



実エンジン ECU とエンジンモデルを組み合わせた バーチャルテスト環境を DYN4 で実現

ボッシュエンジニアリングは、クルマの制御の最適解をバーチャルな環境でも研究できるように、同社製の実エンジン ECU に過給機付き直噴 4 気筒エンジンのプラントモデルを組み合わせたバーチャルなテスト環境（HILS 環境）を、ベクターの DYN4 などを用いて構築しました。適合時間の短縮などの効果を得ています。

開発やテストの効率を高める バーチャルテストドライビング

シミュレーション技術の向上を背景に、クルマの一部または全部の挙動をコンピュータ上に再現するバーチャルテストドライビングの活用が広がっています。

あらためて説明するまでもありませんが、バーチャルテストドライビングのメリットとしては、実車や実部品を用意することなく開発や検証が行える、道路環境や天候などの条件を任意に設定できる、障害や故障を安全に再現できる、実車や実部品を使う場合に比べて期間やコストを大幅に削減できる、などが挙げられるでしょう。

バーチャルテストドライビングを実現するツールがベクターの「DYN4（ダイナフォー）」です（図 1）。乗用車や商用車などを対象にした車両ダイナミクス、パワートレイン、エンジン、電気モーター、各種センサー、ドライバーなどの物理モデルが提供されるとともに、業界標準の道路ネットワーク規格である

ASAM OpenDRIVE に対応していますので、任意の地形に沿った道路で仮想的なクルマを走らせることができます。

エンジン ECU の適合を目的に DYN4 でバーチャル環境を構築

ボッシュ株式会社の 100% 子会社であるボッシュエンジニアリング株式会社（本社：横浜市）は、エンジン ECU の適合作業を加速させるために、DYN4 を用いたバーチャルテスト環境の構築に取り組みしました。

「自動車業界が大きく変わろうとしている現在、エンジンかモーターかを問わず、あるいはレーシングカテゴリーか乗用車かを問わず、クルマの制御の最適解を実機だけではなくバーチャルな環境でも研究していくことが重要と考え、バーチャルテストドライビングの環境構築を進めることにしました」と、同社モータースポーツ部テクニカル エキスパート エレクトロニクスの加藤丈博氏はプロジェクトの主旨を説明します。

DYNA4

Virtual Test Driving

テスト対象のユーザー車両制御システム

- ▶ MIL/SIL 開発
- ▶ HIL 実機 ECU テスト

テスト対象車両

- ▶ リアルな車両ダイナミクス
- ▶ 車両内部の状態センサー
- ▶ 仮想ドライバーの運転タスク
- ▶ スロットル、ブレーキ、ステアリング、スイッチなどの操作

静的環境 (OpenDRIVE)

- ▶ 路面特性と車線表示を含む道路網
- ▶ 交通標識と信号
- ▶ 地形、建物、植生



動的環境 (OpenSCENARIO)

- ▶ 照明、霧、降雨
- ▶ 車両、歩行者、動物
- ▶ 決定論的な交通タスク
- ▶ シナリオ・イベントへの反応
- ▶ 確率論的な交通を提供

環境認識

- ▶ カメラ、レーダー、ライダー、超音波
- ▶ オブジェクトリスト、ターゲットリスト、物理ベースのセンサー生データ、グラウンドトゥールズデータ (OSI)
- ▶ 車両ダイナミクスに応じたリアルなセンサー動作

図 1. 車両ダイナミクスシミュレーションを実現するベクターの「DYNA4」が提供するプラントモデルなどのさまざまなコンポーネント。このほかに、シナリオオーサリング機能やビジュアライゼーション機能を持つ。ベクターの CANoe や VT システムとの連携も可能

同社が選択したのが DYNA4 をはじめとするベクターのソリューションでした。「我々のミッションがエンジンの開発であれば、流体解析や燃焼解析が可能なツールを選んだと思います。しかし、我々がやりたいことはエンジン ECU の開発および適合であり、過度に複雑なエンジンモデルを扱って調整に多大な工数を費やすのは得策ではありません。エンジンのプラントモデルが Simulink で表現されているベクターの DYNA4 は、手軽に扱うことができ、使い慣れている CANoe との親和性にも優れていることもあり、我々の目的に最適と判断し、選定しました」と加藤氏は説明します。

なお、環境構築のために選定したエンジン ECU は Bosch Motorsports の「Engine Control Unit MS 6.4 EVO」(図 2)、実機データは同社がテストに使用している過給機付き直噴 4 気筒エンジンを再現しています。



