

# 低燃費で高トルクを実現

FEV Motorentechnik  
社：ハイブリッドドライブ  
のための制御方式

電気モーターによる  
ブースト

dSPACE シミュレータに  
よる検証

ターボチャージャを備えたエンジンと電気モーターの組み合わせは、これより大型の自然吸気式エンジンと同レベルのパワーを出しますが、燃料の消費がはるかに少なく、有害物質の排出も削減することができます。FEV Motorentechnik 社で進行中のプロジェクトの目的は、このような「ダウンサイズエンジン」の制御方式を最適化することです。ダウンサイズエンジンは、消費する燃料がはるかに少ないですが、優れた加速性能を持っています。FEV では、dSPACE の HIL (Hardware-in-the-Loop) シミュレータを使用して、エンジン制御の妥当性を確認しています。

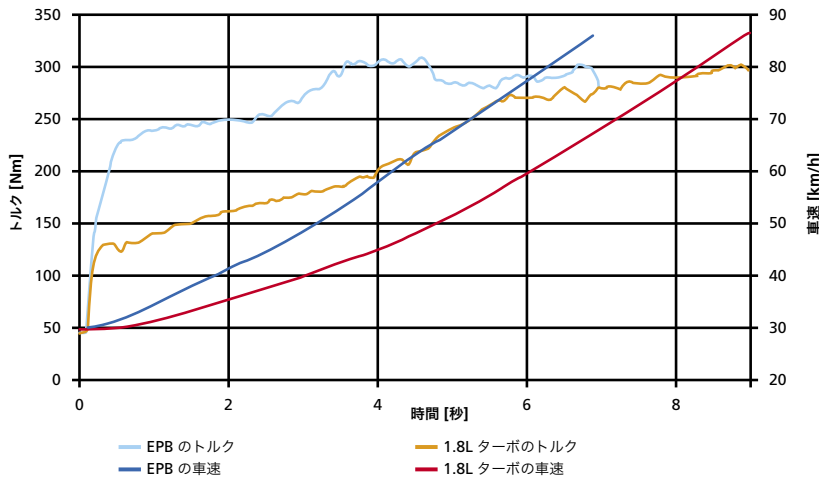
エンジン回転数が低い場合、ターボチャージャを備えたエンジンは、同等のパワーを持つ自然吸気式エンジンよりもトルクが低くなります。ターボエンジンを電気モーターと組み合わせると、動的なトルク特性が大幅に改善されます。低回転域では電気モーターが高トルクを提供するため、ターボエンジンのトルク不足を理想的に補償できます。ただし、電気

## ダウンサイジング

ダウンサイジングするには、元の 3,000 cc の自然吸気式エンジンを 1,800 cc のターボエンジンに置き換え、これに

「HIL (Hardware-in-the-Loop) セットアップにより、アルゴリズム最適化における時間とコストの両方を節約できます」

Marco Jentges, FEV Motorentechnik GmbH, アーヘン



▲ サードギアで 30 km/h から 80 km/h に全負荷加速。1,800 cc ターボエンジンと Electric Power Boost (EPB) を比較。

モーターを追加することで、車両の総重量やエンジンの全体的なスペース要件に影響を与えることは避けられません。このような理由から、排気量の小さいターボエンジンと電気モーターを組み合わせ、いわゆるダウンサイズエンジンを構成します。FEV Motorentechnik 社では、ダウンサイズエンジンを制御するためにさまざまな動作方式を開発し、dSPACE の HIL シミュレータを用いてそれらの妥当性を確認しました。同社の目標は、燃費の良さを活かすようにモーターとエンジン両方の制御を最適化しながら、同時にロードパフォーマンスを向上させることにあります。

電気モーターを追加しました。FEV Motorentechnik 社の Electric Power Boost (EPB) 車両は、より大きなエンジンを搭載した元の車両と同等のパワーを出すだけでなく、排出する汚染物質が少なく、燃費も向上しています。始動時および加速時にトルクを上げるには、電力が使用されます。電気モーター用の追加のエネルギーが必要になるのは、断続的に一瞬だけなので、二層コンデンサ (スーパーキャップ) が供給する電力だけで十分です。従来の車両では、エンジンの動作は、ほとんどドライバーの運転操作によって決まります。これに対して、ハイブリッドパワートレインでは、組み込まれた制御アルゴリズムによってエンジン動作の多くが決定されます。この車両では最適な走行性能を維持することが、特に重要な課題になります。

