

## 漏れ磁界源推定の一方法

橋田 和泰\*, 斎藤 兆古\*, 林 昌世\*\*, 畠山 賢一\*\*, 遠矢 弘和\*\*,

\* 法政大学 工学部 東京都小金井市梶野3-7-2

\*\* 日本電気(株) 川崎市宮前区宮崎4-1-1

あらまし コンピュータやワープロなどの電子機器の発達に伴い、近年それらから漏洩する電磁界の周辺環境への影響が懸念されつつある。本稿では、電磁界源の実数部と虚数部が同一経路を經由し時間位相のみが違うことに着目し、両者間の相関をとるという電磁界源推定の新しい方法を提案し、これを漏れ磁界源推定問題に適用した結果、比較的良好な結果が得られたので報告する。

和文キーワード 逆問題, 環境電磁工学, 電磁界源推定

## A Method of Leakage Magnetic Field Source Estimation

K.Kitsuta\*, Y.Saito\*, S.Hayashi\*\*, K.Hatakeyama\*\*, H.Tohya\*\*

\* College of Engineering, Hosei University

3-7-2 Kajino, Koganei, Tokyo 184

\*\* NEC Corporation

4-1-1 Miyazaki, Miyamae-Ku Kawasaki, Kanagawa 213

Abstract With the developments of modern electronic devices, e.g. computers and word processors, the environmental effects of electromagnetic fields leaking from the electronic devices have to be clarified. In the present paper, we propose one of the deterministic methods of searching for the electromagnetic field source. Key idea of our method is that both of the real and imaginary parts of the electromagnetic source have to take the same path and their only difference is the phase difference in time. Based on this, a correlative analysis between real and imaginary parts yields a highly accurate field source searching result.

英文 key words Inverse Problems, Electromagnetic Compatibility, Magnetic Field Source Searching

## 1. まえがき

近年デジタル計算機の小型・高速化の要求から、CPU動作周波数の高周波化のみならず、電源回路部の高周波化がなされ、その成果は大型汎用計算機からノートパソコン更にワードプロセッサ等に生かされている。計算機で代表される電子機器の動作周波数の高周波化に伴い電子機器から漏れる電磁界が周辺の人体や他の機器へ与える影響がクローズアップされつつある。この問題はEMC(Electromagnetic Compatibility)と呼ばれ、電子機器のより小型・高速化と普及に必然的に伴う問題である。特に電子機器のどこから電磁界が漏洩するかの推定は、もっとも基本的で重要な問題点であるにも拘らず、有効な方法は確立されてなく、Gram-Schmidtの方法などが試みられているのが現状である[1]。

本稿では漏洩電磁界源推定問題は、局所的な電磁界分布の測定から電磁界源分布を求める逆問題であることに着目し、筆者ら(橋田、斎藤)が逆問題解析法の一方法として従来から提唱しているSampled Pattern Matching(以下SPMと略す)法を電源筐体モデル上の電流分布の解析に適用する。その結果、良好な結果が得られたのでここに報告する。

## 2. 磁界源推定の逆問題

### 2.1 逆問題の定義と分類

逆問題は100年以上の歴史を持つにも拘らず、未だに明確な定義と分類はされていないようである[4]。これはおそらく、理想的な条件で測定がなされ解析的な解が期待できるComputed Tomographyのような媒質推定に関する逆問題と、本稿で取り上げる磁界源となる電流分布を推定するInverse Sourceに関する問題の明確な区別をせず、結果から原因を求める問題を逆問題と総称していることに起因すると考えられる。ここでは、逆問題を従来の順問題と本質的に異なる問題であること、および解析解が期待できる逆問題(Weakly Ill-Posed Inverse Problem)と解析解が期待できない逆問題(Strongly Ill-Posed Inverse Problem)の区別を明確に定義しておく。

