

Feature Article

アプリケーション

バッテリー・エンジンのシミュレーションによる 電動系車両ドライブトレイン試験について

Testing Electrified Drivetrains for Vehicles without the Battery or Engine

Norm Newberger

Bryce Johnson

翻訳

鶴見 和也

Kazuya TSURUMI

ハイブリッド電気自動車(HEV)は、合衆国政府による144億ドル^[1]ものハイブリッド車両や電気自動車等(BEV=Battery Powered vehicle)、次世代車両ドライブトレイン推進政策により、持続可能な車両のアーキテクチャになりつつある。シリーズハイブリッドや電気自動車(BEV)はその推進力の100%を電気に依存している。シリーズハイブリッド車とは、内燃機関(ICE)を発電用動力源として用いることで電気を生み出している。一方でパラレルハイブリッド車は、電動モータと内燃機関が機械的なコンビネーションで動力を生み出している。いずれの場合でも、電動車両の駆動システムは電動モータ、駆動用バッテリーおよび、その電気を得るための補助的手法が必要となる。このような補助的電気供給源(APU=Auxiliary Power Units)としては、省サイズかつ高効率な内燃機関が一般的に用いられるほか、昨今のゼロエミッションの高まりから求められる燃料電池なども代替手法として挙げられる。HORIBAグループの仮想エンジン(VE=Virtual Engine)や仮想バッテリー(VB=Virtual Battery)は、新たなバッテリーパックや内燃機関の開発を待つことなく、電動系駆動システムを開発するためのHIL(Hardware-In-the-Loop)^[2]システム製品である。本稿では、HEV開発に関連するこの製品の特徴について、形状・機能および検証データについて説明する。

The hybrid electric vehicle (HEV) is becoming a sustainable vehicle architecture with the US government pouring 14.4 billion^[1] into stimulus projects that support drivetrains of new vehicles that are hybrid or battery powered (BEV). Both the series hybrid and BEV have 100% of propulsion energy coming from electricity. The series hybrid uses an internal combustion engine (ICE) to power a generator that produces electricity. The parallel hybrid powers the vehicle by a mechanical combination of electric motors and ICE. In all cases, the drivetrain needs an electric motor, a traction battery and an auxiliary method of obtaining electricity. These auxiliary power units (APU) are typically a downsized, highly efficient ICE or fuel cells for a zero emissions alternative. Horiba's Virtual Engine (VE) and Virtual Battery (VB) are HIL^[2] products that allow electric motor based drivetrain development without waiting for the new battery pack and ICE to become available. Relevant product features for HEV development are discussed in terms of form, function, and verification with data.

はじめに

過去、車両開発における検証、制御系の適合および妥当性確認といった過程では、試験車両をテストコースにおける検証から、舞台を実路走行のシミュレーションを行うシャシダイナモメータに移して試験されてきた。Figure 1にHORIBAグループ自動運転装置(STARS)と、ダイナモシステムコントローラ(SPARC)を用いたシャシダイナモ上での試験システムのイメージを示す。このようなシステムでは、車両を構成するほぼすべてのユニットが必要であるために、車両開発段階における困難さがあった。そこで、ダイナモコントローラ上で、車両を構成する一部のユニットをシミュレーションする機能を拡張することにより、ダイナモシステム上では供試体であるシステムやコンポーネントをダイナモシステムの台上で容易に接続することが可能となった。Figure 2には、実際のHEV用電動モータやISG^[4]を抱合した開発システムのイメージを示す。このイメージ図では、車両の運動性能を特徴付けるタイヤ・ファイナルギア・トランスミッションおよびトルクコンバータを含めた一連の動力伝達後のトルク、または速度設定はエンジン出力軸に接続したダイナモ上でシミュレーションされることを示している。しかしながら、この構成で車両全体を表現するには、エンジンとバッテリーパックが不可欠である。それらは、どちらも高価でか

つ、全く異なる開発組織で、異なるサプライチェーンを持った開発過程を経る製品である。また、電動モータは、パワートレインの中での配置に熟慮を要する。電動モータは、トランスミッションに接続するだけでなく、ドライブシャフト軸やインホイール、あるいはエンジン出力軸に接続して、補助動力として接続するような場合もある。このように様々な使い方がある場合には、車両としての適合が非常に複雑となるため、非常に早い開発段階でのテストを必要とする。バッテリーパックの電力は、バッテリーの化学的特性から作成されたリアルタイムモデルをプログラム運転可能なDC/DCコンバータを用いて、出力電圧をシミュレーションして出力される。さらには、エンジンについては機械的特性と燃焼プロセスの特性を元に作成されたリアルタイムモデルを用いて、トルク出力をシミュレーションしている。Figure 3には、ハードウェア上で仮想バッテリーおよび仮想エンジンから電力および動力を供給しているイメージを示す。本稿では、仮想バッテリーおよび仮想エンジンに焦点をあて、特にHEV開発に関連する機能について、実際のエンジンやバッテリーとの比較調査した結果を紹介する。

