



Safe

Legends

究極のスーパースポーツカーの高性能化に向けた制御システムの
開発とテスト

画像提供：© Bugatti

Bugatti 社の車両の性能範囲は、同社の統合型安全電子システムで定義されています。同社では、dSPACE のシミュレータを活用することで、極めて信頼性の高いシステム機能を実現しています。

優れたデザインチームやエンジニアを擁し、際立つ特徴を持った車両を開発してきた Bugatti 社では、当初から非凡性、至高性、卓越性の実現を目標に掲げてきました。同社が新たに開発した Bugatti Chiron は、この車の歴史を重んじながらも、随所に革新的なテクノロジーを散りばめることにより、不朽の価値を持つ傑作と言える自動車となりました。Chiron の心臓部には、クワッドターボチャージャー付き 8 リッター W16 エンジンが搭載されています。この類まれな傑作は、2,000 ~ 6,000 rpm という事実上の線形性能で、1,500 hp という驚くべき最高出力と 1,600 Nm の最大トルクを実現します。この至高の性能の決め手となっているのは、2 段階の制御構成で動作する 4 つの高出力型ターボチャージャーです。

課題：最高の信頼性

ドライバーがこうした性能をどのような条件下でも確実かつ安全に使用できるようにするには、多数の電気システムと高度に複雑な電子制御が必要です。そのため、車両の開発時には、電子制御ユニット (ECU) の妥当性を効率的に確認することが重要になります。なかでも、極端な性能範囲でテストを実行し、その条件下であっても車両を間断なく完全に制御できることを保証する必要があります。また、テスト対象の各種コンポーネントが未入手の場合や車両そのものが使用できない場合でも、開発者が新しいバージョンの ECU やソフトウェアをテストできる環境を

用意することで、作業を最大限に効率化しなければなりません。

解決方法：

車両の効率的なシミュレーション

Bugatti 社では、HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレーションを用いて ECU のテストを行っており、これは十分に実績のある手法として定着していました。しかし、新車種である Chiron に関しては、新たな性能範囲をカバーするだけでなく、将来、開発されるであろう車両向けにも拡張が容易になされるよう最適化されたテストソリューションを実現することが必要でした。具体的に言うと、エンジン、トランスミッション、およびピークルダイナミクスの ECU をシミュレータに接続してテストできる環境を構築し、ピークルダイナミクスを含むパワートレイン全体を詳細にシミュレートできるようにすることが不可欠だったということです。

シミュレーションプラットフォームの評価

Bugatti 社では、市販のさまざまなシミュレーションモデルやシミュレータを評価し、要件に適していた dSPACE 製シミュレーションソリューションを導入することにしました。このソリューションは、あらゆるコンポーネントを含む車両全体を再現できる詳細なシミュレーションモデルと HIL シミュレータで構成されています。車両の再現には、Automotive Simulation Models (ASM) ツールスイートの数学モデルを使用します。これにより、同社の開発者は、次のモデルを使用して車両やパ

ワートレインを正確に仮想化できるようになりました。

- W16 エンジン：ASM Gasoline Engine
- 7 ストロークデュアルクラッチトランスミッション (DCT) ASM Drivetrain
- シャシおよびピークルダイナミクス：ASM Vehicle Dynamics

シミュレータおよびモデルの設計とパラメータ化

同社では、電気 / 電子システムや ECU の各種データだけでなく、エンジンやトランスミッションの仕様も取り入れてシミュレータの計画と設計を行うとともに、仮想化された車両と実 ECU の接続用インターフェースとなる I/O モデルも作成しました。次に設計からモデル構造を導き出し、パラメータ設定の要件を定義しました。パラメータの精度は、シミュレーションの品質を示す尺度となるものです。これらは設計データや計測値などから取得されます。同社のチームでは、テストベンチの計測を行うことにより、パラメータの設定に使用するための精細に分解された特性マップを生成することができました。その後、ASM ライブラリのソフト ECU を使用して、パラメータ設定の妥当性を検証しました。さらに、I/O モデルと実 ECU を含めた妥当性確認を行いました。これにより、計測された基準値とシミュレーション結果の比較を含め、シミュレータ全体を稼働させるための基礎が整いました。同社のこの作業は、dSPACE の専門技術者と緊密に協力して行われました。 >>

