

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04026

研究課題名（和文）電気機器用鉄心材料の透磁率テンソルを考慮した電磁界解析技術に関する研究

研究課題名（英文）Research on Electromagnetic Field Analysis Technique considering Permeability Tensor of Core Material for Electric Machinery

研究代表者

甲斐 祐一郎 (Kai, Yuichiro)

鹿児島大学・理工学域工学系・准教授

研究者番号：50595436

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）：電気機器用鉄心材料は、交番及び回転磁束下で磁化されるとともに、励磁方向で磁化のしやすさが異なる磁気異方性を有しており、これらの磁気現象を考慮した電気機器設計を行う必要がある。本研究課題では、鉄心材料の透磁率テンソルの解明及びそのモデル化を行い、さらに透磁率テンソルを考慮した電気機器の電磁界解析技術の開発に取り組んだ。まず、四方向による鉄心材料の磁気特性評価システムを開発した。次に、開発したシステムを用いて交番及び回転磁束下におけるテンソル磁気特性を測定し、各種磁束条件における透磁率テンソルの挙動を明らかにした。最後に、透磁率テンソルを考慮した電気機器の解析を行い、解析結果の妥当性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般に、透磁率テンソルは磁束密度ベクトルと磁界強度ベクトルを結びつける物理量であり、磁気異方性を表すことができる。よって、鉄心材料の磁気異方性を正確に考慮した電磁界解析を行うためには、すべての透磁率テンソルの値を測定し、その挙動を明らかにすることが重要と考えられる。将来的には、透磁率だけでなく、応力、磁歪の関係をテンソル量として統一して表現できる新たな磁性材料のモデリングを開発し、その応用を目指す。さらに、電気機器設計へと応用することで鉄心材料の応力問題や騒音・振動問題を考慮した機器構造の検討が可能となり、高効率・低損失な新しい機器設計・開発が期待できる。

研究成果の概要（英文）：Core materials for electrical machine are magnetized under alternating and rotating magnetic flux conditions, and have magnetic anisotropy which the magnetization differs depending on the excitation direction. In this research, we have been clarified and modeled the permeability tensor of the core materials, and developed an electromagnetic field analysis technique for electric machine that takes the permeability tensor into account. At first, we developed a measurement system to evaluate the magnetic properties of the core materials from four directions. Next, the magnetic permeability tensor was measured under the alternating and rotating magnetic flux conditions, and the differences in the permeability tensor under various magnetic flux conditions were clarified with the developed system. Finally, the permeability tensor is considered in the analysis of electrical machine, and the validity of the analysis results is demonstrated.

研究分野：電気機器，磁気工学，磁気計測，磁界解析

キーワード：電気機器 磁気特性 鉄心材料 透磁率テンソル 電磁界解析 磁気計測

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 電気機器は、電気エネルギーを、電気エネルギーもしくは機械的エネルギーに変換する機器であり、送配電機器、産業用機器、電気自動車やロボットなどの様々な分野で使用されている。特に、電気機器には、性能向上や高効率化が要求されており、機器設計のための要素技術が必要不可欠である。例えば、電気自動車、ドローン、ロボット用モータには、設置スペースや重量に制限があり、出力を維持しつつ、小型・軽量化が求められる。モータを小型・軽量化しようとするともータの体格が小さくなるため、従来の設計方針では出力が低下する。モータに用いられる鉄心材料は、導線に電流が流れることによって発生した磁束を鉄心内に効率よく伝える役割があり、鉄心形状や配置などの最適化が重要である。また、モータ駆動時において、鉄心材料は交番及び回転磁束下にて磁化されるとともに、励磁する方向で磁化のしやすさが異なるという磁気異方性を有するため、鉄心内の磁気特性は複雑な挙動を示す。そのため、機器設計においては、鉄心材料の正確な磁気特性を把握し、実機内の磁気現象を再現できるモデルを用いて電磁解析を行う必要がある。

