

2019年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	鹿児島大学学術研究院理工学域(工学系) 電気電子工学専攻
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。特に、今後量産が期待される電気自動車用モータは設置スペースが限られるため、モータの小型化・高性能化が要求される。

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。

一般に、製造時に生じた鉄心材料の残留応力を除去するために、電気炉によるひずみ取焼鈍が施されるが、長時間の熱処理のためランニングコストがかかり現在ではあまり使用されていない傾向にある。一方で、電磁現象を利用した加熱方法が提案されており、鉄心材料の内部から発熱するため、熱効率が高く、外部から皮膜の損傷の影響が小さいという利点がある。

本研究では、簡便かつ短時間のモータ鉄心の焼鈍を目指し、誘導磁界を利用した新しい焼鈍法を提案し、その装置開発に取り組む。電磁現象を利用した手法として二次電流加熱法が提案されているが、モータコアとは別の鉄心が必要であり、設置に手間がかかるといった課題がある。一方、今回提案する誘導磁界加熱法は、モータコアの中心に導体を通し、交流電流を流すことによって、導体から発生した磁場がモータコアを通り、モータコアの鉄損によって加熱する方法である。導体によって生じる磁束がそのままモータコアを通るため鉄心が不要である。さらに、任意形状の導体をモータコアの内側もしくは外側に設置することができ、簡便な加熱が可能と考えられる。

3. 研究内容及び成果

図 1 に誘導磁界加熱法の原理を示す。環状鉄心の内側に通した導線に交流電流を流すことによって誘導磁界が発生する。この際、環状鉄心が磁化され、さらに電磁誘導によってうず電流が生じる。磁化に伴うエネルギー損失であるヒステリシス損とうず電流損が発生し、これらの損失が発熱源となり、環状鉄心の温度が上昇する。

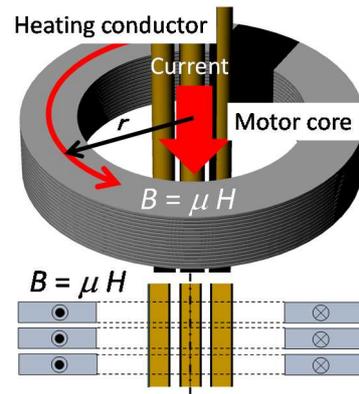


図 1 誘導電流加熱法の原理

図 2 に加熱システムを示す。加熱導線は、直径 3.2 mm、ニッケル導体シリガラス編組電線である。加熱導線は接続を容易にするため導線両端に差し込み型ピン端子を用いている。加熱導線は、18 回巻いており直列に接続した。温度分布測定は、小形熱画像センサを使用した。

図 3 に環状鉄心の加熱方法と温度分布を示す。環状鉄心の上限面からの放熱を減らすため、ダミーコアを上下から 15 枚のダミーコアで加熱対象となる電磁鋼板を挟み込み、加熱を行った。鉄心材料は、無方向性電磁鋼板(35A300)の板材から、外径 60mm、内径 40mm を環状鉄心をレーザー切断にて作製した。

図 4 に電気炉(E. F.)と誘導磁界加熱法(I. M. F.)による焼鈍結果を示す。電気炉加熱においては、電気炉内に熱電対を貼り付けた鉄心材料を設置し、温度測定器を用いて、鉄心の温度を監視しながら加熱を行った。いずれの加熱条件において、昇温時間は 15 min、最高温度は 600°C を目標とし、電気炉の加熱条件と同じによるように印加電圧を調整した。誘導磁界加熱法の周波数は、20 kHz である。電気炉(E. F.)と誘導磁界(I. M. F.)加熱を比較すると磁気損失は減少している。 $B_{max} = 1.0$ T をみると、電気炉加熱は 17.7 %、誘導磁界加熱法は 22.8 % 減少しており、誘導磁界加熱法の磁気特性の改善量大きい。

