

Feature Article

特集論文

ハイブリッドパワートレインの試験設備

George Gillespie

近年、ハイブリッドパワートレイン開発の急速な進展により、パワートレインの開発設備や試験装置に新たな対応が必要となっている。本稿では、パワートレイン統合の技術設計、制御系統と電気系統の統合マネージメント設計、HIL (ハードウェア・イン・ザ・ループ)を含む試験設備でのハイブリッドパワートレイン開発について説明する。さらに現在そして将来のハイブリッドパワートレインの特徴や、必要となる試験装置や試験要件などのソリューションを紹介する。

はじめに

すでに発売されている車両や現在開発中の車両も含め、ハイブリッド車(HEV)の台数は急増している。そのためパワートレイン(駆動伝達系)のOEM元や一次部品メーカーにとって、HEVパワートレインシステムに適した試験施設、ツール、開発方法の確立は急務である。HEVパワートレインの機能や特徴は従来のガソリン車やディーゼル車と共通する点も多いのだが、中核技術や性能面に違いがあるため開発工程において新たな要件が求められている。

HEVの動力源によって、パワートレイン構成要素の“最適な組み合わせ”はさまざまである。HEVパワートレインは一般に、マイクロ、マイルド、フルの3種類(後述)に大別される。その種類にもよるが、米国運輸省が定義するHEVパワートレインには従来車にはない構成要素やシステムが多く含まれる。HEVパワートレインの基幹システムに含まれる主な構成要素を次ぎに挙げ、図1に示す。

- ・従来型パワーユニット(ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンなど)
- ・電気モータとコントローラ
- ・エネルギー蓄積システム(バッテリー、ウルトラキャパシタ^{*1}など)
- ・バッテリー充電用プラグ

- ・ハイブリッドパワーユニットの燃料系統
- ・統合型トランスミッションとコントローラ

*1: 大容量低インピーダンスのキャパシタ

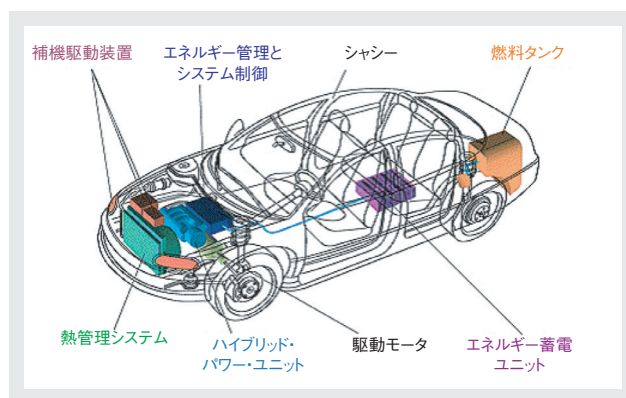


図1 HEVパワートレインの構成要素

HEVパワートレイン開発の難しい点は、パワートレインを一体として動作させるためのエネルギーマネージメントシステムが必要なことである。燃費、排ガス、操作性などの性能目標を達成するには、統合された駆動系における高度な出力制御が要求される。HEVの場合、ブレーキ系統についても同様の制御が必要である。従来車の場合、減速時には運動エネルギーが捨てられている。一方、HEVの種類によっては、回生ブレーキの搭載により、運動エネルギーをバッテリーに回収・蓄積し電力として再び使用することができる。これにより全体的な燃費が向上

する。さらに一部のHEVでは、バッテリーシステムの寿命を延ばす目的で、ウルトラキャパシタを採用している。ウルトラキャパシタは回生ブレーキによって発生する高出力の蓄電特性と発進時の放電特性に優れている。

さらに、パワートレインや車両の開発では各工程を短期間かつ並行して進めるのが通常である。従って開発段階ではパワートレインや車両が未完成で実際に使用できないため、その構成要素を正確なシミュレーションで補う必要が出てくる。