(2) 現在の電磁界解析手法は、鉄心材料の非線形磁気特性やヒステリシス現象が考慮されており、透磁率の逆数(磁気抵抗)が用いられる。透磁率はテンソル量であり、磁束密度ベクトル  $B$  と磁界強度ベクトル  $H$  を結びつける役割を持ち、鉄心材料の磁気異方性を表す重要な物理量である。鉄心材料は薄板鋼板であるため、 $z$  方向の磁気特性は考慮されず面内方向の磁気特性にて取り扱われることが多い。現在、すべてのテンソル量( $\mu_{xx}$ ,  $\mu_{yx}$ ,  $\mu_{xy}$ ,  $\mu_{yy}$ )が求められておらず、テンソルの対角成分以外をゼロとしモデル化されている。そのため、鉄心材料の磁気異方性を考慮するためには、全ての透磁率テンソルを測定し、これらをモデル化した上で、電磁界解析を行う必要がある。

### 2. 研究の目的

本研究目的は、透磁率テンソル測定装置の作製、透磁率テンソルを考慮した工学モデルの開発、電磁界解析への適用である。

### 3. 研究の方法

(1) 初年度は、まず、電磁界解析によって、磁気特性評価領域内において均一な磁束密度が得られるように巻線配置や励磁ヨークの構造を検討した上で、励磁器を設計し、装置を作製する。次に、四方向の磁気特性(磁束密度と磁界強度)を測定のために磁気センサを作製する。さらに、正確な磁界強度を測定するため、 $H$  コイルのエリアターンの校正装置を作製し、センサを校正する。また、磁束正弦波条件下にて鉄心材料の磁気特性を測定する必要があるため、パソコン、A/D、D/A コンバータを用いたデジタルフィードバック制御システムを構築する。

(2) 次年度は、まず、四方向の磁束密度と磁界強度から透磁率テンソルを評価するための理論を構築する。次に、実験に必要な電磁鋼板を購入し、交番及び回転磁束条件下における無方向性電磁鋼板の透磁率テンソルの挙動を明らかにするとともに、電磁界解析に用いる透磁率テンソルのデータベースを収集する。

(3) 最終年度は、まず、透磁率テンソルを電磁界解析に反映させるため、基礎方程式、定式化や離散化を行い、独自の計算プログラムを作成する。さらに、解析結果の妥当性を検証するために、簡単な電気機器モデルの磁気特性を測定し、解析結果と測定結果を比較する。

### 4. 研究成果

(1) 初年度は、モータ用鉄心材料の透磁率テンソル測定装置を作製した。図1に透磁率テンソルの磁気特性評価システムを示す。既存の励磁用鉄心を励磁できることがわかったため、励磁巻線や鉄心を準備し、装置を作製した。次に、四方向の磁気特性(磁束密度と磁界強度)を測定するために磁気センサを作製し、ソレノイドコイルを用いたセンサの校正装置にてエリアターンの校正を行った。さらに、磁気特性測定のために、多チャンネルのA/D、D/A コンバータの購入し、多チャンネルのプリアンプを作製し、これらを組み合わせることで測定システムを構築した。図2に交番及び回転磁束下における四方向の磁気特性を示す。磁束条件は、 $B_{\phi\max} = 1.0 \text{ T}$  である。図2(a)に示すように、各方向の磁束密度ベクトル軌跡は直線状になっており、交番磁束である。一方、図2(b)に示すように磁束密度ベクトルを制御しているにも関わらず、 $\phi = 45, 135^\circ$  の磁界強度ベクトル軌跡は、楕円形状を描いている。磁束密度ベクトルを制御する際に、二方向から励磁

