

2020年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	鹿児島大学 大学院理工学研究科 工学専攻 電気電子工学プログラム
職位または役職	准教授
氏名	甲斐 祐一郎

1. 研究題目

誘導磁界を利用したモータコアのひずみ取焼鈍技術の開発

2. 研究目的

電気自動車や産業機器用のモータには、性能向上や高効率化が要求されており、これらに必要な要素技術開発が必要不可欠である。モータ用の鉄心材料として電磁鋼板が用いられるが、応力に敏感であり、加工・組み立て工程で生じた外部応力や残留応力によって磁気特性が劣化する。特に、低損失材料ほど応力の影響を受けやすく、わずかな応力によって磁気特性は著しく低下する。また、モータの小型化に伴い、鉄心加工には高い加工精度が要求され、加工応力の影響は今後避けられない問題となる。

本研究では、簡便かつ短時間にモータコアを焼鈍するため、誘導磁界を利用した新しいひずみ取焼鈍法を提案し、その装置開発及び磁気特性評価に取り組んでいる(図1)。本助成の研究成果にて、誘導磁界を用いてリング状のモータコアを加熱することで、10分で600°C以上の加熱が可能であり、鉄損が低減することを示した。本年度は、実機のモータコア(ティースを有するコア)に誘導磁界加熱法によるひずみ取焼鈍を行い、その焼鈍効果を検討する。

誘導磁界加熱を用いた焼鈍技術が確立することによって、実用的なモータコアのひずみ焼鈍が可能となり、モータの高効率・低損失化へ向けたモータ製造支援が期待できる。

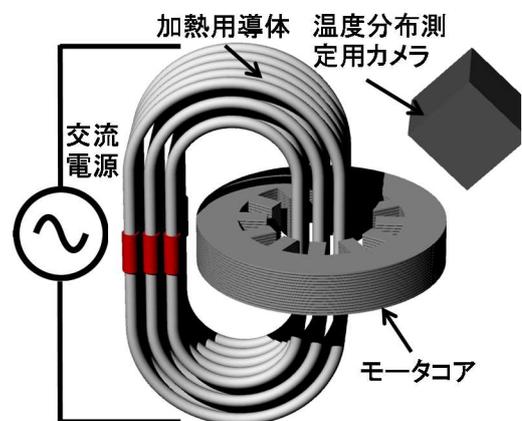


図1 誘導磁界加熱法の原理

3. 研究内容及び成果

本研究では、(1) モータモデルコアのひずみ取焼鈍、(2) モータモデルコアの磁気特性評価装置の作製、(3) モータモデルコアの焼鈍と磁気特性評価の3つの課題に取り組んだ。

(1) モータモデルコアのひずみ取焼鈍法及び条件の検討 (図2)

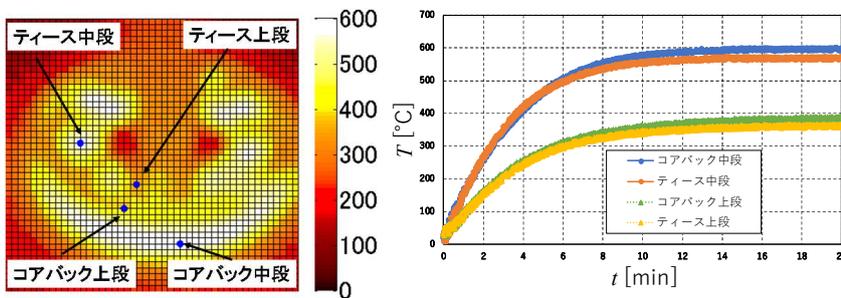
モータモデルコアを作製及び加熱を行い、温度分布を検討した。モータモデルコアの中心に加熱導線を通し、1枚のモータモデルコアを加熱したところ、85℃程度しか上昇しなかったが、モータモデルコアを積層することで温度が上昇し、積層枚数が25枚で約600℃まで加熱できるようになった。上下面からの放熱量の減少や各コアの発熱によって全体の温度が上昇したと考えられる。モータモデルコアの各点の温度をみると、コアバックとティースの温度差が約30℃であり、その差は小さかった。また、モータモデルコアの上段に比べ、中段の温度が200℃程度上昇しており、中段において十分な焼鈍が期待できる。

(2) モータモデルコアの局所磁気特性測定法及び装置の開発 (図3, 図4)

モータモデルコアのコアバックとティースの磁気特性を測定するために測定システムを構築した。一般的な環状試料法によってコアバックの磁気特性を評価した。また、ティースに探りコイルと励磁コイルを巻き、励磁ヨークを用いて閉磁路を構成し、励磁電流法にてティースの磁気特性を評価した。コアバックとティースの鉄損を比較するとこれらの値は同程度であった。さらに、各ティースの鉄損は、圧延方向(0°)の値が最も低く、圧延直角方向(90°)に近づくことで鉄損は増加しており、圧延磁気異方性の影響によるものと考えられる。また、ティースの鉄損は励磁ヨークの鉄損を含んでいるため、コアバックの値よりも大きくなったと考えられる。

(3) モータモデルコアのティースのひずみ取焼鈍効果の評価 (図5)

