

## 論文

## 振幅情報のみを用いた電子機器の電磁妨害波源推定条件

寺師 弘<sup>†</sup> 田中 健<sup>†</sup> 石田 康弘<sup>††</sup> 徳田 正満<sup>†††</sup>  
 桑原 伸夫<sup>† a)</sup>

Conditions for Estimating Radiated Emission Sources on Electric Equipment  
 Using Only Amplitude Data

Hiroshi TERASHI<sup>†</sup>, Ken TANAKA<sup>†</sup>, Yasuhiro ISHIDA<sup>††</sup>, Masamitsu TOKUDA<sup>†††</sup>,  
 and Nobuo KUWABARA<sup>† a)</sup>

あらまし 電子機器から放射される電磁妨害波源探査法の一つに振幅情報の測定データのみで推定する方法がある。しかし、この方法は波源が明確な模擬波源に適用された事例しかなく、波源の位置が明確でない一般の電子機器に適用されていない。本論文では、本推定法を電子機器等の一般モデルに適用するため、まず放射源の確からしさの推定方法について検討を行い、各試行で得た波源位置を *Norm* の値で重み付けをした重心位置で表現する方法を提案している。次に、放射電磁界の理論値を求めることができる模擬機器を使用して、周波数 30 ~ 1000 MHz において波源を推定するための、測定データ数、波源の数、計算回数、試行回数の設定方法を求めた。その結果、周波数が高くなるに従って測定データ数、波源数を増やす必要があること、計算回数、試行回数については周波数依存性が小さいことが分かった。最後に、PC を対象として 3 m の距離の妨害波の電磁界測定データを用いて波源推定を行い切分け試験の結果と比較した。その結果は推定した波源の位置が 3 m の電界強度に最も寄与していることを示しており、本論文で提案している方法と推定条件により一般モデルの波源推定が可能であることが分かった。

キーワード 電磁妨害波源探査法, 振幅情報, 模擬機器, 推定条件, 実際の機器

## 1. ま え が き

電気・電子機器から発生する電磁妨害波は周辺の機器に影響を与え、故障や誤動作の原因になる可能性がある。このような問題を防ぐため規格に基づいた規制が行われている。電磁妨害波を抑制するには、その発生個所を特定することが有効であり、電磁妨害波の波源推定法が検討されている。

その一手法として、近磁界プローブを使用して近傍界を測定する方法があるが 3 m 及び 10 m の距離における電界強度との相関が不明である。一方、遠方の電磁界から電波の到来方向などを推定する方法として、合成開口法[1]や MUSIC 法[2]などがあるが、それらは電

磁界の振幅と位相の両データが必要である。一般に電磁妨害波は波源として不安定であり位相を再現性良く測定することは困難である。そこで、この問題を解決する新たな方法として、電磁界の散乱問題に用いられる離散的特異点法を応用して波源推定を行う方法が提案されている[3]。本手法は測定電界の位相データが不要で、電界振幅データのみから波源推定計算できるという大きな特徴をもつ。これまでに、球状ダイポールアンテナを波源モデルとして任意方向を向く複数波源の位置、電流値の推定が可能であることが報告され[4]、[5]、またケーブルを波源とした場合についても本手法の有効性が報告されている[6]、[7]。しかしながら、これまで報告されてきた手法は、波源位置があらかじめ明確になっている場合であり、波源位置が明確になっていない電子機器等の一般モデルに適用するにあたっては、推定した波源の確からしさの推定方法、推定計算に使用する測定データ、波源数等の推定条件が明確になっていない問題点があった。

本論文では、離散的特異点法を応用して波源推定法を一般モデルに適用するための条件を検討している。

<sup>†</sup> 九州工業大学工学部電気工学科, 北九州市  
 Department of Electrical Engineering, Kyushu Institute of Technology,  
 Kitakyushu-shi, 804-8550 Japan

<sup>††</sup> 福岡県工業技術センター, 北九州市  
 Fukuoka Industrial Technology Center, Kitakyushu-shi, 807-0831 Japan

<sup>†††</sup> 武蔵工業大学工学部電子通信工学科, 東京都  
 Department of Electronics and Communication Engineering, Musashi  
 Institute of Technology, Tokyo, 158-8557 Japan

a) E-mail: kuwabara.nobuo@buddy.elcs.kyutech.ac.jp

まず、波源位置の確からしさの推定では、何回かの試行に基づいて波源位置を定める方法を提案している。次に、この方法を用いて波源を推定するために必要なパラメータである、波源数、計算回数、試行回数、測定データ数について、放射電磁界を理論的に求めることができる模擬波源を用いて検討している。最後に、本方法をPCに適用して、本論文で提案している推定条件の妥当性を示している。

## 2. 波源推定手法

図1に波源の推定に使用する解析モデルを示す。本論文で使用する推定方法は図1に示すように、電子機器周囲の複数の点で電磁界を測定し、次に電子機器を複数の波源で置き換えて測定位置での電磁界分布を計算し、測定した電磁界と計算した電磁界の偏差（ここでは $Norm$ で表現する）が最も小さくなるように電流ベクトルの方向、大きさ、位置を決定するものである[4]。

図2に推定アルゴリズムを示す。推定にあたってはまず、初期値 $\mathbf{J}^{(0)}$ を式(1)で定義する。

$$\mathbf{J}_n^{(0)}(x_n, y_n, z_n) \quad (n=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