## 制御方式

ハイブリッド制御では、ドライバーの希望するトルクを複合駆動部の各部分で分配します。エネルギー消費や加速性能などの主要な関心事項に応じて、制御を最適化できます。このような関心事項として、以下の目的を挙げることができます。

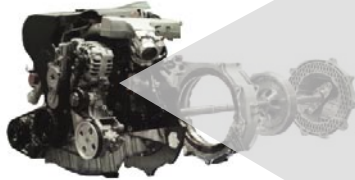
- /// 運転性能の確保
- /// 燃料消費の削減
- /// 有害物質排出の削減

- エンジン/モーター部品の耐久性の確保
- 騒音レベルの削減

これらの目的は、ある程度、相反する性質のものであるため、重み付けや評価が必要になります。たとえば、長時間にわたる電気モーターの稼働は、初めのうちは汚染物質を排出しない運転を可能にしますが、長引けば蓄積されている電気エネルギーを使い果たすことになります。したがって、汚染物質と燃料消費を削減することは、制御方式として単独に扱うことはできません。

### HIL シミュレーション

すべてのパワートレイン部品を入手することができなかったにもかかわらず、私達は FEV Motorentechnik 社で早い段階でパワートレイン動作に対する制御方式の影響を調査する



ことができました。このために dSPACE の HIL シミュレータが使用されました。開始時点における実際の部品は、元の車両のエンジン制御装置とハイブリッド制御装置だけでした。これらに加えて、元のエンジンのアクチュエータの一部とコックピットモジュールが、エンジンケーブルハーネスを経由してブレッドボード上で互いに接続されました。dSPACE シミュレータのコアコンポーネントは、リアルタイムシミュレーションを計算する DS1005 PPC ボードと、すべてのエンジン信号のシミュレーションと計測を行う DS2211 HIL I/O ボードです。パワートレイン部品が入手できない部分には、MATLAB®/Simulink® を使用してモデル化し、Real-Time Workshop 経由で DS1005 にダウンロードしました。これらのモデルには、燃焼エンジン、電気モーター、スーパーキャップユニット、クラッチ、トランスミッション、パワートレインの進行方向のダイナミクス全体、およびドライバーに対応するモデルが含まれます。2つの主要な設計基準である燃料消費の削減と運転性能が、何回もシミュレーションを実施して調査されました。

### 結果

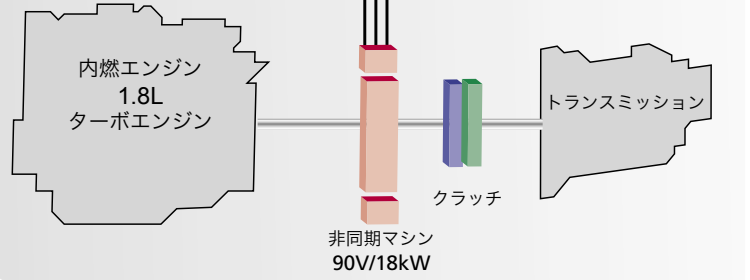
計測結果は、電気モーターを搭載していない車両にはない、EPB 車両の特長をはっきりと示すものでした。30 km/h から 80 km/h に加速するのに排気量 1,800 cc のターボエンジンを搭載した車両では 8.4 秒を要したのに対し、EPB 車両では 6.4 秒しかかかりませんでした。排気量 3,000 cc の自然吸気式エンジンを搭載した基本車両では約 7 秒を



スーパーキャップ  
バッテリー



パワー  
エレクトロニクス



要します。燃料消費については、新ヨーロッパ走行サイクル (NEDC) で 3,000 cc の自然吸気式エンジンと比較すると、EPB 車両では約 24% 削減されました。したがって、ハイブリッド技術とダウンサイジングを組み合わせることによる最大のメリットは、すべての運転条件のもとで、優れた加速値を示しながら、燃料消費が大幅に削減されることです。FEV Motorentechnik 社では dSPACE シミュレータを使用することにより、一部の部品が入手できなかったにもかかわらず、開発の早い段階で比較テストを開始することができました。

▲ ハイブリッドパワートレインの構成

Marco Jentges  
Electronics and Mechatronics /  
Hardware-in-the-Loop  
FEV Motorentechnik GmbH  
アーヘン、ドイツ

### 用語解説

**ブレッドボード** – エッチングやんだ付けを必要とせずに電子回路を構築する簡単な方法を提供するシステム

**スーパーキャップ** – 短期の高電力密度を持つ二層コンデンサ

**新ヨーロッパ走行サイクル (NEDC)** – 有害物質の排出と燃料消費のレベルを決定するために使用される法規制された走行サイクル