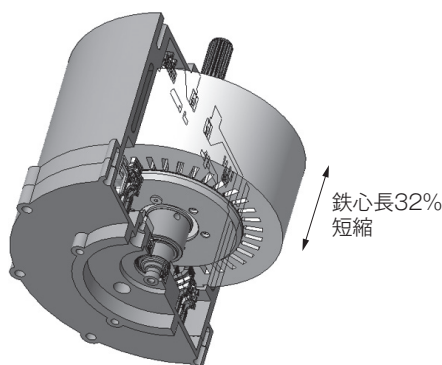


電気自動車（EV）用モータの パワー密度向上への取り組み

上野 駿 Shun Ueno
瀬谷泰我 Taiga Seya

キーワード 小形化, 効率, 低振動

概要



小形駆動モータ試作機

当社は、電気自動車（EV）の電費向上やスペース効率向上のため、駆動モータ・インバータ・ギヤなどで構成されるEV駆動ユニットの小形・軽量化を推進している。

今回、ユニットの小形化を目的として、モータパワー密度の更なる向上を検討した。高速回転化は小形化に有効である一方で、モータの効率の悪化や振動の増大を招きやすい。モータ効率は車両の航続距離（電費）に、モータ振動は車両の乗り心地や静寂性に影響するため、高速回転化による小形化には課題がある。

そこで、高速域の損失や電磁加振力を低減する手法を開発し、実機評価を行った。その結果、走行モードでのモータ効率の向上や振動値の低減を確認し、パワー密度40%向上と高効率・低振動を両立した。

1 まえがき

電気自動車（EV）に搭載される駆動モータ・インバータ・ギヤなどで構成するEV駆動ユニットは、それ自体の軽量化が車両の航続距離の増大に直結する。さらに小形化は、車内の居住スペースやラゲッジスペース増加にもつながり、車両の魅力が向上する。このため、パワー密度向上による小形・軽量化が重要である。また、振動は乗り心地や静寂性に直接影響するため、小形化と高効率・低振動化は両立する必要がある。本稿では、今回開発した高パワー密度と高効率・低振動化を両立した駆動モータを紹介する。

2 開発モータの構成

第1表に開発モータと従来モータの仕様比較を

第1表 モータの仕様比較

モータの仕様比較を示す。開発モータは、従来モータからパワー密度が40%向上した。

項目	従来モータ	開発モータ
最大出力 (kW)	100	
極数	8	6
最高回転数 (%)	100	146
鉄心長 (%)	100	68
電磁鋼板厚さ (%)	100	120
パワー密度 (%)	100	140

示す。開発モータは、従来モータから46%高速回転化した。高速回転化と高ギヤ比化を同時に採用することで、同じ車軸トルクを得るためのモータトルクを小さくできる。開発モータでは、必要トルク減少分の体格小形化や磁気回路設計の最適化によって、パワー密度 (kW/kg) を従来モータから40%向上させた。

3 損失・振動改善への取り組み

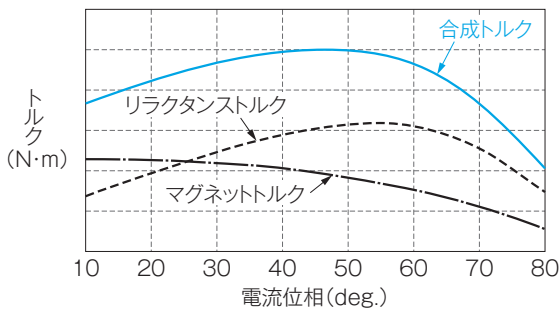
モータを高速回転化すると振動の増大や磁束の周波数増加による損失悪化の懸念がある。これらを改善するための取り組みを紹介する。

