

# 省エネルギーと安全に貢献する 電動車両制御・システム

Dynamic Motor Control System for Enhancing Energy Efficiency and Safety of Electric Vehicles

宮崎 英樹

Miyazaki Hideki

山本 立行

Yamamoto Tatsuyuki

小林 仁

Kobayashi Hitoshi

横山 篤

Yokoyama Atsushi

日立グループは、電動車両のモータ応用技術として、省エネルギーと安全に貢献する制御技術・システムの研究開発を行っている。モータの優れたトルク応答性を活用して、路面が低摩擦な状況でも素早いトルク変化で滑らずに走行を継続するモータ利用のトラクション制御とアンチロックブレーキをEV試作車で実証評価した。また、実際の走行状態に近い条件でモータや他のコンポーネントの熱とエネルギー消費を解析する手法とともに、電動制駆制御の将来技術としてG-Vectoring制御と電動ヨーモーメント制御を提案している。

## 1. はじめに

HEV (Hybrid Electric Vehicle : ハイブリッド自動車) や EV (Electric Vehicle : 電気自動車) などの電動車両が持つ特徴は、環境に配慮した省エネルギー性のほかに、優れた加減速性能による走行性能の進化や、電気エネルギーを蓄えた社会インフラとしてのポテンシャルがある<sup>1)</sup>。将来的なモビリティの在り方は多様であり、世界中で新しい試み実験、実証されている。日立グループは、ユーザー視点で自動車の将来像を構想し、それを支える部品・システム技術を研究している。

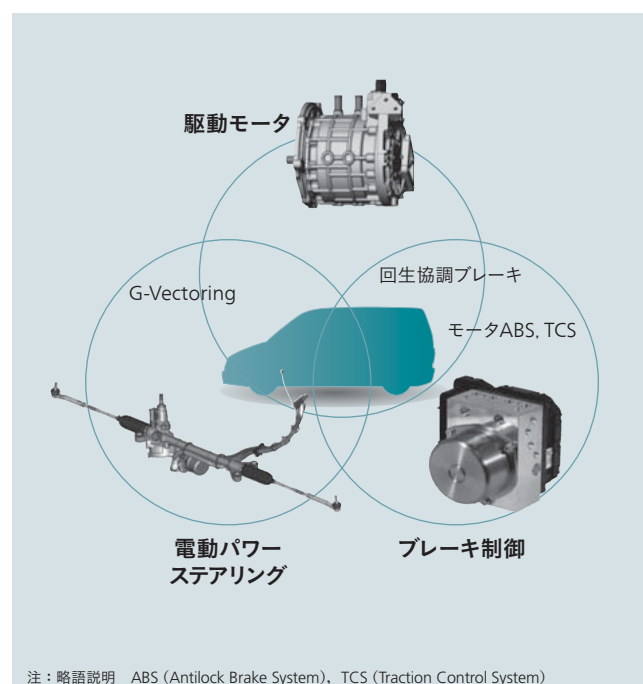
ここでは、電動車両の省エネルギー性と緊急時の運動性能向上を両立させる制御システムを将来の課題と捉え、試作車の評価とシミュレーションで検討した結果について述べる。

## 2. 次世代電動車両のコンセプト

事故の予防には、ステレオカメラなど、視認性を高めて、判断ミスを補償する技術が有効である。一方、事故直前の回避には緊急時の運動性能向上が挙げられる。電動車両の駆動モータは、指令に対するトルク応答性が約1 msと速いことから、路面摩擦や車輪のスリップを考慮して車両を瞬時に制御することに適している。一方、自動車の「曲が

る」、「止まる」を扱うステアリングやブレーキも電動化が進み、電動パワーステアリングはすでに広く普及している。駆動モータが緊急時に運動性能を向上させる機能を果たそうとすると、ステアリングやブレーキと協調した制御が必要である。一例として、減速・制動時にモータとブレーキが協調する回生制動や、ステアリングで自動車に横加速度が生じた場合に、これをモータやブレーキで補償するG-Vectoring制御を提案した<sup>2), 3)</sup>。将来的にはモータとブレーキの協調でモータTCS (Traction Control System), ABS (Antilock Brake System) を実現することが期待される(図1参照)。

駆動モータにとって「止まる」ことは、車両の運動エネ



注：略語説明 ABS (Antilock Brake System), TCS (Traction Control System)

