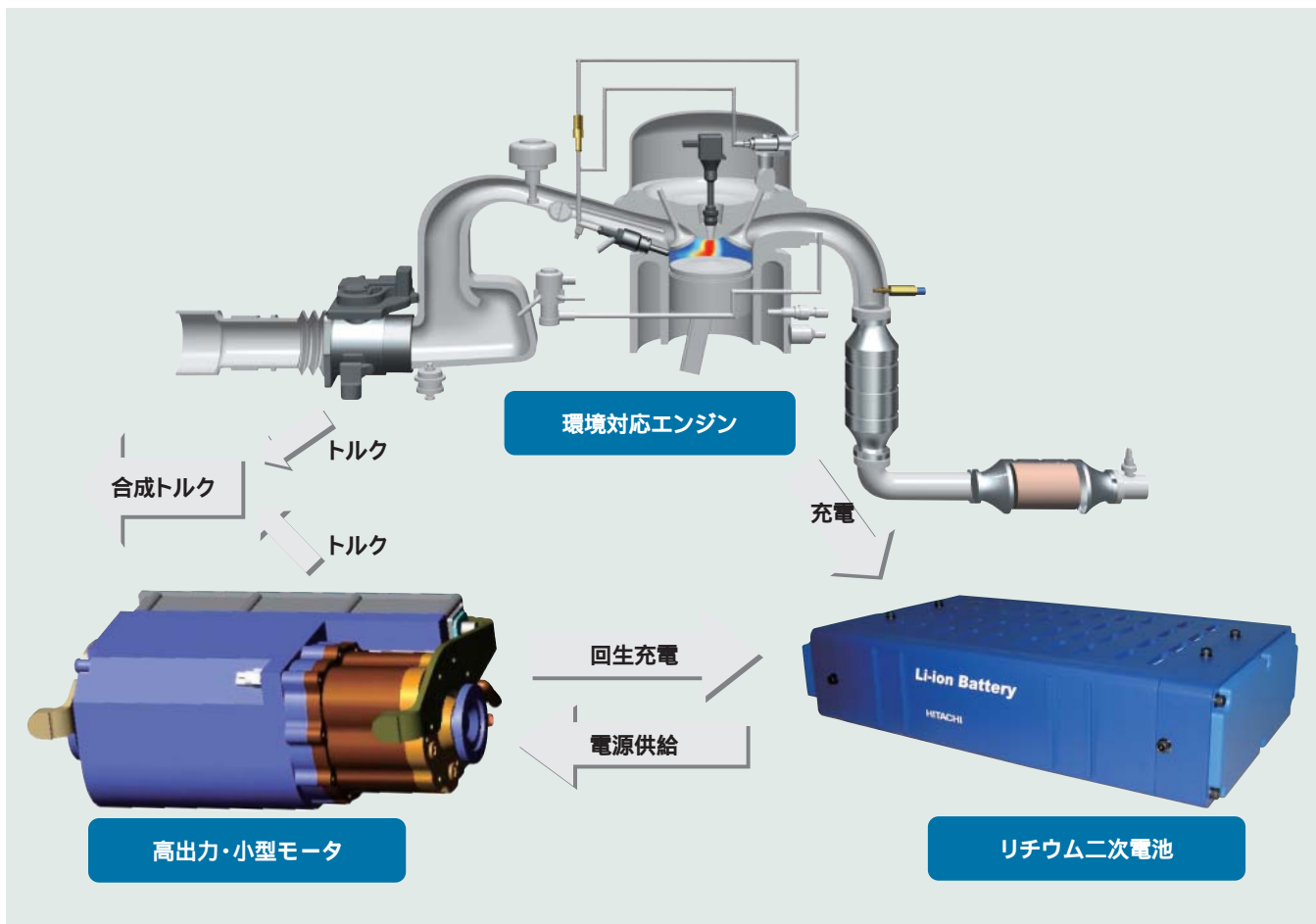


環境と安全に向けたエレクトリックパワートレインの開発

Development of Electric Powertrains for Providing Clean, Safe, and Comfortable Solutions

野木 利治 Toshiharu Nogi



ハイブリッド電気自動車のエネルギーマネジメント

エンジンとモータのトルクを合成し、エンジンを高効率領域で動作させるハイブリッドが普及に向かっている。エンジンとモータは二次電池を充電しているため、エネルギーの消費と蓄積のバランスをとり、全体での高効率化を目指すエネルギーマネジメントが重要である。