式(1)で $\mathbf{J}_n^{(0)}$ は波源を表す電流ベクトル、 $n$ は何番目の波源を表し、 $N$ は波源の総数、括弧内は計算回数を表している。これを用いると電界強度は式(2)となる。波源を微小ダイポールと仮定すると、遠方界測定点における水平電界（あるいは垂直電界） $\mathbf{E}_m^{(0)}$ は式(2)で表される。ただし、本波源推定計算においては電流値を正規化して扱うため係数を省略している。

$$\mathbf{E}_m^{(0)} = \sum_{n=1}^N \left\{ \frac{\mathbf{J}_n^{(0)} e^{-jkr_{mn}}}{r_{mn}} D_{mn} + \frac{\mathbf{J}_n^{(0)'} e^{-jkr_{mn}'} }{r_{mn}'} D_{mn}' \right\} \quad (2)$$

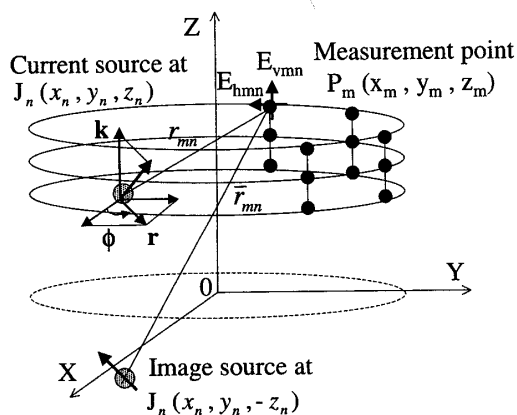


図1 波源推定に用いる解析モデル  
Fig. 1 Analysis model for using finding method.

ここで、 $\mathbf{J}_n^{(0)}$ は水平電界（あるいは垂直電界）へ寄与する波源電流値、すなわち波源と測定点を結ぶ直線に垂直な電流成分である。 $D_{mn}$ は測定用アンテナの指向性、 $r_{mn}$ は波源と測定点との距離、 $k$ は波数である。また、第2項目は金属製グラウンドプレーンからの反射波を意味する。電界計算についての詳細は、文献[5]に記載されている。

波源より計算した電界を用いて、 $Norm$ は式(3)で定義される。

$$Norm = \frac{\sum_{m=1}^{M_p} |E_m^{(0)} - E_m^M|^2}{\sum_{m=1}^{M_p} |E_m^M|^2} \quad (3)$$

ここで、 $m(=1, 2, \dots, M_p)$ は各測定点の番号、 $M_p$ は測定点総数である。 $E_m^M$ と $E_m^{(0)}$ はそれぞれ測定及び計算した電界の各成分である。補正值は $Norm$ の変化量が最小になる式(4)の条件より求めることができる。

$$\frac{\partial Norm}{\partial \alpha_i} = 0 \quad (4)$$

ここで、 $\alpha_i$ は求める補正パラメータを示しており、本論文の場合、各電流源の $r, \phi, k$ 成分の実数部と虚数部及び位置である。観測点における電界については、今回の推定法を適用する3m以上の遠方ではほぼ平面波

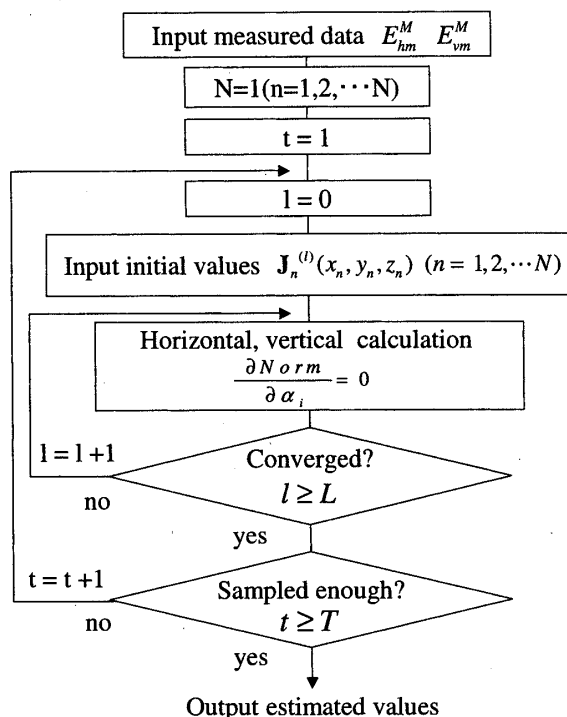


図2 波源推定アルゴリズム  
Fig. 2 Emission source finding algorithm.

と考えることができ、放射界のみを考慮している。補正值の計算にはマルカート法[8], [9]を用いており式(5)に示す連立方程式の解で与えられる。

$$[A_{ij}][\alpha_j] + \mu [I][\alpha_i] = [B_i] \quad (5)$$

ここで、 $[A]$ は正値エルミート行列でその成分 $A_{ij}$ は式(6)で与えられる。

$$A_{ij} = \sum_{m=1}^{M_p} \left( \frac{\partial E_m^{(0)}}{\partial \alpha_i} \cdot \frac{\partial E_m^{(0)}}{\partial \alpha_j} \right) \quad (i, j = 1, 2, \dots, 9N) \quad (6)$$

また、 $[I]$ は単位行列である。 $[B_i]$ は列ベクトルでその要素 $B_i$ は式(7)で与えられる。

$$B_i = \sum_{m=1}^{M_p} \frac{\partial E_m^{(0)}}{\partial \alpha_i} \cdot (E_m^M - E_m^{(0)}) \quad (7)$$

