

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：33924

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H07320

研究課題名(和文)次世代高周波変圧器の磁気特性の研究

研究課題名(英文)Study on magnetic properties of next-generation high-frequency-transformer

研究代表者

八尾 惇(Yao, Atsushi)

豊田工業大学・工学(系)研究科(研究院)・ポスドクトラル研究員

研究者番号：70779074

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高周波変圧器の実現を目指し、磁性体の特性評価研究を行った。まず、高Bsブロックコアが、従来材であるアモルファスブロックコアでは、実現できない1.6T以上の高磁束密度領域でも使用可能であることを示した。また、GaN-FET-インバータ励磁下の無方向性電磁鋼板及びアモルファスコアでは、リングングにより鉄損が増加することが明らかとなった。さらに、ヒステリシス曲線内のメジャーループだけでなく、マイナーループも温度依存することがわかった。

研究成果の概要(英文)：In order to realize a high-frequency-transformer, we have focus on evaluations of magnetic properties of magnetic cores. In the laminated block cores made of the high Bs alloy, the rate of increase of iron losses as a function of the magnetic flux density remained small up to around 1.6 T, which cannot be realized in conventional laminated block cores based on amorphous alloy. Under GaN-FET inverter excitation, the iron losses at high carrier frequencies increased because the number of times of ringing. The temperature dependency of iron loss properties was related not only to major loop but also to minor loops.

研究分野：電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：磁性材料 磁性材料測定 高周波 磁性体 パワーエレクトロニクス

1. 研究開始当初の背景

ドローンや電気自動車などの移動体では、電力変換装置の質量を減らすことが課題であり、特に、装置質量の大半を占める変圧器などの磁性材料を軽量化することが課題となっている。この課題を解決するためには、動作周波数をパワーエレクトロニクスの技術により高周波化させ、変圧器などのコア部の体格を小型化させることが重要となる。したがって、高周波下の磁性体研究、特に、磁性材料の基礎特性の把握を行う必要がある。

2. 研究の目的

本研究では、インバータ励磁下の磁性材料の基礎特性を把握することを目的とする。また、比較のために、正弦波励磁下での磁性材料の特性評価も行う。ここでは、高周波インバータ励磁下の磁性材料の特性評価、高周波変圧器のための磁気特性の評価、キャパシタを用いた高磁束密度下の測定評価を行う。

3. 研究の方法

インバータ励磁下の磁性材料の基礎特性の把握のため、リング試料を用いた評価を行う。また、キャパシタを用いて正弦波励磁下で、大電流領域を実現し、高磁束密度下のブロックコアの測定を行う。

4. 研究成果

本研究では、高周波変圧器の実現を目指し、磁性体の特性評価研究を行っている。本研究で得られた主な成果としては、(1) 軟磁性材料のブロックコアの基礎特性、(2) インバータ励磁下における高温環境の電鋼板鉄損特性、(3) 軟磁性材料のリングコアの基礎特性、の3点である。以下に3点の内容を簡単に記述する。

(1) 軟磁性材料のブロックコアの基礎特性

ワイヤー加工後、端面処理(エッチング処理)をし、ブロックコアを作製した。作製したアモルファスブロックコア、ナノ結晶ブロックコア、高Bsブロックコアを図1に示す。これらのブロックコアを用いて鉄損特性の基礎的知見を得た。ここでは、特に、キャパシタを用いて並列共振回路を作製し、大電流領域下での測定を行い、磁性材料特性の基礎的知見を得た。図2に示すように高Bsブロックコアは、従来材であるアモルファスブロックコアでは、実現できない1.6T以上の高磁束密度領域でも使用可能であることを示した。また、高周波領域では、高Bsブロックコアはアモルファスブロックコアと同程度の鉄損値を持つことが明らかとなった。

