

卓上型妨害電磁波計測システムの開発 (第2報)

萩原 茂・木島 一広・布施 嘉裕・池田 哲夫・藤本 秀昌*

Development of the Desktop Measurement System for Evaluation of Radiated Disturbance (2nd Report)

Shigeru HAGIHARA, Kazuhiro KIJIMA, Yoshihiro FUSE, Tetsuo IKEDA
and Hidemasa FUJIMOTO*

要 約

電磁環境両立性測定の簡便化を目的として、卓上型妨害電磁波計測システムの開発を行っている。本年度は、放射妨害波予測方法を確立するための基礎実験として2次元平面における近傍電界測定を行い、その測定結果を用いて、等方性放射源の位置を推定する手法を検討した。送信アンテナの給電周波数が1GHzの場合では、推定位置は実際の送信アンテナ位置と比較して20~30cm程度の差となった。また、給電周波数2GHzの場合では、10cm以下の差で送信アンテナ位置を推定した。

Abstract

In order to simplify radiated disturbance measurement, we are developing the desktop measurement system. In this period, we performed two-dimensional electric near-field measurement with the aim of establishing the method of radiated disturbance strength estimation. Based on these results, we investigated the method of position estimation of isotropic radiation source. The estimated value had the difference of 20 to 30cm compared with the actual position of transmit antenna at 1GHz antenna feed frequency. And in the case of 2GHz, we estimated the value that had the difference up to 10cm.

1. 緒 言

電子機器を開発設計する上で不可欠となってきた電磁環境両立性規格への適合には、電波暗室やオープンサイトといった大規模な測定場や種々の高性能測定器が必要である。これらの施設建設や機器保有には膨大な投資が必要となるが、開発費用の削減を求められている中小企業にとってこの資金調達には困難である。そこで、民間の測定業者や公的機関の保有する設備に頼らざるを得ない。しかし設備借用には、設備の空き状況、利用時間の制約などが新製品の開発期間短縮にとっての大きな妨げとなっている。

本研究では上記のような状況を改善するため、中小企業が自社内で開発製品の簡易評価を実施できるような卓上型妨害電磁波計測システムの開発を行っている。

平成16年度は、単純放射源であるダイポールアンテナ付近の近傍磁界強度の三次元分布を測定し、測定データに基づいて計測システムの計測部を試作した。

平成17年度は、卓上型妨害電磁波計測システムにおける放射妨害波予測方法を確立するための基礎実験として、2次元平面における近傍電界を測定し、得られた測定結果を用いて等方性放射源の位置を推定する手法を開発した。

2. 2次元平面における近傍電界測定

2-1 実験方法

グラウンドプレーンに送信アンテナ、受信アンテナを設置し、2次元平面における近傍電界測定を実施した(図1、図2)。等方的な送信および受信アンテナとして、直径2mmの銅棒をN型レセプタクルに接続したエレメント長50mmのモノポールアンテナ(図3)を製作し使用した。また、グラウンドプレーンには幅1000mm×長さ2000mm×厚さ1mmのアルミ板を用いた。グラウンドプレーンには直径14mmの穴を図4のように配置し、送信アンテナ、受信アンテナの位置を可変とした。送信および受信アンテナはベクトルネットワークアナライザ(アドバンテストR3765CG)に接続し、送信アンテナ、受信アンテナの位置を変化させながらアンテナ間の伝送利得S21を測定した。