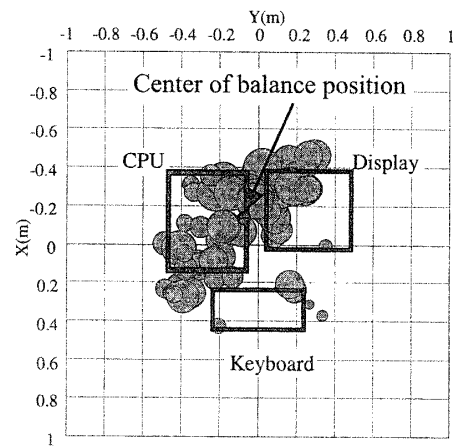
式(5)において $\mu$ はマルカート係数で解の収束性を良くするために適切な数値を使用する。この補正值を用いて新しい波源 $J_n^{(1)}$ を求めることができる。以後、この計算を繰り返すことにより、最適な波源を求めることができる。詳しい方法は文献[4], [5]に記載されている。

### 3. 波源の表現方法

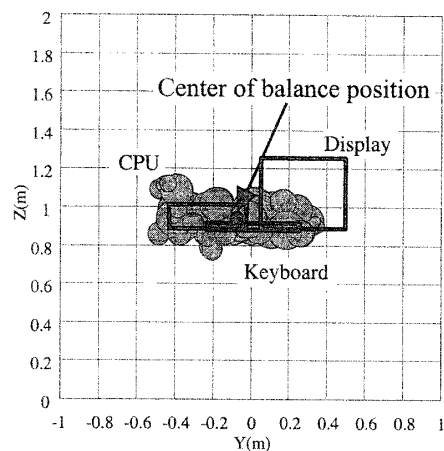
波源推定を行うためには式(1)で示されている初期値、すなわち電流源の大きさ、波源の位置、式(5)に示されているマルカート係数を与える必要がある。本論文ではこれらの値を乱数を用いて与える方法を検討した。

2.で述べた波源推定を一般の電子機器(5.に示すPC)に36回試行した結果を図3に示す。また、推定に使用した条件を表1, 表2に示す。表1は乱数を用いて発生させる波源の位置、電流の大きさ、マルカート係数の範囲を示している。波源の発生位置については $0.6 \text{ m} \times 0.6 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ の範囲にしており、推定範囲は、十分広いといえる $4 \text{ m} \times 4 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ にしている。3 mの距離で妨害波レベルを評価される電子機器は一般にこの範囲に入る。表2に示す測定点数( $M_p$ )、波源数( $N$ )、計算回数( $L$ )は $Norm$ の値が十分小さくなる値を使用している。図の円の位置は波源の位置を、また円の大きさは式(8)で定義される確からしさを示している。

$$g^{(r)} = \frac{|J^{(r)}|}{Norm^{(r)}} \quad (8)$$



(a) 上から見た図



(b) 正面から見た図

図3 各試行によって得られた波源位置  
Fig. 3 Estimation results of radiation source by each trial.

表1 初期値の最大発生範囲  
Table 1 Max range of initial condition.

項目	最大範囲
波源位置	$-0.3 \text{ m} \leq x, y \leq +0.3 \text{ m}$ $+0.8 \text{ m} \leq z \leq +1.8 \text{ m}$
波源電流値	$-1.0 \leq \text{Re}(J), \text{Im}(J) \leq +1.0$
マルカート係数	$+0.0 < \mu \leq +10.0$

表2 図3における推定条件  
Table 2 Estimation condition at Fig. 3.

項目	使用した値
測定点数( $M_p$ )	96点(高さ方向:4点、 回転方向:24点)
波源数( $N$ )	2波源
計算回数( $L$ )	200回

式(8)は電流の値の大きな、そして *Norm* の小さな波源ほど推定値として確からしいとの考えに基づいて定義されている。したがって、図3において、円の大きな波源ほど確からしいといえる。

図より、波源はほぼ同じ位置に推定されているが中には離れた位置に推定されているものもある。このことは、各試行結果より最も確からしい波源を求めるだけでは、十分な精度で波源位置を計算のみで定めることができないことを意味している。したがって、数多くの試行を行い、各試行の推定位置の平均値（以下重心 (Center of balance) という）を計算することが、最も確からしい位置を定めるに有効であると考えられることができる。そこで、本論文では各試行で得られた波源位置に式(8)で定義する確からしさを重み付けした式(9)で波源位置を定める方法を用いることにする。

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^T g^{(i)} x^{(i)}}{\sum_{i=1}^T g^{(i)}} \quad (9a)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^T g^{(i)} y^{(i)}}{\sum_{i=1}^T g^{(i)}} \quad (9b)$$

$$\bar{z} = \frac{\sum_{i=1}^T g^{(i)} z^{(i)}}{\sum_{i=1}^T g^{(i)}} \quad (9c)$$

式(9)において *T* は試行回数である。

図3に式(9)を用いて求めた重心位置を同時に示す。図に示すように、重心位置は波源位置として最も多く推定されている領域になっており、この方法により計算値を用いて自動的に波源位置を算出することができる。

#### 4. 各パラメータの設定

一般モデルの波源推定を行うためには、表2に示す推定パラメータである測定点数( $M_p$ )、波源数(*N*)及び計算回数(*L*)と試行回数(*T*)を求める必要がある。この検討はあらかじめ波源位置が分かっている模擬波源を用いて行うが、測定値を使用すると、測定誤差を考慮する必要があるため、検討が複雑になってしまう。そこで、解析値を用いてこれらのパラメータの検討を行う。

検討に使用した模擬波源を図4に示す。模擬波源としてダイポールアンテナや球状ダイポールアンテナを使用することもできるが、前者については給電に使用している同軸ケーブルを含めた放射電磁界の理論解析が困難であること、後者についてはモード整合法を用いた解析例はあるが[11]電磁界の解析が複雑であることより、モーメント法を使用して十分な精度で放射電

