

卓上型妨害電磁波計測システムの開発 (第3報)

萩原 茂・木島 一広・阿部 治・池田 哲夫・藤本 秀昌*1

Development of the Desktop Measurement System for Evaluation of Radiated Disturbance (3rd Report)

Shigeru HAGIHARA, Kazuhiro KIJIMA, Osamu ABE, Tetsuo IKEDA and Hidemasa FUJIMOTO*1

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実施した。本年度は、机上に配置した4本のアンテナを高周波スイッチで切り替えて自動測定を行う計測システムと、放射源位置の推定を行うソフトウェアを試作した。試作したシステムを用いて放射源位置推定実験を行ったところ、3.8GHzでは全体の4分の1の範囲で10cm以下の精度で放射源位置推定が可能であった。

Abstract

In order to simplify EMC testing, we developed the desktop measurement system. In this period, we have made the automatic measurement system using four antennas arranged on a desk and positioning software for finding a radioactive source. As a result of an ability test using the desktop measurement system, 25% of total measurement position were indicated with the difference 10cm or less in 3.8GHz.

1. 緒 言

電子機器を開発設計する上で不可避となっている電磁環境両立性規格への適合性試験では、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を必要とするが、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試験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、設備の空き状況や利用時間による制約が避けられず、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。

本研究ではこのような状況を改善するため、地場中小企業が自社内において開発製品の簡易評価を実施可能な卓上型妨害電磁波計測システムの開発を行った。

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、測定データに基いて計測システムの測定部を試作した。

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の開発を行った。

平成18年度は、机上に配置した4本のアンテナを高周波スイッチで切り替えて測定器で自動測定をするシステムと、放射源位置推定を行うためのソフトウェアを開発し、評価を行った。本稿では、平成18年度に実施した内容について報告する。

2. 計測システムの開発

2-1 計測システムの概要

試作した計測システムは、制御部と計測部の2つの部分からなる。制御部は制御用パーソナルコンピュータ、高周波スイッチおよび測定器で構成され、計測部は測定卓上に配置された4本の受信アンテナによって構成されている。4本の受信アンテナは小型のモノポールアンテナとなっており、測定卓上の任意の位置に配置される。これらの受信アンテナは、高周波スイッチによりケーブルが切り替えられ、1本ずつ測定器に接続されるようになっている。測定器で測定されたアンテナ端子電圧は制御用パソコンにテキストデータとして蓄積され、放射源位置推定の計算データとして用いられる。計測システムのブロック図を図1に、計測システムの外観を図2に示す。

計測システムの試作に当たって、システムの妥当性評価のためにアンテナ特性測定、測定卓の簡易誘電率測定および電磁界シミュレーションを行った。

*1 テュフズードオータマ株式会社

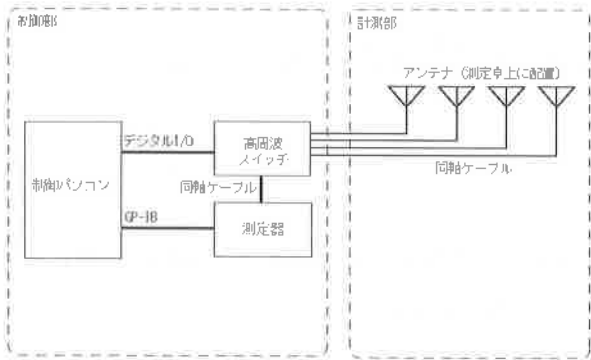


図1 卓上型妨害電磁波計測システムブロック図



図4 アンテナ指向性測定の様子



図2 卓上型妨害電磁波計測システム外観

2-2 受信アンテナ特性の測定

受信アンテナとして用いているモノポールアンテナのアンテナ係数と指向性を測定した(図3, 図4)。アンテナ係数測定結果を図5に、アンテナ指向性結果を図6にそれぞれ示す。

アンテナ係数測定は、ダブルリジッドガイドホーンアンテナを参照アンテナとして行った。この測定結果からアンテナの周波数特性が把握できた。また、アンテナ指向性測定結果より、製作したモノポールアンテナは、ほぼ等方性であることが確認できた。