*1 テュフオートマ株式会社

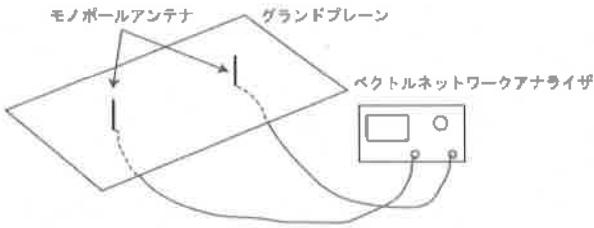


図1 測定概略図



図2 設置されたモノポールアンテナ



図3 モノポールアンテナ

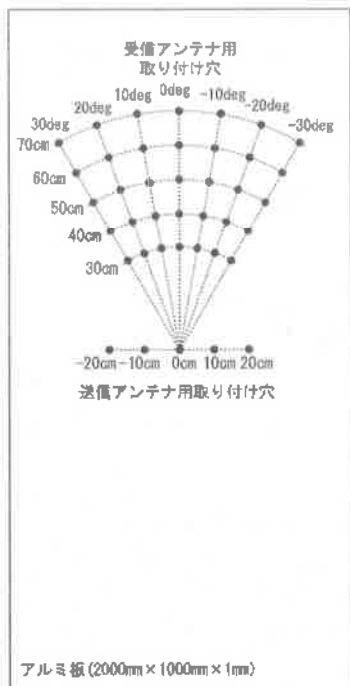


図4 グラウンドプレーンのアンテナ取り付け穴の配置

2-2 結果

送信アンテナ位置 0 cm, 送信アンテナ給電周波数 1 GHzと 2 GHzにおける測定結果の例を図5～図8に示す。

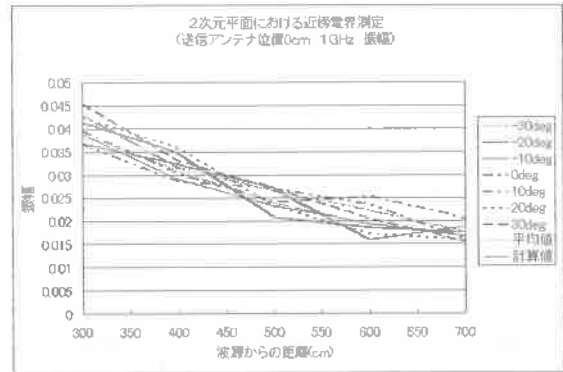


図5 近傍電界測定結果 (1 GHz 振幅)

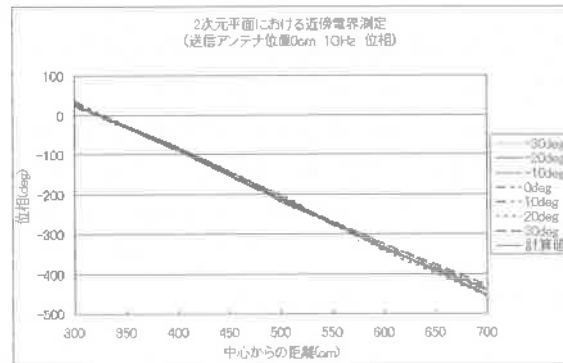


図6 近傍電界測定結果 (1 GHz 位相)

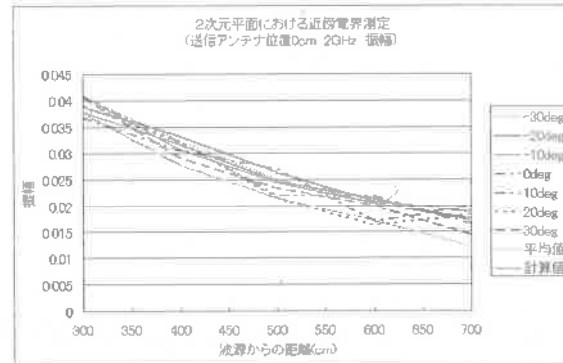


図7 近傍電界測定結果 (2 GHz 振幅)

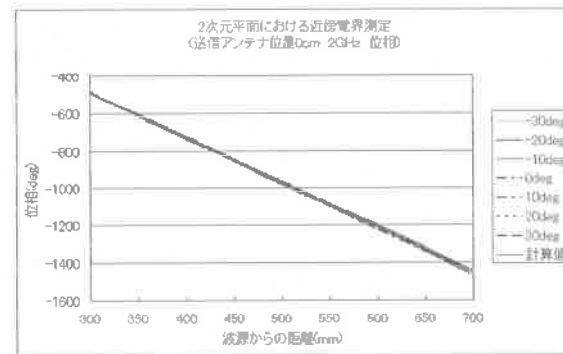


図8 近傍電界測定結果 (2 GHz 位相)

