

マイクロマグネティック計算に依拠した渦電流発熱計算

吉田 和悦、 赤城 文子
(工学院大学)

Calculation method of eddy-current heat embedded in micromagnetic simulator

K. Yoshida, F. Akagi
(Kogakuin Univ.)

はじめに

導電性強磁性体の磁化変化に伴い生じる渦電流はその磁化過程に影響を与えることが知られている。一方近年、電気自動車の分野ではロータ部に用いられる永久磁石内部に生じる渦電流による発熱量を評価することが一つの課題となっている。本発表では、先に開発したマイクロマグネティックシミュレータに渦電流を導入し、そこから生じる熱量と昇温過程を計算することを試みた。

計算方法

磁束密度の時間変化により生じる電場 \vec{E}_1 をビオサバールの式を変形した式(1)から求める。この解では対象領域の表面で電場が法線成分をもつた

$$\vec{E}_1 = \frac{1}{4\pi} \int \frac{-\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \times \vec{r}}{|\vec{r}|^3} dv \quad (1)$$

め、表面に $\frac{2}{\epsilon_0} \cdot \frac{\partial \vec{E}_1}{\partial n}$ の量をもつ電荷を分布させたときに生じる電場 \vec{E}_2 を計算

$$\vec{j} = \sigma \vec{E} \quad (2)$$

し、 $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ をもって境界条件を満たす電場とした¹⁾。渦電流 \vec{j} は式(2)

$$q = \frac{1}{\sigma} |\vec{j}|^2 \quad (3)$$

のオームの法則から求め、再度ビオサバールの式を用いて渦電流磁界を計算し、LLG 方程式の実効磁界に加えた。このとき発生するジュール熱 q と

$$q = CT_{rise} \quad (4)$$

昇温温度 T_{rise} は式(3),(4)により計算できる。式中 σ と C はそれぞれ導電率と比熱を表す。ビオサバールの式

は差分法では重畳の理が成り立つので、高速フーリエ変換を適用して計算の高速化を図った。

計算結果

図 1 に導電性強磁性体を断熱環境中で 1 秒間高周波磁界に曝したときの上昇温度 T_{rise} の周波数依存性を示す。図に示すように温度 T_{rise} と周波数 f との間には、破線で示した $\log T_{rise} \propto 2 \times \log f$ の関係がおおむね成り立っているように見てとれる。この両者の関係を数値で比較したのが、表 1 である。表には、計算から求めた昇温温度 T_{rise} と、 $f=5$ MHz における昇温温度を基準として温度が周波数の 2 乗に比例すると仮定したときの予想温度を T_{pro} を記した。表に示した T_{pro} と T_{rise} とのずれを示す、 $deviation (= 1 - T_{rise}/T_{pro})$ は周波数が高くなるにつれて大きくなる。これは、高周波になるにつれ磁化が磁界変化についていけず、式(1)に示した磁束の時間微分値が減少するためである。このように本シミュレータでは微細領域における磁化の時間変化を忠実に反映して渦電流熱を計算することが可能であり、一般的に解析的な計算が困難な、磁壁移動による磁化過程にも適用することが可能である。

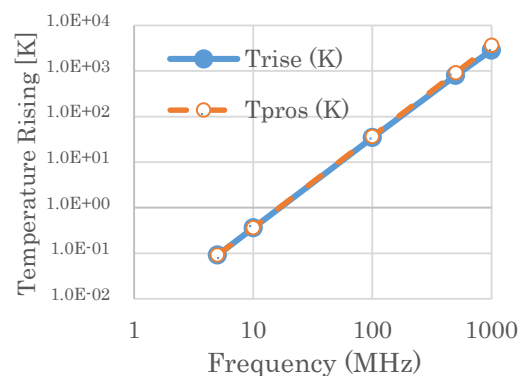


Fig.1 Relationships between temperature rising and frequency.

Amplitude of field = 50 kA/m,
Ku=5k J/m³, Ms= 1.0 T

Table 1 Deviation from the square of frequency.

Frequency [MHz]	Trise [K]	Tpro [K]	Deviation
5	0.09	0.09	0
10	0.36	0.37	0.02
100	34.3	36.5	0.062
500	878.8	913.3	0.137
1000	2833.0	3653.2	0.225

参考文献

- 1) Edward Della Torre and Jason G. Eicke, *IEEE Trans. Magn.* **33**, 1251(1997).