磁界が求められており、推定パラメータの妥当性の確認を行うことが可能な模擬機器[10]を用いた。

模擬機器の構造を図4に示す。模擬機器は外寸0.48 m × 0.36 m × 0.1 m のシールドボックス内に O/E 変換器とバッテリーを内蔵しており、光ファイバから伝送されてきた信号をシールドボックス上部に配置された0.2 m × 0.05 m のループアンテナより放射する構造になっている。解析には NEC-2 を使用しており、解析値と測定値の偏差は 30 ~ 1000 MHz において水平偏波では ± 2.5 dB 以内、垂直偏波では ± 1.9 dB 以内である[10]。

上記模擬機器を想定した計算機シミュレーションにより、波源推定の各パラメータについて検討した。ここで、測定距離は 3 m、測定点角度は 0 ~ 360 度（間隔 15 度、全 24 点）、測定点高さは 4.1 ~ 4.3 においては 1 ~ 4 m（間隔 0.2 m、全 16 点）である。

パラメータは波源数(*N*)、計算回数(*L*)、試行数(*T*)、測定点数( $M_p$ )の順に決定した。以下にその決定方法を示す。

##### 4.1 波源数の決定

模擬機器を用いて得られた波源数(*N*)と *Norm* の関係を図5に示す。図5は  $L=300$ 、 $T=10$ 、 $M_p=384$  の場合の 10 組の結果の中における *Norm* の最小値を示している。周波数は 30 ~ 1000 MHz の 11 周波数である。図より、波源数が多くなるに従って *Norm* の値が小さくなっており、周波数が高くなるに従って *Norm* の減少傾向が小さくなっていることが分かる。*Norm* が 0.05 以下では十分収束していると判断できるので、*Norm* がこの値以下になったところを推定に用いる波源数とした。図より、推定に必要な波源数は周波数が高くなるほど多く必要になっている。この理由としては周波数が高くなるにつれて機器の電流分布が複雑になるためと考えられる。決定した波源数を 4.5 の表3に示す。

##### 4.2 計算回数の決定

試行回数(*T*)をパラメータとした計算回数(*L*)と *Norm*

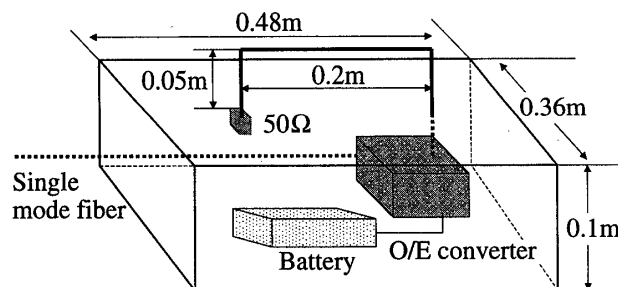
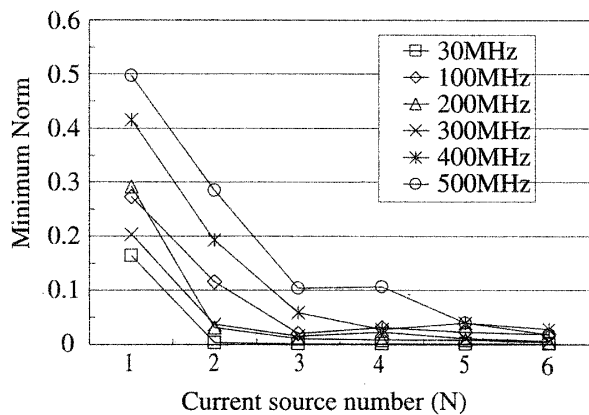


図4 導体ループを実装した模擬機器の外観  
Fig. 4 External view of imitated equipment with loop conductor.

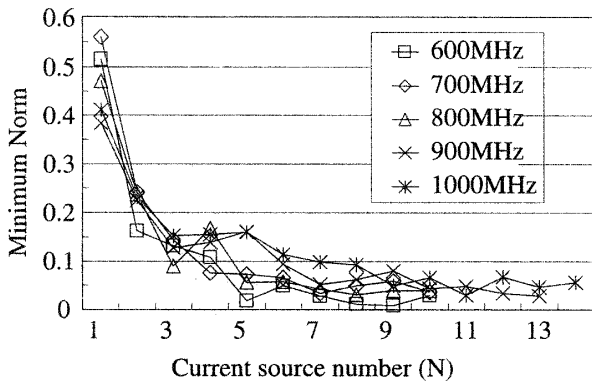
の関係を図6に示す。図は周波数30 MHz,  $N=2$ ,  $M_p=384$  の場合の解析結果を示している。試行回数が10であるので10組の初期値が与えられており、10個のNormの値が得られるが、Normの大きなものは式(8)に示すように波源位置に与える影響が小さいので図5はその中からNormの値が低い三つを選び、計算回数とNormの偏差の関係を示している。ここでNorm偏差は計算回数が10回前のNormとの差を示している。Norm偏差で表示しているのは、試行ごとでNormの絶対値が変化するのでそれを除くためである。図より計算回数が増えるに従ってNorm偏差は減少する傾向にあることが分かる。4.1に述べたようにNormが0.05程度で十分収束していると判断できるので、ここでは、Norm偏差が0.01以下になる時点で十分収束していると判定している。図6の例では、 $L=100$ となる。他の周波数においても同様な方法で求めることができるが、解析にあたっては4.1で決定した波源数を適用する。決定した計算回数を4.5の表3に示す。

4.3 試行回数の決定

図7に、周波数30 MHz,  $N=2$ ,  $L=100$ ,  $M_p=384$  の場



(a) 30 ~ 500 MHz



(b) 600 ~ 1000 MHz

図5 波源数とNormの関係

Fig. 5 Relation between current source number and Norm.