仮想エンジンの機能

エンジンシミュレーションは、駆動系試験機の入力側ダ



Figure 1^[3]

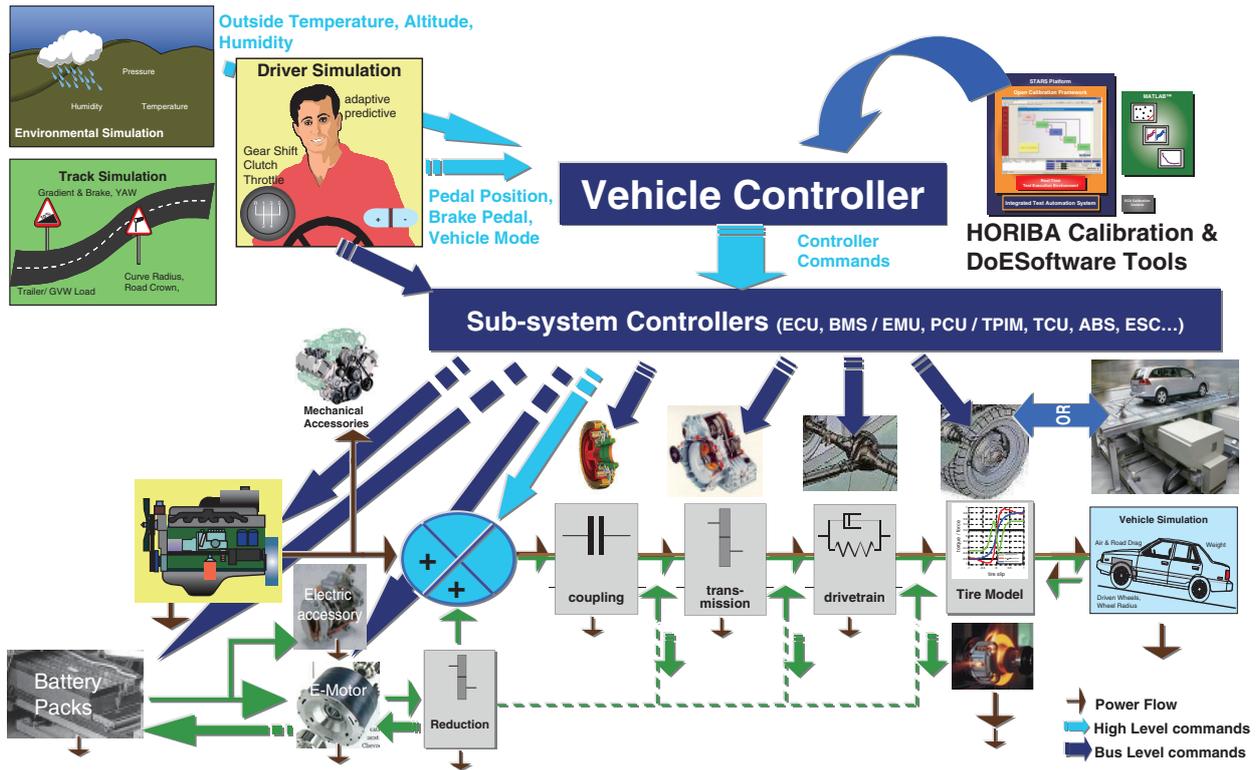


Figure 2

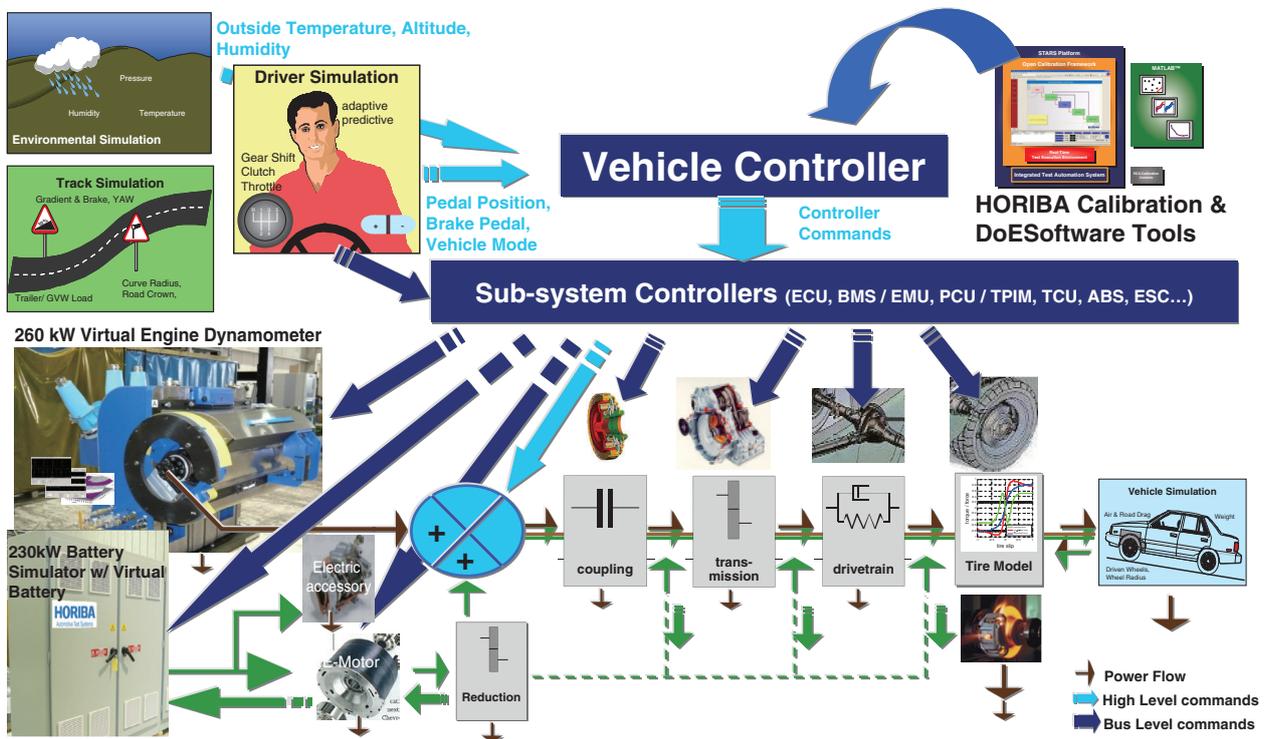


Figure 3 Simulation Diagram: VB & VE in drivetrain test stand (loading dynamometer not shown)

イナモータを制御する機能である。このエンジンシミュレーション機能を用いてトランスミッション制御CPU(以下TCU=Transmission Control Unit)に対して模倣的なセンサ信号や、TCUが必要とするデータや模擬センサ

信号を通信し、あたかも実際のエンジンのように振舞うことが可能である。さらに、このエンジンシミュレーションは大気圧等の条件によってエンジン出力が変化するように、試験室または仮想条件としての試験環境の変化に合

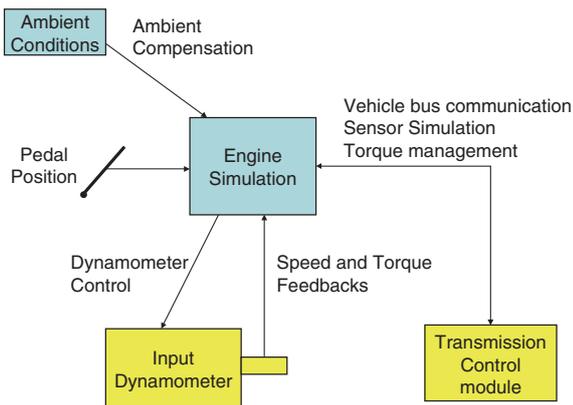


Figure 4

わせた出力変化をシミュレーションすることが可能である。Figure 4に仮想エンジンシステムの周辺装置とのつながりを示す模式図を示す。

駆動系に対する仮想エンジンのシミュレーション機能

エンジンシミュレーションとは、エンジンマップ、エンジン制御システム、および実際のエンジンと同様のパラメトリックモデルおよびその適応制御から構成されている。エンジン制御システムは、クランキング(エンジン始動と停止)挙動、アイドル状態やシフトチェンジ中のエンジントルク低減などをシミュレーションしている。また様々なエンジンECUからの制御信号遅れ時間も再現することが可能である。パラメトリックエンジンモデルとは、エンジン機構部品の運動特性(ピストン・コンロッド・クランクシャフトやフライホイール等)と筒内圧からエンジンの出力トルクパルス进行計算している。さらに、その適応制御とは、エンジンからの出力トルクパルスに沿った応答でトルクを出力することを保証している。また、この機能では、周波数や次数の制限も可能である。エンジンシミュレーションは以下のような機能を持っている。