ハイブリッドパワートレインの技術

ハイブリッドシステムは渋滞時の燃費が良いという特性があり、発進・停止の繰り返しや低速走行の多い都市部での使用に適している。一方、高速での走行や混雑の少ない交通条件での走行のように高効率での燃焼や動力伝達を要求される用途にはディーゼル車の方が適している。しかし、今までディーゼル車の開発・普及に注力してきた欧州でも、すでにハイブリッド技術の開発が始まっている。これは環境規制の強化や顧客需要の拡大、ディーゼル後処理システムのコスト増大と複雑化、そして世界の各市場を視野に入れた製品ラインナップを揃える必要性などが理由である。

マイクロハイブリッド

マイクロハイブリッドは、欧州メーカーやサプライヤ数社が開発・生産に着手している。モジュール式のため、ほぼ従来通りの電気系・バッテリーと改良型のスタータ・オルタネータ^{*2}を使用することで、既存のパワートレインシステムに簡単に追加できる。さらにアイドルストップなどのエンジンの停止・再始動にも対応している。

*2: 交流発電機

マイルドハイブリッド

マイルドハイブリッドは、日本や欧州で開発・生産が進められている技術である。出力は通常30 kW未満でパワートレインに機械的に統合されている。ニッケル水素電池やリチウムイオン電池などの先進のバッテリー技術を採用しており、電気系統はマイクロ型よりも高電圧の100 V以上となっている。エンジン停止・再始動のほか回生ブレー

キ技術にも対応している。高出力であるため性能の向上やエンジンの小型化が見込まれる。

フルハイブリッド

フルハイブリッドシステムは、日米を中心に開発・生産が行われ、欧州がこれに続く形となっている。フルハイブリッドの出力は最大約80 kW、電圧は300 V以上になる。ニッケル水素電池・リチウムイオン電池のほか、スーパーキャパシタによるエネルギー蓄積も検討されている。フルハイブリッドはマイクロやマイルドと大きく異なり、エンジン停止状態でも電気モータのみで推進力が得られる。主に都市部での低速走行に使用される。フルハイブリッドは高出力であるため、燃費や性能面のメリットが大きい。

マイクロハイブリッドはエンジン補機駆動に、マイルドハイブリッドはエンジン出力やフライホイールとエンジンに、それぞれ機械的に統合される。フルハイブリッドはトランスミッションや駆動系への高度な統合が必要で全体的な設計はより複雑である。また車重も重くなる。

開発要件

各ハイブリッドシステムにはそれぞれの開発要件がある。ハイブリッド技術の開発工程における開発要件は、通常、マイクロ、マイルド、フルの順で段階的に増加していく。

マイクロハイブリッド型パワートレインシステム

エンジン機械系

マイクロハイブリッドの概略図を図2に示す。マイクロハイブリッドではエンジンハードウェアの変更点がありません。試験設備に求められる追加条件も少ない。多くの場合、エンジンはトランスミッションや駆動系とは独立のユニットとして開発されるため、従来のエンジン試験設備が使用できる。ただし、エンジン前面から駆動されるスタータ、オルタネータへの過渡負荷が増えるため、新たにFEAD(前面補機駆動)試験が必要になる。さらに、エンジントルクのシミュレーションを含む装置試験を実施することが理想的である。

