

フライホイールエネルギー貯蔵装置用 超電導スラスト軸受の回転損失解析

学生証番号 56217 氏名 服部 幸博
(指導教員 大崎 博之 教授)

Key Words : flywheel, eddy current, joule loss, hysteresis loss,

1. 序論

1.1 研究の背景

現在、超電導磁気軸受を利用したフライホイールエネルギー貯蔵システムの開発がされている。産業用も含め広い範囲に適用可能なフライホイールエネルギー貯蔵システムを見通せる技術を確認すると共に、コスト等も含めた導入効果を明確にすることが考えられている。

1.2 研究の目的

図1に示したフライホイールエネルギー貯蔵装置用超電導スラスト軸受の回転損失を検証するため、その主要な原因である鉄損について、数値解析に基づいてその性質と傾向を明らかにする。

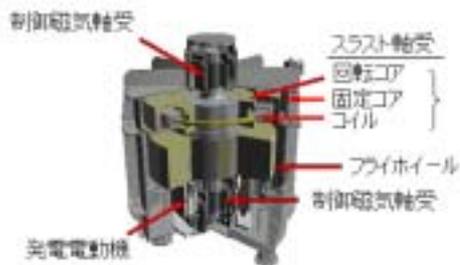


図1 フライホイールエネルギー貯蔵装置

2. 解析モデルの作成と条件

2.1 解析方法とモデル

図2に示す形状で、スラスト軸受の回転コアが回転しているとき、特に回転コアが偏心した時に回転コアが受ける磁界変化と誘導される渦電流などを調べるために、汎用電磁界解析ソフトウェアEMSolution⁽¹⁾を使用し、三次元直流場渦電流解析⁽²⁾を行った。

解析モデルを作成するために図2のような軸対称モデルをまず作成した。これはスラスト軸受の断面図の上半分であり、このモデルでメッシュを作成し、回転方向(θ方向)に360度拡張し、空気領域を加えることにより、図3のような360度の上半分のハーフモデル

を作成した。要素は四角形要素をθ方向に拡張し、6面体要素を作成した。節点数102,539,要素数98,880である。



図2 2次元モデル

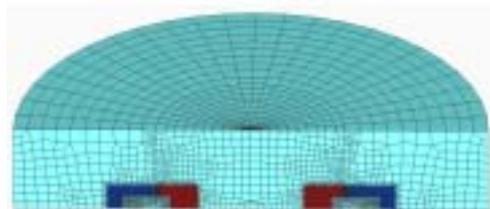


図3 3次元モデル

2.2 解析条件

解析条件として、コイルの巻き数1000とし、回転コアはSUS403で導電率は 1.75×10^6 [A/m²]、固定コアはSS400で導電率は 1.0×10^7 [A/m²]とした。非線形磁気特性は図4のBH曲線でモデル化した。回転コアの偏心量と渦電流損失の関係を調べるために、偏心なしから偏心2mmまで、0.5mmずつ偏心させた時の解析を行った。実際には、回転コア以外の部分をx軸方向に変位させた。これは回転コアの回転軸とz軸を合わせるためであり、回転コアを変位させるのではなく、その周囲を変位させることで回転コアが偏心していることをモデル化した。この条件で、回転コアが偏心した時の渦電流分布や渦電流損失、磁束密度分布などを示し、その結果から渦電流損失と偏心との依存性、起磁力との依存性、回転数との依存性を検討し、さらにヒステリシス損失の算定を行った。

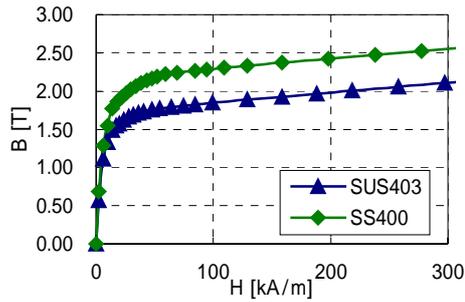


図4 解析に使用したB-H曲線

3. 解析結果

3.1 渦電流分布の偏心量への依存性

図5は、回転数2000 [rpm]における偏心0.5 [mm]から2.0[mm]までのそれぞれの電流密度である。ただしz軸を正の向きにしている。41度と235度付近において、電流密度が最大値を取り、偏心量が変化しても電流密度が最大になる場所は同じであることがわかった。