- (1)慣性シミュレーション
- (2)スロットルおよびペダルマップシミュレーション
- (3)変速中のトルク低減シミュレーション
- (4)ECUによるその他トルク制御機能
- (5)エンジンクランキング
- (6)エンジンアイドルコントロール
- (7)イグニッションシミュレーション
- (8)惰行運転シミュレーション
- (9)フューエルカットやスロットル全閉シミュレーション
- (10)燃焼中のエンジントルクパルスシミュレーション(ETPS)

- (11)気筒数制御
- (12)エンジン補機負荷シミュレーション
- (13)環境条件によるエンジン出力変動シミュレーション

ETPSでは、燃料の違い(ガソリン・ディーゼル)や給気圧の違い(ターボ・スーパーチャージャー・自然吸気)による波形の違いまでの表現も可能であるほか、単気筒から16気筒までの2サイクル・4サイクルの波形の再現が可能である。Figure 5, Figure 6に示す2つの波形は、HEVで用いられるエンジンの異なるエンジントルクパルスを示す。これらの異なる波形は、エンジンの異なる仕様によって特徴つけられている。

ペダルマップシミュレーション

現在のエンジンテクノロジーでは、フライバイワイヤ方式によるスロットルコントロールを用いている。そのため、エンジンシミュレーションでは、ペダルの踏み込みからスロットル開度指令のプロセスを含めたシミュレーションが必要とされる。このシミュレーションのためには一般的にペダルの動きに応じて、ECUが制御するスロットル開度信号へ変換するペダルマップが必要とされる。そしてこの過程を経て算出されたスロットル開度を元に、エンジン出力マップに応じたトルクが出力される。このペダルマップは高度に車両適合と結びついている。Figure 7では、ペダルからスロットル開度を決定するプロセスの概略を示している。

エンジントルクマップシミュレーション

エンジンは一般的にスロットルによってコントロールされている。よって、スロットルの設定とそのときのエンジン回転数によって、エンジンはその性能に応じたトルクを生み出す。一方、動力計では回転数またはトルクがコントロールされている。エンジンとは異なり、電気式動力計では無回転時が最大トルクを生み出している。エンジンをシミュレーションするには、あたかもエンジンのようにスロットル開度に応じてトルクを生み出し、かつその出力トルクに応じた動力計のトルクをいくつかのコントロールする手法が必要とされる。エンジントルクマップシミュレーションとは、そのエンジン出力トルクを模擬する機能である。Figure 8にエンジンシミュレーション上でのエンジンマップを示す。スロットルの入力値と、計測値である動力計回転数から、シミュレーションマップ上でエンジンが生み出すべきトルクを算出する。多くの車両がフライ