合の試行回数( $T$ )と重心位置( $G$ )偏差の関係を示す。図で重心位置偏差は20回前の試行回数のとき得られた重心位置との距離の差を示している。図より、試行回数が増えるに従って重心位置偏差は減少していく傾向にある。周波数1000 MHzにおける波長が0.3 mであるので、期待できる重心位置の確からしさはよくて0.03 m程度と考えることができる。そこでここでは距離の偏差が0.01 m以下となる試行回数で十分収束していると判定する。図7の場合には $T=160$ となる。他の周波数においても同様な方法で求めることができるが、解析にあたっては4.1, 4.2で決定した波源数, 計算回数を適用する。決定した試行数を4.5の表3に示す。

4.4 測定点数の決定

図8に測定点数( $M_p$ )と重心位置( $G$ )の関係を示す。波源数, 計算回数, 試行回数は4.1, 4.2, 4.3で各周波数ごとに求めた値を使用している。図中破線 (Element

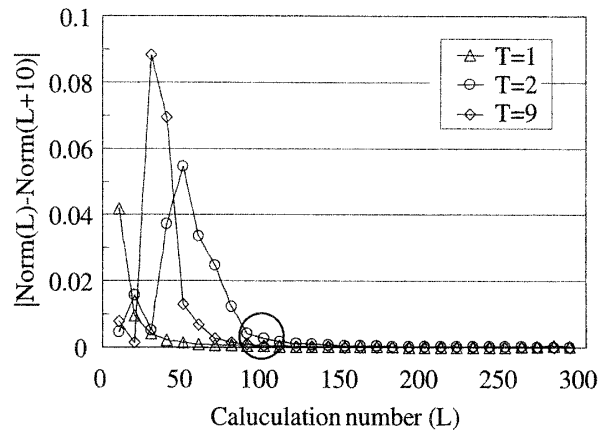


図6 計算回数とNorm偏差の関係

Fig. 6 Relation between calculation number and Norm deviation.

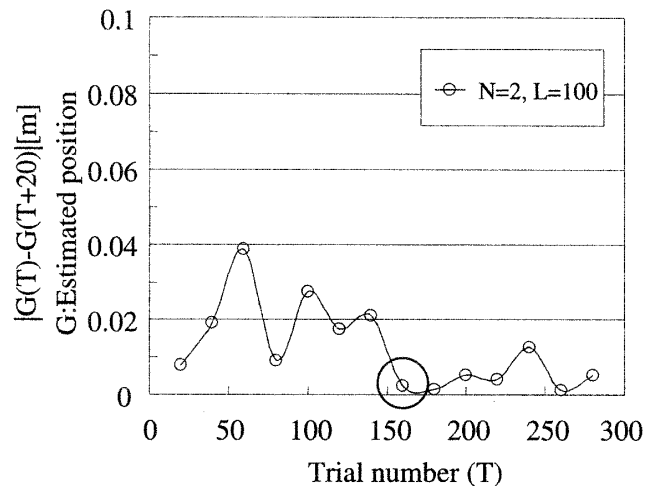
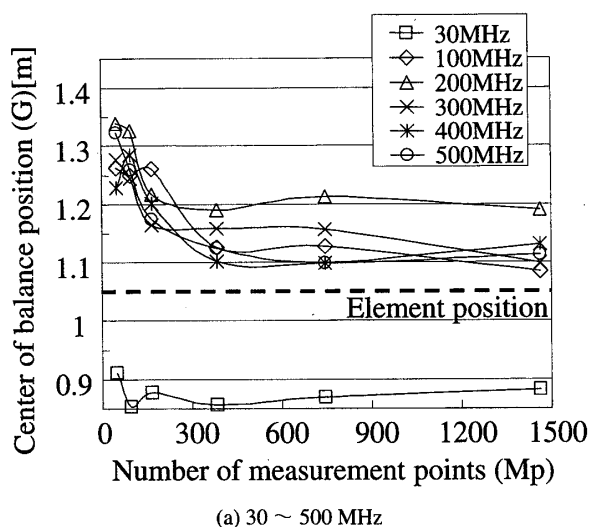
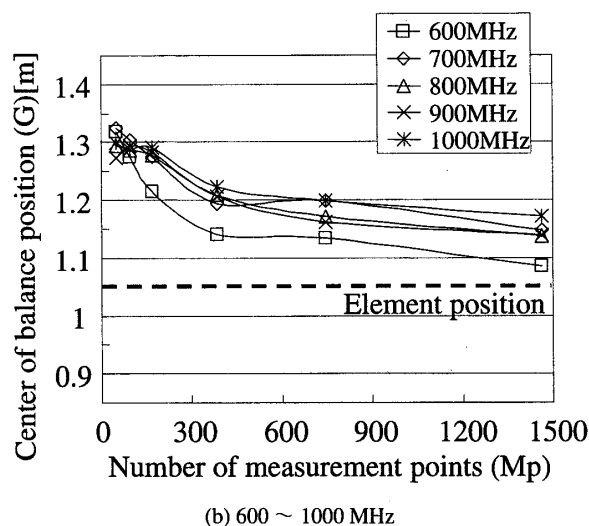


図7 試行回数と重心位置偏差の関係

Fig. 7 Relation between trial number and estimated point deviation.