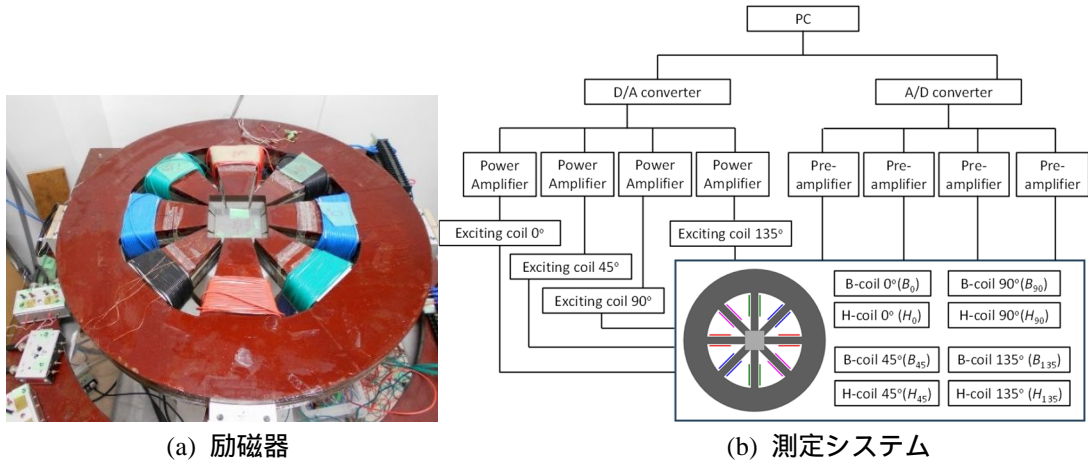


図1 透磁率テンソルの磁気特性評価システム

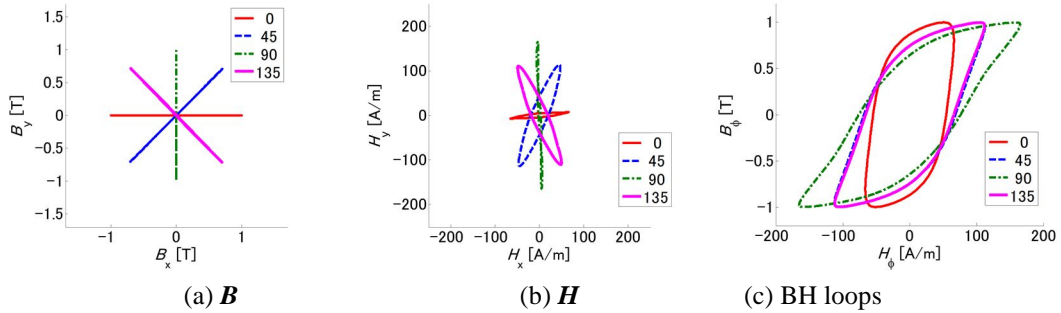


図2 交番磁束下における磁気特性測定結果

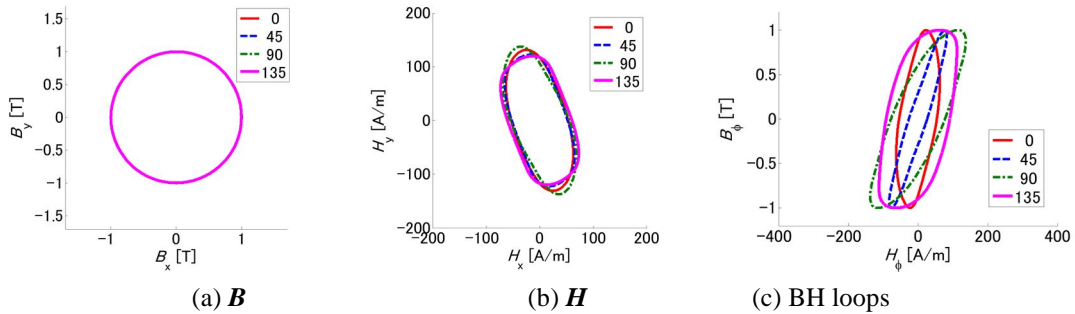


図3 回転磁束下における磁気特性測定結果

する必要があり、無方向性電磁鋼板の磁気異方性によって、各方向の磁束密度と磁界強度波形の大きさと位相差が異なり、回転磁界が生じたと考えられる。図3(c)に四方向のBHループを示す。 $\phi = 0, 45, 90^\circ$ の順に磁界強度が増加しており、無方向性電磁鋼板の圧延方向は磁化されやすく、圧延直角方向は磁化されにくいことがわかる。さらに、 $\phi = 45^\circ$ と $\phi = 135^\circ$ のBHループは、圧延方向と圧延直角方向の中間の角度でほぼ一致している。図3に回転磁束条件下における四方向の磁気特性を示す。磁束条件は、 $B_{\phi\max} = 1.0 \text{ T}$ である。図3(a)に示すように、各測定方向の磁束密度ベクトル軌跡は、真円に制御できており、各方向の磁界強度ベクトル軌跡もほぼ一致している。二方向から励磁した場合、鉄心材料の磁気ヒステリシスによって磁束密度波形よりも磁界強度波形の位相が進み、磁束密度と磁界強度ベクトルの間に空間的位相差が生じる。さらに、圧延磁気異方性によって、圧延方向よりも圧延直角方向を磁化するために大きな磁界強度が必要であるため、図3(b)に示したように、磁束密度ベクトルが圧延直角方向を向いた際に、圧延直角方向からずれた方向の磁界強度が最も大きくなる。交番磁束条件下におけるBHループは、磁束密度と磁界強度の最大となる時間が一致していたが、図3(c)に示すように回転磁束におけるBHループは、丸みを帯びており、磁束密度と磁界強度が最大となる時間が一致していない。また、 $\phi = 45^\circ$ と $\phi = 135^\circ$ のBHループを比較すると、 $\phi = 45^\circ$ とのBHループの膨らみは小さく、 $\phi = 135^\circ$ のBHループの膨らみは大きくなっており、圧延直角方向に対して非対称となった。図3(b)の磁界強度ベクトル軌跡上の $\phi = 45^\circ$ と $\phi = 135^\circ$ 方向に着目すると、各方向で磁界強度の大きさが異なっており、 $\phi = 45^\circ$ との磁界強度は小さく、 $\phi = 135^\circ$ の磁界強度は大きいため、BHループが異なると考えられる。