Maximum Torque Curve of Engine over 2 Crankshaft Revolutions

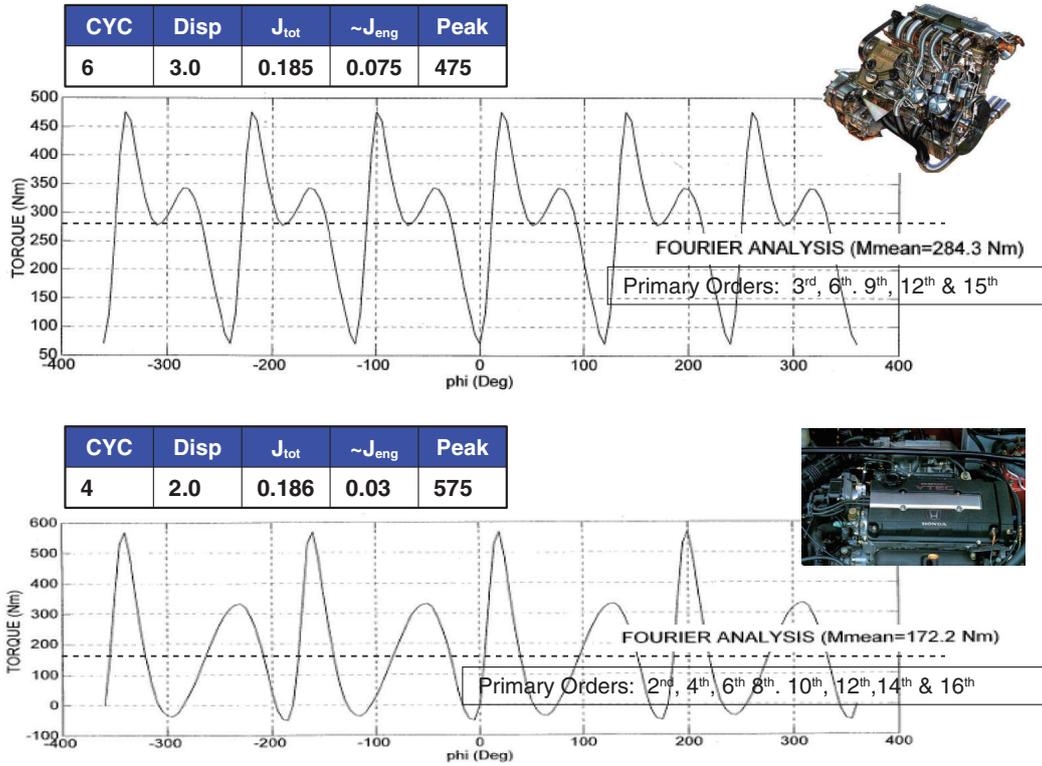


Figure 5

Maximum Torque Curve of Engine over 2 Crankshaft Revolutions

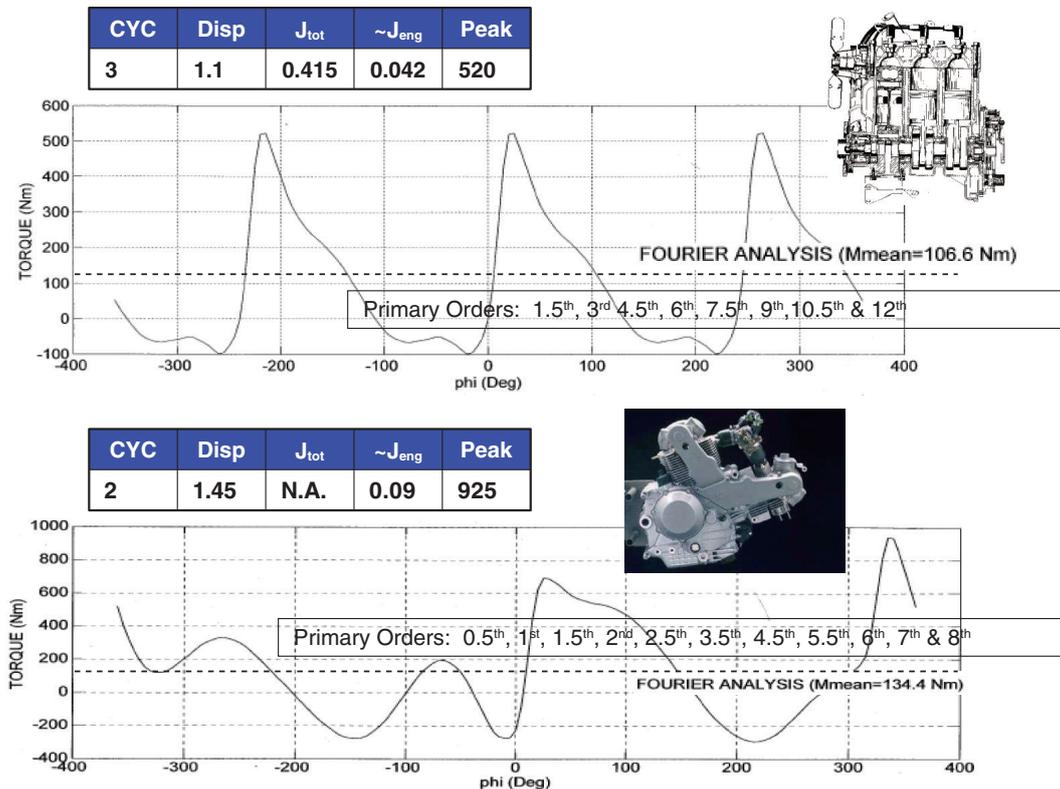


Figure 6