

2020年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	大分大学 理工学部 福祉メカトロニクスコース
職位または役職	准教授
氏名	高 炎輝

1. 研究題目

高キャリア周波数領域におけるモータ鉄芯材料の鉄損解析方法の開発と検証

2. 研究目的

産業機械の高付加価値のニーズに伴い、10kHz以上の高キャリア周波数インバータ駆動を採用するモータの使用が拡大されつつある。この研究の目的は、高キャリア周波数インバータ駆動源とするモータのさらなる高効率化を図るため、これら高性能モータの開発・設計に用いられる磁界解析による鉄損計算を高精度化することである。その中で本研究では、モータの鉄芯損失増加要因の一つである磁壁移動によって生じる異常渦電流損に関して、数値的なモデリング方法および磁壁移動を考慮した物理的なモデリング方法を用いて、高キャリア周波数領域における電磁鋼板の精度良い鉄損解析方法を開発するとともに測定値と比較することにより解析方法の有効性を検証する。今後、インバータ駆動モータの最適設計に適用することが期待される。

3. 研究内容及び成果

1. 簡易磁区モデルによる異常渦電流損のモデリング法を開発し、無方向性電磁鋼板の渦電流損の計算に適用した。(国内会議論文1)

物理的な異常渦電流損モデリング方法として、Pry and Bean モデルに基づいた2次元有限要素周期磁区モデルを表皮効果考慮できるように改良した数値計算手法を二つ提案し、提案法を電磁鋼板の渦電流計算に適用し、180度磁壁移動に伴うマイクロ渦電流分布をモデリングできた(図1)。さらに、渦電流損を計算し、マイクロ渦電流による異常渦電流損を求めた。マイクロ渦電流を考慮することで、400 Hz～10 kHz まで、マイクロ渦電流による渦電流損の増加率は20%～50%であることがわかった(図2)。また、マイクロ渦電流はヒステリシスループの保磁力と残留磁化の両方を増加させるのもわかった。しかし、計算した鉄損値と測定値の差はまだ大きいので、直流ヒステリシスによる損失の計算精度を検討する必要があるのと他の異常渦電流損をモデリングする方法を考慮した電磁界解析法が必要であるのがわかった。

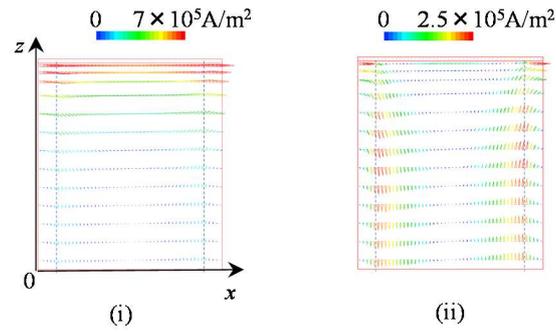


図1 鋼板厚み方向の渦電流分布(i)古典的渦電流とマイクロ渦電流, (ii) マイクロ渦電流((i)から古典的渦電流をひいたもの) (1/2 領域)

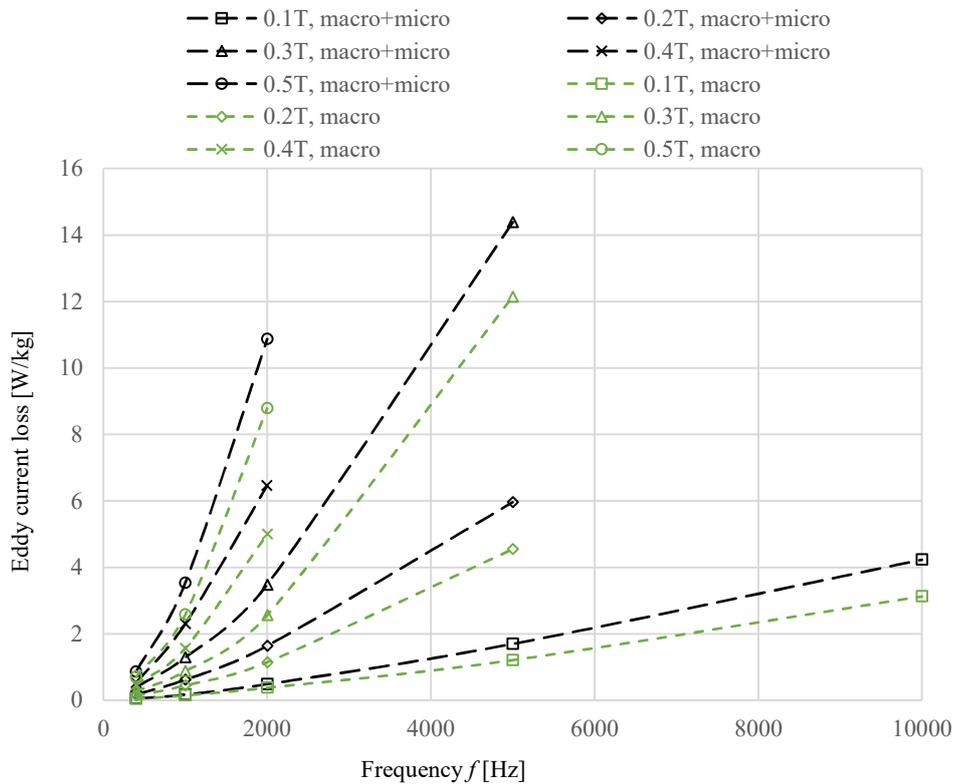


図2 古典的渦電流による渦電流損と古典的渦電流とマイクロ渦電流による渦電流損 (黒点線と緑点線の差: マイクロ渦電流による渦電流損の増加量)