3.1 極数

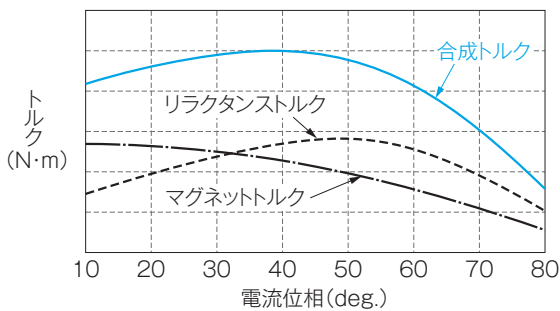
鉄損の大きさは、磁束密度の周波数と振幅によるため、これらを低減することが損失低減につながる。開発モータでは、従来モータから高速回転化したため、同じ極数では周波数が大きくなり鉄損が増大する。周波数の低減とトルク・出力特性のバランスを考慮し、極数は従来の8極から6極に変更した。しかしながら、6極ではまだ従来モータより周波数が高いため、振幅を低減する技術開発で鉄損を低減した。

3.2 ロータ構造

ロータの磁石配置は、磁石をV字に2層配置する2重V字配置を採用した。第1図にトルクの電流位



(a) 開発モータ



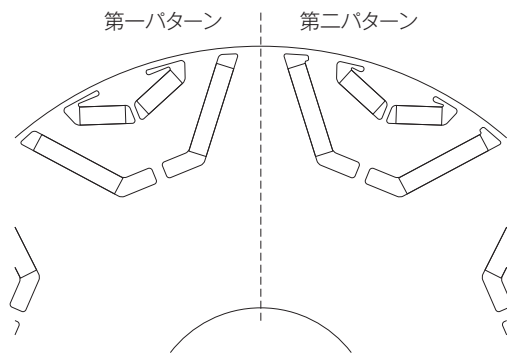
(b) 従来モータ

第1図 トルクの電流位相特性比較

トルクの電流位相特性を示す。開発モータは、全トルク中のリラクタンストルク割合が増加した。

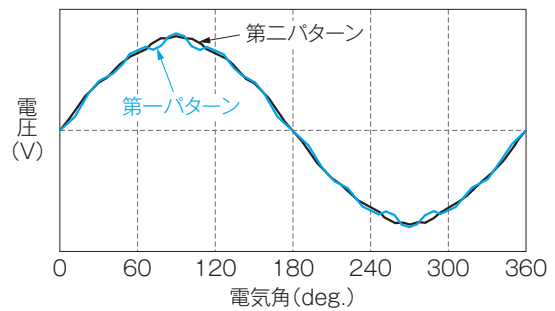
相特性の比較を示す。従来モータと比較し、リラクタンストルク利用率を17%向上させたことで、磁石磁束が低下し鉄損を改善した。

また、磁石溝は第一パターンと第二パターンの異なる形状を混在させる隣極間非対称構造を開発した。第2図にロータ断面構造を、第3図に誘起電圧波形を示す。それぞれの磁極で異なる波形を作り出し、合成波形の高調波振幅を低減した。