以上の結果から、電気炉と誘導磁界加熱法において、誘導磁界加熱法による焼鈍効果が大いことが明らかになった。

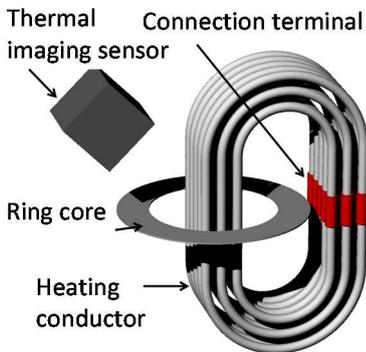


図 2 加熱システム及び加熱方法

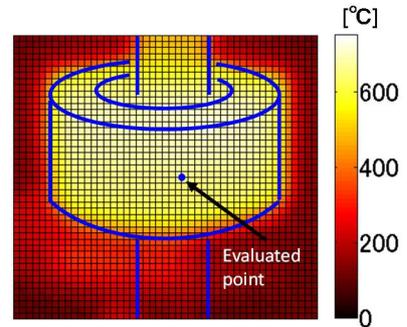
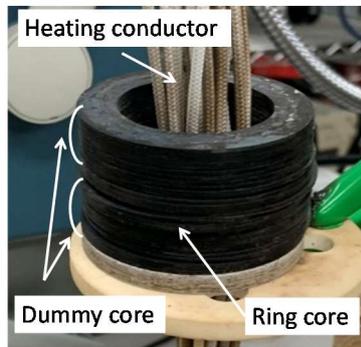
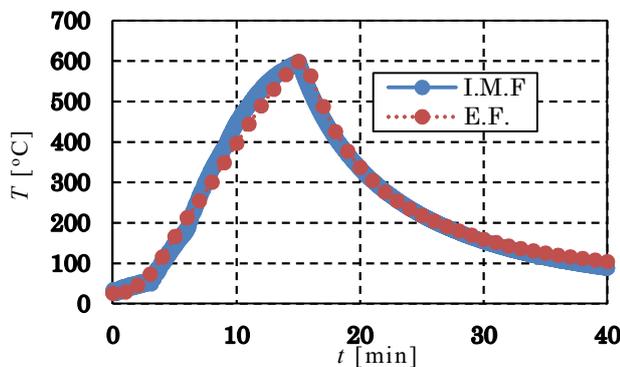
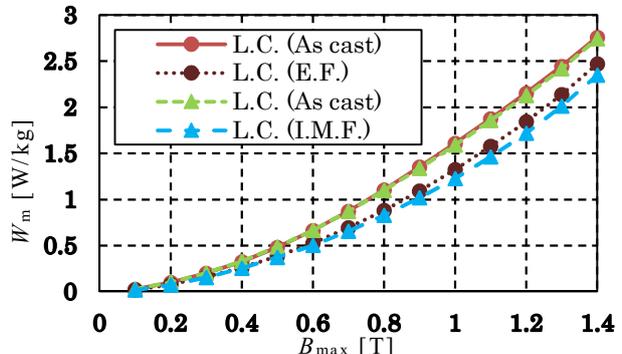


図 3 鉄心材料加熱方法と温度分布



(a) 温度特性



(b) 磁気損失

図 4 電気炉と誘導磁界加熱法による磁気特性

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鉄心の焼鈍を目指し、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み、提案手法を用いることで焼鈍効果が得られることを明らかに、研究会や学会で報告した。また、誘導磁界加熱法において、昇温条件や加熱温度が磁気特性へ及ぼす影響についても検討を行っており、今後の学会や研究会にて報告する。

今後は、これまでの研究のさらなる発展を目指し、実機のモータコア（ティースを有する鉄心）に対して誘導磁界加熱法を用いてひずみ取焼鈍を行い、その焼鈍効果を明らかにすることが今年度の研究目的である。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。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

- [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, 第 29 回 MAGDA コンファレンス in 大津, 2020.12.22-23, 論文投稿中
- [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, 第 32 回「電磁力関連のダイナミクス」シンポジウム 講演論文集, pp.211-216, 2020.5, 論文投稿中
- [3] 野間口智之, 甲斐祐一郎, 誘導磁界を利用した環状鉄心の加熱導体配置の検討, 電気学会研究会資料, マグネティックス研究会, MAG-19-156, pp.47-50, 2019 (査読無)