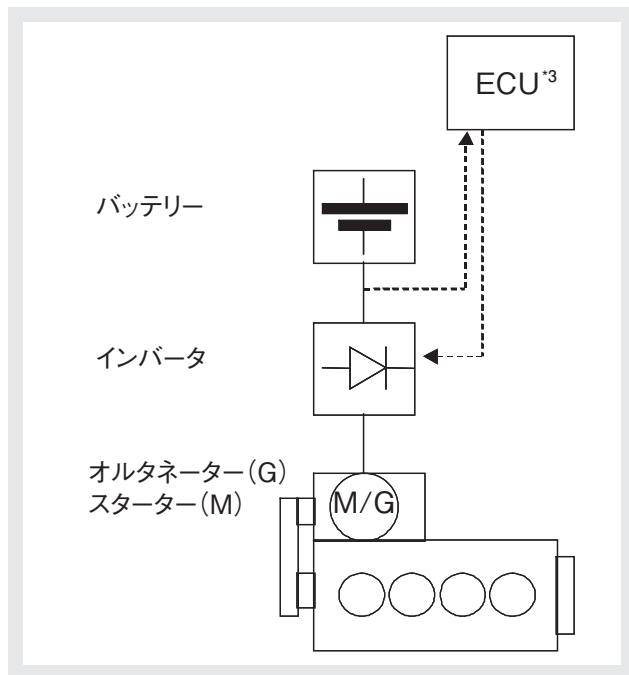


図2 マイクロハイブリッド概略図
*3: エンジンコントロールユニット

エンジン電気系

通常は従来型の12~42 Vの電気システムを使用するが、全体的な出力は増加する可能性が高い。通常、エネルギー管理は簡単で従来のエンジン制御システムに組み込まれているが、エンジン試験設備ではバッテリーのシミュレーションを行う必要がある。

ハイブリッド駆動システム

ハイブリッド駆動システムはFEADやエンジン停止・再始動に限定されるため、特別な開発要件はない。

トランスミッション

トランスミッションの追加の開発条件はない。

パワートレイン運転モード

主要な運転モードはエンジン停止・再始動である。試験設備でのシミュレーションでは、試験駆動系とエンジンの接続を外す、つまり“クラッチを切る”必要がある。低レベル回生ブレーキのシミュレーションによって動力性能が決定付けられるのだが、一般にこのシミュレーションは通常のエンジンダイナモメータで実施可能である。

マイルドハイブリッド型 パワートレインシステム

マイルドハイブリッドの概略図を図3に示す。マイルドハイブリッドでは、燃焼ユニットと電力ユニットが統合されていることから、開発工程と設備はマイクロハイブリッドより複雑である。マイルドハイブリッド型パワートレインの開発には、マイクロハイブリッドの要件に加えさらに次の2つの基本的アプローチが必要になる。

- ・パワートレイン以外の要素に関する広い範囲のシミュレーションによる、構成要素別のモジュール式開発
- ・パワートレインの完全統合とキャリブレーション

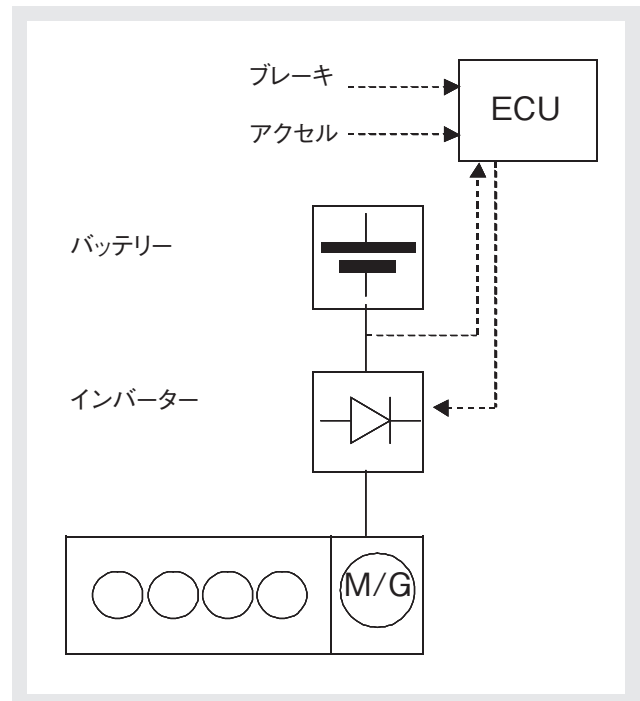


図3 マイルドハイブリッド概略図

機械系・電気系とハイブリッドシステムの開発

システム全体の開発の方法論として、マイルドハイブリッド型パワートレインを構成要素へと分割するモジュール式のアプローチが可能である。開発の初期段階では個々の構成要素やモジュールに集中し、駆動系のその他要素はシミュレーションで対応する方法が現実的である。モジュール式開発方法の成否を握る要素を以下にあげる。