(2) 次年度は、四方向の磁気特性測定結果から透磁率テンソルを導出し、交番及び回転磁束下における無方向性電磁鋼板の透磁率テンソルを評価した。図4に交番磁束下における透磁率テンソルを示す。磁束条件は、最大磁束密度  $B_{\phi\max} = 0.1 \sim 1.5 \text{ T}$  である。透磁率は、実数部と虚数部

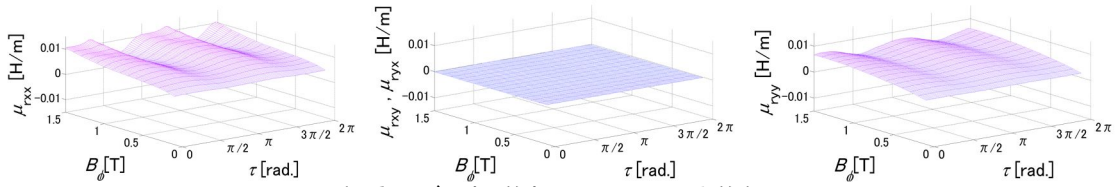


図4 交番及び回転磁束下における透磁率テンソル

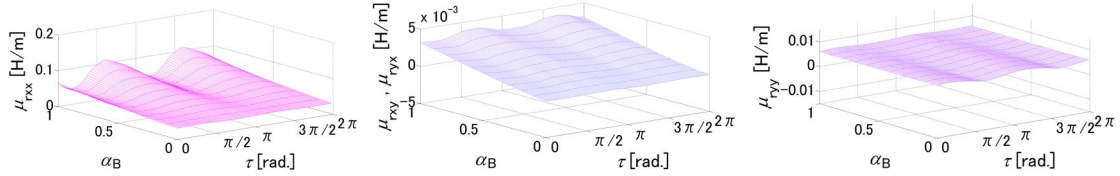
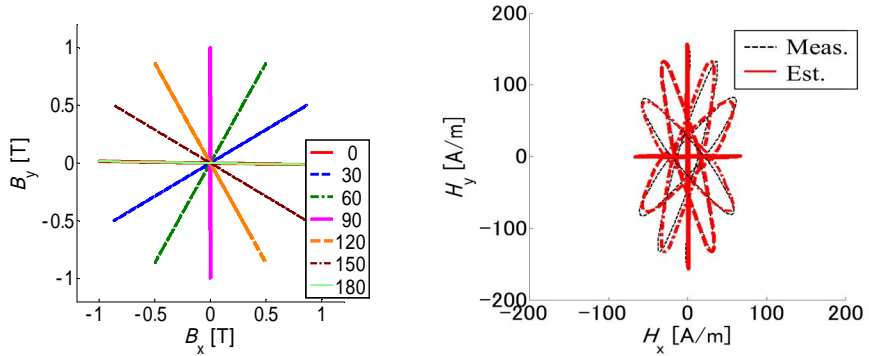