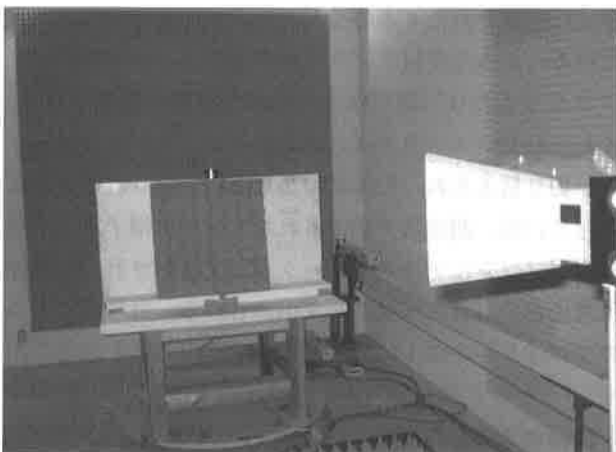


図3 アンテナ係数測定の様子

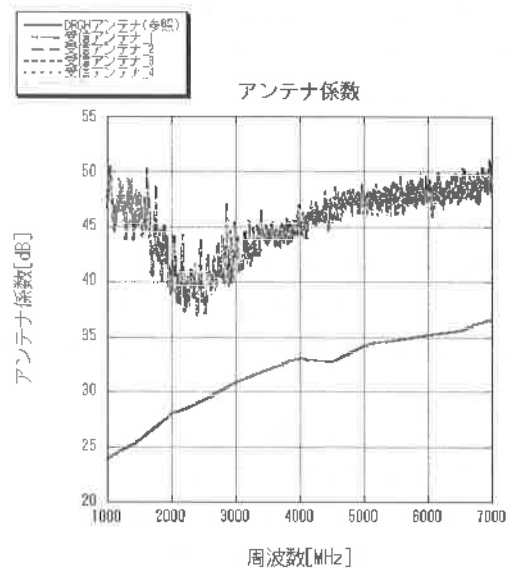


図5 アンテナ係数測定結果

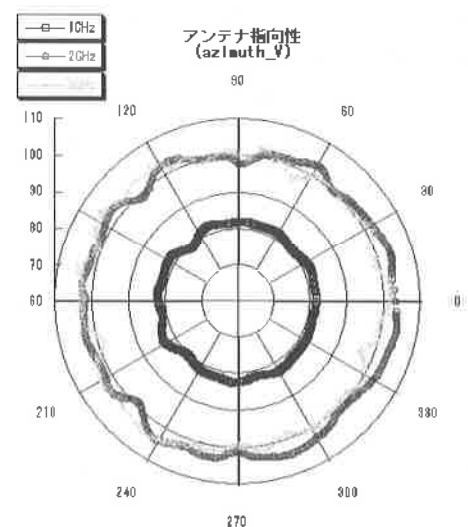


図6 アンテナ指向性測定結果

2-3 測定卓の比誘電率測定と電磁界シミュレーション

卓上の電磁界測定において、測定を行う測定卓の比誘

電率が測定値に影響を与えることが懸念される。そこで、測定卓の簡易的な比誘電率測定とその測定値を用いた電磁界シミュレーションを行った。

測定卓の簡易的な比誘電率測定の概略図を図7、測定の様子を図8に示す。

測定はベクトルネットワークアナライザのタイムドメイン機能を用いてS11（反射率測定）を行った。ダブルリジッドガイドホーンアンテナと金属板を一定の距離に配置し、測定卓を挿入した際の反射時間の遅延を測定し、次式を用いて比誘電率 ϵ_r を算出した。

$$\epsilon_r = \left(1 + \frac{c \Delta t}{2l} \right)^2$$

c : 真空中の光速 [m/s]

l : 測定卓天板の板厚 [m]

Δt : 天板を挿入した際の遅延時間 [sec]

