



オフロードアプリケーション向け
アクティブサスペンション制御の設計

Surviving Tough Terrain

商用車や軍用車では、先進的なアクティブサスペンションによって機動性の向上が図られており、特に起伏が多い地形においては、生存性、有効な乗員作業性、安全性および信頼性が問題となります。アクティブサスペンションを利用すると、オフロード車の速度と快適性を高めることができます。またプロトタイプを使用することにより、装輪車両および装軌車両のアクティブシステムの有効性を実証することができます。

アクティブサスペンションの開発プロセス
テキサス大学電気機械技術センター (Center for Electromechanics : CEM) では、20 年以上にわたってアクティブサスペンション技術の研究開発を行っており、ハードウェアのプロトタイプを迅速かつ経済的に開発するためにモデルベース設計および妥当性確認手法を確立してきました。

研究者は、実績のあるモデリングおよびシミュレーションの手法を、試験施設での低レベルのテスト (図 1) および現場での高レベルのハードウェア検証と組み合わせ利用しています。モデルベース設計手法では、開発全体にわたって統一して利用できる、領域固有の複数の専用ツールを使用することが要求されます。機械部品モデル設計とコントローラ設計は、相互に密接に結びついた 2 つの異なる領域へのアプローチとなります。

車両のプラットフォーム、アクチュエータおよび機械部品は、3-D Multibody Simulation と LMS virtual.lab (旧称 : Dynamic Analysis and Design System (DADS) パッケージ、LMS Interna-

tional 社製) を用いて開発しています。コントローラモデルは、Mathworks 社の MATLAB®/Simulink® で開発しています。コントローラのシミュレーションは、制御アルゴリズムをオフラインで開発および検証するために、DADS Kinematic シミュレーションと同時に計算が行われます (図 2)。

リアルタイムシミュレーション、 車載テストおよび開発

開発初期の PC ベースのオフラインシミュレーションで満足のいく性能が得られたら、車両デモへと進む前に、アクチュエータとセンサインターフェースが搭載された EMS コントローラ (EMS = electromechanical suspension system : 電気機械式サスペンションシステム) を、dSPACE リアルタイムシステムに接続します。MathWorks Real-Time Workshop と dSPACE Real-time Interface (RTI) を連携して生成されるコードは、プロセッサボードと I/O ボードから成るモジュラー方式の dSPACE システムを直接対象にしています。このプロセスにより、シミュレ-

ションからプロトタイプのデモ、さらに量産ハードウェアへのスムーズな移行が促進されます。

開発プロセスにおける dSPACE プラットフォームの役割

リアルタイムアプリケーションに対するコントローラモデルの開発は、I/O モデルの開発と共に進められ、センサとアクチュエータのインターフェースや、外部信号からの割り込みだけでなく、CAN などの通信バスも組み込まれます。簡単なボタン操作によるコード生成および展開プロセスにより、反復的な開発作業が一層簡単かつ迅速に進められるようになります。このプロセスは、dSPACE の ControlDesk ツールに備わっている強力なユーザーインターフェースとデータキャプチャ機能によってさらに促進されます。ControlDesk は、コードとパラメータのダウンロード、地形スティミュラス関数ジェネレータ制御、および手動および自動化されたサスペンションコントローラパラメータの調整作業にも利用されます。複数の UI レイアウトを使用して、前述した作業領域のそ

「これらのプログラムの成功のほとんどは、多くの dSPACE ソフトウェアおよびハードウェアコンポーネント間のシームレスな連携によるものと確信します」

Damon Weeks 氏、電気機械技術センター、テキサス大学 (オースティン)

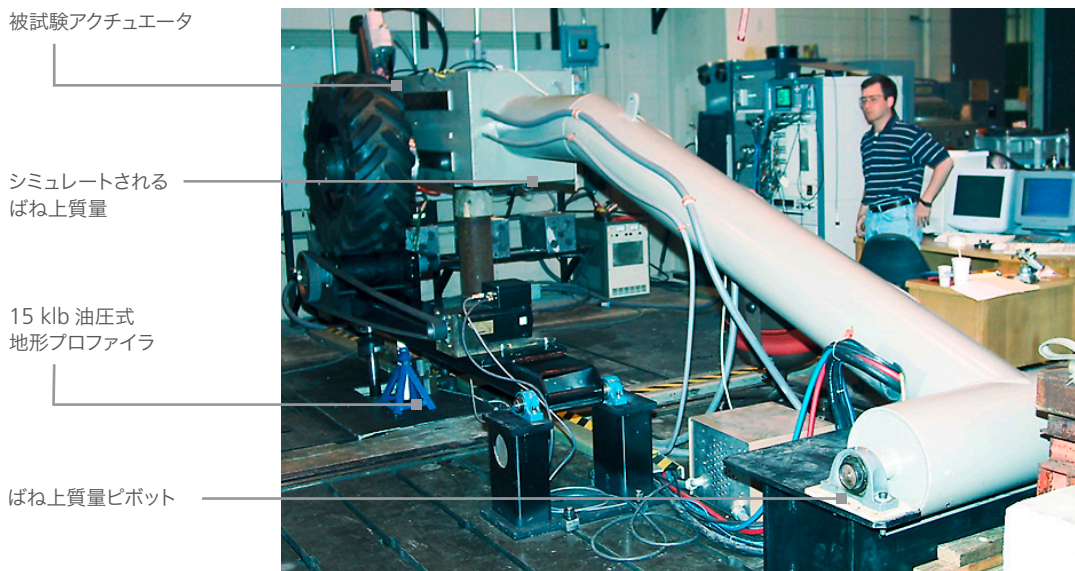


図1：移動（車両）用途と固定用途の両方に対するアクチュエータの動的性能を検証するために使用されるCEM研究所の動的テストリグ。このテストリグは実物大でのテストに適しており、動的テストおよび静的テストのどちらも可能です。ばね上質量の垂直方向の自由度は、回転軸の周りを回る長いピボットアームによって近似されます。水撃ポンプによって、最大20インチの垂直方向の動きをシミュレートすることができます。

