整されます。制動中にブレーキパッドとブレーキディスクの間に生じる摩擦により、パッドにトルクが発生します。このトルクをフィードバックして、パッドをブレーキディスクに強く押し付けるクランピング力の生成に使用します。このように、ブレーキキャリバのクランピングエネルギーのほとんどは、車両の運動エネルギーから得られるため、外部からエネルギーを供給する必要はほとんどありません。技術的に重要な点は、このブレーキング方式が、他のシステムと比べて消費するエネルギーが少ないことです。現在広く使用されている 12V の車両電源を用いて、これまでにない、非常に高いクランピングエ

ネルギーと優れた制御ダイナミクスを実現できました。このシステムには、パーキングブレーキ機能も統合されています。

#### HIL テストシステム : Brake-by-Wire システムに不可欠な開発プロセス

HIL テストシステムは、開発プロセスにおいて、ネットワーク化されたシステムの機能と通信を検証し、詳細な調査を行うことを目的に構築されました。

このシステムは、システムネットワークの動作確認およびシステム機能のテストの際に、システムテストベンチとしての役割を果たします。その他の用途としては、ブレーキングシステムのバックアップレベルでの基本的な機能とエネルギー管理の調査と最適化、およびブレーキングシステムとシミュレートされる車両電源間の相互作用のテストなどがあります。

完全な HIL テストシステムを構築するために、dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) に基づき、アプリケーション固有の調整と拡張がなされたシミュレーション環境が追加されました。これにより、仮想車両におけるピークルダイナミクスの動作がリアルタイムでシミュレート

されます。動的レストパスシミュレーションとテストシステムアクチュエータの制御には、このブレーキングシステムに対して計算された物理的な車両変数と平均的な変数が使用されます。

このアプリケーションでの焦点は、システムの動作確認、システムコンポーネント間の通信テスト、および個々のコンポーネントの障害発生時における誤動作などです。ピークルダイナミクスシミュレーションを統合することで、個々のピークルダイナミクスの状況を含む、さまざまな運転操作を体系的にテストすることが可能になります。これらの結果は、運転時車両挙動の欠陥の影響を考慮に入れながら、システムネットワークとその機能の特性を検証するために使用されます。

#### システムの構成とアーキテクチャ

生成されるクランピング力は、ブレーキディスクを介して伝達されるトルク(負荷)に応じて変わります。したがって、アクチュエータについては、費用対効果の制約下でテストベンチに適した負荷を実装することが課題となります。つまり、フライホイール質量テストベンチのように実際の回転質量を介して動作するアクチュエータの使用は避ける必要があります。その代替手段として、負荷をエミュレートするデバイスを使用します。

テストベンチでは、モーターが、シミュレートされるブレーキングアクチュエータへのインターフェースとなります。車両の実負荷を動的にシミュレートするため、モーターには、サーボにより制御され、高い動的な特性をもった負荷装置が取り付けられています。また、さまざまなテスト構成で複数のプロトタイプを柔軟に組み立てるこ

#### HIL テストベンチの設定



とができるように電気および機械式のコンポーネントが設計されています。

実際のペダルユニットおよびパーキングブレーキ機能を含む、Brake-by-Wire システムの完全な通信ネットワークが、テストシステム内にハードウェアとして実装されます。ブレーキシステムの中央 ECU との CAN 通信に加えて、柔軟な FlexRay 通信アーキテクチャも設定されました。これにより、Brake-by-Wire システムの 4 つのホイールユニットすべてを、必要に応じてシミュレートできるようになります。ホイールユニットのモデルと実機間の切り替えは、完全にソフトウェアにより行われます。

FlexRay バスへの接続には、dSPACE の FlexRay Configuration Tool が、FIBEX (Field Bus Exchange Format) ファイル内のネットワーク記述とともに使用されます。

車両モデルの計算は、dSPACE Gigalink (高速光接続) を介してリアルタイムでテストベンチ自動化システムに接続された別の DS1005 上で行われます。自動化プラットフォームとモデルプラットフォーム上の処理は、1 ms 間隔でやりとりされます。ソフトウェア側では、HIL プラットフォームが、dSPACE Automotive Simulation Models (ASM) に基づき、統合されたピークルダイナミクスの挙動を実現します。こ

デルは、Simulink ブロックレベルまでオープンであるため、ASM ピークルダイナミクスシミュレーションパッケージのモデルコンポーネントに対して最適な変更を行うのに大して時間はかかりませんでした。自動化ソフトウェアは、MATLAB®/Simulink®/Stateflow® 開発環境および dSPACE の ControlDesk 試験用ソフトウェアをベースに構築されています。AT リアルタイムシステム上で実行する必要がある機能の一部を、以下に示します。

