

Indestructible right from the start

開発の初期段階から堅牢性を確保

ASM を利用した大型重機の SIL および HIL のテスト (Caterpillar 社)



現代の建設業、採掘業、解体業、および林業を取り巻く環境はめまぐるしく変化しています。要求される作業は複雑になってきており、使用される大型重機にもさらに高度な機能が求められるようになりました。実際重機の内部には、外観からは想像できないインテリジェントな機能が備わっています。このレポートでは、最新型機械の電子制御システムに対するリリーステストを紹介し、Caterpillar 社で開発プロセスがどのように進められているかを明らかにしていきます。カスタムビルドの高精度のモデルを使用した機能設計から、制御ソフトウェアの検証に至るまで、Caterpillar 社では効率的なプロセスを実現しています。

Caterpillar 社(略称 CAT)は、建設、採掘、農業、および発電の世界市場に向けて大型重機を製造している国際企業です。重機製品には、エンジンやトランスミッションの制御から、特定のシステム機能専用の制御デバイスに至るまで、さまざまな電子制御ユニット(ECU)が搭載されています。Caterpillar 社では、SIL(Software-in-the-Loop)テストおよびHIL(Hardware-in-the-Loop)テストが、効率的な開発のための、また ECU の品質と信頼性を十分に確保するための標準的な方法となっています。

大型重機のエンジン ECU をテストするために、Caterpillar 社では、dSPACE の Automotive Simulation Models (ASM) から、ディーゼルエンジンモデルと物理ターボチャージャーモデルを選択しました。また、重機特有のドライブトレインの要件を満たすために、Caterpillar 社で独自に開発したドライブトレインモデルを使用しました。ASM はオープンモデルであるため、ASM とカスタムドライブトレインモデルの統合は非常に容易でした。

燃焼制御の高精度モデル

新しい制御機能の開発は、燃焼プロセスを詳細に非リアルタイムでシミュレーションする Caterpillar 社で作成した高精度エンジンモデルを使用することから始まります。長年の開発の結果、自社開発モデル「Enterprise」は、空気と燃料の精密な制御および燃焼の精密な制御が不可欠となる機能設計に最適なモデルとなっています。これらのモデルには、1次元モデルを使用しています。また、燃焼モデルでは、シリンダ圧を考慮しています。Enterprise モデルを使用したシミュレーションでは、開発の焦点は、診断機能や ECU 間の通信ではなく、出力の最適化、低燃費化などに絞られます。

開発の初期段階での制御ソフトウェアの妥当性確認

次の段階では、さらに多くの ECU 機能を燃焼制御の機能と統合します。SIL テストは、開発の初期段階で制御ソフトウェア全体のテストと妥当性確認を行うための Caterpillar 社では一般的な手順です。この SIL テストと後の HIL テストに同じモ



Caterpillar 社の重機は、
確かな結果をもたらします。

デルを使用することにより、パラメータを再利用でき、信号を直接比較できるため、効率的かつ理想的なプロセスとなります。Caterpillar 社は、HIL テストを実行するために dSPACE の ASM ディーゼルシミュレーションパッケージを採用しましたが、その後、機能設計時にもこのパッケージを使用してリアルタイムシミュレーションを実行することを目標としました。社内のシミュレーション環境、Dynasty を拡張し、Caterpillar 社の高精度モデルに加え、dSPACE の平均有効圧モデルも実行するようにしました。Caterpillar 社と dSPACE で密に連携をとりながら、これらのシミュレーションモデルを統合しました。Enterprise モデルのパラメータを ASM に移行するために、1 対 1 の変数参照テーブルを使用したソリューションを導入しました。パラメータ設定を完全にするには、実際のエンジンまたはシミュレーションから得られた測定データも必要です。

