

電気電子機器の環境安全評価の高精度化に向けた 並列渦電流解析の検討

大高 智司[†] 武居 周^{††}

[†] 宮崎大学工学部電気システム工学科

^{††} 宮崎大学工学教育研究部

1. はじめに

IH には、細い銅線を編んで造られたうず巻き状の磁力発生コイルがあり、これに高周波交流電流を流すと、このコイルから強力な磁力線が発生し、この磁力線がガラストップを通過して、その上に置かれた鍋の底に当たると、鍋底の金属表面に渦電流と呼ばれる電気の流れが発生し、この渦電流に対して鍋の底の金属が抵抗となり、鍋底の金属表面が発熱するという仕組みが搭載されている。しかし、これらが動作すると、周辺の空間に電磁界が発生する。強い電磁界を浴びることは人体に影響することが確認されている。電磁界からの人体防護の指針として ICNIRP(国際非電離放射線防護委員会)のガイドラインをはじめとする安全性評価ガイドラインが作られ、人体内部の電界や人が立ち入る空間の電磁界を一定のレベル以下に抑えることが推奨されている。

本研究の目的は、IH クッキングヒーターの電磁波が周囲にどのような影響があるのか確認することである。

2. 基礎方程式

導体に渦電流が流れている場合の、基礎方程式は以下の通りである[1]。

$$\text{rot}(\gamma \text{rot} A) = J_0 - \sigma \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \text{grad} \phi \right) \quad (1)$$

磁気ベクトルポテンシャルを用いて、渦電流解析を行う際、式(1)のように一般に電気スカラーポテンシャル ϕ も未知数となる。この場合、 ϕ が未知な節点の数だけさらに方程式が必要であり、以下の式で表される電流連続式

$$\text{div} \left\{ -\sigma \left(\frac{\partial A}{\partial t} + \text{grad} \phi \right) \right\} = 0 \quad (2)$$

と式(2)を A と ϕ について連立していく必要がある。この手法を A - ϕ 法という。 $\phi=0$ として解くことを A 法という。一般に A - ϕ 法は A 法よりも ICCG 法 (Incomplete Cholesky Conjugate Gradient) の収束性が良いと知られている。また、式(1)と(2)にガラキン法と複素近似法を適用すると、次のようになる。

$$G_k = \iiint_v N_k \{ \text{rot}(\gamma \text{rot} A) - J_0 + \sigma(-j\omega A + \text{grad} \phi) \} dV = 0 \quad (3)$$

$$G_{di} = \iiint_v N_i \text{div} \{ \sigma(-j\omega A + \text{grad} \phi) \} dV = 0 \quad (4)$$

式(3)では、 A が未知の辺の数だけ、また式(4)では、 ϕ が未知の節点の数だけ、方程式が作られる。

このとき γ は磁気抵抗率[m/H]、 j は導電率[S/m]、 ω は角周波数[rad/s]、 j は虚数単位を表す。

このとき、解くべき連立一次方程式の係数行列は、複素対称行列となる。ゆえに、本問題においては複素数への拡張を施した反復法を適用するのが一般的である。本研究では、領域分割型並列化により部分領域計算をガウスの消去法、領域間釣合問題を共役勾配法により求解する。

3. テストモデルによる性能評価

本研究では、IH の解析に先立ち基礎検討として、無限長ソレノイドコイルを用いて解析手法を評価する。解析コードは ADVENTURE_Magnetic[2]を用いて、モデルの要素数は6674605、導体の半径は0.1m、導電率は $\sigma=1.0 \times 10^7$ [S/m]、角周波数 ω は $2\pi \times 20000$ [rad/s]、磁気抵抗率 γ は $1/4 \pi \times 10^6$ [m/H]、高さは0.1[m]、強制電流密度 J は実部に 50.0 [A/m²]、虚部に 0 [A/m²] を与える。本研究において用いた計算環境は、Core i7 クラスタ“Amaterus”(3.6 GHz, 32 GBmem/node, 20台)のPCを用いた。

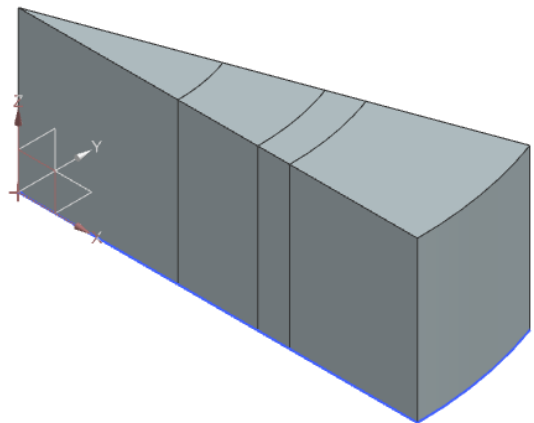


図1 無限長ソレノイドコイルを用いたケーキモデル

5. まとめ

電気電子機器の環境安全評価の高精度化に向け、無限長ソレノイドコイルモデルに対して渦電流解析手法を適用した。数値例の提示、詳細な検討や議論を、講演にて行う。

参考文献

- [1] 金山寛著, 岩波講座, 計算電磁気学(空間系 4), 2000.
[2] 東京大学 ADVENTURE Project Homepage:
<https://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/>