<a>順問題 電磁界系だけでなく多くの場の問題は、微分または積分形の支配方程式が導かれる。デジタル計算機を前提とする数値解析では、有限要素法、有限差分法、境界要素法さらにモーメント法等で代表される離散化法を用いて、支配方程式は連立方程式または行列形のシステム方程式に帰することが出来る。いま、 $C$ 、 $X$ 、 $Y_s$ をそれぞれシステム方程式の係数行列、出力さらに入力ベクトルとすれば、システム方程式は、

$$CX = Y_s, \quad (1)$$

と書ける。一般に適切に導かれた(1)式の係数行列 $C$ は正方向行列であり、その逆行列を持つ非特異行列である。

順問題(Regular or Forward Problem)は、(1)式の両辺に係数行列 $C$ の逆行列を乗算し出力ベクトル $X$ を求める問題である。

<b>直接問題 (1)式で出力ベクトル $X$ が与えられ、入力ベクトル $Y_s$ を求める問題を考える。この問題は、出力が与えられ入力を求める問題であるため逆問題と解釈されがちであるが、単に出力ベクトル $X$ を(1)式に代入し入力ベクトル $Y_s$ を求める問題であり、解は一意的に求められることから直接問題(Direct or Dual Problems)と定義される[4]。

<c>弱型式逆問題 (1)式でベクトル $X$ と $Y$ が与えられ、係数行列 $C$ を求める問題を考える。即ち、場の媒質パラメータを求める逆問題である。この種の逆問題は解析的に一意的な結果が期待できるため、弱型式の逆問題(Weakly Ill-Posed Inverse Problems)と定義する。

いま、(1)式で係数行列 $C$ は未知である。しかし、問題空間が例えば空気などの様な既知媒質で満たされている場合の係数行列を $C_0$ とすれば、(1)式は、

$$\begin{aligned} C_0 X &= (C_0 - C) X + Y_s \\ &= Y + Y_s, \end{aligned} \quad (2)$$

と変形できる。これは、未知媒質からなる係数行列 $C$ を求める問題が、入力ベクトル $Y$ を求める問題に帰することを意味する[5]。この入力ベクトル $Y$ は明らかに出力ベクトル $X$ の関数であり、さらに出力ベクトル $X$ は入力ベクトル $Y_s$ の関数であるため、結局、

$$Y = (C_0 - C) X = f(Y_s), \quad (3)$$

が成り立つ。従って、各種の入力ベクトル $Y_s$ とその応答 $X$ を測定することで、未知媒質からなる係数行列 $C$ を求めることが可能である。特に、直進性の強い $X$ 線や $\gamma$ 線を入力源とするComputed Tomographyでは、フーリエ変換を用いて解析的に媒質推定が可能であることが証明されている[4, 6]。

<d>強型式逆問題 直接問題では出力ベクトル $X$ の全てが与えられるとしたが、出力ベクトル $X$ の一部からなる部分出力ベクトル $X_p$ が与えられ、入力ベクトル $Y_s$ を求める問題を考える。(1)式から出力ベクトル $X$ は、

$$X = C^{-1} Y_s, \quad (4)$$

で与えられるから、 $m$ 個の要素からなる出力ベクトル $X$ の中で $n$ 個の要素からなる部分出力ベクトル $X_p$ に対して(4)式は、

$$X_p = D Y_s, \quad (5)$$

と変形される。行列 $D$ は(4)式の行列 $C^{-1}$ の $n$ 行 $m$ 列からなる行列である。また、

$m > n$ ,

(6)

の条件が成り立つ。(5)、(6)式で $m$ は未知数の数、 $n$ は式の数に対応するから、明らかに、(5)式から一意的な入力ベクトル $\mathbf{Y}_s$ を求めることは不可能である。このため、(5)、(6)式が成り立つシステム方程式で記述される問題を強型式の逆問題 (Strongly Ill - Posed Problems or Inverse Source Problems) と定義する [4]。

## 2.2 Parallel Sampled Pattern Matching法

ここでは強型式の逆問題の解そのものではなく、解分布のパターンを求める SPM法のアルゴリズム及びその理論的背景の概要を述べ、さらに同一のエネルギー源から独立に測定されるフィールド量 (たとえば磁界や電界) から並列にエネルギー源をSPM法で推定し、独立に推定された結果の相関より正確なエネルギー源分布を求める並列SPM (Parallel Sampled Pattern Matching)法を提唱する [2, 3, 7, 8]。

<a>SPM法のアルゴリズム いま、強型式逆問題のシステム方程式(5)式で、係数行列 $D$ を構成する列ベクトルを $\mathbf{d}_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、とすれば、(5)式は、

$$\mathbf{X}_p = \sum_{i=1}^m y_i \mathbf{d}_i, \quad (7)$$

と書き直すことができる。但し、 $y_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、は未知入力ベクトル $\mathbf{Y}_s$ を構成する要素である。