「実際に時速 450 キロメートル以上の速度範囲で車両を走行させる前に、dSPACE シミュレータを用いて総合的な調査とテストを行いました。そして私たちは、あらゆる問題を早期の段階で発見することができたのです。」

Alexander Riedel 博士、Bugatti 社



画像提供：© Bugatti



画像提供：© Bugatti

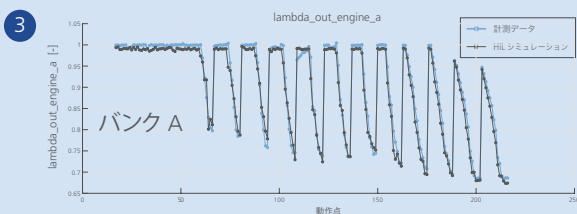
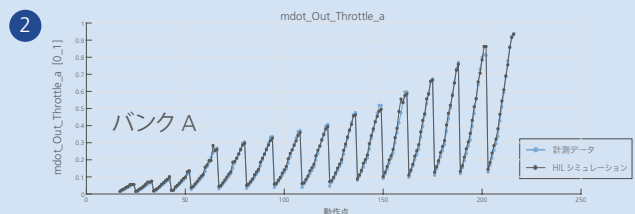
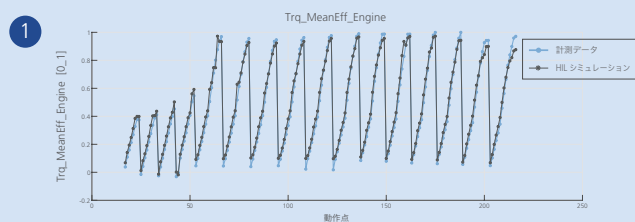
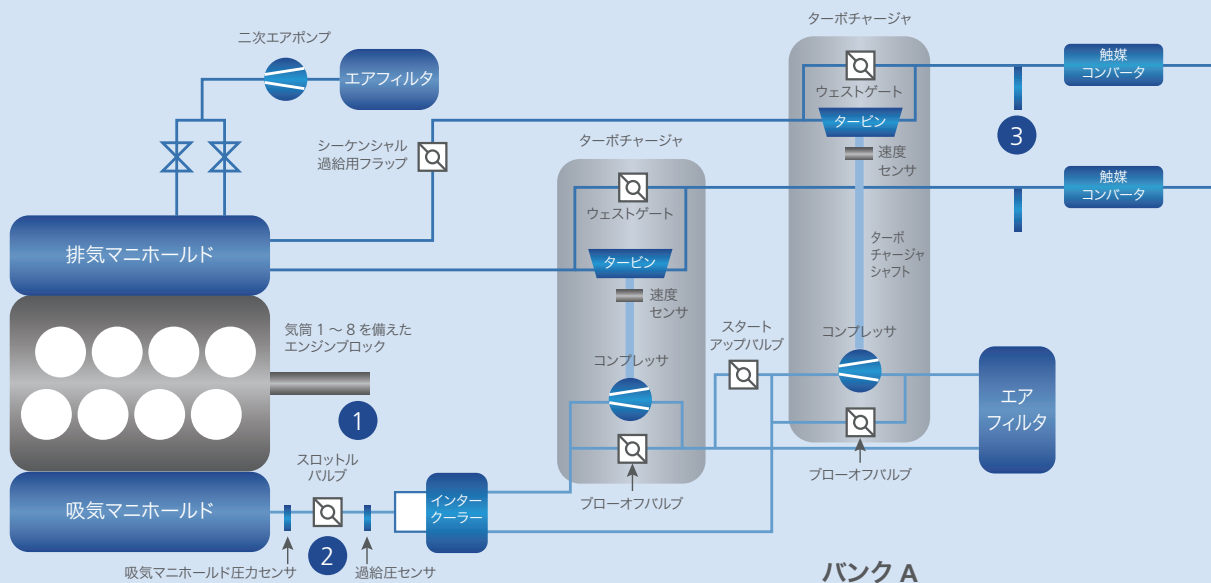


