

2021 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、直流ヒステリシス特性と異常渦電流損両方を考慮した非線形渦電流解析を開発するとともに異なる電磁鋼板のヒステリシスループと鉄損計算に適用し、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. 比較的測定容易な 20Hz でのヒステリシス特性の測定結果から計算により直流ヒステリシス特性を推定し、従来法による推定値と比較した。(学術論文 1, 国際会議論文 2)

超低周波数(e.g. 0.01Hz)での直流ヒステリシス特性の測定は、検出信号が非常に小さいため困難であり、比較的測定容易な20Hzでのヒステリシス特性の測定結果から計算により直流ヒステリシス特性を推定する方法を提案し、同志社大学の藤原教授らは提案した多周波数法の考え方を適用した従来法で得られた直流ヒステリシス特性と比較した(図1)。その結果、提案法により得られた直流ヒステリシス特性は多周波法とほぼ同様に、より少ない測定データの使用で計算により直流ヒステリシス特性の推定ができた。また、提案法と多周波法による直流ヒステリシス損係数もほぼ同じで、最大で約3%の差であった(図2)。

2. 直流ヒステリシス特性と異常渦電流損両方を考慮した非線形渦電流解析による交流対称ヒステリシスループの再現(国際会議論文 3, 国内会議論文 4)

上記の推定法で得られた直流ヒステリシス特性を反作用磁界により考慮し、異常渦電流損を修正導電率法により考慮する直流ヒステリシス特性と異常渦電流損両方を考慮した非線形渦電流解

析を無方向性電磁鋼板に適用し、交流対称ヒステリシスループを求め、測定値と比較した。その結果、図 3 に示すように、磁束密度は大きいとき、交流対称ヒステリシスループの再現性はよかったが、磁束密度は小さいとき、直流ヒステリシス特性と異常渦電流損を無視した計算結果より測定値に近づいたが、ループの形状には差があった。また、測定した鉄損値を再現するための異常渦電流損係数は周波数により変化するのがわかった。

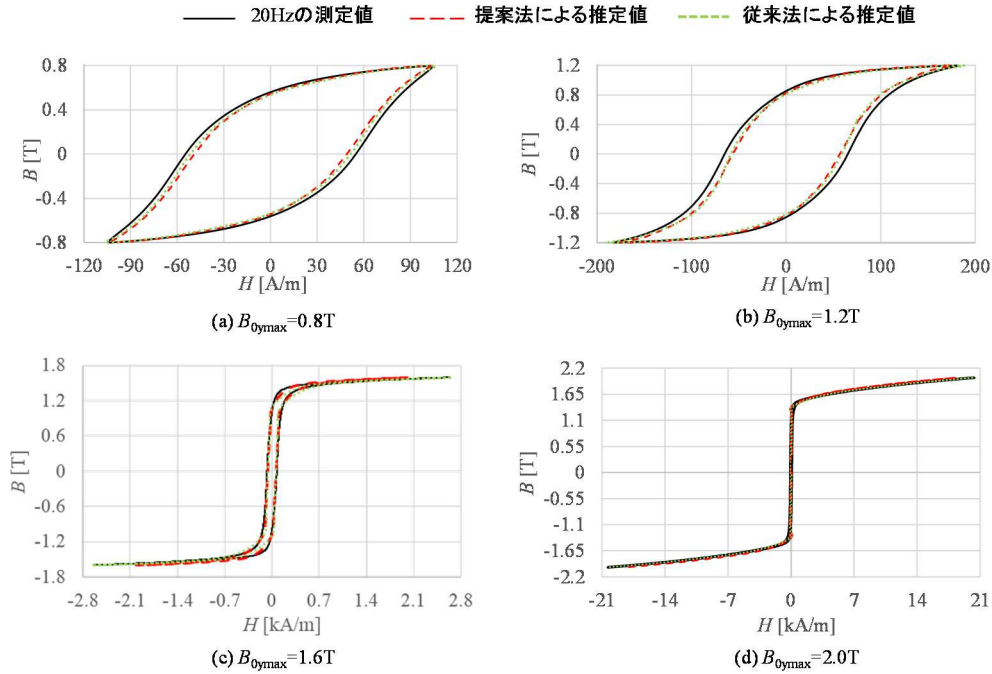


図 1 提案法と多周波数法による直流ヒステリシス特性の比較 ($B_{0y\max}$:印加磁束密度)