(a) 30 ~ 500 MHz



(b) 600 ~ 1000 MHz

図8 推定結果と測定点数との関係

Fig. 8 Relation between estimated point and number of measurement points.

position) は模擬機器のエレメント中心位置である。測定点数の増加に伴い、波源推定計算によって求められた重心位置がエレメント中心位置に近づく程度をもとに有効な測定点数を決定する。検討では回転方向の測定点は24点(15度おき)として、高さ方向(1~4m)の分割数のみを変化させている。高さ方向のみ変化した理由は、電子機器の指向特性の測定例を見てもこの程度の分割数で十分指向特性を表現できるが、高さ方向については金属製のグランド平面の反射波との干渉があり複雑な変化をするためである。図より周波数30 MHzでは、測定点数が増えるに従って重心位置に大きな差は見られないが、7点以上では特に重心位置に大きな差はないため、高さ方向の測定点は7点( $M_p=168$ )とした。また、周波数100~700 MHzについても、測定点数が増えるに従って重心位置は一定の値

表3 推定条件

Table 3 Estimation condition.

周波数	波源数 N	計算回数 L	試行回数 T	測定点数 $M_p$
30MHz	2	200	140	168
100MHz	3	230	140	384
200MHz	3	150	120	384
300MHz	3	150	140	384
400MHz	4	250	120	384
500MHz	5	200	100	384
600MHz	5	200	100	384
700MHz	7	140	100	384
800MHz	8	110	120	744
900MHz	10	230	80	744
1000MHz	11	150	80	744

に近づいており、16点以上では重心位置に大きな差はない。測定点数が増すことで、推定精度は向上するが同時により多くの計算時間が必要となるため、高さ方向の測定点は16点( $M_p=384$ )とした。最後に、800~1000 MHzにおいても測定点数が増えるに従って重心位置は一定の値に近づいており、31点以上で重心位置に大きな差はない。そこで高さ方向の測定点は31点( $M_p=744$ )とした。

#### 4.5 30~1000 MHzの推定パラメータ

4.1~4.4に示す方法を用いた求めた各周波数、測定点数ごとの推定パラメータを表3に示す。表3より、周波数が高くなるほど、推定波源数(N)、測定点数( $M_p$ )が多く必要であることが分かる。この理由は、周波数が高くなるにつれて模擬機器のエレメントの電流分布が複雑になり、それによって放射電界も複雑になるため、波源数を増やさなければ模擬できなくなったためと考えられる。また、試行回数(T)は、周波数が高くなるにつれ少なくなり、計算回数(L)は、周波数による依存性は小さいことが分かる。

### 5. 評価結果

4.で求めた推定パラメータの妥当性を評価するため、PCシステムと模擬機器を対象に、10 m距離での放射妨害波評価が可能な大型電波暗室において、4.で求めた条件下で3 m距離での波源推定を行った。

#### 5.1 模擬機器の波源推定結果

図9に周波数500 MHzにおける波源推定結果を示す。周波数500 MHzでは波源数は5であるが、図9には式(8)の大きい順より三つの波源を示している。模擬機器からの放射電磁界の測定には電波暗室を使用した。横

軸は測定点数 (高さ方向×回転方向), 縦軸は推定位置である. 図より, 解析値を用いて求めた波源の位置と測定値を用いて求めた波源の位置は, 各測定点においてほぼ一致しており, 表3に示す推定パラメータは測定値に対しても有効であることが分かる.

### 5.2 実際の機器の推定結果

PCに対して表3に示す推定パラメータを適用して妨害波源推定を実施した. PCの設置状況を図10に推定結果を図11に示す. 妨害波源推定を実施したPCは, 図10に示すように, 本体 (CPU), キーボード, ディスプレイで構成されている. 通常は1m×1mの範囲に収まるものであるが, 今回は放射源の位置を分かりやすくするため, 図10に示すように本体, ディスプレイ, キーボードを接続ケーブル, 電源ケーブルの届く範囲内で離して配置した. また, 妨害波レベルを大きくするために本体部分の筐体を除去している. この場合, 装置の範囲は1m×2mと4.で行った装置の範囲より大きくなったが, 対象周波数が低く装置の範囲が1波長程度に収まる場合は, 同じ推定条件下で結果に大きな差は出ないと判断し, この配置とした. 装置の範囲が数波長になるような場合について, 4.の条件が成り立つか否かの検討は今後の課題である.

PCより放射されているいくつかの妨害波に対して推定を行ったが, 図11はその例として周波数190MHzの妨害波の波源推定結果を示している. 周波数が190MHzであるので波源数は3であるがどの波源もほぼ同じで, 本体部分とディスプレイをつなぐ接続ケーブルの位置に推定されている.

そこで, 切分け試験により, 推定された部分から妨

害波が放射されているかどうかを調査した. その結果を表4に示す. 数値は, EMIレシーバのQP読み値 (水平偏波) であり, ○はON状態 (電源ONあるいはケーブルやユニットが接続されている状態), -はOFF状態, SはON状態でかつシールドされている状態, Fはフェライトコアが装着されている状態を意味する. 表4で, 例えば①は, すべて接続され電源ONの状態である. また, シールドには導電シートを貼付したケースを用いたが, これはケーブルが外部に出ていない場合, 40dB程度の遮へい効果があるもので, ②, ③, ⑤を比較するとその十分な効果が確認できる. 結果を検討すると, 本体, ディスプレイ, キーボードをシールドして接続ケーブルのみを外部に露出させた状態⑩が, 初期状態①に最も近いレベルであることから, 接続ケーブル位置が, 3m距離での妨害波に最も寄与していることが分かる. これは図11に示す推定位置と合致している.

