

論文

電波吸収体を敷設しないGHz帯EMI測定手法の提案

佐々木 秀勝^{*1)} 高橋 文緒^{*1)}

Proposal of GHz band EMI measurement without electromagnetic wave absorber

Hidekatsu Sasaki^{*1)}, Fumio Takahashi^{*1)}

First, a validation was conducted on the use of a narrow beam antenna and the elevation control method for EMI measurement. And an elevation control program based on beam width and measuring distance was developed. Applying all of these, a proposal was made on the measuring method for GHz band. The evaluation was made on the applied SVSWR method in our procedure, and a comparison was made with current methods. The results of proposed method were not location dependent. As a result, the correlation of the measurements between the measured sites was obtained.

キーワード：GHz帯，EMI測定，仰角制御，サイトVSWR法

Keywords：GHz band, EMI measurement, Antenna tilt, Site VSWR method

1. はじめに

初期のEMI測定は、これまでMHz帯（周波数範囲：30～1,000 MHz）の放射電磁界を測定してきた。測定場所には壁面および天井の5面に電波吸収体を取り付けた5面電波暗室を用いてきた。EMI測定は屋外の測定サイトがその起源であり、大地での電波反射を考慮に入れる必要がある。そのため、床面には金属を有することで大地を模擬しており、製品からの直接波と床面からの反射波との合成波を測定している。一方、追加されたGHz帯EMI測定では、床面からの電波の反射がない空間（自由空間）を想定している。これは、1GHzを超える周波数では波長が短いために、床からの反射波を考慮して測定を行うと、試験設備や製品の配置のずれによる測定結果の変動が大きく、再現性が確保できないためである。そのため、GHz帯EMI測定では、5面電波暗室を用いる場合は、図1に示すように受信アンテナと試験品との間の床面に一定サイズの電波吸収体を敷設することが必要になる⁽¹⁾。これにより、反射波を低減し、製品からの直接波のみを受信することが可能となった。

また、GHz帯EMI測定サイト評価法として、国際規格であるCISPR16-1-4に規定されるサイトVSWR（以下、SVSWR）法が用いられている⁽²⁾。これは、床面からの反射波による値への影響を評価する方法である。

しかし、SVSWR法により有効性を確認した測定サイトにおいても、床面に電波吸収体を常時敷設することは困難であるため、電波吸収体を測定の都度敷設と片付けを繰り返す必要がある。そのため、床面に敷設する電波吸収体の位置がずれる可能性がある。

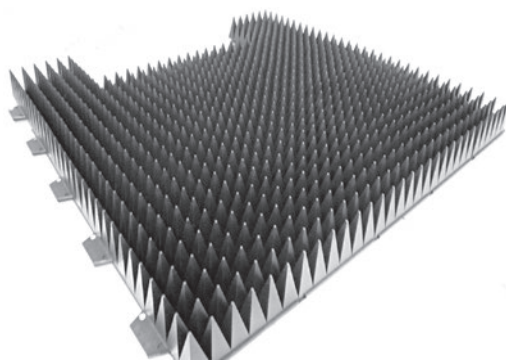


図1. 床面に敷設する電波吸収体の例

電波吸収体の配置ずれは、放射源である製品からの電波吸収体への距離および入射角を変えてしまい、電波吸収体による反射波および回折波の変動が起きる。これにより測定空間に発生する定在波が変わることが明らかになっている⁽³⁾。

電波吸収体の吸収特性および形状は、国際規格で規定されていないため、各製造業者で異なる特性を有している。また、敷設領域についても規定がないため、各サイトによって特性を満たす条件を決定している。そのため、SVSWR法で有効性を確認したサイト同士であっても、電波吸収体の種類や敷設方法によって測定結果のサイト間誤差が発生し、測定結果に影響を及ぼす。

そこで、本研究では図2に示すようなビーム幅の狭いアンテナ（以下、狭ビームアンテナ）や仰角制御機構の適切な制御を用いることにより、サイト間の測定結果の差異を生じる原因である電波吸収体を床面に追加で敷設することなく、試験の再現性を向上させる測定手法を検討した。

