



図1：フィードバックステアリングホイールを使用したHILテストベンチ

パワーステアリングの技術革新

エネルギー効率、快適性、安全性に対して高まる要求が自動車におけるメカトロニクスシステム開発の推進力となりつつあります。これらの要求は、特にステアリングシステムに当てはまります。この分野では、電気機械式のパワーステアリングが広く普及しており、またこれらのシステムの機能はソフトウェアによって拡張可能であり、着実に増加しています。開発するシステムでは、触覚的な要求と特定のセーフティクリティカルな要求の両方を満たさなければなりません。

このような課題に対応するために、DMecS GmbH & Co. KGでは、ケルン応用科学大学のケルンメカトロニクス研究所（Cologne Laboratory of Mechatronics: CLM）と共同で、フィードバックステアリングホイールを開発しました（図1）。これにより、HIL（Hardware-in-the-Loop）テストベンチに向けてプロトタイプテストをフロントローディング（前倒し）することが可能になります。

フィードバックステアリングホイール用のシミュレーション環境

このテストベンチは、複数の異なるリアルタイム対応モデルで構成されます。ステアリングシステムのシミュレーションモデルは、ステアリングの機械的構造と電動パワーステアリング（EPS）用コントローラ

を備えたアクチュエータから成り、車両、道路、およびドライバーの各モデルとやり取りします。

車両と道路のシミュレーションは、dSPACEの自動車用シミュレーションモデル（ASM）を使用して行います。ASM Vehicle Dynamics Simulation Packageは、ビークルダイナミクス用途のリアルタイムシミュレーションに対応したオープンなSimulinkモデルです。このモデルにより、ビークルダイナミクスおよびステアリングシステムに作用する種々の力に関する現実的なシミュレーションが可能になります。ASMモデルはオープンな構造のため、開発者が独自のEPSシステムモデルを簡単に組み込むことができました。

道路については、dSPACE ModelDeskを使用して、特殊な表面特性を持った複数の道路セクションを個別に作成しました。この環境を使用して、ステアリングシステムを開発し典型的な運転操作に合わせて微調整を行いました。この運転操作の際には、開発者がフィードバックステアリングホイールを使用して、ドライバーの役割を引き受けました。

自動化テストでは、ASMドライバーモデルを使用して、同一条件下で繰り返し運転操作を行いました。



エンジニアリング会社である DMecS 社では、dSPACE シミュレータを使用して、ステアリングシステムのシステム動作を分析しています。これにより、テスト運転を実施する前に、開発の初期段階でテストを実行することができます。フィードバックステアリングホイールの使用を通じて、ステアリング特性を生成するための革新的なアルゴリズムおよび支援システムが、ドライバーの許容度の観点から現実に沿った形でテスト、評価、最適化が行われます。