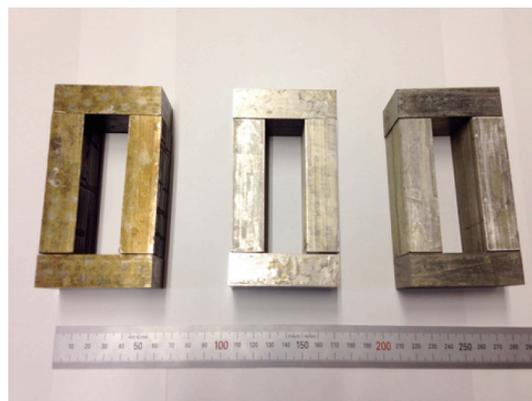


図1 ブロックコア。左から高Bsブロックコア、アモルファスブロックコア、ナノ結晶ブロックコア

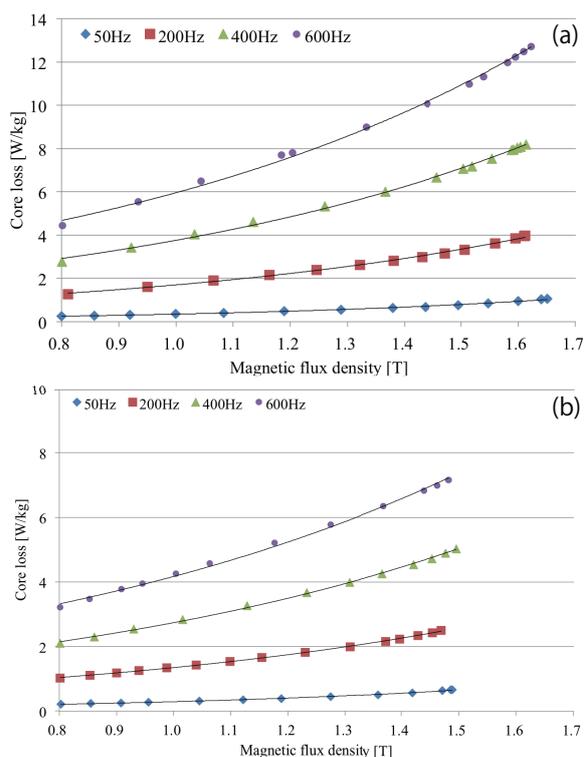


図2 50、200、400、600Hzでのキャパシタを用いたブロックコア測定結果。(a)高Bsブロックコアの結果、(b)アモルファスブロックコアの結果

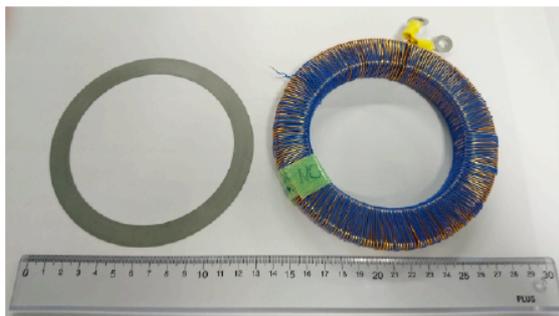
(2) インバータ励磁下における高温環境にの電鋼板鉄損特性

高温環境では、磁性材料の電気導電率が下がるため、基本周波数に起因するメジャーループの保磁力が下がり、キャリア周波数に起因するヒステリシス曲線のマイナーループは小さくなることが明らかとなった。また、磁束密度最大および最小値付近では、磁化モーメントの方向を揃えるためのエネルギーが、室温時と比較し、より多く必要となることがわかった。ここでは、ヒステリシス曲線内のメジャーループだけでなく、マイナール

ープも温度依存することがわかった。また、高温下では、ヒステリシス曲線のマイナーループが縮小することにより、室温と比較し、鉄損値が小さくなることもわかった。以上の結果をまとめ、電気学会の研究会（電気学会回転機/リニアドライブ合同研究会）にて発表した。高周波励磁下では、コアから生じる熱の影響が測定に大きく影響を及ぼすこともわかった。したがって、熱の影響によるコア特性の変化を加味し、高周波変圧器を検討していくことが重要であることが明らかとなった。

(3) 軟磁性材料のリングコアの基礎特性

GaN-FET (gallium nitride-based field effect transistor)インバータ及び Si-IGBT (si-based insulated gate bipolar transistor)インバータ励磁下のアモルファスおよび無方向性電磁鋼板の鉄損特性を得た。図3に作製した無方向性電磁鋼板及びアモルファスのリングコアを示す。Si-IGBTインバータ励磁下のアモルファスコアでは、キャリア周波数に依存せずに、リング試料の鉄損がほぼ一定であることがわかった。一方、GaN-FETインバータ励磁下のアモルファスコアでは、キャリア周波数が増加すると、鉄損が増加することが明らかとなった。図4に GaN-FETインバータ励磁下の無方向性電磁鋼板及びアモルファスのリングコアの磁界強度の時間波形を示す。同図からわかるように、GaN-FETインバータ励磁下では、リング