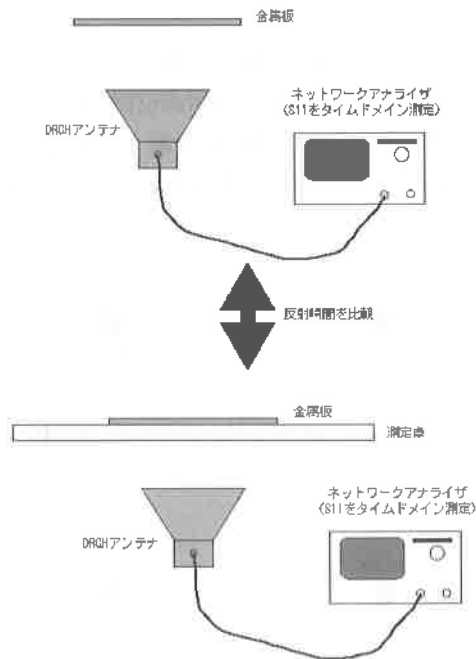


図7 比誘電率測定概略図



図8 比誘電率測定の様子

板厚20mmの天板を挿入し測定した結果、遅延時間は0.1nsecであった。このことより、天板の比誘電率は3程度である。

これらの結果を用いて、受信アンテナを配置した天板上の電磁波伝搬の様子を時間領域有限差分 (FDTD) 法を用いて電磁界シミュレーションを行った。解析に用いたモデルを図9、電磁界シミュレーション結果を図10に示す。