同時シミュレーション

ASM ディーゼルモデルとターボチャージャモデルの品質と性能を評価するため、

Dynasty の中で ASM と Enterprise の同時シミュレーションを行い結果を比較しました。同時シミュレーションでは、ECU のコードを ASM ディーゼルエンジンモデルの入出力に接続し、モデルは、ASMPara によってパラメータ設定しました。また定常状態のシミュレーション結果を、測定データと比較、検討しました。動的シミュレーションの結果を、過渡的な測定データ、および EPA Non-Road-Transient-Cycle のようなテストサイクルに基づく Enterprise モデルを使用したシミュレーションの結果と比較したところ、ASM モデルのシミュレーション結果は、すべてのケースで基準信号と極めてよく一致していました。この結果に基づき、現在は ASM ディーゼルエンジンシミュレーションパッケージを、オフラインシミュレーション時のコントローラロジックの妥当性確認、および HIL シミュレーション時の ECU の妥当性確認に使用しています。

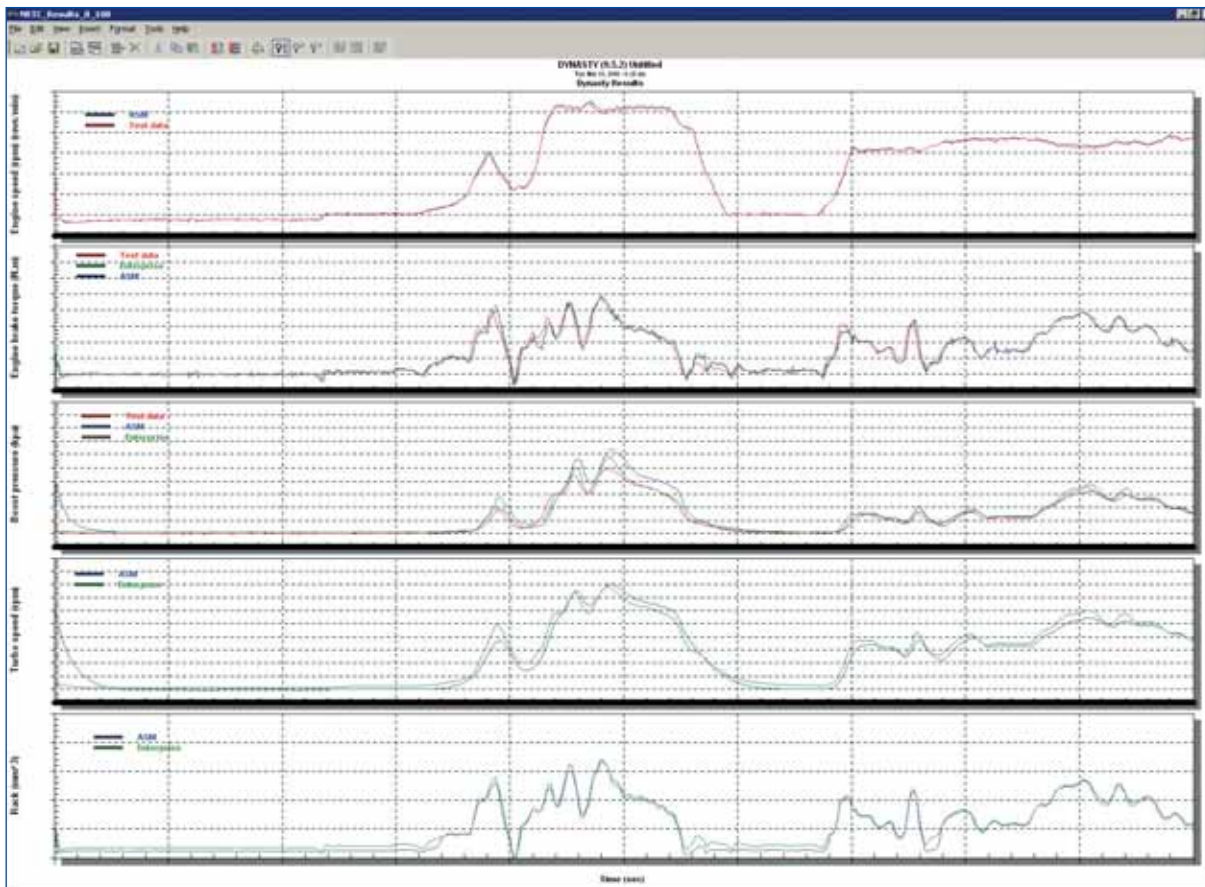
Caterpillar 社の ECU テスト

Caterpillar 社はすでに、実験施設において、数多くの dSPACE 製 HIL テスト

ベンチ (Mid-Size と Full-Size) を使用しています。これらは、エンジン、トランスミッションなどの重機コンポーネント用 ECU をテストするために使用しています。ASM を使用することで、パラメータの設定が非常に簡単になりました。これは、開発プロセスの初期段階、SIL 実行時のパラメータがそのまま利用できるからです。もう 1 つの利点は、ASM にはオープンなモデル設計が採用されているため、カスタムのトランスミッションとドライブトレインのモデルを、ASM ディーゼルモデルと容易に統合できることです。このように HIL ベンチは、どのようなプロジェクトであってもそれに合わせて構成することができます。

