ノート

アモルファス積層鉄心の鉄損測定

本多　章作*　中川　昌幸*　森田　渉*　遠藤　桂一郎**

Measurement of Iron Loss in Amorphous Laminated Core.

HONDA Syosaku*, NAKAGAWA Masayuki*, MORITA Wataru* and ENDO Keiichiro**

1. 緒　　言

近年のレアアース高騰を受けて，永久磁石を使用しないスイッチトリラクタンスモータ（SRM）が注目されている。SRM はステータおよびロータの磁気回路が鉄心のみで構成される単純な構造のモータである。そのため，堅牢で高速回転が可能，高温耐久性が高い，安価といった特徴を持つが，効率と出力密度では永久磁石同期モータに劣ることが課題となっている。SRM で高効率高出力駆動を実現するには，高出力が得られる高トルク時または高回転数時に増加する鉄損の削減が重要な要素となる。

アモルファス箔は，モータ鉄心に使用される一般的な無方向性電磁鋼板と比べて鉄損が一桁ほど低い低鉄損材料である。SRM の鉄心用として有望な材料であるが，加工歪みによりヒステリシス損が増加しやすい性質があるため，加工方法の検討が重要な課題となる。

本研究では，プレス打抜きで切断したアモルファス箔で積層鉄心を構成した場合について，加工に伴う鉄損の変化を調べた。

2. 研究内容および結果

2.1 測定方法

鉄損は電力計法を用いて測定した。測定回路を図 1 に示す。リング形状の測定用鉄心に一次および二次コイルを同数巻いてトロイダル型変圧器を製作し，電力計で無負荷状態の有効電力を測定した。電力計で測定される有効電力（瞬時電力の時間平均値）は単位時間に鉄心で消費される磁気エネルギーすなわち鉄損に等しい。

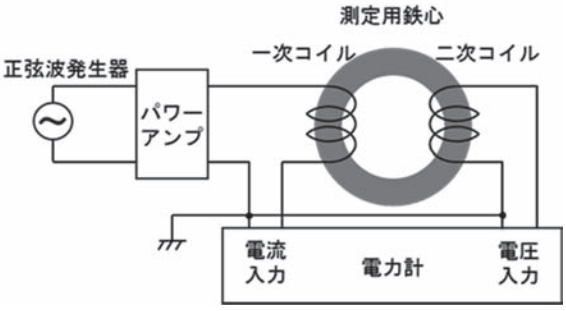

図 1　鉄損測定回路

鉄心が低鉄損の場合，測定される電力の力率は非常に小さくなるため，低力率において有効電力の測定誤差が十分に小さい電力計を使用した。

鉄損は，周波数に比例するヒステリシス損と周波数の二乗に比例する渦電流損の和であるため，鉄損の周波数特性から両損失を分離できる。しかし，高い周波数では磁束の表皮効果により磁束分布が不均一となり渦電流損が二乗則より小さくなるため，ヒステリシス損の周波数特性は低周波数（50～400Hz）の鉄損より算出し，渦電流損は鉄損からヒステリシス損の計算値を引いた値とした。

2.2 アモルファス積層鉄心の製作

鉄損測定に用いるアモルファス積層鉄心の加工条件を表 1 に示す。実際の SRM の鉄心形状は凸極構造を持つ複雑な形状となるが，製作する鉄心は鉄損を正確に測定するため，磁路の磁束密度が均一となるリング形状とした。プレス

*　下越技術支援センター
**　研究開発センター

表 1　アモルファス積層鉄心の加工条件

材料	鉄基アモルファス金属箔 Metglas® 2605SA1（厚さ0.025mm）
切断方法	プレス打抜き加工
切断形状	リング形状（外径40mm，内径24mm）
積層数	200枚
層間絶縁	無し
熱処理	無し
占積率	89%
コイル巻数	200回（周波数50Hz～400Hz） 25回（周波数1kHz）

