



Intelligent Stopping

厳しい要求にも対応可能な SKF 社の農業用重機向け
電子制御パーキングブレーキシステム

SKF 社の電子制御パーキングブレーキシステムは、トラクタのパーキングブレーキや非常ブレーキ向けの利便性の高いソリューションです。このパーキングブレーキシステムのインテリジェントな機能は、土地の種類に関係なくあらゆる状況で運転者をサポートします。SKF 社はソフトウェア開発の重要なフェーズで dSPACE のソリューションを選択しました。

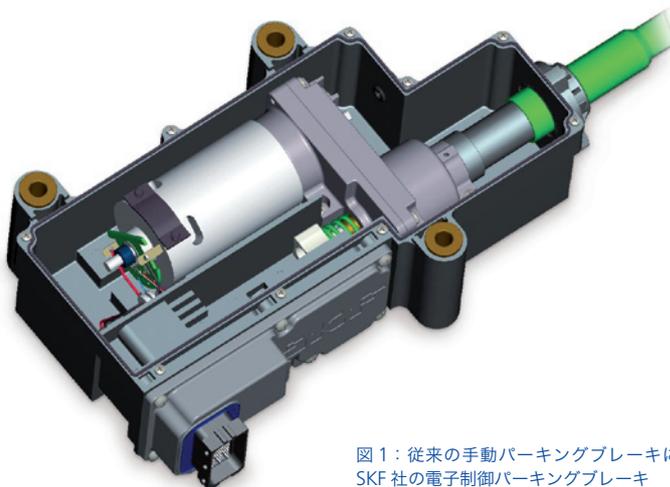


図1：従来の手動パーキングブレーキに代わるSKF社の電子制御パーキングブレーキ

農業分野での電子制御パーキングブレーキ

電子制御パーキングブレーキ (EPB) は、防水筐体に収められた制御ユニットを備えたギア付きモーターをベースとしています。アクチュエータとして、EPB はブレーキシステムに接続されたポーデンケーブルの締め付けと解除を行います。このシステムは、従来の手動パーキングブレーキに代わるものとして設計されました (図 1)。

インテリジェントな機能による優れた利便性

EPB のインテリジェントな機能によって、運転者の操作は大幅に容易になります。

- Automatic Apply 機能では、運転者がキーを抜いて車両を離れるとパーキングブレーキのスイッチがオンになります。
- Hill Holder 機能と Drive Away 機能により、たとえ起伏の多い地形でも、これまでよりも容易な運転操作が可能になります。

- 自動摩耗補正により、定期的なメンテナンスチェックの必要もありません。

この最新テクノロジーは、インテリジェントなトランスミッション (CVT/IVT、フルパワーシフト) を備えたさまざまな車両プラットフォームに適しています。ソフトウェアは適応性が高く、さまざまな車両タイプや動作条件でユニットを使用することができます。インテリジェントなソリューションの利用は、トラクタのような多用途車の生産性、運用コスト、および安全性の向上に直結します。

ソフトウェア開発およびアーキテクチャ

ソフトウェア開発は、ソフトウェア設計、実装、およびソフトウェアテストに対応した dSPACE ソリューションを使用して、V サイクルの各フェーズに沿って行われます (図 2)。

ソフトウェアは明確なインターフェースを備えた 3 つの主要な抽象化レベルに分割

「dSPACE ツールを使用した電子制御パーキングブレーキの開発プロジェクトが成功したことで、その後のすべてのメカトロニクス開発プロジェクトで同様の方法を用いるようになりました」

Fortunato Pepe 氏 (SKF 社、製品開発マネージャ)

