

プレイモデル及び自由エネルギーモデルを用いた 対称ヒステリシス曲線の近似精度

峯 宜孝 江口 勇人 高 炎輝 堂 蘭 浩 村松 和弘
(佐賀大学)

1 はじめに

近年、磁界解析の高精度化のため、磁気特性のヒステリシス特性まで考慮した解析が行われるようになってきた。ヒステリシスのモデリング手法としては、プレイモデル[1]と自由エネルギーモデル[2]がよく用いられているが、それらの優劣比較に関する報告はない。

そこで今回、スカラヒステリシスの対称ループの再現精度について、両者の優劣比較を行ったので報告する。

2 モデリング方法

2.1 プレイモデル[1] プレイモデルは、角形で幅 ζ が異なるヒステリシス特性を有するヒステロン p (B) を複数準備し、これらを形状関数に変換した後、重ね合わせることによりヒステリシス特性を表現するモデルであり、入力を磁束密度 B 、出力を磁界 H とすると次式で表される。

$$H(B) = \sum_{n=1}^{N_p} f_n(p_n(B)) \quad (1)$$

$$p_n(B) = \max(\min(p_n^0, B + \zeta_n), B - \zeta_n) \quad (2)$$

ここで、 N_p はプレイヒステロンの個数、 p^0 は前時刻の値である。形状関数 f は、 $N_p/2$ 個の対称ループから求める。

2.2 自由エネルギーモデル[2] 自由エネルギーモデルは、磁界 H を、次式で示すように、磁束密度 B を変化させる磁界 $H_f(B)$ とヒステリシス特性を生じさせるヒステリシス磁界 $H_h(B)$ の和と差で考える。

$$H(B) = H_f(B) \pm \alpha H_h(B) \quad (3)$$

ここで、右辺の \pm は、磁束の上昇時は+、下降時には-となる。 $H_f(B)$ 、 $H_h(B)$ は、対称ループの上昇と下降曲線を平均した平均磁化曲線と差分した保磁力関数を用いて表される。 α は補正係数であり、同定に用いた対称ループより小さい対称ループやマイナーループを再現するときに用いられ、通常、精度向上のため、複数の α を準備し、それぞれで得られた磁界 H の平均値を結果とする。

3 対称ループの精度の比較

電気学会「電磁界解析高度利用技術調査専門委員会」で同志社大学から提出された等方性電磁鋼板 50A470 の 50Hz の最大磁束密度 B_{max} が異なる対称ループの実測値を用いて、両モデルの再現精度を比較した。その際、次式で誤差 ε を定義した。

$$\varepsilon = \left(\frac{\sum_{i=1}^{N_b} (H_{cal,i} - H_{r,i})^2}{\sum_{i=1}^{N_b} H_{r,i}^2} \right)^{1/2} \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

ここで、 H_r と H_{cal} は、それぞれ、磁界の真値(実測値)と計算値である。 N_b は、磁束密度 B を一周期分、均等に变化させて H を評価した場合の評価点の個数である。

図 1 に、プレイモデルによる結果を示す。精度に影響を及ぼす N_p を変化させて得られた対称ループを実測値と比較した。 N_p が 40 個の場合は、磁束密度が大きい場合に差が見られるが、80 個にすると、実測値とほぼ一致する。それぞれの $B_{max}=1.5T$ の対称ループでの誤差 ε は、14.0、3.1%であった。

自由エネルギーモデルでは、 $B_{max}=2.0T$ の対称ループの平均磁化曲線と保磁力関数を用い、複数の α の値は、 $B_{max}=1.0T$ の対称ループの誤差 ε が最も小さくなるように、最適化手法であるパウエル法[3]を用いて決定した。図2に、結果を示すが、プレイモデルに比べて差が大きく、 $B_{max}=1.5T$ の ε も 17.9%と大きかった。従って、本モデルを用いる場合には、解析毎に、異なる B_{max} の平均磁化曲線と保磁力関数を用いるなどの工夫を要する。

今後は、マイナーループについても同様な検討を行う予定である。

参考文献

- [1] T. Matsuo, et al., *IEEE Trans. on Magn.*, 36, 4, 1172, 2000.
- [2] 池田, 電気学会静止器・回転機合同研資, SA13-70, RM-13-84, 2013.
- [3] 高橋:「磁界系有限要素法を用いた最適化」, 森北出版, 2001.

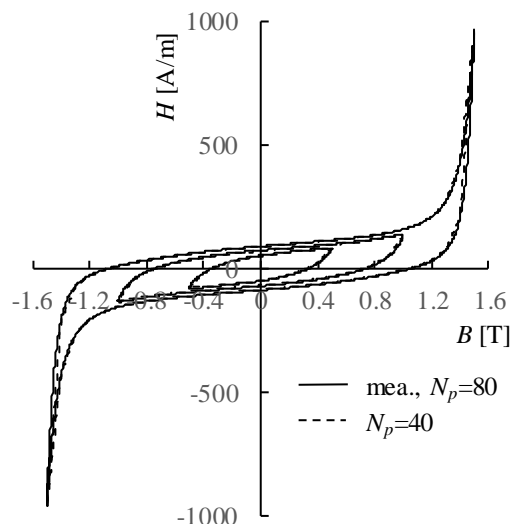


図1 プレイモデルの対称ループ

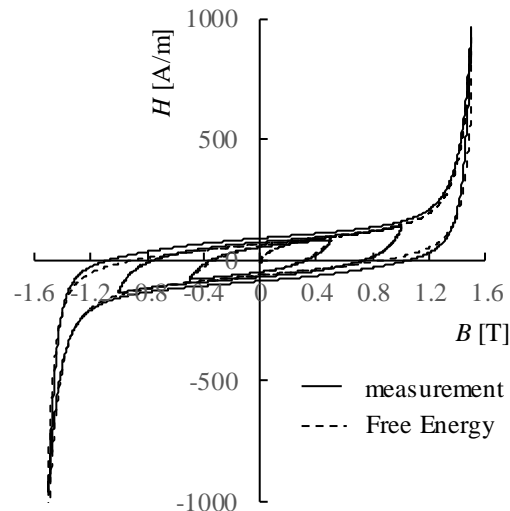


図2 自由エネルギーモデルの対称ループ