SPM法の第1ステップは、(7)式で最も支配的な入力を次式のCauchy-Schwarzの関係式、

$$y_i = \frac{\mathbf{X}_p^T \cdot \mathbf{d}_i}{|\mathbf{X}_p| |\mathbf{d}_i|}, \quad i = 1 \sim m, \quad (8)$$

で最大値 $\gamma_{hi}$ をとる点 $h$ とすることである。第2ステップは、(5)式を、

$$\mathbf{X}_p = \sum_{i \neq h}^m y_{hi} (\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i), \quad (9)$$

$$i = 1 \sim m, \quad i \neq h,$$

と変形し、第2番目に支配的な入力を、

$$y_{hi} = \frac{\mathbf{X}_p^T \cdot (\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i)}{|\mathbf{X}_p| |\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i|}, \quad (10)$$

$$i = 1 \sim m, \quad i \neq h,$$

で最大値 $\gamma_{hg}$ をとる点 $g$ とすることである。以後、同様に(5)式を構成する列ベクトル $\mathbf{d}_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、を追加するごとにパターン的一致指数 [(8)式の $\gamma_i$ や(10)式の $\gamma_{hi}$ ] が最大値をとるまで続ける。いま、 $k$ 回でパターン的一致指数が最大値を取ったとすれば、正規

化された解は $k$ 回までの加算平均として近似的に、

$$y_1 \frac{|\mathbf{d}_1|}{|\mathbf{X}_p|} \approx \frac{1}{k} \frac{\mathbf{X}_p^T \cdot \mathbf{d}_1}{|\mathbf{X}_p|} \cdot \left( \frac{\mathbf{d}_1}{|\mathbf{d}_1|} + \frac{\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_1}{|\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_1|} + \frac{\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_g + \mathbf{d}_1}{|\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_g + \mathbf{d}_1|} + \dots \right), \quad (11a)$$

$$y_2 \frac{|\mathbf{d}_2|}{|\mathbf{X}_p|} \approx \frac{1}{k} \frac{\mathbf{X}_p^T \cdot \mathbf{d}_2}{|\mathbf{X}_p|} \cdot \left( \frac{\mathbf{d}_2}{|\mathbf{d}_2|} + \frac{\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_2}{|\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_2|} + \frac{\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_g + \mathbf{d}_2}{|\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_g + \mathbf{d}_2|} + \dots \right), \quad (11b)$$

$$\dots \dots$$

$$y_h \frac{|\mathbf{d}_h|}{|\mathbf{X}_p|} \approx \frac{1}{k} \left( \frac{\mathbf{X}_p^T \cdot \mathbf{d}_h}{|\mathbf{X}_p| |\mathbf{d}_h|} + 1 + 1 + \dots \right), \quad (11c)$$

$$\dots \dots$$

$$y_g \frac{|\mathbf{d}_g|}{|\mathbf{X}_p|} \approx \frac{1}{k} \left( \frac{\mathbf{X}_p^T \cdot \mathbf{d}_g}{|\mathbf{X}_p| |\mathbf{d}_g|} + \frac{\mathbf{X}_p^T \cdot \mathbf{d}_h + \mathbf{d}_g}{|\mathbf{X}_p| |\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_g|} + 1 + \dots \right), \quad (11d)$$

$$\dots \dots$$

$$y_n \frac{|\mathbf{d}_n|}{|\mathbf{X}_p|} \approx \frac{1}{k} \frac{\mathbf{X}_p^T \cdot \mathbf{d}_n}{|\mathbf{X}_p|} \cdot \left( \frac{\mathbf{d}_n}{|\mathbf{d}_n|} + \frac{\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_n}{|\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_n|} + \frac{\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_g + \mathbf{d}_n}{|\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_g + \mathbf{d}_n|} + \dots \right), \quad (11e)$$

で与えられる [8, 10]。

<b>SPM法の理論的背景 SPM法の第1ステップを実行する(8)式は、因子分析法と全く同じである [11]。第2ステップの(10)式は、支配方程式(5)を(9)式のように変形できると仮定した因子分析である。従って、SPM法は一種の一般化した因子分析法であると考えられる。

