

電気・電子機器の周辺電磁界分布可視化に関する研究

宮原 晋一郎、早野 誠治、斎藤 兆古
法政大学工学部電気電子工学科

本論文では電子機器近傍の電磁界分布を可視化する方法を提案する。まず最初に、局所的に測定された磁界から磁界源分布を逆問題的手法で推定する。次に、推定された磁界源から電子機器近傍の磁界分布を計算し可視化する。ここでは周辺に放射される磁界源を可視化する為に局所 2 次元の電流分布を組み合わせた準 3 次元的手法を提案する。

1. まえがき

近年、わが国では多くの高層ビルが建設されている。このような高層ビルでは、防災上の観点から、直火の使用が禁じられている。短時間で高温を必要とする加熱は、直火以外では比較的困難であるにも拘らず、人類にとって必要不可欠な食品加工・調理に必然的なものである。排ガス等の環境汚染が少なく、且つ、比較的短時間で急速な加熱が可能な技術として、誘導加熱が着目され、既に多くの製品が実用に供されている。誘導加熱が広範に普及するに従い、誘導加熱に使われる磁界が人間に与える影響が懸念されている。たとえば、ペースメーカーを取り付けた人間へ強力な高周波磁界が放射された場合などを考えれば自明であろう。

本論文は、電磁調理器などの電子機器が周辺へ放射する磁界分布の可視化に関するものである。最近の電子機器は、ほぼ完全な密閉構造であり、さらに、単純な電子回路の目視から、磁界分布は可視化できない。このため、電子機器周辺の局所的磁界分布の測定から、磁界源となる電流分布を推定し、電流が与える周辺磁界を算出し、はじめて磁界分布の可視化が可能となる。本論文では、局所的に測定された磁界から電流分布を推定する逆問題を解き、局所的に測定された 2 次元電流分布を組み合わせて準 3 次元電流分布を推定する[1]。

2. 電流分布の計算

2.1 直接逆行列法

ここでは、磁界から平面上の電流分布を計算する方法を検討する。以下の条件を前提とする。1) 2次元問題である、2) 測定面と電流分布面が平行している、3) 測定される磁界は測定面・電流分布面に垂直な z 方向成分である、4) 計算対象の電流は x - y 平面に分布する。

具体的な解析手順は、1) ループ電流モデルを採用する、2) 磁界の測定点数と同じ数のループ電流を求める、3) 計算方法は直接逆行列法を採用する[2]。

< a >モデル ここでは図 1 に示すように、ある平面導体に分布する電流密度 J を平面導体上の磁界 H を測定することによって求める問題を考える。

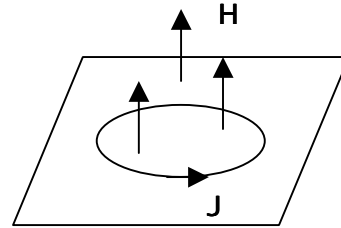


図 1.ループ電流 J と磁界 H

< b >ループ電流と磁界 変位電流密度 $\partial \mathbf{D} / \partial t$ が無視できる系において、電流密度 J は磁界 H と次式で関係づけられる。

$$\nabla \times H = J \quad (1)$$

従って、電流密度 J は必ず次式を満足しなければならない。

$$\nabla \cdot \nabla \times H = \nabla \cdot J = 0 \quad (2)$$

(2) 式の関係はキルヒホッフの節点則と等価であり、電流密度を面積について積分したある点に流入する電流 i は流出電流と等しいことを意味する。(2) 式を自動的に満足する電流の一例は図 1 に示す環状に循環するループ電流 i である。これは環状導体の何れの部分でも必ず入る電流と出る電流が等しいことに起因する。ここでは推定される電流が図 2 に示すループ電流でモデル化されると仮定する。

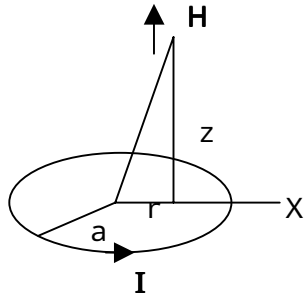


図2.ループ電流Iの作るz軸方向の磁界H

図2のループ電流*i*が与えるz軸方向の磁界Hは(3a)式で与えられる。これはループ電流*i*が与えられれば、ループの中心からループ面に沿った距離*r*、ループ面からの高さ*z*における法線方向磁界Hがアンペアの法則と同様な形(3)式で計算できることを意味する。

$$H = \frac{1}{2\pi} \left[\frac{1}{\sqrt{(a+r)^2 + z^2}} \left[\frac{a^2 - r^2 - z^2}{(a-r)^2 + z^2} E(\kappa) + K(\kappa) \right] \right] \quad (3a)$$

$$\kappa^2 = \frac{4ra}{(r+a)^2 + z^2} \quad (3b)$$

<c>微小ループ電流モデル 図1の問題を微小ループ電流モデルに置き換える。電流の分布する対象導体を図3に示すように微小長方形に分割し、分割された微小長方形中に電流ループを仮定する。

