

令和 2 年 5 月 16 日現在

機関番号：23201

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K13749

研究課題名（和文）高温モータシステムの磁気特性の研究

研究課題名（英文）Study on magnetic property of high-temperature motor system

研究代表者

八尾 惇（Yao, Atsushi）

富山県立大学・工学部・助教

研究者番号：70779074

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、高効率な高温モータシステムを実現するための基礎検討として、高温環境におけるインバータ励磁下の磁性材料の基礎特性の評価を行なった。まず、半導体の温度特性がインバータ励磁下の磁性材料の磁気特性に影響を及ぼすことを明らかとした。また、インバータ励磁下における高温環境のアモルファス材およびナノ結晶材の鉄損特性を評価した。さらに、電気および磁気の強連成解析によるインバータ励磁下の磁気特性の数値的表現を実現した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、高温環境における直流交流変換器（インバータ）駆動されている磁性材料の基礎特性の評価を行なった。本研究で得られた知見は、高温領域の直流交流変換器と磁性材料システムの損失低減に寄与することから、高効率な高温モータシステム実現に貢献することが期待される。

研究成果の概要（英文）：In order to develop high-efficiency motor drive system at high-temperature, we have focus on evaluations of magnetic properties of magnetic cores excited by inverter under high-temperature environments. We show that the iron loss and hysteresis properties of magnetic materials under inverter excitation depend strongly on the temperature dependence of semiconductor characteristics. We experimentally and numerically investigate iron loss and the magnetic hysteretic properties of amorphous and nanocrystalline magnetic materials at high-temperature under inverter excitation. We realize accurate representations of hysteretic phenomena under inverter excitation using strong-coupling analysis of the magnetic field and the electric circuit.

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 鉄損 高温 モータ インバーター 磁性体 磁気特性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、火災現場、宇宙空間および自動車などの高温環境において使用されるモータシステムの検討が課題となっている。モータシステムは、主に、半導体素子等で構成されるインバータ（直流交流変換器）および磁性材料等で作製されるモータの2つの構成要素からなる。このようなモータシステムでは、PWM (Pulse Width Modulation) インバータなどのスイッチング動作を行うため、必然的に時間高調波成分を含みモータコアの磁性材料が励磁される。このような必然的に含まれる時間高調波成分により、インバータ励磁下(インバータでモータコアなどの磁性材料を励磁すること)の磁性材料の鉄損は、正弦波励磁した場合の鉄損と比較し、増加することがよく知られている。したがって、高効率な高温モータシステム実現に向けて、高温環境におけるインバータ励磁下の磁性材料の特性を評価することが重要となる。

2. 研究の目的

本研究では、高効率な高温モータシステムを実現するための基礎検討として、高温環境における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。ここでは、インバータに用いられる半導体の温度特性と磁気特性の関係性を明らかとする。また、複数の磁性材料を用いて、磁性材料の差異による特性の変化を把握する。さらに、システム(磁性材料コア部およびインバータ部)における損失解析を行う。

3. 研究の方法

本研究では、高温環境のインバータ励磁下の磁性材料のリングコアの磁気特性を実験的に明らかにする。また、実験で得られた磁気特性結果を基に、電気と磁気の連成解析を行い、数値計算を用いてインバータ励磁下の磁性材料の基礎特性の評価を行う。

4. 研究成果

本研究では、高効率な高温モータシステムを実現するための基礎検討として、高温環境におけるインバータ励磁下の磁性材料の基礎特性の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) 高温インバータ励磁下の磁性材料の基礎特性、(2) インバータ励磁下における高温環境のアモルファス材およびナノ結晶材の鉄損特性、(3) 電気および磁気の連成解析によるインバータ励磁下の磁気特性の数値的表現、の3点である。以下に3点の内容を簡単に記述する。

(1) 高温インバータ励磁下の磁性材料の基礎特性:

高温インバータ回路を作製し、300度での動作を実現した。すなわち、高温環境のインバータ励磁下の磁性材料特性の評価装置を構築した。また、本評価装置を用い、高温インバータ励磁下の磁性材料の磁気ヒステリシス曲線を実験的に評価した。ここでは、半導体の温度特性がインバータ励磁下の磁性材料の磁気特性に影響を及ぼすことを示した。すなわち、図1に示すように、インバータの温度が室温の際と300度の際で磁性材料の磁気特性が変化することを明らかにした。また、図2に示すように、数値計算により高温インバータ励磁下の磁性材料の磁気ヒステリシス特性を数値的に表現出来ることを示した。