事業名 平成25年度 基盤研究

*1) 電子・機械グループ

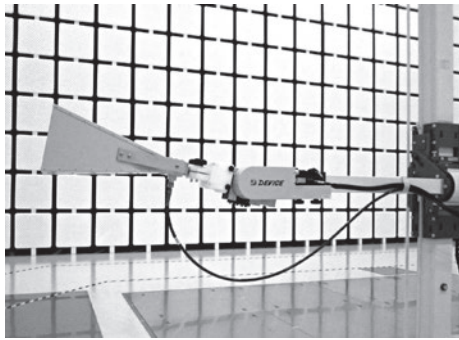


図2. 狭ビームアンテナおよび仰角制御機構

2. 狭ビームアンテナの定義

2.1 ビーム幅 アンテナのビーム幅は3 dB ビーム幅が用いられている。3 dB ビーム幅とは、主ローブの最大感度から3 dB 落ちた点の間の角度（電力半値幅とよばれる）のことである。アンテナの放射パターンを一例を図3に示す。この例のように、放射パターンを見ると3 dB ビーム幅は狭いビームを有していると判断できても、さらに感度が低下した所でサイドローブによって感度が高くなっているものもある。

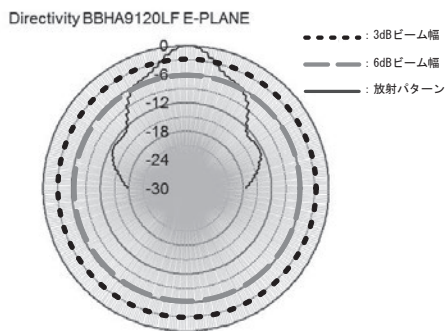


図3. 放射パターン（3 dB と6 dB の違い）

そこで、狭ビームアンテナの条件について3 dB ビーム幅で判断することができず、放射パターンを考慮したものを指標とする必要がある。ビーム幅の一例として今回評価に使用したアンテナのビーム幅について図4に示す。

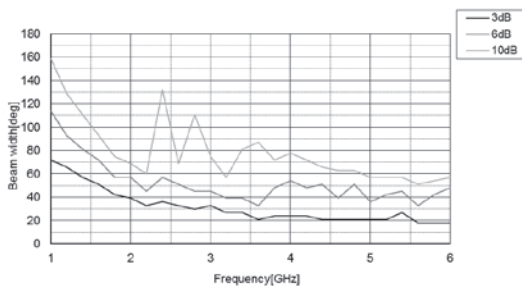


図4. BBHA9120LFのビーム幅

ビーム幅の種類として3 dB, 6 dB および10 dB を示す。図3のような放射パターンを考慮すると、3 dB ビーム幅でビームが狭くても、サイドローブの影響により反射波を受信してしまうものがある。

前述のSVSWR法の要求としてSVSWRが6 dB以内とある。これは、測定空間内の定在波が6 dB以内であることを要求している。そこで、ビーム幅においても6 dB ビーム幅を指標として用いることとした。

2.2 狭ビーム条件 使用するアンテナが、狭ビームアンテナであることを判断する指標が必要である。そのため、狭ビーム条件を定義した。

図5に示す通り、放射源として送信アンテナ（以下、Tx）と受信アンテナ（以下、Rx）の距離を d m とする。また、Tx と Rx の高さは等しいとする。

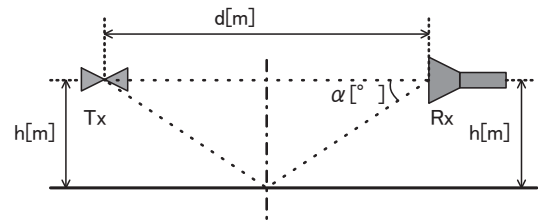


図5. 狭ビーム条件

狭ビーム条件を満たす床面方向のビーム幅は、式(1)で求められる。

$$\alpha = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{2h}{d} \right) \dots \dots \dots (1)$$