- テストシステム制御と実装された単一テストのためのイベントベースシーケンス制御
- FlexRay と CAN プロトコルを介した ECU との通信
- Gigalink インターフェースを介した HIL リアルタイムボードとの通信

「dSPACE のシームレスな統合開発環境のおかげで、プロジェクトを効率的に進めることができます。dSPACE 技術チームから受けたサポートは申し分ありませんでした」

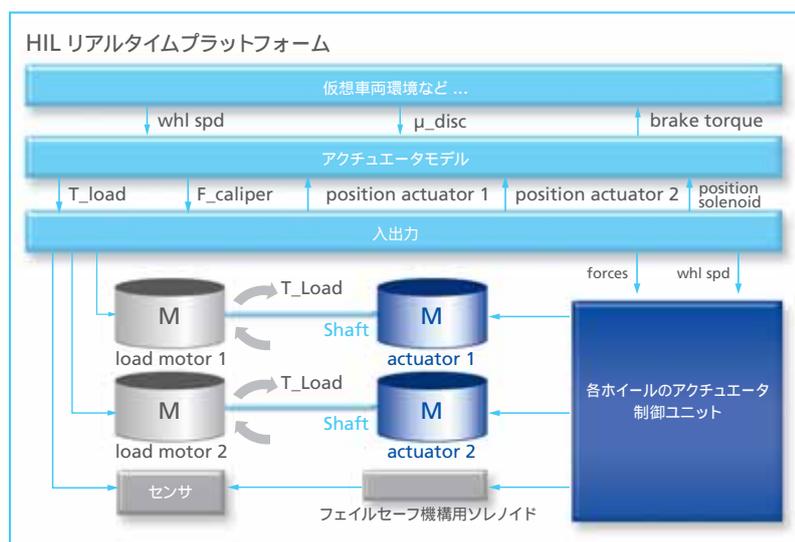
Franz Hangl, IABG

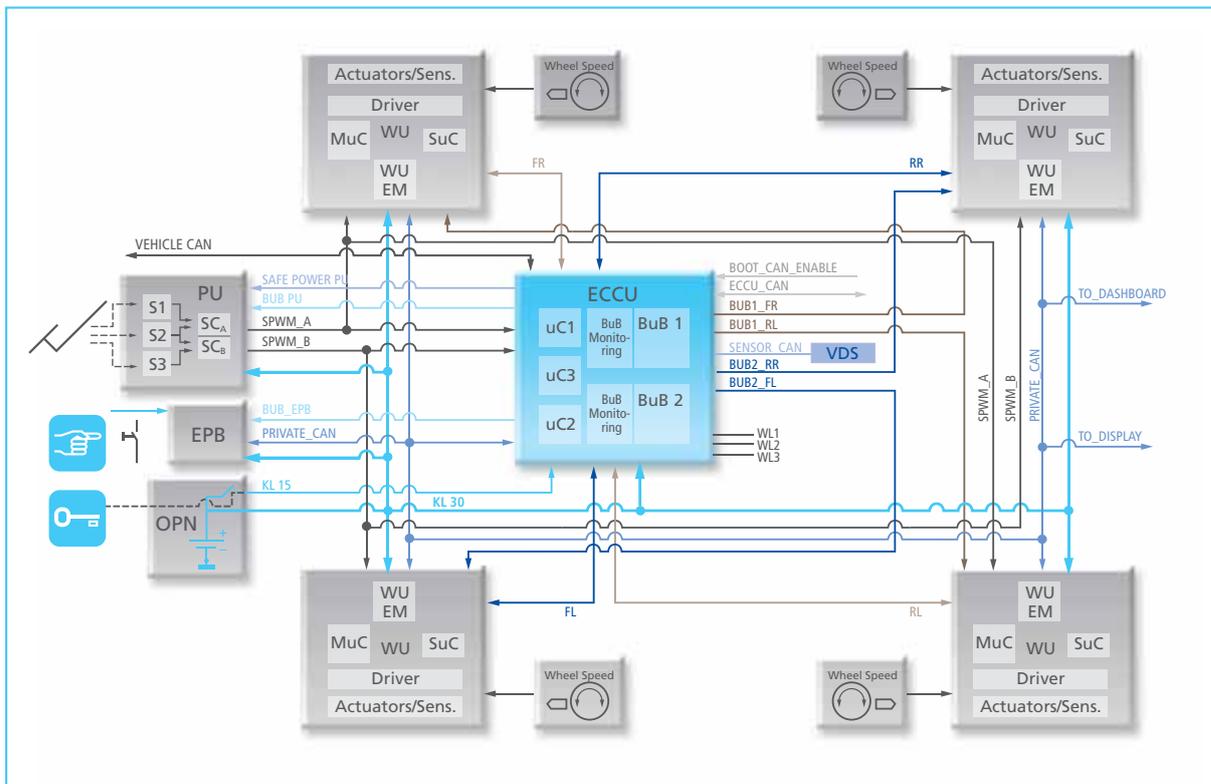
システムネットワークの機械的変数、電気的変数、および通信変数は、さまざまな測定ポイントで取得され、後で評価するために自動化システムに保管されます。