地球温暖化防止のために、自動車業界は、電動化での積極的な対応に努めている。その一つがハイブリッド電気自動車である。エンジンの燃費が悪い低速時や加速時にモータで駆動力を増し、減速時には運動エネルギーを電池に回収する。このほか、エンジン補機や走行系部品などが続々と電動化される傾向にあり、正にエレクト

リックパワートレインの時代が到来したと言える。

日立グループは、長年にわたってエンジン制御技術とコンポーネントを提供してきた。今後は、ハイブリッド電気自動車のモータ、インバータ、さらにリチウム二次電池にも注力する計画を推進している。

1 はじめに

ハイブリッドシステムは、エンジンのトルク余裕が少なくても済むとともに、中程度の速度・負荷での燃費と排気特性の向上に注力できることから、リーンバーンなどのクリーンなエンジンと相性がよい。

一方、モータには、低速から高速域までエンジンを補完するトルクを求められていることから、近年はコン

ピュータによる自動的な最適設計によって高出力・小型化が実現した。また、コストや寿命の点で課題が大きかった二次電池も、リチウムイオン電池によってコスト対効果が大幅に改善される見通しである。

ここでは、エレクトリックパワートレインを支えるキーコンポーネントの動向、および将来の展望について述べる。

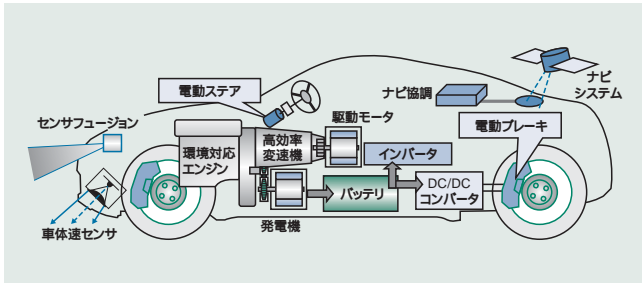


図1 将来の自動車例
 駆動系と走行系が電動化され、レーダやナビゲーションとの連携で低燃費と安全性がいつそう高まる。

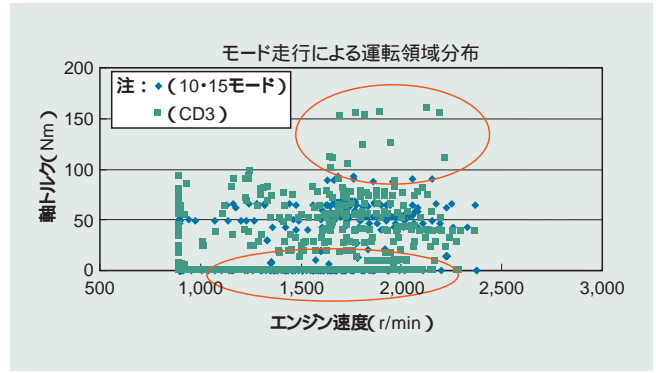


図2 モード走行による運転領域分布例
 現行の10・15モードに比べ、環境規制用新モード(CD3)でのエンジン動作では、急加速・減速が増える。

2 自動車の将来像

自動車を取り巻く環境は大きく変わり、今後10年で、低燃費・低排気に加え、安全性、特に積極的な事故回避に向けた電動コンポーネントの搭載が想定される。電動化された駆動系、走行系は、従来の機械・油圧式ではできなかった応答性と、無段階の制御性を可能にする。電動化の最大の特長は、使用しないときにはエネルギー消費がゼロに近く、使用時にはわずか数ミリ秒で定格出力まで達するという応答性の速さにある。この特長を生かせば、ハイブリッドシステムとナビゲーションを協調した、低燃費なエネルギーマネジメントが可能になるほか、車載レーダやカメラとの連動で、ドライバーが意識するよりも速く動作するVDC(Vehicle Dynamics Control)が提供できる。自動車に数多く搭載された電動コンポーネントを制御するのは、高信頼なネットワークとバス化された電力ハーネスであることから、現在、最も進んだシステムである航空機をモデルにした「ドライブ パイ ワイヤ システム」の登場もそう遠い未来ではない(図1 参照)。