図1 | 電動車両制御

モータは「走る」機能だけでなく、「曲がる」、「止まる」の機能もステアリング、ブレーキと協調して制御する。

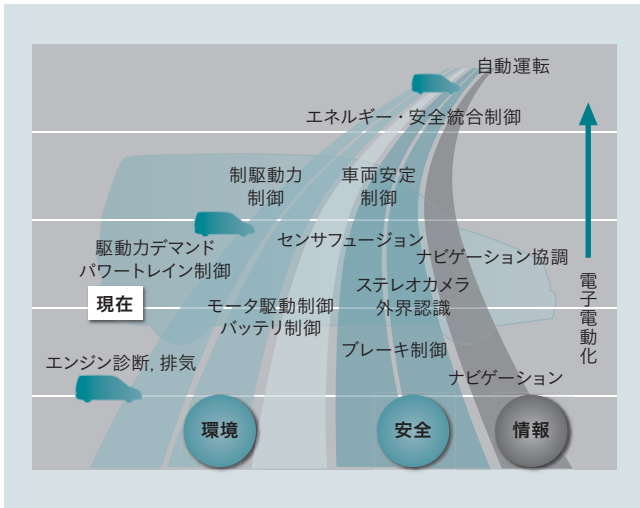


図2 | 電動車両制御のロードマップ

環境技術のモータと電動制御は、安全対応の技術、情報技術と融合し、自動運転に向かう。

ルギーでモータを発電させ、電気エネルギーを作りだすエネルギー回生が主な機能である。そこで、運動性能向上とともに、回生による省エネルギー性をどこまで両立できるかが課題であり、EV試作車により評価することにした。

日立グループが構想する電動車両制御のロードマップを図2に示す。環境技術としてのモータと電動制御が安全対応技術と融合し、さらには情報技術とも融合して、将来的には自動運転に向かう姿を想定している。

### 3. EV試作車による実証評価

日立グループで開発したモータ、インバータ、リチウムイオン電池を、市販の車両に搭載してEV試作車を作り、電動制御の評価を行った(図3参照)。搭載したコンポー

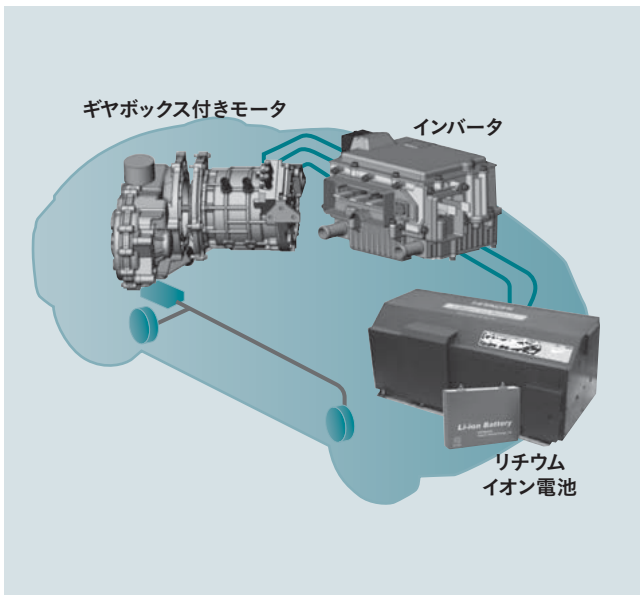


図3 | EV試作車の構成

日立グループが開発したモータ、インバータ、リチウムイオン電池を市販車両に搭載してEV試作車を試作した。

### 表1 | EV試作車の仕様

ギヤボックス付きモータとバッテリーはEV (Electric Vehicle) 試作車向けの専用設計である。

|           |                                                                  |
|-----------|------------------------------------------------------------------|
| モータ       | 最大トルク180 Nm, 最高回転数12,000 min <sup>-1</sup><br>出力90 kW, 永久磁石型, 水冷 |
| インバータ     | 耐圧600 V, 最大電流400 A<br>両面直接水冷型IGBTモジュール                           |
| リチウムイオン電池 | 電圧350 V (@SOC50%)<br>容量8.34 kWh / 1充電走行距離80 km*                  |
| 車両重量      | 1,151 kg                                                         |
| 最高速度      | 140 km / h                                                       |

\*試験コースの実験結果から算出した値

注：略語説明 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor), SOC (State of Charge)

ネットとEV試作車の主な仕様を表1に示す。

電動車両制御として評価した機能は、駆動モータを用いて、路面が低摩擦な状況に素早いトルク変化で滑らずに走行が継続できるモータTCSとABSである。従来、TCSとABSは専用のコンポーネントを備えて、ブレーキ制御とエンジン制御として実施している。今回は路面摩擦が小さい状況において、車輪が空転傾向になって速度が変化することを検知し、駆動モータのトルクを制御してスリップを抑制する制御を検討した(図4参照)。