シミュレータによる開発およびテスト作業

Bugatti 社のチームでは、さまざまなテストに HIL シミュレータを活用しています。これは、従来のステップで新しいソフトウェアバージョン向けのリリーステストを行う場合も同様です。このステップでは、まず新しいソフトウェアを使用して HIL シミュ

レータで ECU をテストします。このテストに合格しないかぎり、ソフトウェアが本物の量産車に移植されることはありません。たとえば、エンジンやトランスミッション用ソフトウェアの妥当性を確認する場合は、シミュレータを使用して特定の回転および負荷範囲でオンボード診断 (OBD) テスト

を実施します。これらは標準化されたテストでありながら、メーカーごとに仕様異なります。また、このテストは開発車両の走行中にも継続的に行われます。テストでは、正確にエラーに回答しているか、回答が適切に生成されたか、そして ECU のエラーメモリに正しくエラーが出力されている



モデリングされた W16 エンジンのバンクと計測、およびシミュレートされた信号のダイアグラム。シミュレーションが高精度である証拠に、2 つの信号が重なって表示されています。

ENGINE

画像提供：© Bugatti



画像提供：© Bugatti



画像提供：© Bugatti

るかが確認されます。開発車両は世界中でテストされますが、同社ではHILシミュレータを使ったさらに別種のテストも行いました。それはテストドライブ中に発見されたエラーの再現にもHILを使用するというものです。エラーの再現は、ドイツのヴォルフスブルク近郊にあるエーラ=レッシェンなど、同一のルートを持つテストコースの中の仮想ドライブによって行われました。またシミュレータの強みを活かし、機能テストも同時に実行されました。シミュレータであれば、たとえば運転動作に影響に及ぼすような応答を時速400 km以上でテストすることも可能なうえ、それに関してリスクがありません。機能テストでは、過熱、点火不良などの制御方式も検証されました。これも、シミュレータを活用したことにより、開発タスクをサポートできたという実例です。つまり同社では、リアスポイラ調整、アクティブエアロダイナミクス、およびレベルコントロールの制御システムなど、多様な電子システムを開発の早期の段階でテストし、これらを相互作用させながら最適化できるようになったのです。

テストオートメーションによる品質の向上

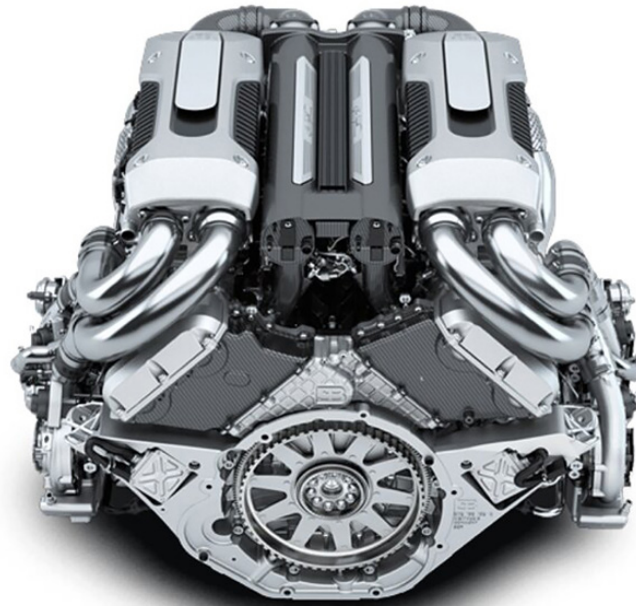
同社では、24時間365日いつでもテストを実行できるようにするため、dSPACEのテストオーサリングおよび自動化ツールであるAutomationDeskを使用しています。AutomationDeskには、あらかじめ定義された幅広いテストステップを備えたライブラリが用意されており、シミュレーションモデル、欠陥生成ユニット(FIU)、またはアプリケーション/診断ソフトウェアなどを利用することができます。これにより開発者はテストを自動化してテストカバレッジを高めたり、ECUソフトウェアの