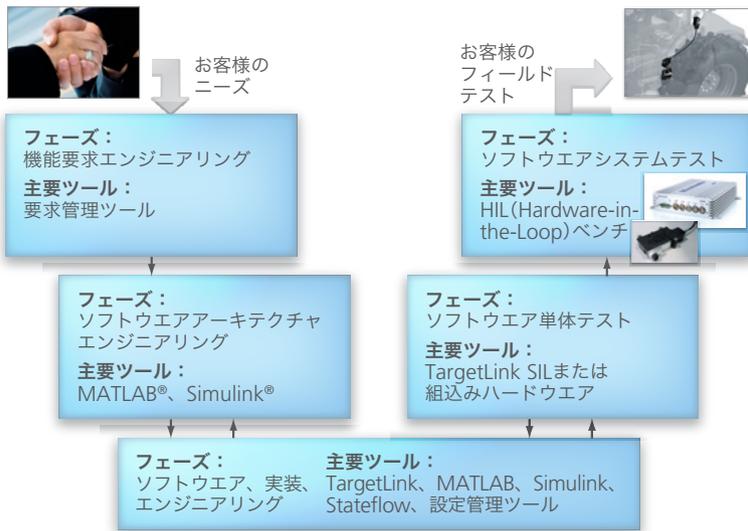
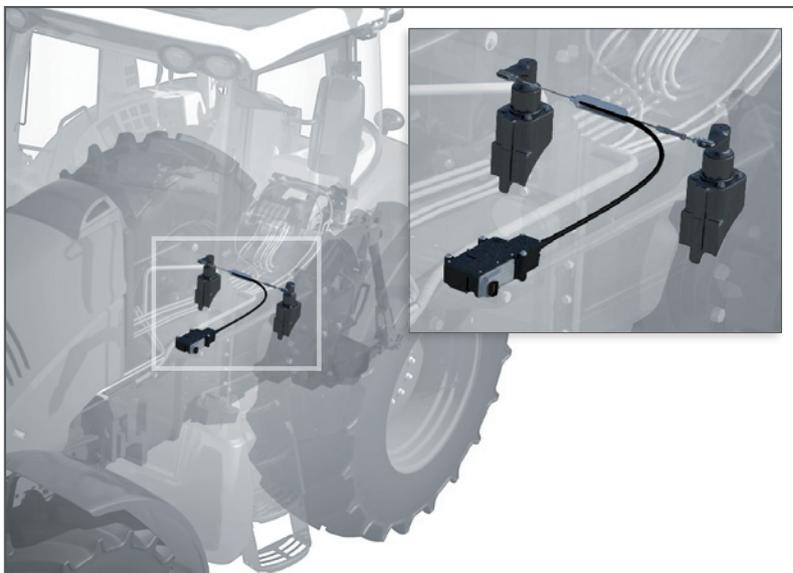


図 2：ソフトウェア開発の主要フェーズと関連ツール

されます。これにより複雑さを軽減し、それぞれのレベルで実装の詳細を扱う必要がなくなります。また、データや各種機能のソフトウェアエラーに対するロバスト性が高まり、さまざまな車両アーキテクチャへの統合コストを抑えることができます。低レベルソフトウェアは、モーター制御、低レベル入出力、および低レベル CAN バス管理など、ブレーキのハードウェア機能

の制御を行い、パーキングブレーキを組み込む車両には依存しません。車両インターフェースソフトウェアは低レベルソフトウェアからデータを収集して、適切なスケーリングとフォーマットで入力信号をアプリケーションソフトウェアに渡します。これは、車両のネットワークアーキテクチャに大きく依存します。アプリケーションソフトウェアはパーキン

トラクタに装着された EPB とボーデンケーブル



グブレーキに対する複数の制御機能で構成されます。アプリケーションソフトウェアは適合性が高く、イグニッションキーを抜いたときの Auto Apply 機能のように、お客様が希望するインテリジェントな機能を実装できるという優れた特長を備えています。そのため、このパーキングブレーキはハードウェア（機械装置や電子制御）を変更することなく、異なる種類の車両で使用することができます。

TargetLink® による開発の効率化

アプリケーションレベルの開発を行う際に、SKF 社は dSPACE TargetLink を活用しました。

- Simulink® と Stateflow® でアプリケーションソフトウェアをモデル化し、TargetLink でブロック線図とチャートから量産コードを直接生成しました。
- SKF 社はモデルベースのソフトウェアと下位のソフトウェアレベルの間の明確なインターフェースを設計することで、パーキングブレーキのソフトウェアアーキテクチャ内にアプリケーションソフトウェアをシームレスに統合しました。
- TargetLink を使用することで、ソフトウェアモジュールの幅広い再利用が可能になりました。
- SKF 社は変数スケーリングオプションを使用することで、固定小数点変数での精度の高い制御と診断の向上に必要な最高レベルの分解能を実現しました。
- TargetLink では ASAP2 データベースが自動的に生成されるため、SKF 社は実際の車両で計測作業と適合作業を行うことができました。
- 生成されたデータフローにより、ソフトウェアのフォルトツリー解析などの詳細なソフトウェア解析を容易に行うことができました。