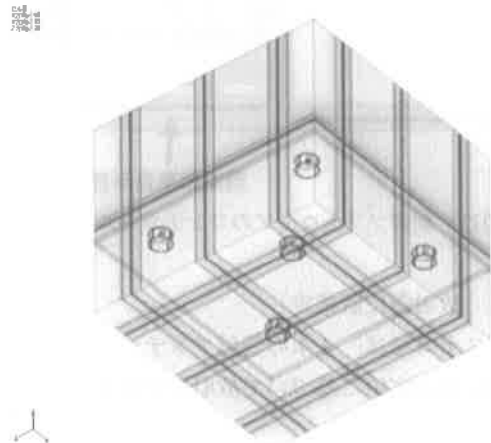


図9 解析に使用したモデル

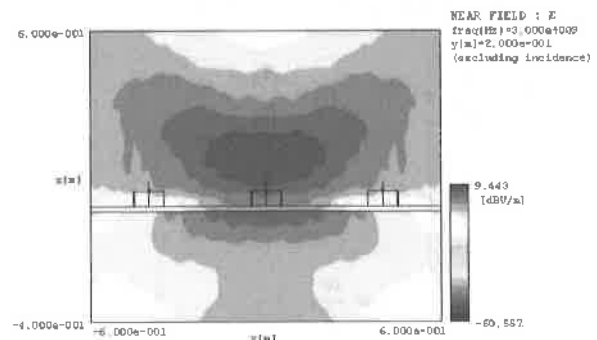


図10 電磁界シミュレーション結果

電磁界シミュレーションにより、木製測定卓が電磁波に与える影響はほとんどなく、試作したシステムで妨害電磁波の測定が可能であることを確認した。

3. 制御及び放射源位置推定ソフトウェアの作成

3-1 ソフトウェアの概要

電磁波測定の自動制御と放射源位置推定を目的として、ソフトウェアを作成した。開発言語にはVisual Basicを用い、以下の動作が行えるように作成した。

- コントロール画面上での測定器の手動操作
- 計測の自動制御 (測定器制御、スイッチ切替及びデータの取得)
- 放射源位置推定

ソフトウェアのコントロール画面を図11に示す。

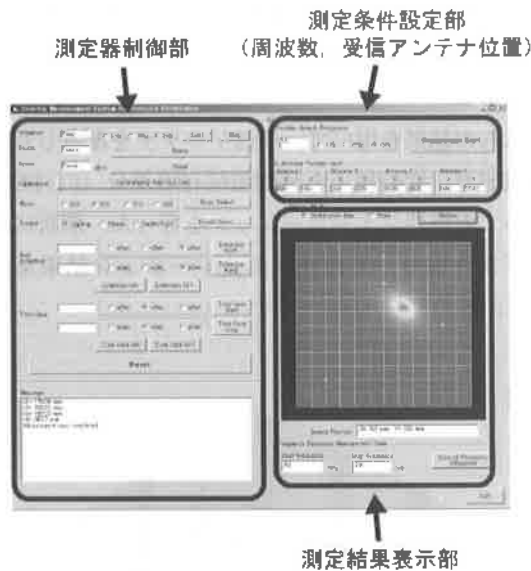


図11 制御ソフトウェアのコントロール画面

3-2 放射源位置推定

このシステムでは、4本の受信アンテナによる電磁波の振幅、位相測定値に基づいて放射源位置推定を行っている。

遠方界近似を用いると、放射源からの距離が、 r_1, r_2, r_3, r_4 であるような4点で測定される電界 (E_1, E_2, E_3, E_4) はつぎのように表すことができる。

$$E_1 = \frac{A_0}{R_1} e^{-jkr_1} \quad E_2 = \frac{A_0}{R_2} e^{-jkr_2}$$

$$E_3 = \frac{A_0}{R_3} e^{-jkr_3} \quad E_4 = \frac{A_0}{R_4} e^{-jkr_4}$$

$$k = \frac{\omega}{c}$$

ω : 電界の角周波数

c : 真空中の光速

A_0 : 放射源における振幅

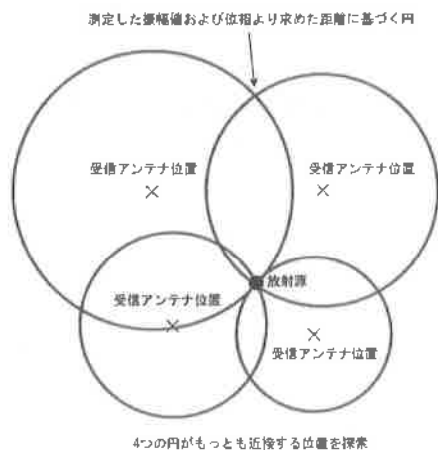


図12 放射源位置推定概略図

4本のアンテナのうち1つを基準とすることにより、他の3点との振幅比と位相差を得ることができる。これらを用いて距離を算出することにより、振幅および位相の絶対値を知ることなく距離が得られる。

得られた放射源-受信アンテナ間距離が半径となり、受信アンテナ位置を中心とした円を考え、4つの円が最も接近する点を放射源位置として推定することができる。概略図を図12に示す。

放射源位置推定ソフトウェアでは、次式を用いた。

$$p(x', y') = \frac{1}{\{(x'-x_1)^2 + (y'-y_1)^2 - r_1^2\} + \{(x'-x_2)^2 + (y'-y_2)^2 - r_2^2\} + \{(x'-x_3)^2 + (y'-y_3)^2 - r_3^2\} + \{(x'-x_4)^2 + (y'-y_4)^2 - r_4^2\}}$$

x', y' : 任意の空間座標

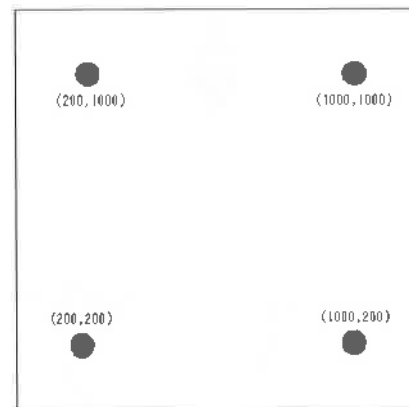
x_n, y_n : 受信アンテナ位置座標

r_n : 算出した放射源-受信点間距離

C_N : 規格化係数

4. 考 察

試作したシステムを用いた放射源位置推定実験を行い精度の確認を行った。基準の放射源を測定卓上で10cm間隔で移動させて放射源位置推定を行い、実際の位置と



● : 受信アンテナ
図13 アンテナ配置 (A)