3 パワーマネジメント

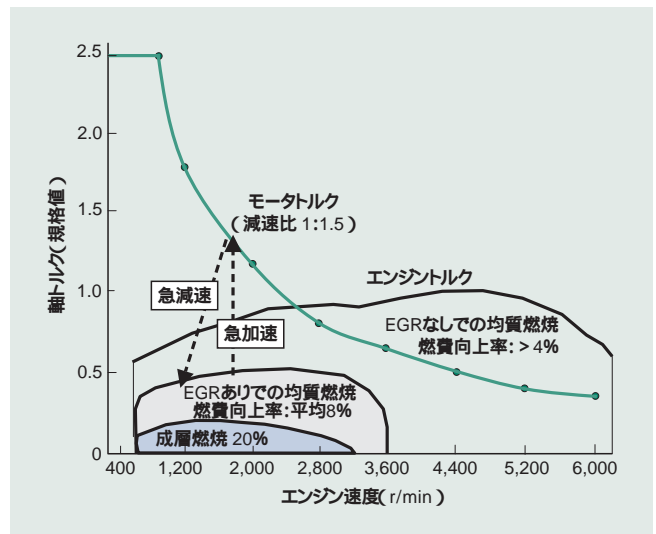
3.1 新モード走行

わが国では、排気規制には「10・15モード」で測定した走行パターンが用いられてきた。今後は、加速比率を増やした新モードが導入される予定である。1.8 L, 4気筒エンジンで均質燃焼の条件における、新モードによる回転数とトルクのシミュレーション結果を 図2 に示す。同図中でだ円で示した個所が10・15モードにはなかった急加速・減速である。通常のガソリンエンジンでは動作点が広くなり、燃費上の課題があるが、ハイブリッド電気自動車の場合は さらに低燃費を訴求できる。

3.2 エンジンとモータの組み合わせ

ハイブリッド車では、クリーンなエンジンを組み合わせることが課題の一つである。新モードで測定しても、中速とアイドリングの燃料消費割合が50%を超えることから、中速域で軽から中程度のトルクにおいての燃費向上が期待される筒内噴射エンジン¹⁾との組み合わせが望ましい。エンジン回転数とトルクの特性について、直噴エンジンと25 kW出力モータの特性を重ね合わせた例を 図3 に示す。縦軸は、エンジンの定格トルクを1として規格化している。また、エンジンは一般車ベースであり、ハイブリッドになるとトルク余裕はさらに小さくなる。

エンジンは、毎分1,500~3,000回転において、トルクが0.5以下では、燃費向上率が高い動作点にある。こ



注: 略語説明 EGR(Exhaust Gas Recirculation)

図3 直噴エンジンとモータの組み合わせ例
 エンジンは低燃費な領域で動作させ、急加速・減速はモータで対応する。

の領域で中速巡航するとともに、発電機を駆動して二次電池を充電する。急加速になるとモータだけで加速トルクを出し、エンジンには低燃費な動作を維持させる。また、急加速後の減速では運動エネルギーを回生充電し、エンジンでのエネルギー消費を最小にすることが望ましい。

このようなモータによる加減速を実現するためには、高出力で小型なモータと、充電受け入れ性に優れた二次電池がそれぞれ必須となる。

4 モータ

日立グループは、2000年からハイブリッド自動車向けに磁石式同期電動機を開発してきた。その経緯を図4に示す²⁾。2002年以降は、それ以前と比べて出力・質量比が大幅に向上した。これを支えているのは、デジタルエンジニアリングと材料技術の融合である。