テストベンチ自動化システム (AT) で中核となるのは、DS1005 PPC Board です。これに複数の dSPACE I/O ボードを接続し、さらにネットワーク化します。したがって、このテストベンチには、ECU との通信のために、CAN 通信に加え、2 つの独立した複雑な FlexRay ネットワークが構築されています。このテストシステムの

のシミュレーション環境の主要コンポーネントは、車両、ドライバー、環境のモデル、それらに関連するモデル制御、モデルパラメータ設定機能です。特に注目に値するのは、実コンポーネントではないシステムコンポーネントについても、統合シミュレーションが行われることです。ASM モ

アクチュエータにおける負荷の模式図





12V 車両電源で動作する Brake-by-Wire システムのアーキテクチャと通信構造

基本的なテスト自動化機能に加えて、ユーザは次のような機能も使用できます。

- テストシステムの操作と設定を行うグラフィカルユーザインターフェースの実装
- イベントにより制御可能なレイアウトとエクスペリメント
- テストシーケンスを設定し生成する AutomationDesk と連携した IABG ソフトウェアモジュールによるテスト自動化とテスト管理
- テスト結果の自動評価とレポートの自動生成
- 診断インターフェースを介した ECU の動作状態、変数およびパラメータへのアクセス
- 測定データをグラフィカルに表示する評価ソフトウェア

#### テスト自動化と欠陥シミュレーション

テスト自動化のタスクは、単一テストを個別に定義して、それらを協調させながらシーケンシャルに実行し、異常が発生した場合にテストの実行を中止することです。テストごとに、テスト結果レポートとテスト実行時ドキュメントが自動的に生成されます。ユーザは、テストレポートの形式と内容を設定できます。

AutomationDesk を使用したテスト自動化システムは、HIL テストシステム上で開発しました。AutomationDesk を使用すると、ユーザは、テストベンチ自動化システムにより実行されるテストシーケンスを自由に定義することができます。つまり、ユーザはテストの定義および実装に関して最大限の柔軟性が得られます。

設定されたテストデータベースには、現在、複雑さがまちまちの約 800 個の単一テストが格納されており、今後もさらに追加されます。

自動化環境では、開発とテストの過程で使用するテスト設定管理ツールに直接接続することで、要件、テスト仕様、およびテスト結果にアクセスできます。

テスト自動化システムの目的の 1 つは、障害発生シナリオを挿入して、システムの動作を分析することです。テストベンチでは、次のような障害を発生させることができます。

- ケーブルハーネスの障害
- 信号障害
- CAN および FlexRay の通信障害

## 「IABG 社が、dSPACE の各種コンポーネントを基に設定したテストシステムのおかげで、革新的な Brake-by-Wire システムを量産レベルまで確実に開発できるようになりました」

Stephan Lehl, Continental AG

ケーブルハーネスの障害は、最大電流が 50 A の欠陥シミュレーションユニットにより実行されます。自動化システムはこのユニットを、CAN インターフェースを介して、リアルタイムで制御します。信号障害( 感度異常、オフセットドリフト)および通信異常( メッセージの割込み、チェックサム)は、リアルタイムシステムにより物理的な信号に切り替えられます。

### テスト機能の拡張

前述のテストシステムは、Continental 社の開発とテストのプロセスに完全に統合されています。個々のテストシーケンスをグラフィカルにプログラミングすることも可能であり、システムネットワークと単一コンポーネントに対する広範なテストがサポートされます。

テスト設定管理ツールへの接続により、システム全体の要件シートから、信号ソフト

ウェア機能の単一テストに至るまでシームレスに統合されたプロセスが実現されます。テストケースの開発、改善のために絶えず努力することで、HIL テストシステムにおいて、システムネットワーク全体を早い段階で検証できるようになります。■

Franz Hangl, Automotive Test Systems, IABG Ottobrunn, ドイツ  
Stephan Lehl, Electronic Brake Systems, Chassis & Safety, Continental AG, Regensburg, ドイツ

## まとめ

- IABG 社では、複雑なテストシステムソリューションとして dSPACE の技術を活用
- Brake-by-Wire にフォーカスした車両制御ネットワークシステムの最適化と検証
- テスト管理ツールへの接続を含む、ControlDesk と AutomationDesk により実装された包括的なテスト自動化ソリューション



テストシステムを制御するための ControlDesk のレイアウト