氷結路において、EV試作車を発進させた際のモータTCSの効果を図5に示す。駆動輪でトルクを小刻みに変化させており、スリップせずに発進できている。

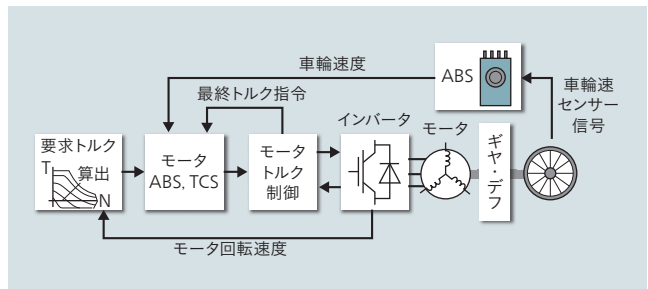


図4 | モータTCS, ABSの制御方法

ABS, TCSが機能する環境では、車輪が空転し、速度が変化することを検知し、モータのトルク制御でスリップを抑制する。

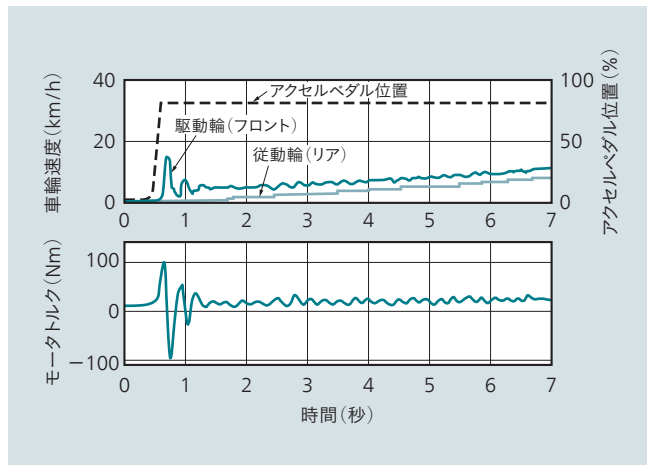


図5 | モータTCSの実証結果

氷結路の発進では、フロントの駆動輪でトルクを小刻みに変化させ、スリップを防ぎながらの発進が可能である。

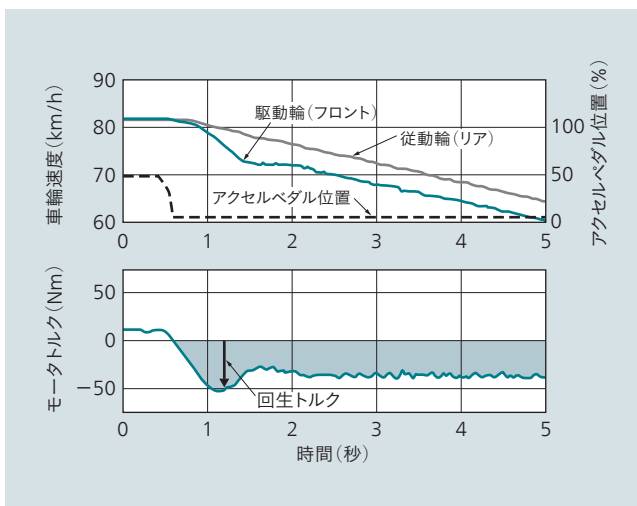


図6 | モータABSの実証結果

駆動輪と従動輪の速度差を検出してモータトルクを変化させ、スリップを防止し、回生を続行する。

同様に、氷結路でのモータABSの試験結果を図6に示す。駆動輪（フロント）と従動輪の速度差から駆動輪がトルク制御で車両をしっかりグリップし、スリップ防止している。また、この状態でモータは回生制御されており省エネルギーと運動性能向上の両立を確認することができた。

#### 4. 熱とエネルギーの解析技術

EVの駆動モータは、常時連続的に使用されており、出力も一樣でないため、内部温度が許容範囲に収まるかが懸念される。モータの熱解析に関する報告は多いが、内部の熱抵抗・熱容量に関するパラメータの同定法が課題である。そこで、日立グループは実験結果を参照して解析モデル（熱抵抗・熱容量から成るモータの熱回路網）を反復的に修正する方法を検討した（図7参照）。また、同様な方法でモータのロータに固定された磁石の温度を推定する方法