送信アンテナは等方的に電磁波を放射することを前提としており、距離一定の条件下ではアンテナエレメントを軸とした方位角の変化に対しては電界強度は変化しないことが期待されるが、振幅の測定結果には角度間のばらつきが見られる。このことより、放射源の指向性が完全に等方的となっていないことが予想される。原因としては、グランドプレーンの大きさが有限であるため、方向によりアンテナ-グランドプレーンエッジ間の距離に差異が生じ、空間の等方性が崩れてしまっていることが影響しているものと考えられる。

3. 測定値に基づく放射源-受信点間距離の算出

3-1 算出方法

2次元平面における近傍電界測定結果を基に、放射源-受信点間距離の算出を行った。今回は計算式を簡単にするため遠方界近似を用いた。異なる3点における電界測定値を用い、そのうちの一つを基準点として、各点における振幅値および位相値を振幅比および位相差に変換した(図9)。これらの値を用いた距離算出方法について以下に述べる。

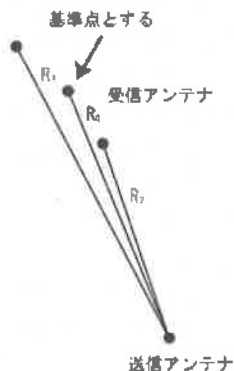


図9 放射源-受信点間距離算出の概略図

等方性放射源からの距離が R_0, R_1, R_2 である3点の測定される電界は、遠方界近似を用いて、

$$E_0 = \frac{A_0}{R_0} e^{-jkR_0}$$

$$E_1 = \frac{A_0}{R_1} e^{-jkR_1}$$

$$E_2 = \frac{A_0}{R_2} e^{-jkR_2} \quad \text{ただし } k = \frac{\omega}{c}$$

ω : 電界の角周波数

c : 真空中の光速

のように表すことができる。

E_0 を基準点における電界として、他の2点の測定値との比をとると、

$$\frac{E_1}{E_0} = \frac{R_0}{R_1} e^{-jk(R_1 - R_0)}$$

$$\frac{E_2}{E_0} = \frac{R_0}{R_2} e^{-jk(R_2 - R_0)}$$

と表せる。ここで、実際の測定により得られる値は振幅比

$$a_1 = \frac{R_0}{R_1} \quad a_2 = \frac{R_0}{R_2}$$

と位相差

$$\Delta\phi = k(R_1 - R_2)$$

である。

これらより、送信源-受信点間距離は、

$$R_0 = \frac{\Delta\phi}{k} \frac{a_1 a_2}{a_2 - a_1}$$

$$R_1 = \frac{\Delta\phi}{k} \frac{a_2}{a_2 - a_1}$$

$$R_2 = \frac{\Delta\phi}{k} \frac{a_1}{a_2 - a_1}$$

から求めることができる。このような手続きを踏むことにより、振幅および位相の絶対値を知ることなく距離算出を行うことができる。

3-2 算出結果

実際に送信アンテナ給電周波数1GHzと2GHzにおいて、図10と図11の配置の場合の送信源-受信点間距離の算出を行った。結果を表1、表2に示す

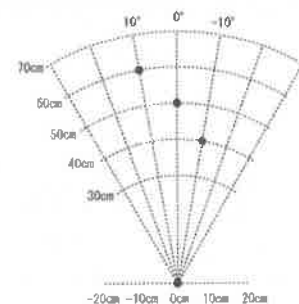


図10 アンテナ配置(1)

送信アンテナ: 0cm

受信アンテナ: P₀ 50cm 0deg

P₁ 60cm 10deg

P₂ 40cm -10deg

表1 アンテナ配置(1)の計算結果

	R ₀ (cm)	R ₁ (cm)	R ₂ (cm)
計算値(1GHz)	29.3	45.0	25.7
計算値(2GHz)	64.0	66.2	46.2
設計値	50.0	60.0	40.0

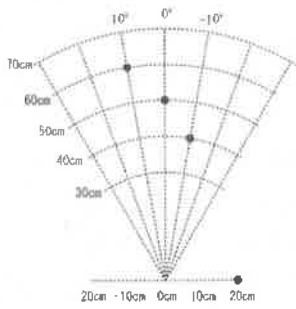


図11. アンテナ配置 (2)