デジタルエンジニアリングにより、モータの電磁設計に有限要素解析と設計パラメータの自動探索を付加し

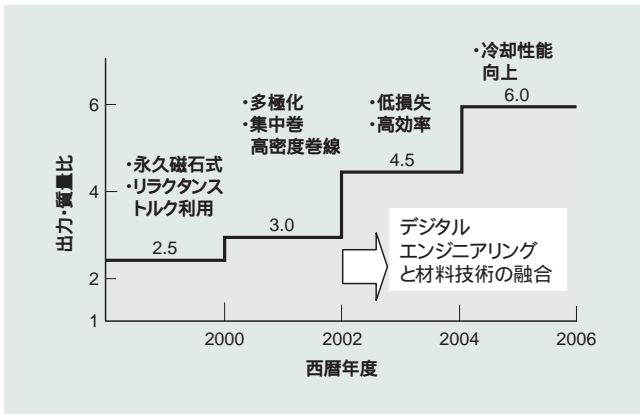


図4 ハイブリッド用磁石モータの小型化の推移
2002年以降は、デジタルエンジニアリングと材料技術によって小型化が加速した。

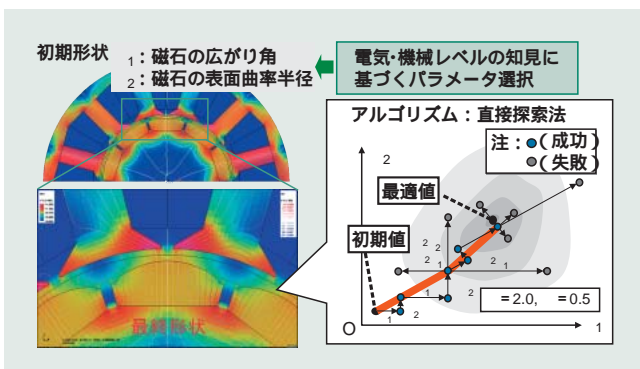


図5 モータの最適構造自動探索例
材料データベースと連携した自動探索により、仕様を満たす最適なモータ構造を得ることができる。

た、最適設計エンジンを実現している³⁾。低速から高速に至るトルク仕様とモータの体格、磁石使用量など必要なデータを入力することで最適なモータ構造を得ることができる。また、シミュレーションにおいては、珪素鋼板の磁気特性、磁石の減磁特性など構造材料の詳細な特性をデータベースとして備えており、試作したモータは、ほぼ設計通りの特性を発揮する。近年は、低速時の大トルクと高速時の低損失を両立させるなどの課題が多いが、このようなトレードオフ(二律背反)問題において、自動探索は特に有効性を発揮している(図5参照)。

5 リチウム二次電池

ハイブリッド車の急加速・減速性能を高めるうえで、最も重要なコンポーネントが二次電池である。すでに実用段階にあるニッケル水素電池も性能が向上しているものの、パワー密度についてはリチウム電池が勝っている⁴⁾。特に、急減速時の充電で大電流を流した場合でも、リチウム電池は充電効率の低下などの問題がないという特長がある。充電受け入れ性に優れたリチウム電池は、自動車だけでなくハイブリッドトレインにも搭載された。現在開発中の第二世代は、初期に比べ、1.5倍のパワー密度を実現している(図6参照)。高出力なりチウム二次電池では、急加速時にはモータに大電流を供給し、急減速時には回生エネルギーとして大電流を充電することが可能になる。

