

燃料電池テクノロジーの試験

■ dSPACE テクノロジを使用して開発された代替駆動技術

■ 閉じたシミュレーション環境

■ シームレスなモデルベースの開発チェーン

ゼネラルモーターズ社 (GM) とオペル社は、水素燃料電池で駆動する自動車を量産レベルにまで高めることに取り組んでいます。開発プロセスを確実に成功させるために、閉じたシミュレーション環境を設定して、さまざまなプロセス段階でシミュレーションモデルを使用しています。dSPACE の製品である MicroAutoBox、dSPACE シミュレータ、ControlDesk、AutomationDesk などが、開発チェーン全体にシームレスに適合し、主要な役割を果たしています。

HydroGen3 への道

世界全体で自動車台数は増加しており、それに伴って化石燃料の消費量が増加し、環境に及ぼす影響が拡大しています。したがって、自動車産業は代替となる駆動システムの開発という課題に直面しています。水素から駆動力を得るシステムは、燃焼エンジンの代替となる可能性が最も高い車両駆動システムです。これを背景として、GM とオペルは 1997 年 11 月に GM Fuel Cell Activities (GM FCA) 開発センターを設立しました。その目的は、燃料電池テクノロジーを量産レベルにまで高めることです。GM とオペルは、これまでにこの研究に 10 億ドル以上を投資しています。現在、約 600 人の社員が、米国 (ロチェスター、ウォレン、トランス)、ドイツ (マインツカステル)、および日本 (東京) の 5 か所で、さまざまな角度からこの燃料電池の共同プログラムに取り組んでいます。これらの研究の最新の成果が

「HydroGen3」です。これは Opel Zafira をベースとした試験車両です。

ボンネット下にコンパクトな発電装置

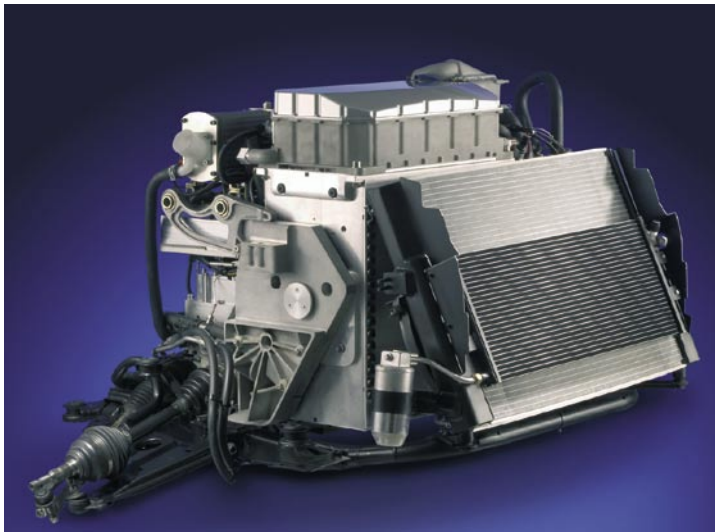
HydroGen3 の心臓部は燃料電池スタックです。コンパクトで非常に効率的な発電装置が、電気モーターや補助ユニットとともに Opel Zafira のフロントボンネットの下に収められています。GM FCA は 200 個の単セルを直列に接続した燃料電池スタックを開発しました。セル内で、水素と酸素の電気化学反応により電気エネルギーを発生します。このエネルギーを使用して HydroGen3 の電気モーターを駆動します。出力は 60 kW/82 HP です。このユニットは最大トルクが 215 Nm で、燃料電池仕様の Zafira の車速を約 16 秒でゼロから 100 km/h にまで上げ、最高速度は 160 km/h にまで達します。タンクシステムに関しては、GM FCA では 2 つの方式を採用しています。「HydroGen3 liquid」と呼ばれる試験車両は、超断熱タンクを搭載して、そこに極冷の液体水素を貯蔵します。もう 1 つは「HydroGen3 compressed 700」と呼ばれ、高圧タンクを搭載して、最高 700bar の圧力で水素ガスを貯蔵します。

広範なシミュレーション

燃料電池駆動ユニットの制御システムは、従来の V サイクルをベースにシームレスなプロセスで開発されています。開発プロセスのすべてのフェーズにシミュレーション技術を組み込むことが特に重要となります。長年にわたって、GM FCA は燃料電池による駆動に関して専門的なノウハウを数多く蓄積しています。MATLAB®/Simulink® などの特定のモデリングツールを使用して、システム全体の閉じたシミュレーションモデルが作成されました。これは、燃料電池駆動システム (FCPS)、FCPS 制御装置、車両プラントモデル、および他の電子制御ユニット (ECU) のレストバスシミュレーションの各コンポーネントで構成されています。燃料電



▲試験車両 HydroGen3



▲燃料電池スタック – ボンネット下の発電装置

池駆動システム自体はいくつかのサブシステム（蓄電システム、燃料電池発電モジュール、電気駆動システム、冷却システム、水素貯蔵システム、およびドライバインターフェース）に分割されます。車両プラットフォームのモデルは、実際の量産車両の設計に準拠しています。

dSPACE 製品を使用すると、開発されたシミュレーションモデルを複数のプロセスフェーズで使用できます。つまり、MIL (Model-in-the-Loop) シミュレーションだけではなく、ラピッドコントロールプロトタイピング (RCP)、HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションなどにも使用できます。さらに、システム全体のモデルは詳細なアプリケーションのベースにもなります。これは、FCPS 制御装置の開発だけではなく、テストベンチの操作、システム統合の実行、および運用戦略の構築にも使用されます。