A Gripping Feeling

HIL シミュレーションとフィードバックステアリングホイールを使用したステアリングシステムの開発

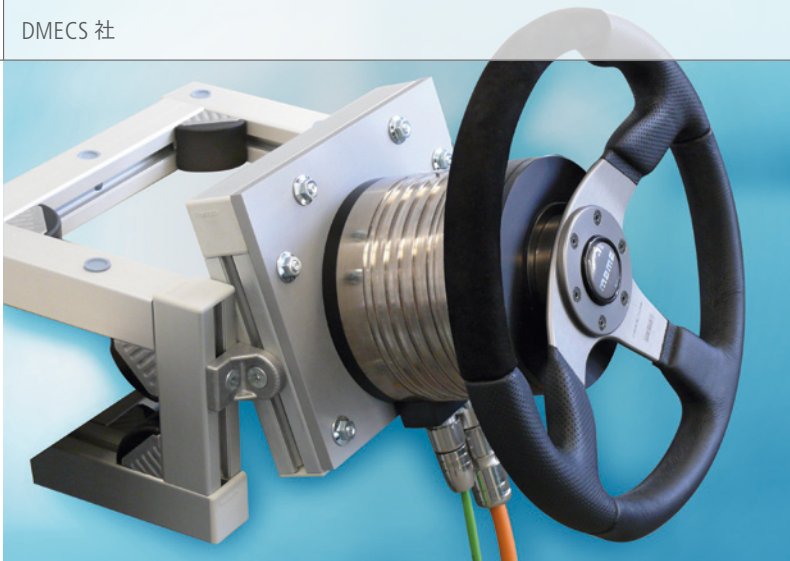


図2：フィードバックステアリングホイールによる現実的な触覚的フィードバックの提供

「完全にオープンな自動車用シミュレーションモデル (ASM) を使用することで、独自のステアリングモデルと新しいステアリングシステムアルゴリズムを簡単に実装することができました」

Thorben Herfeld 氏, DMecS GmbH & Co. KG

フィードバックステアリングホイールと HIL テストベンチ

現実的なステアリングホイールを提供するために、フィードバックステアリングホイールの機械的構造とエレクトロニクスは、高度な要求を満たしています。機械的/電気的コンポーネントの慎重な設計により、慣性、コギング、摩擦、信号伝播の遅れなど、ステアリングホイールに対する意図しない影響が、最小限に抑えられています。残りの不完全な部分についても、HIL アクチュエータ制御の適切な拡張

によって、ほとんど感知できないレベルにまで抑え込むことができました。

ASM およびステアリングシステムのモデルは、HIL テストベンチの dSPACE シミュレータ上に実装されます。このシミュレータには、DS1006 Processor Board とフィードバックステアリングホイールを制御するのに必要なインターフェースボード備えた、モジュール型のリアルタイムハードウェアが組込まれています。これにより、シミュレーションモデル全体およびいかなる拡張にも十分対応できる処理能力が提供されます。

ステアリングシステム用アルゴリズムの開発

私たちは、テストベンチを使用して、ハンドル操作の感覚を生成するさまざまなアルゴリズムを開発することに成功しました。たとえば、1つのアルゴリズムの基本的特性によって、油圧式パワーステアリングによって伝わるハンドル操作感覚との調和が図られ、現在の運転速度に応じてハンドル操作支援の程度も調整されます。こうすることで、このアルゴリズムによってトルクフリーパーキングが可能になり、高速時のセンタリング性が向上します。

まとめ

- HIL テストベンチにおけるステアリングシステムの開発作業が、テストドライブ段階からシミュレーション段階にかけて前倒しで行われました。
- ステアリング特性とアクティブなハンドル操作介入に対する革新的なアルゴリズムが、現実に沿った形でテストされ、ドライバーの許容度の観点から分析、評価が行われました。
- 自動車用シミュレーションモデル (ASM) のオープンな構造により、効率的な実装が可能になります。

HIL テストベンチの使用例

MIL (Model-in-the-Loop) および SIL (Software-in-the-Loop) シミュレーションでは、EPS コントローラと ASM 車両モデルが dSPACE シミュレータ上で実行されます。フィードバックステアリングホイールを使用すると、ハンドル操作の感覚を評価し、コントローラ構造、パラメータ、および特性カーブを修正することで、その感覚を調整することができます。また、TargetLink を用いて制御アルゴリズムを実装することにより、固定小数点数演算の影響を分析し、適切なレベルにまで抑えることもできます。量産レベルの ECU でコントローラを実行する場合は (図 3)、他に発生する実装上の問題 (信号伝播の遅れや専用のインターフェースなど) を個別に分析して、ハンドル操作の感覚に及ぼす影響を最小限に抑えることができます。

他のアルゴリズムでは、タイヤ力を使用して、タイヤ接地面の摩擦に関する情報をドライバーに提供します。これらのアルゴリズムには、特別なピークルダイナミクスオブザーバが使用されました。このオブザーバは、スリップ角やヨーレートなどの通常のピークルダイナミクスの値に加えて、タイヤモデルを使用せずにタイヤ力も推定します。