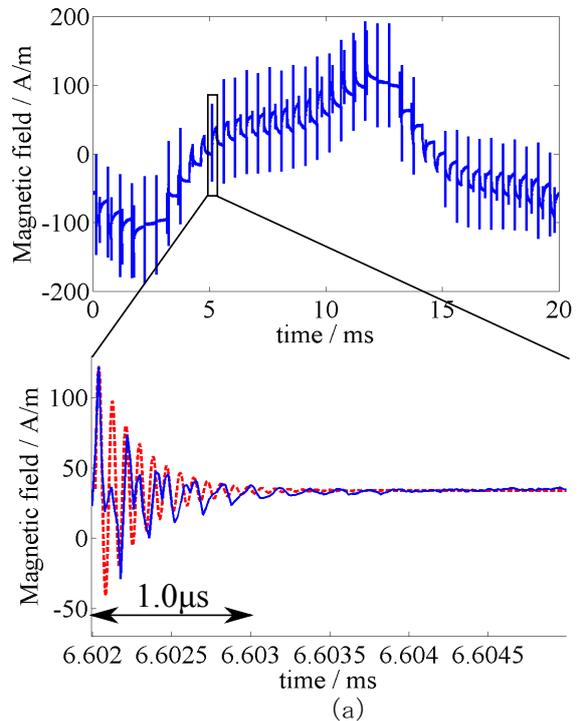
(a) NO ring



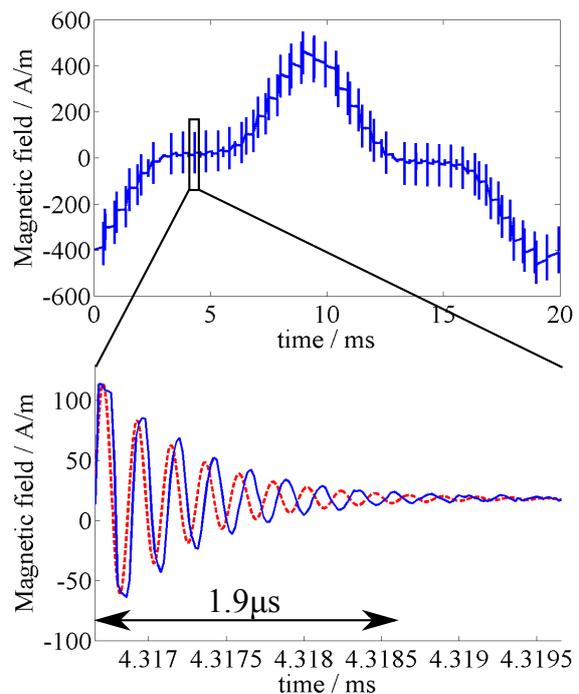
(b) AMM ring

図3 作製したリングコア。(a)無方向性電磁鋼板リングコア、(b)アモルファスリングコア

ングが発生していることがわかる。GaN-FETインバータ励磁下の無方向性電磁鋼板及びアモルファスコアでは、リングングにより鉄損が増加することが明らかとなった。



(a)



(b)