(2) インバータ励磁下における高温環境のアモルファス材およびナノ結晶材の鉄損特性:

インバータ励磁下の高温アモルファス材およびナノ結晶材の磁気ヒステリシス曲線を実験的および数値的に評価した。図3に示すようにアモルファス材では、磁気モーメントの揺らぎ

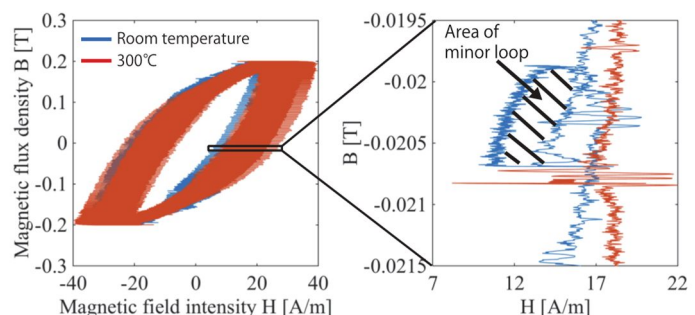


図1 高温インバータ励磁下の磁気特性 (実験)。

発表論文 (*Journal of the Magnetism Society of Japan*,

Vol. 43, No. 3, pp. 46-49 (2019))より転載。

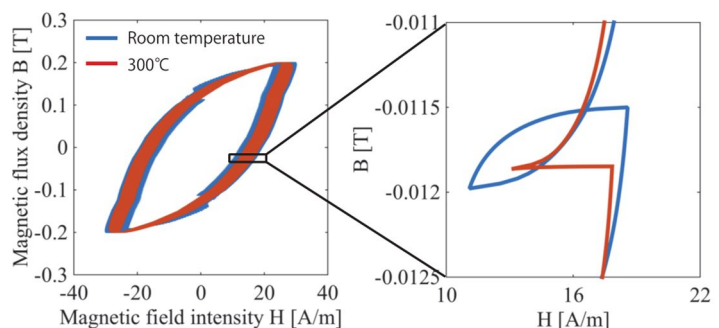


図2 高温インバータ励磁下の磁気特性 (計算)。

発表論文 (*Journal of the Magnetism Society of Japan*,

Vol. 43, No. 3, pp. 46-49 (2019))より転載。

により、温度上昇に伴い、鉄損が減少することを示した。また、ナノ結晶材では、磁氣的相互作用が弱くなり、保磁力が増加し、鉄損が増加することを明らかとした。

(3) 電気および磁気の連成解析によるインバータ励磁下の磁気特性の数値的表現：

モータシステムは、主に、磁性材料コア部(磁気部)およびインバータ部(電気部)の2つの構成要素からなる。本研究では、この電気と磁気の強連成解析を用いたインバータ励磁下の磁気および損失特性を検討した。ここでは、回路シミュレーターを用いることにより、電気と磁気の強連成解析を実現した。図4にインバータ励磁下の磁性材料のヒステリシス曲線を示す。ここで、青色は実験結果を、緑色の実線は先行研究の結果を、赤色の実線は本研究で開発した強連成解析の結果をそれぞれ示す。同図からわかるように、本強連成解析を用いることにより、より高精度にインバータ励磁下の磁性材料のヒステリシス曲線が表現出来ることが明らかとなった。本計算手法を用いることにより、磁性材料コア部およびインバータ部の損失見積りが可能となった。