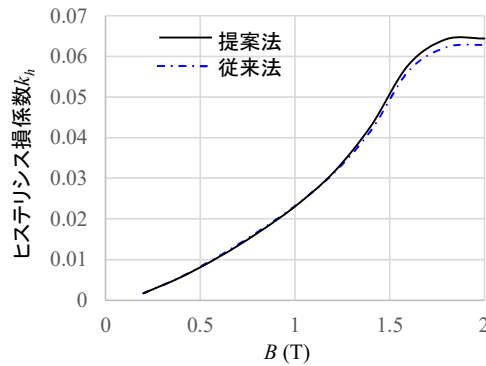


図 2 提案法と多周波数法による直流ヒステリシス損係数の比較

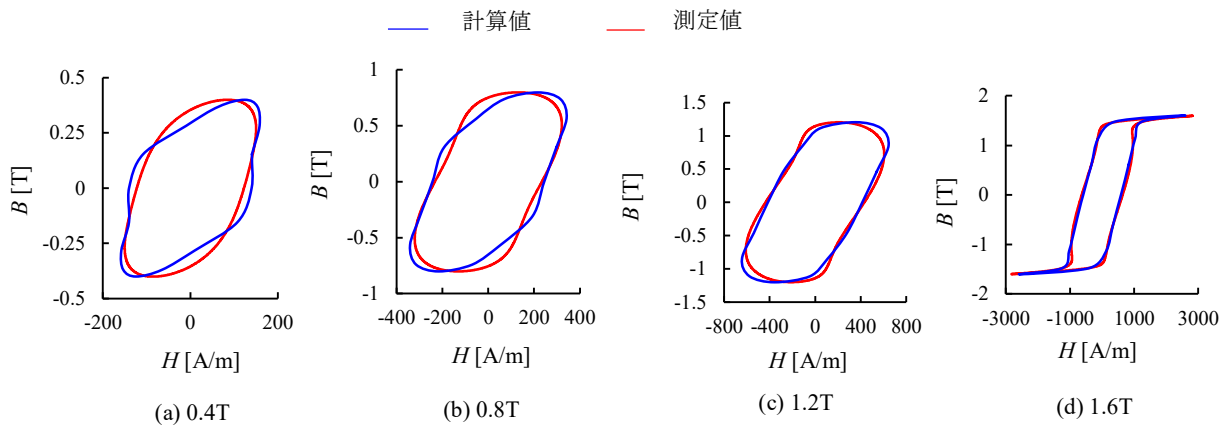


図3 各磁束密度における1000Hzでの交流対称ヒステリシスループ

4. 今後の研究の見通し

今後、低磁束密度領域における交流対称ヒステリシスループの再現性を良くするための検討やグレード異なる電磁鋼板への適用や、高調波成分があるときの異常渦電流損係数の決め方、高調波成分によるマイナーループのモデリング方法について研究を継続する予定である。

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. Estimation of DC Hysteresis Property Using Nonlinear Eddy Current Analysis Considering Hysteretic Property, Yanhui Gao, Hongyun Zhao, Yuji Gotoh, Weimin Guan, Kazuhiro Muramatsu, IEEE Transactions on Industry Applications, (accepted)

国際会議(査読付)

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 日オンラインポスター発表)
3. Dynamic Hysteresis Calculation of Silicon Steel Considering DC Hysteresis and Anomalous Eddy Current Loss, Yanhui Gao, Taketo Shibauchi, Yuji Gotoh, Weimin Guan, Kazuhiro Muramatsu, presentation no. O10: 1, 20th Biennial IEEE Conference on Electromagnetic Field Computation, 2022 年 10 月, (オンライン会議, 10 月 25 日オンライン口頭発表)

国内会議(査読なし)

4. 柴内 勇人, 高 炎輝, 村松 和弘, 2022 年度第 75 回電気・情報関係学会九州支部連合大会, no.03-1A-04, 直流ヒステリシス特性と異常渦電流損を考慮した無方向性電磁鋼板の鉄損計算, 2022 年 9 月, (オンライン会議, 9 月 16 日オンライン口頭発表)