電気機械式のステアリングシステムでは、ソフトウェアを使用してハンドル操作の感覚を生成するのに加えて、現在の運転状況にアクティブに影響を与えることができます。この目的のために、危機的状況にある車両を安定化させる支援システムの開発およびテストが行われました。

開発時にフィードバックステアリングホイールを用いた HIL テストベンチを使用す

ることで、前もって、これらのアルゴリズムに対するドライバーの許容度を分析して最適化することができました。

Thorben Herfeld
メカトロニクスシステム開発
DMecS GmbH & Co. KG

Jan Guderjahn
ケルン応用科学大学
ケルンメカトロニクス研究所



Jan Guderjahn 氏、
研究アシスタント
ケルンメカトロニクス研究所
(ケルン応用科学大学)



Thorben Herfeld 氏、
メカトロニクスシステム開発エンジニア
DMecS 社 (ケルン)

「HIL テストベンチを開発する際には、dSPACE のシームレスなツールチェーンが役に立ちました。その範囲は、ModelDesk を用いた ASM リアルタイムシミュレーションのパラメータ設定から、ControlDesk を用いたアルゴリズムの分析と合成、HIL テストベンチのセットアップ、MotionDesk を用いた車両モデルのビジュアル表示に至るまで、多岐にわたっています」

Jan Guderjahn 氏、ケルンメカトロニクス研究所

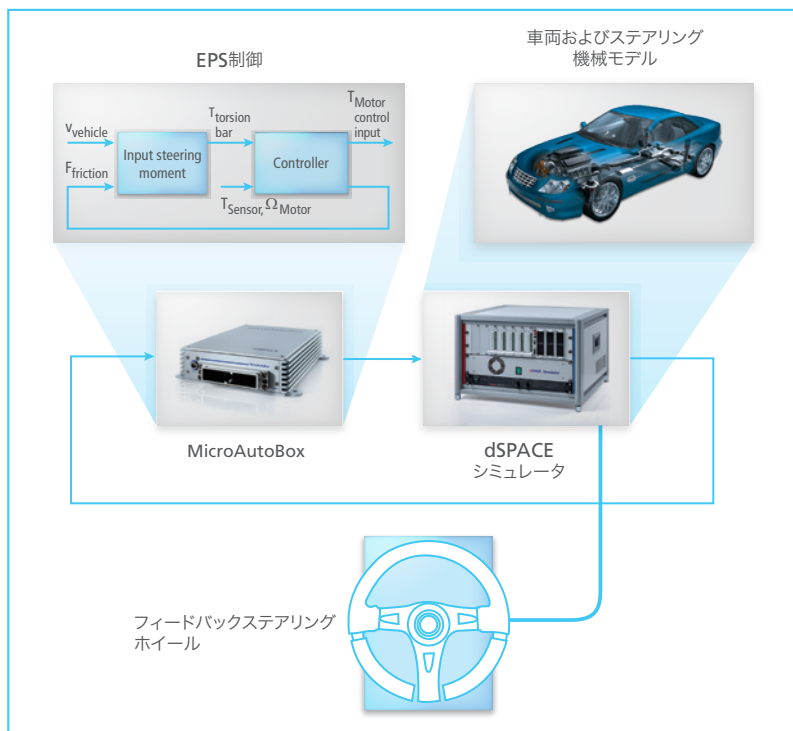


図3：HIL シミュレータ、外部のプロトタイプシステム、およびフィードバックステアリングホイールに基づいたテストベンチ

まとめと展望

上述したさまざまな使用例により、開発初期段階に HIL テストベンチを使用することで、全体的な開発時間を短縮できることが分かりました。ステアリングの触覚的な操作を考慮に入れたモデルベースのシステム開発により、初期段階で HIL シミュレーションのシステム全体の微調整が可能になります。これにより、テストドライブでの微調整とテストに必要な時間と労力が削減されます。

適切な HIL テストベンチを使用するこの手法は、ステアリングシステムの開発以外にも、ブレーキシステムや航空機で使用するサイドスティックまたはペダルなど、触覚的フィードバック機能を持つその他のシステムにも適用することができます。