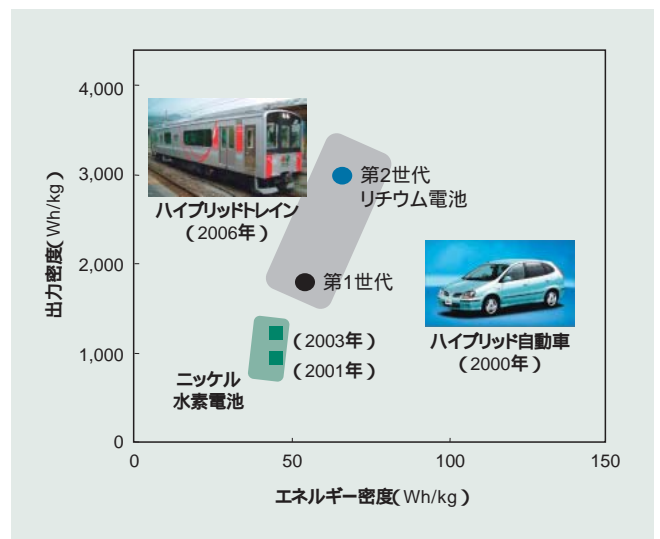


図6 リチウム電池の特性改善の推移
リチウム電池はニッケル水素電池に比べて出力密度とエネルギー密度の両方で優れ、特に出力密度の改善が著しい。

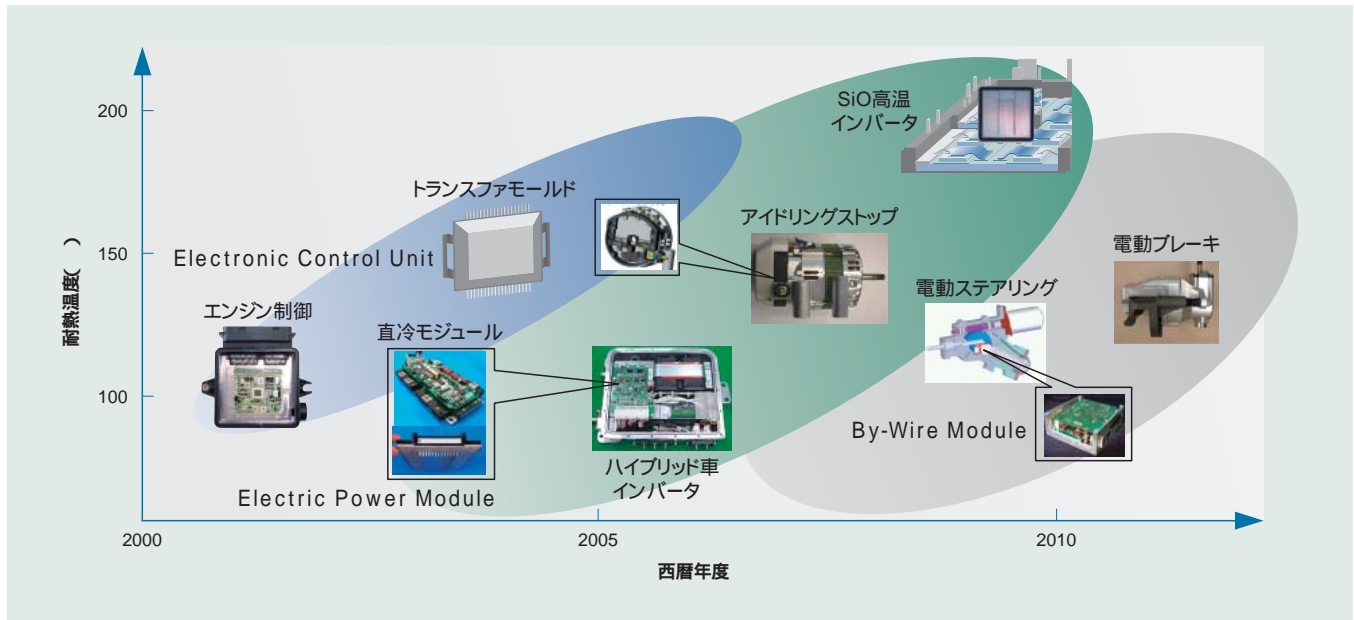


図7 車載用パワーコントローラの耐熱性の推移
 パワーコントローラは高温耐性を備えることで小型化へ向かう。SiC型デバイスによって機電一体化の構成になる。

6 インバータ

モータと電池をつなぐインバータも、大電流・小型化が著しい。車載用パワーコントローラの耐熱性に関する動向を図7に示す。最新のハイブリッド用インバータでは、IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)モジュールのベース部に水冷用フィンを一体化した直冷モジュールを用いており、70℃の冷却水で最高105℃の環境温度を許容する。さらに、大容量の電解コンデンサをはじめ、搭載部品は耐熱性の向上に進む傾向にあり、高温環境でも動作が可能となることで、高出力密度化、すなわち小型化へ向かう。

2010年以降には、200℃以上の高温環境で使用が可能なSiC(炭化珪素)型のデバイスの応用で、いっそうの小型化が期待される。また、走行系の電動ステアリング(操舵)や電動ブレーキなども2010年ころまでにモータと機械系が一体化した機電一体化の構成になり、これら高出力なパワーコントローラが、自動車内の各所に分散化されると予測する。

7 おわりに

ここでは、ハイブリッド電気自動車のエネルギーマネ

ジメントにかかわるモータ、リチウム二次電池、インバータの開発状況、および今後の目標について述べた。

日立グループは、ハイブリッドに続き、ステアリング、ブレーキなど走行系アクチュエータの電動化を推進し、さらに、ナビゲーションや車載レーダ、カメラなどを応用することで、低燃費と走行安全性の向上に貢献していく考えである。

参考文献

- 1) 白石, 外: 筒内噴射エンジンの混合気形成, 自動車技術会論文集, Vol.33, No.4(2002.10)
- 2) 浜田, 外: 低燃費で地球に優しく力強いIHEVシステムの開発, 日立評論, 86, 5, 343~346(2004.5)
- 3) M. Kitamura, et al.: Motor Design Approach Utilizing Regularity of a Two-Dimensional Magnetic Field, IEEE Trans. on Magnetics, Vol.39, p.1462(May. 2003)
- 4) 小関, 外: 軽車両用リチウムイオン電池の開発, 新神戸テクニカルレポート, 13, p.3(2003.8)



執筆者紹介

野木 利治

1983年日立製作所入社, 日立研究所 情報制御第三研究部 部長
 現在, 自動車制御システムの研究開発に従事
 工学博士
 日本機械学会会員, 自動車技術会会員, 米國自動車技術会会員
 E-mail: tnoji @ gm.hrl.hitachi.co.jp