- ・制御システム開発から全構成要素試験までシミュレーションモデルに一貫性があること

- ・固定ではなく実環境データに基づいた負荷特性による試験手順の一貫性があること
- ・さまざまな試験に統合できる柔軟なHILシステム^{*4}
- ・次の項目が実施できる適切な負荷装置
 - ・最大144 Vの可変電源でのバッテリー電気試験
 - ・最大144 Vの可変電源でのインバータ電気試験
 - ・従来のダイナモメータを使用したエンジンと発電機の機械試験
 - ・超低慣性ダイナモメータを使用したエンジン単体の機械試験
 - ・インバータとバッテリー構成部品の実環境シミュレーションと振動シミュレーション
 - ・構成要素からパワートレイン全体の試験や車両試験までの環境シミュレーション

ハイブリッドパワートレインは低いエンジン速度でも高い合計トルクを出力する。そのためエンジンと電気モータの組み合わせ試験を実施する場合は、エンジン試験設備として高トルク容量のダイナモメータが必要となる。

*4: 自動車のハードウェアを通常と同様な運転環境で試験する模擬システム。

トランスミッション

トランスミッションには、回生ブレーキとエネルギー回収システムが追加される。最終キャリブレーション時には、路上環境での最大30 kWのエネルギー回生を模擬できるホイールダイナモメータを使ってパワートレイン全体の試験を実施する必要がある。

パワートレイン運転モード

マイクロハイブリッド同様、マイルドハイブリッドでもエンジン停止・再始動の運転モードがある。その他の主な運転モードとして、回生ブレーキ、発進支援の統合トルク制御、追い越し操作、ブレーキ操作がある。これらに対する試験は上述の設備変更によって全て対応できる。

フルハイブリッド

フルハイブリッドの概略図を図4に示す。フルハイブリッドの開発はマイルドハイブリッドよりもさらに難しくなる。フルハイブリッド型パワートレインで新たに発生する課題を次にあげる。

- ・動力分割トランスミッションの追加(CVT(無段変速機)