図4 GaN-FETインバータ励磁下の作製したリングコアの磁界強度の時間波形。(a)無方向性電磁鋼板リングコアの結果、(b)アモルファスリングコアの結果

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Atsushi Yao, Masaki Inoue, Kouhei Tsukada, and Keisuke Fujisaki, “Core loss characteristics of laminated magnetic block cores assembled with a high Bs nanocrystalline alloy” AIP Advances, Vol. 8, No. 5, p.p. 056640-1-6 (2018)
DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5006098>
- ② Atsushi Yao, Kouhei Tsukada, and Keisuke Fujisaki, Experimental study on iron loss properties of an amorphous ring under different inverter excitations, International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA) 2017 Proceedings, Vol. MT-2, p.p. 1-3 (2017)
DOI: 10.23919/LDIA.2017.8097251
- ③ Atsushi Yao, and Keisuke Fujisaki, Iron Loss Characteristics under PWM Inverter Excitation at High Ambient Temperatures, International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA) 2017 Proceedings, Vol. P-24, p.p. 1-3 (2017)
DOI: 10.23919/LDIA.2017.8097275
- ④ Keisuke Fujisaki and Atsushi Yao, Magnetic Multi-Scale Model for Local Eddy Current Flow in Complex Materials with Insulated Conductive Particles, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 53, No. 6, p.p. 7300204-1-4 (2017)
DOI: 10.1109/TMAG.2017.2659763
- ⑤ Atsushi Yao, Kouhei Tsukada, Shunya Odawara, Keisuke Fujisaki, Yuji Shindo, Naoki Yoshikawa, and Tetsuma Yoshitake, PWM inverter-excited iron loss characteristics of a reactor core, AIP Advances, Vol 7, No. 5, p.p. 056618-1-7 (2017)
DOI: 10.1063/1.4973797

[学会発表] (計 11 件)

- ① 八尾惇, 杉本昂也, 藤崎敬介, 「PWM インバータ励磁下の NO リング及びナノ結晶リングの鉄損特性」日本鉄鋼協会第 175 回春季講演大会, 271, 千葉工業大学, 2018 年 3 月
- ② Atsushi Yao, Kouhei Tsukada, Masaki Inoue, and Keisuke Fujisaki, “Soft magnetic characteristics of laminated magnetic block cores

assembled with a high Bs Fe-based nanocrystalline alloy” 62nd Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (Pittsburgh, USA, November 7, 2017)

- ③ 八尾惇, 藤崎敬介「高温環境におけるインバータ及び正弦波励磁下の電磁鋼板の鉄損特性」豊田工業大学難環境作業スマート機械技術研究センター第 4 回シンポジウム, P21, 豊田工業大学, 2017 年 10 月
- ④ Atsushi Yao, Kouhei Tsukada, and Keisuke Fujisaki, “Experimental study on iron loss properties of an amorphous ring under different inverter excitations” International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA) 2017 (Osaka, Japan, September 8, 2017)
- ⑤ Kouhei Tsukada, Atsushi Yao, Keisuke Fujisaki, Yuji Shindo, Naoki Yoshikawa, Tetsuma Yoshitake “Evaluation System of Reactor Iron Loss under PWM Inverter Excitation” International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA) 2017 (Osaka, Japan, September 7, 2017)
- ⑥ Atsushi Yao and Keisuke Fujisaki, “Iron Loss Characteristics under PWM Inverter Excitation at High Ambient Temperatures” International Symposium on Linear Drives for Industry Applications (LDIA) 2017 (Osaka, Japan, September 7, 2017)
- ⑦ 八尾惇, 塚田航平, 藤崎敬介, 「異なるインバータ励磁下におけるアモルファスリングの鉄損特性の実験的一検討」平成 29 年 電気学会産業応用部門大会, 1-145, 函館アリーナ, 2017 年 8 月
- ⑧ 八尾惇, 足立彩衣, 藤崎敬介, 「高温環境におけるインバータ励磁下のモータの鉄損特性に関する一検討」平成 29 年 電気学会全国大会, 5-030, 富山大学, 2017 年 3 月
- ⑨ 八尾惇, 足立彩衣, 藤崎敬介, 「高温環境における電磁鋼板およびモータの鉄損特性に関する一検討」, 電気学会マグネティックスリニアドライブ合同研究会, MAG-16-211, 長崎大学, 2016 年 12 月
- ⑩ 八尾惇, 足立彩衣, 藤崎敬介「高温モータドライブシステムに向けた高温磁気特性」豊田工業大学難環境作業スマート機械技術研究センター第 3 回シンポジウム, P23, 豊田工業大学, 2016 年 10 月
- ⑪ 足立彩衣, 八尾惇, 藤崎敬介「高温環境

におけるインバータ励磁下の電磁鋼板
の鉄損特性に関する一検討」電気学会回
転機/リニアドライブ合同研究会,
RM-16-095/LD-16-103, 金沢大学, 2016
年 9 月

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

八尾 惇 (Atsushi YA0)

豊田工業大学・工学研究科・ポストドク
toral 研究員

研究者番号：70779074

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

()