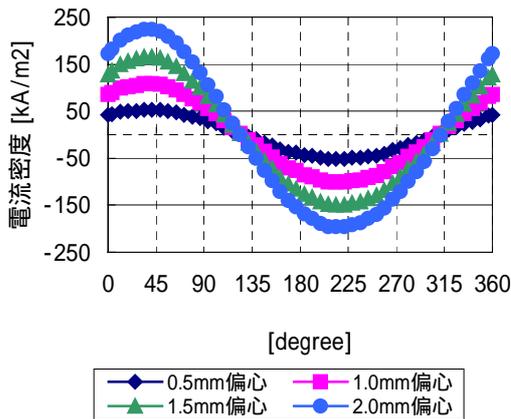


図5 渦電流密度分布の偏心量への依存性

3.2 渦電流損失の偏心量依存性

起磁力を100kAとして、渦電流損失の偏心量依存性について調べた結果を図6に示す。回転数2000 [rpm]、偏心1 [mm]の時の渦電流損失は360 [W]であることがわかった。また、渦電流損失は偏心量の2乗に比例することが確認できた。

3.3 SUS403のヒステリシス損失の算定

図7の各マイナーループの面積を求めることで、ある点の磁束密度におけるヒステリシス損失を求めた。ヒステリシス損失を $W_h = k_h f b$ とすると、ある磁束密度の平均値での比例定数 k_h が求まる。また、回転数2000 [rpm]、偏心1 [mm]の時の、回転コアの各要素の体積、磁束密度などの計算を行った。その結果から各要素の磁束密度の平均値を導き、その時の K を適用することで各要素におけるヒステリシス損失 W_h が求まる。

回転コアの全ての要素で同様の作業を行いヒステリシス損失を求め、全ての和を取ることで回転コア全体のヒステリシス損失 W_h が求まる。これらを考慮して計算を行うと、回転コア全体のヒステリシス損失は、240 [W]となった。

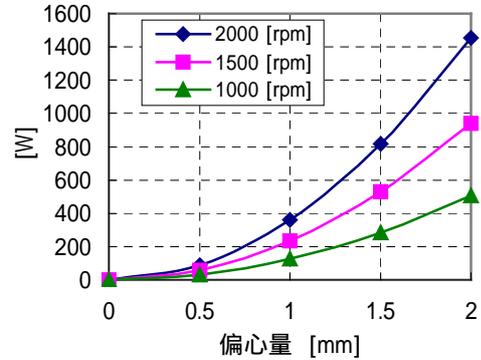


図6 渦電流損失の偏心量依存性

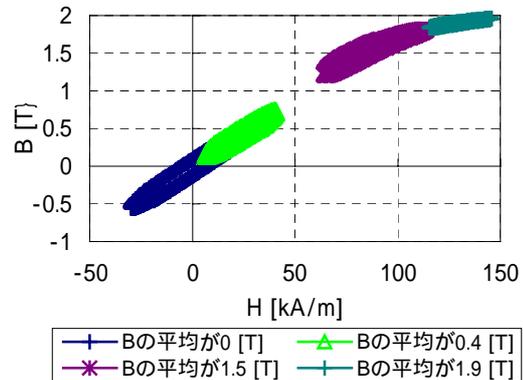


図7 4点のマイナーループ

4. まとめ

本研究では、スラスト軸受の回転損失を数値解析によって調べた。渦電流損失については偏心依存性について調べ、ヒステリシス損失の算定を行った。起磁力100 [kA]、回転数2000 [rpm]、偏心1 [mm]の時の回転コアの鉄損はおよそ650 [W]となった。実験値では鉄損はおよそ800 [W]であることから、数値解析の結果は妥当な値であると考えられる。

5. 今後の予定

フライホイールエネルギー貯蔵装置全体の損失を考えるために、制御磁気軸受や発電電動機、冷凍機について考察していく。

6. 参考文献

- (1) <http://www.ssil.com/em/EMSolution/ja/>
- (2) 亀有昭久・阿波根明：「一様運動における定常渦電流場の解析」, 電気学会静止器, 回転器合同研究会資料, SA-03-1-6, RM-03-1-6 (2003)