任意の線形空間を張るベクトル $\mathbf{U}$ と $\mathbf{V}$ の角度 $\phi$ は、

$$\phi = \cos^{-1} \left[ \frac{\mathbf{U}^T \cdot \mathbf{V}}{|\mathbf{U}| |\mathbf{V}|} \right], \quad (12)$$

で与えられる [12]。従って、SPM法のパターン一致指数 [(8)式の $\gamma_i$ 、(10)式の $\gamma_{hi}$ ] は明らかに線形空間における角度の一致を評価する方法であり、 $m$ 個ある入力点の中で既知ベクトル $\mathbf{X}_p$ に最も平行となるベクトル $\mathbf{d}_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、の組み合わせを得ようとする方法である。換言すれば、既知ベクトル $\mathbf{X}_p$ の作る空間分布波形を $\mathbf{d}_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、の作る空間分布波形に展開する空間におけるフーリエ展開とも考えられる。各入力点の作る空間分布波形は互いに直交するとは限らないため、不完全フーリエ展開となる [3]。

いま、(5)式の係数行列 $D$ を構成する列ベクトル $\mathbf{d}_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、を正規化したベクトル $\mathbf{d}_i' = \mathbf{d}_i / |\mathbf{d}_i|$ 、 $i = 1 \sim m$ 、と対応する出力 $\Gamma_i$ 、

$$\begin{aligned} \mathbf{d}_1' &\text{と } \Gamma_1 = [1, 0, 0, \dots, 0]^T, \\ \mathbf{d}_2' &\text{と } \Gamma_2 = [0, 1, 0, \dots, 0]^T, \\ &\dots\dots\dots \\ \mathbf{d}_m' &\text{と } \Gamma_m = [0, 0, 0, \dots, 1]^T, \end{aligned}$$

を用いて、シナプス結合を次式

$$\mathbf{W} = \sum_{i=1}^m \Gamma_i (\mathbf{d}_i')^T, \quad (13)$$

で決定するとすれば、(13)式は  $m$  個の入力点に単位入力がある場合のベクトル  $\mathbf{d}_i'$ 、 $i = 1 \sim m$ 、を教師信号  $\Gamma_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、で学習させた Neural Networks (以下 NN と略す) であることを意味する。従って、正規化された既知ベクトル  $\mathbf{X}_p' = \mathbf{X}_p / |\mathbf{X}_p|$  がこの NN に入力された場合の出力は、

$$\Gamma = \mathbf{W} \cdot \mathbf{X}_p', \quad (14)$$

となる。(14)式の出力ベクトル  $\Gamma$  は、(8)式の  $\gamma_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、を要素とする行列となる。いま、この NN の閾値を単純なマツカーロピッツ型のように一定値とせず、 $\Gamma$  を構成する要素の最大値とすれば、SPM法の第1ステップの出力と一致する。この第1パーセプトロンの出力を第  $h$  点とすれば、 $\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、 $i \neq h$ 、を正規化したベクトル  $(\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i)' = (\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i) / |\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i|$  と対応する出力  $\Gamma_{hi}$ 、

$$\begin{aligned} (\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_1)' &\text{と } \Gamma_{h1} = [1, 0, 0, \dots, 0]^T, \\ (\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_2)' &\text{と } \Gamma_{h2} = [0, 1, 0, \dots, 0]^T, \\ &\dots\dots\dots \\ (\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_m)' &\text{と } \Gamma_{hm} = [0, 0, 0, \dots, 1]^T, \end{aligned}$$

を用いて、シナプス結合を次式

$$\mathbf{W}' = \sum_{i \neq h} \Gamma_{hi} (\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i)'^T, \quad (15)$$

で決定するとすれば、(15)式は第  $h$  点と  $m-1$  個の入力点に単位入力がある場合のベクトル  $(\mathbf{d}_h + \mathbf{d}_i)'$ 、 $i = 1 \sim m$ 、 $i \neq h$ 、を教師信号  $\Gamma_{hi}$ 、 $i = 1 \sim m$ 、 $i \neq h$ 、で学習させた NN であることを意味する。従って、正規化された既知ベクトル  $\mathbf{X}_p'$  がこの NN に入力された場合の出力は、

$$\Gamma' = \mathbf{W}' \cdot \mathbf{X}_p', \quad (16)$$

となる。(16)式の出力ベクトル  $\Gamma'$  は(10)式の  $\gamma_{hi}$ 、 $i = 1 \sim m$ 、 $i \neq h$ 、を要素とする  $m-1$  次の行列となる。いま、この NN の閾値を一定値とせず、 $\Gamma'$  を構成する要素の最大値とすれば、SPM法の第2ステップの出