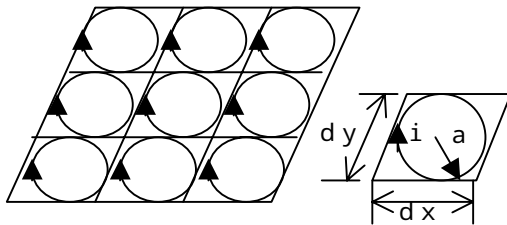


図3.微小ループモデルの考え方

図3の微小長方形中を循環する電流を同図中に示す円形ループで置き換える。円形ループの半径は(4)式によって決める。(4)式で決まるループ半径*a*は微小長方形で縦横比が等しい正方形に内接する円を意味する。この場合、問題対象全体を通して各正方形の中心とモデルループの中心が一致し、最も良い近似となる。縦横比が異なる微小長方形では、各長方形の中心と(4)式で決まる半径を持つループの中心を一致させることから問題全体の形状を正方形に変形して考えることになる。従って、ループ電流分布モデルを適用する場合、分割された微小領域は正方形とすべきである。これは、例えば問題対象が長方形の場合、縦と横で分割数を変えることで

実現される[2]。

$$a = \sqrt{\left(\frac{dx}{2}\right)\left(\frac{dy}{2}\right)} \quad (4)$$

<d>例題 測定面のx、y方向の長さをそれぞれ20cm、電流分布面のx、y方向の長さもそれぞれ20cmとする。ここでは10×10=100点の磁界測定点から、10×10=100個のループ電流を求める問題を考える。図4にモデルとなる磁界分布の等高線を濃淡で示す。色が濃いほうと薄いほうそれぞれ負と正に対応し、紙面の奥から読者方向を正方向としている。

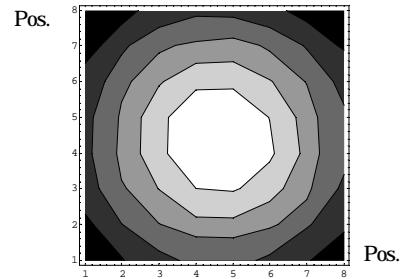


図4.モデル磁界分布

次に、磁界からループ電流ベクトル分布を直接逆行列法で求める。図6が直接逆行列法によるループ電流分布である。図4のモデルを完全に再現していることが判る。図5が電流ベクトルである。ループ電流は閉じた経路を流れているから、隣接するループ電流は差になり、結局、電流ベクトルはループ電流分布の等高線に沿って流れていることとなる。

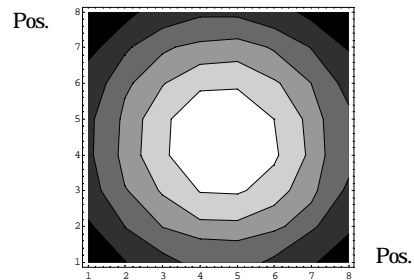


図5.直接逆行列法による電流分布

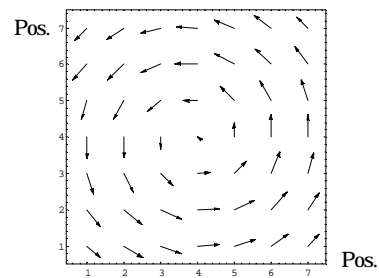


図6．直接逆行列法による電流ベクトル

2.2 周辺磁界分布

図7に図6の電流ベクトルが生ずる周辺磁界分布を示す。また、図8には直接逆行列法によって得られた2次元の電流ベクトルを合成した3次元電流分布を示す。この結果から電流に対して垂直に磁界が分布していることがわかる[3]。