誘導磁界加熱法を用いてモータモデルコアにひずみ取焼鈍を施し、焼鈍前後におけるティースとコアバックの磁気特性を測定した。レーザ加工で作製されたモータモデルコアにおいて、焼鈍前の鉄損と比較して焼鈍後の鉄損が減少しており、レーザ切断時に生じた熱ひずみが低減したと考えられる。以上の結果から、本手法を用いることでモータモデルコアのコアバックとティースの磁気特性を改善できるため、ひずみ取焼鈍に有効であると考えられる。



(a) 温度分布 (b) 各部の温度
図2 モータモデルコアの温度分布測定結果

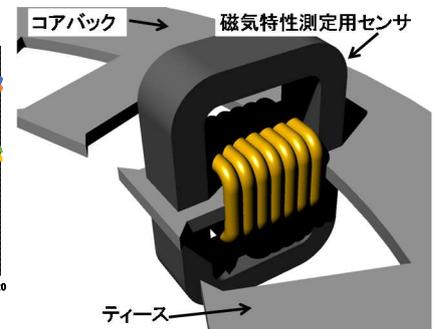


図3 ティースの磁気特性測定法

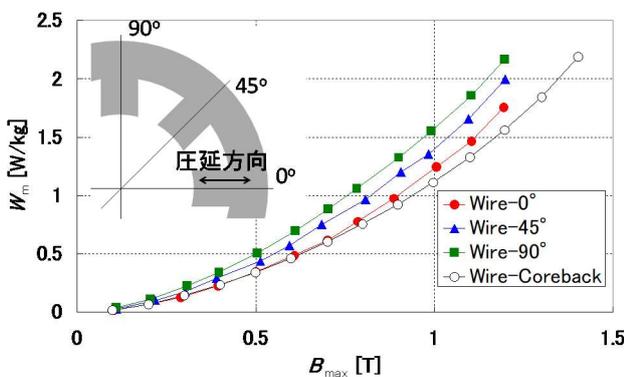


図4 コアバックとティースの鉄損特性

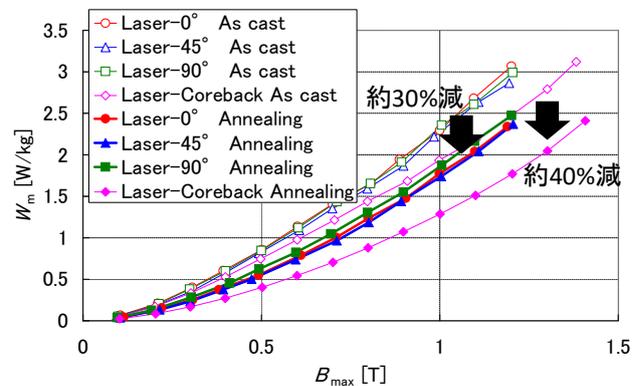


図5 ひずみ取焼鈍前後の鉄損

4. 今後の研究の見通し

本研究では、簡便かつ短時間のモータコアの焼鈍を目指し、誘導磁界を利用した新しい焼鈍法を提案し、その装置開発及び磁気特性評価に取り組んでいる。昨年度・今年度は、本手法を用いてモータコアに焼鈍を施すことによって、10分で600°C以上の加熱が可能であり、磁気特性が改善することを明らかにした。

今後は、実機モータにおける本手法による焼鈍の有効性を検討するため、焼鈍効果検証用のモータを試作し、実機駆動時のモータ特性を評価する。

- (1) 焼鈍効果検証用モータの試作
- (2) 焼鈍効果検証のためのモータ特性評価装置の作製
- (3) モータコアの焼鈍とモータ特性評価

まず、今年度のモータモデルコアの形状を基本とし、焼鈍効果を検証するためのモータを試作する。次に、モータの入力及び出力以外にも磁気特性まで含めたモータ特性の評価装置を開発する。最後に、モータコアに焼鈍を施し、モータを組み立て、モータ評価装置を用いて回転数、トルクや磁気特性を測定し、焼鈍前後における効率や損失を比較する。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

・学術論文（査読付）

- [1] 鮫島康之介, 甲斐祐一郎, 誘導磁界を用いたモータ鉄心材料のひずみ取焼鈍の効果の検討, 日本 AEM 学会誌, Vol.29, No.2, pp.483-488, 2021.6
- [2] 甲斐祐一郎, 野間口智之, 誘導磁界を利用した環状鉄心のひずみ取焼鈍法の検討, 日本 AEM 学会, Vol.29, No.1, pp.59-64, 2021.4

・国際・国内会議（査読無）

- [3] 鮫島康之介, 甲斐祐一郎, 誘導磁界を用いたモータモデル鉄心の加熱法及びひずみ取焼鈍効果の検討, 電気学会研究会資料, マグネティックス研究会, MAG-21-057, pp.11-16, 2021.4.16
- [4] 鮫島康之介, 甲斐祐一郎, 誘導磁界を用いたモータ鉄心材料のひずみ取焼鈍効果の検討, 第 29 回 MAGDA コンファレンス in 大津, MAGDA2020, ～電磁現象及び電磁力に関するコンファレンス～, W2B2, pp.296-301, 2020.12.23