ディスプレイがOFFの場合やフェライトを装着した場合も放射はあり, 更にディスプレイケーブル以外か

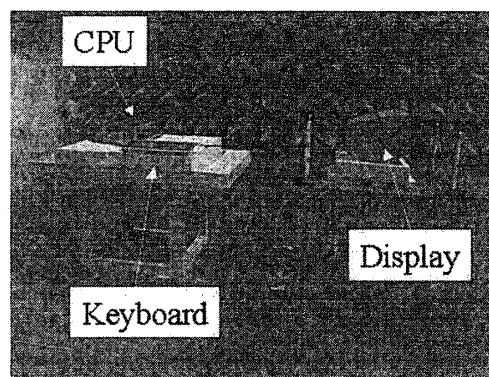


図10 PCのレイアウト状況  
Fig. 10 Experimental set-up of PC (Personal computer).

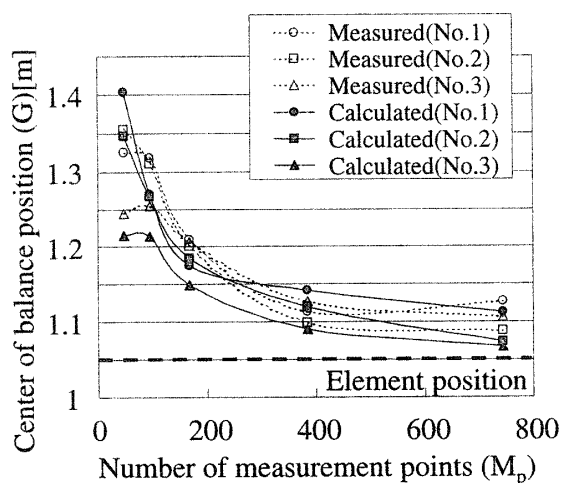


図9 模擬機器の計算値と測定値を用いた波源位置推定結果  
Fig. 9 Estimated results of emission source points for imitated equipment using both calculated and measured value.

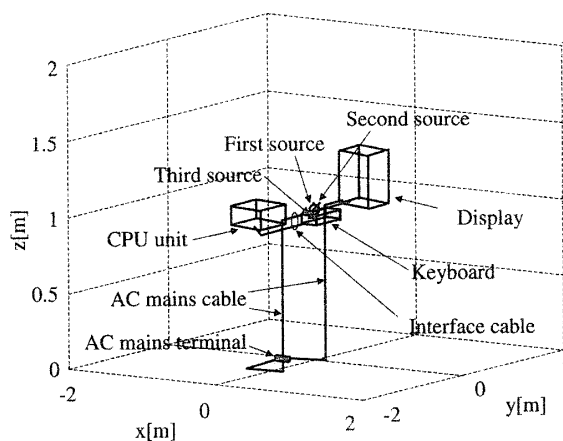


図11 PCの波源推定結果 (190 MHz)  
Fig. 11 Estimated result of emission source for PC at 190 MHz.

表4 PCの妨害波源切分け結果(190 MHz)

Table 4 Measured result of emission source for each part of PC at 190 MHz.

	本体	ディスプレイ	本体・ディスプレイ間 接続ケーブル	キーボード	QP値 (dB $\mu$ V)
①	○	○	○	○	60
②	—	—	—	—	23
③	○	—	—	—	46
④	—	○	—	—	23
⑤	S	—	—	—	24
⑥	S	—	—	○	50
⑦	S	—	○	—	49
⑧	S	—	○	S	49
⑨	S	○	○	S	60
⑩	S	S	○	S	59
⑪	S	S	F	S	52

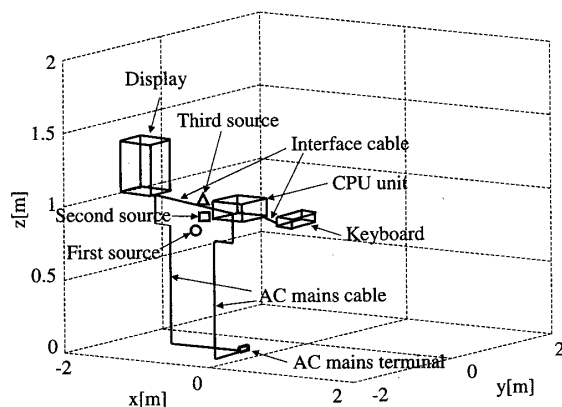


図12 PCの波源推定結果(190 MHz, 配置変更)

Fig. 12 Estimated result of emission source for PC at 190 MHz (Other placement).

らも妨害波は放射されている。しかし、妨害波に最も寄与している波源から対策を行うことが効率上重要であり、妨害波に最も寄与している波源を特定できる本論文の手法は、この目的に有効であると判断できる。

更に、異なるユニット配置に対する検証実験を試みた。波源推定結果を図12に示す。接続ケーブルから約0.3 mの偏差が見られるのは、配置を変化させることにより、機器からの電磁波の放射条件が変化したものと思われる。表4に示す切分け試験の結果より、妨害波の信号源は本体部分であると考えられており、このことを考慮すれば、波源は機器の配置を変化させても推定されていると判断できる。

## 6. むすび

本論文では、振幅情報のみを用いて3 m, 10 mの距離における妨害波に寄与している波源の推定方法について検討している。従来、この波源推定方法は球状ダイポールアンテナ等の波源位置が明確に分かっている

ものに適用してその有効性が検討されてきたが、本論文ではそれを波源位置が未知の電子機器等の一般モデルに対して適用した。まず、波源を推定した場合、初期値により推定される波源位置が異なるが、多くの推定値はほぼ同じであることを示し、多くの試行を行いその重心位置より波源位置を推定する方法を提案している。