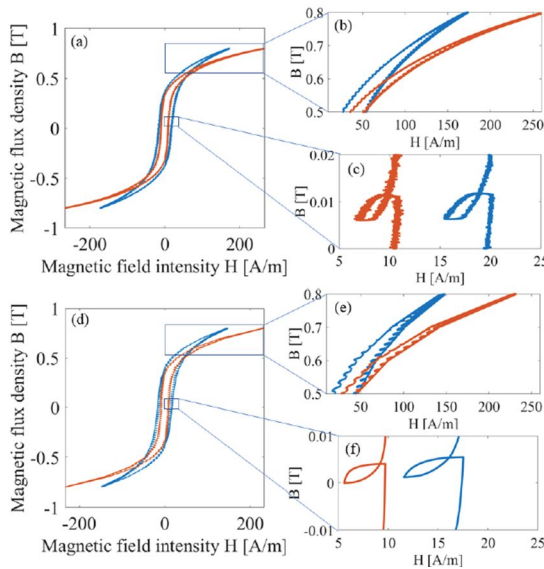


図3 インバータ励磁下の高温アモルファス材の磁気ヒステリシス曲線。

青色：室温、赤色：300度（高温）

発表論文 (*Journal of the Magnetics Society of Japan*, Vol. 44, No. 2, pp. 30-33)

より転載

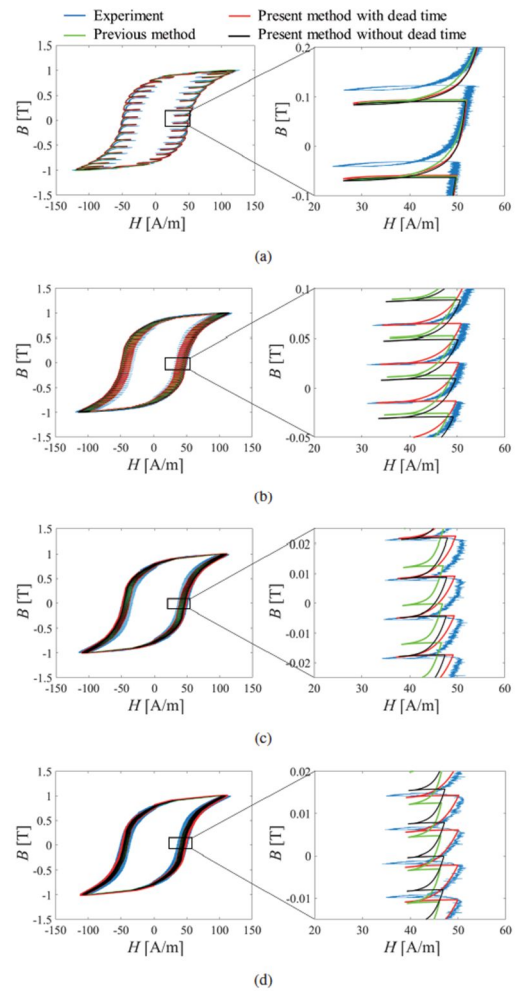


図4 連成解析の数値計算結果。

発表論文 (*Journal of the Magnetics Society of Japan*, Vol. 43, No. 6, pp.

105-108 (2019))より転載

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 Yao A., Funaki T., Hatakeyama T. | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 Representation of Magnetic Hysteresis Phenomena Under Inverter Excitation in a Circuit Simulator Using Coupling Analysis of Electricity and Magnetism | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 105 ~ 108 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1911R001 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Yao A. | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 Iron Loss and Hysteresis Properties of an Amorphous Ring Core at High Temperatures under Inverter Excitation | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 30 ~ 33 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.2003L002 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Yao A., Moriyama R., Hatakeyama T. | 4. 巻 44 |
| 2. 論文標題 Iron Loss and Magnetic Hysteresis Properties of Nanocrystalline Ring Core at High and Room Temperatures Under Inverter Excitation | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 52 ~ 55 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.2005L001 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である) | 国際共著 - |
| 1. 著者名 Yao Atsushi, Sugimoto Takaya, Fujisaki Keisuke | 4. 巻 139 |
| 2. 論文標題 Iron Loss Properties of a Nanocrystalline Ring Core under Si-IGBT and GaN-FET Inverter Excitation | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Industry Applications | 6. 最初と最後の頁 276 ~ 283 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1541/ieejias.139.276 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Yao A., Sugimoto T., Fujisaki K. | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 Core Losses of a Nanocrystalline Motor under Inverter and Sinusoidal Excitations | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 42~45 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1905R001 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である) | 国際共著 - |

| | |
|---|---------------------|
| 1. 著者名 Yao A., Hatakeyama T. | 4. 巻 43 |
| 2. 論文標題 Iron Loss and Hysteresis Properties under High-Temperature Inverter Excitation | 5. 発行年 2019年 |
| 3. 雑誌名 Journal of the Magnetics Society of Japan | 6. 最初と最後の頁 46~49 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3379/msjmag.1905R002 | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である) | 国際共著 - |