送信アンテナ： 20cm
 受信アンテナ： P₀ 50cm 0deg
 P₁ 60cm 10deg
 P₂ 40cm -10deg

表2 アンテナ配置 (2) の計算結果

	R ₀ (cm)	R ₁ (cm)	R ₂ (cm)
計算値(1GHz)	41.7	56.9	32.2
計算値(2GHz)	45.2	57.3	32.3
設計値	53.9	66.5	41.5

算出結果は、1GHzでは10~20cm程度、2GHzでは6~9cm程度の差を持っていた。これらの原因は、2次元平面における近傍電界測定において、グラウンドプレーンの大きさが有限なことに起因するアンテナ指向性の発生などによる振幅測定誤差によるものと思われる。

4. 算出距離に基づく放射源位置の推定

4-1 推定方法

算出した距離に基づいて放射源位置の推定を行った。図12のように、受信点を中心として算出距離を半径に持つ円を考え、受信点数すべての円がもっとも近接する位置を計算した。

受信アンテナ位置を中心とした円群。アンテナ位置の測定誤差に基づく測定した算出距離および計算より求めた距離に基づく円

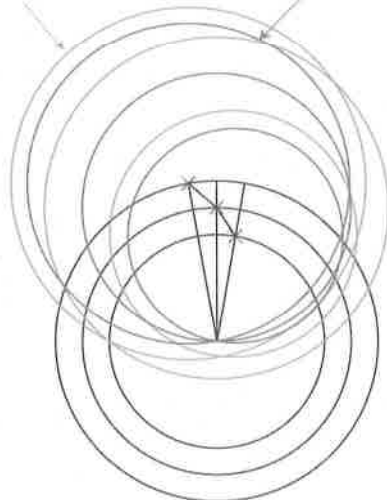


図12 放射源推定方法概略図

計算は以下の式によって表計算ソフト (Microsoft Excel) を用いて行った。

$P(x',y')$

$$C_N \frac{1}{\sqrt{((x' - x_n)^2 + (y' - y_n)^2 - R_n^2)^2 + ((x' - x_0)^2 + (y' - y_0)^2 - R_0^2)^2 + ((x' - x_1)^2 + (y' - y_1)^2 - R_1^2)^2}}$$

- x',y' : 任意の空間座標
- $x_n,y_n(n=0,1,2)$: 受信アンテナ位置座標
- R_0,R_1,R_2 : 算出した放射源~受信点間距離
- C_N : 規格化係数

4-2 推定結果

送信アンテナ給電周波数1GHzおよび2GHzにおいて推定した結果について図13~図16および表3に示す。

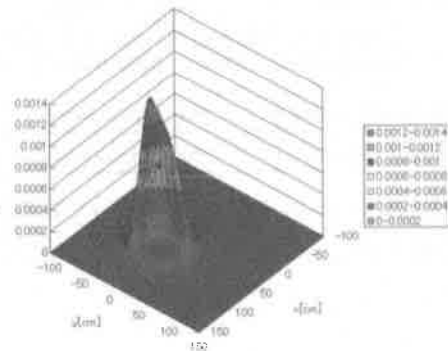


図13 放射源位置推定結果 (実際の放射源位置 x=0cm,y=0cm 1GHz)

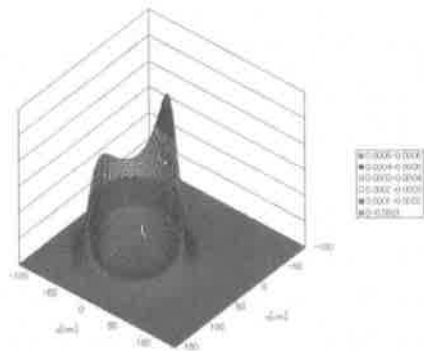


図14 放射源位置推定結果 (実際の放射源位置 x=0cm,y=0cm 2GHz)

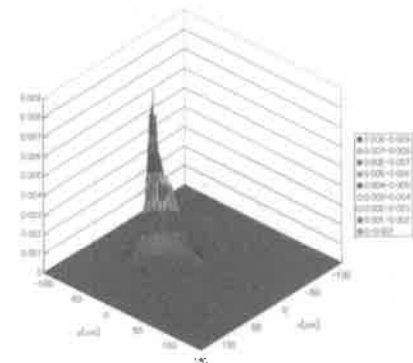


図15 放射源位置推定結果 (実際の放射源位置 x=0cm,y=-20cm 1GHz)