- も考慮)
- ・電圧, 発電力, 出力の大幅な増大
- ・さらに高度なエネルギー管理システム

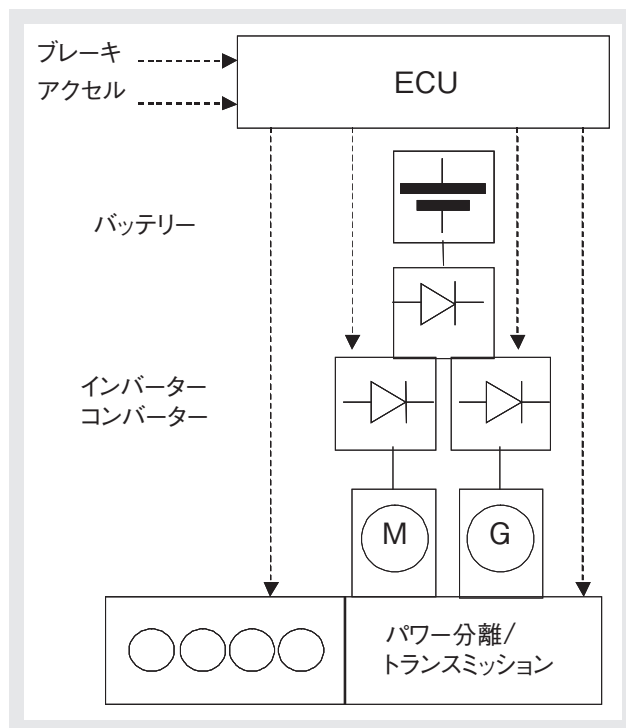


図4 フルハイブリッド概略図

機械系・電気系とハイブリッドシステムの開発

マイルドハイブリッドの場合と同様、駆動系の構成要素やモジュールは存在しない要素をシミュレーションで補うことで個別に開発される。しかし電気モータの出力が高いため、高速、高トルク対応の設備が必要とされる。また、電気系統の全体性能を厳しい環境条件で検証する必要がある。必要な電圧は500 V以上、電気システム系で300 Vになる。

フルハイブリッドのハイブリッド制御システムとエネルギー管理の仕組みは非常に複雑で、マイルドハイブリッドと同様、HIL試験への対応が必須である。エンジンのみを搭載した従来のパワートレインと比べ、フルハイブリッドのキャリブレーション作業には4倍以上の時間やコストが必要とされる。

トランスミッション

動力分割装置はトランスミッション開発時に検討される。その開発とキャリブレーションには、個別ホイールのエネルギー吸収・回生機能がある本格的なパワートレイン試験設備が必要になる。必要に応じて、エンジンの代わりに燃焼エンジンのトルクの周期変動を再現できる超低慣

Feature Article 特集論文 ハイブリッドパワートレインの試験設備

性モータを使ってシミュレーションを実施できる。また電気系同様、動力分割装置の性能を厳しい環境条件で検証する必要があり、本格的な環境試験が可能なパワートレイン試験設備が最適である。

パワートレイン運転モード

フルハイブリッドは、エンジン停止・再始動運転と回生ブレーキシステムに加えて電力のみで走行するモードを持つことを特徴とする。エンジン、トランスミッションを駆動させるその他のモードとこの電力モードとを統合し、さらに運転するには、パワートレイン試験設備での検証が必要である。電気モータは低速、高トルクという特性を持つため、今後はより高トルク対応のパワートレインダイナモメータが求められる。

HEV排ガス測定

試験サイクルのフェーズごとに切り替え可能なマルチベンチュリ法など低エミッション車用のCVS(定容量希釈サンプリング装置)や試験手順はすでに確立されている。希釈排ガスのバッグサンプル測定用に最適化された低濃度分析計もすでに存在する。さらにバッグミニダイリュータやモーダルマス計測など、米国の超低エミッション車(SULEV)基準をターゲットにした代替技術が開発されてきた。これらは低エミッションのハイブリッドシステムにも適している。しかし、ハイブリッドは全タイプとも走行中のエンジン停止・再始動を行なうため、エンジン停止時に車両の排気を吸引しないよう、排ガス測定システムを変更する必要がある。

おわりに

HEV市場の成長によってそのパワートレイン開発が新たな緊急課題となっている。“燃費がよく、低エミッションかつ十分な運転性能をもつ自動車”というニーズへの回答として、北米・日本においてハイブリッドパワートレインが市場に投入された。マイクロハイブリッドからマイルドハイブリッド、フルハイブリッドまでの幅広い技術がすでに製品化され、さらに多くのシステムの開発が進められている。

ハイブリッドパワートレインが開発試験設備や開発方法

に及ぼす影響は、どのような方式を採用するかに大きく左右される。マイクロハイブリッドの導入による影響は非常に小さいが、マイルドハイブリッド、フルハイブリッドの場合は多くの課題がある。高度なエネルギーマネジメントシステムを搭載した複雑なハイブリッドパワートレインのキャリブレーションには、個別のホイールハブのエネルギー吸収・制御機能を持った本格的なパワートレイン試験設備が必要とされる。さらに、環境試験施設へわざわざ移動することなく再現性のよい環境試験を実施できるように、温度・湿度や気圧といった環境シミュレーション機能も重要である。



George Gillespie

HORIBA Instruments Ltd.
Vice President
Strategic Business Development