力と一致する。

以上のことから、SPM法は、1)教師付き学習を解析的に行う、2)閾値を一定値とせず、出力の最大値とする NN の一種であることがわかる[13]。

<C>並列SPM法 強型式逆問題は Inverse Source Problem と呼ばれるように、フィールド源を求める問題である。いま、ある導体中に電流が流れている場合を考える。この導体の周辺では磁界が測定可能である。また、導体表面に直接接触をすれば表面電位、すなわち導体表面の電界分布も測定可能である。さらに、導体中に電流が流れているから抵抗損が熱源となって発熱するため、導体表面の熱分布も測定できる。このように電磁界源分布を推定する逆問題では、独立に測定できるフィールド量が存在する。それぞれ独立に測定された磁界や電界からそれぞれの源を SPM法で並列に推定し、その結果の相関をとることでより高精度に電磁界源分布を求める方法が並列 SPM (Parallel Sampled Pattern Pattern Matching) 法の原理であり、生体系の異常診断には極めて有効であることが示されている[7,8]。

### 2.3 漏れ磁界源の推定

ここでは、電子機器の漏洩を模擬した金属筐体から漏洩する磁界分布の測定より、磁界の漏洩部の測定を並列SPM法で実行する。

#### <a>仮定

第1の仮定は空間位相に関するものである。測定対象から漏洩する磁界の空間波長は測定点までの距離に比較して充分長く、磁界の空間伝搬時間は無視できるものとする。この仮定は、例えば漏洩磁界の周波数が 10MHz であるとしてもその波長は  $3 \times 10^8 / 10 \times 10^6 = 30\text{m}$  であり、対象から 5cm の点で磁界が測定されるとすれば、1波長の  $0.05/30 = 1/600$  の点に相当し、充分無視できることがわかる。これは変位電流を無視することに他ならない。第2の仮定は、磁界源となる電流は互いに直交する X、Y、Z の三次元成分から成り立っているが、大部分の電流は測定面に平行な X-Y 平面に分布し、Z 方向の電流は無視できるものとする。また、磁界は X、Y、Z の3方向成分が測定可能であるが、X-Y 平面上に分布する電流は Z 方向の磁界のみに寄与し、X と Y 方向の磁界は Z 方向成分の磁界の影響を受ける。このため、Z 方向成分の磁界分布のみを X-Y 平面上の電流分布推定に採用する。第3の仮定は、電流分布の探査領域に関するものである。磁界源となる電流の探査領域は磁界が測定される面の下方部直方体とし、Z 方向に沿って X-Y 平面に平行に分割された三次元領域である。従って、電流の Z 方向成分を無視しているため、電流分布は Z 方向に対して不連続になる。しかし、

$$\begin{aligned} \int \nabla \cdot \mathbf{J} dv &= \int \mathbf{J} ds \\ &= i_x + i_y + i_z \\ &= 0, \end{aligned} \quad (17)$$