ASM の利用効果

同じモデルを使用してリアルタイムの HIL テストおよび SIL テストを行うことで、開発効率が非常に高くなるのが実際の使用経験を通して明らかになりました。さらに Caterpillar 社では、さまざまなエンジン (4 ~ 20 気筒、VTG またはウェストゲートターボ、CGI など) に ASM ディーゼルエンジンとターボチャージャのブロック



Enterprise と ASM の比較結果

を使用し、多様なプロジェクトの開発プロセスの合理化を図りました。この効果はすぐに顕れました。Caterpillar社はASMがオープンモデルである点を特に評価しています。ASMは理解しやすく変更も容易であるため、カスタムモデルも簡単に統合できます。

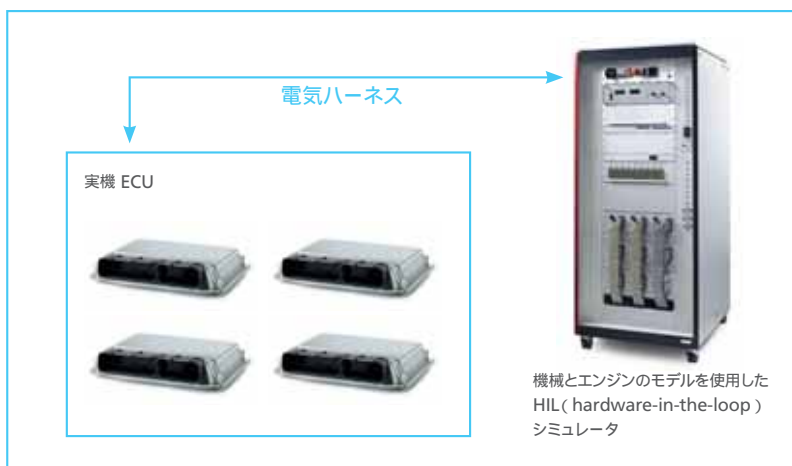
まとめと展望

Caterpillar社では、ASMを新しいコントローラ機能の開発をサポートするための、Enterpriseモデルに対するアドオンとして使用し、機能設計やECUテストではコントローラの妥当性確認に使用しています。Caterpillar社ではほぼすべてのケースにおいて、HILシステム上のリアルタイムエンジンモデルにASMを使用する予定です。

また、そのASMのメリットを最大限に生かすため、さらに多くのdSPACEのシステムを採用し試験施設を拡張する予定です。■

Mark Yu, Caterpillar Inc., 米国

HILシステム構成



用語解説

Dynasty - Caterpillar社のマルチドメインなシミュレーション環境

Enterprise - Caterpillar社の高精度エンジンシミュレーションモデル

CGI - クリーンガス誘導、排ガス規制を満たすためのCaterpillar社のソリューション

EPA - 環境保護庁