図 2. Bosch Motorsports のエンジン ECU 「Engine Control Unit MS 6.4 EVO」。最大 12 気筒の制御が可能
サイズは 226mm × 181mm × 44mm

過給機付き直噴 4 気筒エンジンをモデル化

DYNA4 モデルを dII ヘビルドしてリアルタイム動作を実現

エンジン ECU の適合を対象としたシステムの構成を図 3 に示します。上記の「DYNA4」のほか、ECU・車両ネットワークのシミュレーションおよびテストツール「CANoe」、ハードウェア信号を扱うモジュール式テストシステム「VT システム」、CAN インターフェイスの「VN1630A」を組み合わせています。いわゆる HILS (Hardware-in-the-loop simulation) を実現するシステムです。

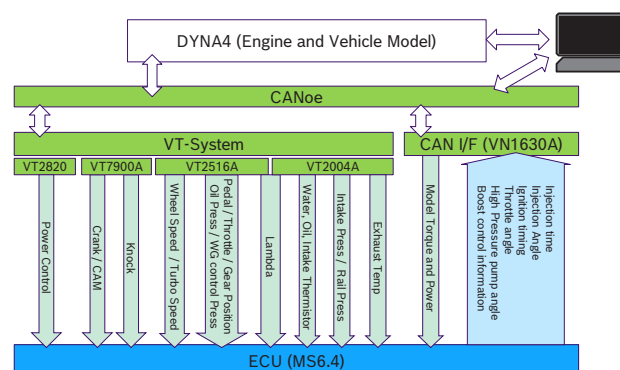


図 3. ボッシュエンジニアリングのバーチャルテストドライビングシステムの概略構成。ベクターの DYNA4、CANoe、VT システム、CAN インターフェイスを使用している。各センサーを模擬した信号を VT システムからエンジン ECU に与えている。また、エンジン ECU が出力する噴射タイミングや点火タイミングなどは、電気的な信号ではなく、CAN 通信でモデルに与えている

・DYNA4

DYNA4 が提供する各種プラントモデルのうち、エンジンモデル、車両ダイナミクスモデル、およびドライバーモデルを使用しています。エンジンモデルは、実エンジンで過去に取得した回転数とトルクの相関データなどを DYNA4 のプリプロセッシングツール (図 4) に読み込ませて、特性を合わせ込み、モデル作成を行っています。

なお、DYNA4 のベーシックエンジンモデルではモデル化されていない過給機のウェイトゲート (waste gate: 過給圧が過剰にならないように排ガスをバイパスさせるバルブ) 機能については、より詳細なサーモダイナミクスエンジンモデル (Option Thermo Cylinder Extension) を用いて対応しています。ウェイトゲートの機能を実現するために、サーモダイナミクスエンジンモデルの一部を組み合わせています」と、環境構築や適合検証を担当した同社開発部キャリブレーショングループの山田壮祐氏は説明します。

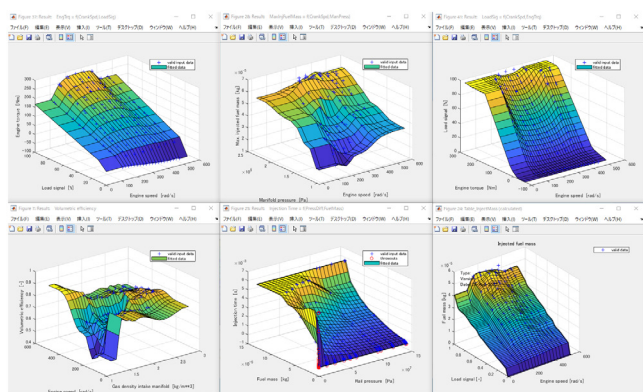


図 4. DYNA4 エンジンプリプロセッシングツール。特定のエンジンに適したエンジンモデルパラメータを準備

・CANoe

CANoe は、エンジン ECU に接続される VT システムおよび CAN インターフェイス (VN1630A) を制御する役割を担うとともに、エンジン ECU が出力した CAN バス上の値をエンジンモデルに伝える役割を担っています。

また、Simulink ベースの DYNA4 モデルを実行可能形式 (.dll) にビルドすれば、直接 CANoe で .dll ファイルを実行することができます。(※ランタイム版ライセンスの DYNA4 Run が必要)「ビルドすることで演算の負荷を低減させることができ、ノートパソコンでもリアルタイムのテストが可能になるため、基本的には CANoe 上でモデルシミュレーションを実行しています」と山田氏は説明します。