FCPS 制御装置の開発

開発された FCPS 制御装置は、ワークステーションでの幅広いオフラインシミュレーションの後に、まずプロトタイピングシステムとして dSPACE の MicroAutoBox を使用して、量産用 ECU なしで試験されました。制御装置モデルから MicroAutoBox へのコード転送を簡単に行うためにコードの自動生成機能が使用されました。次に、フルバス手法のプロトタイピングの成功後、2004 年から、E67 量産用 ECU (GM Powertrain 製) が FCPS 制御装置に使用されました。開発中の機能は、MicroAutoBox によるバイパス手法で実装されています。現在、生産開始前の開発用 FCPS 制御装置が、

dSPACE Mid-Size シミュレータに基づく HIL テストベンチと何台もの試験車両で試験されています。

テストベンチでの HIL シミュレーションの使用

燃料電池駆動システムの個々の部品の開発作業は、GM の複数の現場に割り振られています。複数の現場で並行して開発が行われているにもかかわらず、HIL シミュレーションによって、GM FCA は FCPS 制御装置とサブシステムの両方の初期検証を必要に応じていつでも実行できます。現在、dSPACE Mid-Size シミュレータを使用して、ダイナモメータおよび燃料電池単体用テストベンチと一緒に燃料電池駆動テストベンチを操作しています。いずれの場合にも、HIL シミュレータが試験対象と共に動作し、実際には存在しない特定のサブシステムまたは ECU の役割を果たします。し



たがって、MIL シミュレーションの関連シミュレーションモデルは、ほとんど調整することなく再利用できます。使用される dSPACE ソフトウェアには、シミュレータのユーザーインターフェース設定用の ControlDesk と燃料電池テストベンチの自動操作用の AutomationDesk が含まれます。

HIL シミュレーションの利点

シミュレートされたコンポーネントは、HIL テストベンチ上で順次実際のコンポーネントに置き換えることができます。モデルと実際の対象を自由に置き換えても問題はありません。したがって、いつでも閉じたシステムで完全な試験を実施できます。

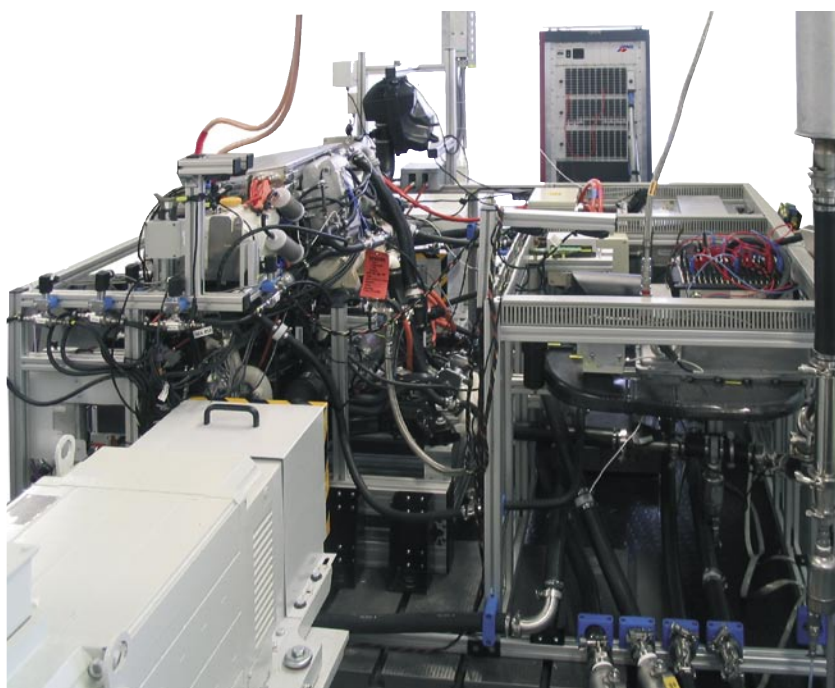
HIL テストベンチでの初期段階の試験では、隣接するサブシステムと ECU の接続を検査します。これにより、きわめて初期の段階からサブシステムレベルでの完成度と品質が向上するため、その後のシステム統合に伴う調整作業を大幅に軽減することができます。

総括と展望

水素燃料電池駆動システムを開発するために、GM FCA はシームレスなシミュレーション開発環境を実現しました。MIL および HIL シミュレーションは、制御開発環境と燃料電池テストベンチにおいて重要なコンポーネントであることが実証されました。全体的なシミュレーション環境は、さまざまな運用モード（オフライン / HIL / レストパスシミュレーション）に応じて柔軟に構成でき、ソフトウェアを修正

する必要はほとんどありません。モデルベースの開発によって、ワークステーションによるオフラインシミュレーション、HIL とシステムテストベンチでのリアルタイムシミュレーション、およびテストベンチと車両での制御プロトタイピングが可能になります。dSPACE 製品を使用すると、開発プロセスのあらゆるフェーズでシミュレーション技術を構成要素に統合することができます。すなわち、テストベンチと試験車両に同じバージョンの制御ソフトウェアを使用でき、余分な保守を必要とするテストベンチ用の専用ソフトウェアは必要ありません。

Dr.-Ing. Stefan Sinsel
Adam Opel GmbH
GM Fuel Cell Activities
ドイツ



▲ dSPACE シミュレータを使用した燃料電池駆動テストベンチ