次に、放射される電磁界を理論的に求めることができる模擬機器を用いて、30～1000 MHzの周波数範囲で波源推定に必要なパラメータである波源数( $N$ )、計算回数( $L$ )、試行回数( $T$ )、測定点数( $M_p$ )を定めている。そして、求めたパラメータを実際の模擬機器の測定値に適用し、解析値より求めた波源位置と測定値より求めた波源位置がほぼ一致することを示している。

最後に、本論文で提案している推定方法及び推定パラメータをPCに適用して波源位置を推定し、周波数190 MHzの妨害波は本体とディスプレイを接続するケーブルより放射されていることを示している。切分け試験の結果は推定した位置より放射される妨害波が3 mの距離での妨害波レベルに最も寄与していることを示しており、本論文で提案した方法が波源推定に有効であることが分かった。

今後の課題としては、サイズの大きな機器を用いて本推定方法を検証し、その汎用性を確認することが挙げられる。

謝辞 本検討にあたり有益な助言を頂いた九州工業大学工学部電気工学科桑原研究室の関係各位に深謝します。

## 文 献

- [1] C. Wu, K.Y. Kiu, and M. Jin, "Modeling and a correlation algorithm for spaceborne SAR signal," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst., vol.AES-18, no.5, pp.563-575, Sept. 1982.
- [2] R.O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.AP-34, no.3, pp.276-280, March 1986.
- [3] 村川一雄, 高橋真之, 大橋英史, 徳田正満, "通信装置に対する放射妨害波漏洩箇所探知方法の検討," 信学論(B-II), vol.J79-B-II, no.9, pp.608-615, Sept. 1996.
- [4] 石田康弘, 村川一雄, 山下浩二, 徳田正満, "CISPR測定系を用いた放射妨害波源探知法における探知推定精度の向上," 信学論(B), vol.J82-B, no.8, pp.1569-1577, Aug. 1999.
- [5] Y. Ishida, K. Yamashita, and M. Tokuda, "Finding method of radiated emission sources with arbitrary directional current components utilizing CISPR measurement system," IEICE Trans. Commun., vol.E85-B, no.4, pp.723-731, April 2002.
- [6] 山口雄一, 石田康弘, 山下浩二, 徳田正満, "電子機器に接続されたケーブルからの漏洩波源推定法," 信学技報,



EMCJ99-63, Sept. 1999.

- [7] Y. Ishida, Y. Yamaguchi, N. Kuwabara, and M. Tokuda, "Visualization of radiated emission sources on a wire using far field amplitude data," APCCAS2002.
- [8] 藤元美俊, 菊間信良, 稲垣直樹, "マルカート法を用いたCMAアダプティブアレーの多重波抑圧特性," 信学論(B-II), vol.J74-B-II, no.11, pp.599-607, Nov. 1991.
- [9] 西村萬平, 高松修司, 繁沢 宏, "最適化手法を用いた離散的特異点法による完全導体柱の散乱電磁界の数値解析," 信学論(B-II), vol.J67-B-II, no.5, pp.552-558, May 1984.
- [10] T. Nango, T. Kawashima, J. Ohwaki, and M. Tokuda, "New imitated equipment with optical powering system for evaluating anechoic chamber characteristics," IEEE 2001 International Symposium on EMC, vol.1, pp.274-279, Aug. 2001.
- [11] M. Tokuda and N. Kuwabara, "Recent progress in fiber optic antennas for EMC measurement," IEICE Trans. Commun., vol.E75-B, no.3, pp.107-114, March 1992.

(平成 15 年 3 月 31 日受付, 7 月 10 日再受付)



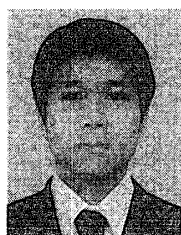
徳田 正満 (正員)

昭 42 北大・工・電子卒. 昭 44 同大大学院修士課程了. 同年日本電信電話公社(現, NTT)入社. 以来, 光ケーブルの伝送特性測定法, 通信装置のEMC技術等に関する研究に従事. 平 8 九工大・工・教授. 平 13 より, 武蔵工大・工・教授. 工博. 昭 61 年度本会業績賞受賞. IEEE 会員.



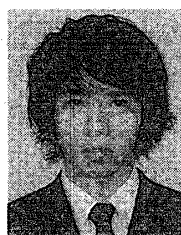
桑原 伸夫 (正員)

昭 50 静岡大・工・電子卒. 昭 52 同大大学院修士課程了. 同年日本電信電話公社(現, NTT)茨城電気通信研究所入所. 以来, 通信システムの雷防護, 光ファイバの信頼性評価, 通信システムのEMI評価, EMCにおける光計測技術等に関する研究・開発に従事. 平 13 より, 九工大・工・教授. 博士(工学). IEEE 会員.



寺師 弘 (正員)

平 11 鹿児島高専・電気卒. 平 13 九工大・工・電気卒. 現在, 同大大学院博士前期課程在学中. 電子機器の妨害波低減法の研究に従事.



田中 健

現在, 九工大・工・電気工学科在学中. 電子機器の妨害波低減法の研究に従事.



石田 康弘 (正員)

昭 61 九大・工・電気卒. 昭 63 同大大学院修士課程了. 同年九州松下電器(株)入社. 平 4 福岡県工業技術センター機械電子研究所. 平 13 九工大大学院博士後期過程了. 電子機器のEMC関連測定, 妨害波低減法等の研究に従事. 博士(工学). IEEE 会員.