2. 直流ヒステリシスを考慮した電磁界解析法を開発し, 無方向性電磁鋼板の交流対称ヒステリシスループの再現精度を向上させた. (国際会議論文1, 国内会議論文2, 3)

通常初期磁化曲線のみを考慮した電磁界解析に直流ヒステリシスによる反作用磁界を導入することにより, 直流ヒステリシスを考慮した電磁界解析法を開発し, 電磁鋼板の異なる周波数での交流対称ヒステリシスループの再現を試みた. その結果, 直流ヒステリシスの考慮により, ヒステリシスループの再現精度が上がったことがわかった(図3). 現在, 20Hz の交流対称ヒステリシスループから直流ヒステリシス特性を推定で求めているが, 今後, その推定精度を向上するとともに, 異常渦電流損を考慮し, さらなるヒステリシスループと鉄損計算精度を図る予定である.

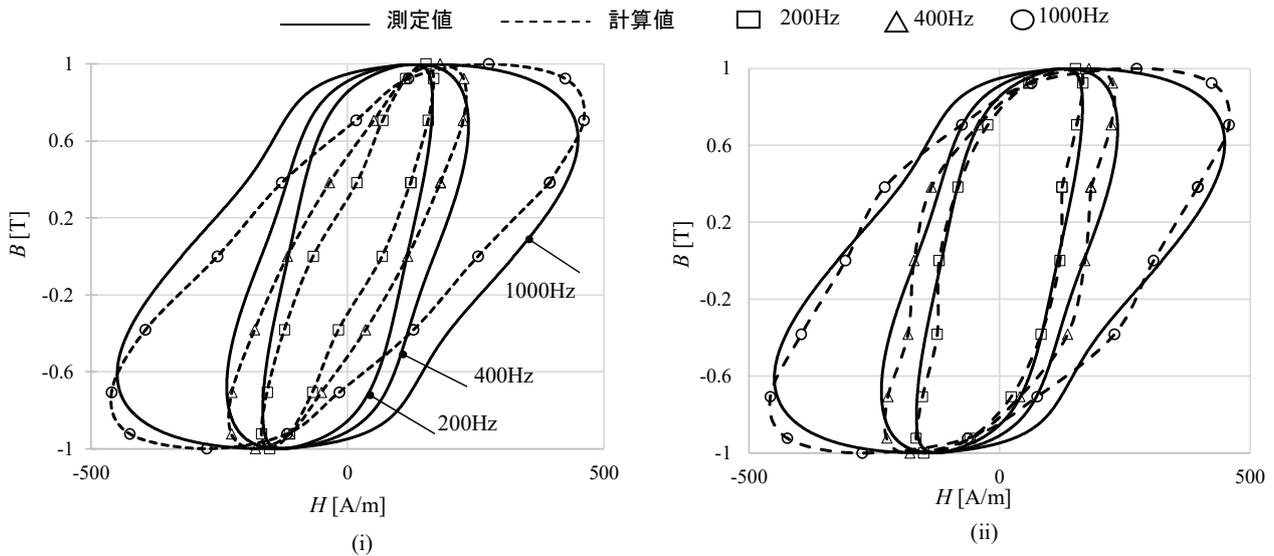


図3 交流対称ヒステリシスループの再現(i) 初期磁化曲線考慮, (ii) 直流ヒステリシス特性考慮

4. 今後の研究の見通し

2020年の研究助成で通常の初期磁化曲線のみを考慮した非線形渦電流解析に直流ヒステリシスによる反作用磁界を導入することにより、直流ヒステリシスを考慮した非線形渦電流解析法を開発し、交流対称ヒステリシスループの再現を試みた結果、直流ヒステリシス特性の重要性を示され、今後直流ヒステリシス特性の計算による推定方法や測定方法をさらに検討する必要があるとわかった。また、直流ヒステリシス特性の精度は異常渦電流損係数に及ぼす影響もさらに検討する必要があるとわかったので、今後それらについて継続で研究を行う予定である。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

国際会議(査読付)

1. Iron loss calculation of non-oriented silicon steel considering hysteresis using Fourier series expansion, Hongyun Zhao, Yanhui Gao, Weimin Guan, Kazuhiro Muramatsu, Hamed Hamzehbahmani, no. CS-11, *IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG 2021)*, 2021年4月, Web会議
2. Estimation of DC Hysteresis Property Using Nonlinear Eddy Current Analysis Considering Hysteretic Property, Yanhui Gao, Hongyun Zhao, Yuji Gotoh, Weimin Guan, Kazuhiro Muramatsu, presentation no. I6-0796, *International Conference on Electrical Machines and Systems*, 2021年11月, (ハイブリッド会議, 11月3日オンラインで発表する予定)

国内会議(査読無)

1. 電磁鋼板における異常渦電流損のモデリング, 河野 匠, 高 炎輝, Weimin Guan, 村松和弘, 電気学会静止器・回転機合同研究会, nos. SA-21-001, RM-21-001, 2021年3月, Web会議
2. 直流ヒステリシスを考慮した非線形渦電流解析によるヒステリシスモデリング, 高 炎輝, 趙 紅運, 山口智之, 電気学会静止器・回転機合同研究会, nos. SA-21-049, RM-21-070, 2021年9月, Web会議
3. 直接反復計算による無方向性電磁鋼板の直流ヒステリシス特性の推定, 山口智之, 高 炎輝, no. 03-2P-072021, 電気・情報関係学会九州支部連合大会, Web会議