それぞれに固有のパラメータ制御を迅速にグラフィカルに表示することができます（図3）。

フライトレコーダによる計測

アダプティブ EMS コントローラの開発には、ControlDesk のフライトレコーダ機能が使用されました。CEM では、ニュー

ラルネットワークシステムの識別機能を組み込んで、モデルパラメータのアップデートを行いました。dSPACE のエンジニアは、その学習したモデルパラメータを不揮発に保存する方法を CEM と共同開発し、これらのパラメータをシャットダウン時にフライトレコーダに書き込んで起動時に読み出せるようにしました。

車両デモ

CEM は、有人の軍用装輪車両および装軌車両（HMMWV High Mobility Multipurpose Wheeled Vehicle（高機動多目的装輪車）、LMTV Light Medium Tactical Vehicle（軽中量戦術車両）および FCS- 装軌有人地上車両）を含む複数の車両プラットフォームで EMS 技術のデモに成功しました。さらに EMS 技術は、先進技術輸送バスおよびオフロード緊急車両にも展開されました（図4）。平均吸収動力と呼ばれる測定基準（車両の乗員と機器が受けるキログラム当たりの機械的出力）によって、オフロード性能が計測されました。

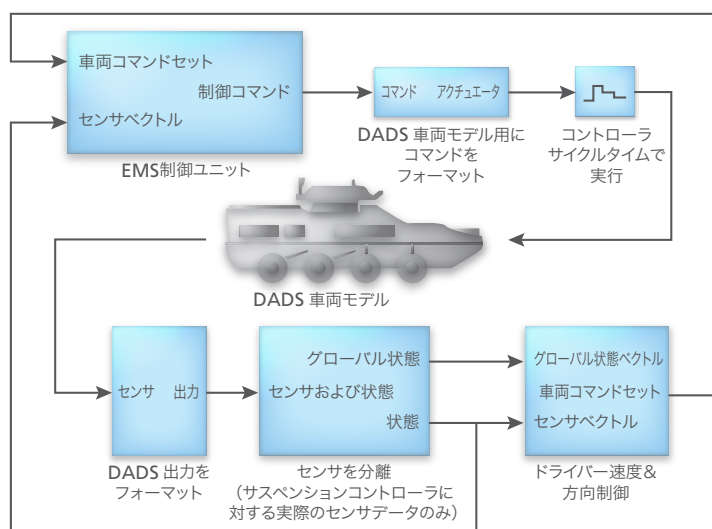


図2：CEMのシミュレーション環境では、Simulink 制御システムとマルチボディ DADS 車両モデルが1つの協調シミュレーションでリンクされます。この図では生成された Simulink モデルの最上位レベルが示されています。

図 3 : アクティブサスペンションの開発に使用される一般的な ControlDesk のレイアウト

「EMS の評価中にテストチームでよく耳にした感想は、提案内容をほんの数分でソフトウェアに組み込んで変更できることに驚いたというものでした」

Damon Weeks 氏、電気機械技術センター、テキサス大学 (オースティン)

速度と快適性の向上、コストの低減

オフロード地形を乗り越える際の、一般に認識されている乗車限界吸収動力は、平均で 6 ワットです。これまでにテストされた軍用車両とオフロード用民間車両のデモにおいて、最も厳しい (高速時に車両バンパー、スキッドプレート、または駆動スプロケットと衝突する程の厳しい振幅を持つ) 地形をのぞき、EMS サスペンションは、その 6 ワットの乗車限界速度をほぼ 2 倍にします。

国立自動車テストセンター (NATC) で実施された HMMWV の人的要因テストでは、米国海兵隊員がオフロードコースを通じてさまざまな任務を遂行しました。EMS によって、地図の方位確認、座標上の無線通信、標的設定などの一般的な任務を完了する能力が明らかに改善されました。当初は、EMS によって乗車品質が向上す

ると予想されていましたが、斜面降下テストでオフロードの燃費も 30% 改善され、改良したアンダーステア特性とアクティブ車高制御によって安全性とハンドリング性能も強化され、さらに、車両使用期間の運用コストが 50% 低減されることが実証されました。■

Damon Weeks,
テキサス大学 (オースティン)

まとめ

テキサス大学の電気機械技術センター (CEM) では過去 20 年にわたって、EMS のデモを十数回行い、その内の半分以上が軍用車両に関するプロトタイプでのデモでした。CEM ではモデルベースの設計手法が使用されました。この手法によって、専用ツールの LMS DADS、MATLAB/Simulink および dSPACE Real-Time Interface と dSPACE ラピッドプロトタイプングシステムが結合され、EMS 制御システムの開発、EMS アクチュエータと動力システムのハードウェアの設計、さらにシステム性能の予測が行われました。さまざまな独立したテスト施設で実施されたテストは、EMS によってクロスカントリーの乗車限界速度が 2 倍になり、オフロードの燃費が 30% 改善され、乗員作業性と車両操作性が向上する可能性があることを示しています。

図 4 : EMS サスペンションのデモが実施される領域



Damon Weeks 氏

同氏は、テキサス大学 (オースティン、米国) の電気機械技術センターで、電気機械設計を担当する研究エンジニアです。