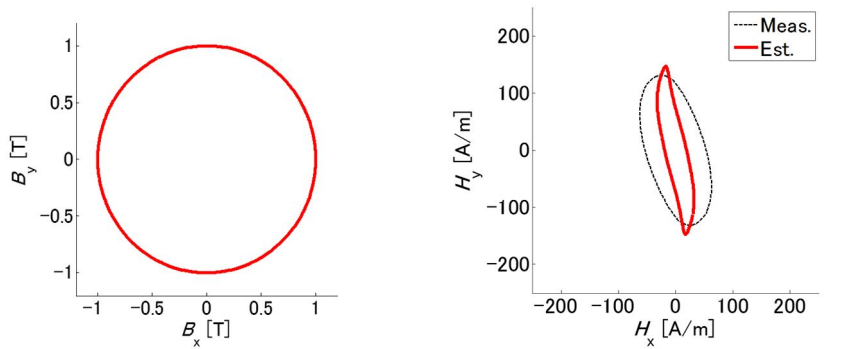
図5 回転磁束下における透磁率テンソル



(a) 磁束密度ベクトル

(b) 磁界強度ベクトル

図6 交番磁束下における磁気特性の測定結果と推定結果の比較



(a) 磁束密度ベクトル

(b) 磁界強度ベクトル

図7 回転磁束下における磁気特性の測定結果と推定結果の比較

の両方を示しており、実数部は正の値、虚数部は負の値となっている。さらに、角度( $\tau = \omega t$ )に対して $\mu_{xx}$ と $\mu_{yy}$ は周期的に変化している。また、 $\mu_{xy}$ 、 $\mu_{yx}$ は $\mu_{45}$ と $\mu_{135}$ の差で計算しており、図2(a)に示すように $\phi = 45^\circ$ と $\phi = 135^\circ$ のBHループは一致し、 $\mu_{45}$ と $\mu_{135}$ の差がほとんどないため、 $\mu_{xy}$ 、 $\mu_{yx}$ はほぼ0となっている。図5に回転磁束下における透磁率テンソルを示す。磁束条件は、最大磁束密度 $B_{\phi\max} = 1.0$  T、 $\alpha_B = 0 \sim 1.0$ である。交番磁束条件下における透磁率テンソルと比較して、透磁率テンソルの非対角項 $\mu_{xy}$ 、 $\mu_{yx}$ は有限の値を持っている。これは $\phi = 45^\circ$ と $\phi = 135^\circ$ のBHループに差が生じたためと考えられる。さらに、軸比の増加に伴い、 $\mu_{xy}$ と $\mu_{yx}$ の変化量が大きくなっている。回転磁束下においては、透磁率テンソルの非対角項成分が有限の値を持つため、 $x$ 、 $y$ 成分の磁界強度と磁束密度は独立とならずに、お互いに影響を及ぼし合っていると考えられる。さらに、透磁率テンソルを用いて、交番及び回転磁束条件において磁界強度ベクトルを推定し、測定結果と比較、検討する。図6に交番磁束下における磁束密度及び磁界強度ベクトルの推定結果と測定結果を示す。磁束条件は、 $|B|_{\max} = 1.0$  T、 $\alpha_B = 0$ 、 $\theta_B = 0 \sim 180^\circ$ である。圧延及び圧延直角方向においては、推定結果と測定結果はほぼ一致しており、交番磁束下における磁界強度ベクトルを推定できている。図6に回転磁束下における磁束密度ベクトル及び磁界強度ベクトルの測定結果と推定結果を示す。磁束条件は、 $B_{\phi\max} = 1.0$ 、 $\alpha_B = 1.0$ である。図測定結果と推定結果を比較すると、ベクトル軌跡の形状は一致しておらず、回転磁束下における推定精度に課題があることがわかった。