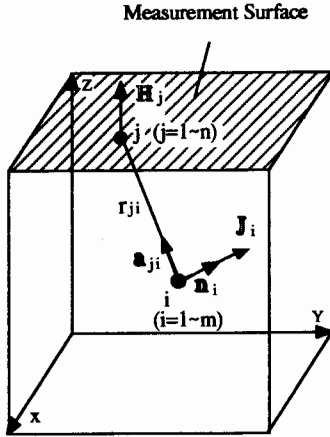


図1. J と H の関係。

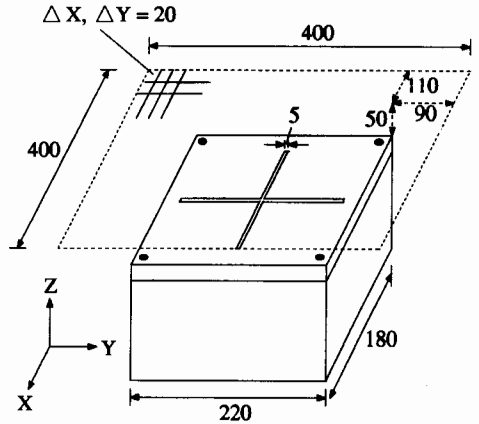


図2. 供試実験装置 (単位mm)。

より、

$$i_z = -(i_x + i_y), \quad (18)$$

の関係が得られる。すなわち、電流の連続条件  $\text{div } \mathbf{J} = 0$  はキルヒホッフの節点則に対応する。(18)式から、独立な電流は X-Y 平面上の  $i_x$  と  $i_y$  であり、第2の仮定は妥当であることがわかる。第4の仮定は磁界分布の測定に関するものである。交流磁界の振幅と位相は独立に測定されるものと仮定する。この仮定は、複素記号法での実数部と虚数部の磁界が独立に測定されることを意味する。換言すれば、同一経路を通る電流がつくる磁界が、時間位相で  $\pi/2$  ずらして独立に測定されるとする仮定である。この仮定により、実数部と虚数部の並列SPM が実行できることとなる。

<b>システム方程式 磁界の空間伝搬時間が無視できるとき、磁界 H と電流密度 J の関係は、

$$\mathbf{H} = \nabla \times \int \frac{\mathbf{J}}{4\pi|\mathbf{r}|} dv, \quad (19)$$

で与えられる。ここで、 $r$  は磁界 H と電流密度 J 間の距離である。(19)式で電流密度 J を含む領域 V が  $m$  個の微小領域  $V_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、に分割され、各微小領域内で電流密度は一定値  $\mathbf{J}_i$ 、 $i = 1 \sim m$ 、を取るとすれば、システム方程式は、(7)式と同じ形、

$$\mathbf{X}_p = \sum_{i=1}^m \mathbf{y}_i \mathbf{d}_i,$$

で書ける。但し、

$$\mathbf{X}_p = [\mathbf{H}_1, \mathbf{H}_2, \dots, \mathbf{H}_n]^T, \quad (20a)$$

$$\mathbf{d}_i = (1/4\pi)[\mathbf{n} \times \mathbf{a}_{i1}/r_{i1}^2, \mathbf{n} \times \mathbf{a}_{i2}/r_{i2}^2, \dots, \mathbf{n} \times \mathbf{a}_{in}/r_{in}^2]^T, \quad (20b)$$

$$\mathbf{y}_i = |\mathbf{J}_i| V_i, \quad i=1 \sim m, \quad (20c)$$

図1に示すように、 $\mathbf{n}$  は電流密度  $\mathbf{J}_i$  方向の単位ベクトルであり、 $\mathbf{a}_{i1}$ 、 $\mathbf{a}_{i2}$ 、 $\dots$ 、 $\mathbf{a}_{in}$  はそれぞれ電流密度  $\mathbf{J}_i$  の点から磁界  $\mathbf{H}_1$ 、 $\mathbf{H}_2$ 、 $\dots$ 、 $\mathbf{H}_n$  方向の単位方向ベクトルである。さらに  $\mathbf{y}_i$  は電流密度に体積を乗算したものであるため、A-m の次元を持つ電流双極子となる [7, 8]。

<c>電流分布推定結果 図2に実際に実験した装置のイラストが示してある。Z 軸方向の磁界が、対象面から 5 cm 上方に位置する編み目の交点で測定される。対象内にはループアンテナが設置され、1MHz で励振されている。また、対象面は中心部に十字形の 5mm の幅を持つスリットが設けられた鉄板がボルト締めで取り付けられている。

電流分布探索領域は  $V = 40 \times 40 \times 12 \text{ cm}^3$  とし、153600 個の  $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$  の立方体に分割し、さらに角度は 5 度刻みで 72 分割した。従って、全体の未知数は  $m = 11059200$  となり、測定された Z 方向磁界成分の個数は  $n = 1681$  である。

図3に推定結果を示す。図3(a)と3(b)はそれぞれ電流分布の実数部と虚数部である。両者共に不鮮明さ多く含んでいるため、最も値の大きい部分のみ抽出しなければならない。図3(c)は3(a)と3(b)の内積を取ること、相関を調べた結果である。明らかに図3(c)は、対象部の中心部とボルト締めした端部から磁界が漏洩していることを示している。