エンジンの HW エミュレーションに VT システムを活用

・VT システム

VT システムはエンジン周りのさまざまなセンサーを模擬した信号をエンジン ECU に与える役割を担っています。

図 3 でもっとも左側にある汎用リレーモジュール VT2820 はイグニッションスイッチを模擬した信号をエンジン ECU に対して出力します。

その隣の拡張モジュール VT7900A にはドーターカードとしてローテーションセンサーモジュール VT7820 を接続し (図 5)、クランク角センサーとカムシャフト角センサーを模擬した信号をエンジン ECU に与えています。また、ノックセンサーの出力を模擬した信号をクランク角に同期させて出力しています。

デジタルモジュール VT2516A からは、ホイール回転数 (パルス)、ターボ回転数 (パルス)、ペダル位置、スロットル開度、ギアポジション、油圧、ウェイトゲート制御圧をエンジン ECU に与えています。

さらに刺激モジュール VT2004A を使って、クーラント温度センサー、エンジンオイル温度センサー、吸気温度センサーのそれぞれのサーミスタ抵抗出力、吸気圧、燃料レール圧、および排気温度の熱電対出力をエンジン ECU に与えています。また、VT2004A と VT2516A を組み合わせてラムダセンサーに相当する信号を生成しています。

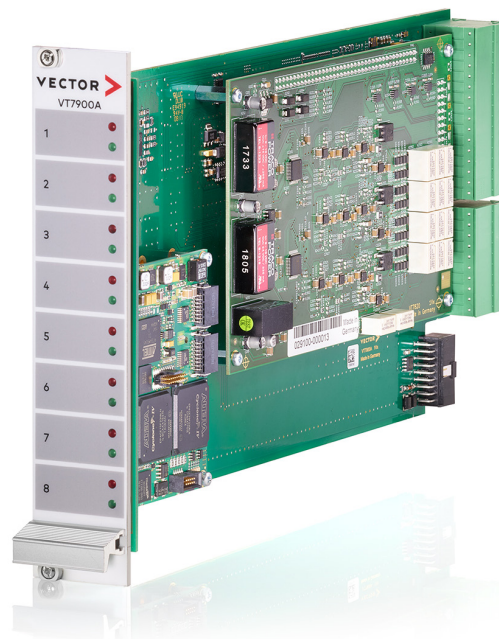


図 5. 拡張モジュール VT7900A とローテーションセンサーモジュール VT7820 (ドーターカード)。360°のエンコーダーホイールのパルス出力を模擬できる

リアルタイム性の要求は ソフトウェアを変更して対応

エンジン ECU が出力する各気筒の噴射信号や点火信号は、VT システムでサンプリングしたのち、CANoe または DYNA4 が動作するホストパソコンに Ethernet を介して転送する方法が、構成としてはもっとも素直です。ただし、一部のアナログ信号は、VT システムの汎用セットアップで対応する測定周期よりも短い時間で DYNA4 のモデルに取り込み処理される必要がありました。

山田氏は「この対策として、各気筒の燃料噴射タイミング、噴射時間、点火タイミングなどの信号をサンプリングしてモデルに与えるのではなく、それらの値を CAN バス経由でエンジンモデルに与えるように工夫しました」と説明します。スロットル角度、高圧ポンプ制御角度、ブースト制御情報なども同様に CAN バス経由でモデルに与えています。

CAN バス上の通信では、以上のほか、ロギングを目的にモデルのトルク値をエンジン ECU に伝える役割を担っています。

ベンチ上で 10 日間分の適合作業を DYNA4 の使用で 3 日程度に短縮

同社は 2022 年夏頃からシミュレーションシステムの構築作業を進め、セットアップや課題抽出などを経て、2022 年 12 月にはテスト対象エンジンの動きを DYNA4 でほぼ再現できることを確認したそうです。さらに 2023 年 2 月には、ウェイトゲートを対象にしたサーモダイナミクスエンジンモデルの追加導入を行っています。

CANoe のパネルデザイナーを使って山田氏が作成したダッシュボードを図 6 に示します。エンジン回転数、トルク、車速、ラムダ値などがメーターグラフィックスで示されているのが分かります。