Rx のビーム幅は上方向にもあるため、 α の2倍が Rx のビーム幅となる。

狭ビーム条件は、反射波の影響を最小化するための条件である。Rx の高さが、1 m の時が最も床面に近く反射波の影響を受けるため、式(2)で求められる角度を満たすことを狭ビーム条件として定義し、狭ビーム条件を満たしたアンテナを狭ビームアンテナとした。

$$\theta = 2 \times \tan^{-1} \left(\frac{2}{d} \right) \dots \dots \dots (2)$$

3. 仰角制御方法の検討

3.1 仰角制御の有効性確認方法 狭ビームアンテナを使用した際、ビーム幅が狭いことによって、測定の取りこぼしが発生する恐れがある。そこで、Rx の仰角制御を行い、安定した受信感度を確保する方法について検討を行った。

Tx にはスモールバイコンカルアンテナ（型式：SBA9112 / Schwarzbeck 社製）を用いた。Rx には、狭ビームアンテナとしてダブルリッジドウェーブガイドホーンアンテナ（型式：BBHA9120LF / Schwarzbeck 社製）を用いた。周波数範囲は、Rx において狭ビーム条件を満たしている範囲である3~6 GHz とした。仰角制御ユニットは、ポジショナ（型式：DM3404AV1/0-1.5 / DEVICE 社製）およびポジションコントローラ（型式：DT3138AV1/0 / DEVICE 社製）を用いた。測定距離は3 m とする。距離の基準として、Tx はエレメントの中心、Rx はホーンの開口面とした。Tx 高は1 m 固定、Rx 高は1 m~4 m の昇降とし、構成図を図6に示す。

Rx の高さを1 m~4 m まで1 m 間隔で受信レベルを評価した。

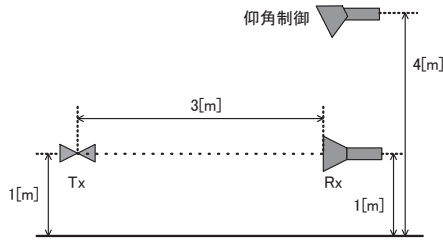


図6. 仰角制御構成図

3. 2 仰角制御の評価結果 従来手法の結果を図7に，図6の条件による提案手法の結果を図8に示す。

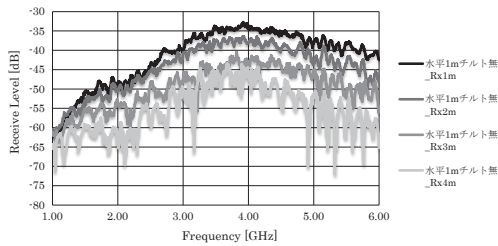


図7. 従来手法の測定結果

従来手法の場合，Rxの高さを上げるに連れて，受信強度が大幅に下がっていることがわかる。

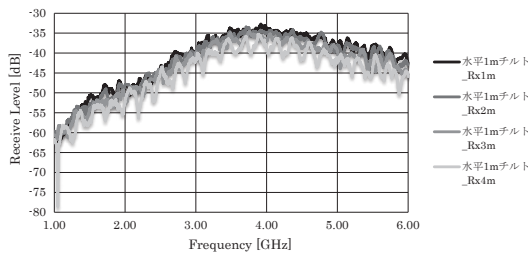


図8. 図6の条件による提案手法の測定結果

図6の条件による提案手法の場合，Rxの高さを上げてても受信強度の低下は少ない。しかし，4m時には定在波が生じている。これは，4m時に直接波のみではなく，反射波も受信していることを示している。

3. 3 仰角制御方法の決定 測定結果よりTxが3m以上になると，床面からの反射波を受信するため，直接波のみ受信できる仰角制御方法を検討した。

仰角制御の方法として直接波のみ受信するため，Rxのビーム幅と測定距離との関係を使用した制御とした。

通常測定テーブルは高さ0.8mのため，条件としてTxの高さを0.8mとする。また，Rxの高さは，4mが最も反射波を受信するように制御されるため，Rxの高さは4mとした。床面が反射するため，鏡像として見える仮想のTx'と4mにあるRxとを結んだ線と，床面からの垂線の間の角度を θ_1 および θ_2 は，それぞれ式(3)，(4)として求められる。