(3) 最終年度は、透磁率テンソルを考慮した電気機器の解析を行うために、透磁率テンソルのモ

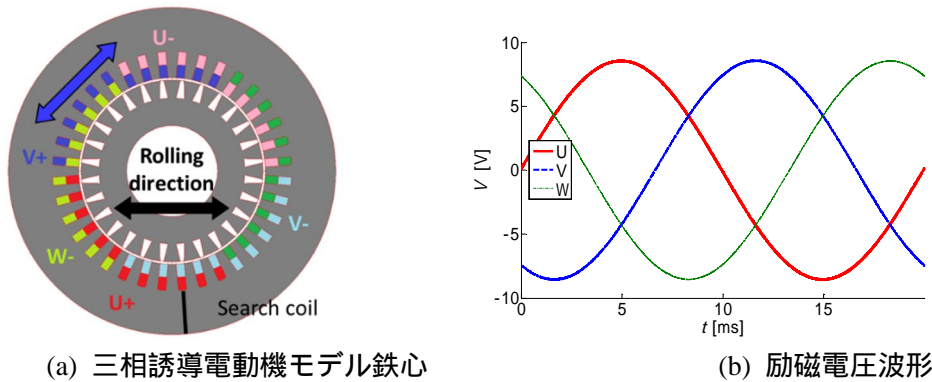


図8 三相誘導電動機モデル鉄心

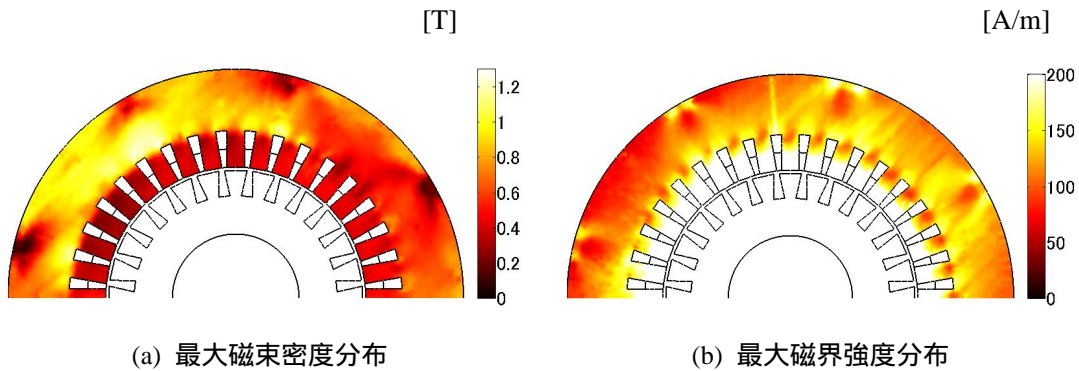


図9 測定結果

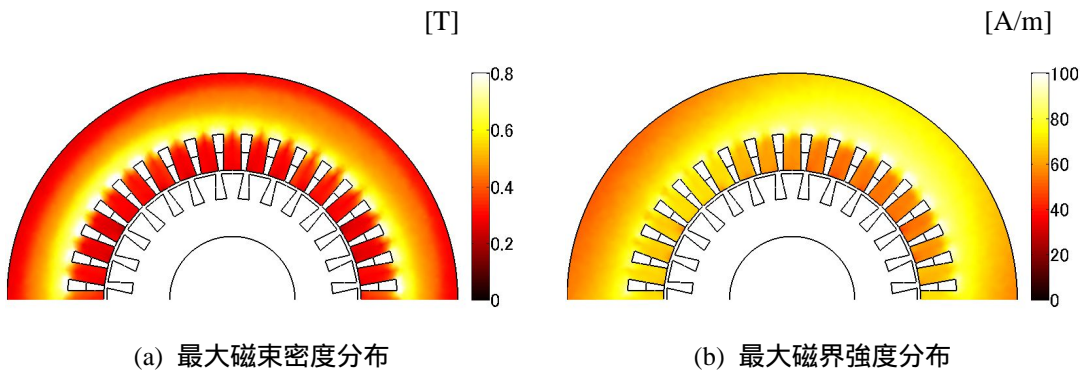


図10 解析結果

デリングを電磁界解析の基礎方程式に組み込み、定式化及び離散化を行い、電磁界解析プログラムを作成した。さらに、作成したプログラムの妥当性を検証するために、三相誘導電動機モデル鉄心の磁気特性を測定し、測定結果と解析結果を比較検討した。図8に三相誘導電動機モデル鉄心を示す。動機モデル鉄心を示す。固定子の外径は720 mm、圧延方向は45°、スロット数は36個となっている。回転子の外径は400 mm、圧延方向は0°方向、スロット数は28個となっている。また、固定子巻線は二層分布巻線となっており、巻線は1相あたり120ターン、1スロット内に10ターンのコイルが2つ挿入されている。今回測定に用いた誘導電動機モデル鉄心は、固定子は溶接とボルトによって固定されており、上面の電磁鋼板のみ絶縁被膜が取り除かれている。図9と図10に測定結果と解析結果を示す。測定に用いた三相誘導電動機モデル鉄心は、溶接やボルト箇所が設けられているため解析結果と測定結果の分布傾向が異なる。固定子の圧延方向と磁束の向きが平行となる135°付近では、最大磁束密度が高くなっている。また、固定子と圧延方向が直交する40°付近においては、最大磁界強度は高くなっている。しかしながら、透磁率テンソルを考慮した磁界解析において、圧延磁気異方性の影響を考慮できていないことがわかった。