品質を向上させたりしながら、時間とコストを削減することができます。

テストソリューションの評価

同社がBugatti Chiron Super Sport 300+の世界最速記録の実現に取り組む際にも、dSPACEシミュレータはその優れた再現性を活かし、大きな役割を果たしました。同社の開発者は、dSPACEシミュレータを活用することで、車両の動作を詳細に調査し、性能の極端な範囲においても深く知ることで、その結果に基づいて開発プロセスを早期から調整することが可能になりました。また、ASMシミュレー

ションモデルを用いることで、パワートレイン、シャシ、およびボディ分野の関連コンポーネントのマッピングをリアルタイムに行うこともかないました。これらのコンポーネントには、ターボチャージャーと可変バルブタイミングメカニズムを含む両方のバンクを備えたW型エンジン、デュアルクラッチトランスミッション(DCT)、4輪駆動用のHaldexクラッチ、アクティブショックアブソーバ、ディファレンシャルロック、アダプティブリアスポイラなどが含まれます。同社では、ASM DCTモデルを用いることで、シフトカラーの位置変化、ギア変更時のすべてのシャフト間のトルク同期、 >>



画像提供：© Bugatti

Bugatti社の車両の心臓部：伝説的な16気筒W型エンジン

「当社のプロジェクトが成功した大きな要因は、安定して続く、dSPACE担当者との良好な業務関係でした。彼らが当社のプロジェクトを柔軟かつ献身的にサポートしてくれたことに感謝しています。」

Alexander Riedel 博士, Bugatti 社



試験ソフトウェアである ControlDesk により、Bugatti 社の車両をシミュレートし、仮想テストドライブを実行します。

およびトランスミッションの位置制御とトランスミッション調整をテストしました。テスト範囲は、診断機能のテストやテスト結果の総合的な分析をも含んでいます。また、拡張性にも優れたシミュレータのおかげで、イオン電流の計測作業をシステムにすばやく統合するといったことも実現できました。これは、Bugatti 社と dSPACE の担当者間の緊密な連携により可能になったものです。

まとめ

Bugatti 社のような少量生産のメーカーは、開発ツールへの投資を単純に大量生産によってカバーすることができません。それでも、Bugatti 社が HIL システムを採用する背景には、出費に十分に見合う大きな理由が 2 つあります。

- 1 つ目は、このクラスの車両においては、多くの機能が極限の性能域を求められるにもかかわらず、確実に必要な品質

基準を達成できるという点です。

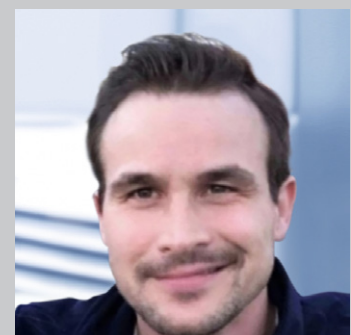
- 2 つ目は、開発タスクの一部を HIL シミュレータに移行して他の作業を補完することは明らかに合理的であり、実車やテスト車両で必要なテストの数を削減できるなど、開発効率が向上するという点です。