打抜きで切断したリング形状のアモルファス箔を層間絶縁せずにそのまま積層して鉄心に組み立てた。この鉄心に一次および二次コイルを均一に巻いてトロイダル型の変圧器とした。変圧器の一次側インピーダンスが電源の内部抵抗より十分に大きくないと磁束波形が歪んで正確な鉄損の周波数特性が測れないため，測定周波数範囲により巻数を変えて変圧器の励磁インダクタンスを調整した。

2.3　測定結果と考察

磁束密度 1T において測定したアモルファス積層鉄心の鉄損と単板の状態で測定されたアモルファス箔の鉄損（メーカーによる測定値）[1]との比較を図 2 に示す。アモルファス箔のヒステリシス損および渦電流損は鉄心と同様の方法で計算した値である。積層鉄心の鉄損は材料のアモルファス箔に比べて増加し，例えば 1kHz においてヒステリシス損は 26%，渦電流損は 10%増加した。ヒステリシス損と渦電流損の増加要因はそれぞれ剪断部の残留応力などの加工歪み，層間の絶縁不足などが考えられるが，これらの改良は今後の課題である。また，渦電流損は周波数の上昇とともに急増し，1kHz にいたる前にヒステリシス損を超えている。鉄心内磁束の周波数が 1kHz を超える高速駆動の SRM では，更に増加する渦電流損の抑制が重要となる。

アモルファス箔と同じく，鉄系で安価かつ鉄損が低い鉄心材料として板厚の薄い無方向性珪素鋼板がある。これら珪素鋼板の鉄損[2)3)]とアモルファス積層鉄心の鉄損との比較（図 3）において，アモルファス箔は鉄心に加工した後も低

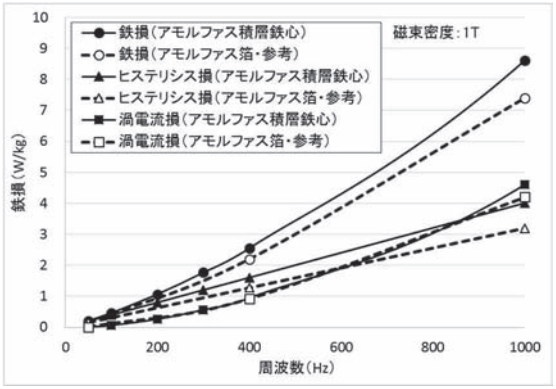

図 2　アモルファス箔と積層鉄心の鉄損比較

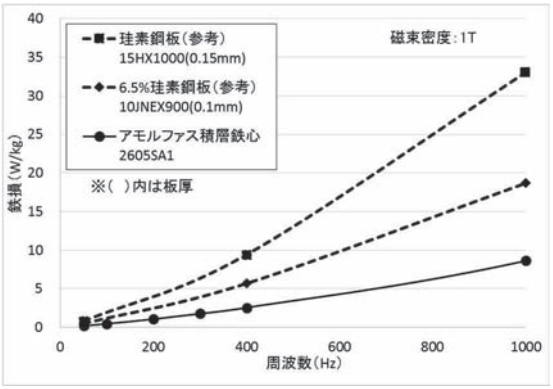

図 3　珪素鋼板とアモルファス積層鉄心の鉄損

鉄損の優位性を保っている。アモルファス箔は加工性では珪素鋼板に劣るものの，SRM の高効率化に期待できる結果となった。

3.　結　　言

（1）プレス打抜き加工で製作したアモルファス積層鉄心について鉄損を測定し，加工後も低鉄損が保たれていることを明らかにした。

（2）今後，この測定方法を用いて様々な条件で試作した鉄心の鉄損を測定し，製造条件の最適化を図りたい。

参考文献

1）中島晋，“高効率モータに使われる最近の軟磁性材料の技術動向”，日本磁気学会第 213 回研究会報告，2017.

2）新日鐵住金株式会社カタログ，無方向性電磁鋼帯，D005je_05_201509f.

3）JFE スチール株式会社カタログ，スーパーコア®，Cat.No.F2J-001-01.