(4) 今後の課題としては、今回の透磁率テンソル磁気特性測定においては、4方向に配置する磁気センサの構造が複雑となり測定精度に問題があることが明らかとなった。また、透磁率テンソルを用いて任意磁束条件下の磁界強度ベクトルの推定を行ったが、回転磁束下においては測定結果と推定結果の誤差が大きいため、モデリングの改良が必要である。さらに、現状の透磁率テンソルを考慮した磁界解析において、ヒステリシスループの考慮までには至っていない。今後は、4方向の磁気特性を測定するための磁気センサの改良、モデリングの高精度化及びヒステリシスループを考慮した磁気特性解析手法の開発に取り組む。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

|  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名<br>甲斐 祐一郎, 前田 怜哉, 榎園 正人                 | 4. 巻<br>143巻6号           |
| 2. 論文標題<br>流線を用いた可視化による三相誘導電動機モデル鉄心のベクトル磁気特性評価 | 5. 発行年<br>2023年          |
| 3. 雑誌名<br>電気学会論文誌A (基礎・材料・共通部門誌)               | 6. 最初と最後の頁<br>pp.222-228 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                 | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>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<br>-                |

|   |                        |
|---|------------------------|
| 1. 著者名<br>榎下拓治, 甲斐祐一郎, 榎園正人                         | 4. 巻<br>MAG-23-099     |
| 2. 論文標題<br>可動式回転子を用いた三相誘導電動機モデル鉄心のベクトル磁気特性測定システムの改良 | 5. 発行年<br>2022年        |
| 3. 雑誌名<br>電気学会マグネティックス研究会資料                         | 6. 最初と最後の頁<br>pp.35-40 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                      | 査読の有無<br>無             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名<br>田中雄大, 甲斐祐一郎, 榎園正人  | 4. 巻<br>PS-55            |
| 2. 論文標題<br>三相誘導電動機モデル鉄心のベクトル磁気特性分布と励磁特性                            | 5. 発行年<br>2022年          |
| 3. 雑誌名<br>第31回MAGDAコンファレンスin鹿児島, MAGDA2022, ~電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス~ | 6. 最初と最後の頁<br>pp.358-361 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                                     | 査読の有無<br>無               |
| オープンアクセス<br>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<br>-                |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>甲斐祐一郎, 藤原周平                      | 4. 巻<br>13B1-2       |
| 2. 論文標題<br>四方向励磁による無方向性電磁鋼板の透磁率テンソル評価      | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>第34回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, SEAD34 | 6. 最初と最後の頁<br>13B1-2 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし             | 査読の有無<br>無           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名<br>甲斐祐一郎  | 4. 巻<br>08-7-3           |
| 2. 論文標題<br>複素透磁率を用いた鉄心材料の磁気ヒステリシスループモデルの検討                         | 5. 発行年<br>2022年          |
| 3. 雑誌名<br>第31回MAGDAコンファレンスin鹿児島, MAGDA2022, ~電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス~ | 6. 最初と最後の頁<br>pp.638-641 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                                     | 査読の有無<br>無               |
| オープンアクセス<br>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<br>-                |

|   |                          |
|---|--------------------------|
| 1. 著者名<br>藤原周平, 甲斐祐一郎                             | 4. 巻<br>Vol.29, No.2     |
| 2. 論文標題<br>無方向性電磁鋼板における透磁率テンソル評価法に関する検討           | 5. 発行年<br>2021年          |
| 3. 雑誌名<br>日本AEM学会誌                                | 6. 最初と最後の頁<br>pp.483-488 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.14243/jsaem.29.477 | 査読の有無<br>有               |
| オープンアクセス<br>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<br>-                |