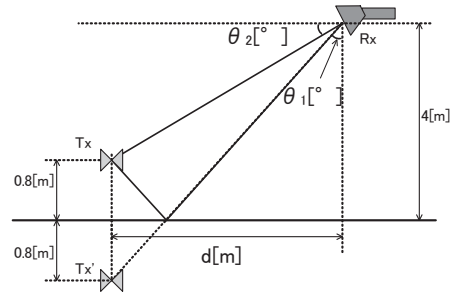


図9. 仰角制御時の角度の関係性

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{d}{4.8} \dots\dots\dots (3)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \frac{3.2}{d} \dots\dots\dots (4)$$

また，Rxのビーム幅を考慮し，RxがTxを向いたときにビーム幅を含めて直接波のみ受信するように制御する必要がある。そのため，Rxのビーム幅を考慮すると，基準の高さの決定に必要な角度が式(5)で求められる。

$$\theta_3 = \theta_1 + \theta_2 + \frac{\theta_{6dB}}{2} - 90 \dots\dots\dots (5)$$

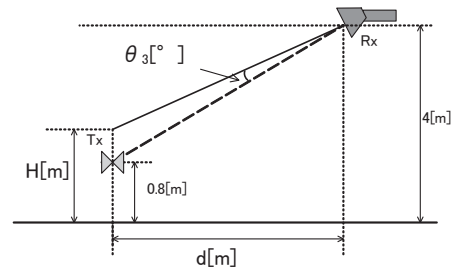


図10. 仰角制御基準高

図10に示すとおり，この θ_3 の角度を考慮して仰角制御することで，直接波のみ受信する仰角制御が行うことができる。また，仰角制御時の高さHを式(6)で示す。

$$H = 0.8 + (d \times \tan \theta_3) \dots\dots\dots (6)$$

この高さHを仰角制御基準高とした。

4. 提案手法の有効性の検証

4. 1 SVSWR法の実施 GHz帯の測定場所の評価として，国際規格CISPR16-1-4で規定されるSVSWR法を用いて，本提案手法の有効性を評価した。

SVSWR法とは，図11のように試験空間を定義し，空間のFront (F1 to F6)，Left (L1 to L6)，Right (R1 to R6)，Center (C1 to C6)の4ヶ所で評価する。1ヶ所ごとに6点(基準を3.00mとすると，3.02m，3.10m，3.18m，3.30m，3.40m)のデータを取り，その中で最大と最小の比を取ることで定在波比を得る評価方法である。

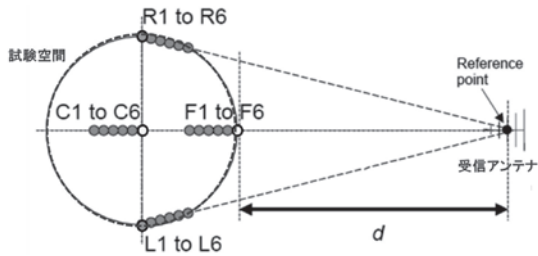


図11. SVSWR法の説明図

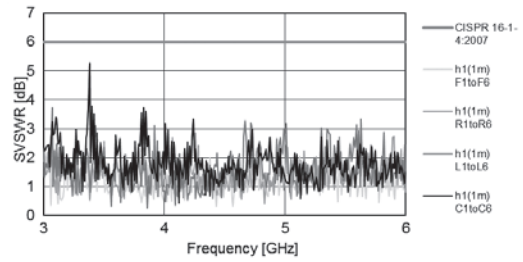


図13. 従来手法による評価結果

評価は従来手法と提案手法の両方で行い、結果を比較した。共通の評価条件として、周波数範囲は狭ビームアンテナとして使用する狭ビーム条件を満たす範囲である3-6 GHzとした。また、周波数ステップはCISPR16-1-4では50 MHzを要求しているが、本研究ではより細かい変動を評価するため10 MHz⁽⁴⁾とした。Txには、スモールバイユニカルアンテナ（型式：SBA9112 / Schwarzbeck社製）を用いた。床面からの反射波を評価するため水平偏波のみの評価とした。