山田氏は、「燃料噴射タイミング、燃料噴射時間、点火タイミングなどのパラメータを調整して、燃費を抑えつつ所定のトルクを得る適合作業において、500 パラメータ程度の適合を行う場合、エンジンベンチ上では 10 日間ほどかかる作業をバーチャルテストでは 3 日から 4 日程度で完了させることができました。合わせて、その後のベンチテストでその他の機能の適合にも自信を持って臨めるようになったことも大きなメリットです」と効果を述べています。また、150 リットルほどのガソリンをバーチャルに消費したそうで、資源の節減や CO2 削減の観点でも効果を得ています。

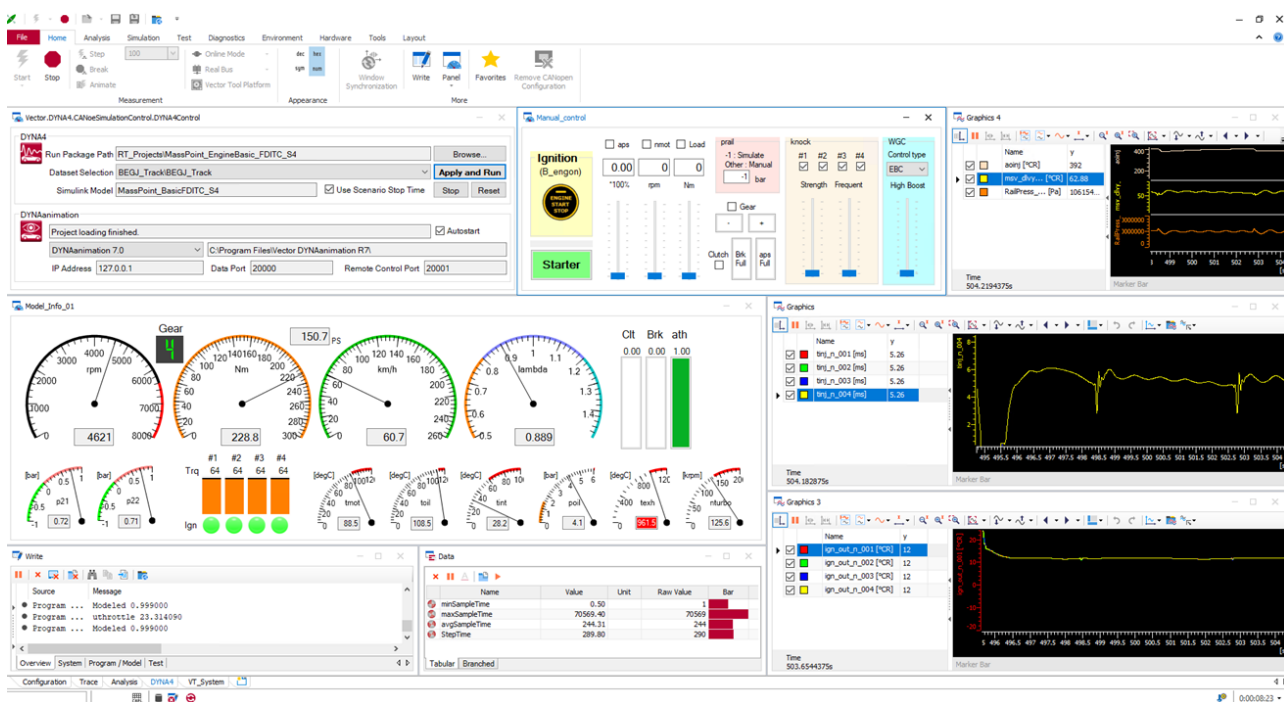


図 6. エンジン ECU のバーチャルテスト用に CANoe のパネルデザイナーを使って作成したダッシュボード。エンジン回転数、トルク、車速、ラムダ値、各部温度、ノッキング発生などがグラフィカルに表示されている

DYNA4 を活用し、バーチャルコースも構築 将来はエンジンに限らず幅広い活用を目指す

山田氏はその後、DYNA4 でバーチャルコースを作成し、エンジンモデルと実エンジン ECU を使いながらバーチャルドライビングを実現する環境も構築しています(図 7)。DYNA4 は、道路ネットワークを表現する ASAM OpenDRIVE にも対応し、ビジュアライズの機能も備えていますので、こうしたグラフィカルなツールとして活用できるのも特長です。