|  |                        |
|--|------------------------|
| 1. 著者名<br>本多景伍, 甲斐祐一郎                  | 4. 巻<br>MAG-22-016     |
| 2. 論文標題<br>変形Hコイルを用いた鉄心材料の磁界強度測定法の検討   | 5. 発行年<br>2022年        |
| 3. 雑誌名<br>電気学会研究会資料, マグネティックス研究会       | 6. 最初と最後の頁<br>pp.19-24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし         | 査読の有無<br>無             |
| オープンアクセス<br>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<br>-              |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>前田怜哉, 甲斐祐一郎, 榎園正人                        | 4. 巻<br>MAG-22-023    |
| 2. 論文標題<br>高磁束密度励磁下における三相誘導電動機モデル鉄心のベクトル磁気特性分布の可視化 | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>電気学会研究会資料, マグネティックス研究会                   | 6. 最初と最後の頁<br>pp.7-12 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                     | 査読の有無<br>無            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                  |
|--|------------------|
| 1. 著者名<br>甲斐祐一郎, 榎園正人                  | 4. 巻<br>1-C-p1-5 |
| 2. 論文標題<br>電力用磁性材料の開発技術-応力下のベクトル磁気特性評価 | 5. 発行年<br>2021年  |
| 3. 雑誌名<br>令和3年電気学会基礎・材料・共通部門大会         | 6. 最初と最後の頁<br>-  |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし         | 査読の有無<br>無       |
| オープンアクセス<br>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<br>-        |

|  |                          |
|--|--------------------------|
| 1. 著者名<br>砂原佳依, 甲斐祐一郎, 榎園正人                      | 4. 巻<br>SEAD33-83        |
| 2. 論文標題<br>流線表示による三相誘導電動機モデル鉄心におけるベクトル磁気特性分布の可視化 | 5. 発行年<br>2021年          |
| 3. 雑誌名<br>第33回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム               | 6. 最初と最後の頁<br>pp.273-278 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>なし                   | 査読の有無<br>無               |
| オープンアクセス<br>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<br>-                |

[学会発表] 計8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>榎下拓治, 甲斐祐一郎, 榎園正人                        |
| 2. 発表標題<br>可動式回転子を用いた三相誘導電動機モデル鉄心のベクトル磁気特性測定システムの改良 |
| 3. 学会等名<br>電気学会マグネティックス研究会                          |
| 4. 発表年<br>2023年                                     |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>本多景伍                      |
| 2. 発表標題<br>変形Hコイルを用いた鉄心材料の磁界強度測定法の検討 |
| 3. 学会等名<br>電気学会マグネティックス研究会           |
| 4. 発表年<br>2022年                      |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>前田 怜哉                                   |
| 2. 発表標題<br>高磁束密度励磁下における三相誘導電動機モデル鉄心のベクトル磁気特性分布の可視化 |
| 3. 学会等名<br>電気学会マグネティックス研究会                         |
| 4. 発表年<br>2022年                                    |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>甲斐 祐一郎   |
| 2. 発表標題<br>複素透磁率を用いた鉄心材料の磁気ヒステリシスループモデルの検討                          |
| 3. 学会等名<br>第31回MAGDAコンファレンスin鹿児島, MAGDA2022, ~電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス~ |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>甲斐 祐一郎   |
| 2. 発表標題<br>三相誘導電動機モデル鉄心のベクトル磁気特性分布と励磁特性                             |
| 3. 学会等名<br>第31回MAGDAコンファレンスin鹿児島, MAGDA2022, ~電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス~ |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>甲斐 祐一郎                           |
| 2. 発表標題<br>四方向励磁による無方向性電磁鋼板の透磁率テンソル評価       |
| 3. 学会等名<br>第34回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム, SEAD34 |
| 4. 発表年<br>2022年                             |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>甲斐祐一郎                       |
| 2. 発表標題<br>電力用磁性材料の開発技術-応力下のベクトル磁気特性評価 |
| 3. 学会等名<br>令和3年電気学会基礎・材料・共通部門大会        |
| 4. 発表年<br>2021年                        |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>甲斐祐一郎                                 |
| 2. 発表標題<br>流線表示による三相誘導電動機モデル鉄心におけるベクトル磁気特性分布の可視化 |
| 3. 学会等名<br>第33回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム              |
| 4. 発表年<br>2021年                                  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|         |         |