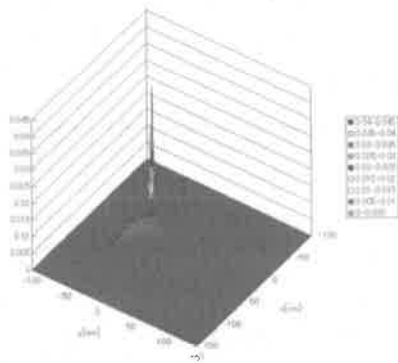


図16 放射源位置推定結果 (実際の放射源位置
x=0cm,y=-20cm 2GHz)

表3 放射源位置推定結果

	実際の位置 (x,y)=(0cm,0cm)	実際の位置までの 距離(cm)	実際の位置 (x,y)=(0cm,-20cm)	実際の位置までの 距離(cm)
推定値 (1GHz)	(33cm,-30cm)	44.6	(27cm,-36cm)	31.4
推定値 (2GHz)	(-9cm,6cm)	10.8	(8cm,-16cm)	8.9

推定結果は、給電周波数1GHzの場合で実際の送信アンテナ位置と比較して20~30cm程度の差、給電周波数2GHzの場合では、10cm以下の差であった。

5. 考察

今回の検討で、推定位置に誤差が生じた理由については

1. 測定における振幅測定誤差
2. 距離算出時の遠方界近似による誤差。

の2点が考えられる。

上記1については、用いたグラウンドプレーンが有限なことによる放射源指向性の変化、エッジ部による回折が考えられる。また、2については、測定を行った40cm付近では給電周波数1GHzにおいて、近傍界成分、誘導界成分が完全に減衰していないおそれがある。

実際に用いた寸法のグラウンドプレーンにモノポールアンテナを設置し1GHz給電を行った場合のFDTD結果を図17に示す。

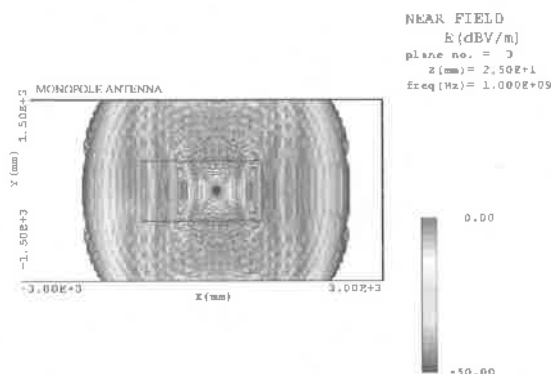


図17 FDTD解析結果

これより、グラウンドプレーン上では電界は等方的な放射となっていないことが確認された。2については近傍電界の振幅測定結果がほぼ距離に反比例していたため、寄与はそれほど大きくないものと思われる。

今回は、等方性放射源を用いてすべての検討を行ったが、異方性放射源については、放射源を包囲し、また動径方向の複数の距離について受信を行えるようなアンテナ配置にすることにより、方向および距離が推定できるものと思われる。

6. 結言

放射妨害波予測方法を確立するための基礎実験として、2次元平面における近傍電界測定を行い、受信アンテナの位置が異なる3組の測定結果を用いて、等方性放射源位置を推定する手法を検討した。送信アンテナの給電周波数が1GHzの場合では、実際の送信アンテナ位置と比較して20~30cm程度の差となった。給電周波数2GHzの場合では、10cm以下の差で送信アンテナ位置を推定した。

今回の結果は、数組の電磁波測定結果から妨害電磁波の発生源の位置を推定し、効率的な妨害電磁波対策を可能とすることが期待できる。

平成18年度はさらなる高精度化を図るため、測定回数を増やすことによる高精度推定手法の確立、および高速算出手法の開発を行う。

参考文献

- 1) Clayton R.Paul : EMC概論,ミマツデータシステム P.189-259 (1994)
- 2) 虫明康人 : アンテナ・電波伝搬, コロナ社 P.6-21 (1961)
- 3) J.D.Jackson : 電磁気学, 吉岡書店 P.479-487 (1994)