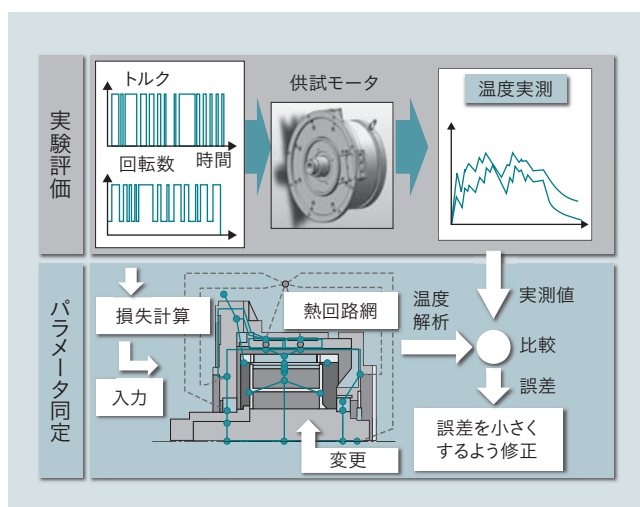


図7 | モータの熱設計パラメータ同定法

実験結果を参照して、熱回路網モデルのパラメータ（熱抵抗と熱容量）を反復的に修正し、収束させていくことが特徴である。

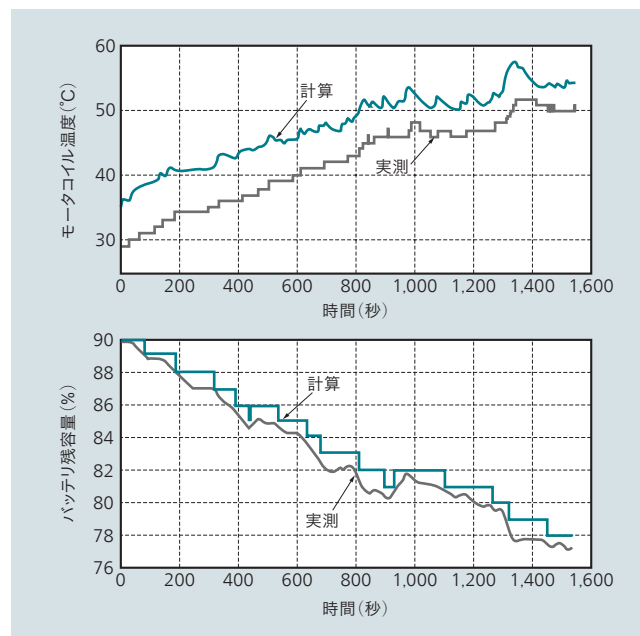


図8 | モータコイル温度とバッテリー残容量のシミュレーション

EV試作車の実走行パターンを入力してモータ内部のコイル温度とバッテリーの残容量を解析で求めた。

も検討した<sup>4)</sup>。

熱解析にはモータやインバータの損失推定値を用いるが、モータ電流をあらかじめ解析し、基本波とともに高調波成分も考慮して損失を計算する。車両の走行パターンと、主要コンポーネントの損失推定値から、バッテリーのエネルギー消費も解析できる。EV試作車の実走行パターンからモータ内部のコイル温度とバッテリーの残存容量を解析した結果を、実測値と比較して図8に示す。モータ温度に関する誤差は、主にケース温度などの境界値誤差に起因すると考察しており、さらに精度向上を図っていく。

#### 5. 電動制駆動制御の将来技術

日立グループは、車両の横加加速度に比例した制駆動力を付与することによって旋回中の走行安定性や乗り心地を向上できるG-Vectoring制御を提案している<sup>2)</sup>。開発当初は加減速制御装置として電子制御式の摩擦ブレーキとエンジンを想定してきたが、加減速を制御できる装置であれば電気モータによっても実現可能である。電気モータを用いれば、摩擦ブレーキでG-Vectoring制御を行う場合よりも、エネルギー回生によって消費エネルギーを低減できる。

電動G-Vectoringの燃費効果は、カーブを含んだ道路の条件を決めれば解析的に求めることができる。例えば、1つの走行例として距離10 kmの間に、曲率半径30 m, 50 m, 100 mのカーブが各2つ存在する道路であれば、摩擦ブレーキを使用してG-Vectoring制御を行う場合よりも電力量消費率を約5%改善することができる<sup>3)</sup>。