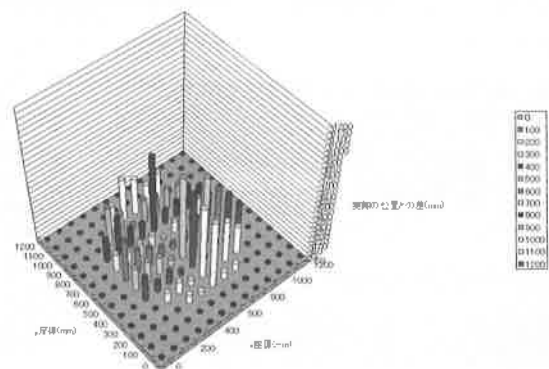
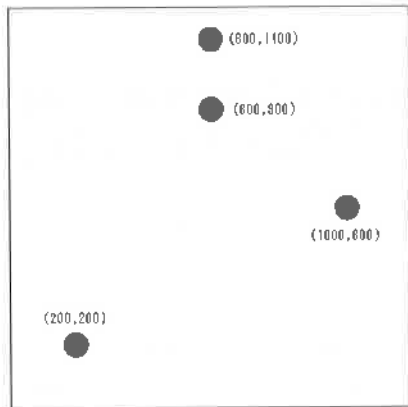


図14 アンテナ配置 (A) での推定位置誤差

表1 アンテナ配置 (A) の推定位置誤差の割合

差	総測定点数に占める割合
<5cm	8.7%
<10cm	23%
<20cm	42%



● : 受信アンテナ
図15 アンテナ配置 (B)

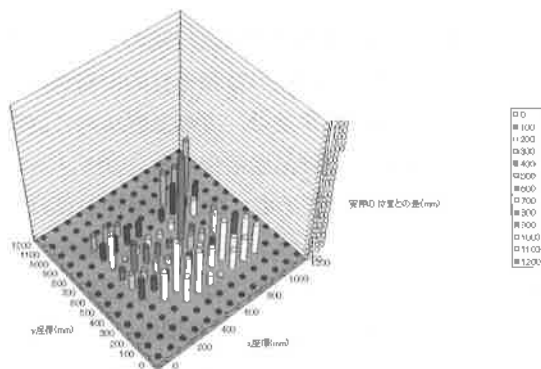


図16 アンテナ配置 (B) での推定位置誤差

表2 アンテナ配置 (B) の推定位置誤差の割合

差	総測定点数に占める割合
<5cm	8.7%
<10cm	26%
<20cm	54%

推定位置の誤差を測定した。受信アンテナの配置は、図13および図15に示す (A) および (B) の2種類で実験した。受信周波数3.8GHzにおける結果を図14および図16に示す。また、差が20cm未満である点の総測定点に占める割合の分布を表1および表2に示す。

アンテナ配置 (A) のような対称的な受信アンテナ配置では、複数の受信アンテナと放射源との距離が等距離になるような位置で実際の距離との差が大きくなっていった。また、推定位置の分布も大きな広がり (バラツキ) を持っていた。

反対にアンテナ配置 (B) のような非対称的なアンテナ配置の場合では、比較的差が小さく抑えられ、推定位置のバラツキも小さくなっていった。アンテナ配置 (B) の場合、全体の26%の測定点において、10cm未満の差で位置を推定することができた。

これらのことから、受信アンテナ配置を最適化することによって推定値と実際の位置との差をより小さくできるものと思われる。

5. 結 言

- (1) 4本の受信用小型モノポールアンテナを木製測定卓上に設置することで、供試体からの放射電磁波の2次元分布を測定するシステムの試作を行った。モノポールアンテナのアンテナ特性・指向性測定、木製測定卓の簡易的な誘電率特性測定、およびFDTD法を用いた電磁界シミュレーションによりシステムの妥当性の確認を行い、開発したシステムにより電磁波測定が可能であることを確認した。
- (2) システムの制御と放射源位置推定を行うためのソフトウェアの開発を行った。作成したシステムにより、電磁波の自動計測が可能となった。また、供試用モノポールアンテナ及び受信アンテナを様々な位置に配置して、放射源位置推定を行ったところ、総測定点数の25%強の点において10cm未満の差で放射源位置推定が可能であった。

開発したシステムは、妨害電磁波の発生源の位置を推定することで、電子機器の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。

参考文献

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