従来手法の条件として、Rxにはダブルリッジドウェーブガイドホーンアンテナ（型式：3117 / ETS-Lindgren社製）を用いた。また、Rxの仰角制御は行わない。床面に電波吸収体（型式：PFP-30 / リケン環境製）を22個敷設した。範囲は図12に示す。

これにより反射波が発生していると考えられる。

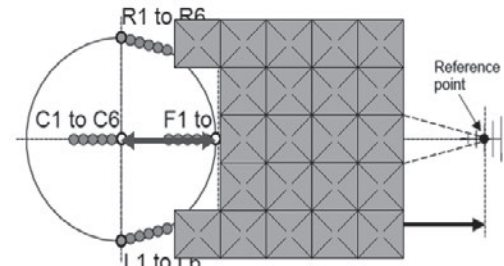


図14. 電波吸収体の敷設範囲

提案手法による結果を図15に示す。試験空間による差異は発生していない。また、最悪値はRightで3.64 dBとなり、提案手法と比較して特性が改善していることがわかる。

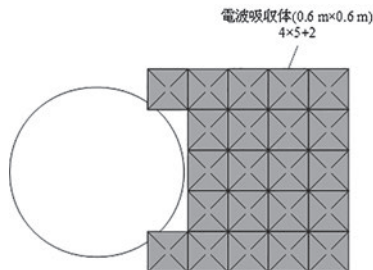


図12. 電波吸収体の敷設方法

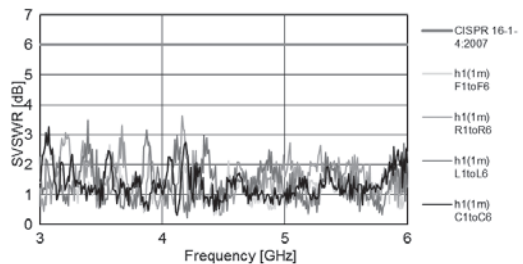


図15. 提案手法による評価結果

提案手法の条件として、Rxにはダブルリッジドウェーブガイドホーンアンテナ（型式：BBHA9120LF / Schwarzbeck社製）を用いた。仰角制御を行うため、仰角制御ポジションナ（型式：DM3404AV1/0-1.5 / DEVICE社製）およびコントローラ（型式：DT3138AV1/0 / DEVICE社製）を使用した。床面の電波吸収体は敷設しない。仰角制御基準高は3.3項で定めたとおり、ビーム幅および測定距離によって設定した。受信アンテナのビーム幅は図4に示す通りである。

4.2 SVSWRの結果と考察 従来手法による結果を図13に示す。試験空間による結果の影響が大きく出ており、最悪値はCenterで5.28 dBとなっている。この理由として、電波吸収体を追加で部分的に敷設することによって発生する、サイトの不連続性による影響と考えられる。

図14に示す通り、Centerは受信アンテナまでの距離が最も長く、電波吸収体が敷設していないエリアも最も広い。

5. まとめ

狭ビームアンテナを用いたGHz帯EMI測定手法を提案した。狭ビーム条件を定義することおよび仰角制御方法を開発することにより、直接波のみを測定することが可能となった。提案手法の有効性確認を行った結果、電波吸収体の影響を抑えることによるSVSWRの改善の効果を得た。

(平成27年7月2日受付, 平成27年8月4日再受付)

文 献

- (1)竹山弘章他:「電波暗室のサイトVSWRに関する基礎検討」, EMCJ2012-92, pp.43-47 (2012)
- (2)CISPR: “CISPR16-1-4 Ed.3.0” (2010)
- (3)青柳貴洋他:「ピラミッド型電波吸収体から発生する回折波によるサイトVSWRへの影響のシミュレーション計算による検討」, EMCJ2011-10, pp.9-12 (2011)
- (4)渡辺哲他:「サイトVSWR法における測定の不確かさについて周波数ステップの与える影響の評価」, EMCJ2009-1, pp.1-6 (2009)