テスト方法

システムソフトウェアのテストフェーズで、SKF 社は再現可能なテストシーケンスに対応したプログラム可能なテストベンチを必要としていました。テスト結果（合格/不合格、入力、出力）を記録し、システムの応答時間を計測する必要があったため、非常に長いテストシーケンスを実行する必要がありました。

SKF 社は、車両のブレーキシステムの特性をシミュレートする複数のスプリングで

構成された機械負荷にパーキングブレーキを接続した HIL (Hardware-in-the-Loop) テストベンチ (図 3) を設計しました。このテストベンチは主に MicroAutoBox によって制御されます。MicroAutoBox は、パーキングブレーキに対する車両のすべてのハードワイヤードインターフェースと CAN ベースインターフェースをシミュレートします。MicroAutoBox には、欠陥生成を用いるテストをサポートするためのブレイクアウトボックスが用意されています。また、外部センサを個別に使用して、パーキングブレーキの影響を受ける力や位置を計測することができます。シグナルコンディショニングユニットは、テストシーケンスに合わせて信号を調整してテストベンチの主制御に信号を渡します。

モデルベースのテスト

HIL テストベンチの柔軟性を高めてあらゆるお客様のニーズに対応できるように、モジュール型のテストソフトウェアを作成しました。テストシーケンスは、dSPACE RTI ライブラリを使用して Simulink と Stateflow でモデル化されました。モデルベースの設計を用いることで、複合的なテストシーケンスを作成することができます。合格/不合格の基準もテストシーケンスに組み込まれます。

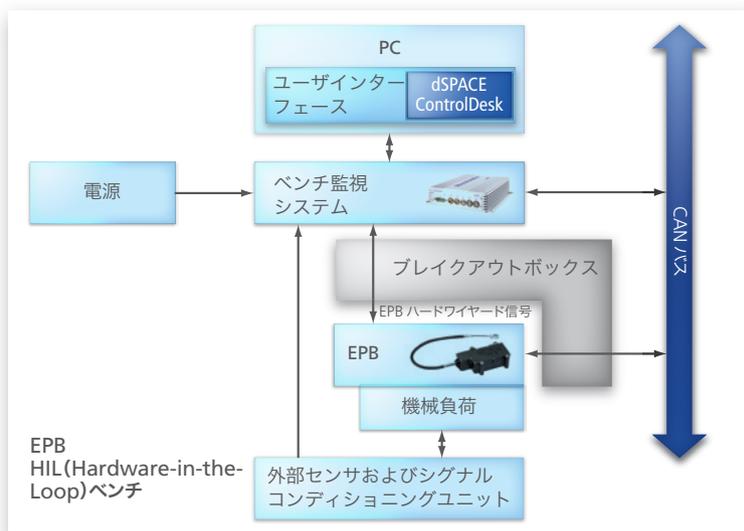


図 3 : パーキングブレーキ用の HIL テストベンチのブロック線図

テストエンジニアは ControlDesk® から各テストシーケンスを実行します。ControlDesk には合格/不合格の結果も表示されます。これにより、テスト実施フェーズの生産性が大幅に向上します。また、ControlDesk では、テストシーケンスの結果の保存とテストデータの設定の管

理も行われるため、テストレポートフェーズの作業も大幅に容易になります。■

Fortunato Pepe
Giuseppe Nuzzo
SKF 社

Fortunato Pepe 氏

同氏はイタリア、アイラスカにある SKF 社の製品開発マネージャです。



Giuseppe Nuzzo 氏

同氏はイタリア、アイラスカにある SKF 社のプロジェクトリーダー兼ソフトウェアエンジニアです。



まとめ

EPB はさまざまなタイプのトラクタに対応した Auto Apply、Hill Holder、Drive Away などのインテリジェントな機能をサポートしています。EPB は装着が容易で柔軟性が高く、運転者の安全性と快適性を高めるのに役立ちます。SKF 社は TargetLink、MicroAutoBox、および ControlDesk を活用することで、もっとも厳しい品質基準に基づいた EPB の実装と妥当性確認を行うことができました。