Alexander Riedel 博士、Bugatti 社

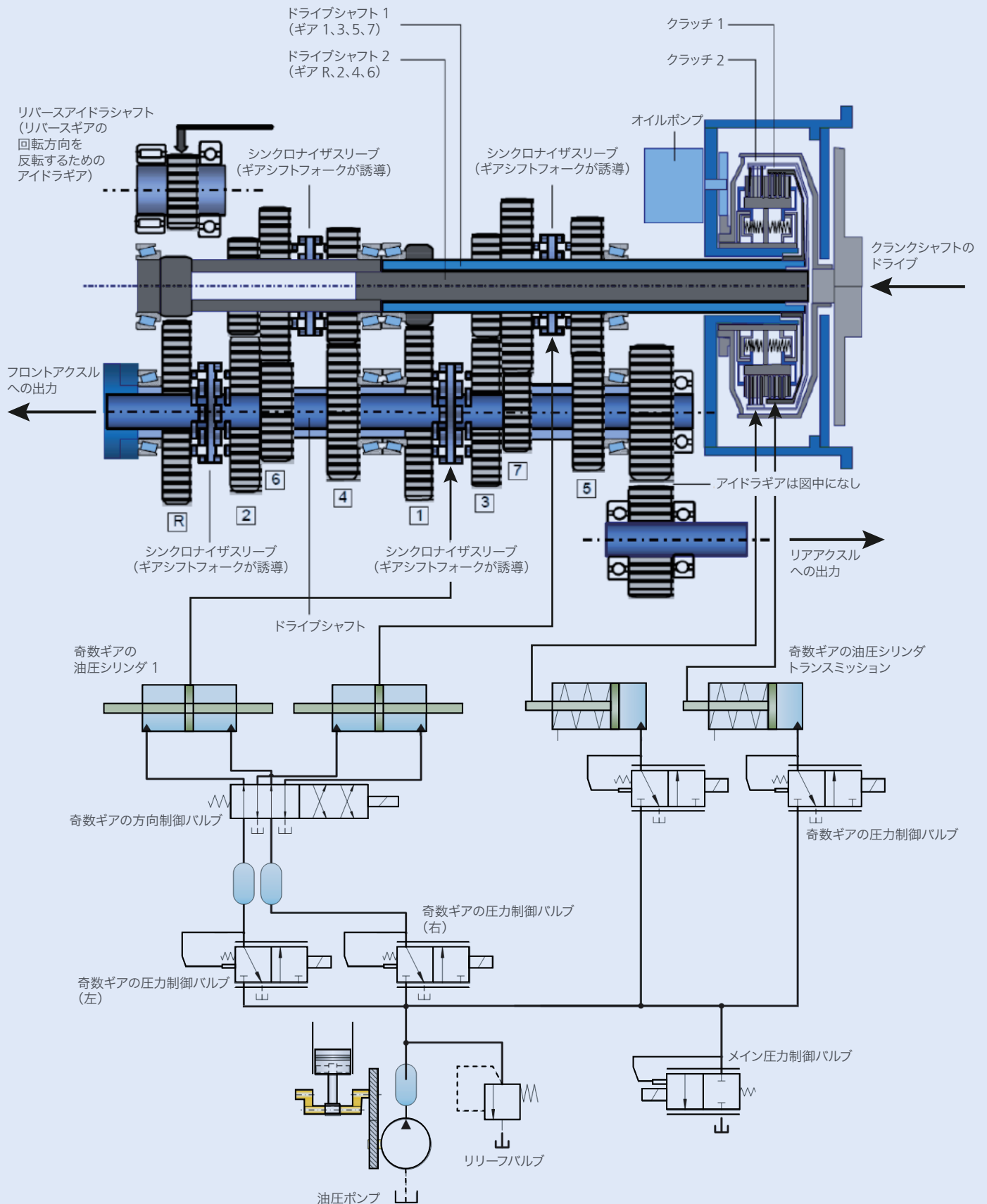
「当社では、ASM シミュレーションモデルを用いて、関連するすべてのパワートレインコンポーネントをマッピングしています。」

Alexander Riedel 博士、Bugatti 社

Alexander Riedel 博士
エンジンアプリケーション BG-EA/2、
Bugatti 社



dSPACE の 3D オンラインアニメーションソフトウェアである MotionDesk でビジュアル表示され、仮想テストコースを走行する Bugatti 社の車両



デュアルクラッチトランスミッションの詳細モデルからの抜粋。ここで示されている油圧制御は ASM デモモデルから抜粋したものであり、このモデルが Bugatti 社の車両の油圧機器に適合するよう調整されました。