[学会発表] 計16件(うち招待講演 2件/うち国際学会 6件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 Atsushi Yao and Tetsuo Hatakeyama |
| 2. 発表標題 Magnetic Hysteresis Phenomena under PWM Inverter Excitation by using Coupled Analysis between Electricity and Magnetism in Circuit Simulator |
| 3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Atsushi Yao and Tetsuo Hatakeyama |
| 2. 発表標題 Iron loss characteristics of a high-temperature amorphous ring under PWM inverter excitation |
| 3. 学会等名 64th Annual Conference on Magnetism and Magnetic Materials (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 八尾惇, 畠山哲夫 |
| 2. 発表標題 PWM インバータ励磁下の磁性材料の磁気ヒステリシス特性の数値的一検討 |
| 3. 学会等名 2019年 電気学会 産業応用部門大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 守山 遼, 八尾惇, 畠山哲夫 |
| 2. 発表標題 高キャリア周波数を用いたPWMインバータ励磁下の 鉄損特性に関する一検討 |
| 3. 学会等名 2019年度電気・情報関係学会北陸支部連合大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 守山 遼, 八尾惇, 畠山哲夫 |
| 2. 発表標題 高温環境におけるインバータ励磁下のナノ結晶リングコアの鉄損特性に関する一検討 |
| 3. 学会等名 電気学会マグネティクス研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 守山 遼, 八尾惇, 畠山哲夫 |
| 2. 発表標題 高キャリア周波数を用いたインバータ励磁下の磁気および鉄損特性に関する一検討 |
| 3. 学会等名 令和元年度 北陸地区学生による研究発表会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 八尾惇 |
| 2. 発表標題 高調波損失とその評価1 (鉄損) |
| 3. 学会等名 産業応用フォーラム「インバータ駆動誘導電動機の新特性算定法と技術課題」(招待講演) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 八尾惇 |
| 2. 発表標題 インバータ励磁下の磁性材料の磁気および鉄損特性 |
| 3. 学会等名 令和2年 電気学会全国大会シンポジウム モータ駆動システム応用時の磁気 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Atsushi Yao, Takaya Sugimoto, and Keisuke Fujisaki |
| 2. 発表標題 Iron loss characteristics of a nanocrystalline ring excited by Si-IGBT and GaN-FET inverters |
| 3. 学会等名 IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG) 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Atsushi Yao, Takaya Sugimoto, Shunya Odawara, and Keisuke Fujisaki |
| 2. 発表標題 Core loss properties of a permanent magnet synchronous motor with nanocrystalline stator and rotor cores under inverter excitation |
| 3. 学会等名 IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG) 2018 (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Atsushi Yao and Tetsuo Hatakeyama |
| 2. 発表標題 Iron loss properties of magnetic materials under PWM inverter excitation at high temperatures |
| 3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Atsushi Yao, Takaya Sugimoto, and Keisuke Fujisaki |
| 2. 発表標題 Core losses of a permanent magnet synchronous motor with nanocrystalline cores under inverter and sinusoidal excitations |
| 3. 学会等名 2019 Joint MMM-Intermag Conference (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 八尾惇 |
| 2. 発表標題 インバータ励磁下の磁気特性 |
| 3. 学会等名 平成30年度 電気関係学会北陸支部連合大会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 八尾惇, 畠山哲夫 |
| 2. 発表標題 高温インバータ励磁下のヒステリシス及び鉄損特性の一検討 |
| 3. 学会等名 平成30年 電気学会産業応用部門大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 八尾惇, 畠山哲夫 |
| 2. 発表標題 電気と磁気の連成解析を用いたインバータ励磁下の磁気特性に関する一検討 |
| 3. 学会等名 平成31年 電気学会全国大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 八尾惇, 畠山哲夫 |
| 2. 発表標題 インバータ励磁下の高温アモルファスリングの鉄損特性に関する一検討 |
| 3. 学会等名 日本鉄鋼協会第177回春季講演大会 |
| 4. 発表年 2019年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
| | | | |