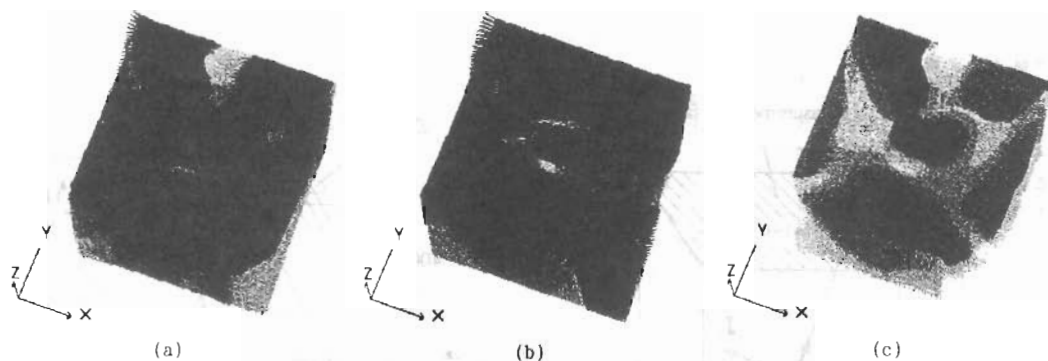


図3. 推定された電流分布。(a)実数部、(b)虚数部、(c)実数部と虚数部の内積による相関をとった結果。

### 3. まとめ

本稿では、逆問題の定義と分類を明確にし、電子機器から漏洩する磁界源探査は、解析的な解が期待できない強型式の逆問題を解くことに帰することを示した。強型式の逆問題を解く方法として、SPM法のアルゴリズム及びその理論的背景を示し、さらに高精度の解を得るために、並列SPM法を提案した。実際の実験で得られる磁界の振幅情報と時間位相の情報を用いて、並列SPM法で漏洩磁界源を推定した結果、実験的事実をよく反映した結果を得ることができ、並列SPM法がENC問題の解析法として有力な一方法であることを検証した。

### 4. 参考文献

- [1] 林昌世、他、"漏洩磁界測定による波源分布解析法の検討", 電子通信情報学会研究会資料 A-P92-25/EMCJ92-8, pp.15-20.
- [2] 早乙女英夫、他、"生体磁界における逆問題", 電気学会論文誌A, 第112巻4号(1992) pp.279-286.
- [3] 早乙女英夫、他、"Sampled Pattern Matching法による生体内電流分布推定", 電気学会論文誌C, 第113巻1号(1993) pp.101-108.
- [4] G. Anger, "Inverse Problems in Differential Equations," (Plenum Press, New York and London 1990).
- [5] Y. Saito et al., "A Formation of the Inverse Problems in Magnetostatic Fields and Its Application to a Source Position Searching of the Human Eye Fields," Journal of Applied Physics, Vol.67, No.9, Mag(1990) pp.5830-5832.
- [6] 岩井喜典、他、編著、"医用画像診断装置 -CT, MRIを中心として-" (コロナ社, 1988年12月20日).
- [7] K. Kitsuta et al., "Human Heart Diagnosis by the Space Power Distribution Method," Proceedings of the Second Japan-Hungary Joint Seminar on Applied Electromagnetics in Materials and Computational Technology, held in Sapporo, Japan, 16-18 Sep. 1992 (Edited by T. Honma et al., Hokkaido University Press, 1992).
- [8] 橋田和泰 他、"心磁図・心電図併用による電磁界源分布の推定", 日本生体磁気学会誌 特別号, Vol.5, No.1, June (1992) pp.100-103.
- [9] H. Saotome et al., "A Neural Behavior Estimation by the Generalized Correlative Analysis," IEEE Trans. Magn., March (1993) in Press.
- [10] H. Saotome et al., "Crack Identification in Metallic Materials," IEEE Trans. Magn., March (1993) in Press.
- [11] 日野幹雄, "スペクトル解析," (朝倉書店, 1977年10月)。
- [12] G. ストラング著, 山口昌哉、井上昭訳, "線形代数とその応用," (産業図書, 平成元年5月)。
- [13] 中野馨編著, "ニューロコンピュータの基礎," (コロナ社, 1990年4月)。