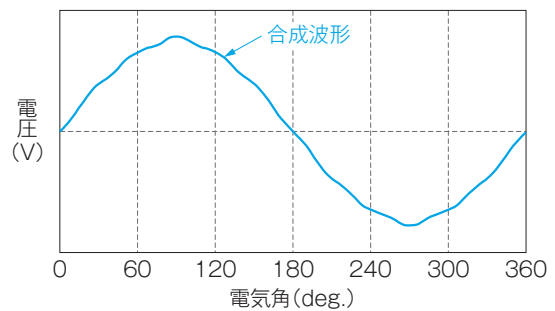


第2図 ロータ断面構造

ロータの断面を示す。フラックスバリア形状が異なる磁極を混在させる構造とすることで、各磁極のトルク波形や電圧波形を合成できる。



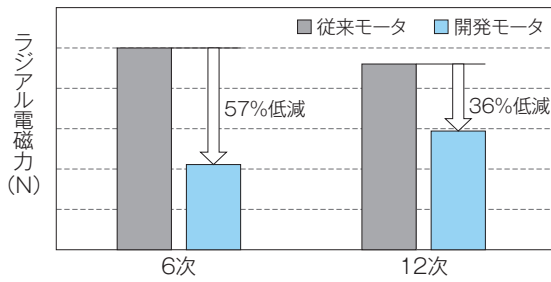
(a) 合成前



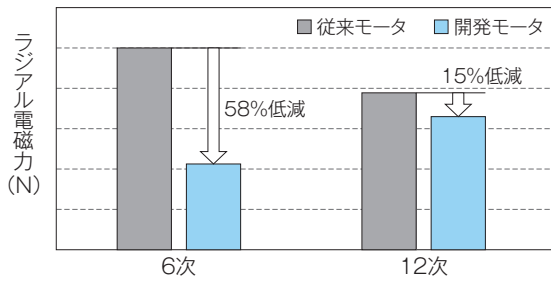
(b) 合成後

第3図 誘起電圧波形

誘起電圧波形を示す。第一パターンと第二パターンの波形を合成し、高調波振幅を低減した。



(a) 車速65km/h



(b) 車速190km/h

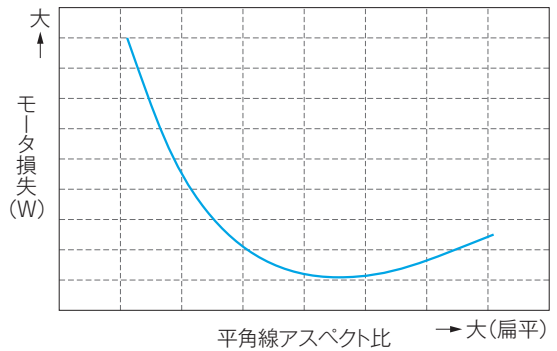
第4図 ラジアル電磁力低減効果

ステータ半径方向に発生する電磁力の比較を示す。開発モータは、電気角6次と12次の電磁力を低減した。

3.3 ステータ構造

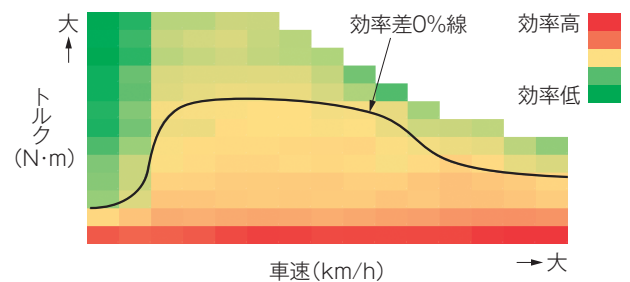
ステータとロータ間のエアギャップ面に刻む溝形状と位置を最適化し、磁束密度の高調波振幅を低減させることで、鉄損と電磁加振力を低減した。第4図にギャップ部の溝と前述の隣極間非対称構造の組み合わせによる、ステータに発生する半径方向（ラジアル）電磁力の低減効果を示す。常用速度想定で車速65km/hの場合、電気角6次成分と12次成分をそれぞれ57%、36%低減した。車速190km/h想定での低減量は、6次成分と12次成分がそれぞれ58%、15%で、高速域でも効果的に電磁加振力を低減している。

また、従来モータからステータ巻線の並列回路数を削減し、回路間の磁気アンバランスに起因する電気角2次成分の電磁力を低減した。これに伴い巻線の電流密度が増加するため、巻線の断面積を大きくする必要がある。しかし、ステータサイズも大形化するため巻線の断面積には制限がある。そこで、巻線に使用する平角線のアスペクト比を見直し、交流銅損を低減させることで巻線の損失を抑制した。第5図に平角線のアスペクト比による損失の変化