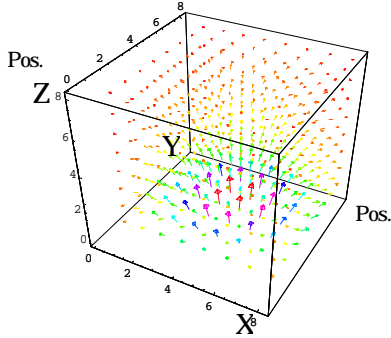


図7．電流ベクトル分布が生ずる周辺磁界分布

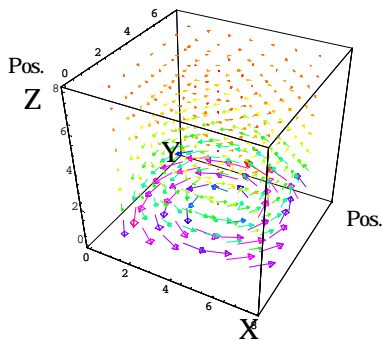


図8．直接逆行列法による3次元電流分布

3．準3次元電流分布

ここでは周辺に放射される磁界源を可視化する為に局所2次元の電流分布を組み合わせる準3次元的手法を用いて3次元の電流分布を可視化する。

3.1 シミュレーション

実験で準3次元電流分布を可視化する前にシミュレーションによって図9の2次元の電流ベクトルから図10の3次元電流ベクトル分布の妥当性を検証する。また、ここでは誤差ベクトルも取り除くために閾値を決定する。

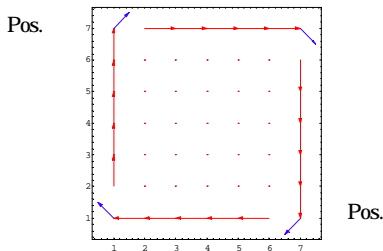


図9．2次元のシミュレーション

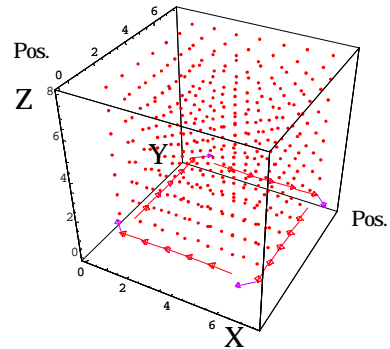


図10．3次元のシミュレーション

3.2 実験

実験によって準3次元手法による電流分布を検証する。本論文では励磁コイルを水平に配置した場合と斜めに配置した場合について検証する。

3.2.1 実験装置

< a > 励磁コイル 測定面のx, y方向の長さをそれぞれ20cm、電流分布面のx, y方向の長さもそれぞれ20cmとする。図11に示すように、通電範囲は内側の半径2cmから半径10cmのドーナツ状の部分である。通電電流は0.1Aである。

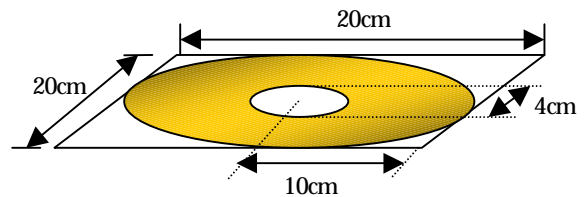


図11．円形励磁コイル

< b > サーチコイル 円形コイル面に法線方向の磁界を測定するため、図12に示すサーチコイルを作成した。サーチコイルの諸定数を表1に示す。磁界の測定点数は縦・横共に10点とした。したがって、全体の磁界測定点数は10×10=100点である。

表1．サーチコイルの仕様

巻き数 (Turn)	半径 (mm)	線の太さ (mm)
90	5	0.2

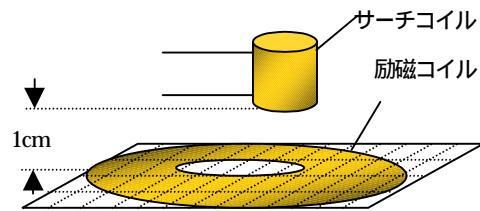


図12．実験装置の概略図

3.2.2 電流ベクトル分布

<モデル1> コイルを水平に配置

測定された磁界分布から直接逆行列法で得られた準3次元電流ベクトル分布を図13に示す。図14はシミュレーションで決めた閾値をもとに誤差を取り除いた電流ベクトル分布である。この結果からコイルを水平に配置した場合において局所的2次元電流分布から準3次元電流分布の可視化が可能であることがわかる。