プロジェクトを総括して山田氏は次のように述べています。「CANoe などベクターのツールを使ってきた経験があったので、DYNA4 もそれほど難しくなく、とても使いやすいと思います。環境構築を始めた当時は細かいところで不明点もありましたが、ベクター・ジャパンが丁寧にサポートしてくれました。」

また、加藤氏は、「ベクター・ジャパンのサポートと山田さんの頑張りもあり、まずはファーストステップをクリアできました。こうした成果を量産車かモータースポーツかを問わずに有効活用しつつ、いずれはエンジンだけではなく EV (モーター) についても取り組んでいきたいと考えています」と述べています。

ベクターの DYNA4 にはさまざまなコンポーネントが用意されていて、AD/ADAS 機能の検証にも幅広く活用されています^[*1]。バーチャルテストドライビングを手軽に実現できるツールと言えるでしょう。

^[*1] DYNA4 のその他の事例は以下のページをご参照ください。

<https://www.vector.com/jp/ja/products/products-a-z/software/dyna4/dyna4-applications/>

画像提供元：

図 2、3、6、7 ボッシュエンジニアリング株式会社

表紙画像、図 1、4、5：ベクター・ジャパン株式会社

記載されている会社名、製品名は、各社の商標または登録商標です。
所属、役職、諸元、ソリューション名などは、2023 年 8 月時点の情報です。

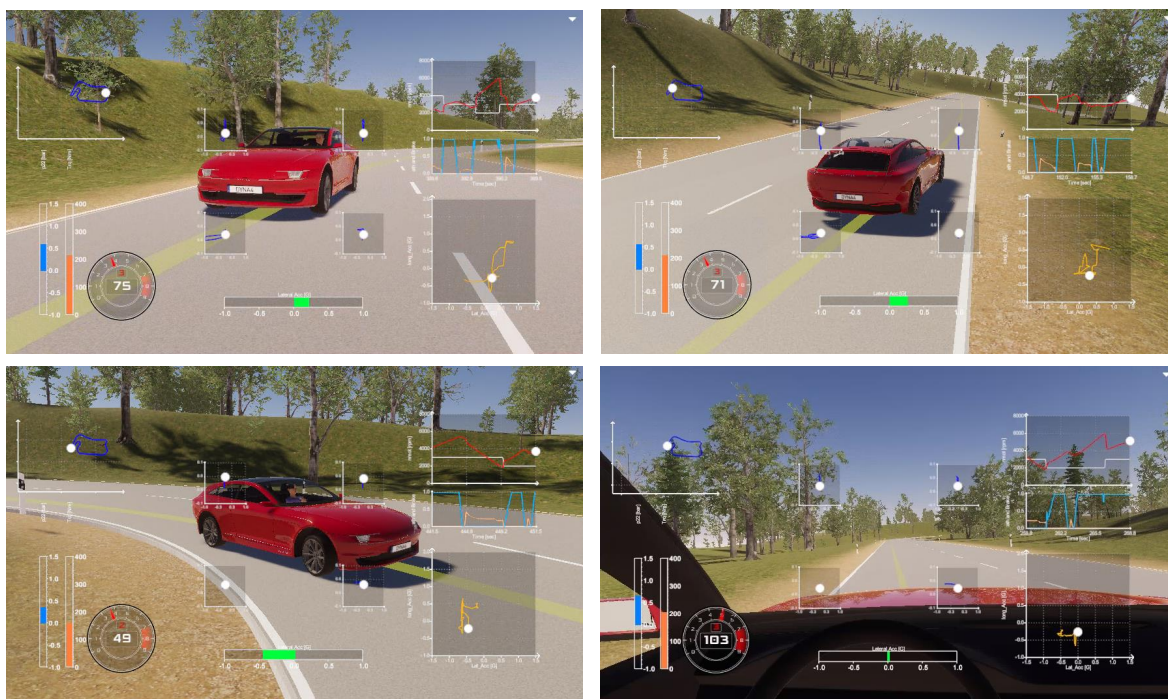


図 7. あるサーキットを模したコースを DYNA4 上に作成し、図 3 のエンジン ECU およびエンジンモデルを組み合わせ、バーチャルドライビングを実現。DYNA4 のビークルモデルやドライバーモデルなどを利用している

■ 本件に関するお問い合わせ先

ベクター・ジャパン株式会社 営業部

(東京) TEL: 03-4586-1808 (名古屋) TEL: 052-770-7180

E-mail: sales@jp.vector.com