

技術について紹介し、続いて自動車用途に適した各種電磁鋼板製品について述べる。

2. 各種評価技術

2.1 モデルモータ評価

モータ実機での電磁鋼板への要求特性を明らかにするためにモデルモータを用いて素材磁気特性と実機特性の対応関係の調査を行った^{1,2)}。ここでは、国内で電気自動車の駆動モータや電動パワーステアリング用モータとして多く利用されているブラシレス DC (BLDC) モータと米国・欧州で電気自動車の駆動モータとして検討例の多い誘導モータについて調査した。試験に用いた BLDC モータは駆動電圧 48 V、定格 300 W、8 極 12 スロットの表面磁石型 (希土類磁石) とし、誘導モータは駆動電圧 120 V、定格 400 W、3 相 6 極 36 スロットとした。この調査では、種々のグレードの電磁鋼板から作製した固定子を準備し、打抜き・かしめ後にひずみ取り焼鈍を施し、測定に供した。測定は上記の駆動電圧で無負荷回転させた状態からトルクを徐々に増加させながら行い、最大効率点を求めた。この BLDC モータでは無負荷回転数 2 100 rpm に対し、最大効率回転数は約 1 500 rpm であった。一方、誘導モータでは無負荷回転数 2 400 rpm に対し、最大効率回転数は 2 300 rpm であった。試験した BLDC モータおよび誘導モータの最大効率回転数での基本周波数はそれぞれ 100 Hz、120 Hz となる。

Fig 1 に BLDC モータ、誘導モータの最大効率に及ぼす素材鉄損の影響を示す。BLDC モータでは電磁鋼板の鉄損特性として一般的に用いられてきた $W_{15/50}$ よりも 400 Hz での鉄損値 $W_{10/400}$ が最大効率と良い相関を示した¹⁾。この結果から、BLDC モータでは基本周波数よりも高い周波数での鉄損がモータ効率向上のために重要であることが判明した。この原因としては磁束密度波形の高次成分の影響が予想される¹⁾。

誘導モータでは最大効率に対して素材鉄損 $W_{15/50}$ と磁束密度 B_{50} の両者が影響する。電磁鋼板の低鉄損化によりモータ効率は向上するものの、 B_{50} の向上が鉄損改善と同等の効果を有しており、低鉄損のみを追求した鉄心素材は

必ずしも誘導モータには適さないことを示している。これら BLDC モータと誘導モータの違いは、BLDC モータでは損失の多くを鉄損が占めるのに対し、誘導モータでは銅損の比率が大きく、 B_{50} 向上により励磁電流値が抑制され銅損が低下することに起因している²⁾。

Fig 2 に BLDC モータの効率に及ぼす出力の影響を示す。Table 1 に固定子として用いた材料のひずみ取り焼鈍後の磁気特性を示す。低鉄損の材料ほど最大効率が高いものの、高出力域では磁束密度 B_{50} の高い材料の方が高いモータ効率を示している。同郵 + ¥ , a, の材料 Bf 0 *

てくるロータと先に出会う側で高い値を示した。この点も磁界解析での結果と異なる分布として特筆される。

以上の測定結果から、電磁界解析による計算から予測されるよりも大きな回転鉄損や磁束の不均一性による鉄損増加が生じている可能性が示唆される。

Fig 5, 6には誘導モータでの局所磁束密度、局所磁界、局所鉄損の分布を示す。磁束密度の径方向成分はティース部で最も高く、高磁束密度部分はヨーク部内側のティース付け根付近にも分布する。また、磁界の径方向成分は特にティース先端部で高い。局所鉄損は径方向の磁束密度と磁界の分布を反映し、 $5 \text{ g s } B (,) T j \text{ E T } E () \text{ g s } B T$

部にある鋼板の磁気量である。

BLDC モータは前節で述べたモータと同じ形式とし、鉄心材料は当社製品の「35JNE300」とした。誘導モータには、駆動電圧 100 V、周波数 60 Hz、単相 2 極 24 スロットのモータを使用し、鉄心材料は当社製品の「50JN400」とした。いずれもティース部にプローブを挿入するために巻線を嵩上げた状態で測定を行った。

Fig 4 に BLDC モータの径方向および周方向の局所磁束密度および磁界の分布を示す³⁾。局所の磁束密度、磁界の径、周方向成分について、時間的な変化での最大値をそれぞれ、 B_{rm} , $B_{\theta m}$, H_{rm} , $H_{\theta m}$ とした。径方向の磁束密度はティース部とティースの付け根付近で高く、周方向の磁束密度はヨークとティースの先端部で大きいことが分かる。このような分布は電磁界解析による計算から導かれる結果とおおむね一致した。ただし、ヨーク内部で認められた不均一な磁束密度分布は電磁界解析では予測できない結果であった。

周方向の磁界成分はティース先端で高く、特に、回転し

3. 電動機・発電機用鉄心に適した電磁鋼板

3.1 高効率電磁鋼板

広い出力域での高効率を要求される自動車用モータでは、前章でのモデルモータによる実験結果から、モータ形式に適合した周波数域の鉄損低減と磁束密度 B_{50} の向上が重要であると言える。このような観点から、当社では、従来の JIS グレード製品群と同等の鉄損を保ちながら高い磁束密度 B_{50} を実現した製品群として「JNE シリーズ」、「JNP シリーズ」を開発し、現在製造している製品群

に適した材料と言える。Fig 9にCGO材との打抜き性の比較を示す。CGO材に比べてJGEはかえり高さの増加が抑えられており、このレベルは同一Si量の無方向性電磁鋼板と同等である。

Fig 10に無方向性電磁鋼板およびJGEによりモデルモータ（BLDCモータ）を作製し、効率を比較した結果を示す。特に高出力域でJGEの効率が高く、JGEを分割コアとして適用することの有用性が確認された。

4.

4.1

ハイブリッド電気自動車や燃料電池自動車では電力変換のためのコンバータ／ゲンバータを有しており、ここで用いられる鉄心材料には、小型軽量化を実現するための高周波域での低損失や静粛性実現のための低騒音といった特性が要求される。この観点から、6% Si含有をベースとしたJFEスーパーコアは最適な材料であり、昇圧コンバータ用リアクトルやコンバータ／インバータの