また、車両運動性能を向上できるモータシステムとし

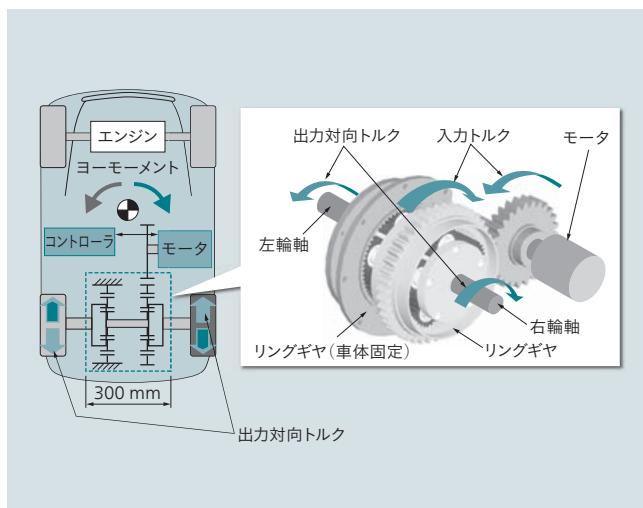


図9 | 電動ヨーモーメント制御

1個のモータで左右輪に逆向きのトルクを発生させ、ヨーモーメントを制御することが特徴である。

て、インホイールモータが広く知られている。インホイールモータは、左右独立に制駆動力を発生できるため、車両にヨーモーメントを生成し、車両の旋回方向をアクティブに制御できる。ただし、高速走行になるとモータ回転速度が上昇し、発生できる左右輪間のモータトルク差が減少するという面もある。そこで、日立グループは「電動ヨーモーメント機構」という新たなアクチュエータを開発してきた<sup>5)</sup>(図9参照)。複列配置した遊星ギヤを左右輪間に連結し、片側の遊星ギヤにモータトルクを入力することで、1個のモータで左右輪に逆向きのトルクを発生できる。旋回中には、左右輪の速度差に比例した速度でモータが回転するが、直進時にモータは回転しない。車速上昇に伴うトルク低下が生じないため、比較的小さいモータ(定格出力1 kW～3 kW程度)でも、全車速において十分なトルクを発生できる。この機構は、微小なヨーモーメントを高精度に制御できるため、車線維持支援システムのような予防安全システムにも適用できる。

## 6. おわりに

電動車両は、市場への普及が確実に進みつつあり、今後、自動車としての魅力が重要視されると予想してモータを応

用した電動車両制御を研究している。モータは、これまで高出力・小型、高効率が性能指標であったが、今後は制御を含めて静音・静粛で応答性に優れた特性が求められる。車両全体での電動駆動制御は、従来のようにモータを試験装置で評価するだけでは把握できない。そのためにも試作車を用いた実証評価や、走行シーンを想定したシミュレーションなどで、実際に近い実証評価がますます重要になってくると考える。

## 参考文献など

- 1) 廣田：電動車両の現状と未来、車載用パワーエレクトロニクスの最新技術、自動車技術会シンポジウム、No.09-12、20124803、pp1～6 (2012.2)
- 2) 山門、外：加加速度情報を用いた車両横運動と連係して加減速するドライバモデルの提案、自動車技術会論文集、Vol.39、No.3、pp53～58 (2008.5)
- 3) 横山、外：電気モータを用いたG-Vectoring制御のエネルギー再生効果、自動車技術会論文集、Vol.44、No.4、pp1027-1032 (2013.7)
- 4) 今西、外：電動車両用モータのロータ温度推定技術の開発、自動車技術会秋季学術講演会、63-20135861 (2013)
- 5) 横山、外：電動DYCシステムの開発、自動車技術会論文集、Vol.40、No.3、pp641～646 (2009.6)

## 執筆者紹介



### 宮崎 英樹

1983年日立製作所入社、日立オートモティブシステムズ株式会社 技術開発本部 先行開発研究センタ 所属  
現在、次世代電動車両のモータシステム開発研究に従事  
電気学会会員、自動車技術会会員



### 山本 立行

2001年日立製作所入社、日立オートモティブシステムズ株式会社 技術開発本部 先行開発研究センタ 所属  
現在、次世代電動車両のシステム開発研究に従事  
自動車技術会会員



### 小林 仁

2002年株式会社日立ユニシアオートモティブ入社、日立オートモティブシステムズ株式会社 技術開発本部 先行開発研究センタ 所属  
現在、次世代電動車両のシステム・制御開発研究に従事



### 横山 篤

1997年日立製作所入社、日立研究所 情報制御研究センタ グリーンモビリティ研究部 所属  
現在、走行制御システムの研究開発に従事  
自動車技術会会員