第5図 平角線アスペクト比による損失変化

平角線アスペクト比とモータ損失の関係を示す。同じ断面積でもアスペクト比によって損失が変化し、最適値があることが分かる。



第6図 効率差分測定結果

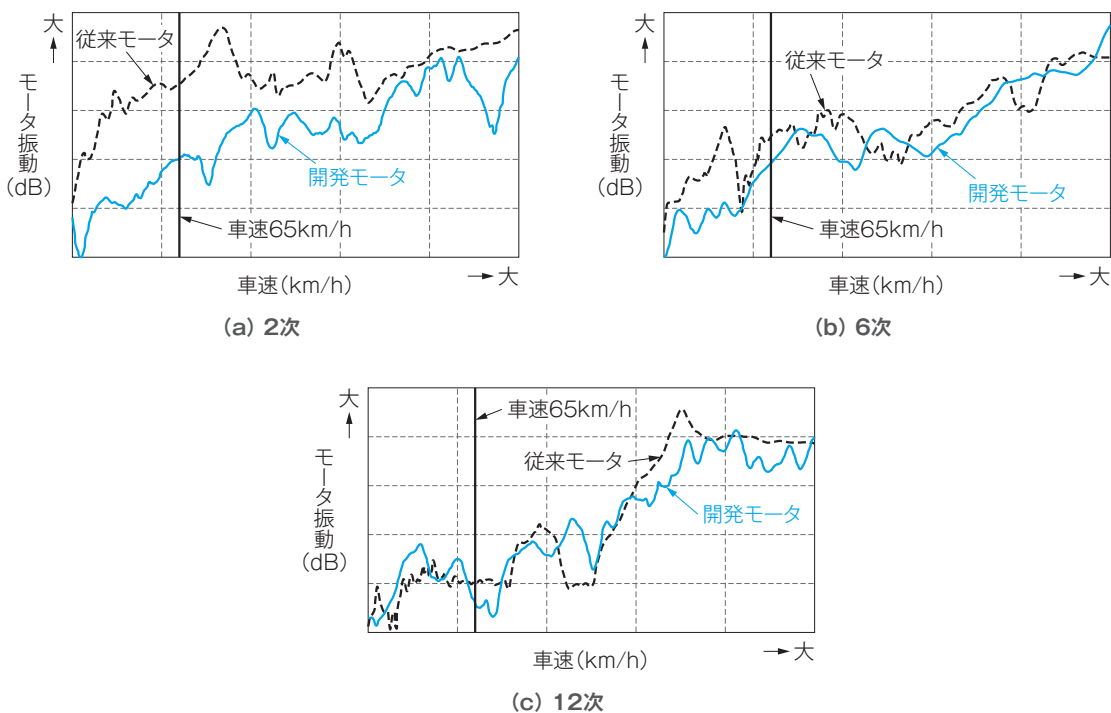
効率差分の測定結果を示す。低負荷での効率を改善したことで、WLTC効率が向上した。

を示す。アスペクト比を大きくするほど巻線の交流銅損は低下するが、ステータ形状も同時に変化するため鉄損や直流銅損は増加する場合がある。開発モータでは平角線のアスペクト比を最適化し、モータの損失を最小化した。

これらの損失改善によって、電磁鋼板を従来モータより低グレードに変更しても同等以上のモータ効率とすることができる。開発モータでは、従来比で25%厚い電磁鋼板を採用し、材料調達を安定化した。

4 モータ効率測定結果

開発モータと従来モータは回転数が異なるため、減速比を調整し同車軸回転数で比較を行う。第6図に開発モータと従来モータの効率差分測定結果を示す。開発モータは、従来モータから中低負荷領域を中心に効率改善し、最大で4.2%向上していることを確認した。最大トルク近傍では効率が最



第7図 振動測定結果

振動測定結果を示す。開発モータは、従来モータより振動値が低減していることが分かる。

大で2.5%低下しているが、実車両の運転条件では最大トルク近傍は使用頻度が低く、電費への影響は小さい。自動車試験の国際基準であるWLTC (Worldwide-harmonized Light vehicles Test Cycle) モード効率では、モータ駆動効率が2.9%向上した。これにより、車両の航続距離の向上が見込める。

- (1) パワー密度40%向上によって、モータの小形・軽量化を実現
 - (2) WLTCモード走行時の効率の向上によって、車両の航続距離を延長
 - (3) 低振動化によって、車両の静寂性向上に貢献
- 今後は、得られた技術を製品に展開し、EV駆動ユニットの性能向上に取り組んでいく所存である。

5 振動測定結果

第7図に開発モータと従来モータの振動測定結果を示す。モータケースに加速度センサを取り付け、最高車速からダウンスイップさせ測定した。常用速度想定车速65km/hでは、電気角6次と12次がそれぞれ7.7dB、6.6dB従来モータから低減した。また、车速が高い領域でも振動値が抑えられており、モータ高速回転化と低振動化を両立した。これにより、開発モータは車両の静寂性向上に貢献できる。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



上野 駿
Shun Ueno
製品技術研究所
回転機の研究開発に従事



瀬谷 泰我
Taiga Seya
製品技術研究所
回転機の研究開発に従事

6 むすび

今回の開発を通して、以下の成果を得た。