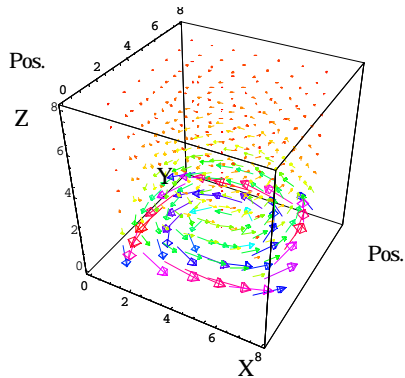


図13．準3次元電流ベクトル分布

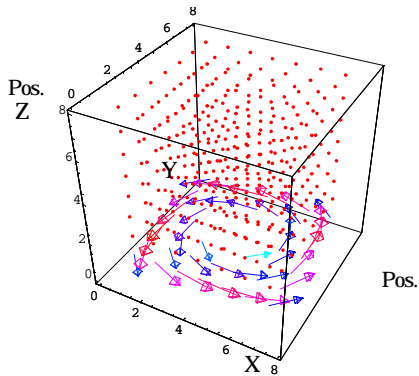


図14．誤差を除去した準3次元電流ベクトル分布

<モデル2> コイルを斜めに配置

モデル1と同様に準3次元的手法によってコイルを斜めに配置したときの電流分布を図15に示す。図16はシミュレーションで決めた閾値をもとに誤差を取り除いた電流ベクトル分布である。この結果からコイルを水平に配置した場合と比較して電流分布の可視化精度が落ちてはいるものの準3次元電流分布が斜めの電流ベクトルで表現されているのが確認できた。また、このモデルの結果から2次元化出来る問題以外に対しても準3次元的手法が対応出来ることが判明した[4]。

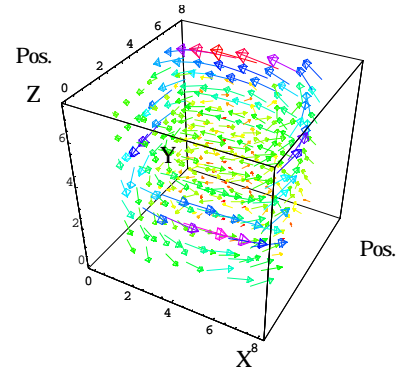


図15．準3次元電流分布

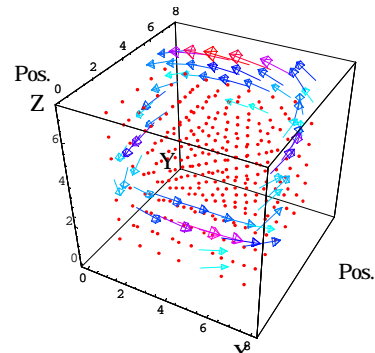


図16．誤差を除去した準3次元電流分布

4．まとめ

本稿では、局所的2次元の電流分布から準3次元電流ベクトル分布の可視化について以下の考察を行った。

- 1) シミュレーションによる準3次元電流分布に関する検討、
- 2) 実験による準3次元電流分布に関する検討。

以上の結果、立方体表面の局所的な2次元の磁界分布から擬似的に3次元の電流分布を可視化することが可能であることが判明した。

参考文献

- [1] 斎藤兆古：ウェーブレット変換の基礎と応用，朝倉書店、1998．
- [2] 篠原佳直：誘導加熱用励磁コイルに関する考察，修士論文、1997．
- [3] 宮原晋一郎，早野誠治，斎藤兆古，増田則夫，遠矢弘和：電気・電子機器の周辺電磁界分布可視化システム、マグネティクス研究会資料、1998年、MAG-98-45-112．
- [4] 宮原晋一郎，早野誠治，斎藤兆古：準3次元電流分布測定法とその応用、マグネティクス研究会資料、MAG-99-153、1999．

キーワード.

電磁界、可視化、直接逆行列法、準3次元電流

Summary.

A Study of Electromagnetic Fields Visualization near the Electric and Electronic Devices.

S.Miyahara, S.Hayano, Y.Saito
College of Engineering, Hosei University

This paper proposes a methodology visualizing for the electromagnetic field distributions near the electric as well as electronic devices. At first, we solve an inverse source problem in order to identify the electromagnetic field sources from the locally measured electromagnetic fields. Second, we calculate the electromagnetic field distributions from the estimated electromagnetic field sources. Finally, we visualize the electromagnetic field distributions over the electric and electronic devices.

In the present paper, basic principle and initial experiments to verify our approach are described. As a result, it is revealed that the magnetic field distributions near the electric and electronic devices can be visualized from the locally measured magnetic fields.

Keywords.

Electromagnetic fields 、 Visualization、 Direct inverse matrix method、 Quasi 3D currents